Луи де Бройль

ПО ТРОПАМ НАУКИ

ЛУИ ДЕ БРОЙЛЬ

ПО ТРОПАМ НАУКИ

Перевод с французского
кандидата физико-математических наук
С. Ф. ШУШУРИНА

Послесловие и общая редакция
доктора философских наук, профессора
И. В. КУЗНЕЦОВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1962

LOUIS DE BROGLIE

de l'Académie française
Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences
Prix Nobel

SUR LES SENTIERS DE LA SCIENCE

Éditions Albin Michel
22, Rue Huyghens
Paris, 1960

Редактор О. И. ПОПОВ

Редакция литературы по философским наукам

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Автором предлагаемой вниманию читателей книги «По тропам науки» является Луи де Бройль — известный французский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии, член Французской академии, непременный секретарь Парижской Академии наук, иностранный член АН СССР.

Луи де Бройль внес важный вклад в современную физику. Выдвинутая Луи де Бройлем гипотеза о волновых свойствах вещества легла в основу современной квантовой механики. Луи де Бройль — 15 августа 1962 года ему исполнилось 70 лет — написал много ценных работ по вопросам релятивистской квантовой механики, теории элементарных частиц, строения ядра, а также теории распространения электромагнитных волн.

В книге «По тропам науки» Луи де Бройль рассматривает сложные и актуальные проблемы современной науки, представляющие большой интерес для всех, кто интересуется развитием современных физических представлений о строении материи, об ее свойствах, об «элементарных частицах» и т. д.

Труд Луи де Бройля состоит из четырех частей. В первую часть включены четыре доклада, прочитанные Луи де Бройлем на открытых ежегодных заседаниях Парижской Академии наук в период с 1951 по 1959 год и посвященные жизни и деятельности выдающихся ученых — Лорентца, Коттона, Бореля и Жолио-Кюри. Во второй части книги Луи де Бройль рассматривает некоторые проблемы научного наследства, связанные с деятельностью и трудами Анри Лешателье, Андре Клода, Ли де Фореста, Пьера Кюри, Макса Планка и других ученых.

В третьей части книги Луи де Бройль исследует наиболее общие вопросы, связанные с прогрессом науки и расширением возможности научного знания. Среди них — значение электричества в современной науке и культуре, место техники сверхвысоких частот в развитии современной физики, цветное телевидение, свет, кванты и осветительная техника, покорение мира атомов, принципы и приложения волновой механики, проблема частиц в современной физике.

В четвертой части книги автор рассматривает такие вопросы, как роль любопытства, игр, воображения и интуиции в научном исследовании, польза и уроки истории науки, эволюция научного языка, преподавание и исследование и др.

В конце книги дан «Обзор моих научных работ», написанный Луи де Бройлем и опубликованный в сборнике «Louis de Broglie, physicien et penseur», посвященном шестидесятилетию со дня его рождения, а также дана общая библиография работ Луи де Бройля.

Труд Луи де Бройля — первое издание на русском языке собранных в одном томе работ автора по различным вопросам современной науки,— несомненно, привлечет внимание многочисленных читателей.

Подробную характеристику взглядов и творчества замечательного французского физика-теоретика, одного из создателей квантовой механики, читатель найдет в послесловии доктора философских наук, црофессора И. В. Кузнецова.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

АКАДЕМИЧЕСКИЕ ДОКЛАДЫ

ЖИЗНЬ И ТРУДЫ ГЕНДРИКА АНТОНА ЛОРЕНТЦА[1]

Господа!

Несмотря на некоторую произвольность деления непрерывного исторического процесса на четко ограниченные отрезки, в истории науки, однако, можно выделить более или менее длительные периоды, во время которых, несмотря на непрекращающийся прогресс науки, основные тенденции науки, а также используемые ею теоретические представления остаются примерно одними и теми же. Эти эпохи относительной стабильности отделены друг от друга краткими периодами кризисов, во время которых под давлением фактов, ранее мало известных или вовсе неизвестных, ученые вдруг ставят под сомнение все принципы, казавшиеся до этого вполне незыблемыми, и через несколько лет находят совершенно новые пути. Такие неожиданные перевороты всегда характеризуют решающие этапы в прогрессивном развитии наших знаний.

Начало XX века было для физики одним из таких бурных переходных периодов. Развитие атомной физики, появление новых представлений теории относительности и квантовой теории коренным образом изменили взгляды физиков на развитие явлений природы. Со времени возникновения новой науки в XVI и XVII веках до конца прошлого века, несмотря на изумительное обогащение наших знаний, схема объяснений нами фактов физического мира оставалась без изменений. Верная предписанию Декарта, который хотел представлять все явления «посредством фигур и движений», по-прежнему привязанная к интуитивным и традиционным представлениям об абсолютных и универсальных пространстве и времени, все еще находившаяся под воздействием расцвета в XVII и XVIII веках механики и исчисления бесконечно малых, физика развивалась быст-

---

[1] Доклад, прочитанный на открытом ежегодном заседании Академии наук 10 декабря 1951 года.

ро, но в рамках представлений, казавшихся окончательно установленными. Физика стремилась свести всю совокупность явлений природы к механическим процессам, происходящим непрерывно и строго детерминированно, описываемым обыкновенными дифференциальными уравнениями или уравнениями в частных производных. После того как в результате исследования атомных явлений и великих переворотов в физических представлениях, связанных с именами Эйнштейна и Планка, были потрясены основы сооружения, считавшегося непоколебимым, прошедшей стадии развития наших знаний мы даем название «классическая физика», желая этим подчеркнуть сразу и наше уважение к очень красивому и очень гармоничному сооружению, и наше убеждение в том, что сегодня оно стало недостаточным.

Корни революции в представлениях, свидетелями которой мы являлись уже на протяжении полувека, конечно, нужно искать в электромагнитной теории Максвелла. Примерно между 1860 и 1875 годами после напряженных исследований Максвелл в математической форме, ставшей вскоре общеизвестной, подвел итог всей совокупности наших знаний — в ту эпоху уже весьма обширных — об электрических и магнитных явлениях. По своей форме и тенденциям эта обширная работа принадлежала, разумеется, еще к классической физике, но она представляла электромагнитное поле и его изменение весьма абстрактным образом с помощью векторов и дифференциальных уравнений в частных производных, плохо поддающихся механическому истолкованию. Оставаясь полностью верной общей схеме классической физики, теория Максвелла, казалось, довольно плохо согласовывалась с декартовским идеалом объяснения посредством фигур и движений: она представляла собой первый шаг на пути все более и более возрастающей абстракции, который столь характерен для теорий современной физики.

Работа Максвелла положила начало тому развитию идей, влияние которого на судьбы физики оказалось решающим. Начиная с 1875 года по проторенной дороге устремилась толпа молодых исследователей. Наряду с Генрихом Герцем, который, можно сказать, заново продумал теорию Максвелла и которому выпала честь подтвердить гениальные взгляды Максвелла на электромагнитную природу света путем открытия волн Герца, наиболее замечательным из последователей Максвелла, без сомнения, был великий

голландский физик Гендрик Антон Лорентц, существенной заслугой которого явилось введение в максвелловский электромагнетизм представления о частице электричества — электроне. В некотором смысле можно сказать, что Лорентц был последним представителем великих физиков классического периода, поскольку до самой смерти он остался верным идеалу классической физики, и все его работы явились воплощением этого идеала. Но тем не менее его можно также рассматривать как главного предтечу современной физики, поскольку, вводя в непрерывную теорию Максвелла электрон как инородное тело, он утвердил понятие атомизма со всеми его упрощениями и всеми его трудностями, которые были сразу подмечены нашим умом, привыкшим к арифметической дискретности и неспособным полностью отрешиться от непрерывности. И это сочетание дискретной частицы с максвелловским представлением о непрерывном поле не замедлило, как показано, в частности, в работах Анри Пуанкаре по неустойчивости электрона, завести физику в тупик, из которого современная физика все еще окончательно не вышла. Далее, углубляя и применяя в различных направлениях представления Максвелла, облеченные им в новую форму, Лорентц многое сделал для показа необходимости фундаментального пересмотра наших представлений о пространстве и времени. Будучи сильно привязанным к классической форме мышления, Лорентц предоставил Эйнштейну славу осуществления этого пересмотра, несмотря на то что он ясно осознавал его важность. Лорентц всегда относился к подобному пересмотру с некоторой сдержанностью. Однако кто решится утверждать, что автор преобразования Лорентца и сокращения Лорентца — Фитцджеральда не сыграл важной роли при зарождении теории относительности? И если знаменитый голландский физик активно вмешивался в развитие квантовой теории, делая критические замечания или выдвигая возражения, то можно утверждать, что, глубоко сознавая недостаточность методов, автором которых он являлся, при изучении излучения абсолютно черного тела, Лорентц ясно понимал необходимость новых представлений, введенных Максом Планком, и не переставал думать над ними и следить за их развитием.

Итак, творчество Г. А. Лорентца одновременно характеризовалось полным триумфом классических методов и, вводя червяка в яблоко, в значительной степени способство-

вало наступлению великого кризиса, плодом которого явились современные представления теории относительности и квантовой теории. Его труды не перестают быть захватывающе интересными, и, поскольку Лорентц был иностранным членом нашей академии с 1910 года до своей смерти в 1928 году, вполне естественно посвятить ему в нынешнем году одно из наших заседаний, которое на некоторое время позволит воскресить в нашей памяти образ и труды нашего великого покойного коллеги по академии.

* * *

Гендрик Антон Лорентц родился в Арнеме 18 июля 1853 года. Его отец принадлежал к третьему поколению Лорентцев — выходцев из прирейнской Германии, обосновавшихся в Голландии. Лорентцы были земледельцами и приобрели своим трудом некоторый достаток. Геррит Фредерик Лорентц, отец Гендрика Антона, не обладал высокой общей культурой, но был человеком очень умным и одаренным замечательной памятью, которую его сын унаследовал.

Высокими умственными способностями, которые позднее проявил молодой Лорентц, обладали и другие члены его семьи. Например, его двоюродный брат Хенни (сын сестры его отца) был весьма видным инженером; он приобрел широкую известность в Соединенных Штатах и даже едва не стал послом Соединенных Штатов в Голландии.

Мать Лорентца, родом из голландской семьи, умерла молодой. Она дважды была замужем и от первого брака имела сына. От второго брака, с Герритом Фредериком Лорентцем, она имела двух сыновей, старший из которых был наш будущий великий коллега по академии, а второй умер в детстве. Оставшись вдовцом, когда его старшему сыну не было еще и 9 лет, отец Лорентца женился вновь. Его вторая жена не заслуживала презрительного имени мачехи, поскольку она всегда была очень добра к обоим сыновьям своего мужа.

Веселый и жизнерадостный, Гендрик Антон был спокойным и послушным ребенком, но не отличался крепким сложением. С самых первых дней своей учебы в начальной школе он показал себя очень хорошим учеником. Впрочем, ему повезло: у него был замечательный учитель, который дал ему прекрасное начальное образование и которому он на протяжении всей своей жизни был весьма признателен

за этот первоначальный толчок. Тринадцати лет он поступил в современную среднюю школу, которые только что были открыты в Голландии, и был сразу принят в третий класс. Тут у него сразу же обнаружились способности к математике и физике. В 1869 году, 16 лет, он перешел в пятый и последний класс средней школы. Школы такого типа в то время были мало распространены в Голландии, и в классе Лорентца было только три ученика! Один из них, де Йонг, позднее уехал в Голландскую Индию, был администратором на Яве и умер молодым. Второй однокашник Лорентца, Хага, получил вместе с ним высшее физическое образование, стал профессором Гронингенского университета и завоевал некоторую известность в научных кругах, впервые доказав волновую природу рентгеновских лучей. Под руководством квалифицированных учителей, умевших мыслить самостоятельно (преподаватель химии пользовался на уроках атомной символикой, в то время еще далеко не общепризнанной), Гендрик Антон вместе со своими товарищами овладевал основами наук и иностранными языками (поскольку средние школы давали современное образование, греческий и латинский языки не изучались). Очень смышленый, понимающий все с полуслова, Лорентц часто бывал репетитором для своих товарищей и помогал им понять то, что преподаватель иногда недостаточно ясно объяснял. Выдержав выпускной экзамен, Лорентц и Хага решили получить высшее образование и начали готовиться к вступительным экзаменам в Лейденский университет.

Но для того чтобы выдержать эти вступительные экзамены, нужно было сдать экзамен по древним языкам. Поэтому Лорентц был вынужден посвятить восемь месяцев изучению греческого и латинского языков. Несмотря на непродолжительность занятий классическими языками, гибкость ума позволила Лорентцу овладеть этими двумя языками с таким мастерством, что даже сорок лет спустя он еще легко писал стихи на латинском языке. Итак, без труда выдержав вступительный экзамен, в 17 лет он стал студентом Лейденского университета и в 1871 году, лишь через год учебы, что было исключительным случаем, получил диплом кандидата наук с отличием, magna cum laude, как еще выражаются во многих зарубежных университетах. Во время учебы в университете Лорентц жил довольно обособленно, у него было лишь несколько товарищей, с которыми он иногда совершал прогулки, сопровождавшиеся долгими беседами.

Но вскоре им овладело желание вернуться в свою семью в Арнем; ему казалось, что у него не хватает вкуса к работе в коллективе и преобладает влечение к размышлениям в одиночестве, которое, впрочем, сохранилось у него на всю жизнь.

Однако для завершения своего образования он начал второй год обучения в Лейдене, и в этом году произошел случай, который, видимо, имел большое значение для его будущей интеллектуальной ориентации. Библиотека физической лаборатории в Лейдене получала печатные работы Максвелла, но эти работы читались очень мало, потому что в них развивались новые, в то время не общепринятые идеи и, может быть, также потому, что они были насыщены сложными математическими выкладками, сравнительно мало известными в то время физикам; иногда конверты, в которых они приходили, даже не были распечатаны! Молодой Лорентц с энтузиазмом принялся за их чтение и, поскольку ими никто не интересовался, перевез их в Арнем. Ему было 20 лет, когда его гибкий созревающий ум испытал неизгладимое воздействие идей великого английского теоретика.

Вернувшись в свою семью в Арнем, Лорентц получил место преподавателя в вечерней школе, которую посещали лишь хорошо успевавшие по всем предметам ученики. Обучение молодых людей, почти столь же ученых, как и учитель, было довольно легким делом, и у Лорентца оставалось много свободного времени, которое он использовал для подготовки своих последних экзаменов в университете и написания докторской диссертации об отражении и преломлении света в электромагнитной теории, работы, к которой мы еще будем иметь повод вернуться. В 1875 году, защитив диссертацию, он получил степень доктора наук, опять с похвальным добавлением magna cum laude.

Тогда-то голландские университеты начали спорить из-за столь талантливого молодого человека и предлагать ему кафедры. Утрехт предложил ему преподавать математику, Лейден — теоретическую физику. Он предпочел Лейден и теоретическую физику; в этом спокойном университетском городке он прожил с тех пор большую часть своей проведенной в упорном труде жизни. Он начал вести здесь важные исследования, о которых мы будем говорить ниже, и подружился с сыном астронома Ф. Кайзера, молодым человеком его возраста и уже женатым, и в доме этой

молодой супружеской пары он познакомился с двоюродной сестрой своего друга, племянницей астронома, Мессой Кайзер, отец которой, профессор Академии изящных искусств и директор Национального музея живописи, жил в Амстердаме. В 1881 году Г. А. Лорентц женился на Мессе Кайзер и приобрел красивый старый дом в Лейдене, где поселился и долгие годы мирно занимался своими исследованиями.

Очень любя преподавание, Лорентц взял на себя в Лейденском университете большую педагогическую нагрузку. Он не только читал курс теоретической физики, но, чтобы разгрузить своего коллегу и друга Камерлинг-Оннеса, взял на себя часть преподавания экспериментальной физики и вместе с небольшим числом сотрудников организовал учебные практикумы для студентов. Он даже долгое время читал физику для будущих медиков.

Он оказал так много услуг медицинским кругам, что к концу своей деятельности, в 1925 году, по случаю пятидесятилетней годовщины защиты докторской диссертации, получил довольно оригинальное поздравление: ему была присвоена степень доктора медицины honoris causa. Все эти обязанности не мешали ему выпустить в свет много учебников, и даже учебник по дифференциальному и интегральному исчислению для физиков и химиков. Если еще при этом учесть, что в то же самое время он выполнил очень много оригинальных работ на самые трудные темы теоретической физики того времени, то можно себе представить, сколь велика была его работоспособность.

В 1905 году, когда Лорентц стал известным среди ученых всего мира, он получил лестное приглашение от Мюнхенского университета, предложившего ему кафедру на гораздо более благоприятных условиях по сравнению с условиями, которые он имел в Лейдене. Но Лорентц отказался от сделанного ему соблазнительного предложения, будучи сильно привязан к Голландии и к спокойной, уединенной жизни, которую он там вел. Голландское правительство, тронутое такой верностью, решило освободить его от некоторых преподавательских обязанностей, и в 1906 году к нему был назначен помощником профессор Кюнен, ученик Камерлинг-Оннеса.

Через несколько лет Лорентц покинул Лейден и переселился в Гарлем, где получил пост попечителя Музея Тейлера,—должность, примерно аналогичную должности

президента Королевского общества в Лондоне, но он остался экстраординарным профессором Лейденского университета. И даже когда Лорентцу исполнилось 70 лет и он получил законное право на отставку, он договорился, что будет продолжать читать свой курс; он прекратил его читать лишь за несколько недель до своей смерти. Лорентц скончался в Гарлеме после непродолжительной болезни 4 февраля 1928 года, окруженный всеобщим почетом и уважением.

Сделанный мною очерк спокойной и трудолюбивой жизни ученого не дает достаточного представления об огромной научной известности, которой фактически пользовалось его имя: причины этой известности заключаются в глубине и важности его работ по теоретической физике.

* * *

До Максвелла, со времен Френеля, распространение света, как и распространение звука, пытались свести к распространению колебаний, то есть к движению. Но в случае света эта идея натолкнулась на более серьезные трудности, чем в случае звука. Нужно было не только вводить существование гипотетической среды, эфира, который проникал бы во все тела и присутствовал бы в вакууме (свет без труда распространяется в вакууме), но, поскольку Френель показал, что световые волны являются поперечными волнами, нужно было также приписать этому эфиру свойства несжимаемой среды. В таком случае эфир представлялся средой с парадоксальными свойствами, ибо, будучи более твердым, чем сталь, он тем не менее не должен был оказывать сопротивления движущимся в нем телам, например планетам. Особая трудность возникала в теории отражения и преломления света, когда ее хотели вывести из механики, поскольку отсутствие в данном случае продольных волн не позволяло строго записать шесть граничных условий для механического движения на поверхности раздела двух сред, на которой происходят отражение и преломление.

Этой последней проблемой Лорентц занялся в 1875 году в своей докторской диссертации. Он показал, что в теории Максвелла вопрос ставится иначе, чем в старой механической теории света. На поверхности раздела двух преломляющих сред в теории Максвелла, в отличие от механической теории, накладывающей на распространение световых волн

шесть граничных условий, которым невозможно удовлетворить без введения продольных волн, накладываются лишь четыре условия непрерывности для тангенциальных составляющих электрического поля и магнитного поля; этим четырем условиям можно удовлетворить без введения продольных волн, введя лишь поперечные. Конечно, результат Лорентца не позволял еще построить механическую теорию света, но он сводил проблему ее построения к проблеме построения механической теории электричества и показывал преимущества точки зрения Максвелла.

Однако этой первой работы молодого Лорентца было недостаточно, для того чтобы работы оригинального английского ученого стали известными и получили надлежащую оценку; они оставались мало известными и не были в достаточной степени оценены. Как известно, серьезное внимание физиков к теории Максвелла было привлечено работами Генриха Герца. Герц не только придал теории Максвелла более простую и стройную математическую форму, чем та, в которую облек ее автор, но с помощью известных опытов он установил, что электрические колебательные системы излучают электромагнитные волны, свойства которых полностью аналогичны свойствам световых волн, и, таким образом, подвел экспериментальную базу под гениальное предположение Максвелла, согласно которому световые волны являются лишь частной разновидностью электромагнитных волн, соответствуя некоторому интервалу значений длин волн.

Но, несмотря на блестящий успех Герца в разъяснении и подтверждении идей Максвелла, последние в ряде пунктов оставались неполными и мало удовлетворительными. Так, Максвелл вводил для характеристики материальных тел такие константы, как диэлектрическая проницаемость, магнитная восприимчивость, электропроводность, не давая никакого объяснения их происхождению. Он ясно показал, что показатель преломления тела должен быть равен квадратному корню из значения его диэлектрической проницаемости, но это интересное следствие не могло, очевидно, быть строгим, и его можно проверить лишь в том случае, если рассматриваемое тело не обладает дисперсией, то есть если его показатель преломления не зависит от длины волны распространяющегося в нем света. Теория Максвелла не давала никакого объяснения явлению дисперсии, и создавалось впечатление, что нужно было приложить много усилий, чтобы связать электромагнитные и оптические свойства тел

со специфическими особенностями структуры их вещества. Впрочем, можно было надеяться, что такие усилия могли бы дать и ответ на загадку, которая не получила в трудах Максвелла и Герца никакого решения, загадку, которую можно сформулировать следующим образом: если предположить (это вполне естественно), что эфир увлекается при движении тел, то и свет в движущемся теле должен увлекаться телом при движении, но известные опыты Физо по распространению света в движущихся преломляющих телах показали, что по крайней мере в телах, показатель преломления которых близок к 1, свет распространяется в движущихся телах так, как если бы эфир был неподвижным. Все эти трудности и возражения, конечно, были хорошо известны Лорентцу, который, будучи страстным поклонником идей Максвелла, горел желанием полностью их подтвердить, дополнив их в случае надобности введением новых представлений.

Существенная идея, которая возникла тогда у Лорентца, состояла во введении атомистики в рамки теории Максвелла. Убежденный в атомистическом строении вещества, Лорентц пришел к выводу, что этот атомизм справедлив также и в случае электричества, и допустил, что в поля теории Максвелла, понимаемые как простирающиеся в однородном и неподвижном эфире, следует ввести электрические заряды дискретной структуры, которые служили бы источниками полей и подвергались бы их воздействию. Эти идеи оказались в полном согласии со сделанными в то время открытиями в области исследования ионов и катодных лучей. Для обозначения элементарных частиц Лорентц использовал родовое имя *электроны*, которое позднее было закреплено за катодными частицами, то есть за частицами отрицательного электричества. Таким образом, Лорентц назвал дополненную им теорию Максвелла *теорией электронов*.

Конечно, с известной точки зрения идеи Лорентца свидетельствовали о возвращении назад, о некотором отречении от представлений, которыми руководствовался сам Максвелл, так как Лорентц, таким образом, отказывался от построения замкнутой теории электромагнитного поля, поскольку он вводил в это поле электрон как инородное тело. Лорентц сам признавал это, когда писал в 1895 году, разрабатывая теорию электронов: «Впрочем, в предлагаемой мною гипотезе имеется в некотором смысле возврат к старой теории электричества. Сущность представлений

Максвелла остается, но нельзя отрицать, что, допуская существование ионов, мы недалеко отходим от наэлектризованных частиц, о которых прежде рассуждали».

Уточняя эти представления, наш будущий коллега по академии допускал, что все вещество имеет атомистическую структуру и что оно содержит электричество в виде дискретных частиц. Эти частицы способны присоединяться к нейтральным атомам или молекулам вещества, образуя при этом ионы. Атомы, электроны и ионы свободно перемещаются в эфире, и свойства вещества должны зависеть статистически от способа их взаимодействий, а также их взаимодействий с окружающим излучением. В теории Максвелла существенными величинами для описания электромагнитных процессов являются поля, электрическая и магнитная индукция, заряды и электрические токи — величины, которые можно измерить хорошо известными методами, исследуя макроскопические явления. В своей теории электронов Лорентц пытался более тонко описать электромагнитные поля, рассматривая поля, существующие внутри вещества в пустых пространствах, разделяющих наэлектризованные частицы, и даже внутри этих частиц. Лорентц допустил, что при этом строгом описании электромагнитных полей не нужно различать поля и индукции: различие между полем и индукцией возникает в действительности из способа, каким вещество способно реагировать, поляризуясь под действием электрического или магнитного поля, которое на него накладывается извне, причем эта индуцированная поляризация, будучи суммарным явлением, способна проявляться в виде усредненного эффекта в макроскопическом масштабе, но не может существовать в масштабе атомов и электронов. Описанные Максвеллом поля внутри материальных тел, поля, которые, вообще говоря, меняются довольно медленно, по крайней мере в масштабе атомов, по мнению Лорентца, являются лишь «средними» полями: истинные поля — поля, которые существуют между наэлектризованными частицами или в самих частицах, очень быстро изменяются в масштабе атомов, а максвелловские поля представляют лишь их средние значения. То же самое справедливо для зарядов и для токов: тогда как для Максвелла плотность электрического заряда, распределенного по объему материального тела, является непрерывной функцией, иногда даже константой внутри тела, с более строгой точки зрения Лорентца истинная плотность заряда очень

резко меняется внутри наэлектризованного тела, поскольку она ничтожна в промежутках между наэлектризованными частицами, содержащимися в материальном теле, но обладает отличными от нуля значениями и, может быть, даже очень велика внутри этих частиц. Аналогичные замечания справедливы и для плотности тока, поскольку электрический ток не является более непрерывным потоком однородной электрической жидкости, а представляет собою совокупное движение множества наэлектризованных частиц. Итак, Лорентц определил величины (поля, плотности заряда и тока), соответствующие этим представлениям, величины «мелкие» или «микроскопические», заменившие «макроскопические» величины теории Максвелла. Пользуясь смелой экстраполяцией, он допускает, что эти микроскопические величины подчиняются уравнениям, имеющим ту же форму, что и уравнения Максвелла, но в них, разумеется, поле и индукция не различаются. Эта экстраполяция оправдана тем, что, если взять средние микроскопические электромагнитные величины в достаточно обширной области материального тела, в которой обязательно содержится огромное количество наэлектризованных частиц, то автоматически получаются макроскопические уравнения Максвелла, что и должно быть, так как известно, что они точно объясняют электромагнитные свойства материальных тел макроскопического масштаба. И при этом замечательном переходе от микроскопического к макроскопическому средний эффект поляризации вещества требует классического различия между полями и индукциями, проявляющегося в макроскопическом масштабе.

Таким образом, Лорентц получил достаточную математическую основу для своей теории электронов. Тогда он смог легко показать, что его уравнения, так же как и уравнения Максвелла, позволяют доказать сохранение электричества и объяснить с помощью вектора Пойнтинга[1] сохранение и поток электромагнитной энергии; но, тогда как Максвелл получил эти результаты лишь в грубом макроскопическом приближении, соответствующем непосредственным данным наших чувств, Лорентц показал их справедливость и на очень малых расстояниях внутри структур вещества.

---

[1] Вектора Умова — Пойнтинга.— *Прим. перев.*

Начав столь блестяще свой путь, молодой голландский физик почувствовал, что он может идти дальше своих предшественников. Действительно, он располагал в то время четкой картиной происходящего на очень малых расстояниях в недрах вещества и, получив уравнения, которые, видимо, точно описывают эволюцию этих тонких явлений, мог с их помощью детально изучать поведение вещества при прохождении электромагнитной волны или действии внешних полей и определять состояние возникающей при этом электрической или магнитной поляризации. Таким образом, он без труда обосновал введение в макроскопическую теорию диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости, но он пошел еще дальше. Действительно, он счел вполне естественным предположить, что электроны, входящие в состав атомов вещества, находятся в положениях равновесия и что, если их немного вывести из этого положения, они могут колебаться вокруг него. Такому сведущему математику, каким был автор теории электронов, очень легко было вычислить движение электрона под действием падающей электромагнитной волны. Этот расчет позволил Лорентцу найти закон дисперсии в прозрачных телах, вычислить критические частоты и области аномальной дисперсии, уже известные в то время из эксперимента. Правда, старая теория света позволила Гельмгольцу получить такую же форму закона дисперсии, но вывод Лорентца, по-видимому, дал ему основу, гораздо больше соответствующую истинной природе явления, и, кроме того, представлял собой очень интересное электромагнитное истолкование входящих в этот закон констант.

Формула дисперсии, полученная Лорентцем, позволила ему сразу же вывести так называемую формулу Гладстона — Даля, которая связывает показатель преломления рассматриваемого тела с его плотностью, а затем, в порядке приближения, справедливого, когда показатель преломления близок к 1, более простую формулу, полученную еще Лапласом. Но Лорентц понял, что для лучшего согласования с экспериментальными фактами проблему необходимо рассмотреть более строго. До этого он фактически рассматривал только действие падающей электромагнитной волны на каждый электрон, но, поскольку вещество в результате этого действия поляризуется, каждый электрон в действительности подвергается действию не только электрического поля волны, но также и действию электрических полей,

создаваемых всеми маленькими диполями, возникающими как раз в результате поляризации. При условии выполнения некоторых условий изотропии, справедливость которой кажется очевидной в случае аморфных тел, Лорентц показал, что если n обозначает показатель преломления тела, то величина $\frac{n^2-1}{n^2+2}$ должна быть пропорциональна плотности. Эта формула, известная под названием формулы Лорентца—Лоренца, легко проверяется, когда выполняются условия, на которых основывается ее доказательство.

Сейчас я хочу сделать небольшое отступление в связи с довольно забавным эпизодом из истории физики. Почему упомянутая мною знаменитая формула носит двойное название Лорентца—Лоренца? Потому что была получена почти одновременно голландским ученым Гендриком Антоном Лорентцем, о котором сейчас идет речь, и известным датским ученым по имени Людвиг Валентин Лоренц (без т!). Лорентц всегда с улыбкой упоминал об этом совпадении. Он говорил: «Открытие одной и той же формулы в одно и то же время двумя учеными, носящими почти одну и ту же фамилию, является очень любопытным случаем с точки зрения теории вероятностей». Но если исследовать этот вопрос более внимательно, то между творчеством Лорентца голландского и творчеством Лоренца датского можно обнаружить еще некоторые точки соприкосновения. Людвиг Лоренц, родившийся в 1829 году и умерший в 1891 году, был на двадцать пять лет старше Гендрика Антона и в 1860—1870 годах, когда его однофамилец был еще подростком, провел параллельно с Максвеллом очень глубокие исследования в области электромагнитной теории. В ходе одного из таких исследований, в 1867 году, он показал, как нужно интегрировать уравнения распространения электромагнитного поля, введя величины, называемые ныне «запаздывающими потенциалами».

Позднее, развивая свою теорию электронов, Г. А. Лорентц, опираясь на одно доказательство Кирхгофа, также использовал запаздывающие потенциалы, чтобы вывести из наличия и движения электронов электромагнитное поле в окружающем пространстве. Использование запаздывающих потенциалов великим создателем теории электронов привело к тому, что часто явно или неявно ему приписывалось открытие или по меньшей мере применение этого мощного математического средства в случае электромагнит-

ного поля. Эта честь, бесспорно, принадлежит Людвигу Лоренцу, но это нисколько не умаляет славы Гендрика Антона Лорентца, труды которого сыграли фундаментальную роль в развитии современной физики. Что же касается признания приоритета в открытиях, сделанных по некоторым вопросам его датским однофамильцем, то труды датчанина, весьма замечательные и подчас плохо известные, из-за забавного совпадения часто путаются с его, Лорентца, трудами.

Именно с помощью запаздывающих потенциалов нашему покойному иностранному коллеге по академии удалось прекрасно описать испускание излучений веществом. Если один из электронов, которые, согласно точке зрения Лорентца, находятся в атомах вещества, отклоняется от своего положения равновесия и начинает совершать гармонические колебания около этого положения, то, как показал Лорентц, возникает излучение электромагнитной энергии в виде расходящейся сферически-симметричной волны, а частота излучения оказывается в точности равной частоте периодического движения испускающего электрона. Естественно, что, поскольку электрон испускает лучистую энергию, закон сохранения энергии требует, чтобы его движение постепенно затухало. Это затухание должно быть обусловлено силой или реакцией, которую излучение оказывает на испускающий электрон и которая тормозит его движение. Лорентц правильно учел наличие этой «реакции излучения», но для уточнения расчета он должен был ввести довольно произвольные гипотезы относительно строения электрона, что придает этому разделу его теории несколько преходящий характер. Но это, по сути дела, не так уж важно; существенное было показано на основе общих уравнений теории электронов, а именно было показано наличие механизма излучения электромагнитной энергии, основой которого является движение наэлектризованных частиц, входящих в состав вещества, механизма, который казался вполне подходящим для объяснения испускания излучения веществом, в частности испускания света раскаленным источником. Сегодня мы знаем, что полученная Лорентцем картина излучения электроном, строго говоря, совершенно неверна: электрон испускает излучение не непрерывно и равномерно, как полагали тогда, а дискретно, квантами, когда электрон вещества переходит скачком из одного квантового состояния в другое. Действительность оказалась,

таким образом, совершенно не соответствующей взглядам Лорентца. Однако, как показал позднее Бор, развивая свой принцип соответствия, формулы, полученные Лорентцем, продолжают иметь широкое поле применения и, следовательно, весьма полезны. Действительно, если индивидуальный акт испускания излучения электроном является квантовым процессом, совершенно отличным от процесса, рассматривавшегося Лорентцем, то все же, когда в объеме вещества происходит огромное количество квантовых процессов излучения, формулы Лорентца часто довольно точно описывают, статистически и суммарно, распределение и структуру испускаемого излучения. Это имеет место потому, что классическая электромагнитная теория (в виде теории электронов Лорентца) сохраняет свою ценность в асимптотическом случае очень большого числа квантовых процессов, которые она способна объяснять, если речь идет о средних величинах, уравнениями Максвелла, описывающими макроскопические электромагнитные процессы.

Более того, в некоторых индивидуальных квантовых явлениях испускания, которые в принципе должны истолковываться квантовой теорией, оказывается, что квантовая постоянная, постоянная Планка, не входит в окончательный результат и что этот результат оказывается тождественным с результатом в неквантовой теории Лорентца. Счастливой случайности такого рода Г. А. Лорентц обязан и наибольшим успехом в своей карьере теоретика — точным предсказанием нормального эффекта Зеемана, успехом, за который он получил вместе с Зееманом Нобелевскую премию по физике в 1902 году.

Лорентц, допускавший, что испускаемый светящимся источником свет возникает, согласно механизму классического типа, который он изучал, в результате движения электронов внутри источника, заметил, что, если источник помещен в однородное магнитное поле, движение его электронов будет возмущено, а излучаемые им спектральные линии должны измениться. Произведя расчеты, он объявил, что действие магнитного поля, когда оно приложено перпендикулярно направлению распространения света, состоит в расщеплении по частотам каждой спектральной линии на симметричный триплет, причем частота средней линии совпадает с частотой линии в отсутствие поля, а частоты боковых линий соответственно либо увеличиваются, либо уменьшаются по отношению к частоте средней линии на одну и ту

же величину, которая линейно зависит от величины магнитного поля, а также от констант заряда и массы электрона. Это замечательное предвидение было проверено в 1896 году известными опытами соотечественника и друга Лорентца, физика Питера Зеемана, который впоследствии тоже был одним из иностранных членов нашей академии. Опыт Зеемана не только явился, видимо, решающим подтверждением теоретических представлений Лорентца, но и позволил отождествить электроны Лорентца с электронами катодных лучей. Именно тогда был идентифицирован электрон в том смысле, который мы сегодня придаем этому слову; стало ясно, что он играет существенную роль в строении атомов и в испускании излучений веществом.

Нужно заметить, что, как мы уже говорили выше, строгая теория эффекта Зеемана должна строиться с помощью квантовых теорий излучения, и лишь благодаря тому счастливому случаю, что постоянная Планка не входит в конечный результат, последний совпадает с результатом, полученным на основе классической теории Лорентца. Второй счастливый случай состоял в том, что Зееман в своих экспериментах сразу обнаружил нормальный триплет, предсказанный Лорентцем. В действительности лишь в исключительных случаях эффект Зеемана является нормальным, то есть имеет простой вид, описанный Лорентцем. Вообще говоря, действие магнитного поля вызывает гораздо более сложное расщепление спектральных линий, чем классический триплет, и физики долго не могли разобраться в более сложных формах этих «аномальных» эффектов Зеемана, которые встречаются чаще всего, и понять их законы. Как это видно особенно из книги, посвященной теории электронов, Лорентц приложил много усилий для объяснения аномальных эффектов Зеемана, когда узнал об их существовании. Но усложнения, которые он для этого ввел в свою первоначальную теорию, не дали никакого поистине удовлетворительного результата, и лишь гораздо позднее введение в описание электрона нового элемента — спина — позволило понять истинное происхожение аномалий эффекта Зеемана.

Предсказание нормального эффекта Зеемана было не единственным большим достижением теории Лорентца. С ее помощью были найдены формулы Френеля для отражения света от поверхности полупрозрачных тел, построена теория поглощающих сред, теории диамагнетизма, парамагнетизма

и ферромагнетизма, было истолковано множество электрооптических и магнитооптических явлений. Конечно, Лорентц сам весьма во многом содействовал успеху своей теории, но и другие ученые, привлеченные ее успехом, последовали по тому же пути и сделали ряд важных, связанных с нею, исследований. В частности, можно отметить немецкого ученого Пауля Друде и нашего коллегу по академии Поля Ланжевена[1]; раньше мы уже анализировали их замечательные работы, выполненные как продолжение работ Лорентца.

Лорентц много занимался также электропроводностью и теплопроводностью металлов, пытаясь истолковать их с помощью электронной теории. Это истолкование, начатое Друде, привело не только к очень хорошим результатам, но и к ряду трудностей. Лорентц самым строгим образом проанализировал работы Друде, проверил и уточнил его результаты, но не смог устранить все возникшие у последнего трудности, в частности трудности, касающиеся значения константы, входящей в закон Видемана — Франца. В данном случае пришлось ждать появления квантовой теории и, в частности, развития новых квантовых статистик для преодоления некоторых трудностей, возникших в электронной теории металлов.

Г. А. Лорентц работал во всех отраслях теоретической физики своего времени и опубликовал массу оригинальных работ по различным вопросам и учебных пособий. Он занимался кристаллографией, внимательно изучал термодинамику и ее статистическое истолкование. И сегодня еще не утратили своей поучительности его прекрасные доклады о статистической теории термодинамики, которые он сделал в Париже в Коллеж де Франс в ноябре 1912 года и которые были опубликованы на французском языке; они показывают, что Лорентц очень ясно мог излагать самые сложные вопросы. Мы не будем останавливаться на этих второстепенных сторонах творчества Лорентца; мы хотим сейчас проследить, какова была его позиция по отношению к двум новым великим доктринам, которые начиная примерно с 1900 года привели к полному преобразованию теоретической физики: к теории относительности и квантовой теории.

---

[1] См. L. de Broglie, Savants et Découverts, Albin Michel, 1951, p. 233.

Работа Лорентца по электронной теории вещества фактически явилась одной из тех работ, которые больше всего подготовили почву для зарождения релятивистских идей Альберта Эйнштейна. Первый важный шаг в этом направлении был сделан тогда, когда было замечено, что излучению нужно приписывать не только энергию, но и количество движения. Анри Пуанкаре, анализируя и критикуя теорию Лорентца, пришел к выводу, как это видно из его книги «Электричество и оптика», что проделанный Лорентцем расчет испускания и поглощения излучения электронами в принципе не удовлетворяет закону сохранения количества движения, поскольку во время испускания некоторое количество движения как бы исчезает и появляется лишь позднее, в момент поглощения. Пуанкаре сначала считал этот факт серьезным возражением против представлений Лорентца, но потом признал, в соответствии с указанием немецкого физика Макса Абрагама, что можно «спасти» сохранение количества движения, приписав импульс излучению, которое переносит лучистую энергию от испускающего к поглощающему электрону. Это было новой идеей, представлявшей очень большой интерес и оказавшей, несомненно, весьма большое влияние на ход мыслей Эйнштейна; она очень сильно способствовала возникновению у гениального автора теории относительности его фундаментальных представлений об инертности энергии, о квантах света и об энергетическом равновесии при обмене квантами между светом и веществом.

Но невольным, если можно так сказать, предшественником релятивистских представлений сделали Лорентца его исследования проблемы эфира и связанных с ней трудностей. Великий лейденский физик всегда допускал существование эфира, который служил бы основой электромагнитных полей и их распространения. Является ли этот эфир всегда неподвижным или он более или менее полностью увлекается при движении материальных тел, погруженных в него? Опыты Физо по распространению световых волн в преломляющих движущихся телах и формулы Френеля, описывающие их результат, на первый взгляд, казалось, свидетельствуют о частичном увлечении эфира преломляющими телами. Но Лорентц получил формулу Френеля на основе истолкования реакции электронов, входящих в состав движущегося преломляющего тела, на световую волну, которая проходит через него; это позволило ему выдвинуть простую гипотезу о том, что эфир всегда неподвижен.

Но если это так, то весь эфир как таковой должен определять систему отсчета, имеющую абсолютный характер, и с помощью оптических или электромагнитных явлений можно было бы определить движение материального тела по отношению к эфиру. Но опыт ни в коей мере не допускал наличия такого движения. В то время, когда Лорентц начинал свои работы, это отсутствие наблюдаемых эффектов не представлялось существенной трудностью: в самом деле, из изящной теоремы, основное положение которой принадлежало Стоксу, следовало, что если v и c соответственно обозначают скорость материального тела и скорость света относительно эфира, принимаемого за неподвижный, то оптические эффекты, возникающие при движении тела относительно эфира, строго говоря, ничтожны, если ограничиться величинами первого порядка малости, то есть если оставить только члены порядка $\frac{v}{c}$, так что наблюдаемые эффекты были бы только порядка $\frac{v^2}{c^2}$. Итак, скорости материальных тел макромира и даже скорости планет при их движении по орбитам всегда очень малы по сравнению со скоростью света в пустоте, и точность экспериментов, осуществленных до 1880 года, не позволяла надеяться обнаружить оптические эффекты порядка величины $\frac{v^2}{c^2}$. Таким образом, эксперимент не находился в противоречии с теорией неподвижного эфира. Но развитие очень точных интерферометрических методов позволило впоследствии измерять величины порядка $\frac{v^2}{c^2}$. Выдающемуся американскому физику Майкельсону в сотрудничестве с Морли удалось в 1881—1887 годах установить, что, проводя измерения даже с такой точностью, нельзя обнаружить никакого заметного влияния движения Земли по орбите на интерференционные явления, которые можно наблюдать в лаборатории. На этот раз противоречие между теоретическими предсказаниями и фактами стало очевидным. Впрочем, другие эксперименты, чисто электромагнитного характера, например опыты русского физика А. А. Эйхенвальда, подтвердили отсутствие эффектов порядка $\frac{v^2}{c^2}$.

Естественно, Лорентц был очень взволнован подобной неудачей защищаемых им представлений. Ему было не легко придумать выход: можно было бы, очевидно, сослаться на линейный характер уравнений Лорентца и по-

пытаться, как это сделал несколько лет спустя Макс Борн, построить «нелинейную электромагнитную теорию», по отношению к которой линейный электромагнетизм Максвелла и Лорентца представлял бы лишь первое приближение, справедливое в случае слабых полей. Но дорога казалась с этой стороны закрытой, так как в оптических явлениях, где обнаруживается отсутствие ожидаемых эффектов, электромагнитные поля всегда являются очень слабыми. Не зная, каким образом истолковать отрицательный результат Майкельсона, Лорентц, наконец, обратился к оригинальной гипотезе, выдвинутой англичанином Фитцджеральдом, согласно которой любое тело при движении в эфире испытывает продольное сокращение, которое, согласно удивительной предопределенной гармонии, имеет как раз необходимую величину для компенсации эффектов движения. Наш коллега по академии, всегда убежденный в существовании эфира, считал это таинственное «сокращение Лорентца—Фитцджеральда» реальным эффектом, обусловленным нарушением равновесия внутренних натяжений в движущемся теле, вызванным самим движением этого тела относительно эфира. Анализируя эту сложную проблему, как обычно, весьма глубоко и умело, Лорентц пришел к необходимости определения в каждой точке движущегося тела «локального времени», использование которого сильно упрощало вид всех формул, но удобство использования этого локального времени, которое казалось ему лишь математическим приемом, ни в коей мере не поколебало его веру в существование абсолютного времени, которое признавалось всеми учеными со времен Ньютона. Продолжая свои исследования, он показал, что гипотезы сокращения Фитцджеральда и локального времени вели к выводу, что при переходе от одного наблюдателя к другому, движущемуся прямолинейно и равномерно по отношению к первому, уравнения, которым подчиняются электромагнитные явления (и, в частности, оптические явления), для второго наблюдателя получаются из уравнений. справедливых для первого наблюдателя, путем некоторого линейного преобразования пространственных и временных координат. Это преобразование стало сегодня классическим и известно под названием «преобразований Лорентца».

Но автор всех этих результатов, существенная важность которых была показана с течением времени, продолжал истолковывать их классическим образом и в соответствии с привычными для него представлениями. Поскольку он

приписывал сокращению Фитцджеральда физический смысл явления, обусловленного движением тела относительно эфира, он продолжал верить в существование неподвижного эфира, определяющего преимущественную систему отсчета и, следовательно, пространственных координат, и признавать реальность абсолютного времени. Локальное время и системы координат, для которых он установил группу преобразований, представлялись ему лишь вычислительными приемами, позволяющими представить в более изящной и более удобной форме уравнения теории. Оставалось сделать существенный шаг: отказаться от понятия абсолютного времени; отбросить ставшее бесполезным и даже тягостным представление об эфире; допустить во всей его всеобщности как применимый ко всем физическим явлениям принцип относительности, справедливый в механике, согласно которому эквивалентны все системы отсчета, движущиеся не ускоренно, а равномерно и прямолинейно относительно друг друга; наконец, рассматривать все системы координат, связанные преобразованием Лорентца, как совершенно равноправные и определенные для каждого наблюдателя, а также законные для каждого из них понятия пространства и времени, которые он использует для описания физических явлений. Анри Пуанкаре, весьма критический ум которого остерегался априорных идей, таких, как представление об эфире, не раз был на грани решительного поворота к подобной точке зрения; доказательством этого являются те места из его работ, в которых он, подтверждая, а иногда и исправляя результаты Лорентца, показал их большое значение. Но он также принадлежал к поколению, воспитанному на представлениях классической физики, чтобы отважиться на подобный духовный переворот. Решился на него в 1905 году молодой человек 25 лет; звали этого молодого человека Альберт Эйнштейн.

Лорентц со своей удивительной способностью восприятия новых идей сразу же понял важность представлений и расчетов Эйнштейна. Впрочем, он обнаружил в них результаты, хорошо ему известные, поскольку они вытекали и из его собственных работ, например преобразование пространственно-временных координат, о котором мы уже упоминали, и формулу изменения массы электрона с изменением его скорости, характерную для новой динамики, начала которой уже были заложены в его исследованиях и в работах Пуанкаре. Лорентц сделал ряд замечательных докла-

дов, в которых с обычной для него ясностью изложил учение Эйнштейна, многое в нем уточнив. И сегодня, когда мы располагаем большим количеством прекрасных изложений идей теории относительности, сделанных выдающимися учеными, чтение лекций Лорентца, посвященных специальной теории относительности, отредактированных его учеником Фоккером и опубликованных на английском и немецком языках, остается весьма поучительным, особенно в силу очень детального и тесно связанного с результатами экспериментов анализа многочисленных вопросов, весьма тонких и зачастую спорных, возникших на почве идей, весьма далеких от наших повседневных интуитивных представлений. Но если Лорентц мог прекрасно углублять и распространять идеи теории относительности, он, без сомнения, всегда оставался немного сдержанным в вопросе об их интерпретации. Лорентц, несомненно, полностью признавал действенность и практическую полезность математического аппарата эйнштейновской теории, он признавал строгость всех ее выводов, но, казалось, сохранял надежду, что со временем каким-то образом будут найдены в качестве основы этого математического аппарата понятия, лучше согласующиеся, чем понятия Эйнштейна, с понятиями классической физики, служившими ориентиром работ его молодости. Такую позицию часто занимают те, кто значительно продвинул своими исследованиями науку и чувствует, что их превзошли более молодые ученые! Это почти неизбежное следствие способа передачи факела науки от поколения к поколению.

Но если восторженный прием, оказанный нашим коллегой по академии идеям теории относительности, все же был несколько сдержанным, то еще более сдержанно воспринял Лорентц идеи, еще дальше отходившие от идей классической физики, идеи, вошедшие в науку начиная с 1900 года благодаря незабываемым трудам Макса Планка, посвященным излучению абсолютно черного тела и квантам. Лорентц был хорошо знаком с этой грозной проблемой излучения абсолютно черного тела. Путем рассуждения, воспроизведенного в трудах Сольвеевского конгресса по физике 1911 года, он показал, что в полости (Hohlraum, как пишут немецкие авторы), где поддерживается постоянная и однородная температура, каждая стоячая волна со статистической точки зрения эквивалентна гармоническому осциллятору; он знал, что этот метод по-

зволяет найти для распределения энергии по частотам в равновесном излучении известную формулу Рэлея, уже найденную другими авторами и другими методами. Он также показал, что флуктуации энергии в излучении абсолютно черного тела, следующие из закона Рэлея, полностью объясняются как результат случайной интерференции волн, происходящей в полости, причем результат получился вполне удовлетворительным. Но ему было также известно, что закон Рэлея находится в резком противоречии с экспериментальными фактами. Он сам привел простой и разительный пример, заметив, что если бы линейный относительно абсолютной температуры закон Рэлея был справедлив, то серебряная полоска, которая светится, будучи нагретой до 1200° С, должна быть видимой в темноте еще при обычной температуре, что, разумеется, совершенно неверно.

Когда Макс Планк, руководимый своею гениальной интуицией, ввел в физику представление о кванте действия и показал, что оно позволило избежать закона Рэлея и прийти при выводе закона спектрального распределения излучения абсолютно черного тела по частотам к формуле, согласующейся с экспериментом, Г. А. Лорентц ясно осознал важность этого открытия и рассмотрел все аспекты новой идеи. Он ясно, но с сожалением, видел, что появление в науке квантов нанесло представлениям классической физики очень тяжелый удар, но не хотел отказываться от надежды включить их в рамки старых, но более или менее гибких представлений.

Он, видимо, с некоторым скептицизмом встретил распространение представления о кванте действия на различные отрасли физики. Когда в 1905 году Эйнштейн развил свои идеи о квантах света, Лорентц почти не скрывал своего неодобрения, поскольку хорошо чувствовал, что такая гипотеза непримирима с классической теорией излучения, и не решался отказаться в этой области от достижений Френеля и Максвелла. Он без труда показал, что существование квантов света, фотонов, с самого начала представляется непримиримым с явлениями дифракции и особенно (на этом настаивал Лорентц) с появлением дифракционных полос Эйри в астрономических трубах, в которые попадает очень слабый поток света, посылаемый удаленными звездами.

Создатель теории электронов не был неправ, когда заметил наличие больших трудностей на пути примирения фактов, свидетельствующих о волновой природе света, с пред-

ставлением о частице света, вновь введенном в обиход Эйнштейном, и он оказал большую услугу науке, настойчиво сигнализируя о них. Но он был неправ, если думал, что таким образом можно избежать необходимого введения квантования, корпускулярного аспекта, в теорию излучения. Потребовались весьма новые и весьма тонкие представления волновой механики и квантовой физики, для того чтобы мы смогли понять, как нужно разрубить этот гордиев узел.

Лорентц увидел лишь начало этого нового направления квантовой физики, столь резко отличного от направления классической физики. Тем не менее он следил за его развитием с интересом, к которому примешивалось некоторое беспокойство. И именно под его председательством Пятый Сольвеевский конгресс по физике, созванный в Брюсселе в октябре 1927 года, исследовал совокупность появившихся на свет новых взглядов. Он был очень неприятно поражен тем, что новые теории вели к частичному отказу от детерминизма явлений, от строгой локализации в пространстве в любой момент времени микрочастиц, от приписывания этим частицам индивидуальности. Излагая во время дискуссии на конгрессе свое мнение, он сказал следующее: «Картина, которую я хочу создать себе о явлениях, должна быть совершенно четкой и определенной, и мне кажется, что мы можем создать себе подобную картину лишь в рамках представлений о пространстве и времени. Для меня электрон является частицей, которая в заданный момент времени находится в определенной точке пространства, и если у меня возникла идея, что в следующий момент частица вообще находится где-то, я должен подумать о ее траектории, которая является линией в пространстве. И если этот электрон встречается с атомом и проникает в него, а затем после некоторых перипетий покидает этот атом, то я создаю теорию, в которой данный электрон сохраняет свою индивидуальность, то есть я представляю линию, по которой этот электрон проходит через атом». Будучи верным идеалу ученых своего времени, он закончил свое выступление, провозгласив свою веру в детерминизм всех явлений. Невозможно более прямо осудить то истолкование явлений, к которому вслед за Бором и Гейзенбергом постепенно присоединились почти все физики.

Развитие науки на протяжении последующих двадцати пяти лет на первый взгляд осудило точку зрения Лорентца и показало (по крайней мере для случая объяснения фак-

тов микромира), что все основные идеи классической физики должны быть коренным образом изменены. Тем не менее, когда всего три месяца спустя после Сольвеевского конгресса осенью 1927 года Лорентц умер, он оставил после себя огромное наследие, истинное завершение классической физики, которое благодаря общему принципу соответствия в духе Бора не перестало направлять исследования физиков даже в квантовой области.

* * *

Настоящий краткий раздел мы посвятим работам Лорентца, относящимся к вопросу, очень далекому от близких для него проблем, работам, которым он посвятил последний период своей деятельности: вопросу осушения Зёйдер-Зе.

В 1918 году голландское правительство решило изучить вопрос о частичном осушении Зёйдер-Зе, целью которого было превратить в культурные земли часть площади, находящейся под водой этого небольшого внутреннего моря. Для этого нужно было провести большие работы, а для проведения этих работ инженеры должны были выполнить объемистые предварительные расчеты.

Голландским общественным властям казалось, что для руководства выполнением этой задачи полезно пригласить видного ученого, известного своим умением проводить расчеты, и они предложили Лорентцу занять пост председателя комитета, которому было поручено подготовить эту огромную работу национального значения. Для великого физика это было новое поручение; оно могло поглотить значительную часть его времени и повредить его чисто научной деятельности. Он это прекрасно сознавал, но, преданный своей родине и убежденный в большой национальной и экономической важности предложенного проекта, все-таки принял предложение.

Эта новая роль Лорентца была очень важна. Инженеры, входившие в состав комитета, председателем которого он был, не могли выполнить все расчеты, необходимые для того, чтобы предусмотреть все последствия перемещения огромных масс воды Зёйдер-Зе. Использовав все свои познания в гидродинамике, а также во всех прочих отраслях теоретической физики, Лорентц пришел им на помощь и разработал оригинальные методы проведения расчетов. Возникшие перед ним проблемы были очень трудны, поскольку было

недостаточно решить их в общем виде, нужно было учитывать всю совокупность физических и географических факторов. Так, Лорентц должен был учесть влияние зимнего ветра, когда Зёйдер-Зе полностью замерзает. Нужно также было учесть во время приливов и отливов движение морских волн, которые проникают в Зёйдер-Зе и вызывают интерференционные явления; движение волн трудно предвидеть потому, что географические препятствия, о которые они разбиваются, имеют размеры того же порядка, что длины волн.

Для того чтобы решить эти сложные проблемы, Лорентц разработал новые математические методы. Он сам руководил выполнением численных расчетов; в этой трудной работе ему помогали человек двадцать молодых инженеров, привлеченных им для работы. Легко представить, какого напряжения сил требовали эти занятия, далекие от его работ и физика и преподавателя; они являлись с его стороны настоящей жертвой.

Были получены внушительные результаты. Было рассчитано изменение высоты морских приливов и отливов вдоль северного берега Зёйдер-Зе как следствие сооружения плотины; расчеты оказались столь удовлетворительными, что после завершения работ уровень воды отличался от расчетного всего на несколько процентов. Оказалась точно вычисленной интенсивность течения во время отлива в канале Амстелдип, который является одним из главных выходов в море из озера Эйселлмер, в которое сейчас превратилось Зёйдер-Зе. Все ожидали, что эта интенсивность уменьшится после осушения, поскольку в оставшемся озере масса воды гораздо меньше массы воды, которая была в старом Зёйдер-Зе. Расчеты Лорентца показали, что сила этого течения не уменьшится, а возрастет на 25% в результате интерференции волн, входящих в оставшееся озеро, и волн, выходящих из него после отражения от берегов Фриза. После завершения работ неожиданный результат Лорентца был полностью подтвержден наблюдением, и этот успех методов известного ученого вызвал живой интерес в инженерном мире. Осушение Зёйдер-Зе было завершено после смерти Лорентца. Но до этого уже была построена плотина, соединившая северную область Голландии с островом Виринген, и Лорентц мог с удовлетворением констатировать, что изменение перемещений воды, вызываемых действием приливов, отливов и ветра, было осуществлено путем частичной запруды, построенной на основе его расчетов.

Завершение после его смерти гигантской работы по осушению полностью подтвердило точность его предсказаний.

Роль Лорентца в осуществлении этой работы национальной важности показала, насколько вмешательство крупного теоретика может иногда быть полезным в чисто технической области. Подсчитано, что в результате работы Лорентца голландское правительство при осуществлении работ по осушению сэкономило 15 миллионов гульденов, или примерно 1500 миллионов франков. Методы, разработанные Лорентцем, до сих пор используются Водной службой Голландии, кроме того, они используются и в других странах.

* * *

В завершение доклада, посвященного творчеству и личности этого очень крупного ученого, остановимся на характеристике его как человека. Лорентц был среднего роста, с крайне живым и проницательным взглядом. Все, кто его знал, вспоминают о его вежливости, о его исключительной приветливости, его благожелательной улыбке. Он обладал феноменальной памятью, прекрасно знал иностранные языки: он превосходно, как на родном языке, говорил по-английски, по-французски, по-немецки.

Лорентц провел большую часть своей жизни в маленьких голландских городах Арнеме, Лейдене, Гарлеме. Он всегда любил спокойную и семейную жизнь, благоприятствующую непрерывной работе его мысли. Впрочем, он испытывал удовлетворение от общества заботливых сотрудников. Его дочь, де Гааз-Лорентц, сначала была его ученицей, затем стала прекрасным математиком и принимала участие в его работах, чем оказывала ему постоянную помощь. Его зять, де Гааз, который в настоящее время является иностранным членом нашей академии, был после Камерлинг-Оннеса директором криогенной лаборатории в Лейдене; ему принадлежит ряд замечательных работ, известных всем физикам. Лорентц всегда с большим интересом следил за работами, выполнявшимися в криогенной лаборатории, поскольку понимал всю важность для науки области очень низких температур.

В течение всей своей жизни наш уважаемый коллега очень любил уединенную работу в тишине, вдали от шума и людских сборищ. Он считал, что это самая плодотворная работа. Открывая в октябре 1911 года Первый Сольвеев-

ский конгресс по физике, на котором обсуждались все аспекты тогда еще новой и таинственной теории квантов, он говорил: «Каков будет результат настоящего конгресса? Я не осмелился бы его предсказать, не зная, какие сюрпризы нам уготованы. Но, поскольку благоразумно не рассчитывать на эти сюрпризы, я предпочел бы сказать, что, вероятно, сразу мы не добьемся значительного прогресса. Действительно, прогресс науки является скорее результатом индивидуальных усилий, чем размышлений во время конгресса или совещания; и даже вполне возможно, что, пока мы обсуждаем какую-нибудь проблему, какой-нибудь ученый, работающий в уединении на другом краю света, отыскивает ее решение». Это очень мудрое и глубокое высказывание, над которым полезно поразмыслить в эпоху, подобную нашей, когда, видимо, имеется определенная тенденция возлагать чрезмерные надежды на эффективность международных конгрессов и коллективной работы. Коллективная работа, ставшая необходимой во многих исследованиях, конечно, никогда не заменит интенсивных усилий ума, размышляющего в уединении. Самые большие успехи в науке всегда были обусловлены и, конечно, будут обусловлены усилиями такого рода. Вскоре после Сольвеевского конгресса 1911 года молодой человек, двадцати пяти лет от роду, которого никто и не думал приглашать на этот конгресс, поскольку он был тогда совсем неизвестен, Нильс Бор, сделал в физике решительный шаг, показав, как можно понять структуру атома, введя в физику представления теории квантов. И это было замечательным подтверждением глубоких мыслей Лорентца.

В течение всего первого периода своей жизни Лорентц жил в Голландии, он не был знаком ни с одним иностранным физиком. Позднее, став знаменитым, он совершил ряд поездок на конференции за границу и участвовал в международных конгрессах. Его приветливость, прекрасное знание нескольких европейских языков, дипломатический дар, которым он в значительной степени обладал, а кроме того, его возраст и его известность делали его кандидатуру желательной для председательствования на подобных конгрессах. Когда у бельгийского промышленника Эрнеста Сольвея возникла идея регулярного созыва конгрессов по физике и химии для обсуждения актуальных вопросов, Г. А. Лорентцу, вполне естественно, было поручено подготовить конгрессы по физике и председательствовать на них; это пору-

чение он выполнил авторитетно и с усердием. Так, он вел дискуссии на Сольвеевских конгрессах в 1911, 1913, 1921, 1924 и 1927 годах, из которых наиболее важными были, по-видимому, конгресс 1911 года, посвященный исследованию идей Планка и их развитию, и конгресс 1927 года, на котором были сопоставлены идеи основателей квантовой и волновой механик. Незадолго до конгресса 1927 года, состоявшегося в октябре, на озере Комо состоялся конгресс, посвященный столетию со дня смерти Вольта; на нем обсуждались также вопросы, в настоящее время волнующие всех физиков; председательствовал на этом конгрессе также Лорентц. Наш коллега по академии, несмотря на предпочтение, отдаваемое им индивидуальной работе, признавал важность международных связей, особенно по научным вопросам. Это заставило его принять участие в работах Комитета интеллектуального сотрудничества Лиги наций; незадолго до своей смерти он даже стал его президентом, когда Бергсон покинул этот пост по состоянию здоровья.

Лорентц очень любил Францию и французов. Он часто приезжал в Париж для участия в конгрессах или для чтения публичных лекций. Мы уже упоминали о прекрасном изложении им статистических теорий термодинамики, которое он сделал в Коллеж де Франс в 1912 году. Последний раз он приезжал в нашу столицу в конце октября 1927 года по окончании работ пятого Сольвеевского конгресса (напомню, что ему было суждено умереть в начале февраля следующего года). Тогда мы отмечали столетие со дня смерти одного из наших величайших ученых, Огюстена Френеля. Лорентц всегда восхищался Френелем; он лучше, чем кто-нибудь другой, знал, что Френель своей гениальной работой продолжил и завершил построение этой восхитительной волновой теории света, первая идея о которой принадлежит Гюйгенсу, соотечественнику Лорентца, которым он по праву гордился. Выражая уважение иностранных ученых и участников Сольвеевского конгресса к памяти Френеля, Г. А. Лорентц в своей речи, произнесенной в большом амфитеатре Сорбонны, поделился трогательным личным воспоминанием. «Что касается меня,— говорил он,— я могу сказать, что Френель был одним из учителей, которым я обязан больше всего; я припоминаю, что более полвека назад мои средства не позволяли мне приобрести более солидную книгу по физике, чем обычные учебники. Тогда я раздобыл «Полное собрание сочинений» Огюстена

Френеля в издании Эмиля Верде. Когда я прочел введение Верде, мое восхищение и мое уважение к Френелю смешались с чувствами любви и нежности. А какова была моя радость, когда я смог прочесть самого Френеля и изучить его прекрасные и восхитительные работы во всей их простоте!» Прекрасная похвала Мэтру Света от Мэтра Электронов и, без сомнения, всей французской науке!

Господа, я попытался оживить в вашей памяти в течение этого короткого времени образ великого физика современной эпохи и проанализировать главные направления его завещанного нам творчества. Это творчество знаменует, так сказать, успешное развитие и завершение того периода в истории физики, который простирается с XVII по начало XX века и который мы называем «классической физикой». Оно ознаменовало собой начало великого поворота в истории науки и открыло новым поколениям исследователей новые пути, не всегда совпадавшие с путями, которые Лорентц предвидел или о которых мечтал. В известном смысле можно сказать, что картина атомного мира, данная в его теории электронов, оказалась принципиально неправильной, но, с другой стороны, тонкая и, конечно, правильная идея соответствия, введенная Бором, позволяет сказать, что она сохраняет полностью свое значение в качестве направляющей нити и асимптотического представления явлений, в которых участвует большое количество квантов. Так в истории науки часто случается, что идеи, выдвинутые гениальным умом, должны в дальнейшем истолковываться поразному, не так, как их истолковывал он сам; при этом они не теряют своего глубокого значения и решающей роли для прогресса человеческого познания.

Кто смог бы, впрочем, с абсолютной уверенностью утверждать, что квантовая физика не возвратится в один прекрасный день после ряда блужданий к представлениям детерминизма и объективности, поборником которых до самой своей смерти остался Лорентц и которые так хорошо были выражены им в приведенном мною выше высказывании? Разве история наук не дает многочисленных примеров таких колебаний, случающихся с научными теориями?

Во всяком случае, правильно, что на одном из наших ежегодных собраний мы воскресили в памяти образ великого и благороднейшего Гендрика Антона Лорентца, иностранного члена нашей академии, воздав ему должные почести.

ЖИЗНЬ И ТВОРЧЕСТВО ЭМЕ КОТТОНА[1]

Господа!

В 1845 году Фарадей открыл явление вращения плоскости поляризации света в прозрачном теле, помещенном в магнитное поле. Это была великая дата в истории физики, потому что с открытием Фарадея впервые была надежно установлена связь между световыми и электрическими явлениями. Это открытие ознаменовало рождение совершенно новой отрасли физической науки, явившейся в некотором роде пограничной между оптикой и электромагнетизмом и охватившей целый ряд новых явлений, которые вскоре были названы электрооптическими или магнитооптическими явлениями. Что касается области идей, открытие Фарадея дало основание предполагать о существовании глубокого родства между светом и электромагнитными явлениями; оно подготовило гениальный синтез, осуществленный несколько лет спустя Джемсом Кларком Максвеллом, который рассматривал световую волну Френеля как электромагнитное по своей природе колебание; таким образом, вся оптика вошла в качестве отдельной главы в общее учение об электромагнетизме.

Но открытие Фарадея имело гораздо большее значение, которое постепенно выявляется. Оно не только позволило установить электромагнитную природу световой волны, но также и показало, что в веществе существуют наэлектризованные центры, на которые может воздействовать световая волна и которые воздействуют на нее. Открытие всей серии этих замечательных явлений: расщепление спектральных линий, испускаемых источником под действием магнитного поля, свойства двойного лучепреломления, приобретенные изотропными прозрачными телами под

---

[1] Доклад, прочитанный на открытом ежегодном заседании Академии наук 14 декабря 1953 года.

действием магнитного поля или электрического поля, вращение плоскости поляризации света при отражении от ферромагнитного тела и т. д.— раскрыло нам различные стороны взаимодействия световых волн с наэлектризованными частицами вещества. Г. А. Лорентц, следуя по стопам Максвелла, вскоре теоретически проанализировал взаимодействие света с веществом, предполагая, что последнее состоит из наэлектризованных частиц. Экспериментальное обнаружение ионов и электронов явилось прямым подтверждением существенной роли, которую играют в строении вещества наэлектризованные частицы различного рода; эта фундаментальная идея продолжает доминировать во всей современной физике.

В конце прошлого века, воодушевленные новыми перспективами, которые, таким образом, открывались перед наукой, молодые исследователи во многих странах занялись изучением электро- и магнитооптических явлений. В этой интернациональной работе французская школа была призвана сыграть важную роль. Действительно, некоторые фундаментальные открытия в области волновой оптики были сделаны учеными нашей страны: открытие поляризации света Малюсом в 1807 году, открытие вращающей способности у некоторых тел Араго в 1811 году, продолженное работами Био по вращательной поляризации. Разве не Огюстену Френелю мы обязаны построением того замечательного монументального сооружения, каким является волновая теория света? Многие французские геометры и физики внесли в него затем важный и разнообразный вклад. После Френеля вехами в истории оптики XIX века являются известные имена французских ученых Физо, Фуко, Бабине, Жамена, Маскара, Липпмана и других. Менее известны во Франции были те, кто вслед за Фарадеем занялся электро- и магнитооптикой; говоря о них, следует назвать, однако, скромного физика, добросовестного издателя трудов Френеля,— Марселя Эмиля Верде. Хотя он и не являлся членом нашей академии, но ему принадлежит заслуга в деле окончательного установления количественного закона, которому подчиняются явления Фарадея, и с его именем связана фигурирующая в этом законе константа. Следует также упомянуть имена Эдмона и Анри Беккерелей, которые относятся ко второму и третьему поколениям династии Беккерелей-физиков; и тот, и другой внесли важный вклад в изучение вращательной поляризации и ряда смежных вопро-

сов. Известно, что их работы в этой области нашли блестящее продолжение в трудах недавно скончавшегося члена нашей академии Жана Беккереля, четвертого представителя этой блестящей плеяды физиков.

К поколению физиков, родившихся примерно в 1870 году, принадлежал также выдающийся ученый, известный как своими важными научными работами, так и возвышенностью своей души, который сделал в электро- и магнитооптике открытия фундаментальной важности и по праву приобрел мировую известность. Я хочу сказать о члене нашей академии Эме Коттоне, который еще два года назад вызывал наше восхищение и любовь и память о котором навсегда сохранится в наших сердцах. В одном из моих последних докладов я говорил о жизни и творчестве Шарля Фабри. Судьбы Коттона и Фабри были во многом схожими: почти в одном возрасте, связанные узами дружбы, они одновременно заняли две большие кафедры общей физики в Сорбонне и бок о бок сотрудничали в нашей академии. Но в то время как блестящие и обширные работы Фабри были в основном посвящены изучению явлений собственно волновой оптики, работы Эме Коттона, по сути дела, относились к той большой отрасли, в которой оптика смыкается с электромагнетизмом, и были посвящены выяснению вопросов строения вещества, молекул и атомов. Поскольку несколько лет назад с этой трибуны произносились слова, посвященные крупному ученому Шарлю Фабри, было бы несправедливым сегодня обойти молчанием такого крупного, не похожего на Фабри, но не менее привлекательного ученого, как Эме Коттон.

* * *

Эме Коттон родился в г. Буре (департамент Эн) 9 октября 1869 года. Он был сыном преподавателя университета Эжена Коттона, деятельность которого протекала большей частью в том же департаменте. Сыну крестьянина, Эжену Коттону удалось поступить на учебу в начальное педагогическое училище в Буре, и после его окончания он начал свою карьеру преподавателем коллежа в Нантуа. Получив степень бакалавра, он преподавал затем в течение девяти лет в коллеже г. Бура и, продолжая наряду с преподаванием свое образование, в конце концов смог получить должность преподавателя математики в Бурском лицее.

В молодости его постигло большое несчастье: после рождения его сына Эмиля Коттона, который также был членом (членом-корреспондентом) нашей академии, он остался вдовцом с тремя детьми на руках.

Эме Коттон начал свою учебу в Бурском лицее. Это учреждение еще жило славными воспоминаниями о великом Ампере, так как оно являлось переименованным училищем департамента Эн, в котором в дни своей молодости начал свою преподавательскую деятельность Ампер. Но в Бурском лицее не было специального класса математики; поэтому молодой Коттон не мог (вопреки своему желанию) подготовиться к вступительному экзамену в какой-нибудь из крупных институтов. Его отец, желая облегчить учебу двух своих сыновей и дочери, решил покинуть родной департамент и получил должность преподавателя в Клермон-Ферране, в лицее имени Блеза Паскаля.

Эме Коттон любил вспоминать о своих годах, проведенных в старших классах Клермон-Ферранского лицея. Он охотно отдавал должное заслугам своего преподавателя специального курса математики Константена и своего преподавателя физики Изарна; он говорил об их вкладе в свое научное образование. Но он также любил говорить о том, с каким интересом слушал курс лекций молодого профессора философии, позднее ставшего одним из наиболее известных представителей французской мысли, Анри Бергсона.

В августе 1889 года Эме Коттон поступил в Эколь нормаль сюперьёр, но до фактического начала учебы он должен был отбыть год военной службы как солдат второго класса; эту ступень (если можно так сказать) военной иерархии он никогда не мог преодолеть. В Эколь нормаль, научным директором которой являлся Жюль Таннери, его товарищами были Эли Картан, Эмиль Борель, Шарль Морен; все они впоследствии стали членами нашей академии, а его учителями были покойные члены нашей академии Робер Лепьё и Марсель Бриллюэн. Там он познакомился с Анри Мутоном, с которым у него позднее установилось плодотворное сотрудничество, и с Пьером Кюри, блистательный ум которого и глубокие представления о роли симметрии в физических явлениях оказали на него большое и длительное влияние. Кроме того, он слушал в то время курсы уже известных молодых математиков Эмиля Пикара и Анри Пуанкаре.

Получив после года подготовки, о котором он сохранил тягостные воспоминания, звание кандидата наук, он начал в лаборатории физики Эколь нормаль работу над докторской диссертацией.

Эта работа связала его узами дружбы с Жаном Перреном, в то время только что получившим экспериментальное доказательство того, что катодные лучи состоят из заряженных частиц, и с Полем Ланжевеном, тогда только еще начинавшим свою блистательную карьеру.

Еще до защиты диссертации в 1895 году Коттон был назначен лектором Факультета естественных наук в г. Тулузе; там он проработал пять лет. Но уже слава о его первых работах давала основания полагать, что Коттону суждено более высокое назначение. Когда Факультет естественных наук в Тулузе предложил ему должность ассистента профессора, его пригласили заменить Виолля на должности преподавателя Эколь нормаль сюперьёр. И с этого времени в течение более двадцати лет, будучи преподавателем, затем профессором Сорбонны, он никогда не порывал с Эколь нормаль; он энергично направлял лабораторные работы в этом крупном учреждении и своими лекциями и личным примером подготовил большое число учеников, многие из которых ныне являются членами нашей академии. Далее нам представится случай вернуться к выполненным им работам как в области чистой науки, так и в области применения физики для целей национальной обороны; ему пришлось этим заняться в связи с войной 1914—1918 годов.

После окончания первой мировой войны Эме Коттон, которому тогда только что исполнилось пятьдесят лет, был уже известным ученым. Расставшись с Эколь нормаль, он в 1920 году становится штатным профессором Факультета естественных наук в Париже, где возглавляет в течение двух лет кафедру теоретической физики и физики небесных тел, а затем в 1922 году сменяет Габриеля Липпмана на кафедре общей физики; он с блеском занимал эту кафедру в течение почти двадцати лет, до своей отставки.

Он был удостоен премии Пирсона — Перрена в 1907 году и премии Ла Каза в 1918 году, учрежденных Институтом Франции, а 26 ноября 1923 года был избран членом секции Общей физики нашей академии.

Эти признания увенчали ряд замечательных работ, основные черты которых мы хотим сейчас кратко изложить.

* * *

Когда Коттон в 1895 году начал свои первые самостоятельные исследования, то его внимание привлекло прежде всего изучение условий распространения поляризованного света в средах из поглощающего вещества.

С XVII века известно о существовании двойного лучепреломления исландского шпата. Волновой теории света 150 лет спустя удалось благодаря Френелю объяснить, как происходит распространение света в двоякопреломляющих кристаллах. Она показала, что обыкновенный луч и необыкновенный луч, наблюдаемые в этих кристаллах, соответствуют световым волнам, поляризованным линейно и взаимно перпендикулярно, распространяющимся в кристалле с различными скоростями. Было замечено, что для некоторых окрашенных двоякопреломляющих кристаллов, поглощающих свет, обыкновенный луч и необыкновенный луч поглощаются в различной степени. Это явление, получившее название «дихроизм», иногда бывает столь ярко выражено, что одному из лучей удается пройти через кристалл, а другой полностью поглощается. Таким свойством отличается турмалин; поэтому пластинка турмалина может служить в качестве плоского поляризатора.

С другой стороны, в 1811 году Араго открыл явление вращательной поляризации; когда линейно поляризованный свет проходит через некоторые кристаллы, называемые «оптически активными», его плоскость поляризации поворачивается постепенно, по мере распространения света. Волновая теория объясняет это, говоря, что оптически активное тело распространяет с различными скоростями световые колебания, поляризованные по кругу в противоположных направлениях; поскольку прямолинейное колебание можно разложить на два круговых колебания с одинаковыми амплитудами и противоположными направлениями, то из этого сразу следует вращение плоскости поляризации. Молодой Эме Коттон был хорошо знаком с этими классическими явлениями, но, размышляя над ними, он смело поставил вопрос, который привел его к важному открытию. «Если у некоторых двоякопреломляющих тел,— говорил он,— существует различие поглощений, что приводит к дихроизму для двух линейно поляризованных волн, распространяющихся в этих телах с различными скоростями, то почему бы не могло существовать у некоторых опти-

чески активных тел различного поглощения двух волн, поляризованных по кругу в противоположных направлениях, которые также распространяются в этих средах с различными скоростями?»

Этот «круговой дихроизм», к представлению о котором пришел молодой физик и который, как ему казалось, возможно было объяснить на основе теоретических соображений, никогда не наблюдался. Но Коттон был экспериментатором столь же изобретательным, сколь и кропотливым; ему удалось обнаружить это явление при исследовании некоторых растворов окрашенных солей винно-каменной кислоты. Действительно, он установил, что линейно поляризованные световые колебания, проходящие через такой раствор, не просто вращаются, но и превращаются в эллиптически поляризованные колебания, что сразу же объясняет существование кругового дихроизма.

Итак, в возрасте 25 лет будущий член нашей академии открыл новое явление, которое до тех пор ускользало от физиков. Он проявил в этом исследовании очень большие экспериментальные способности, которые позволили ему сразу же не только легко доказать наличие кругового дихроизма весьма простым путем, но и с помощью изящного фотометрического метода измерить по отдельности поглощение лучей, поляризованных вправо и влево, и уточнить, что простая смесь активного вещества и поглощающего вещества не имеет дихроизма, о котором идет речь.

Продолжая дальше свои исследования, Коттон поставил следующий вопрос: не сопровождается ли поглощение колебаний, поляризованных по кругу, в активном веществе аномалиями вращающей способности вблизи частот поглощения. Действительно, известно, что когда в спектре тела имеется полоса поглощения, то для излучений, частота которых близка к частоте полосы поглощения, имеют место аномалии показателя преломления. Эта аномальная дисперсия в тех частях спектра, в которых тело поглощает, наблюдалась уже издавна и нашла удовлетворительное объяснение в различных механических и электромагнитных теориях света. В случае оптически активных поглощающих тел существование кругового дихроизма также должно, как легко видеть, вызывать аномалии в изменении (в зависимости от частоты) вращательной способности тел. Коттон обнаружил эти аномалии для растворов двойных солей винно-каменной кислоты и для целого ряда других окрашенных

растворов. Сравнивая наблюдаемые явления с классическим ходом кривых аномальной дисперсии, которые имеют максимум и минимум вблизи области поглощения и точку отклонения в центре этой области, он показал, что это сравнение полностью объясняет наблюдаемые аномалии вращательной способности и учитывает эмпирическое правило, согласно которому «чем ближе к красному краю полосы поглощения, тем быстрее распространяется менее поглощающийся луч, а у фиолетового края наблюдается обратная картина».

Работы Коттона по вращательной аномальной дисперсии, связанной с круговым дихроизмом, положили начало целому ряду исследований. В частности, двое из его учеников — член нашей академии Эжен Дармуа и покойный Жорж Брюа — нашли позднее в этой области темы для своих докторских диссертаций.

После этой первой и блестящей серии открытий, касающихся кругового дихроизма оптически активных тел, Эме Коттон поставил вопрос, нельзя ли встретить аналогичные явления при изучении распространения света в оптически неактивных телах, помещенных в однородное магнитное поле и обнаруживающих магнитную вращательную способность, открытую Фарадеем. Не может ли вращательная способность, вызванная наличием магнитного поля, иногда также сопровождаться, как и естественная вращательная способность, круговым дихроизмом и аномалиями, соответствующими магнитной вращательной дисперсии?

Несмотря на свое экспериментальное мастерство, член нашей академии сначала не смог обнаружить круговой дихроизм у использованных им окрашенных растворов. Лишь позднее, когда он исследовал совместно с Мутоном коллоидные растворы, ему удалось обнаружить круговой дихроизм у некоторых коллоидных растворов гидроокиси железа. Однако ему удалось ясно продемонстрировать наличие аномальной магнитной вращательной дисперсии, имеющей такие же характерные черты, как и дисперсия растворов с естественной оптической активностью, и ясно свидетельствующей о существовании поглощения лучей, поляризованных по кругу. Наблюдаемые явления, впрочем, могут быть сильно осложнены благодаря эффекту Зеемана, то есть благодаря действию, которое оказывает магнитное поле на поглощающую способность изучаемого вещества. Именно в это время (1896) Зееман только что открыл явление

действия магнитного поля на линии, испускаемые источником; вполне естественно, что внимание Коттона было сразу же привлечено к этому замечательному открытию.

Как известно, эффект Зеемана совершенно отличен от эффекта Фарадея. Он заключается не в изменении условий распространения света в прозрачном теле за счет действия магнитного поля, а в изменении процесса испускания света источником, помещенным в магнитное поле. Он состоит в расщеплении, иногда простом, чаще весьма сложном, линий, испускаемых источником в нормальных условиях, на линии с близкими частотами и вполне определенной поляризацией; это расщепление вызывается действием магнитного поля.

Открытие эффекта Зеемана явилось важным этапом развития современной физики; оно показало, что испускание света источником связано с движением электрически заряженных частиц, составных частей внутренней структуры молекулярных или атомных кирпичиков. Лорентц с помощью своей электронной теории смог предсказать существование этого явления и описать его с помощью формулы, оказавшейся верной в простом частном случае, в случае так называемого «нормального» эффекта Зеемана.

Впрочем, в формулу Лорентца входит отношение $\frac{e}{m}$ электрического заряда к массе электрически заряженной частицы, ответственной за испускание света, поэтому точное наблюдение нормального эффекта Зеемана должно позволить определить величину этого отношения $\frac{e}{m}$. Действительно, вскоре оказалось возможным установить, что величина $\frac{e}{m}$, входящая в формулу для эффекта Зеемана, является величиной, характерной для элементарной частицы отрицательного электричества — электрона. Таким образом, оказался установленным тот важный факт, что электрон является одной из существеннейших составных частей вещества и что испускание света связано с движением электронов в атомах источника.

Приступая к исследованию эффекта Зеемана, Коттон сразу нашел новый и оригинальный метод его обнаружения на основе использования тесной связи, которая всегда существует между испускательной и поглощательной способностями одного и того же тела. Путем термодинамических

рассуждений, ставших классическими, Кирхгоф показал, что если тело способно испускать свет определенной длины волны, то оно также должно быть способно и поглощать его; этот вывод позволил истолковать часто наблюдаемое явление «обращения линий». Коттон много размышлял об условиях применимости закона Кирхгофа и позднее уточнил их в статье, опубликованной в «Ревю женераль де сьянс», следующим образом: «Если тело испускает в определенном направлении пучок лучей, распространяющий колебания с определенным периодом и состоянием поляризации, то оно и поглощает пучок лучей, распространяющий те же колебания в обратном направлении»; далее он аналогичным путем уточнил утверждения Кирхгофа об отношении испускательной способности к поглощающей способности. Ясно сознавая, что, применяя правила Кирхгофа, существенно учитывать состояние поляризации световых колебаний, наш коллега по академии заметил важность этого замечания в применении к эффекту Зеемана. Если при отсутствии какого бы то ни было магнитного поля наблюдают излучение пламени, содержащего натрий, причем излучение проходит через другое пламя, также содержащее натрий, то второе пламя поглощает лучи, испускаемые первым; второе пламя также испускает линии натрия, но при благоприятных обстоятельствах оно сможет испускать их в целом не больше, чем их поглощает, и в излучении первого пламени, наблюдаемом через второе, линии натрия будут выделяться на черном фоне. Тогда оригинальную идею Коттона можно сформулировать следующим образом: если первое пламя поместить в магнитное поле, его линии испускания будут расщеплены за счет эффекта Зеемана на линии с вполне определенной поляризацией, и поглощение этих линий вторым пламенем, расположенным вне магнитного поля, будет несколько иным. Строгое применение правила Кирхгофа позволяет предсказать явления, которые будут при этом наблюдаться. Не входя в подробности очень искусных экспериментов, поставленных нашим коллегой по академии, скажем лишь, что полученные им результаты оказались в полном согласии с его теоретическими предсказаниями. Таким образом, вместо непосредственного наблюдения изменения линий испускания под действием магнитного поля на источник это изменение оказалось возможным наблюдать благодаря обусловленному им обращению линий. Впрочем, можно было бы поступить иначе, поместив в магнитное поле

не первое пламя, а второе. Тогда можно утверждать, что включение магнитного поля привело бы к исчезновению или по крайней мере к частичному обращению линий, наблюдаемых при отсутствии магнитного поля, а это хорошо согласуется с теоретическими предсказаниями. Наблюдение явлений, впрочем, зачастую осложняется тем, что магнитное поле, вызывающее расщепление спектральных линий, порождает также магнитное двойное лучепреломление в используемых пламенах. Но Коттон умел с очень большой точностью анализировать самые сложные экспериментальные явления и четко распутывать сложный клубок взаимно накладывающихся явлений.

Это умение анализировать сложные факты обнаруживается в небольшой статье, которую он в то время (1899) посвятил эффекту Зеемана и которая опубликована в сборнике «Scientia». В ней содержится наряду со скрупулезным разбором всех экспериментальных средств для изучения этих явлений, которыми тогда располагали, глубокое изложение всех очень сложных результатов, полученных различными физиками о различных сторонах явлений Зеемана, которое, как мы сказали, редко имеет простой вид, предсказываемый теорией Лорентца и соответствующий так называемому «нормальному» эффекту Зеемана. Эффект Зеемана, вообще говоря, является аномальным, то есть не объясняемым теорией Лорентца, и очень сложным. Лишь после долгих лет «нащупывания», эмпирического открытия правил Рунге и Престона, затем известной формулы Ланде, наконец, развития теории «спина» электрона физики выяснили проблему, долгое время считавшуюся неразрешимой загадкой. В ту эпоху, когда Коттон писал свою статью, можно было лишь констатировать трудности, ждущие своего решения. Тем не менее, отметив, что сложные явления эффекта Зеемана зависят от спектральной серии, к которой принадлежит наблюдаемая линия, он добавил с присущей ему глубиной: «Мы видим, что изучение этого нового действия магнетизма в будущем, конечно, будет связано с классификацией линий. Без сомнения, оно во многом поможет попыткам разобраться в хаосе, созданном спектрами, состоящими из большого числа линий». И это предчувствие полностью оправдалось при дальнейшем развитии спектроскопии и атомной физики.

Как мы сказали, точное измерение положения расщепленных линий в нормальном эффекте Зеемана (или даже

в некоторых аномальных эффектах, в которых расщепление просто кратно совокупности нормальных расщеплений) позволяет получить значение важной электронной константы $\frac{e}{m}$. В сотрудничестве с Пьером Вейссом, используя большой электромагнит, который только что был изготовлен тогда в Цюрихском политехническом институте, Коттон измерил ширину зеемановского триплета, образованного тремя голубыми линиями цинка. В этом триплете расстояния между линиями в 2 раза больше расстояний, наблюдающихся в нормальном триплете, так что из их значений с помощью формулы Лорентца можно легко получить значение $\frac{e}{m}$ и одновременно проверить, изменяя напряженность магнитного поля, пропорциональность этих расстояний величине поля. Значение, найденное Коттоном и Вейссом в 1907 году, было: $\frac{e}{m} = 1{,}767 \cdot 10^7$ СГСМ. Параллельные работы Кауфманна, Симона и Зейтца дали заметно более высокое значение: $\frac{e}{m} = 1{,}878 \cdot 10^7$. Но позднее было доказано, что все эти три работы имели один и тот же источник ошибок и что значение, полученное Коттоном и Вейссом, является наилучшим. Современное значение $\frac{e}{m}$ очень близко к значению, полученному ими.

* * *

Когда Эме Коттон уже считался одним из виднейших специалистов по магнитооптике, он начиная с 1903 года в сотрудничестве со своим другом Анри Мутоном занялся глубоким изучением коллоидных растворов. У Коттона, который пережил Анри Мутона, остались о нем наилучшие воспоминания. «Универсальный ум,— писал он,— Анри Мутон мог бы быть с таким же успехом математиком или физиком, как и естествоиспытателем, которым он являлся. Он был для меня самым дорогим сотрудником, и оба наших имени часто встречаются вместе в публикациях совместных работ».

Коллоидные растворы представляют собой суспензию частиц в жидкости. Их изучение осложняется тем, что частицы так малы, что их, вообще говоря, нельзя наблюдать в обычный микроскоп.

Для преодоления этой трудности следовало использовать ультрамикроскопы, аналогичные приборам, разработанным Зидентопфом и Жигмонди. Для этого рассматриваемый под микроскопом препарат освещается пучком света, направленным снизу под очень малым углом. Этот пучок, испытывая полное внутреннее отражение на внешней поверхности покровного стекла, не проходит в микроскоп. Поле микроскопа остается, таким образом, темным, но если в препарате содержатся небольшие частички, способные рассеивать в направлении микроскопа небольшое количество падающего света, то частицы будут видны на темном поле микроскопа как звездочки, вообще говоря, движущиеся и имеющие незначительные размеры.

Используя ряд очень искусных приспособлений, Коттон и Мутон разработали усовершенствованную модель ультрамикроскопа и вместе выполнили ряд работ на ультрамикроскопической установке. Они сразу использовали свой прибор для решения некоторых проблем, например для изучения некоторых полос при явлениях интерференции или дифракции, обнаружения расходящихся волн при полном внутреннем отражении, исследования состояния поверхностей и т. д. Но в особенности он сослужил им службу при изучении коллоидных растворов. Изучая гидрозоль серебра, они смогли наблюдать броуновское движение коллоидных частиц и проследить шаг за шагом во всех подробостях и механизм коагуляции. Они также проследили перенос электричества коллоидными частицами, а также сложные явления, возникающие зачастую вблизи стенок, где можно наблюдать движения, направления которых противоположны общему направлению движения. Они сильно расширили наши знания о структуре коллоидных растворов. Они первые предложили называть «мицеллой» электрически нейтральную совокупность, состоящую из коллоидных частиц, имеющих электрический заряд одного знака, и частиц, имеющих заряд другого знака по отношению к окружающему их невидимому носителю. Следует отметить также высказанную ими остроумную идею о прослеживании изменения переменного электрического напряжения путем наблюдения с помощью ультрамикроскопа движения расположенных между электродами заряженных коллоидных частиц.

Но занявшись, таким образом, изучением коллоидных растворов, Коттон не упускал из виду магнитооптику, так

как он знал, что различные коллоидные растворы под действием магнитного поля обладают двойным лучепреломлением, или дихроизмом.

Поэтому явления двойного лучепреломления, или дихроизма, он изучал на коллоидном растворе, известном в фармацевтике под названием «соль Браве». Он полностью отделил явление двойного лучепреломления в этом растворе от побочных явлений и показал, таким образом, ошибочность некоторых иных истолкований. Он точно определил отрицательную вращательную способность коллоидных растворов окиси железа и их круговой магнитный дихроизм. Он смог показать, что их значение существенно зависит от ориентации коллоидных частиц относительно магнитного поля.

В ходе своих исследований Коттону удалось сделать интересное открытие. Он добавил в изучавшиеся жидкости тепловатый раствор желатина и дал ему возможность превратиться путем охлаждения в желе в поле электромагнита. Полученное таким образом желе оказалось намагниченным. Оно вело себя как прозрачный магнит, который заметно сохранил вращательную магнитную способность вдоль силовых линий поля. Наиболее замечательным свойством этого прозрачного магнита было то, что он обладал более стабильным намагничением, чем стальной магнит.

Наш коллега по академии провел также ряд различных исследований «гетерогенных жидкостей», в которых были взвешены небольшие кристаллики. Ему удалось наблюдать и измерить их двойное лучепреломление, их магнитный дихроизм и полностью теоретически истолковать эти факты.

* * *

В процессе своих исследований, выполнявшихся совместно с Анри Мутоном, Эме Коттон в 1907 году обнаружил магнитное двойное лучепреломление абсолютно прозрачных чистых жидкостей. Он открыл новое явление, совершенно отличное от предыдущих, поскольку изучавшиеся жидкости были однородными и совершенно непоглощающими. Таким образом, это явление аналогично явлению электрического двойного лучепреломления, обнаруженному Керром.

Это явление было открыто у нитробензола, который обладает также большим электрическим двойным лучепреломле-

нием. Коттону удалось установить, что магнитное двойное лучепреломление нитробензола является положительным, то есть жидкость, помещенная в поле, ведет себя, как тонкая пластинка кварца, вырезанная параллельно его оптической оси. Далее ему удалось показать с помощью очень сильных магнитных полей, что магнитным двойным лучепреломлением, положительным или отрицательным, обладают и другие чистые жидкости.

Магнитное двойное лучепреломление чистых жидкостей возникает вследствие ориентации молекул в магнитном поле, ориентации, которая стала бы полной, если бы ей не препятствовало тепловое возбуждение. Теория этого явления вполне аналогична теории для объяснения парамагнетизма, как раз в тот же период развитой Ланжевеном; Коттону удалось уточнить некоторые важные моменты этой теории.

Исследования Коттона и Мутона по магнитному двойному лучепреломлению чистых жидкостей, длившиеся шесть лет, были весьма обширными. Сначала они подтвердили, что это явление подчиняется тому же закону, что и двойное лучепреломление Керра, то есть разность хода, выраженная в длинах волн, пропорциональна толщине слоя жидкости, через которую проходит свет, и квадрату напряженности магнитного поля; они даже провели в случае нитробензола измерение абсолютной величины магнитного двойного лучепреломления. Они исследовали зависимость этого явления от длины волны, его дисперсию и нашли, что в данном случае справедлива известная формула Хэвлока. Они доказали также, что магнитное двойное лучепреломление явно уменьшается с возрастанием температуры; в результате изучения температурного поведения, а также изучения дисперсии им удалось констатировать большую аналогию между ходом магнитного двойного лучепреломления и ходом электрического двойного лучепреломления. Большинство этих результатов находится в очень хорошем согласии с теорией двух видов двойного лучепреломления, выдвинутой в то время Полем Ланжевеном.

Коттон и Мутон также исследовали характер изменения магнитного двойного лучепреломления жидкостей в зависимости от их химического состава. Они изучали изменение этого двойного лучепреломления на смесях жидкостей и обнаружили большие отклонения от простого закона аддитивности. По всем этим вопросам они получили много

интересных результатов, в подробности которых здесь не место входить.

Эти работы по двойному лучепреломлению чистых жидкостей привели нашего коллегу по академии к глубоким размышлениям по вопросам симметрии молекул. В ходе своих предшествующих исследований он часто обдумывал глубокие идеи Пьера Кюри о симметрии, идеи, которые сейчас находят широкое поле применения во всех вопросах, касающихся вращательной поляризации. По вопросу симметрии он опубликовал интересные статьи, в которых рассматривал возможность определения элементов симметрии молекул жидкости путем изучения двойного лучепреломления, происходящего в различных направлениях, когда жидкость подвергается одновременному воздействию магнитного и электрического полей. Применяя этот метод в сотрудничестве с Мутоном и Драпье, он получил некоторые результаты, впрочем довольно замысловатые.

* * *

Вскоре после того, как Коттон окончил свои работы по коллоидным растворам и по двойному лучепреломлению чистых жидкостей, разразилась война 1914—1918 годов. Как и многие другие физики, он был вынужден направить свои исследования в практически полезном для национальной обороны направлении. Мы кратко расскажем здесь об этой важной, но довольно частной главе его творчества.

В 1915 году после приглашения, содержавшегося в письме Жолибуа, командовавшего тогда батареей на фронте, Коттон принялся за изучение влияния на стрельбу температуры и давления воздуха, а также некоторых атмосферных условий, например ветра. Совместно с Вессио он составил таблицы и графики для корректировки и вместе с отделением артиллерийской техники военной школы имени святого Фомы Аквинского издал инструкции «для поправок при стрельбе из орудий 75-миллиметрового калибра», которыми пользовались артиллеристы.

Далее ему пришлось заняться важным вопросом определения местонахождения батарей по звуку выстрела. Для их обнаружения прежде всего требовалось измерять короткие интервалы времени. Коттон использовал свое большое умение физика для усовершенствования этого рода измерений, пользуясь хорошо известным прибором — флюксмет-

ром Грассо. На основе сведений, полученных им из армии от наших коллег по академии Данжона, Рибо и Дармуа, он усовершенствовал различные типы использовавшегося флюксметра, а в лаборатории Эколь нормаль с помощью Олливье, Каримея и Диссо он провел их длительную и тщательную градуировку. В ходе этих исследований он осуществлял тесный контакт с Центральной артиллерийской комиссией, с известной Гаврской комиссией и со Службой опытных стрельб Камп де Майи.

Что касается общего вопроса определения местонахождения по звуку, то для решения этой проблемы Коттон объединил свои усилия с усилиями Экланжона, Нордманна, Бореля, Адамара, Брюа, Фортра и т. д., работавших в системе Службы научных исследований для национальной обороны, которая была создана в разгар войны под руководством Поля Пенлеве. Известно, что решение проблемы установления местонахождения орудий по звуку в те времена было сопряжено и с трудностью различения ударной волны и волны, исходящей от дула, которые возникают одновременно при вылете снаряда с большой начальной скоростью. Коттону с помощью соответствующего прерывателя предстояло решить проблему регистрации прихода той или другой из этих двух волн. И здесь еще раз наш коллега по академии при решении тонких проблем проявил умение и изобретательность, приобретенные им в течение длительной практики работы с измерительными приборами и лабораторным оборудованием. Таким образом, во время этого драматического периода он оказал большие услуги национальной обороне.

* * *

Мы только что привели новое доказательство мастерства, с которым Коттон владел техникой эксперимента и измерения. Он отдавал много времени кропотливой работе по созданию экспериментальных установок и приборов для новых и весьма важных измерений. Он сам изготовил из слюды большое количество «четвертьволновых» и «полуволновых» пластинок, которые задавали для двух световых колебаний определенную разность фаз, необходимую для создания колебаний данного типа, поляризованных по кругу или эллиптически. В этих исследованиях ему были нужны установки, позволяющие точно анализировать эллиптически поляризованный свет, и он глубоко изучил эти

устройства и внес в них усовершенствования, для того чтобы они соответствовали поставленной цели. Он изучил полутеневые интерферометры и создал в сотрудничестве с Дюфуром два новых типа таких интерферометров.

Развивая идею Корню, он первым применил оптические растры при фотографировании интерференционных полос. Он изучил эти растры, их свойства, способ их изготовления и в связи с этими исследованиями занялся фотографической регистрацией стоячих волн. Поскольку для получения хороших фотографических растров необходимо точное исследование поверхностей оптическими методами, он также посвятил несколько работ этому исследованию, столь важному для решения оптических и других проблем.

Но наиболее известным из всех его изобретений в инструментальной области осталось усовершенствование им весов для измерения магнитных полей. Он всегда использовал этот прибор для точных измерений магнитных полей, ставший известным под названием «весы Коттона», которые затем были использованы многими другими физиками, и прежде всего Пьером Вейссом, Севом и Пикаром. В этом устройстве измеряется непосредственно, путем уравновешивания грузами, действие, оказываемое магнитным полем на часть прямолинейного и подвижного провода, по которому течет ток и который соединен с коромыслом весов. Если чувствительность весов составляет сотые доли грамма, то можно легко измерить поле с точностью до одной тысячной.

* * *

В течение всей своей долгой деятельности физика Коттон постоянно испытывал трудность в получении электромагнитов, с помощью которых он мог бы создавать достаточно интенсивные магнитные поля. Действительно, с тех пор как возросло значение этих полей, увеличилось число явлений, которые стало возможно с их помощью наблюдать: наблюдение расщепления линий и появляющихся при этом новых явлений уточнило массу важных подробностей. Коттон в Эколь нормаль располагал довольно скромными электромагнитами, и иногда ему приходилось ездить в Цюрих, для того чтобы иметь возможность пользоваться более мощной установкой, созданной там его другом Пьером Вейссом. Но наш коллега по академии давно мечтал построить в Париже или в окрестностях Парижа очень мощный

электромагнит, который позволил бы французским исследователям проводить с помощью сильного магнитного поля дотоле неосуществимые эксперименты. Он много думал по этому поводу, опираясь на свой богатый лабораторный опыт. Он был убежден, что для осуществления плодотворных исследований недостаточно очень сильного поля вполне определенной напряженности; необходимо, чтобы поле было создано в значительном объеме не только для того, чтобы в этот объем можно было вводить установки, которые желательно подвергнуть действию магнитного поля, но также и потому, что величина наблюдаемого явления очень часто существенно зависит от объема зазора между полюсами. Можно привести простой пример: отклонение, которое испытывает заряженная частица в магнитном поле, возрастает пропорционально длине траектории, которую последняя в этом поле проходит.

Наш коллега по академии не переставал настаивать на необходимости создания в Париже большого электромагнита. В своих многочисленных статьях, выступлениях и докладах он с оправданной настойчивостью неоднократно возвращался к этой идее. В 1912 году он добился от Факультета естественных наук и Парижского университета решения о выделении на строительство электромагнита 50 000 франков, преимущественно из фондов, завещанных Коммерси. Наша академия пришла к выводу, что она не может остаться в стороне от этого мероприятия, столь полезного для науки, а ее тогдашний президент Поль Аппель создал из наиболее компетентных членов академии комиссию «для исследования условий, при которых мог бы быть создан электромагнит исключительной мощности». Эта комиссия в марте 1914 года провела ряд заседаний и сопоставила различные проекты, представленные на ее рассмотрение.

Некоторые физики вслед за Жаном Перреном думали, что во избежание огромных размеров и удорожания железного сердечника проще всего было бы создать магнитное поле с помощью катушек без железных сердечников; это оказалось неудобным вследствие того, что через катушки нужно было бы пропускать очень большие токи, что влекло за собой выделение большого количества тепла в соответствии с законом Джоуля. Не будучи в состоянии воспользоваться идеей устранения сопротивления путем перевода проводников в сверхпроводящее состояние, что можно было строго осуществить лишь в больших криогенных лаборато-

риях, например в Лейденской лаборатории, и предполагая уменьшить сопротивление путем охлаждения, Шарль Фабри произвел расчет возможности использования этих катушек без железного сердечника в случае необходимости охлажденных. Расчеты показали, что создание такой установки было бы связано с очень большими трудностями, и от этой идеи быстро отказались.

Академическая комиссия фактически обсуждала два проекта. Первый проект исходил от Пьера Вейсса, который обладал опытом в этом вопросе: ему удалось создать в Цюрихе, где он тогда преподавал, достаточно мощный электромагнит. Вейсс, работая вместе с Коттоном и в сотрудничестве с Огюстом Пикаром, предложил построить электромагнит больших размеров, но классического типа, с железным сердечником и ярмом. Проект предусматривал, что полюсы будут иметь в диаметре около 1 *м*, а в объеме зазора между полюсами, изменяемом от 1200 *см*^{3} до 6 *см*^{3}, может быть создано поле примерно от 17 000 до 60 000 *гс*. В зазор можно было бы ввести добавочные катушки, что позволило бы достичь 80 000 *гс*.

Другой проект был разработан в Медонской обсерватории Деландром и Перо. Предложенный ими электромагнит относился к новому типу. Он состоял из катушек, расположенных в самом зазоре и охлаждаемых с помощью холодильной установки. Авторы проекта надеялись получить с его помощью поле в 100 000 *гс*. Видимо, этот проект был разработан слишком быстро и имел недостатки, а его осуществление было связано с риском.

В ходе очень интересной дискуссии, развернувшейся на заседаниях комиссии, протокол которой хранится в наших архивах, Коттон высказался за проект Вейсса; он рассмотрел вопрос в целом, с весьма общей точки зрения, по привычке настаивая на необходимости создания как можно бо́льших зазоров.

В связи с этим обсуждением строительство установки типа Вейсса было почти предрешено, и благодаря щедрому вспомоществованию нашего коллеги по академии принца Ролана Бонапарта необходимый фонд легко был собран. К сожалению, разразилась война 1914 года, и это предприятие было отложено до лучших времен.

Но Коттон был настойчив и по окончании войны начал «крестовый поход» за создание большой установки. В 1924 году Академия наук, членом которой он стал, взяла

дело ее создания в свои руки и организовала в связи с этим новую комиссию. В принципе было принято решение о строительстве большого электромагнита типа Вейсса; оставалось лишь достать необходимые кредиты и помещение. Принц Бонапарт незадолго до того умер, но организация Пастеровского дня позволила создать довольно существенные фонды, которые должны были быть выделены для поддержки научных исследований. Во главе специальной комиссии, уполномоченной распределять фонды Пастеровского дня, стоял Эмиль Пикар, бывший в то время непременным секретарем нашей академии. Он решил выделить часть средств, находившихся в его распоряжении, для осуществления вышеупомянутого проекта. Что касается вопроса о помещении, то он был решен благодаря любезной инициативе Службы исследований и изобретений, во главе которой стоял в то время наш коллега по академии Ж. Л. Бретон. Эта служба предоставила в распоряжение Академии наук для строительства электромагнита часть обширных помещений, принадлежавших ей в Бельвю. Оставалось приступить к осуществлению проекта, и Эме Коттон благодаря своему упорству начал осуществлять одну из своих самых дорогих идей. Естественно, он был назначен руководителем работ. Ценным сотрудником его в этом деле был Маббу, инженер, направленный физической секцией Национального управления изобретений.

Постановка проблемы создания интенсивных магнитных полей изменилась с тех пор, как П. Л. Капица получил в Кембридже очень сильные магнитные поля (несколько сот тысяч гаусс!) путем пропускания через катушку коротких импульсов очень сильного тока; но такие поля были созданы в весьма небольшом объеме и в течение малой доли секунды. Не к этому стремился в Париже Коттон, который хотел иметь постоянные поля в значительном объеме. Но если работа П. Л. Капицы ничего не давала для решения поставленной проблемы, то другие исследования, а именно исследования Боа и Педерцони, а также Олливье, дали новые сведения, например о преимуществе изготовления наконечников полюсов в форме усеченных конусов, в форме, от которой отказались в первоначальном проекте Вейсса, и сведения о почти полной непригодности оснащения электромагнита ярмом. Коттон и Маббу должны были при создании установки учесть эти новые данные и во избежание неожиданностей тщательно изучили свойства макета разме-

ром в четверть натурального, который был изготовлен в мастерских Управления изобретений. Изучение уменьшенной модели, затем создание самого большого электромагнита, естественно, потребовало значительных усилий и преодоления большого количества трудностей. Одним из препятствий, которое отняло много времени у нашего коллеги по академии, была трудность получения от промышленности в достаточном количестве и по доступным ценам феррокобальта, из которого он хотел изготовить наконечники полюсов, имевших форму усеченного конуса. Наконец, его усилия и упорство увенчались успехом, и он с радостью доложил Академии наук на заседании 9 июля 1928 года о завершении этой большой работы. Благодаря ему, благодаря его умению предвидеть и его настойчивости Франция получила в свое распоряжение одну из самых мощных физических установок во всем мире.

Об этом электромагните много писали, в частности сам Коттон в сообщении академии 9 июля 1928 года, в статье, написанной вместе с его сотрудником Маббу, и в важном докладе, сделанном на Сольвеевском конгрессе по физике в 1930 году, посвященном постоянным магнитным полям. Я ограничусь лишь упоминанием о том, что эксплуатационные данные установки оказались очень близки к данным, предусмотренным проектом Вейсса в 1914 году. Полный вес электромагнита составил 100 *т*, его проводники имели полное сопротивление 0,6 *ома* и представляли собой трубочки, по которым текла охлажденная вода; в нормальных условиях электромагнит потреблял 400 *а* при напряжении 240 *в*, то есть он потреблял мощность 100 *квт*. Число ампер-витков составляло примерно 500 000. Для получения очень большого промежутка использовались плоские полюса диаметром 75 *см*. Для создания еще более сильных полей в промежутке меньшего объема вводились конические полюса. Порядок интенсивности полученных полей совпал с ожидавшимся: благодаря использованию дополнительных катушек оказалось возможным превзойти 70 000 *гс*. Конструкция электромагнита должна была быть очень прочной, так как во время работы сила взаимного притяжения составляла 130 000 *кг*.

Сразу же по окончании отладки новая установка была использована для многочисленных исследований, руководство которыми взял на себя Коттон, пользовавшийся авторитетом, основанным на его опыте и научной известно-

сти. Сразу же, как он и предвидел, были получены весьма важные результаты, обусловленные наличием очень сильных магнитных полей и величиной объема, в котором их удалось создавать. Одним из наиболее сенсационных открытий, осуществленных с помощью этого электромагнита, явилось открытие Саломоном Розенблюмом тонкой структуры альфа-частиц, испускаемых торием C[1] и другими радиоактивными элементами.

Сам Коттон, установив вместе с нашим коллегой по академии Гастоном Дюпюи точное значение полей, создаваемых большим электромагнитом, использовал его сам и в сотрудничестве с Дюпюи или с Шерером для углубленного изучения магнитного двойного лучепреломления, магнитной вращательной способности различных тел или их кругового дихроизма. Он вдохновлял, направлял и комментировал исследования многих своих сотрудников, работавших на этой замечательной установке: Ж. П. Матьё, Лэне, Мохаммеда Ака, Салчяну, Ни Цзы-цзе, Задок Кан... Итак, он увидел осуществление своих надежд, которые издавна связывал со строительством этого мощного экспериментального средства исследований.

Мы не располагаем ни достаточной компетентностью, ни временем, для того чтобы изложить сейчас историю большого электромагнита в Бельвю за истекшие двадцать пять лет и сделать обзор всех работ, выполненных на нем непрерывно сменявшими друг друга отдельными исследователями и коллективами исследователей, имевшими возможность работать на нем в течение не более нескольких недель. Большой электромагнит, двойник которого был вскоре создан в лаборатории низких температур, вместе с Управлением изобретений в Бельвю перешел под начало Национального центра научных исследований. И по сей день на нем выполняются многочисленные работы большого научного значения, и академия может вполне законно гордиться своим электромагнитом, которым она обязана нашему коллеге по академии Эме Коттону.

В заключение добавим, что для пополнения этого единственного в мире центра Национальный центр научных исследований построил в том же помещении постоянный магнит весом 60 *т*, позволяющий проводить исследования строения ядра путем наблюдения спектров альфа-частиц.

---

[1] По современной терминологии висмут 212.—*Прим. перев.*

* * *

С тех пор как Коттон заменил Габриэля Липпмана в должности профессора общей физики, ему пришлось выполнять обременительные преподавательские обязанности в Сорбонне. Он обеспечил частично преподавание общей физики и согласился руководить Лабораторией физических исследований Факультета естественных наук. Он руководил строительством большого электромагнита в Бельвю, а затем стоял во главе использовавшего эту установку коллектива молодых физиков.

Кроме того, что Коттон как профессор очень ценился студентами за ясность и точность в изложении материала, он был вдохновителем и руководителем весьма замечательных исследований. И в Тулузе, и в Эколь нормаль, наконец, в Сорбонне и в Бельвю он не переставал быть вдохновителем работ и руководителем исследований молодежи. Под его руководством было подготовлено очень много диссертаций; многие диссертации были защищены молодыми физиками, которые впоследствии стали преподавателями и многие из которых находятся сегодня среди нас.

Будучи изумительно искусным и необыкновенно изобретательным экспериментатором, наш коллега по академии был для всех своих учеников замечательным инициатором лабораторных исследований. Все, кому посчастливилось работать под его руководством, сохранили самые яркие воспоминания о его таланте экспериментатора. «Вам,— писал Дюпуи,— мы обязаны вкусом к красивым экспериментам, в которых стремление к наблюдению явления во всем его великолепии требует крайнего старания в самых незначительных исследованиях. Мы с изумлением вспоминаем о вашем искусстве экспериментатора. Нужно было наблюдать за вашей работой, для того чтобы узнать обо всем, что можно сделать с пластинками слюды и какую пользу можно извлечь из колпачка авторучки для регулировки зеркал Френеля». Мадемуазель Шено, вспоминая о Севрской школе, писала также: «Я сохранила яркое воспоминание об опытах по поляризации света, которые производили на наблюдателя впечатление совершенства», и далее она добавляет следующую интересную подробность: «Ученики иногда потешались над свойственными Вам жестами; в частности, содержание карманов Вашего сюртука приводило их в изумление. В тот момент, когда на столе не хватало какой-нибудь существенной детали, Вы вынима-

ли из карманов призму, николь, пластинку поляроида, то, что требовалось для завершения эксперимента и что не удавалось достать из-за материальных затруднений».

Поскольку мне уже пришлось упомянуть Севрскую Эколь нормаль сюперьёр, я должен сейчас сказать несколько слов о месте, которое занимало в жизни Эме Коттона это известное учреждение. С этой школой его соединяли родственные узы. Его сестра Мари Коттон, которая была преподавателем в лицее имени Фенелона, окончила Севрскую школу в 1886 году. Другая выпускница школы, мадемуазель Фейтис, была уже известным физиком, когда на ней женился Коттон. Позднее мадам Эжени Коттон блестяще осуществляла руководство Севрской школой. Сам Коттон долго учился в Севре; затем он заменял в чтении курса Жака Перрена во время его путешествий и в то время, когда тот был мобилизован. Он в течение многих лет руководил подготовкой кандидатов наук, и его до сего времени хорошо помнят все выпускники Севрской школы, которым посчастливилось быть учениками этого великого ученого. Связи, которые у него были с Севром, способствовали тому, что он обосновался в этой прекрасной местности Иль де-Франса. Он там жил несколько лет и там окончил свой жизненный путь, все время оставаясь вблизи Бельвю, где находился большой электромагнит, который был ему столь дорог.

Наш коллега по академии достиг возраста, дающего право на отставку, в начале печального периода немецкой оккупации. Он испытал на себе ее жестокие последствия, поскольку в октябре 1941 года был арестован немцами и посажен на месяц в тюрьму Френ, а затем еще раз арестован на несколько дней в 1943 году. Эти гнусные меры вызвали возмущение в научных кругах, поскольку все ученые единодушно испытывали величайшее уважение к его труду и чувства самой живой симпатии к нему как человеку. Наш коллега по академии Кабанн, который принял после Коттона его кафедру в Сорбонне, сохранил воспоминание о возмущении, которое вызвал среди студентов арест их высокочтимого учителя. После освобождения из тюрьмы Коттону пришлось еще неоднократно изведать горестные дни в конце периода оккупации, когда он испытывал беспокойство (увы, вполне оправданное) за себя и за свою семью. В конце 1944 года освобождение страны рассеяло этот кошмар, и Коттон смог в тиши и в обретенной вновь безопасности продолжать свою работу и свои заня-

тия. Он аккуратно присутствовал на еженедельных заседаниях нашей академии и не переставал быть нашим добросовестным и верным сотрудником. Он внимательно следил за всеми новыми результатами в области физики; в частности, в последние годы он очень интересовался работами, посвященными уточнению наших знаний о таких сложных явлениях, которые объединены названиями фотофореза и электрофореза.

В 1946 году он сменил Шарля Фабри на посту представителя Академии наук в Бюро долгот и исполнял свои новые обязанности со столь же скрупулезной аккуратностью, как и другие, обязавшись, в частности, контролировать редактирование части «Ежегодника Бюро», посвященной физике.

С годами научная деятельность Коттона постепенно сокращалась, а 15 апреля 1951 года он тихо угас.

Все, кто знал Коттона, знают, что черты его характера соответствовали его большому таланту физика. Его простота, его доброта, его благожелательное дружелюбие не могли не внушать самой живой симпатии. Он со скрупулезным вниманием относился к выполнению всех своих обязанностей; не было никого, кто был бы добросовестнее, скрупулезнее и беспристрастнее его. Он любил благородные идеи, возвышенные стремления; он страстно желал, чтобы среди людей установились согласие и мир. Конечно, это глубокое желание увидеть осуществление полного взаимопонимания между людьми, в частности между учеными, заставляло его всю жизнь интересоваться развитием и распространением эсперанто.

Эту щедрость сердца Коттона можно было наблюдать и в области его личных взаимоотношений; он всегда проявлял заботу об улучшении условий существования тех, кто его окружал и кого он считал достойными интереса.

Как вспоминал недавно один из его учеников (Жакино), он никогда не жалел своих личных усилий «для устранения несправедливости или облегчения нужды».

Его моральные качества, его естественная прямота заставляли его всю жизнь следовать совершенно прямой дорогой; вся его жизнь была посвящена труду и человеческой солидарности. Таким образом, он оставил нам не только замечательные научные труды, идеи которых еще долго будут разрабатываться, но также и воспоминание о прекрасной и благородной деятельности верного служителя науки.

ЖИЗНЬ И ТРУДЫ ЭМИЛЯ БОРЕЛЯ[1]

Господа!

В такой академии, как наша, которую (увы!) постоянно посещает смерть, бывают утраты, создающие впечатление, что мы понесли невозместимую потерю, образующие в наших рядах почти неустранимую брешь. Такое несчастье пришло к нам в начале прошлого года, когда мы узнали о кончине Эмиля Бореля. В его лице от нас ушел не только великий математик. Кроме того, что он считался одним из величайших ученых нашего времени, кроме того, что он проложил в самых различных направлениях новые и плодотворные пути во всех областях чистой и прикладной математики, он был также человеком возвышенной и страстной мысли, интересовавшимся всеми человеческими проблемами; он был крупным организатором, человеком действия, энергичным реализатором идей. Такая совокупность положительных качеств ума и воли вместе с высокими моральными качествами делала его очень яркой личностью, в чем кое-кто немного сомневался, зная суровость его характера, впрочем больше мнимую, чем действительную.

Эмиль Борель родился 7 января 1871 года в Сент-Аффрик, в Авейроне. Дитя этого сурового района Севенн, где некогда пустила глубокие корни Реформация, он был сыном протестантского пастора, который в свою очередь был сыном ремесленника из Монтобана. Его мать, Эмилия Тейсье-Солье, дочь крупного торговца сукном в Сент-Аффрик, могла бы легко выйти замуж за сына какого-нибудь местного крупного собственника, но она упрямо отказывалась от этого, чтобы иметь возможность последовать своему влечению и выйти замуж за пастора Бореля. Отец госпожи Борель, конечно не очень довольный этим

[1] Доклад, прочитанный на открытом ежегодном заседании Академии наук 9 декабря 1957 года.

браком, уменьшил до возможного предела приданое дочери, но это решение, впрочем, никак не ослабило уз любви, существовавших между отцом и дочерью.

Когда родился Эмиль Борель, его родители проживали в красивом и просторном доме постройки XVIII века, в котором сент-аффрикская консистория селила тогда городских пасторов. Когда Эмиль появился на свет, старшей его сестре было шестнадцать, а младшей — четырнадцать лет.

Обладая очень живым умом, позволявшим ему с самого юного возраста следить за довольно сложными рассуждениями, Эмиль Борель в детстве получал первые уроки от своего отца, человека интеллигентного и образованного. Последний, впрочем, в том же доме, в котором и жил, руководил школой, предназначенной для обучения молодых протестантов округа; в этой школе его сын и получил свое первоначальное интеллектуальное формирование. В возрасте одиннадцати лет Эмиль Борель уехал из Сент-Аффрик и продолжил свою учебу в Монтобанском лицее. В Монтобане он жил у своей старшей сестры, мадам Лебо, которая была замужем за пастором этого города; позднее Борель усыновил ее сына, когда тот осиротел. Через несколько лет он приехал в Париж как студент коллежа Сент-Барб и прошел курс лицея имени Людовика Великого, необходимый для подготовки в Эколь нормаль сюперьёр. Восемнадцати лет, получив первую премию на общем конкурсе, он был принят первым сразу и в Эколь политекник и в Эколь нормаль.

Друзья его семьи, парижские промышленники и торговцы, горячо советовали Борелю выбрать Эколь политекник, доказывая, что с его физическими и умственными способностями легко сделать блестящую деловую карьеру или карьеру в промышленности, добиться прекрасного материального положения и вступить в выгодный брак с девушкой из высших протестантских кругов Парижа. Но Бореля очень влекло к себе научное образование, в особенности математическое, он не придавал большого значения ни роскоши, ни светскому обществу, ни деньгам. С согласия своего отца он выбрал Эколь нормаль.

До поступления в Эколь нормаль Борель должен был отбыть действительную военную службу в Монпелье, но в порядке исключения ему, простому солдату второго класса, разрешили, в силу его уже признанных научных способностей, заниматься в университете того города, в котором он проходил службу. Затем после двух лет учебы в Эколь

нормаль на улице Ульм он в 1892 году выдержал кандидатский экзамен, а в 1893 году, сразу же после окончания и защиты докторской диссертации, был назначен преподавателем в Лилльский университет. После этого очень быстро последовала серия превосходных математических работ, выдвинувших его в число первых математиков того времени.

После возвращения в 1897 году в Париж в качестве преподавателя Эколь нормаль Борель три года, с 1899 по 1902 год, вел в Коллеж де Франс курс Пекко, предназначенный, как вам известно, для молодых ученых (до тридцати лет), работы которых уже привлекли внимание. Когда Борелю было немногим более тридцати лет, он выполнил ряд работ по теории функций и расходящимся рядам, которые позволили считать его выдающимся ученым. Эти работы привлекли внимание нашей академии, присудившей ему ряд своих важнейших премий. В возрасте лишь двадцати семи лет, в 1898 году, он получил Большую премию по математическим наукам, затем в 1901 году премию Понселе, в 1904 году премию Вайяна, в 1905 году премию Пти д'Ормуа.

По мере выполнения им новых математических работ, по мере успешного преподавания в Эколь нормаль, по мере выполнения обязанностей экзаменатора в Эколь наваль с 1901 по 1908 год его любовь к общим идеям, в частности к философским, общественным и политическим вопросам, заставила его расширить поле своей деятельности. В это время, как мы увидим, используя средства, полученные в виде премии Пти д'Ормуа, он основал журнал «Ревю дю Муа».

1909 год был поворотным годом в карьере Бореля. Он был назначен профессором кафедры теории функций Факультета естественных наук в Париже, а в следующем году стал заместителем директора Эколь нормаль сюперьёр, в которой на протяжении десяти лет благодаря своим знаниям и авторитету оказывал влияние на несколько поколений студентов. Ожидалось, что его прием в академию — дело ближайшего будущего. Борель был выдвинут вместе с Адамаром в третьем туре выборов по секции геометрии в 1900 и 1901 годах; в 1912 году он был выдвинут во втором туре вместе с Гурса.

Спустя несколько лет он женился на дочери нашего покойного коллеги по академии Поля Аппеля, известного

математика, современника и соперника Анри Пуанкаре и Эмиля Пикара. В семье, в которую он вошел, он нашел интеллектуальную атмосферу, особенно благоприятную для развития его собственных стремлений. Мадам Борель, ставшая вскоре известной в литературе под псевдонимом Камиллы Марбо, своим влиянием и своими связями создала вокруг своего мужа обстановку, крайне благоприятствовавшую слиянию идей и чувств, характерных для них обоих. Как писал наш коллега по академии Поль Монтель в некрологе, посвященном Эмилю Борелю: «У их очага гармонично соединились два ума, искавшие различных радостей в мышлении и оба пользовавшиеся одним из самых драгоценных человеческих качеств: воображением. Видимо, их взаимное влияние друг на друга придавало ее романам строгость в изложении психологического анализа и последовательности событий, а его научным работам — элемент фантазии и образность».

Итак, к 1914 году, когда в силу совокупности счастливых обстоятельств созрел его научный гений, Эмиль Борель, видимо, приблизился к вершине своей карьеры. И в это время разразилась война 1914 года. В период этого великого катаклизма, мрачное воспоминание о котором сохранилось в памяти всех, кто его пережил, наш коллега по академии принимал активное, смелое и действенное участие в огромной работе по национальной обороне. Как руководитель научных исследований Эколь нормаль, он с горечью видел, что смерть трагически опустошает ряды его учеников, которых он узнал и полюбил и которым пророчил большое будущее; ему самому пришлось пережить личное горе, которое причинила ему гибель его дорогого племянника, одного из студентов Эколь нормаль, Фернана Лебо, ставшего его приемным сыном. Но он был человеком, способным преодолеть свое горе и мужественно выполнять свои обязанности. В то время как мадам Борель самоотверженно ухаживала за ранеными, находившимися на излечении в госпитале Эколь нормаль, Эмиль Борель делил свое время между фронтом, где он командовал артиллерийской батареей и проявил большое мужество перед лицом опасности, и исследованиями, которые он проводил для целей национальной обороны, особенно в рамках Службы изобретений, которая была создана Полем Пенлеве и основным организатором работы которой он был. Он внес значительный вклад в решение важных проблем, связанных с определением местонахожде-

ния батарей по звуку выстрелов, и различных артиллерийских проблем, например корректировки стрельбы, исследования влияния ветра на полет снаряда. Решение этих проблем во многом содействовало успехам нашего оружия.

Вернувшись после перемирия к гражданской деятельности, Борель проводит реорганизацию научных исследований в Эколь нормаль, ход которых был несколько нарушен во время войны. Затем, после завершения реорганизации, он ушел с руководящего поста в Эколь нормаль и посвятил себя руководству новой кафедрой, которую ему предоставили на Факультете естественных наук. Действительно, в 1919 году, после ухода в отставку нашего покойного коллеги по академии Жозефа Буссинека, осталось вакантным место заведующего кафедрой теории вероятностей и математической физики, старинной кафедрой, которую возглавляли в прошлом Ламе и Анри Пуанкаре. Учебное направление этой кафедры полностью соответствовало новому направлению научных исследований Эмиля Бореля. В течение десяти лет, не бросая своих исследований в области математического анализа и, может быть, даже руководствуясь ими, он уделял все больше и больше внимания принципам и методам теории вероятностей — дисциплины, которая занимает особое положение среди математических наук и которая благодаря разнообразию областей применения, начиная с физики и вообще естественных наук и кончая политической экономией и социологией, не могла не привлечь особого внимания со стороны такого пытливого ума, как ум Эмиля Бореля. Отказавшись от кафедры теории функций в пользу одного из своих коллег-математиков, Борель подал на конкурс и стал преемником Буссинека. Он был тем более способен возглавить кафедру, что многие отрасли математической физики, например кинетическая теория газов, теория относительности, были ему хорошо знакомы и, как мы увидим ниже, являлись предметом его размышлений. Он сохранил за собою кафедру теории вероятностей и математической физики до своей отставки в 1941 году, превратив ее в исключительно активный и блестящий учебный и научный центр.

В 1921 году Борель в возрасте пятидесяти лет стал членом нашей академии. Уже в 1919 году секция геометрии выставила его кандидатуру в первом туре, но результаты голосования оказались благоприятными для одного из его конкурентов, Эдуарда Гурса. Двери нашей академии рас-

пахнулись перед ним через два года; таким образом, он получил признание, правда несколько запоздалое, своей замечательной научной работы.

Борелю было суждено дожить до восьмидесяти пяти лет. После избрания в академию Борель прожил большой отрезок жизни, в течение которого, нисколько не прекращая своей исследовательской деятельности математика и мыслителя, он сумел проявить во всей своей силе качества человека действия и большого организатора, которыми обладал, как он это неоднократно доказывал и ранее. К этому второму периоду его жизни я вернусь несколько ниже, а пока я хотел бы вкратце проанализировать его поразительное научное творчество, относящееся к годам его молодости и первому периоду зрелости.

* * *

Научные работы Эмиля Бореля в начале его деятельности относились исключительно к вопросам математического анализа, и сейчас мне трудно их изложить исчерпывающим образом. К счастью, один из наших коллег по академии, преемник Эмиля Бореля по секции геометрии, Морис Фреше намерен посвятить своему предшественнику целый доклад, в котором он рассмотрит подробно, лучше, чем удалось бы это сделать мне, различные стороны замечательного творчества Бореля. Это обстоятельство позволяет мне здесь ограничиться общим обзором.

Как подчеркивал сам Эмиль Борель в одном из своих докладов, математические работы периода его молодости относятся к трем различным разделам анализа: общей теории функций действительного переменного, теории целых функций и теории расходящихся рядов. И в каждом из этих разделов он получил существенный результатат при решении основных вопросов соответствующего раздела: новое определение меры множеств, прямое и оригинальное доказательство известной теоремы Эмиля Пикара и определение суммируемости расходящихся рядов.

Борель много размышлял о самом понятии функции. Его точка зрения по этому поводу была близка к точке зрения Коши и Эрмита, и он был склонен рассматривать функцию как математическую сущность, которую можно было бы полностью вычислить исходя из простых функций с помощью рядов, интегралов, дифференциальных уравнений и т. д. Но он сознавал, что можно принять более абстракт-

ную точку зрения, которая состоит в априорном задании функции как некоторого соответствия; ее не обязательно формулировать в явном виде для того, чтобы понять. Это более абстрактное понятие функции, которого придерживались Дирихле, Вейерштрасс, Риман, расширило и укрепило основы теории функций; следовательно, оно было плодотворным и полезным. Но Борель полагал, что в конечном счете (фактически, если и не формально) эта вторая точка зрения приводила к представлению Коши, поскольку она допускала, правда предполагая гораздо большее разнообразие аналитических комбинаций, чем разнообразие, которым располагал Коши, фактическое построение функций, понимавшихся сначала абстрактно. Подобного рода «математический реализм» побуждал Эмиля Бореля с некоторым недоверием относиться к очень абстрактным теориям Кантора и его учеников и довольно часто в течение его деятельности вынуждал вступать в споры, иногда очень острые, с другими математиками.

Нашему коллеге по академии казалось, что для того, чтобы иметь лучшую возможность сравнивать «добропорядочные функции», которые были дороги Коши и его единомышленикам, и «странные функции», к необходимости рассмотрения которых пришли приверженцы абстрактной школы, желательно внести бо́льшую ясность в теорию множеств, введя в эту теорию новое фундаментальное определение — определение «меры». Это новое определение (и его различные применения) имеет своим источником работы многих геометров, и в частности работы Анри Лебега и его продолжателей. В ходе своих исследований Борель доказал следующую теорему: «Рассмотрим функцию y действительной переменной x, определенной на отрезке $[0,1]$ таким образом, что имеется аналитическое средство построить y, и предположим, кроме того, что функция y является ограниченной; тогда, если даны два сколь угодно ма́лых положительных числа ε и ε', можно найти полином $P(x)$, такой, что точки, в которых разность $y-P(x)$ значительно больше по абсолютной величине, чем ε, образуют множество, мера которого меньше ε'. Другими словами, всякая непрерывная функция с точностью до 2ε эквивалентна некоторому полиному». Говоря о значении этой теоремы, ее автор заявил, что она существенно важна в теории функций действительного переменного, так как она показывает, что особенности этих функций занимают очень мало места.

Примиряя точку зрения Коши с точкой зрения сторонников абстрактного анализа, эта теорема показывает, что если везде разрывные «странные» функции являются более общим видом функций, то все функции, которые можно в действительности определить (в частности, все функции, встречающиеся в приложениях), принадлежат к типу «добропорядочных функций».

Размышления Бореля о функциях действительного переменного, естественно, привели его также и к изучению аналогичными методами свойств функций комплексного переменного. Оно привело его к результату, поразившему всех математиков. Коши построил всю теорию функций комплексного переменного на гипотезе о том, что такая функция должна быть «моногенной», то есть она должна обладать единственной вполне определенной производной в любой точке плоскости комплексного переменного. Позднее Вейерштрасс определил аналитические функции как функции, которые можно представить в виде ряда Тейлора в конечной области комплексной плоскости и которые часто можно аналитически продолжить вне этой области. Отсюда легко сделать вывод, о том, что если две аналитические функции совпадают на дуге конечной кривой в комплексной плоскости, они совпадают во всей области ее существования. После работ Вейерштрасса допускалось, что аналитичность является следствием моногенности и что представление Вейерштрасса, полностью совпадая с представлением Коши, дает более полную и более глубокую картину свойств функций комплексного переменного. Тогда Эмиль Борель, изучив с присущей ему проницательностью один частный случай, показал, что функция может быть моногенной в некоторой области комплексной плоскости, *не будучи аналитической*, и что этого достаточно для определения ее во всей области. Таким образом, не аналитичность, а моногенность является существенной чертой функций комплексного переменного, которая одна обеспечивает их единство. И поскольку Борель всегда испытывал чувство глубочайшего восхищения гением Коши, он был особенно горд доказательством того, что именно великий французский геометр первым ввел самое глубокое определение функций комплексного переменного. В ходе своих исследований он ввел понятие «квазианалитических функций», впоследствии получившее дальнейшее развитие. Впрочем, он в течение более чем двадцати лет анализировал и сравнивал

понятия моногенности и аналитичности, прежде чем подвел итог своим работам на эту тему в монографии, к которой мы еще вернемся ниже.

Как специалист по теории функций, Борель, естественно, занялся изучением функций простого типа, а именно целых регулярных функций для любого конечного значения переменной. Именно в этом направлении ему удалось добиться нового успеха: он дал прямое доказательство основной теоремы Эмиля Пикара. В 1880 году Пикар несколько косвенным путем, используя введенное Эрмитом понятие модулярной функции, смог доказать, что однозначная функция вблизи существенно особой точки принимает бесконечное количество раз всевозможные значения, кроме двух.

Из этой основной теоремы он получил другие аналогичные теоремы и различные следствия. Например, для целой функции одним из значений, которые она не может принимать, является бесконечность; следовательно, целая функция не может принимать еще только одно значение. В частности, если целая функция не принимает значения, равные нулю и единице, то она является константой. В 1896 году в возрасте двадцати пяти лет Эмиль Борель дал прямое доказательство этой теоремы, решив, таким образом, проблему, сложность которой в течение двадцати лет являлась непреодолимой для всех математиков. Эмиль Пикар, делая сообщение в академии о доказательстве Бореля, выразил свое восхищение этим результатом. Эта работа, открывшая новые пути, позволила самому Борелю и другим специалистам в области анализа углубить теорему Пикара и подтвердить ее исключительную важность.

На третьем пути Эмилю Борелю также удалось получить замечательные результаты; я имею в виду его исследования в области расходящихся рядов. Вообще говоря, расходящиеся ряды казались практически совершенно бесполезными, поскольку при суммировании их получалась бесконечность. Но уже некоторые математики, например Пуанкаре и Чезаро, показали, что, используя соответствующие приемы, некоторые расходящиеся ряды можно сделать полезными. Эмиль Борель очень глубоко исследовал этот вопрос и указал, в частности, метод экспоненциального суммирования расходящихся рядов, который назван его именем. Он показал также, что в некоторых случаях можно

точно вывести путем разложения формально расходящегося ряда, удовлетворяющего некоторому дифференциальному уравнению, интеграл этого уравнения.

Мне хотелось бы на этом закончить разбор собственно математических работ Эмиля Бореля. Кроме теории вероятностей, о работах в области которой мы упомянем ниже, он исследовал (и всегда глубоко и проникновенно) много других вопросов не только из области анализа, но также из области геометрии, арифметики и алгебры. Полный обзор его творчества также значительно вышел бы за рамки настоящего доклада, да, впрочем, я и не обладаю для этого достаточной компетенцией.

Но мне нужно упомянуть о том, что Борель, всю жизнь интересовавшийся преподаванием математики, даже элементарной математики, хотел написать ряд работ, посвященных теории функций, реформатором которой он явился. Серия «Монографии по теории функций», изданная фирмой Готье-Вилар, состоит из работ, в которых в той или иной форме развиваются идеи нашего знаменитого коллеги по академии. Эти работы в целом делают честь французской математической мысли. Естественно, Эмиль Борель сам явился автором многих наиболее важных монографий. Одна за другой появились принадлежащие его перу работы: сначала фундаментальная работа, озаглавленная «Лекции по теории функций», затем монографии, посвященные целым функциям, расходящимся рядам, мероморфным функциям, функциям действительного переменного, рядам с положительными членами, теории возрастания, методам и проблемам теории функций.

В 1917 году в этой серии под редакцией ныне здравствующего нашего коллеги по академии Гастона Жюлиа появились «Лекции по однородным моногенным функциям комплексного переменного», в которых Борель подвел итог двадцатилетних исследований, посвященных вопросам моногенности и аналитичности, о которых мы говорили выше. В целом серия, созданная Борелем, является великим памятником духовной культуры.

* * *

Как уже упоминалось, начиная с 1908 года Борель, не прекращая своих исследований в области анализа, все больше и больше стал интересоваться теорией вероятностей

и ее приложениями. Между теорией множеств и теорией функций, с одной стороны, и теорией вероятностей, с другой стороны, существует глубокая связь. Как писал сам Борель, «всякий успех, достигнутый в теории меры множеств, был в то же время успехом в теории непрерывных вероятностей».

Таким образом, в результате процесса, который был сначала, по мнению Бореля, почти бессознательным, его научные интересы распространились на область теории вероятностей и математической физики. В эту еще новую для него отрасль он внес массу оригинальных идей, например идей относительно объяснения очевидного парадокса, состоящего в представлении необратимых термодинамических явлений с помощью обратимых механических явлений. Он внес в решение этой проблемы, которая обсуждается и по сей день, новые тонкие и глубокие идеи. Этапы этой новой ориентации его исследований можно проследить по его нескольким превосходным курсам, глубоко содержательным статьям в «Докладах академии», написанной на высоком научном уровне популярной книге, озаглавленной «Случай» и опубликованной в 1914 году. Далее, он вполне естественно начал анализировать все многочисленные физические теории, в которых используется теория вероятностей, в частности статистическую механику и ее простейшую форму — кинетическую теорию газов. От них он перешел к другим теориям математической физики, в частности к теории относительности, которая тогда находилась в расцвете своей молодости и была тесно связана с наиболее общими понятиями геометрии. Он с большим мастерством уточнил их и подверг критическому разбору. Он глубоко рассмотрел всю совокупность проблем, связанных с теоретической физикой, в своем курсе, прочитанном в Сорбонне, в книге, изданной фирмой Готье-Вилар, под названием «Геометрическое введение в некоторые физические теории», а также в работе более философского характера «Пространство и время», опубликованной в 1922 году.

А поскольку по своему характеру он был человеком действия и всегда хотел доводить до конца свои начинания, он предпринял издание большого «Курса теории вероятностей и ее приложений», состоящего из многих томов, которые все были написаны виднейшими специалистами. Сам он написал первый том, озаглавленный «Классические начала и формулы теории вероятностей», в котором дал более

глубокий и более общий обзор, чем в написанной им за несколько лет до этого книге, прекрасной для первого знакомства с предметом и изданной фирмой Эрманн под названием «Элементы теории вероятностей». Затем, в рамках того же курса, он написал два тома: «Приложения (теории вероятностей) к арифметике и к теории функций» и «Классическая статистическая механика». Этот последний том, в сущности, являлся курсом его лекций, отредактированным нашим коллегой по академии Жаном Перреном, который сам написал один из последующих томов—«Квантовую статистическую механику». Наконец, когда издание этого большого курса подходило к концу, Эмиль Борель посвятил предпоследний том «Приложениям к азартным играм», а последний, завершающий, был посвящен теме «Практическое и философское значение теории вероятностей».

В предпоследнем из указанных томов он подвел итог своим длительным исследованиям в области азартных игр—предмета, который его живо интересовал. Ему принадлежат многочисленные статьи на эту тему и даже небольшая книга «Математическая теория игры в бридж в общедоступном изложении», написанная совместно с Андре Шероном. Но как и во всех своих исследованиях, он внес в теорию игр смелые и оригинальные идеи. Вот как наш коллега по академии Морис Фреше характеризует его роль в развитии этой отрасли: «До него ограничивались рассмотрением игр, в которых ход игры определялся случаем, а не игроками: игры в орла и решку, игры в кости и т. д. Борель попытался найти математическую формулировку игр, ход которых определяется также умением игроков. Ему удалось установить систему гипотез, которая, с одной стороны, является основанием для схемы расчета, а с другой — весьма разумной «моделью» того, что происходит в действительности».

Несколько лет спустя фон Нейман почти полностью повторил идеи Бореля и развил их дальше, так что теория игр, понимаемая в этом смысле, стала одной из важнейших отраслей теории вероятностей, но приоритет Бореля в данном случае неоспорим, поскольку, начиная с самой первой из его статей, посвященных этому вопросу, он отмечал, что существо этой проблемы значительно шире теории азартных игр и что ее результаты найдут применение в психологии, военном деле и политической экономии.

Характеризуя деятельность Эмиля Бореля, мы остановились на том периоде времени, когда, став членом Института Франции, он, не прекращая своих научных работ, в полной мере проявил себя как человек действия и организатор. Но сначала нужно напомнить, что он уже и ранее проявлял большую активность в различных областях, не относящихся к естественным наукам.

Человек большой культуры, любивший заниматься исследованиями во всех отраслях человеческой мысли, он интересовался не только естественнонаучными, но и философскими, общественными и политическими вопросами. Так, когда в 1905 году он был удостоен премии Пти д'Ормуа, которая составляла значительную по тем временам сумму — 10 000 франков, он решил, с согласия своей супруги и к удивлению членов своей семьи и друзей, пожертвовать эту сумму для основания журнала. Этим журналом явился «Ревю дю Муа», который выходил регулярно до конца первой мировой войны. В редакционную коллегию «Ревю дю Муа», кроме самого Бореля, входили Ноэль Бернар, Морис Коллери, Эме Коттон, Жюль Драк, Жак Дюкло, Жорж Дюма, Поль Ланжевен, Робер Лепьё, Жан Перрен, Эли Картан. «Ревю» содержал редакционные статьи и, в разделе ежемесячной хроники, критические обзоры других журналов, книг и даже театральных постановок. Журнал пользовался очень большим успехом в кругах интеллигенции. В нем сотрудничали Альфред Круазе, Фернан Грег, Феликс Ле Дантек, Жан Валь, Гюстав Лансон, Жюль Берто, Альфонс Сеше, Ж. А. Рони старший, Эдуард Эррио, Леон Блюм, Анри Пуанкаре, Анри Бергсон и многие другие. В течение всех пятнадцати лет Эмиль Борель со своей супругой принимали сотрудников «Ревю» в довольно просторной квартире на бульваре Араго; в ней они тогда жили вместе со своим приемным сыном Фернаном Лебо, и из нее они переселились в 1911 году в Эколь нормаль.

Этот интеллектуальный центр «Ревю дю Муа» оказал очень большое влияние на развитие идей Эмиля Бореля, который всегда любил общаться с людьми, интересующимися общими вопросами. Это также объясняет дружбу, связавшую его несколько лет спустя с Полем Валери.

Будучи всегда занят социальными и политическими проблемами, чувствуя себя человеком действия и организа-

тором, Борель был, естественно, увлечен идеей участия в политической жизни. Он был мэром в Сент-Аффрик, генеральным советником в Авейроне, в 1924 году он был избран депутатом в парламент и был им в течение двенадцати лет, до 1936 года. Он играл в парламенте важную роль, несколько месяцев был министром военно-морского флота в кабинете Пенлеве. Долгое время он был членом финансовой комиссии палаты депутатов, которая очень считалась с его советами. Но, как писал Поль Монтель, он был «политическим деятелем, сохранившим в своем сердце любовь к науке и желание служить ей». Он голосовал за предоставление для научных исследований небольших отчислений от платы за обучение, и этот «лабораторный грош», как называли эту добавку, сослужил большую службу в развитии оснащения нашей науки. Свое пребывание на посту министра военно-морского флота он использовал для того, чтобы присвоить важнейшим военным кораблям имена великих ученых.

В этот период жизни, когда Борель мог в полной мере проявить себя как организатор и администратор, он был главным инициатором создания Института имени Анри Пуанкаре. В начале 1926 года крупный американский ученый Джордж Д. Биркгофф выразил нашему коллеге по академии Полю Монтелю свое желание создать в Париже Исследовательский центр по математической физике с помощью Рокфеллеровского фонда. Состоялось собрание, на котором этот проект обсуждался. Эмиль Борель сразу же проявил интерес к этому проекту, так как знал, что в области математической физики французская наука, столь блиставшая в начале XIX века — в эпоху Лапласа, Ампера, Френеля, Фурье, Сади Карно, Пуассона, Коши и Ляме,— отчасти лишилась того ведущего места, которое она в свое время долго занимала. Благодаря настойчивости Бореля и его организаторским способностям проект был быстро утвержден. Щедрость Ротшильда помогла изыскать французские фонды, которые, согласно условиям конвенции, должны были быть равны американским субсидиям, и осенью 1928 года новый институт академии, Институт имени Анри Пуанкаре, был торжественно открыт под председательством Раймона Пуанкаре, двоюродного брата знаменитого ученого. Раймон Пуанкаре тогда был премьер-министром.

Как руководитель кафедры теории вероятностей и математической физики, Борель уточнил, что новый институт должен заняться исследованиями в области теории вероят-

ностей, математической и теоретической физики. Входя в состав Факультета естественных наук, новое учреждение тем не менее обладало некоторой автономией, имея свой штат преподавателей, свою библиотеку, свои аудитории и до некоторой степени свой бюджет. Кафедра теории вероятностей и математической физики, которую все время возглавлял Эмиль Борель, была присоединена к новому институту, но в ее штат была добавлена должность старшего преподавателя, которую первым занял наш коллега по академии Морис Фреше. Кроме того, были добавлены две должности преподавателей теоретической физики. Эмиль Борель настойчиво выделял (и, по нашему мнению, не без оснований) математическую физику, которая стоит у колыбели существующих математических теорий и стремится придать им как можно большую строгость, и теоретическую физику, целью которой прежде всего является построение наглядных картин и истолкование физических явлений. Последняя главным образом стремится ввести необходимые для этого понятия и получить из них следствия, не заботясь о чрезмерной строгости рассуждений. Именно потому, что теоретическая физика, понимаемая в таком смысле, почти не преподавалась в то время во французских университетах, Эмиль Борель настоял на создании отдела физических теорий, состоящего из руководителя кафедры и старшего преподавателя, включенных в состав нового института. Заведующим кафедрой физических теорий стал Леон Бриллюэн, который занимал эту должность лишь в течение нескольких лет. Автор настоящего доклада не забыл ту благожелательность, которую в свое время проявил к нему Борель, предложив ему выдвинуть свою кандидатуру на только что учрежденную должность старшего преподавателя физических теорий. Он же способствовал одобрению этой кандидатуры Факультетом естественных наук. К концу 1928 года Институт имени Анри Пуанкаре, идея создания которого возникла в ходе беседы Биркгоффа с Монтелем, стал, конечно благодаря щедрым пожертвованиям, а также настойчивости и организаторским способностям Эмиля Бореля, замечательной реальностью; с тех пор деятельность института развивалась с каждым годом. Следует, впрочем, добавить, что Борелю в период строительства и организации нового института постоянно помогал наш коллега по академии Шарль Морен, бывший тогда деканом Факультета естественных наук.

Вторым крупным учреждением, в создании которого принимал участие Эмиль Борель, может быть менее непосредственно, но весьма действенно, был Национальный центр научных исследований. Борель, как и многие университетские преподаватели, был убежден в необходимости создания крупного центра научно-исследовательских работ, снабжающего исследование необходимыми материальными ресурсами и обеспечивающего исследователям приличные условия жизни, не навязывая им никаких преподавательских или административных обязанностей. Он весьма энергично поддерживал своего друга Жана Перрена, когда тот взялся укрепить Национальный научный фонд, а затем преобразовать его в Национальный центр научных исследований. Всем известно, какое место в научной жизни Франции занимает сегодня НЦНИ.

Будучи директором Института имени Анри Пуанкаре, Эмиль Борель лично руководил исследованиями в области теории вероятностей и ее применений, например, в статистике. Он вырастил в его стенах многих учеников, которым посчастливилось извлечь для себя пользу из его опыта и мощи его ума.

Все более и более обращая внимание на конкретные исследования, он смог развернуть во Франции исследования в области статистики. Борель был председателем Статистического общества в Париже, одним из основателей Института статистики и председателем Совета управления этого института. Борель был также одним из активных членов Международного статистического института, в котором сотрудничал до конца своей жизни.

Впрочем, его деятельность была почти неограниченной. Он был членом Совета Факультета естественных наук, Совета Парижского университета, Высшего совета по народному просвещению и его Постоянной секции. И везде он пользовался авторитетом, на который ему давали право его ум и воля.

Когда в сентябре 1939 года Франция оказалась ввергнутой во вторую мировую войну, начала функционировать под руководством Анри Лоншамбона, бывшего в то время директором Центра прикладных научных исследований, Организация исследований, необходимых для национальной обороны, подготовка к работе которой велась еще в мирное время. Институт имени Анри Пуанкаре был одной из ячеек (впрочем, тоже подразделенной на несколько отдельных

служб) этой организации. Эмиль Борель, естественно, был ее директором. Те, кому посчастливилось работать тогда для дела национальной обороны под руководством Бореля, не забыли, с каким авторитетом, с какой энергией и с каким глубоким пониманием происходящих событий он направлял работу этой организации. Были начаты интересные исследования, и были получены многообещающие результаты. Конечно, все эти усилия привели бы к важным достижениям, если бы стремительный ход событий преждевременно не положил им конец.

В январе 1940 года, в спокойный период «странной» войны, был отмечен юбилей Эмиля Бореля, которому тогда пошел семидесятый год, приближавший время его отставки. Это была трогательная в своей простоте церемония, проходившая в период, когда над страной нависла угроза. Председательствовал на юбилее Ивон Дельбо, бывший тогда министром национального образования. Все присутствовавшие—коллеги по академии, по работе, друзья и ученики Эмиля Бореля — единодушно почтили того, кто на протяжении полувека и в области мысли, и в области действия столь самоотверженно служил французской науке и французскому высшему образованию.

Затем наступили трагические события мая 1940 года. В оккупированном Париже Борель подал в отставку, не переставая, как мы увидим ниже, трудиться и писать. В 1941 году он был арестован немцами и на некоторое время заключен в тюрьму Френ. Эта чудовищная мера вызвала возмущение во всех научных кругах. После освобождения из тюрьмы он заболел и еще до конца оккупации перенес тяжелую операцию. Во время своего выздоровления он с радостью узнал о высадке союзников и освобождении Парижа.

За свое мужественное поведение во время этого грустного периода он был награжден Медалью сопротивления с розеткой (как известно, за участие в войне 1914—1918 годов он был награжден Военным Крестом). Времена испытаний для него окончились, и он смог в течение еще десяти лет продолжать с почти не уменьшившейся энергией свои исследования и деятельность.

* * *

В течение последних пятнадцати лет жизни Борель не переставал писать и печататься, проявляя неустанную дея-

тельность уже в преклонном возрасте. Приходится только удивляться количеству его статей, опубликованных тогда в «Докладах академии». Они были посвящены различным вопросам арифметики, теории множеств, теории вероятностей, теории игр. Все это показывает, сколь мощным и проницательным оставался его ум. Кроме того, он опубликовал несколько книг, содержащих обзоры, сделанные на высоком уровне. Не говоря уже об очень интересной небольшой книге, опубликованной им вместе с Дельтеем в 1940 году в серии Армана Коллена под названием «Вероятности, ошибки», нужно отметить, что в 1942 году он опубликовал книгу «Механика и всемирное тяготение», в 1949 году — «Элементы теории множеств» и в 1951 году — «Элементы теории вероятностей». Кроме того, в 1951 году он сделал свой последний вклад в известную серию по теории функций, создателем которой был, написав очень интересную книгу «Недоступные числа», в которой проявилась вся сила его ума.

Выйдя в отставку, он посвятил часть своего времени созданию научно-популярных книг. Он всегда любил произведения такого рода, основная трудность создания которых состоит в изложении научных проблем таким образом, чтобы оно было доступно любому культурному человеку, не впадая при этом в приблизительность или неточность.

В молодости Эмиль Борель написал две важные книги такого жанра. Я уже упоминал о них, но сейчас хотел бы остановиться на них поподробнее.

«Случай», вышедший в 1914 году в издательстве Алькан, является книгой высокого класса. В этой книге Борель дал фундаментальный обзор вопроса, которым он владел в совершенстве.

Глубоко проанализировав во всей его сложности понятие случая и напомнив основные законы теории вероятностей, он посвятил вторую часть книги применениям законов случая как к общественным и биологическим наукам, так и к физико-математическим наукам. Эти две первые части книги насыщены глубокими мыслями, очень острым критическим анализом и крайне оригинальными взглядами. Третья часть, возможно, еще более замечательна; она посвящена значению законов случая, в ней исследуется или затрагивается масса важных проблем. Книга заканчивается главой о философском значении зако-

нов случая, в ней Борель делится с нами некоторыми своими наиболее сокровенными философскими мыслями, и их очень интересно сравнить с современными представлениями теоретической физики. Эта книга относится к тем великим трудам, которые интересно перечитать и сегодня.

Иной является книга, которую Эмиль Борель опубликовал в 1922 году под названием «Пространство и время». Теория относительности, которая незадолго до этого была сформулирована в общем виде и привела к новому истолкованию тяготения, привлекла всеобщее внимание, даже тех, кто не мог понять ее истинную значимость. Конечно, она привлекла и внимание Бореля. Его книга не является, собственно говоря, обзором теории относительности; лишь в последних главах он остановился на ее основных чертах. Книга является скорее критическим исследованием понятий пространства и времени, их исторического развития, их связи с высшей геометрией и топологией. Некоторые разделы работы немного устарели, а именно те, в которых рассматриваются измерения длин и длительности, измерения скорости света, представления о звездной вселенной и т. д., поскольку в этих вопросах за последние тридцать лет появилось много нового, но Борель очень хорошо знал основы геометрии и разбирался в коварной проблеме непрерывного и дискретного; поэтому многие из его замечаний до сих пор сохранили очень большое значение.

Небольшая книга, опубликованная издательством Галлимар в 1941 году под названием «Игра, вероятность и современные научные теории», представляет в новой форме основные вопросы теории вероятностей, в частности те вопросы, которые связаны с вопросами игр. Принимая новую и плодотворную точку зрения, зачинателем которой, как мы уже говорили, он являлся, Борель при анализе игр и понятия вероятности все время рассматривает и психологию игроков. Книга «Развитие механики», опубликованная в 1943 году издательством Фламмарион в серии научной философии, содержит тонкий и поучительный анализ принципов механики и их постепенного развития. Книга «Парадоксы бесконечного», опубликованная в 1946 году издательством Галлимар, посвящена вопросам, которыми Борель занимался всю жизнь. Наконец, небольшая книжечка, вышедшая в издательстве Альбен Мишель в 1952 году под названием «Мнимое и действительное в математике и физи-

ке», представляет очень оригинальный по форме обзор всех сторон проникновения действительных и комплексных чисел во все отрасли математики и физики в ходе развития последних. Любой искушенный читатель может найти в ней много тем для размышления.

Публикация этой последней работы, впрочем, доказывает, что Эмиль Борель в свои восемьдесят лет сохранил, несмотря на несколько кратковременных периодов ухудшения здоровья, всю силу ума. Это доказывает и его участие в работах многих различных учреждений. До конца своей жизни он председательствовал (и с каким авторитетом!) на заседаниях Комиссии по теории вероятностей и теоретической физике НЦНИ. Он также принимал участие в заседаниях Комитета содействия научному исследованию, Института статистики и т. д. Борель не только получал все более и более высокие награды и к концу своей жизни стал кавалером ордена Большого Креста, но он также входил в Совет ордена (речь идет об ордене Почетного легиона), где пользовался большим авторитетом. В 1955 году он получил Золотую медаль НЦНИ.

Всю жизнь Борель любил путешествовать и ездить на международные встречи. В 1912 году он был послан представителем в Техас на торжественное открытие Института имени Райса, в 1913 году в Венгрию для организации Университета имени Этвеша, в 1920 году он сопровождал Поля Пенлеве во время его поездки в Китай и пробыл там пять месяцев. В 1922 и 1929 годах Борель ездил в Южную Америку; он побывал в Аргентине, Уругвае и Бразилии. Он посетил все страны Европы без исключения и, кроме того, Египет, Ливан, Иран, Антильские острова, а в 1951 году еще и Индию. Даже в последние годы своей жизни он принимал активное участие в работе Международного союза научных обществ и летом 1955 года, в возрасте восьмидесяти четырех лет, еще ездил в Бразилию на Международный съезд статистиков.

Насколько мне известно, возвращаясь из этого последнего путешествия, во время полета в самолете, Борель упал и получил легкую травму. Это падение, возможно, явилось началом его последней болезни. Крепкая физическая конституция помогла ему несколько месяцев бороться с недугом. Но постепенно его силы иссякли, и вечером 3 февраля 1956 года Борель скончался в возрасте немногим больше восьмидесяти пяти лет.

* * *

Господа!

Эмиль Борель обладал могучим умом, сильной волей и исключительным физическим здоровьем, и это позволило ему в течение его долгой жизни вести одновременно (почти постоянно), без устали и срывов, серьезную и сложную умственную работу, осуществлять многогранную деятельность и вести зачастую трудную и мучительную административную и организационную работу. Те, кто близко знал известного математика, могли убедиться в его исключительных качествах мыслителя и ученого и в его не менее исключительной способности воодушевлять. Никто не может отрицать прямоты и цельности его характера.

Однако некоторые упрекали его в несколько грубоватом обращении, которое подчеркивалось манерой говорить довольно сухо. Но эта грубоватость была чисто внешней. Все, кто был хорошо знаком с ним, знают, что за ней скрывалась большая уравновешенность характера, настоящее понимание мнения собеседника и чаще всего истинная благожелательность. Может быть, его можно упрекнуть в том, что иногда в своей деятельности он проявлял честолюбие. Но разве честолюбие не является естественным и даже законным для человека, чувствующего себя интеллектуально, морально и физически сильным, желающего взвалить на свои плечи груз, какой он способен выдержать, в виде обязанностей, которые ему позволили бы проявить себя? Если взвесить все это, мы можем сказать, что Борель имел право на наше исключительное уважение, на наше крайнее восхищение и наше полное доверие.

И когда мы в начале истекшего года узнали о том, что его уже больше нет, разве не осознали мы всю огромность нашей потери? Все мы почувствовали, что от нас ушел великий ученый и мыслитель, одаренный и сильный человек, который всегда делал честь французской науке и нашей академии.

ЖИЗНЬ И ТВОРЧЕСТВО ФРЕДЕРИКА ЖОЛИО[1]

Господа!

Последние годы XIX века открыли физикам двери нового мира, позволив им начать наблюдение и познание явлений атомного масштаба. Экспериментальные доказательства существования атомов, открытие электронов и рентгеновских лучей, первые строгие представления о строении вещества — все эти успехи, еще не очень надежные и более или менее правильно истолкованные, явились для опытных ученых предвестниками кануна величайшего развития новых знаний, которому было суждено перевернуть все наши представления о физическом мире и сделать возможным необыкновенно быстрое развитие новой техники.

В 1896 году Анри Беккерель благодаря своему большому искусству физика и счастливому случаю, который натолкнул его на то, чего он не искал, открыл радиоактивность урана. Все физики поняли важность этого открытия, но весьма немногим, конечно, интуиция подсказала, что оно позволит нам проникнуть в наиболее сокровенные части вещества, в сердце атома, которое мы называем сегодня ядром, и что оно впервые показало возможность спонтанной трансмутации вещества, превращения одного химического элемента в другой, чудесную возможность, о которой мечтали мыслители всех времен и алхимики средних веков.

Два года спустя, в 1898 году, Пьер и Мария Кюри в результате блестящего исследования открыли существование радия — элемента, еще более радиоактивного, чем уран, и это фундаментальное открытие, сразу же развитое и продолженное исследованиями двух французских ученых и их сотрудников Бемона и Дебьерна, явилось источником очень большого числа работ, в частности выполненных в Англии Эрнестом Резерфордом; эти работы в течение нескольких

---

[1] Доклад, прочитанный на ежегодном открытом собрании Академии наук 14 декабря 1959 года.

лет позволили установить состав семейств радиоактивных элементов, их родство, природу излучений, испускаемых ими во время их превращений, статистические законы, которым подчиняются эти превращения, и т. д. Затем в 1913 году появилась теория атома Бора, выросшая из представлений Резерфорда. Последний считал, что индивидуальность атома содержится в очень малой центральной части — ядре атома; это представление позволило установить место, где происходят радиоактивные превращения.

Я не буду излагать сейчас исторический очерк развития ядерной физики, которое от открытия к открытию привело к обширной системе новых знаний и к практическим достижениям, о которых сегодня знают все и использование которых (это можно сказать без преувеличения) предопределит все будущее человечества. Я хотел бы заметить, напоминая о первых шагах ядерной физики, что она начала свое необычайное развитие в рамках французской науки. Тем не менее спустя сорок лет пссле того, как Резерфорд в 1919 году впервые осуществил искусственную ядерную реакцию, ядерная физика в своем стремительном развитии стала областью исследований, проводящихся всеми нациями цивилизованного мира; ее развитию способствовали физики большого количества стран. И если в этом международном соревновании наша страна оказалась в состоянии играть важную и блестящую роль, то она обязана этим совместной работе двух ученых, имена которых всегда останутся известными в анналах французской науки: Фредерику и Ирен Жолио-Кюри. Наследники великого имени, которое остается связанным с возникновением ядерной физики, они внесли в последнюю много фундаментальных вкладов; эти вклады привлекли внимание ученых всего мира и позволили в третий раз присудить Нобелевскую премию, эту высокую международную награду, членам одной и той же семьи.

Поэтому наша академия была охвачена особенно глубокой скорбью, когда летом прошлого года у Фредерика Жолио наступило резкое ухудшение здоровья и через несколько дней после этого он скоропостижно скончался. После такого печального события, лишившего французскую науку одного из ее наиболее известных представителей, который еще был молодым и от которого она могла многое ожидать, было естественно посвятить жизни и творчеству ушедшего от нас ученого один из докладов, зачитываемых ежегодно на открытых заседаниях нашей академии.

Фредерик Жолио родился в Париже 19 марта 1900 года в среде, весьма отличной от университетской среды, в которой позднее развертывалась его деятельность. Он был последним ребенком в семье с шестью детьми; старшим ребенком была его сестра Жанна, которой при рождении Фредерика было семнадцать лет. Его отец, Анри Жолио, в молодости сражался в рядах Парижской Коммуны, и поэтому ему впоследствии пришлось отбыть ссылку. Позднее, вернувшись во Францию, он женился, и при очень активной помощи своей жены ему удалось завести оптовую торговлю коленкором. Мать Фредерика Жолио, Эмилия Рёдерер, происходившая из семьи эльзасских протестантов, придерживалась республиканских убеждений и была весьма культурной женщиной. Ее отец был шеф-поваром Наполеона III и большим поклонником императора. Эмилия Жолио воспитала своих детей в протестантском, но очень либеральном духе.

Анри Жолио не был интеллигентом и мало интересовался повседневной жизнью семьи. Вне своей коммерческой деятельности он был страстным охотником и уделял много времени игре на охотничьем роге и даже сочинению музыкальных мелодий для исполнения на этом инструменте. Очень восприимчивый к красотам природы, он любил во время своих отпусков учить детей умению ценить ее прелести.

Никто из детей Жолио не проявлял способностей к наукам и даже вообще к интеллектуальным занятиям. Старший сын (он был убит в первые дни войны 1914—1918 годов) занялся торговлей спортивными автомобилями; одна из дочерей стала художницей. Наш будущий коллега по академии во время своей учебы в лицее Лаканаль с 1908 по 1917 год добился успехов лишь на спортивном поприще. Однако в это время у него начал проявляться интерес к наукам, в частности к химии, но скорее в виде смутного желания без определенной направленности. Однако этот довольно неопределенный интерес к наукам заставил его принять решение поступить в 1917 году в муниципальную школу им. Лавуазье, для того чтобы подготовиться в предназначенных для этой цели классах к вступительному экзамену в Школу промышленной физики и химии города Парижа (ШПФХ). Он сдал лишь первую

часть экзаменов на звание бакалавра и по различным причинам был тогда вынужден прервать свое образование: материальное положение его семьи, бывшее длительное время сносным, ухудшилось; обучение в школе им. Лавуазье было бесплатным и для поступления в Школу физики и химии не требовалось сдавать вторую часть экзаменов на звание бакалавра.

В 1919 году, незадолго до смерти своего отца, Фредерик Жолио поступил в Школу физики и химии и продолжил свою учебу на отделении физики. Он был прекрасным учеником и окончил школу в 1923 году лучшим из своего выпуска, с дипломом инженера ШПФХ.

Еще во время своей учебы на улице Вокелен в течение летних каникул 1922 года он работал с 21 августа по 30 сентября несколько недель на сталеплавильном заводе крупной фирмы АРБЕД[1] в великом княжестве Люксембурге.

У АРБЕД он работал в термическом цехе и занимался исследованиями наилучшего использования теплотворной способности горючего газа в домнах. Он любил впоследствии вспоминать, как это непосредственное соприкосновение с промышленностью и техникой способствовало пополнению его теоретического образования, которое он получал в школе.

Сразу же после получения диплома инженера Фредерик Жолио был призван на военную службу. Он был слушателем школы офицеров запаса в Пуатье, затем получил звание лейтенанта и проходил службу в частях противохимической обороны в форте д'Обервий. По окончании военной службы ему пришлось решить серьезный вопрос относительно дальнейшего направления своей жизни и деятельности. Он не пожелал стать инженером в промышленности. Постепенно в нем развилась склонность к чисто научному исследованию, и он решил посвятить себя ему. Жолио последовал совету директора своей первой школы, нашего покойного коллеги по академии Поля Ланжевена, поддержавшего его желание заняться исследованиями и предложившего ему стать старшим лаборантом у Марии Кюри, которая, занимая в то время в Сорбонне кафедру, созданную ее мужем, руководила Институтом радия, построенным для нее. Жолио с воодушевлением принял предложение

---

[1] Объединенные сталеплавильные заводы Бурбаха, Эйха и Дуделанге.

Поля Ланжевена. И вот он стал учеником и сотрудником известного физика, открывшего радий. Для него это будет начало замечательной научной карьеры.

Период между 1925 годом — годом поступления в лабораторию Кюри — и 1930 годом, когда он защитил докторскую диссертацию, был для Фредерика Жолио периодом становления, в течение которого он занимался разработкой целого ряда экспериментальных методик. Уже тогда он обнаружил замечательные качества, которые проявятся впоследствии полностью во всей его деятельности: оригинальность мысли, огромную работоспособность, замечательное искусство экспериментатора, необыкновенную быстроту понимания и реализации задуманного. Как часто бывает, в ходе своих первых исследований, в ходе работы начинающего, посвященной зачастую второстепенным вопросам, он разработал методы и приобрел знания, которые несколько лет спустя помогли ему выполнить основную часть его работ и сделать ряд крупных открытий.

В лаборатории Марии Кюри работала в то время ее дочь, Ирен Кюри. Фредерик Жолио женился на ней в 1926 году, и с этого времени началось их повседневное сотрудничество, которое длилось долгие годы и связало их имена с крупными научными открытиями, принесшими им заслуженную славу. Но эти первые годы исследований были для Жолио трудными годами. Не имея прочного положения, он был вынужден преподавать в частной Школе электричества, в которой вел курс электрических измерений и имел большую нагрузку. Для получения степени доктора наук было недостаточно сдать только первую часть экзаменов на звание бакалавра. Поэтому ему сначала пришлось готовиться и сдавать вторую часть этих экзаменов, а затем успешно пройти все этапы, необходимые для получения диплома доктора наук.

Однако это не приостановило работы молодого физика. В Институте радия он занялся исследованием приготовления очень тонких металлических слоев, нанесенных на различные подложки с помощью катодного распыления или испарения при нагреве. Изучая сопротивление этих тонких слоев, он определил изменения этого сопротивления в зависимости от температуры и толщины слоя и обнаружил любопытные необратимые явления, обусловленные изменениями кристаллической структуры металла. Из этих

исследований, проведенных с большим мастерством и проницательностью, Жолио извлек ряд интересных практических приложений, а методика, которую он применял для изготовления очень тонких металлических листков, некоторое время спустя была использована профессором Дж. П. Томсоном в его известных экспериментах по дифракции электронов.

Более важными были исследования Фредерика Жолио по электрохимии радиоактивных элементов, общий обзор которых составил предмет его диссертации. Поставленная им проблема была сложной, поскольку радиоактивные элементы имелись в столь небольших количествах, что для изучения их электрохимических свойств необходимы были специальные методы. Жолио удалось решить эту сложную проблему. Он изготовил электроды, на которых откладываются радиоактивные элементы, так, чтобы электроды, входящие в состав стенок резервуара, где происходит электролиз, были достаточно тонкими и пропускали наружу излучение радиоактивных элементов, откладывавшихся на их внутренней поверхности. Тогда стало возможно измерять ионизационный ток, обусловленный этим излучением, извне и непрерывно следить за отложением незначительных количеств радиоактивного элемента на электроде. Благодаря этому столь изящному методу Жолио смог провести исчерпывающее количественное исследование электрохимического явления, определить его кинетику и открыть много новых реакций окисления и восстановления полония. Затем, весьма остроумно расширив область применения своего метода, он регистрировал с помощью фотоэлектрического устройства свет, проходящий через очень тонкий электрод; ему удалось, таким образом, проследить путем наблюдения поглощения этого света постепенное отложение на электроде незначительных количеств нерадиоактивного вещества и исследовать его электрохимические свойства.

В лаборатории, занимающейся изучением радиоактивности, Жолио, естественно, должен был все время проводить небольшие исследования по частным вопросам, касающимся свойств радиоактивных веществ. Вместе с Онада он изучил ионизацию чистого водорода альфа-частицами, в сотрудничестве с Ирен Жолио-Кюри он определил число пар ионов, порождаемых в воздухе альфа-частицей радия C'[1]

[1] По современной терминологии полоний 214.—*Прим. перев.*

и полония, провел опыты по определению очень малого времени жизни ядер радия C′. Когда он стал доктором наук, его материальное положение улучшилось; назначенный ассистентом Факультета естественных наук, став научно-исследовательским работником, а затем руководителем исследовательских работ Национального фонда естественных наук (первого варианта нашего современного Национального центра научных исследований), он смог наконец отказаться от тяжкого бремени преподавания в частной школе и полностью посвятить себя исследовательской работе. Работая всегда в тесном сотрудничестве со своей женой Ирен, он смог быстро найти путь к наиболее важным работам, предвестникам великих открытий.

Сначала он выполнил ряд прекрасных исследований об отдаче радиоактивного атома при испускании им альфа-частиц. Он использовал камеру Вильсона нового типа, в которой рабочий объем был наполнен только парами воды. Отказавшись от некоторых не вполне правильных выводов, сделанных другими авторами, он тщательно изучил явление отдачи и показал, что атом отдачи с большой вероятностью может в начале своего пробега испытать соударение с другим атомом. На использованной им установке он получил много важных результатов и смог впервые уточнить, как ведут себя тяжелые атомы, движущиеся с большими скоростями, в газе, состоящем из значительно более легких атомов. О том, какое значение для последующих крупных научных открытий имели эти работы, можно получить представление из следующих слов Жолио, написанных им самим значительно позднее: «Эти эксперименты, хотя и не дали важных результатов о самом процессе распада, позволили их автору лучше качественно понять процесс торможения частиц за счет отдачи атомов того вещества, через которое они проходят. Таким образом, автор несколько лет спустя смог разработать простой экспериментальный метод, который дал физическое доказательство деления урана и тория под действием нейтронов, и выработать практическую методику отделения осколков деления от массы урана, в которой они образовались». Мы ниже вернемся к этому замечательному эксперименту 1939 года, но мы видим, что в некотором смысле его предпосылки содержались в экспериментах по изучению отдачи радиоактивных атомов, выполненных Жолио в 1931 году.

Различными путями Марии Кюри удалось сосредоточить

в Институте радия значительные количества радиоактивного металла, существование которого она открыла вместе со своим мужем. Ее дочь и зять приложили много усилий для того, чтобы извлечь из этой массы радия радий D[1] и полоний, которые накопились в ней в течение нескольких лет. Им удалось увеличить в 4 раза количество радия D, находящегося в лаборатории, и изготовить как путем электролиза, так и путем термической возгонки очень активные полониевые источники. Эти длительные и тщательные приготовления были небезопасны вследствие большой активности полученных источников: опасность усилилась при исследовании нейтронов, о которых мы упомянем ниже. Эти опасные манипуляции, увы, несомненно, привели к расстройству здоровья Фредерика и Ирен Жолио, которое обнаружилось у них позднее.

Получив в распоряжение интенсивные полониевые источники, Жолио смогли основательно изучить слабо проникающее излучение, которое сопровождает альфа-распад этого элемента. Они показали, что это излучение не является, как полагали, альфа-излучением, а что наблюдаемые эффекты — результат действия протонов, исходящих из атмосферы азота, окружающей источник полония. И эта работа явилась подготовкой крупных открытий, которые вскоре были сделаны двумя молодыми учеными, поскольку при ее выполнении они накопили большой практический опыт в деле различения и измерения интенсивностей сложных излучений, в состав которых входят электроны, тяжелые частицы и фотоны, обладающие схожей проникающей способностью. Для полноты добавим, что Фредерик Жолио смог воспользоваться усовершенствованной им камерой Вильсона для изучения, по предложению Марии Кюри, радиоактивности самария и обнаружить его очень слабую радиоактивность.

Итак, мы подошли к 1932 году, который стал для Фредерика и Ирен Жолио началом их самых блестящих работ. В это время носилось в воздухе великое открытие — открытие нейтрона. Двадцать предшествующих лет развития наших знаний о структуре вещества на атомном уровне привели к выводу о том, что двумя универсальными составными частями вещества являются протон и электрон, причем протон является носителем единичного положительного

---

[1] По современной терминологии свинец 210.—*Прим. перев.*

заряда и имеет довольно большую массу, а электрон — носителем единичного отрицательного заряда и имеет крайне малую массу. Атом самого легкого из химических элементов — водорода — состоит из центрального ядра, образованного протоном, вокруг которого движется один электрон. Атомы более тяжелых элементов состоят из центрального ядра, которое имело в целом положительный заряд, но, по предположениям того времени, состояло из агломерата протонов и электронов; вокруг этого ядра двигаются отрицательные электроны. Такова была картина строения атомов, допускавшаяся теорией Бора; она использовала только две элементарные частицы: протон и электрон, поскольку можно было не учитывать фотона, роль которого была отличной от роли этих частиц, и нейтрино, существование которого было еще довольно гипотетическим. Итак, только эти два вида частиц, казалось, позволяют объяснить все строение вещества; такая схема была достаточно проста и казалась вполне удовлетворительной логически. Однако гипотеза о том, что ядра состоят из агломерата протонов и электронов, приводила к некоторым трудностям, которые были устранены только с открытием нейтрона, а идея о том, что должна существовать электрически нейтральная частица, представляющая собою, так сказать, нулевой элемент таблицы Менделеева, была выдвинута в 1923 году Резерфордом, но ничто не подтвердило эту идею, и она была неизвестна многим физикам.

Но вот в 1930 году немецкие физики Боте и Беккер поставили эксперимент, истолкование которого осталось довольно загадочным. Действительно, они показали, что облучение легких элементов, например бора и бериллия, альфа-частицами от распада полония приводит к образованию очень проникающего излучения. Они думали, что это излучение является гамма-излучением, но самым загадочным было то, что открытое таким образом излучение было более проникающим, чем все до того времени известные гамма-излучения.

Как мы сказали, Фредерик и Ирен Жолио располагали очень интенсивными полониевыми источниками; кроме того, у них был большой опыт использования камер Вильсона. В 1932 году они повторили опыты Боте и Беккера, но в отличие от немецких авторов, изучавших явление с помощью счетчиков Гейгера, они использовали камеры Вильсона и сразу же обнаружили тот важный факт, что излучение

Боте и Беккера может сообщать ядрам атомов вещества, через которое оно проходит, большие скорости. Это открытие не было случайным, так как Фредерик и Ирен Жолио предвидели, что излучение Боте и Беккера, само по себе очень проникающее, может породить менее проникающие излучения. Для проверки этой гипотезы они поставили эксперимент, позволивший им обнаружить отбрасывание атомных ядер. Им удалось сфотографировать траектории в камере Вильсона, соответствовавшие движению отбрасываемых атомных ядер, и установить, что этими ядрами являются ядра водорода, гелия и азота.

Эксперимент супругов Жолио имел большое значение. Хотя они обнаружили в наблюдавшемся ими сложном явлении наличие очень быстрых электронов, порожденных действием гамма-излучения, казалось невозможным отождествить излучение Боте и Беккера с гамма-излучением, поскольку никакое излучение этого типа вообще не могло вызвать наблюдаемого отбрасывания атомных ядер. Загадка оставалась неразгаданной.

Разгадать ее удалось английскому физику Чедвику. Узнав о замечательных результатах Фредерика и Ирен Жолио и располагая экспериментальными установками, которых тогда не было в Институте радия, он смог вскоре показать, что наблюдаемое отбрасывание атомных ядер может быть только результатом столкновения этих ядер с частицами, масса которых близка к массе протона. Поскольку Чедвик был знаком с гипотезой о существовании нейтрона, некогда выдвинутой Резерфордом (супруги Жолио об этой гипотезе ничего не знали), то он сразу же предложил отождествить неизвестные частицы с нейтронами Резерфорда, и с этого времени существование нейтронов не ставилось больше под сомнение.

Естественно, физики всех стран принялись изучать нейтроны и вызываемые ими явления. Тогда Фредерик и Ирен Жолио поставили целую серию экспериментов для изучения свойств нейтронов и всей совокупности очень сложных явлений, которые сопровождают испускание этих частиц легкими элементами. Мы не будем сейчас входить в подробности их исследований, а лишь упомянем, что в ходе одного из них они были вынуждены предположить, что атомное ядро может захватывать периферические электроны, движущиеся вокруг него, и превращаться, таким образом, в ядро нового элемента. Это превращение «путем

захвата электрона» сегодня является хорошо известным явлением.

Открытие нейтрона вводило в физику новую частицу, открывая, таким образом, путь для длинной серии аналогичных открытий, которые привели нас к тому, что мы в настоящее время знаем более двадцати различных элементарных частиц. Сейчас мы очень далеки от той прекрасной простоты, которая, видимо, существовала в те времена, когда были известны лишь протон и электрон. Но нейтрон, как это сразу же обнаружилось, играет важную роль в строении вещества. После работы Гейзенберга, опубликованной вскоре после открытия нейтрона, мы знаем, что ядро состоит не из протонов и электронов, а из протонов и нейтронов, частиц примерно равной массы, которые можно даже рассматривать как два различных состояния: одно — положительное, другое — нейтральное, одной и той же частицы, которая является составной частью ядра, нуклона. Эта новая точка зрения в настоящее время повсеместно принята; она позволила устранить все трудности, связанные с использованием прежней гипотезы о протонно-электронном строении ядер.

Но открытие нейтрона — новой элементарной частицы — было, как мы видели, лишь первым из длинного ряда аналогичных открытий; за ним почти сразу последовало обнаружение в космических лучах другой новой частицы — положительного электрона, или позитрона. Это открытие, которым мы обязаны известным экспериментам Андерсона, с одной стороны, и Блеккета и Оккиалини, с другой стороны, дало основание полагать, что положительные электроны участвуют в большом числе ядерных превращений, которые не были ясно истолкованы. Фредерик и Ирен Жолио, используя камеру Вильсона с магнитным полем, показали, что при прохождении через вещество фотоны могут вызвать испускание положительных электронов, число которых быстро возрастает с увеличением атомного номера вещества-излучателя. Продолжая далее свои исследования, они показали, что фотон может вызвать появление пары электрон-позитрон; таким образом, они впервые обнаружили важное явление «материализации» излучения,— явление, в котором энергии фотона, если она выше 1 млн. *эв*, оказывается достаточно для образования двух электронов противоположных знаков, каждый из которых обладает энергией покоя около 0,5 млн. *эв*; более того, каждый из электронов может полу-

чить и кинетическую энергию. Они установили также возможность своего рода «внутренней материализации», которая имеет место в тех случаях, когда ядро после поглощения излучения находится в возбужденном состоянии, а затем переходит в состояние с меньшей энергией, испуская при этом электронно-позитронную пару.

Теория позитронов Дирака предсказала, что эти частицы должны иметь очень малую продолжительность жизни, поскольку, встречаясь все время в веществе с отрицательными электронами, они имеют тенденцию аннигилировать с одним из них, причем полная энергия обоих электронов противоположных знаков испускается во время этой аннигиляции в виде излучения. Это явление «дематериализации вещества» было обнаружено одновременно Жаном Тибо и Фредериком Жолио в самостоятельно проведенных экспериментах. Эксперименты Жолио, выполненные по методу трохоиды, который был ранее разработан Тибо, показали, что в этом процессе «дематериализации» фотоны, видимо, всегда испускаются парами, каждый из членов которой имеет энергию, примерно равную по крайней мере 0,5 млн. *эв*.

Продолжая, таким образом, кропотливое исследование очень сложных явлений испускания нейтронов и позитронов легкими элементами Be, B, F, Na, Al при бомбардировке их альфа-частицами от распада полония, Фредерик и Ирен Жолио получили наряду с другими важными результатами первое точное измерение массы нейтрона.

В своих решающих экспериментах 1932 года Чедвик, подсчитывая энергетический баланс реакции $^{11}_{5}B + ^{4}_{2}He = ^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n$, пришел к выводу о том, что масса нейтрона меньше массы протона, то есть что из двух форм нуклона — протона и нейтрона — нейтральная форма будет более устойчивой. Воспроизведя в более строгих условиях порождающие нейтроны реакции с участием ядер ^{10}B, ^{19}F, ^{23}Na, ^{27}Al и подсчитывая их баланс, Фредерик и его жена смогли установить, что масса нейтрона немного выше 1,0089, следовательно, она заметно выше массы протона, которая в тех же единицах составляет примерно 1,0076; следовательно, протон является более устойчивой формой нуклона. Этот результат, объявленный на Сольвеевском конгрессе по физике в 1933 году, с тех пор всегда подтверждался.

Окидывая взглядом работы, выполненные Фредериком и Ирен Жолио в течение двух лет (1932 и 1933 годы), мы можем сказать, что все они имеют важное значение. Конечно, открытие нейтрона принадлежит, бесспорно, Чедвику, но исследования супругами Жолио излучения Боте и Беккера направили исследования английского ученого, и, не будь их, открытие нейтрона задержалось бы по крайней мере на несколько лет. Конечно, позитрон открыли иностранные ученые, но работы молодых физиков из лаборатории Кюри, посвященные ядерным реакциям, в ходе которых рождаются нейтроны и позитроны, позволили им наряду со множеством других важных результатов получить истинное значение массы нейтрона и установить существование двух противоположных фундаментальных явлений «материализации» излучения и «дематериализации» пары электронов.

Как физики они получили международное признание, но им еще предстояло сделать одно великое открытие, которое принадлежало только им. Это великое открытие явилось плодом их прекрасных предыдущих работ; речь идет об открытии *искусственной радиоактивности*.

Фредерик и Ирен Жолио, обнаружив при облучении альфа-частицами элементов Be, F, Na и Al одновременное испускание нейтронов и позитронов, прежде всего задали вопрос, имеют ли оба эти вида испускания энергетический порог, то есть начинаются ли они одновременно при одном и том же минимальном значении энергии альфа-излучения; они установили, что порог одинаков и для нейтронов, и для позитронов. Но — и это было началом великого открытия — если после облучения изучаемых элементов альфа-частицами с энергией, достаточной для начала испускания нейтронов и позитронов, сделать энергию альфа-частиц меньше порога испускания или даже если полностью прекратить облучение, испускание нейтронов прекращается немедленно, а испускание позитронов продолжается. Оно продолжается в течение часа при облучении бора, в течение четверти часа — при облучении алюминия; аналогичный результат был получен для магния.

Истолкование этого неожиданного факта было дано сразу. Испускание позитронов, по существу, имело те же характеристики, что и естественное бета-испускание: активность уменьшалась с течением времени по экспоненциальному закону, и энергетический спектр позитронов был непрерыв-

ным. Фредерик и Ирен Жолио, таким образом, естественно, пришли к мысли о том, что бомбардировка альфа-частицами превратила бомбардируемый элемент в искусственный радиоактивный элемент, который затем спонтанно разрушается, испуская позитроны.

Таким образом, легко было сделать вывод о том, что облученный бор породил неустойчивый и радиоактивный изотоп азота с атомным весом 13, алюминий — изотоп фосфора с атомным весом 30, а магний — изотоп кремния с атомным весом 27. Затем с помощью методов, потребовавших очень большого экспериментального искусства, поскольку радиоактивные изотопы образовывались в очень малых количествах и время их жизни было небольшим, им удалось подтвердить свои гипотезы, идентифицируя химически неустойчивые радиоактивные вещества, получающиеся каждый раз в результате бомбардировки.

Сделанное, таким образом, открытие, опубликованное авторами в памятной заметке, помещенной в выпуске «Докладов» нашей академии от 15 января 1934 года, получило большой отклик в силу своей огромной важности. Возможность получения с помощью вызываемого распада радиоактивных изотопов устойчивых элементов с более или менее длительным временем жизни открыла перед физиками новые, очень широкие перспективы. Эти искусственные радиоактивные элементы, эти «меченые» элементы, как их зачастую называют (конечно, потому, что их обозначают звездочкой у символа химического элемента для отличения от устойчивого элемента), можно получить, используя в качестве бомбардирующих агентов не только излучения радиоактивных тел, но и всякого рода электрически заряженные частицы (протоны, дейтроны и т. д.), движущиеся с очень большими скоростями, а также нейтроны, которые, будучи лишены электрического заряда, легко проникают в атомные ядра и изменяют их строение. Через несколько лет оказалось возможным изготовлять сотни различных радиоактивных изотопов с периодами полураспада от долей секунды до нескольких лет; эти изотопы поступили в распоряжение исследователей. Они нашли очень важные применения в химии, биологии, медицине и даже в других областях.

Это потрясающее открытие выдвинуло Фредерика и Ирен Жолио в первый ряд ученых всего мира. В конце 1935 года они получили Нобелевскую премию по химии за то,

что они расширили таблицу известных химических элементов. В третий раз их семья была удостоена Нобелевской премии, поскольку в 1903 году Пьер и Мария Кюри разделили с Анри Беккерелем Нобелевскую премию по физике за открытие радиоактивности, а в 1911 году Мария Кюри, уже будучи вдовой, получила Нобелевскую премию по химии за свои работы, посвященные радию и полонию.

Открытие искусственных радиоактивных элементов, увенчанное присуждением Нобелевской премии, ознаменовало решительный поворот в карьере Фредерика Жолио. Он внезапно попал в яркий (может быть, слишком яркий для тех, кто любит работу и исследование) свет широкой научной известности, перед ним открылась блестящая карьера, он испытал удовлетворение, познал власть над людьми и ее бремя.

Мария Кюри была счастлива видеть, что ее дети сделали крупное открытие, но она не дожила до награждения их Нобелевской премией, так как скончалась летом 1934 года. На посту заведующего кафедрой радиоактивности Факультета естественных наук и директора Института радия ее сменил старый и верный сотрудник Андре Дебьерн, а освободившуюся после него должность старшего преподавателя занял Фредерик Жолио, который начал, таким образом, преподавание в высшей школе в тридцать четыре года. Он не долго занимал эту должность на Факультете естественных наук, ибо в 1937 году стал профессором Коллеж де Франс; это крупное учреждение без колебаний поставило вопрос о преобразовании кафедры санскритского языка в кафедру ядерной химии, для того чтобы заполучить столь известного молодого ученого.

Освободившуюся после перехода Фредерика Жолио на работу в Коллеж де Франс должность старшего преподавателя по курсу радиоактивности заняла его жена Ирен Жолио-Кюри, которая в результате этого вошла в состав дирекции Института радия, где столь долго и столь блестяще работала ее мать. Несколько лет спустя после отставки Андре Дебьерна Ирен Жолио была назначена заведующей кафедрой радиоактивности и стала директором Института радия.

Таким образом, начиная с 1937 года Фредерик и Ирен Жолио оказались связанными с различными учреждениями — Сорбонной и Коллеж де Франс; они встали во главе лабора-

торий, тематика которых была различной. Прекратилось их длительное и плодотворное сотрудничество, ознаменовавшее первые десять лет их супружеской жизни и связавшее их имена с целым рядом замечательных работ. С этих пор их деятельность и их исследования развивались по отдельности.

После перехода на работу в Коллеж де Франс Фредерик Жолио, поддерживавший самый тесный контакт с Институтом радия, получил в свое распоряжение независимые исследовательские центры. Сначала это была прекрасная лаборатория ядерной химии, которую Коллеж де Франс создал для него, где он вместе со своими многочисленными сотрудниками — Савелем, Альбаном, Коварским, Намиасом, Понтекорво, Злотовским и другими, а также при содействии Анри Мурё, вице-директора Коллеж де Франс, и своих учеников Сю и Доде организовал очень активный центр исследований в области ядерной физики и выполнил в нем сам ряд важных исследований, на которых мы остановимся ниже. Но, кроме этой лаборатории, позднее были созданы две другие, происхождение и цель которых были несколько отличными; одна была расположена в Аркёй-Кашан, а другая — в Иври.

Лаборатория в Кашан была предоставлена в распоряжение Жолио директором Школы общественных работ Эйроллем. Жолио установил там генератор типа Ван де Граафа на 1 200 000 *в* и ускорительную трубку Лауритсена. Он руководил важными экспериментами, показавшими, что во избежание появления тлеющего разряда с заряженных проводников эти проводники необходимо помещать в атмосферу газа и что с этой точки зрения очень благоприятными свойствами обладает четыреххлористый углерод. Позднее для этой цели с большим успехом был использован газ фреон.

Лаборатория в Иври, получившая название лаборатории имени Ампера, вначале принадлежала частному обществу, Общей электрокерамической компании. В сотрудничестве с Лазаром и Савелем Фредерик Жолио установил в ней импульсный генератор, позволяющий сообщать ионам или электронам энергию в 2 млн. *эв*; эту ускорительную трубку можно было использовать также как источник рентгеновских лучей. После поступления в Коллеж де Франс Жолио в тот же год побудил Национальный центр научных исследований купить лабораторию имени Ампера, которая стала

с тех пор именоваться Лабораторией атомного синтеза НЦНИ; руководство ею, естественно, возглавил он. Он оборудовал эту новую лабораторию таким образом, чтобы в ней можно было проводить исследования в биологической области, а именно выращивать животных и обеспечить надлежащие условия для сотрудничества биологов, физиков и химиков.

Будучи профессором Коллеж де Франс, читая ежегодно оригинальные курсы, руководя двумя большими лабораториями, Жолио не уменьшил активности, с которой он проводил личные исследования. В 1938 году он опубликовал вместе со Злотовским в «Докладах» нашей академии несколько статей, посвященных образованию изотопа 5 Не при столкновении атомов гелия и дейтронов и определению с помощью камеры Вильсона энергии частиц, образовавшихся в ходе этой реакции. Но с начала 1939 года заголовки опубликованных им статей показывают, что он сосредоточил свое внимание на только что открытом перед этим явлении, которое возбудило большой интерес у всех физиков. Идя по пути, который только что был открыт работами Гана и Штрассмана, он занялся исследованием «деления» или расщепления на две части ядер урана и тория под действием нейтронов. В превосходных экспериментах, в которых еще раз проявился его исключительный талант экспериментатора, он показал, что деление порождает более легкие радиоактивные атомы, которые он отождествил с атомами химических элементов, находящихся между бромом и церием. Как и было предсказано, энергия, освобождающаяся при делении, составляет примерно 200 млн. *эв*, и она в основном идет на придание осколкам деления очень больших скоростей; величину этих скоростей можно представить из того, что эти осколки могут вылететь из тонкого слоя окиси урана, в котором происходит деление, и пройти в воздухе около 3 *см*. На основе метода, разработанного им за несколько лет до этого для изучения ядер отдачи при альфа-распаде, Жолио обнаружил осколки и смог изучить их излучения и их химическую природу; при этом он подтвердил, что освобождающаяся при делении энергия составляет примерно 200 млн. *эв*. Но он смог пойти и дальше: введя в камеру Вильсона тонкий слой урана, облучаемый замедленными нейтронами, он смог сфотографировать траектории осколков деления, что позволило получить более непосредственное представление об этом явлении и подтвер-

дить тот факт, что явление деления в основном обусловлено медленными нейтронами.

Жолио предположил, что деление должно сопровождаться испусканием нейтронов, так как в продуктах деления имеется избыток нейтронов. В сотрудничестве с Альбаном и Коварским ему удалось обнаружить это испускание нейтронов и показать, что в среднем при расщеплении ядра урана тепловым нейтроном испускается три нейтрона; кроме того, он смог определить распределение этих быстрых нейтронов по энергиям.

Эти результаты имели исключительно большое значение. В 1935 году, выступая с Нобелевской речью, Фредерик Жолио указал, что если удастся осуществить в веществе цепные ядерные реакции, проходящие с освобождением кинетической энергии, то станет возможным высвобождение значительных количеств энергии, которая сможет быть использованной. И вот оказалось, что это предвидение накануне своего осуществления в виде деления ядер как самоподдерживающихся цепных реакций типа взрыва.

Конечно, первые осуществленные цепные реакции деления были еще затухающими и прекращались сами собою, но Жолио со своими сотрудниками пришел к выводу о возможности получения самоподдерживающихся цепных реакций при использовании в качестве замедлителей нейтронов тел, мало поглощающих их, например графита и тяжелой воды. Для того чтобы можно было регулировать развитие цепных реакций, они предложили вводить в систему поглотители нейтронов, например кадмий. Ряд других экспериментов, результаты которых не были опубликованы, позволил уточнить некоторые конкретные подробности.

Наступил 1939 год. Началась война. Это усугубило важность проведения исследований деления урана, так как начали смутно предвидеть возможность применения его в военных целях. Жолио удалось получить весь мировой запас тяжелой воды, которая производилась в Норвегии. Он взял вместе со своими сотрудниками Альбаном, Коварским и Франсисом Перреном ряд патентов, касающихся деталей установок, предназначенных для освобождения ядерной энергии; в архивы нашей академии поступили запечатанные пакеты, которые вскрыты были позднее.

Но немецкое вторжение в мае-июне 1940 года прервало эти исследования, которые проводились в большом секрете. Жолио удалось переправить в Англию запас тяжелой воды,

владельцем которого был он; его сотрудники Альбан и Коварский перебрались в Англию, где смогли продолжать опыты согласно установленному плану.

Во время оккупации Фредерик Жолио продолжал в замедленном темпе и до некоторой степени подпольно свои исследования в Коллеж де Франс. Жолио участвовал в движении Сопротивления. В июне 1943 года он был избран членом нашей академии, которая пригласила его занять место в секции физики.

К моменту освобождения нашей родины в 1944 году Фредерик Жолио опубликовал еще несколько работ по делению; он разработал физический метод извлечения осколков деления, с помощью которого было установлено существование радиоактивного празеодима с периодом полураспада 12,7 дня; он предложил метод измерения длины свободного пробега радиоактивного осколка заданной химической природы; он исследовал совместно с Ирен Жолио-Кюри деление иония и определил эффективное сечение этого процесса. Но в это время его внимание, казалось, было привлечено в основном к биологическому применению искусственных радиоактивных элементов. В сотрудничестве с Сю и Леблоном он предпринял опыты по изучению метаболизма йода в организме. Совместно с Фейелем и Сю он исследовал, используя радиоактивный йод, проницаемость красных кровяных телец по отношению к некоторым ионам. В сотрудничестве с членом нашей академии Робером Куррье, Сю и Оро он предпринял исследования, касающиеся метаболизма йода, и особенно функционирования щитовидной железы. Благодаря использованию в качестве индикатора радиоактивного йода с периодом полураспада, равным 8 часам, были получены важные результаты относительно роли тироксина в живых организмах, его проникновения в щитовидную железу и гипофиз, его участия в развитии эмбриона. Совместно с членом нашей академии Лакассанем Жолио показал, что облучение кролика нейтронами может вызвать у этого животного рак печени. Он высоко ценил эту отрасль исследований, которая способствовала плодотворному сотрудничеству физиков, химиков и биологов.

Работы, о которых мы только что говорили, были опубликованы в 1944—1945 годах, но уже в это время Фредерик Жолио, деятельность которого до этого времени была посвящена научным исследованиям, взял на себя важные административные функции, так как после освобождения он

был назначен директором Национального центра научных исследований. Это крупное учреждение, на протяжении двадцати лет оказавшее столько услуг французской науке, пережило благодаря самоотверженности его сотрудников, о которой мы не должны забывать, немецкую оккупацию. К концу 1944 года, при наличии новой ситуации, его стало необходимо реорганизовать и укрепить; именно этой задачей, используя свои знания, авторитет и энергию, больше года занимался Фредерик Жолио.

Но он обратил свое внимание и на другую сторону развития научных исследований и в конце 1945 года предложил правительству генерала де Голля возобновить и развивать во Франции, в рамках нового учреждения, исследования и практические работы в области атомной энергии, которые были прерваны в июне 1940 года. Так в начале 1946 года был создан Комиссариат по вопросам атомной энергии, государственное учреждение, обладающее большой автономией и широкой свободой действия. Во главе этого комиссариата встали верховный комиссар (им был Фредерик Жолио) и генеральный управляющий (им был Рауль Дотри, в то время министр реконструкции). Дотри в течение многих лет следил за работами Фредерика Жолио по освобождению атомной энергии. В 1940 году, когда он был министром вооружения, он способствовал транспортировке во Францию запаса тяжелой воды, находившегося тогда в Норвегии. При содействии Ирен Жолио-Кюри, Франсиса Перрена, Пьера Оже и генерала Дассао — представителя Министерства национальной обороны — Фредерик Жолио с жаром принялся за осуществление первых практических мероприятий; он окружил себя учеными и техниками, среди которых были многие его старые сотрудники; некоторые из них во время войны принимали участие в исследованиях и практических мероприятиях, проводившихся в Англии, Канаде и Соединенных Штатах.

Несмотря на трудности, всегда сопутствующие новым начинаниям, работа шла быстро, и в 1948 году в форте Шатийон был пущен первый французский атомный реактор, ставший известным под именем «Зоэ». В это же время около Парижа, в Сакле, было предпринято строительство крупного Центра ядерных исследований, где должен был быть установлен циклотрон весом 280 *т*, ускоритель Ван де Граафа на 5 млн. *эв* и второй реактор мощностью около 4000 *квт*. Этот проект (о дальнейшем развитии его

всем известно) осуществлялся полным ходом, когда события политического характера заставили в 1950 году французское правительство снять Фредерика Жолио с поста верховного комиссара.

Можно было подумать в то время, что для замечательного ученого начался новый период активных исследований. Освобожденный от тяжелого бремени, взятого им на себя, он смог вернуться полностью к своей работе и преподавательской деятельности в рамках Коллеж де Франс и руководимых им лабораторий.

Лауреат Нобелевской премии, член Академии наук, «вольный» член Академии медицины, командор ордена Почетного легиона, он был в расцвете своей блестящей деятельности, и ему еще не было пятидесяти лет. Член многочисленных иностранных академий, доктор honoris causa многих университетов, он был отмечен различными наградами и знаками почета во многих странах мира. Он был окружен многочисленными учениками, которые, увлеченные динамизмом своего учителя, вдохновлялись его примером и его мыслями.

К несчастью, в это время здоровье Фредерика Жолио, как и его жены Ирен, начало ухудшаться. Он страдал от болезни печени, которая быстро обострялась. Он был вынужден часто отдыхать, сокращать, а подчас и прерывать свою деятельность. Он редко стал появляться на заседаниях нашей академии. В 1955 году положение осложнилось, и в конце года ему пришлось лечь в клинику и пройти длительный курс лечения; состояние его здоровья вызывало тревогу, его жизнь была в опасности. Однако в начале 1956 года он стал чувствовать себя лучше и смог выйти из клиники. В это время, в марте 1956 года, скоропостижно и преждевременно скончалась Ирен Жолио-Кюри, здоровье которой, казалось, было не столь плохим, как его. Правительство устроило знаменитому физику пышные национальные похороны; панихида состоялась в большом дворе Сорбонны. Фредерик Жолио присутствовал на похоронах, хотя черты его лица носили следы тяжелой болезни.

Несмотря на такие физические и моральные испытания, наш коллега по академии постепенно выздоравливал, и осенью по просьбе большого числа своих коллег он согласился занять освободившиеся после своей жены должности заведующего кафедрой радиоактивности Факультета естественных наук и директора лаборатории Кюри. Таким

образом, он одновременно выполнял обязанности профессора Сорбонны и профессора Коллеж де Франс (как известно, это факт исключительный). Он взял на себя руководство четырьмя лабораториями и, кроме того, должен был заниматься организацией в Орсе важного Центра ядерной физики, который там решил создать Факультет естественных наук. Всем этим обязанностям, несмотря на то что его здоровье продолжало оставаться неважным (это заставляло его быть очень осторожным), он отдавал свои последние силы. Все знали, что он болен, но никто не ожидал его скорой смерти.

В начале больших каникул 1958 года он уехал отдыхать в Бретань и там стал жертвой внезапного приступа, неожиданного, несомненно, пробуждения болезни, которая его истощала. Срочно доставленный в Париж, он был помещен в больницу Сен-Антуан, но его не смогли спасти, и он умер в четверг 14 августа 1958 года. Через несколько дней в большом дворе Сорбонны опять состоялась панихида как часть пышных национальных похорон.

Французская наука и наша академия погрузились в глубокий траур.

Фредерик Жолио был необыкновенно умелым экспериментатором, проникновенный ум которого умел замечать с первого взгляда среди сложности явлений существенный факт. Он страстно любил исследование и сам был великим исследователем и великим руководителем исследований. Кроме того, он любил преподавание, а его курсы в Коллеж де Франс надолго останутся в памяти тех, кто их слушал. Но, больше заботясь об открытиях, чем о комментариях к ним, он публиковал чаще не обобщающие работы, а статьи и заметки. Он оставил после себя в этой последней области лишь несколько разработок, опубликованных в «Актюалите сьянтифик» и в обзорном журнале «Атом», или заметок по случаю некоторых научных конгрессов.

Хотя, по существу, Жолио был экспериментатором, он также много интересовался теориями, с помощью которых пытались истолковать факты из атомной и ядерной области. Обеспокоенный трудностями, с которыми приходится сталкиваться физикам-экспериментаторам при ознакомлении с этими теориями, он вместе со своей женой явился инициатором создания при Национальном центре научных исследований Центра исследований по приклад-

ной математике, который, публикуя справочники и монографии, должен был способствовать установлению связи между теоретиками и экспериментаторами. Он живо интересовался работой этого учреждения и до самой своей смерти был совместно с автором данного доклада его президентом.

Фредерик Жолио — благородный ум со страстными убеждениями — был во всех областях борцом, что зачастую выводило его за рамки области чистого научного исследования. Мне достаточно напомнить, что, будучи сам автором ряда открытий, давших возможность освободить атомную энергию, и сознавая опасность, которой угрожало бы человечеству использование этой чудовищной новой силы в целях разрушения, он присоединялся со всем жаром и красноречием ко всем выступлениям в пользу сохранения мира между народами. В научной области его природная страстность сделала его великим организатором. Нельзя было, находясь около него, не ощущать силы его индивидуальности и не испытывать действия его духовного излучения. Все, кто знал его, коллеги или ученики, сохранят о нем светлые воспоминания.

Интересно отметить, что Жолио, человек независимых взглядов, понимал значение индивидуальной работы и свободы исследователя. В конце июня 1958 года, за шесть недель до смерти, он присутствовал вместе с автором настоящего доклада на защите докторской диссертации. После окончания защиты он поделился со мною своим беспокойством по поводу современного развития научного исследования и проведения работы большими группами исследователей. Несколько дней спустя, открывая Международный конгресс по ядерной физике в Доме химии, он выразил сожаление по поводу постепенного исчезновения в современных лабораториях-заводах, которые используются в настоящее время для развития ядерной физики, «ремесленного характера исследования, столь благоприятного для расцвета индивидуальности». Ощущая тоску по независимой работе, которую он сам так долго вел в небольших лабораториях, он выразился следующим образом: «Исследователь, умственный склад которого, по моему мнению, должен быть до некоторой степени аналогичен духовному складу художника, чувствовал себя вблизи изучаемого явления. Наблюдение было достаточно непосредственным: исследователь мог свободно проявить свою творческую оригинальность... А иногда вдохновение, подобное поэти-

ческому, приводило его к открытию», — и меланхолически закончил: «Нельзя создать оригинальную работу на конвейере». Это патетическое отстаивание прав на свободу ума и ценности индивидуальной оригинальности было с силой выражено нашим замечательным коллегой по академии накануне смерти.

После кончины, почти одновременной, Ирен, а затем Фредерика Жолио многие поняли, что их преждевременная смерть была вызвана пагубным действием излучения, которому они постоянно подвергались в течение всей своей жизни лабораторных работников. В то время, когда они, молодые исследователи, принимали участие в открытии излучений, еще не знали об опасном физиологическом действии излучения и недостаточно старались от него защититься. Если это так, то мы должны причислить Фредерика Жолио и его жену к тем, кто отдал свою жизнь за науку.

Господа!

Фредерик Жолио, таким образом, связал свою жизнь, а может быть, даже и смерть с чрезвычайно важными открытиями, сделанными в течение последних тридцати лет в ядерной физике. Благодаря прогрессу научных знаний, столь удивительно ускорившемуся в нашем XX веке, для человечества началась новая эра, которую уже называют «атомной эрой». Мы вступили в нее, исполненные сразу и надежд и опасений, не зная еще, куда мы идем. Имя Фредерика Жолио навсегда останется связанным с этим великим поворотом человеческой истории.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ВЫСТУПЛЕНИЯ, ПОСВЯЩЕННЫЕ РАЗЛИЧНЫМ УЧЕНЫМ И ИНЖЕНЕРАМ

ВЫСТУПЛЕНИЕ ПО СЛУЧАЮ СТОЛЕТИЯ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АНРИ ЛЕШАТЕЛЬЕ[1]

Сегодня мы отмечаем столетие со дня рождения великого французского ученого, который внес в общую и прикладную химию вклад фундаментальной значимости и который, если судить по направлению его деятельности и по природе его занятий, сам по себе был символом плодотворного союза между наукой и промышленностью. Важность осуществленных им открытий или изобретений, влияние, которое он оказал на развитие целых отраслей техники, возвышенность его ума, благородство его характера — все это свидетельствует о том, что Анри Лешателье был одной из наиболее привлекательных фигур французской науки современной эпохи.

Родившись 8 октября 1850 года в семье выпускника Эколь политекник, горного инженера, который сам внес блестящий вклад в развитие многих отраслей техники, а именно в дело создания сети наших железных дорог, Лешателье шел совершенно прямым жизненным путем. Как и отец, он поступил в Эколь политекник и, будучи еще студентом, принял участие в обороне Парижа во время осады его пруссаками. Во время осады он получил чин лейтенанта. Затем завершил учебу в Школе горного дела. Работал горным инженером в Алжире и Безансоне, женился на дочери товарища своего отца; от этого брака у него было многочисленное потомство. В возрасте двадцати семи лет он стал профессором общей химии в Школе горного дела и с этого времени посвятил себя исследованию и преподаванию. Позднее в этой школе он получил должность профессора промышленной химии и посвящал значительную часть своего курса изучению печей, горения и общей металлургии. Кроме того, он работал в Эколь политекник помощником преподавателя и экзаменатором студентов. В 1898 году

[1] Состоялось в Сорбонне 18 октября 1950 года.

он был назначен профессором минеральной химии в Коллеж де Франс, где прочел ряд замечательных курсов. Затем в 1907 году, желая увеличить число своих учеников и подав пример, которому, как я думаю, редко кто следует, он ушел из Коллеж де Франс и занял должность профессора общей химии в Сорбонне, сменив Муассана.

Он преподавал очень доходчиво и пользовался большим авторитетом. Его лекции оставили у всех учеников живые воспоминания; я помню его читающим лекцию в химической аудитории Факультета естественных наук, где я сам слушал его курс, когда готовился получить степень лиценциата. Хочу отметить одну характерную подробность, свидетельствующую, несомненно, о складе его ума: тогда он был единственным профессором Факультета естественных наук, читавшим курс в черном костюме. Влияние Лешателье как профессора и руководителя лаборатории было значительным, и многие из тех, кто в настоящее время создал себе имя в области неорганической химии, во многом обязаны ему своим становлением, а также тем, что благодаря его блестящему уму смогли углубиться в проблемы, которые он так хорошо знал.

Научные работы Анри Лешателье особенно важны в тех областях, которые интересуют химию, физику и промышленность. Но все они пронизаны несколькими важнейшими идеями, например идеей о необходимости сохранения тесной связи с проблемами, поставленными промышленностью, и идеей о максимальном использовании химической кинетики для лучшего понимания процессов, происходящих при химических реакциях. Установление прочной и тесной связи между наукой и техникой к наибольшей выгоде и той и другой, использование самых надежных научных теорий, в частности термодинамики, для анализа явлений — таковы были основные стремления Лешателье в течение его долгой жизни, посвященной научному исследованию; этими стремлениями он руководствовался в своей работе, и они обеспечивали ее цельность.

Но другие авторы лучше меня расскажут о работах Анри Лешателье. Занявшись в возрасте двадцати восьми лет вместе с Малларом изучением малопонятного явления детонации рудничного газа, он был вынужден заняться исследованием воспламенения, горения, взрывов; этим проблемам была посвящена важная часть его первых исследований. Далее он перешел к изучению печей, в частности доменных

печей, и посвятил свои основные исследования анализу химических реакций в металлургии. Ему мы обязаны разъяснением многих вопросов, относящихся к процессам в доменных печах и вообще к процессам черной металлургии. Поскольку ему постоянно приходилось иметь дело с температурами внутри объемов, в которых совершаются химические реакции, он был вынужден заняться пирометрией и, существенно усовершенствовав методы термоэлектрической пирометрии, стал одним из создателей оптической пирометрии. Его работы в этой области были основополагающими.

Став одним из ведущих ученых в области металлургической химии, Лешателье, естественно, заинтересовался составом сплавов. Он усовершенствовал исследовательскую методику в этой области. Рядом усовершенствований ему обязана металлографическая микроскопия, столь блестяще развитая к тому времени Флори Осмоном. Он создал много новых методов в термическом и дилатометрическом анализе. Пользуясь этими средствами исследования, он углубил знания о химическом составе и физическом строении сплавов. Полученные им результаты остаются классическими и в большинстве подтверждаются поздними исследованиями, выполненными новыми, более совершенными средствами.

Другим разделом промышленной химии, которому посвятил много внимания Лешателье, является раздел, изучающий способы изготовления и свойства цемента. Он первым хорошо понял механизм схватывания цемента и выяснил ряд химических и физических явлений, имеющих при этом место. Его исследования цемента и известкового раствора, всегда проводившиеся с большой научной строгостью, но в соответствии с запросами промышленности (он ясно понимал ее потребности), представляют собой не только прекрасный пример замечательных и глубоких научных исследований, но также и неисчерпаемый источник сведений, полезных для практики.

Все упомянутые нами работы пронизаны одной из ведущих идей Лешателье: ставить самые строгие научные методы на службу промышленности. Как мы говорили, другим аспектом его работы являлось постоянное стремление освещать механизм химических явлений с помощью основных понятий термодинамики и химической кинетики. Тщательно ознакомившись с работами Клапейрона, Гиббса, Вант-Гоффа, Лешателье глубоко осознал ценность этих работ

для выяснения механизма химических реакций. Его имя стало связано с законом смещения химического равновесия, который он сформулировал в 1884 году, говоря: «Изменение какого-нибудь из условий, которое может влиять на равновесное состояние системы тел, вызывает реакцию такого рода, что при этом происходит изменение внешних, ранее измененных условий в обратном направлении». Великие теоретики термодинамики Дж. Виллард, Гиббс, Пьер Дюгем и Макс Планк много работали над уточнением и строгим построением теории смещения равновесия. В общем виде эта проблема поднимает некоторые щекотливые вопросы, подчас порождающие разногласия даже среди самых квалифицированных специалистов. Иногда формулировки Лешателье критиковались за их недостаточную точность, а его рассуждения — за их недостаточную строгость. Но никто не отрицает, что этот выдающийся французский ученый на основе большого опыта и глубокого знания явлений смог заметить общее правило, позволяющее предвидеть очень большое количество фактов, и в целом формулировки Лешателье сохраняют большое практическое значение. Его исследования явлений диссоциации, пассивного сопротивления и действия катализаторов также заслуживают названия классических. Вышеупомянутая часть творчества Анри Лешателье свидетельствует о том, что этот выдающийся ученый, так живо интересовавшийся проблемами, имеющими практическое значение, был глубоким теоретиком, стремящимся базировать все свои исследования, даже наиболее прикладные, на общих научных соображениях.

Таковы были основные интересы крупного ученого, память которого мы отмечаем сегодня. До конца своих дней он не переставал утверждать необходимость постоянного сотрудничества между наукой и производством. Он был прав, когда считал, что быстрое развитие физико-химических наук в прошлом веке было обусловлено бурным ростом промышленности. Он полагал, что так будет и впредь, и всегда был убежден в необходимости тесного сочетания научных исследований и технических методов. Ряд его важнейших статей посвящен организации научной работы в промышленности и условиям действия того механизма, благодаря которому наука оплодотворяет технику. Поэтому он интересовался развитием всех новых идей в этой области, в частности известной системой Тейлора.

Анри Лешателье, обладавший широким кругозором, не ограничивался, впрочем, исследованием научных и технических проблем. Его внимание привлекали вопросы преподавания, общественные вопросы, моральные проблемы; с годами его интерес к ним, видимо, возрастал. Прекрасными страницами его произведений, написанными с подлинным вдохновением и волнением, мы обязаны этим разнообразным интересам его светлого и благородного ума. Помню, как в октябре 1935 года я присутствовал на торжественном заседании, посвященном открытию Международного конгресса по горному делу, металлургии и прикладной геологии. Лешателье (ему было тогда восемьдесят пять лет, и он умер вскоре после этого конгресса) взял слово; его с вниманием и волнением слушала вся аудитория. Он в возвышенных словах, приправленных иногда остроумными замечаниями, говорил о вопросах дальнейшего развития науки и техники, организации научной работы в промышленности, вопросах, которые всегда ему были дороги. Затем он закончил свое выступление прекрасным обзором экономических вопросов, затронув при этом вопросы морали и общественной справедливости. Все присутствовавшие тогда на собрании, несомненно, помнят его речь.

Великая фигура Анри Лешателье пользуется нашим всеобщим уважением. Широкий ум, научные работы исключительной ценности, неоценимые услуги, оказанные им промышленности, прямота и твердость характера, образцовые добродетели в личной жизни — вот те замечательные качества, которыми мы восхищаемся. Он оставил после себя огромное наследие, и все ученые мира чтут его память. Он оказывал, оказывает и будет еще долго оказывать сильное влияние на научную мысль и технические методы. Поэтому мы сегодня должны торжественно отметить столетие со дня рождения великого французского ученого, который за свои научные труды и свои достижения, силу своего ума и высокие моральные качества столь высоко чтится на своей родине.

РЕЧЬ ПО СЛУЧАЮ ПЯТИДЕСЯТИЛЕТИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ ВО ФРАНЦИИ КИСЛОРОДНО-АЦЕТИЛЕНОВОЙ ГОРЕЛКИ[1]

Господа!

История человеческой цивилизации, по крайней мере если ее рассматривать с точки зрения развития техники и промышленности, как вехами, отмечена великими изобретениями, резко увеличивающими мощь человеческих деяний и способствующими преобразованию материальных условий жизни людей. От открытия огня или некоторых металлов на заре жизни человеческой истории, например, до изобретения паровой машины и передачи на расстояние электрической энергии можно привести бесчисленное количество примеров резкого возрастания средств, которыми располагает наша промышленность. И когда какая-либо страна является родиной одного из таких великих изобретений, когда она многим обязана работе и гению своих ученых и инженеров, эта страна должна время от времени торжественно отмечать годовщины этих открытий.

Вовсе не обязательно ставить изобретение кислородно-ацетиленовой горелки в один ряд с открытием огня или изобретением паровой машины, но все-таки необходимо признать, что оно сыграло решающую роль в металлургии, в развитии техники сварки, в частности автогенной сварки. И поскольку это изобретение появилось во Франции, и этим изобретением мы обязаны французским ученым и инженерам, поскольку кислородно-ацетиленовая горелка начала действовать впервые в марте 1901 года, то есть ровно полвека тому назад, то естественно, что мы собрались сегодня для того, чтобы отпраздновать годовщину этого важного события в истории металлургии и почтить память ее творцов.

Процесс сварки использовался с древнейших времен, и невозможно точно установить, поскольку это было очень давно, тот момент, когда люди заметили, что при плавке

[1] 17 февраля 1951 года.

и сварке металлов и сплавов полезно дуть на огонь либо для того, чтобы направить пламя на определенный участок, либо для усиления процесса горения. Струя воздуха получалась с помощью трубки, в которую дул литейщик или один из его помощников. Позднее использовались меха различных типов, дающие более мощный поток, чем поток, который могут создать человеческие легкие. Таким способом осуществлялась в древнем Египте и древней Греции автогенная сварка свинца, поскольку этот металл является легкоплавким. На протяжении многих веков не удалось предложить метод, отличный от дутья воздуха, который позволил бы идти дальше в развитии техники. Нужно было ждать конца XVIII века, этой замечательной эпохи в развитии химии, когда Лавуазье, его ученики и последователи научили нас четко отличать друг от друга различные газы. В частности, открытие кислорода, за которым было признано свойство необходимого агента процессов горения, породило идею о подаче специальными мехами в горн этого газа вместо воздуха, который содержит по весу лишь одну четверть кислорода, а остальные три четверти составляют пассивные газы, не поддерживающие горение.

Одновременно с кислородом химики выделили водород и обнаружили, что этот газ бурно соединяется с кислородом, образуя воду. Итак, естественно, могла возникнуть мысль об использовании кислородно-водородной горелки, пламя которой образовывалось бы при соединении кислорода с водородом. Этим вопросом занимались такие великие химики, как Берцеллиус; в результате была разработана горелка, в которой сгорала смесь, состоявшая преимущественно из кислорода и водорода. Опасным недостатком этой горелки являлась неустранимая возможность прорыва пламени в резервуар, за которым следовал сильный взрыв. Усовершенствовав эту горелку и придав ей форму, схожую с формой современной горелки, Сент-Клер-Девиль в 1850 году поместил кислород и водород в отдельные резервуары, причем смешивание этих газов производилось внутри самой горелки, что значительно уменьшало опасность взрыва. С помощью горелки такой конструкции известный химик уже легко смог плавить серебро, золото, железо и даже платину. Вскоре после этого водород часто стали заменять светильным газом (кислородно-газовая горелка), и с помощью таких горелок удалось легко осуществить автогенную сварку и пайку самого различного рода.

Однако эти процессы были связаны с серьезными неудобствами. В частности, кислородно-водородные горелки были дорогостоящими и все еще весьма опасными в обращении. Более того, вода, образовывавшаяся в большом количестве при сгорании водорода в горелке, вызывала окисление свариваемых металлов, что ухудшало их механические свойства.

К 1900 году были разработаны различные методики сварки, использовались очень удобные приспособления, но на пути развития этой существенной для металлургии техники возникали серьезные препятствия.

И вот тогда появилась кислородно-ацетиленовая горелка, в которой используется сгорание ацетилена C_2H_2 в кислороде. Преимущества замены водорода ацетиленом заключаются в том, что при сгорании некоторого объема ацетилена выделяется в 4 раза больше тепла, чем при сгорании такого же объема водорода. Великий французский химик Анри Лешателье, память которого недавно отмечало французское Общество металлургии по случаю столетия со дня его рождения, в 1895 году показал преимущества использования горелок, в которых сгорал бы ацетилен в кислороде. Он считал, что полученная с их помощью температура была бы очень высокой и, поскольку при сгорании вовсе не образуется вода, а только водород и углекислый газ, пламя обладало бы весьма высокими восстанавливающими свойствами и не приходилось бы опасаться окисления свариваемых металлов. Обнаружив еще раз свое глубокое понимание сущности физико-химических явлений, Анри Лешателье этими простыми замечаниями открыл перед техникой сварки новые пути.

Но хотя в области изобретений оригинальные идеи играют существенную роль, поскольку они направляют исследование, изобретение нельзя рассматривать как завершенное и нельзя оценить его значение до того, как будут преодолены технические трудности и можно будет полностью осуществить изобретение и провести его опытные испытания. Замечательную идею Анри Лешателье было нелегко внедрить в производство. Фактически на пути ее реализации возник ряд трудностей. Сначала возникла опасность проникновения пламени в саму горелку вследствие большой скорости распространения кислородно-ацетиленового пламени. Кроме того, при горении образовывался углерод, забивавший сопло горелки; этот углерод,

как ни странно, образовывался путем диссоциации несгоревшего ацетилена под действием высокой температуры, возникающей при сгорании другой части ацетилена.

Первые исследования кислородно-ацетиленовых горелок были выполнены при поддержке Французской компании растворимого ацетилена (ФКРА), которая незадолго до этого начала осваивать патенты Жоржа Клода и Гесса по растворению ацетилена в ацетоне под давлением. Исследованием новой горелки особенно занялись Шарль Пикар, тогда инженер этой компании, и ее директор Эдмон Фуше. Естественно, Пикар пользовался советами Анри Лешателье, автора предлагаемого метода. Но вначале не решались сжигать смесь, состоящую преимущественно из кислорода и ацетилена, из-за большой взрывной силы этой смеси. Было решено подводить кислород и ацетилен по отдельности до самого сопла и зажигать смесь только на самом выходе, там, где она образуется; полученные таким образом результаты оказались совершенно разочаровывающими.

Тогда Шарль Пикар осмелился воспользоваться смесью, преимущественно состоящей из двух газов, приняв все возможные меры предосторожности при проведении этого опасного опыта, направленные на уменьшение действия взрыва, которого он ожидал. 21 марта 1901 года он зажег газовую смесь у конца горелки. Ожидавшаяся катастрофа не произошла, и Пикар с удивлением отметил, что полученное синеватое пламя было совершенно спокойным и равномерным. Созданный, таким образом, тип горелки был вскоре освоен ФКРА, которая на следующий год начала их серийное производство. Горелка нового типа оказалась очень удобной при автогенной сварке.

Я не буду останавливаться детально на эволюции этого нового вида техники и ограничусь лишь упоминанием о двух важных этапах ее развития. Первый, который был главным образом делом Эдмона Фуше, состоял в замене ацетилена, растворенного под высоким давлением и использовавшегося ФКРА, на ацетилен, растворенный при низком давлении, который можно было очень просто получать с помощью генераторов из карбида кальция. Это был очень важный шаг в деле практического использования кислородно-ацетиленовой горелки.

Вторым этапом, о котором мне хотелось бы упомянуть, было использование новой горелки для быстрой «резки» металлических листов. Открытие этого явления, как это

часто случается, произошло при почти случайных обстоятельствах. В 1904 году в ходе проводившихся по заказу армии испытаний способности кислородно-ацетиленовой горелки расплавлять железные прутья, внезапно прекратилась подача ацетилена, и из горелки начала выходить струя одного кислорода. Тогда оказалось, что плавление раскаленного металла ускорилось и что беспламенная струя кислорода также может служить для быстрой резки куска металла при условии, что та часть металла, в которую направлена струя кислорода, предварительно была доведена до каления.

Строго говоря, это явление как таковое было уже известно, поскольку оно в 1775 году отмечалось Лавуазье и семьдесят пять лет спустя изучалось Сент-Клер-Девилем. До того как была случайно обнаружена возможность использования кислородно-ацетиленовой горелки для резки, о чем мы только что упомянули, имело место использование различных видов кислородных струй для резки металлов. Очень скоро кислородно-ацетиленовые горелки для резки металлов заняли главенствующее место в промышленности, и благодаря тому, что в них вместо ацетилена можно было использовать водород, светильный газ или пропан, они очень понравились инженерам.

Я совершенно не обладаю компетенцией для того, чтобы глубоко рассмотреть усовершенствования, постепенно вносимые в новую горелку, и ограничусь замечанием о том, что в историю создания кислородно-ацетиленовой горелки рядом с именами Пикара и Фуше следовало бы вписать имена двух братьев Анри Лешателье: Луи Лешателье, главного инженера по строительству мостов и шоссе и президента Французского общества механических сооружений, и Андре Лешателье, главного инженера морского флота.

Конечно, кислородно-ацетиленовая горелка сегодня является далеко не единственным орудием автогенной сварки металлов; для этого можно также использовать электросварку, сварку с помощью атомарного водорода, а также некоторые методы, открытые совсем недавно. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и свои специфические особенности, но использование кислородно-ацетиленовой горелки остается методом, пригодным для любых работ, где применяются автогенная сварка, резка, обработка, поверхностная закалка и т. д., и оказывает

неоценимые услуги металлургии и всем отраслям промышленности.

Огромная польза, повседневно приносимая всем отраслям промышленности кислородно-ацетиленовой горелкой, полностью оправдывает тот размах, с которым мы сегодня отмечаем пятидесятилетие ее изобретения. Мы можем испытывать чувство законной гордости при мысли, что она была полностью продумана, реализована и усовершенствована французскими учеными и инженерами. Руководствуясь работами Анри Лешателье, Шарль Пикар первым проявил смелость и зажег в своей горелке смесь, состоящую преимущественно из кислорода и ацетилена, создав, таким образом, действительно жизнеспособную форму этой горелки. Все модификации, внесенные в нее позднее, не изменили ее принципа, и имя Шарля Пикара неотделимо от использования кислородно-ацетиленовой горелки и резки струей кислорода. Выразим же глубочайшее почтение ему, а также всем, кто помогал ему в его замечательных технических достижениях — новых доказательствах французского гения!

ПАМЯТИ АНДРЕ КЛОДА[1]

Скончался Андре Клод, один из крупнейших инженеров в области осветительной техники, настоящий ученый, имя которого навсегда останется связанным с созданием люминесцентных ламп. Он умер еще молодым, оставшись для нас выдающимся примером человека, сумевшего поставить на службу промышленной технике свои обширные и глубокие знания блестящего физика.

Осветительная техника является одной из отраслей техники, в которой область чистой науки чаще всего соприкасается с прикладной областью. Специалист по осветительной технике в своих исследованиях постоянно использует данные термодинамики, теории излучения, законы электричества и электроники, он всегда широко затрагивает еще загадочные во многих отношениях процессы рождения света внутри атомов и молекул и превращения, происходящие с ним до того, как свет выйдет наружу. Физик должен не только знать все крупнейшие достижения современной физики, но и уметь их сознательно использовать. Кроме того, он должен знать во всех подробностях физические свойства и работу используемых им источников света; твердых тел или паров, которые становятся светящимися при повышении температуры, при создании в них электрического разряда или при возникновении замечательного явления — люминесценции, а также свойства редких газов, содержащихся в воздухе, открытие и получение которых в значительных количествах являлось для физиков на протяжении последних пятидесяти лет столь сложной, но и столь плодотворной задачей.

Будучи учеником Жоржа Клода, сыгравшего в этой области столь большую роль, Андре Клод с ранних лет со всем своим талантом и упорством посвятил себя расширению

---

[1] Написано по случаю кончины Андре Клода в мае 1955 года.

исследований и их применений, в области которых его дядя был пионером. Непрерывные усилия его незаурядного ума привели к замечательным открытиям, которые повлекли за собой бурное развитие осветительной техники. В других статьях авторы, более компетентные в этой области, чем я, смогут более полно осветить всю важность его трудов. Но мне, как физику, хотелось бы сказать несколько слов о замечательном явлении люминесценции, из которого Андре Клод сумел столь искусно извлечь пользу для нас, разработав новые типы источников света. В результате процессов, природу которых может объяснить лишь современная квантовая физика, атомная или молекулярная система, находящаяся в поле излучения, может поглотить и по истечении более или менее длительного времени сама испустить другое излучение за счет накопленных запасов энергии. Если возбужденное излучение возникает почти сразу после поглощения, то его называют «флуоресценцией». Возбужденное излучение обладает частотой, иногда равной, но, вообще говоря, меньшей, чем частота возбуждающего излучения. И только в крайне редких случаях она может быть выше ее. В этом заключается «правило Стокса», как его часто называют; оно выражает тенденцию к уменьшению частот и обусловлено глубокими термодинамическими причинами. Это уменьшение частоты при флуоресценции стало, в основном благодаря работам Андре Клода, основой все более и более развивающегося нового способа освещения. Получение света путем электрических разрядов в разреженных парах или газах имеет больший коэффициент полезного действия, чем получение света термическим путем, с помощью раскаленных тел. Но свет, получаемый при разрядах, зачастую бывает сильно окрашенным и мало приятным для глаза при его повседневном использовании. Так, свет ртутного разряда, в основном находящийся ближе к фиолетовому краю видимого спектра, имеет мало приятный оттенок и делает все освещаемые им предметы мертвенно-бледными. Но, преобразуя излучение, испускаемое ртутным разрядом, в излучение, испускаемое соответствующим образом подобранным флуоресцентным телом, можно получить свет, соответствующий середине видимого спектра и лучше приспособленный к нашим зрительным ощущениям. Таким образом, сохраняются преимущества (высокий коэффициент полезного действия) испускания света путем электрического разряда, и в конце концов получают свет, очень приятный для

глаза. Такова теоретическая основа, на которой, проявляя все время исключительную изобретательность и преодолевая бесчисленные технические трудности, Андре Клод создал в основном свою чудесную в инженерном отношении работу.

Другие, наверное, скажут, что он был также крупным промышленником, способным администратором, отличным и обаятельным человеком. Мы ограничимся лишь тем, что подчеркнем его воистину художественные способности. Искусство освещения является почти новинкой. Благодаря тем возможностям, которые предоставляются в наше распоряжение развитием современной науки, можно создавать сегодня различные формы освещения, доставляющие неизвестные до сих пор эстетические ощущения. В эпоху, когда столько древних форм искусства с блестящим прошлым отмечено печатью необратимого упадка, искусство освещения находится в своем расцвете, и его ожидает блестящее будущее. Андре Клод знал это и, сотрудничая вместе с потребителями света, снабжал их советами, которые диктовало ему его большое художественное чувство.

Андре Клод преждевременно ушел из французской науки и промышленности. Он остался для нас символом и примером того, что может дать плодотворный союз широких научных знаний и большого экспериментального и технического мастерства, когда его олицетворением является столь выдающийся человек.

ЧЕТЫРЕ ПИОНЕРА НАУКИ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ[1]

На последующих страницах вы прочтете биографии четырех ученых: Вольта, Ампера, Гаусса и Максвелла, труды которых относятся к периоду от конца XVIII до последней четверти XIX века. Эти биографии, одна из которых принадлежит перу известного критика Сент-Бева, воскрешают в нашей памяти, вместе с многочисленными подробностями и зачастую с забавными историями, образы и деятельность этих великих мужей науки. Читая их, можно было бы восхищаться скромностью, бескорыстием, ясностью мысли Алессандро Вольта, взволноваться рассказом о бурной и часто несчастной жизни Андре Мари Ампера, удивляясь широте его познаний и его необычайным способностям в различных областях литературы, науки и искусства, отдавать должное и абстрактному, и прикладному характеру математического гения великого труженика, страстного вычислителя, каким был Карл Фридрих Гаусс, и, наконец, с уважением наблюдать скрытую под внешне спокойным, скромным и уединенным существованием страстную внутреннюю жизнь гениального научного ума, способного на поразительнейший синтез, Джемса Кларка Максвелла.

Но почему из многих других мы выбрали этих четырех великих физиков, принадлежащих различным европейским нациям? Их работы охватывают весьма различные области. Ампер, который обладал высокой культурой литератора и который, как и Вольта, был в свое время поэтом, оставил после себя прекрасные исследования в области теории вероятностей и математического анализа; еще и сегодня говорят ученые об уравнениях в частных производных Монжа — Ампера. В области химии он, пионер молекулярной теории вещества, делит вместе с итальянским

[1] Введение к очерку, опубликованному в «Revue de l'Association amicale des anciens Élèves de l'École Bréguet» (2 триместр, 1956 г.).

ученым славу первооткрывателя великого закона природы, зачастую называемого «гипотезой Авогадро — Ампера». Ему принадлежит грандиозная классификация наук; его привлекали также философия науки и даже метафизика. Гаусс был великим математиком, который внес вклад в арифметику, геометрию, анализ, механику, астрономию и многочисленные отрасли математической физики. Будучи неутомимым вычислителем, он изобрел, для сведения к минимуму ошибок эксперимента, известный метод наименьших квадратов. Максвелл выполнил ряд работ по небесной механике и оптике, он был одним из создателей статистической термодинамики и кинетической теории газов, в которой с его именем связан закон распределения по скоростям молекул массы газа, находящегося в тепловом равновесии. Но что же позволяет, несмотря на наличие у каждого из этих ученых блестящих исследований по довольно удаленным друг от друга направлениям, объединить творчество этих четырех выдающихся физиков? Это позволяет сделать вклад, внесенный ими в науку об электричестве в первый период ее развития, когда шло познание макроскопических законов, которым подчиняются электрические явления и которые в электротехнике соответствуют тому, что мы называем сегодня техникой сильных токов, противопоставляемой электронике, или технике слабых токов.

Можно было бы сказать, что имена Вольта, Ампера, Гаусса и Максвелла характеризуют четыре последовательные фазы этого периода истории науки об электричестве. Труды Вольта относятся к той героической фазе, когда, открывая и изучая электростатические явления и электрические токи, физики заложили основы новой науки, которая до них игнорировалась почти всеми. Имя Ампера связано с фазой великих открытий и бросков вперед, имя Гаусса — с фазой разработки методов и строгой математической теории. Затем наступила фаза великого синтеза, когда господствует гений Максвелла.

Дополняя биографии, где этот вопрос, может быть, освещен несколько недостаточно, мы кратко проанализируем существенный вклад, внесенный четырьмя великими физиками в науку об электричестве.

Вольта был учеником и продолжателем тех талантливых физиков XVIII века, которые, начиная с Грея и Дюфе и кончая Кулоном, включая аббата Нолле, де Рома и Франклина, со все возраставшей точностью наблюдали электро-

статические явления, различали два рода электричества, изобрели конденсаторы, поняли природу молнии и установили закон электрического притяжения. Великой заслугой Вольта было то, что он выявил существование электрического тока, то есть перемещение электричества и его эффекты, а также изобрел первые средства его получения по желанию человека. После того как Гальвани случайно обнаружил существование электрического тока благодаря вызываемым им мышечным сокращениям в лапке лягушки, большой заслугой Вольта является открытие способа получения электрического тока путем приведения в контакт двух различных металлов и открытие, таким образом, гальванического столба, этого скромного источника тока, роль которого, несмотря на прогресс электротехники на протяжении последних ста пятидесяти лет, еще не окончилась полностью и в настоящее время. Благодаря Вольта к уже известной тогда электростатике прибавилась электродинамика.

Магнетизм был известен с древности. Пьер де Марикур в эпоху Людовика Святого, Гильберт в начале XVII века глубоко изучали свойства магнитов. Полтора века тому назад подозревали, что магнетизм родствен электричеству, но тогда еще не имелось никаких прямых доказательств наличия таинственной связи между ними и не была точно известна ее природа. Неувядающая слава открытия во всей ее широте связи между электричеством и магнетизмом принадлежит Андре Мари Амперу, который в своей гениальной работе объединил две области до тех пор полностью разделенные в единую науку: электромагнетизм. Как непосредственным предшественником Вольта был Гальвани, так непосредственным предшественником Ампера был физик Эрстед. В 1819 году Эрстед обнаружил, что на намагниченную иглу, расположенную вблизи провода, по которому течет ток, действует сила, заставляющая ее изменять ориентацию. Познание этого явления досталось на долю Ампера; он понял его значение и сделал из него все выводы. В начале осени 1820 года в течение нескольких недель, после глубоких теоретических размышлений, подкрепленных превосходными экспериментами, осуществленными с помощью подручных средств, Ампер установил ставшие сегодня классическими законы, которым подчиняется создание магнитных полей токами и действие магнитных полей на токи. Великолепная по своему значению и по скорости выполне-

ния работа, которая, как и современная ей работа Огюстена Френеля по оптике, является одним из самых славных достижений французской науки! В ходе как раз этих замечательных исследований Ампер показал, что если металлический провод свернуть в спираль и пропустить через него ток (то есть сделать «соленоид»), то получится настоящий искусственный магнит. Если в соленоид вставить железный сердечник, то получится незаменимое устройство современной электротехники — электромагнит. Он заметил также, что электрический ток мог бы быть использован для передачи на расстояние человеческой мысли путем электрического телеграфа, который, впрочем, был реализован лишь много позднее. Для полного завершения этого замечательного ансамбля открытий и теоретических истолкований Амперу не хватало только открыть явление индукции, то есть возникновение тока при изменениях магнитного поля,—явление, существенно необходимое для работы современных электрических генераторов и моторов на наших современных электростанциях. Видимо, предвзятая, неправильная идея о природе этого явления, существование которого он подозревал, не позволила Амперу увенчать свое творчество этим последним открытием. Честь сделать его выпала на долю англичанина Фарадея в 1831 году, через пять лет после смерти Ампера. Но это обстоятельство не должно приводить нас к недооценке гениальности и значения общих выводов работы великого французского физика.

После великих открытий Эрстеда, Ампера и Фарадея нужно было навести порядок на завоеванной территории, то есть уточнить в детализированной форме математические законы электромагнетизма и найти им приложение. Среди многих физиков, занимавшихся этой работой в середине прошлого века, наибольшего успеха добился Гаусс. Великий математик, опытный вычислитель, он всегда занимался конкретными приложениями физических теорий. В конце своей жизни он уделил особое внимание математическому исследованию законов электричества и магнетизма. Ему мы обязаны глубоким исследованием распределения электростатических полей вблизи неподвижных зарядов и распределения магнитостатических полей вокруг намагниченных тел. Сегодня нельзя ни исчерпывающе излагать электростатику, не говоря о «теореме Гаусса», ни изучать магнитные силы, действующие на намагниченную иглу вблизи магнитного стержня, не говоря о двух «главных положениях Гаус-

са», одно из которых соответствует точкам, расположенным на оси стержня, а другое — точкам, расположенным в его экваториальной плоскости. Будучи в то же время и экспериментатором, Гаусс разработал первые конструкции однонитевых или двунитевых магнитометров и создал первую полную теорию колебаний их намагниченной стрелки. Он был одним из ученых, первыми исследовавших сложную проблему выбора электрических единиц. Работы Гаусса в этой области, хотя их и следует признать менее гениальными, чем работы Ампера, все же составляют одну из наиболее прочных основ науки об электричестве.

Затем пришел Максвелл. В ту эпоху, когда он, мобилизовав всю мощь своего ума, подверг анализу электромагнитные явления, законы этих явлений представлялись хорошо известными, но их математическая формулировка не составляла еще вполне связного целого. Ощущалась необходимость в такой синтетической теории. Максвелл предпринял попытку создать ее и объединить единой системой уравнений в частных производных всю совокупность известных тогда свойств электромагнитного поля. Проявив глубокое предвидение, он заметил тогда, что для того, чтобы эта система уравнений была симметричной и не противоречила экспериментальному факту сохранения количества электричества, в одно из уравнений нужно добавить член, который не выражал ни одного из дотоле известных законов. Физически этот член означает, что, кроме явления магнитной индукции, открытой Фарадеем, в котором изменение магнитного поля вызывает появление электрического поля и, следовательно, при некоторых условиях ток в проводнике, следует допустить существование симметричного явления электрической индукции, то есть возникновение магнитного поля при изменении электрического поля. И тогда Максвелла озарила гениальная идея: он обнаружил возможность на основе дополненных таким образом уравнений истолковать свет как электромагнитное возмущение, принадлежащее узкому интервалу длин волн, и, таким образом, включить всю оптику в электромагнитную теорию. Итак, две области физики, ранее полностью разъединенные, отныне оказались тесно связанными. Опыт полностью подтвердил это великое открытие Максвелла, и с тех пор электромагнитная природа света ни у кого не вызывает сомнений. Не останавливаясь подробно на следствиях, которые Максвелл смог извлечь из своего

великолепного синтеза, как, например, на установленном им соотношении между диэлектрической проницаемостью среды и показателем преломления для световых волн, отметим, что отождествление световых волн с электромагнитными возмущениями, соответствующими узкому интервалу длин волн, дало основание полагать, что существуют также волновые электромагнитные возмущения, имеющие большие или меньшие длины волн, чем длины волн света. Через двенадцать лет после смерти Максвелла Генрих Герц открыл волны, получившие его имя; они представляют собой электромагнитные возмущения, имеющие длины волн, гораздо большие длины волны видимого света. Это открытие, содержащееся в зародыше в идеях Максвелла, породило последовательно радиотелеграф, радиотелефон, радиовещание, а затем и телевидение. Отсюда можно видеть, как широкий теоретический синтез может породить бесчисленное количество практических приложений.

После вышеизложенного можно сказать, что Вольта, Ампер, Гаусс и Максвелл вполне заслуживают то уважение, которое воздали им их последователи, связав их имена с четырьмя важнейшими электрическими и магнитными единицами. Имена Вольта и Ампера получили единицы разности потенциала и силы тока в «практической» системе единиц; имена Гаусса и Максвелла получили единицы магнитной индукции и потока магнитной индукции в системе СГСМ.

Максвелл скончался в конце 1879 года. С его смертью закончился первый период развития науки об электричестве. Несколько лет спустя физики открыли электрон и корпускулярную природу электричества, затем они мало-помалу начали замечать, что «зерна» электричества играют существенную роль во внутренней архитектуре атомов, из которых состоит вещество. Необыкновенная вещь: это электричество (его существование на протяжении стольких веков игнорировали или едва замечали) оказалось одним из существенных элементов внутренних структур материального мира! Тогда стало возможным появление новых представлений о мельчайших структурах вещества, и с этой поры началась «атомная эра». Но была бы она возможной без трудов великих пионеров классической науки об электричестве?

РЕЧЬ, ПРОИЗНЕСЕННАЯ ПО СЛУЧАЮ ВРУЧЕНИЯ РОЗЕТКИ КАВАЛЕРА ОРДЕНА ПОЧЕТНОГО ЛЕГИОНА ЛИ ДЕ ФОРЕСТУ 5 ОКТЯБРЯ 1956 ГОДА

Господин министр, дамы, господа!

Имя Ли де Фореста является одним из великих имен современной науки и техники, и я счастлив от своего собственного имени и от имени французских ученых (в той мере, в какой я могу считать себя здесь их представителем) присоединиться к выразившим ему сегодня вечером свое искреннее почтение.

Я тем более счастлив это сделать, что великое изобретение де Фореста связано для меня с одним воспоминанием из времен моей ранней молодости, которое очень живо сохранилось в моей памяти. Это было в начале войны 1914—1918 годов. Я находился тогда в рядах Службы военной радиотелеграфии, которой руководил большой энтузиаст радиотехники генерал Феррье, бывший в то время полковником. В радиотелеграфии этой уже отдаленной эпохи для передачи и приема пользовались устройствами, которые показались бы нам сегодня крайне примитивными. Для передачи использовался затухающий разряд конденсатора, прием осуществлялся с помощью галенитовых детекторов или электролитических детекторов, несовершенных и ненадежных. Из-за отсутствия усилителей можно было принимать только очень сильное излучение, а передавать — только азбуку Морзе; человеческую же речь передавать было нельзя. Однажды в лабораторию, где я работал, вошел полковник Феррье и объявил, что он принес новый и чудесный аппарат, уже применявшийся в Соединенных Штатах, но еще не известный во Франции, аппарат, по его мнению, призванный революционизировать всю радиоэлектрическую технику. И он вынул из своего кармана маленькую лампу с тремя электродами американского изготовления и порекомендовал нам тщательно изучить ее свойства и ее возможное применение.

В последующие годы я мог наблюдать, с какой необыкновенной быстротой развивались применения гениального изобретения Ли де Фореста в технике связи на расстоянии. Вскоре все приемные устройства были переоборудованы, в них стали применяться детекторы, усилители, гетеродины и т. д., использующие лампы-триоды.

Методика радиопередачи была также полностью обновлена на базе применения этих ламп, и благодаря введению модуляции стало возможно передавать человеческую речь. Из этого изобретения выросло, в сущности, все современное радиовещание. Конструкция ламп со временем изменялась и усложнялась, и лампы-триоды, став вообще многоэлектродными лампами, сегодня применяются во всех (столь многочисленных, столь разнообразных, столь важных) отраслях техники связи, управления по радио, радиолокации. Как бы ни были важны изменения, внесенные с течением времени в первоначальный образец триода, изобретенный полвека назад Ли де Форестом, все современные типы ламп этого рода всегда основаны на следующем существенном принципе, установленном де Форестом: регулировать изменения тока электронов, который течет в вакуумной лампе между катодом и анодом, с помощью других вспомогательных, соответствующим образом расположенных электродов.

Но это великое открытие сослужило службу не только технике. И не только, подчеркнем это, анализу работы устройств такого рода, не только все более глубокому изучению динамики электронов. Оно оказало неоценимую услугу электронике как науке и значительно способствовало ее развитию; кроме того, оно предоставило всем работникам лабораторий во всех отраслях науки приборы, ставшие сегодня необходимыми вспомогательными средствами в их исследованиях. Таким образом, это великое изобретение, независимо от его бесчисленных технических применений, стало одним из крупнейших факторов прогресса чистой науки в течение последнего полувека.

Сказанного, на мой взгляд, достаточно, для того чтобы понять, почему не только инженеры и техники, но также физики и специалисты всех отраслей науки должны сегодня все вместе выразить Ли де Форесту свое почтение, а также свою признательность и свое восхищение.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ТВОРЧЕСТВА ПЬЕРА КЮРИ[1]

Пьер Кюри родился в Париже в 1859 году. Сын врача, он с ранних лет вместе со своим братом Жаком вступил на путь научной деятельности. Работая лаборантом у Дезена, он уже в двадцать один год, в 1880 году, опубликовал совместно с ним исследование, посвященное измерению длин волн инфракрасного излучения; ему удалось измерить длину волны, равную 7 *мк*, что в то время представляло значительный успех в деле исследования этой спектральной области.

Позднее, руководствуясь глубокими теоретическими представлениями о симметрии, Пьер Кюри в сотрудничестве со своим братом открыл явление пьезоэлектричества, или возникновения электричества при механическом воздействии на кристаллическое тело с асимметричной структурой. Затем оба брата занялись изучением связи пьезоэлектричества с пироэлектричеством, уже известным в прошлом, и, проверяя теоретические представления Липпмана, показали, что существует обратный пьезоэлектрический эффект, проявляющийся в деформации пьезоэлектрического кристалла при подведении к нему электрического заряда от внешнего источника. Они разработали также устройство, известное под названием «пьезоэлектрический кварц»; оно нашло себе весьма многочисленные применения в области радиоэлектричества и ультразвука.

Исследования пьезоэлектрического эффекта привели Пьера Кюри к глубоким мыслям об общем характере симметрии физических явлений; мысли эти легли в основу многих его статей, опубликованных начиная с 1885 года. Его вдохновляли работы Браве, кристаллографов, а также идеи Пастера; они помогли ему развить общую теорию сим-

---

[1] Написано 19 апреля 1956 года по случаю пятидесятой годовщины со дня смерти Пьера Кюри.

метрии и показать, что в явлениях природы симметрия всегда стремится возрастать так, что в причине всегда не меньше асимметрии, чем в действии. Идеи Пьера Кюри и сегодня еще представляют большой интерес; из них и до сих пор удается извлекать все новые и новые следствия.

В исследованиях, которые он вел начиная с 1892 года и которые составили предмет его докторской диссертации о «магнитных свойствах тел при различных температурах», защищенной им в 1895 году, он снова проявил исключительные качества физика. А именно, он установил, что коэффициент удельного намагничивания, практически не зависящий от магнитного поля для диамагнитных и парамагнитных тел, также не зависит от температуры для диамагнитных тел, а для парамагнитных — обратно пропорционален температуре. Этот последний вывод составляет содержание «закона Кюри». Что касается ферромагнитных тел, то Пьер Кюри установил, что их сильные магнитные свойства исчезают при повышении температуры; тела становятся слабыми парамагнитиками. Температура, при которой ферромагнитные тела теряют свои сильные магнитные свойства, получила название «точка Кюри».

После этой серии замечательных работ в 1896 году Пьера Кюри можно было с полным правом считать физиком очень высокого класса. Он получил должность профессора по курсу общего электричества в Школе промышленной физики и химии и женился на молодой польской студентке Марии Склодовской. Как раз в это время Анри Беккерель сделал фундаментальное открытие радиоактивности урана. Мария Кюри решила тогда проверить, обладают ли какие-нибудь другие элементы, кроме урана, свойствами радиоактивности, и привлекла к этому новому роду исследований своего мужа. Используя свои обширные знания в области пьезоэлектрических явлений, Пьер Кюри разработал очень чувствительный электрический метод для измерения излучения урана. Мария Кюри одновременно с немецким ученым Шмидтом открыла, что торий радиоактивен, как и уран. Вскоре после этого она со своим мужем заметила, что некоторые минералы, содержащие торий или уран, обладают значительно более высокой радиоактивностью, чем эти два элемента. Они предположили, что эта сильная радиоактивность должна иметь своим источником неизвестный элемент, более радиоактивный, чем уран или торий; они оказались на пороге великого открытия.

Внимание Пьера и Марии Кюри было в то время привлечено свойствами урановой смолки из Иоахимсталя (ныне Иоахимова), сложного минерала, встречающегося в Чехии и состоящего в основном из окиси урана. Супругам Кюри удалось сначала извлечь из урановой смолки вещество, в 400 раз более активное, чем сама смолка, и Мария Кюри дала этому новому элементу название полоний в честь своей родины. Затем двум молодым ученым удалось в сотрудничестве с Бемоном доказать существование в урановой смолке элемента, еще более радиоактивного, чем уран, который они назвали радием. Вскоре было установлено, что радий является элементом, по химическим свойствам близким к барию, но имеющим значительно больший атомный вес. Исследование Демарсеем спектральных линий радия позволило точно идентифицировать этот новый элемент. Пьер и Мария Кюри смогли уже тогда получить хлористый и бромистый радий в чистом виде; им удалось установить, что его атомный вес близок к 226. Затем, когда их сотрудник Дебьерн открыл актиний, они приступили к изучению действия радиации, испускаемой радием, и установили, что под ее действием многие вещества начинают фосфоресцировать, электроскопы мгновенно разряжаются; они установили, что радиация вредно действует на человеческий организм. Они обнаружили также существование очень важного явления, совершенно отличного от известных до того времени: индуцированной радиоактивности, то есть того факта, что радий делает окружающие его тела радиоактивными и эта радиоактивность довольно устойчива. Это явление, казавшееся сначала очень таинственным, позднее было истолковано на основе предположения, что атом радия, распадаясь, испускает атом нового элемента, эманацию радия, или радон, который сам радиоактивен и может осаждаться на окружающих телах.

Фундаментальные открытия Пьера и Марии Кюри произвели большое впечатление в ученом мире. Они разделили с Анри Беккерелем одну из первых Нобелевских премий по физике, а Пьер Кюри, став профессором Сорбонны, был в 1905 году избран в Академию наук. Имея к сорока шести годам за собой значительный и очень оригинальный творческий путь, на котором он сделал ряд крупных экспериментальных открытий в различных отраслях и выработал глубокие теоретические представления, Пьер Кюри достиг известности и почета; он зачастую считал их

бремя слишком тяжелым для себя и, будучи простым человеком, предпочитал радости исследования суете известности. Казалось, его ожидает длительный период плодотворной зрелой работы, но не такая судьба была уготована ему. Как раз ровно полвека тому назад, 19 апреля 1906 года, ужасный и нелепый несчастный случай внезапно оборвал жизнь и деятельность одного из благороднейших представителей французской науки: Пьер Кюри попал под колеса экипажа на набережной Сены.

Оставшись вдовой, Мария Кюри посвятила себя продолжению деятельности, которую она начала вместе со своим мужем. Верная памяти того, с кем она разделяла славу, она посвятила ему позднее волнующее биографическое исследование, переизданное недавно благодаря заботам ее детей[1]. Заменив его в должности профессора Сорбонны, она в течение более чем тридцати лет читала курс радиоактивности и с огромным авторитетом руководила многочисленными и плодотворными работами в Институте радия, учебном и исследовательском центре, созданном для нее. Известно, что ее деятельность с огромным успехом была продолжена дочерью Ирен Жолио-Кюри и ее зятем Фредериком Жолио-Кюри, сделавшими важные открытия в ядерной физике и также получившими Нобелевскую премию за открытие искусственных радиоактивных элементов. Преждевременная кончина Ирен Жолио-Кюри, которая недавно повергла в траур всю французскую науку и которая почти совпала с пятидесятой годовщиной трагической смерти Пьера Кюри, придает сегодня особенно волнующий характер этой печальной годовщине.

---

[1] Marie Curie, Pierre Curie, Editions Denoël, 2-e ed., 1955.

ТАИНСТВЕННАЯ ПОСТОЯННАЯ h—ВЕЛИКОЕ ОТКРЫТИЕ МАКСА ПЛАНКА[1]

В текущем году мы отмечаем столетие со дня рождения знаменитого немецкого физика Макса Планка. Ему было сорок лет с небольшим, и он был уже известным и уважаемым физиком, особенно благодаря своим трудам по термодинамике, когда в конце 1900 года сообщил о своем незадолго до этого сделанном великом открытии, навсегда прославившем его имя,— об открытии кванта действия.

Я не хочу здесь анализировать условия, в которых было сделано это открытие. Это, впрочем, сделал сам Планк в статье, очень интересной для психологического изучения условий, в которых возникают великие научные открытия в области теории[2]. Хорошо известно, что разработка теории «излучения абсолютно черного тела» привела его, в рамках принятых в то время представлений, к противоречию с опытом. Пытаясь найти выход из этого тупика, Планк на основе своих глубоких знаний термодинамических процессов был вынужден ввести в процесс обмена энергией между веществом и излучением элемент дискретности и, таким образом, принять на вооружение знаменитую постоянную h, которая носит теперь его имя. Однако в этой истории открытия кванта действия имеется одно малоизвестное обстоятельство, и поэтому, может быть, его интересно здесь подчеркнуть. В течение нескольких лет, предшествовавших его работе над излучением абсолютно черного тела, Планк, стремившийся расширить область применения методов статистической термодинамики, развил, пользуясь тогда еще классическими непрерывными представлениями, термдоинамику электромагнитного излучения и пытался ввести наряду

---

[1] Написана в 1958 году по случаю столетия со дня рождения Макса Планка.

[2] См. Max Planck, Initiations à la physique, Paris, Flammarion, 1941, p. 68.

с энергией излучения также и его энтропию. Будучи большим поклонником прославленного Больцмана, Планк сообщил о своей работе основателю статистической механики, представляя последнюю на его суд. Больцман ответил ему, что он никогда не сможет построить вполне правильную теорию статистической термодинамики излучения без введения в процессы излучения ранее неизвестного элемента дискретности. Когда исследуешь, как Планк пришел довольно окольным путем от термодинамики излучения абсолютно черного тела к осознанию необходимости введения совершенно нового понятия кванта действия, становится ясным, что замечание Больцмана помогло ему найти правильный путь к своему великому открытию.

Не останавливаясь более на вопросе о том, что думал сам Планк о существовании кванта действия, мне хотелось бы теперь пролить свет на весьма глубокий и крайне таинственный характер этого нового понятия. Представив его для случая линейных осцилляторов в форме «кванта энергии» (как мы увидим, эта форма является очень поучительной), Планк заметил, что постоянная h имеет физическую размерность действия, понимаемого в смысле классической механики, и что в рамках развитых им теоретических представлений величину механического действия всегда можно представить в виде целого кратного nh; из этого он сделал вывод, что глубокий смысл h заключается в том, чтобы быть «квантом действия»; поэтому-то с постоянной Планка связано ныне название «кванта действия». Однако ниже мы скажем, почему в действительности фундаментальное значение этой постоянной заключается, видимо, все-таки не в этом. Впрочем, с самого начала представление о существовании в некотором роде атома действия влекло за собой большие трудности. В самом деле, в механике не существует закона сохранения действия, и трудно представить у несохраняющейся величины атомистическую структуру; более того, действие является довольно абстрактной величиной, и, несмотря на то что оно входит в формулировку принципа наименьшего действия, вряд ли оно может иметь конкретный смысл. Наконец, уже сравнение теории квантов с опытом должно было сразу показать, что рассматриваемые в ней интегралы действия зачастую равны не nh, а $\left(n+\frac{1}{2}\right)h$, что приводит к необходимости рассматривать половинный квант действия. По размышлении можно

было бы выдвинуть большое количество возражений против гипотезы о дискретном строении механического действия.

Через пять лет после открытия Планка Эйнштейн смело вернулся к представлению о зернистой структуре света и излучений, и ему удалось с помощью своей теории «квантов света» объяснить ранее непонятные законы фотоэлектрического эффекта. Основная гипотеза Эйнштейна состояла в том, что в монохроматическом излучении с частотой ν лучистая энергия распределена не равномерно, как предполагалось в классических волновых теориях Френеля — Максвелла, а сконцентрирована в виде зерен, в которых содержится $h\nu$ энергии, где h — постоянная Планка, служащая здесь, как и в первоначальной форме теории Планка, для определения кванта энергии. Эти зерна лучистой энергии Эйнштейн и назвал тогда «квантами света»; сейчас мы называем их «фотонами».

Но Эйнштейн очень быстро заметил, что соотношение $W = h\nu$ должно быть дополнено другим соотношением, касающимся количества движения фотона. Используя различные доводы, заимствованные как раз из незадолго до этого разработанной им теории относительности, он показал, что если $\vec{p}$ — вектор количества движения фотона, то, очевидно, этот вектор, направленный параллельно единичному вектору $\vec{n}$, определяющему направление распространения волны, имеет величину $\vec{p} = \frac{h}{\lambda}\vec{n}$, где $\lambda = \frac{c}{\nu}$ — длина монохроматической волны. Величины W и $\vec{p}$, определяющие движение фотона, как частицы, связаны, таким образом, с величинами ν и λ, определяющими распространение световой волны посредством совокупности двух соотношений:

$$W = h\nu, \quad \vec{p} = \frac{h}{\lambda}\vec{n}. \tag{1}$$

Если эти формулы истолковать на четырехмерном языке теории относительности, то они означают, что четырехмерный вектор энергии-импульса фотона пропорционален четырехмерному вектору, определяющему распространение волны. Но — и это, без сомнения, наиболее важный момент — коэффициент пропорциональности равен постоянной Планка.

Предлагая вернуться к картине излучений, содержащих корпускулярные концентрации энергии, Эйнштейн понимал, что нельзя полностью отказываться от волновой картины

излучений, данной в трудах Френеля, переистолкованных Максвеллом. Итак, Эйнштейн утверждал, что отныне будет необходим синтез двух картин, и он представлял себе будущую картину излучения в виде поля, сильно сконцентрированного в небольших областях пространства. Но он отдавал себе ясный отчет в том, что постоянная h играет существенную роль в объединении волновой картины и корпускулярной картины.

Однако это понимание роли h применялось лишь к случаю света. Более того, развитие известной теории атома Бора самим Бором и его последователями сразу же повлекло за собой применение условий квантования к внутриатомным электронам. Эти условия выражались формулой, согласно которой некоторые интегралы механического действия были равны целым кратным h, что, казалось, соответствует представлению о существовании у действия своего рода атомной структуры. Но начавшееся с 1923—1924 годов развитие волновой механики очень ясно показало, что истинный смысл постоянной h заключается в том, чтобы служить соединительной черточкой между корпускулярной стороной и волновой стороной элементарных единиц вещества и излучения. Основная идея волновой механики, как она представлялась вначале автору настоящей статьи, состояла в распространении на все частицы вещества двойственности аспекта «волна и частица», открытой Эйнштейном для случая света, и в постоянной связи механических величин энергии W и импульса $\vec{p}$ частицы с волновыми величинами, частотой ν и длиной волны λ, волны, которую необходимо было связать с частицей посредством тех же фундаментальных соотношений (1), что и для частного случая фотона, с той единственной разницей, что для частиц вещества соотношение между ν и λ имеет более сложный вид, чем соотношение $\lambda = \frac{c}{\nu}$, справедливое для фотонов. Эта гипотеза, которая была вскоре полностью подтверждена открытием и изучением замечательного явления дифракции электронов на кристаллах и правильность которой в настоящее время установлена, свидетельствовала, вследствие полной повсеместности вышеупомянутых соотношений, что глубокий смысл постоянной h тесно связан с существованием двойного аспекта (волна и частица) элементарных единиц микрофизики. Более того, когда в 1926 году исторические работы Эрвина Шредингера позволили далее углубить

характер квантования в волновой механике, старые методы квантования с помощью интегралов действия представлялись справедливыми лишь тогда, когда распространение волны, связанной с частицей или системой частиц, можно описать в приближении геометрической оптики. Истинный метод квантования, справедливый в общем случае, когда приближения геометрической оптики недостаточны, состоит в определении частот стоячих волн и совершенно не связан с существованием у действия дискретной структуры.

Одним из первых следствий развития волновой механики явилось открытие Вернером Гейзенбергом соотношений неопределенности, носящих его имя. Эти известные неравенства выражают тот факт, что невозможно в обычных опытах одновременно определить положение и скорость частицы. Зачастую делают вывод о том, что частица в любой момент не имеет вполне определенных положения и скорости. Такой вывод является несколько рискованным, поскольку из факта невозможности одновременного точного измерения положения и скорости частицы не следует с необходимостью вывод о том, что эти две величины не имеют в любой момент времени вполне определенных значений. Но не входя в обсуждение этого замечания, которое может вылиться в сугубо научный спор, можно сказать, что существование соотношений неопределенности не дает нам ничего существенно нового о природе постоянной Планка. Быть может, стоит воздержаться от высказывания, которое зачастую делается, что соотношения неопределенности являются следствием существования кванта действия, поскольку это может убедить в том, что они связаны с существенно дискретным характером величины действия; но можно утверждать, что соотношения неопределенности следуют из способа, которым связываются с помощью постоянной h корпускулярная сторона и волновая сторона единичных объектов вещества и излучения.

Примерно за двадцать пять лет квантовая физика в результате своего теоретического развития приняла весьма абстрактный вид. Придерживаясь точки зрения, близкой к точке зрения энергетической школы конца прошлого века, она принимает волновые уравнения волновой механики с членами, содержащими постоянную Планка, рассматривая их просто как обоснованные успехом истолкования экспериментальных фактов, которые она допускает, и полностью

отказываясь от построения конкретной картины волново-корпускулярной двойственности. Очевидно, что, принимая эту абстрактную точку зрения, «квантовая механика», в том виде, в каком ее в настоящее время преподают, ограничивается констатацией роли, которую играет постоянная Планка, и вовсе не стремится добиться ее истолкования.

Полагают, что понимаемая в таком смысле квантовая механика, принявшая еще более резко выраженный абстрактный характер, обрела наиболее совершенную форму в том, что обычно называют «квантовой теорией поля». Эта формальная теория, весьма изящная и довольно строгая, достигла ряда важных успехов, особенно в истолковании опытов Лэмба и Ризерфорда и величины дополнительного магнитного момента электрона. Она породила также ряд интересных представлений, например представление о поляризации вакуума. Тем не менее следует признать, что она потерпела также и много неудач, и, видимо, постепенно большинство ученых начинает склоняться к мнению о том, что для обеспечения дальнейшего прогресса квантовая физика должна в ближайшем будущем ввести новые представления, выходящие полностью за рамки существующих в настоящее время представлений.

Благодаря мощным средствам, которыми располагает в настоящее время экспериментальная физика в области ускорителей элементарных частиц, а также благодаря все более и более тонкому исследованию эффектов, вызываемых космическими лучами, за последние годы было доказано существование все возрастающего числа элементарных частиц. Большинство этих частиц являются неустойчивыми, имеют ограниченное время жизни и очень часто превращаются друг в друга. Эта множественность частиц, обладающих массами со вполне определенными значениями, не была ни предсказана, ни объяснена современными теориями квантовой физики; она поставила перед теоретиками новую проблему фундаментальной важности для понимания микрофизического мира — проблему понимания природы элементарных частиц и объяснения совокупности их свойств и особенно дискретных значений их масс.

Лично я, размышляя в течение нескольких лет над этой проблемой элементарных частиц и над современным состоянием квантовой физики в целом, пришел к выводу о необходимости возврата к моим прежним представлениям и к мысли о том, что частицы микроскопического масштаба

должны, вопреки общепринятому в настоящее время мнению рассматриваться как локализованные в пространстве и обладающие какой-то структурой. Если говорить точнее, то частица была бы включена в протяженное волновое поле, очень локализованный случай которого она представляла бы. Другими словами, частица представляла бы очень малую область пространства, в которой волновое поле имело бы весьма высокие значения. Это представление тесно связано с представлением, которое в свое время отстаивал Эйнштейн в рамках общей теории относительности и которое он образно назвал «горбатым полем» (bunched field). Далее, различные соображения привели меня к заключению, что волновое уравнение поля должно содержать нелинейные члены, влияние которых должно быть преобладающим в области высокой концентрации поля. Если мои представления верны, то определение различных видов частиц должно в конце концов свестись к вычислению собственных значений и собственных функций нелинейных уравнений в частных произведениях. Собственные значения дали бы собственные массы частиц, а форма собственных функций, как раз в области высокой концентрации поля, описывала бы то, что можно назвать «внутренней структурой» этих частиц. Существенным при этом было бы то, что постоянная h входила бы в нелинейные члены волнового уравнения, в члены, которые выражали бы до некоторой степени связь между волновым аспектом и корпускулярным аспектом. Может быть, в этом возможно найти объяснение роли соединительной черточки между этими двумя аспектами, а в этом, видимо, заключается глубокое значение постоянной Планка.

Конечно, мои личные представления, только что кратко изложенные, в настоящее время разделяются далеко не всеми физиками-теоретиками, в особенности представление о возможности локализации частиц в пространстве в виде областей концентрации поля. Тем не менее мне кажется, что под давлением необходимости обновления наших представлений о микрофизике, необходимости, ставшей настоятельной в связи с открытием большого числа новых частиц, то тут, то там начинают возникать представления, аналогичные (по меньшей мере частично) моим вышеизложенным представлениям. Так, в последнее время часто говорят о новой теории частиц Вернера Гейзенберга. Хотя идеи известного немецкого ученого со многих точек

зрения отличаются от моих вышеизложенных представлений, все-таки можно подметить существование между ними следующих аналогий: 1) проблема предсказания различных типов частиц и расчета их масс сводится к определению некоторых отвечающих определенным условиям решений нелинейных уравнений в частных производных; 2) нелинейность волновых уравнений возникает как реализация объединения частиц и волнового поля; 3) постоянная Планка должна входить в эти теории через нелинейные члены волновых уравнений и, стало быть (это очень важное следствие для рассматриваемого нами предмета), являться соединительной черточкой между корпускулярной стороной и волновой стороной единичных микрофизических объектов.

Все вышесказанное приводит нас к выводу, что истинный смысл постоянной Планка не может, конечно, быть вскрыт до построения общей теории элементарных частиц на твердой основе; эта теория обязательно разъяснит глубокий смысл двойственности волна-частица. Конечно, работа по построению ее будет длительной и сложной, так как нелинейные уравнения являются тяжелым в обращении математическим инструментом, а описание различных сортов частиц должно давать возможность предсказания различных многочисленных характеристик (массы, заряда, спина и т. д.). Но рано или поздно все эти трудности будут преодолены, истинный смысл постоянной h, несомненно, станет ясен, и тогда станет еще более очевидным, чем сегодня, воистину гениальный характер великого открытия Макса Планка. Ведь за пять лет до рождения квантовой теории света, когда еще никто не мог и предположить о существовании волново-корпускулярной двойственности, великий физик, работая над очень частной проблемой излучения абсолютно черного тела, заметил необходимость введения в физику этой универсальной и фундаментальной постоянной h, выражающей существующий в природе союз волн и частиц и, несомненно, являющейся ключом к построению здания наших представлений о веществе и излучении в микрофизическом масштабе.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ДОКЛАДЫ И ВЫСТУПЛЕНИЯ ПО НАУЧНЫМ ВОПРОСАМ

ОГРОМНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ И КУЛЬТУРЕ

1. Поль Валери, который любил размышлять о перипетиях человеческой истории, был однажды крайне поражен тем, что электричество, роль которого в современной науке и культуре стала столь фундаментальной, в течение многих веков было известно лишь в виде несущественного явления, на первый взгляд почти совершенно незначительного, в виде электризации трением. Взволнованный этим контрастом, он написал следующую замечательную фразу: «Что может быть более непонятно для ума, чем история этого небольшого кусочка янтаря, столь покорно проявляющего силу, которая скрыта во всей природе, которая, быть может, есть вся природа и которая в течение всех веков, кроме последнего, проявлялась лишь в нем?»

Действительно, констатация потрясающая: в то время как сегодня физики считают, что электричество играет существенную роль в строении вещества, и думают, что материальный мир не был бы тем, что он есть, если бы не было электричества; в то время как инженеры видят в электричестве ни с чем не сравнимое средство передачи и преобразований энергии как в области крупной промышленности, так и в области более тонкой, в области электроники,— человек в течение веков мог жить рядом с электричеством, не подозревая о его существовании или по крайней мере значении. Более того, атомы, из которых состоит наше тело, химические реакции, происходящие в нем и обеспечивающие нашу деятельность и существование, управляются электрическими взаимодействиями и не могут существовать без них; наша нервная система выполняет свои функции, распространяя возбуждение, электрическая природа которого несомненна, а наш мозг, центр нашей высшей нервной деятельности, несомненно, обязан электрическим явлениям изумительной сложностью и удивительным богатством своих возможностей к мышлению и деятельности. Таким

образом, электричество не только находится повсюду вокруг нас в природе: оно в нас; можно, пожалуй, сказать, что оно — это мы. Однако в течение тысячелетий мы о нем ничего не знали; лишь полтора века тому назад мы начали подозревать о его значении. Это обстоятельство заставляет нас быть о самих себе весьма скромного мнения: позавчера мы ничего не знали об электричестве; вчера мы ничего не знали об огромных резервах энергии, содержащихся в атомном ядре; о чем мы не знаем сегодня? Одно почти несомненно: может быть, мы окружены «силами», как говорил Валери, о которых сегодня не имеем ни малейшего представления.

2. Но вернемся к электричеству. Кое-какие довольно грубые опыты по электризации трением, кое-какие свойства естественных магнитов — вот все, что было известно об электромагнетизме до XVIII века; впрочем, между этими двумя группами явлений не было установлено никакой строгой связи. В XVII веке в этой области выявились довольно заметные успехи. Грею и Дюфе примерно в 1730 году удалось установить существование двух видов электричества. Затем после работ Рома, аббата Нолле, Франклина и других стали известны некоторые свойства электричества, особенно в области электростатики. Была установлена электрическая природа гроз и в смутной форме была высказана идея о связи между магнетизмом и электричеством. Были построены первые электростатические машины и первые конденсаторы, известные как лейденские банки. В физических кабинетах или на докладах блестящих популяризаторов теснилась тогда легкомысленная публика, желавшая посмотреть на эти чудесные опыты, которые, казалось, давали возможность получать молнию; шарлатаны зачастую извлекали выгоды из наивного любопытства публики, плохо осведомленной в этой области. Сегодня мы с улыбкой можем думать об этом чистосердечном благоговении перед электростатическими и магнитостатическими явлениями, кажущимися нам очень простыми. Однако это увлечение было началом всего современного развития науки об электричестве.

В конце XVIII века из этих до тех пор скорее качественных знаний выросла настоящая строгая и количественная наука об электрических и магнитных явлениях. Такие педантичные ученые, как Кавендиш и Кулон, установили зависимость от расстояния притяжения и отталкивания электрических зарядов и полюсов магнита. Они нашли, что

уменьшение взаимодействия обратно пропорционально квадрату расстояния; эта зависимость была уже в течение столетия знакома ученым из теории всемирного тяготения Ньютона.

Затем появились работы Гальвани, и лапки его лягушек, сокращавшиеся под действием электрического тока, указали физикам дорогу, по которой нужно было следовать для познания свойств движущегося электричества, электрических токов. Вольта и Деви изучили способы получения электрического тока: первый изобрел гальванический столб, второй открыл явление электролиза. И вот в 1819 году датский физик Эрстед заметил влияние электрического тока на намагниченную иглу, расположенную вблизи него, и бесспорно установил, что между магнетизмом и движением электричества имеется глубокая связь.

Опыт Эрстеда, о котором вскоре узнали во Франции, послужил отправной точкой для гениальных открытий Андре Мари Ампера. В течение нескольких недель осени 1820 года, проведя экспериментальные исследования и теоретические расчеты, Ампер создал электродинамику, то есть науку о свойствах движущегося электричества. При содействии Араго, Био, Савара, Лапласа он установил законы, которым подчиняется порождение магнитных полей токами и действие магнитных полей на токи; он нашел принцип соленоида и электромагнита и предсказал создание электрического телеграфа. Он вплотную подошел к открытию законов индукции, открытию, которое прославило великого английского физика Фарадея. Вскоре после того как Фарадей установит законы индукции, как Ом откроет закон, носящий теперь его имя, как великий математик Гаусс облечет эти явления в соответствующую теоретическую форму, электромагнетизм как наука, описывающая совокупность электромагнитных явлений, непосредственно наблюдаемых в макроскопическом масштабе, будет почти полностью создан таким, каким он еще существует в наши дни. Далее, в 1860—1875 годах Джемс Кларк Максвелл объединит все известные законы электромагнетизма в обширную систему, которая носит его имя,— в теорию Максвелла, и благодаря своей гениальной проницательности включит все световые явления, всю оптику в рамки электромагнетизма. Это восхитительное слияние двух областей физики, до тех пор полностью разобщенных, слияние, которое несколько лет спустя позволит понять природу волн Герца

и роль электричества в явлениях микромира, представляет собой завершение эпопеи, которую меньше чем за столетие, от Кулона до Максвелла, проделали ученые, познавая макроскопические законы электричества и магнетизма. Наша страна сыграла важную роль в этой эпопее, и мы можем по праву гордиться этим.

До середины прошлого века прогрессивное развитие науки об электричестве совершалось главным образом в области чистого научного исследования, которое ставит своей целью получение знания ради знания, не заботясь о его приложениях. Но любое знание ведет к приложениям, как и всякая мысль приводит в конце концов к действию. В средние века знания о магнитах привели к использованию компаса для навигации, а в XVIII веке понимание свойств электрической жидкости привело Франклина к открытию громоотвода; это были, правда, скромные, но технические приложения. Великие открытия начала XIX века в этой области должны были, естественно, повлечь за собою и другие: электролиз позволил Деви и его ученикам выделить ряд химических элементов, и мы видели, что Ампер на заре создания электродинамики впервые выдвинул идею электрического телеграфа. Но число приложений электричества начало особенно возрастать примерно с 1850 года. Появились электрический телеграф, освещение с помощью лампочки накаливания, электрическая дуга, первые динамомашины. Это была заря новой эры человеческого производства. Когда в виде аккумуляторов появилось удобное средство накопления электричества (к сожалению, их конструкция мало с тех пор изменилась), когда техника передачи сообщений по подводному кабелю поставила перед инженерами и даже выдающимися физиками трудные проблемы, тогда, примерно с 1880 года, началось бурное развитие электротехники. Все время увеличивалось число средств получения, преобразования и использования электрического тока: генераторы постоянного и переменного тока, однонакорные преобразователи тока, трансформаторы, синхронные и асинхронные моторы переменного тока, моторы постоянного тока стали предметом длительных исследований, в результате которых были созданы замечательные конструкции. Передача электрической энергии на большие расстояния по линиям высокого напряжения значительно расширила область применения этих новых средств, предоставляемых наукой в распоряжение человека,

причем разнообразие этих средств увеличивалось с каждым днем. Франция сыграла значительную роль в быстром развитии применений электричества: достаточно напомнить имена Планте и Марселя Депре.

Наряду с этими прекрасными приложениями в период 1890—1910 годов происходило развитие электротехники как самостоятельной науки. С тех пор эта наука имеет свои собственные методы и проблемы. Глубоко исследуя такие сложные проблемы, как проблемы коммутации, действия наведенных полей, связи генераторов переменного тока, работы синхронных и асинхронных машин и т. д., она значительно способствует техническому прогрессу и позволяет обходить встречающиеся на его пути подводные камни. Приобретающее все большее и большее значение использование многофазных токов ставит перед теоретиками и инженерами подчас весьма тонкие вопросы. Франция много сделала для развития этой новой отрасли науки: среди имен великих основателей современной электротехники мы видим имена таких ученых и инженеров, как Альфред Потье, Андре Блондель, Поль Жане, Поль Бушеро.

Позднее эти ставшие сегодня старыми формы электротехники претерпели новое развитие; использование очень высоких напряжений, проблемы, связанные с пересечением и стабильностью сетей, использование электрической тяги на железных дорогах, а также другие вопросы потребовали от электротехников новых усилий. Уровень теоретической электротехники все время повышается; ей приходится использовать сложные математические методы. Исследование переходных состояний, а также исследование многофазных сетей требует применения операторного метода Хевисайда и метода симметричных координат. В исследованиях такого рода стало обычным применение комплексных величин, с некоторыми, правда, предосторожностями. В данном случае очень наглядно постигаешь, что постоянное и необходимое сотрудничество техники с чистой наукой требует, чтобы последняя снабжала технику общими представлениями и методами исследования, в которых она нуждается.

Итак, мы видели всю важность, которую имеет как с точки зрения познания электрических явлений крупного масштаба, так и их промышленного использования прогресс макроскопической науки об электричестве. Этой макроскопической науке об электричестве соответствует «техника

сильных токов», которая, конечно, еще способна быстро развиваться, но основные линии которой сегодня представляются уже вполне определенными. Наряду с этой техникой сильных токов, промышленное значение которой продолжает оставаться большим и не перестает расти, на протяжении последних тридцати или даже сорока лет непрерывно развивается техника слабых токов (к ней относятся все применения электроники и новейшие формы радиотехники). Как техника сильных токов родилась из развития наших знаний о макроскопических электрических и магнитных явлениях, так техника слабых токов в значительной степени обязана своим происхождением современному поразительному развитию наших знаний о роли электричества в микромире, я хочу сказать, в мире атомов вещества. Вот об этом я и хотел бы теперь напомнить.

3. Открытие волн Герца составляет один из главных этапов перехода от макроскопической физики к физике атомных явлений. Максвелл заметил, что все видимое или невидимое излучение имеет электромагнитную природу. Несколько лет спустя Г. Герц экспериментально доказал правильность этой интуитивной догадки путем открытия электромагнитных волн, которые носят его имя, волн, аналогичных свету, но длина которых значительно больше длины световых волн. Я не хочу вам напоминать, как благодаря Бранли и Маркони[1] это открытие довольно быстро привело к созданию беспроволочного телеграфа. Исследования Блондло, Андре Блонделя, Жозефа Бетено и Камилла Гюттона, опыт и авторитет генерала Феррье в значительной степени содействовали обеспечению во Франции прогресса радиотехники, особенно во время войны 1914—1918 годов. Сначала эта новая отрасль техники пользовалась лишь классическими электротехническими средствами, более или менее приспособленными для новых нужд (катушки Румкорфа, генераторы низкой частоты, основанные на разряде конденсаторов в колебательном контуре, генератор высокой частоты, электрическая дуга и т. д.). Но постепенно после 1914 года радиотехника была вынуждена использовать свойства электронов, то есть наши знания о внутренней структуре вещества. И это не случайно; в самом деле, излучение Герца относится к тем тонким факторам — видимым или невидимым электро-

[1] Всем известно, что радио первым изобрел А. С. Попов.— *Прим. перев.*

магнитным волнам,— которые постоянно служат посредниками между явлениями мира атомов и электронов и явлениями, которые мы можем наблюдать в нашем макроскопическом масштабе.

Но не только эти открытия послужили отправной точкой для технического прогресса. Примерно к 1880 году наша наука об электричестве стала развиваться по новому направлению. Макроскопические законы электричества к этому времени были хорошо известны, и ученые заинтересовались проблемой строения электрической жидкости, которая вскоре оказалась неразрывно связанной с проблемой самого строения вещества. Открытие в середине XIX века Фарадеем законов электролиза явилось значительным аргументом в пользу корпускулярной концепции электричества. Открытие в последние годы прошлого века Гитторфом и Круксом катодных лучей и их последующее изучение Ленардом, Вихертом, Жаном Перреном, Полем Вилларом и др. явилось доказательством того важного факта, что отрицательное электричество состоит из весьма сходных друг с другом частиц, электронов. Эти электроны были обнаружены в эмиссии электричества некоторыми телами под влиянием света (фотоэлектрический эффект Герца), в эмиссии электричества раскаленными телами (термоионный эффект), в продуктах распада радиоактивных тел (бета-излучение). Вскоре было доказано, что электрон является общей составной частью вещества. Такие физики, как Дж. Дж. Томсон, Лорентц, Друде и др., ввели электрон как существенный элемент в свои теории вещества и взаимодействия вещества и излучения. Великому голландскому ученому Г. А. Лорентцу удалось с помощью своей теории электронов предсказать и описать действие магнитного поля на спектр испускания источника света, помещенного в это поле. Экспериментальное открытие этого изумительного явления Зееманом в 1896 году прекрасно подтвердило представления Лорентца. Изучение наблюденного эффекта позволило определить отношение e/m, то есть отношение заряда электрона к его массе; впрочем, это отношение уже было известно физикам. Оно позволило физикам убедиться в том, что электрон играет существенную роль в структуре атомов и в процессах испускания атомами спектральных линий.

В то же время (1895) Рентген обнаружил, что, если пучок катодных лучей ударяется о препятствие (антикатод), последний становится источником очень проникающего

излучения, знаменитых лучей Рентгена. Вскоре было обнаружено, что эти лучи имеют ту же природу, что и свет и волны Герца, но длина их волн оказалась очень короткой. Когда Макс фон Лауэ в 1912 году обнаружил дифракцию рентгеновских лучей на трехмерной решетке, составленной регулярно расположенными на малых расстояниях друг от друга атомами естественного кристалла, оказалось возможно с большой точностью измерить длину волны рентгеновских лучей. После того как стала известна длина волны, с помощью рентгеновских лучей стало возможно определять структуру кристаллических или полукристаллических тел. Использование рентгеновских лучей оказало, таким образом, огромную услугу кристаллографии и металлографии; о применении их в медицине, я думаю, здесь напоминать излишне.

Кроме электронов, в веществе встречаются также более тяжелые частицы, несущие положительный или отрицательный заряд. Ими являются частицы вещества, атомы, молекулы или совокупности молекул, которые приобрели или потеряли несколько электронов, то есть имеют немного больше или немного меньше электронов, чем в нормальном нейтральном состоянии. Этим наэлектризованным частицам вещества было дано родовое название «ионы». Изучение ионов позволило понять механизм электролиза и работу гальванических элементов. Ионы также объяснили проводимость газа, подверженного действию некоторых агентов (например, рентгеновских лучей), а также появление тлеющего разряда и свойства дугового разряда. Положительный ион, представляющий собой атом гелия, потерявший два периферических электрона, есть не что иное, как альфа-частица, которая так часто испускается в процессах радиоактивного распада. И после того, как я произнес эти слова, мне хочется напомнить, что в последние годы прошлого века Анри Беккерель, затем Пьер и Мари Кюри открыли радиоактивность урана, затем радия и других радиоактивных элементов. Это явление естественной радиоактивности тяжелых элементов, которое изучалось также Содди, Фаянсом, Дебьерном, Резерфордом и другими, впервые познакомило нас с явлениями атомных трансмутаций, которые мы можем сегодня осуществлять в широких масштабах и о которых вам хорошо известно.

Итак, в период, который можно ограничить примерно 1880 и 1905 годами, физика накопила новые ценные знания

о явлениях не только макроскопического масштаба, но и значительно более мелкого масштаба — атомов и электронов. И сразу же, согласно ритму развития науки, этим новым знаниям были найдены важнейшие приложения.

Сначала мы упомянем о выпрямителях тока и напряжения, начиная с клапана Вилара и кончая мощными современными кенотронами. При этом нельзя умолчать о лампе Флеминга, которая некогда служила детектором очень быстро колеблющихся индуцированных токов для приема волн Герца с помощью антенны беспроволочного телеграфа. Диод Флеминга вскоре был усовершенствован — в него был добавлен третий электрод; диод превратился в триод. Известно, что эти лампы с тремя электродами за какие-нибудь сорок лет революционизировали всю технику радиотелеграфии. Сначала детекторы, гетеродины и ламповые усилители для приема волн, затем ламповые генераторы незатухающих волн. Именно применение ламповых генераторов незатухающих волн, которые можно легко модулировать звуками человеческого голоса, сделало возможным радиотелефонию, а следовательно, и радиовещание, столь прочно вошедшее в наш быт, что мы подчас забываем о его недавнем возникновении.

Вы знаете, как быстро развивалась новая радиотехника, основанная в конечном счете на изучении свойств электрона. Хочу лишь упомянуть о таких сложных и совершенных устройствах, какими являются многоэлектродные лампы, имеющие подчас пять или шесть электродов, каждый из которых играет строго определенную роль в работе лампы, или пушпульные схемы, с помощью которых талантливый инженер может путем соответствующего сочетания некоторых контуров добиться любого желаемого эффекта. В то время как первые радиотелеграфисты, используя затухающие волны, полученные с помощью колебательных контуров, питаемых трансформаторами или генераторами переменного тока, должны были хорошо знать макроскопическую электротехнику, но могли ничего не знать об электроне, сегодняшние радиотехники должны быть знакомы с электроникой и знать ее во всех тонкостях.

Перед все время развивающейся радиотехникой в последние годы открылись новые пути благодаря использованию все более и более коротких электромагнитных волн порядка метра и даже сантиметра. Эти ультракороткие волны благодаря своей проникающей способности, благодаря спо-

собности образовывать направленные пучки, аналогичные пучку света, отбрасываемому прожектором, позволили осуществить такие необыкновенные устройства, как знаменитый радиолокатор или волноводы. Таким образом, быстро создается новая ветвь радиотехники.

Но использование все более и более коротких волн связано с решением ряда новых проблем. Генерирование таких волн триодами сложно, а при достаточно малой длине волны просто невозможно. Для этого пришлось изобрести другие устройства: магнитроны и клистроны. Успешная эксплуатация этих новых приборов требует проведения сложных исследований движения электронов в магнитных и электрических полях при заданных граничных условиях. Стоит только заглянуть в руководства, посвященные теории магнитронов, клистронов, ламп с бегущей волной и т. д., чтобы увидеть, как хорошо должны знать радиоинженеры математические закономерности движения электронов. Впрочем, в случае клистронов, в которых колебательный контур старых устройств заменен металлической резонансной полостью, нужно проводить расчет собственных колебаний такого рода полости, что зачастую является сложной задачей на применение общей теории электромагнитного поля. Наконец, для получения направленных электромагнитных волн и излучения их в заданном направлении как луча, отбрасываемого прожектором, нужно использовать волноводы или рупоры и уметь рассчитывать распространение коротких электромагнитных волн в этих волноводах или рупорах, а также учитывать явления дифракции, имеющие место на выходах из них. Эти задачи относятся к числу сложных задач электромагнитной теории, и их решение представляет собой прекрасную иллюстрацию той плодотворной помощи, которую могут оказывать друг другу чистая наука и техника. Хорошо известным примером новых средств, появившихся в электротехнике на основе познания поведения электрона, является катодный осциллограф, называвшийся ранее трубкой Брауна, который позволяет без отставания прослеживать все изменения электрического напряжения и чертить его график. Старые осциллографические приборы, принадлежавшие Андре Блонделю, сегодня совершенно вытеснены электронными осциллографами, действие которых основано на крайне малой инертности электрона. Одним из самых старых способов получения электронов является фотоэлектрический

эффект, обнаруженный Герцем в 1887 году. Это явление испускания электронов металлом под действием излучения привлекало к себе внимание многих физиков на протяжении минувшего полувека, поскольку законы, которым оно подчиняется, были совершенно неожиданными и поскольку исследование его, а также излучения абсолютно черного тела явилось основанием для разработки теории квантов, столь важной для истолкования явлений микроскопического масштаба. Но исследование фотоэлектрического эффекта было важно не только для развития чистой физики. Оно быстро повлекло за собой и его применение. Действительно, на свойствах фотоэлектрического эффекта основано действие фотоэлементов, приборов, получивших, как известно, широкое применение. Их использование сделало возможным телевидение, эту новую отрасль техники, которая сначала развивалась довольно медленно, а теперь развивается очень быстро. Техника телевидения, одновременно использующая и свойства фотоэлементов, и свойства электронов в электроннолучевых трубках, смогла развиваться только на базе всех сделанных физиками на протяжении полувека открытий, на которых зиждется электроника вообще.

4. Мы видели, что в развитии науки об электричестве можно выделить две фазы: сначала, так сказать, фазу поверхностного развития, затем фазу глубинного развития, сначала исследование явлений макроскопического порядка, затем явлений атомного масштаба. Из этих двух фаз развития науки об электричестве, как мы видели, выросла классическая электротехника, техника сильных токов, затем электроника и вообще техника слабых токов. Это непосредственное и быстрое применение достижений науки об электричестве, мы не можем об этом не упомянуть, оказало огромное воздействие на развитие современной цивилизации. Производство и передача на расстояние электрической энергии произвели переворот в условиях энергоснабжения промышленности; электролитические явления преобразовали целый раздел химии; электрическое освещение, телеграф, телефон, многочисленные применения электричества в домашнем хозяйстве, электрическая тяга полностью изменили условия повседневной жизни. Что касается, в частности, электроники, то в наш быт проникли или проникнут в ближайшем будущем радиотехника в своих современных формах, телевидение и другие достижения, особенно в области радиосвязи. Радиолокация, устройства для теле-

управления уже получили и получат многочисленное мирное и военное применение. Применения электричества, ставшие возможными в результате открытий, сделанных учеными и разработанных инженерами, действительно занимают важное место в современной цивилизации.

Совершенно очевидно, что мы далеки от завершения этой эволюции. Для применений электроники уже сейчас открываются непредвиденные пути. Я хочу упомянуть сейчас о тех, в основе которых лежат идеи волновой механики. В первую очередь упомянем об изучении структуры тел с помощью дифракции электронов, изучении, имеющем столь важное значение для металлографии, исследования состояния поверхностей и решения других жизненно важных для промышленности задач. Далее, упомянем электронный микроскоп, столь ценный для изучения структуры вещества и для многих биологических исследований. После изобретения электронного микроскопа микроскопия, которая ранее была областью оптиков и изготовителей стекла, стала теперь частично областью, где используется искусство инженера-электроника.

Развитие ядерной физики, на котором я могу здесь остановиться лишь весьма бегло, породило новые разделы электротехники. Дело не только в том, что освобождение ядерной энергии, конечно, позволит в более или менее отдаленном будущем освоить новый способ получения электрической энергии и что атомные электростанции войдут в строй наряду с ныне действующими тепловыми и гидроэлектростанциями. Дело, кроме того, в том, что ядерная техника ставит перед инженерами-электрониками новые проблемы. Когда я говорю об этом, я имею в виду, например, возрождение интереса к электростатическим машинам, столь мало изучавшимся после XVIII века. Это возрождение интереса вызвано тем, что в исследованиях по ядерной физике имеется необходимость в очень больших разностях потенциалов, но небольших силах тока. Я имею в виду при этом также всю категорию установок, имеющих довольно громоздкие названия (циклотроны, синхротроны, бетатроны и т. д.), которые служат для сообщения частицам атомного масштаба крайне высоких энергий. Строительство этих установок, зачастую связанное с очень большими затратами, требует от инженеров-электроников большой проницательности в решении крайне сложных теоретических и технических задач.

Итак, на этих нескольких примерах вы видите, что любое новейшее завоевание физики позволяет ясно предвидеть новое расширение областей применений электричества, которое рано или поздно окажет влияние на нашу цивилизацию и на нашу повседневную жизнь. А кроме тех применений, которые мы можем предвидеть, скольких мы еще совершенно не замечаем. Не следует забывать, что, согласно прекрасному образному выражению Ньютона, перед нами всегда расстилается полностью неисследованный океан истины. Его постепенное освоение, сколь бы частичным оно ни было в каждый момент времени, конечно, обогащает нас новыми, совершенно неожиданными знаниями, которые непрерывно находят многочисленные применения, по-разному влияющие на нашу культуру и на условия нашего существования.

Высшая школа электричества празднует сегодня шестидесятую годовщину своего существования. Созданная в конце прошлого века физиками и инженерами, она сначала исключительно интересовалась тем, что сегодня можно назвать классической электротехникой, электротехникой сильных токов и больших установок. Позднее, как бы отражая в своей структуре два этапа развития науки об электричестве, она разделилась на два отделения: одно из них все еще занимается подготовкой специалистов в области классической электротехники, которая остается основой электротехнической промышленности и в которой непрерывно возникают новые проблемы, другое специализируется больше на выпуске инженеров в области радиотехники и электроники, которые способствуют и будут способствовать быстрому и разнообразному техническому прогрессу в данной области. Серьезная постановка преподавания как с точки зрения теории, так и с точки зрения тесной связи с практикой выдвигает Высшую школу электричества на стык науки и техники, на то место, где достижения науки получают практическое применение. Уровень подготовки, количество выпущенных ценных специалистов — все это свидетельствует о том, что на протяжении более чем полувека это крупное научное учреждение играет благородную и полезную роль. Под постоянным воздействием новых научных открытий и новых технических возможностей ему, несомненно, придется в будущем решать новые сложные задачи. И его блестящее прошлое является гарантией того, что эти задачи будут успешно решены.

ПО ТРОПАМ ФИЗИКИ[1]

Роль эксперимента и роль теории

По-видимому, уже давно существует согласие по поводу роли, которую играют эксперимент и теория в естественных науках. Эксперимент, неотъемлемая основа любого прогресса этих наук, эксперимент, из которого мы всегда исходим и к которому мы всегда возвращаемся,—лишь он один может служить нам источником знаний о реальных фактах, которые стоят выше любой теоретической концепции, любой предвзятой идеи. Но эксперимент не должен сводиться к простому, пассивному наблюдению. Он должен всякий раз, когда это возможно, активно вмешиваться в реальность, изменяя условия возникновения явлений, вопрошая природу строго определенным образом, так, чтобы видеть, каков будет ее ответ. Что касается теории, то ее задача состоит в классификации и синтезе полученных результатов, расположении их в разумную систему, которая не только позволяет истолковывать известное, но также по мере возможности предвидеть еще не известное.

Эксперимент должен быть точным; для того чтобы быть действительно плодотворным, он должен выражать свои конечные результаты в количественной форме, то есть численно. Следовательно, он должен использовать установки, способные давать результаты этого типа и в той или иной форме проградуированные. Успехи экспериментальной физики, следовательно, всегда будут связаны с усовершенствованием методов и средств измерения, что делает очень важной в этих науках роль метрического аспекта. Эти успехи будут весьма общим образом связаны также с усовершенствованием приборов и установок, которые сами по себе могут позволить со все возрастающей гибкостью и тонкостью изменять условия наших наблюдений и способы, с помощью которых нам удается констатировать все

---

[1] Доклад на конференции в Музее Гиме, организованной журналом «Нувелль литтерер» 25 февраля 1955 года.

более тонкие физические явления. Вот одна из причин, объясняющих, почему после медленного и долгого начального периода физика развивается во все ускоряющемся темпе: действительно, чем больше развивается физика, тем больше она снабжает себя, в виде все более и более тонкой аппаратуры, средствами, которые обеспечивают ее дальнейшее развитие. Именно это считают нормальным условием «экспоненциального» развития.

Теория также должна иметь свои инструменты, для того чтобы получить возможность формулировать свои концепции в строгой форме и строго вывести из них предположения, которые можно было бы точно сравнить с результатами эксперимента; но эти инструменты являются главным образом инструментами интеллектуального порядка, математическими инструментами, если можно так сказать, которые теория постепенно получила благодаря развитию арифметики, геометрии и анализа и которые не перестают множиться и совершенствоваться. Впрочем, следует добавить, что особенно в последние годы теоретики также получили возможность использовать материальные установки, например аналоговые или цифровые счетные машины, которые помогают им проводить расчеты, а иногда и выполняют их от начала до конца. По некоторым причинам, о которых я сейчас не буду говорить, я не разделяю мнения, что для того, чтобы обеспечить дальнейшее развитие науки, подобные машины, как бы ни были они усовершенствованы в будущем, должны когда-либо заменить человеческий ум в обработке данных эксперимента.

Когда физическая теория добивается получения связного математического представления об известных явлениях, она стремится к тому, чтобы предсказать новые явления. Иногда эти предсказания подтверждаются дальнейшими экспериментальными исследованиями и теория, выдержав, таким образом, испытание, укрепляется. Иногда— и можно сказать, что с течением времени это всегда в конце концов происходит,— либо эксперимент не подтверждает одного из предсказаний теории, либо вдруг в ходе эксперимента обнаруживается зачастую, независимо от воли исследователей, новый факт, который не согласуется с теорией. Тогда нужно доделать или переделать воздвигнутое ранее здание теории. Но, и это существенно, такая переделка, поскольку она всегда должна производиться с учетом всех накопленных ранее фактов, должна быть осуществлена

так, чтобы включить тем или иным образом, и зачастую в качестве первого приближения, в новую теорию предыдущую теорию и всю совокупность уравнений, на которых она зиждется, хотя их истолкование может измениться. Таким образом, новая теория должна признать все точные предсказания старой теории, но, отличаясь от нее в некоторых пунктах, она должна строго предвидеть наблюдаемые факты, в том числе и те, которые старая теория не в состоянии предвидеть. Путем таких последовательных включений развивается теоретическая физика; не отрицая ни одного из своих предыдущих успехов, она охватывает все время изменяющимся и расширяющимся синтезом возрастающее число экспериментальных фактов. Приведем для иллюстрации этого лишь один замечательный пример: в электромагнитной теории света Максвелла удалось снова найти, правда в ином истолковании, все уравнения, предложенные Френелем и его последователями на основе представления о световых колебаниях упругого эфира, но она, кроме того, смогла включить свет, в качестве весьма частного случая, в бесконечно более обширную категорию электромагнитных волн и смогла также дать замечательное истолкование электрооптических и магнитооптических явлений, которого нельзя было ожидать от концепции Френеля.

Прежде чем закончить эти общие рассуждения о роли эксперимента и теории, подчеркнем, что результат эксперимента никогда не имеет характера простого факта, который нужно только констатировать. В изложении этого результата всегда содержится некоторая доля истолкования, следовательно, к факту всегда примешаны теоретические представления. Физик, измеряющий ток амперметром, не удовлетворится следующими словами: «Я увидел, что стрелка моего измерительного прибора переместилась на столько-то делений шкалы»,— поскольку констатация в такой форме не представляет ни малейшего интереса; он скажет: «Я измерил силу тока; она оказалась равной 10 *а*». Но, если на этот раз его утверждение представляет интерес, оно связано с совокупностью теоретических представлений о законах электричества, о работе измерительного устройства и т. д. Это неизбежное вмешательство теоретических представлений в формулировку экспериментальных результатов так поражает некоторые умы, что они начинают сомневаться в том, что экспериментальные факты существуют независимо от наших теоретических представлений, и иног-

да говорят: «Ученый создает научный факт». Это высказывание, конечно, представляет собою преувеличение, с которым некогда воевал Анри Пуанкаре. Научный факт, разумеется, существует независимо от представлений, служащих для его выражения. Иногда факт даже отказывается подтвердить теоретическое истолкование, которое ему хотели дать. Тем не менее небезынтересно вспомнить анализ этой проблемы, проведенный шестьдесят лет назад Эдуардом Леруа и Пьером Дюгемом. Они пришли к выводу, что понятие экспериментального факта не так просто, как можно подумать сначала: не существует совершенно «сырого» факта. Данные наших чувств могут служить для построения научной теории лишь после того, как они будут нами соответствующим образом истолкованы, а в это истолкование обязательно вмешиваются некоторые представления нашего ума, то есть теоретические идеи. А это говорит о том, что нельзя совершенно четко отделить эксперимент от теории и считать, что экспериментальный факт является данным, не зависящим от любого истолкования. Соотношение между экспериментом и теорией является более тонким и более сложным: экспериментальные наблюдения получают научное значение только после определенной работы нашего ума, который, каким бы он ни был быстрым и гибким, всегда накладывает на сырой факт отпечаток наших стремлений и наших представлений.

Декартовское представление явлений «посредством фигур и движений»

Именно в XVII веке, после начавшегося с конца средних веков периода медленного развития, продолжавшегося в течение двух веков эпохи Возрождения, физика встала на путь, который должен был привести к поразительным завоеваниям, в осуществлении которых участвуют с воодушевлением, а подчас с беспокойством люди нашего времени.

Одновременно с развитием экспериментальной физики, позволяющей всякий раз проводить сопоставление теоретических представлений с фактами, сопоставление, отсутствие которого постоянно вводило научную мысль античного мира и средних веков в заблуждение, физика начала создавать себе более ясное представление о целях, которые она должна была преследовать. Физика начала отдавать себе отчет в том, что она должна стремиться к описанию с помощью

точных пространственных образов хода явлений с течением времени. Рене Декарт, мыслитель с могучим и догматическим умом, заявил, что представление физических явлений должно осуществляться «посредством фигур и движений». Впрочем, эту формулу, столь четко подводящую итог развитию физики, которое было долгим и плодотворным, можно понимать в узком и широком смысле. Узкое истолкование декартовской программы состоит в следующем допущении: весь физический мир нужно представить как состоящий из тел, которые изменяют свое положение под влиянием их взаимодействия согласно законам механики, законам, о которых в эпоху Декарта начало создаваться более точное представление. Конечно, можно говорить о других сторонах представлений такого рода, а именно о том, в каком отношении к ним находятся такие представления, как представления о силах или действии на расстоянии, но эти представления всегда сводились к «механическому» истолкованию физической реальности, что заставляло рассматривать механику как основную науку, из которой должна выводиться вся остальная физика. Механика довольно естественно приводила к рассмотрению вещества в целом как совокупности бесконечного числа движущихся и взаимодействующих друг с другом частиц. Вместо этого строгого истолкования формулы Декарта, которое в течение длительного времени принималось большинством теоретиков, можно выдвинуть более широкое и более абстрактное истолкование, согласно которому физическая реальность может быть описана величинами, вполне определенными в любой точке пространства и изменяющимися с течением времени по математическим законам, не предполагая, что это описание должно сводиться к образам частиц или что оно должно использовать только строго механические законы. Однако это истолкование, более далекое, чем предыдущее, от первоначальной идеи Декарта, точно так же допускает представление посредством фигур и движений, если только понимать, что оно ограничивается точной картиной физического мира в априори заданных рамках пространства и времени.

Это описание посредством фигур и движений, независимо от того, понимается ли оно в узком или в широком смысле, видимо, соответствует естественной склонности физика, поскольку оно представляет собой спонтанную реакцию нашего ума, когда, исходя из чувственных данных, неизбежным следствием которых являются понятия про-

странства и времени, он пытается описать и истолковать то, что он наблюдает. Это описание дополняется идеей существенной непрерывности хода естественных событий; эти события до своего непрерывного развертывания постепенно возникают согласно неизменным законам. Таким образом, у истоков современной науки вводилось представление о строгом детерминизме, согласно которому точное знание состояния физического мира в заданный момент времени должно позволить точно предсказать все то, что должно происходить сразу же после этого. Математическим орудием, необходимым для выражения этого детерминизма, является, по сути дела, дифференциальное уравнение, которое позволяет представить мгновенное изменение состояния вещей за бесконечно малое время; его необходимым дополнением является «интегрирование», которое, примененное к бесконечно малым изменениям, соответствующим бесконечно малому отрезку времени, может воссоздать полное изменение в течение конечного отрезка времени. Итак, по мере того, как ученые XVII века, непрерывно и сознательно применяя наблюдение и экспериментальный метод, начали постигать основные законы механики, астрономии и некоторых частей физики, они почти неизбежно были вынуждены развивать методы рассуждения и расчета, которые постепенно подводили их к анализу бесконечно малых. Итак, великое открытие, честь осуществления которого оспаривали Ньютон и Лейбниц, можно одновременно рассматривать как необходимое условие рождения современной физики и как нормальное завершение усилий тех, кто участвовал в закладке ее основ.

Оснащенная с тех пор необходимыми ей математическими понятиями и методами, оказавшаяся, впрочем, под сильным влиянием поразительных успехов, одержанных в ту эпоху механикой и математической астрономией, физика готовилась в течение полутора веков, к 1850 году, осуществить программу Декарта в ее самой строгой форме, добиваясь во всех изучавшихся ею областях представления явлений, основанного на законах механики. Корпускулярная теория света Ньютона, первые попытки Бернулли построить кинетическую теорию вещества, истолкование Лапласом капиллярных явлений на основе молекулярного притяжения, первое возрождение в новое время старой атомистической гипотезы благодаря работам Дальтона, Авогадро и Ампера очень четко отражают те тенденции,

которые вдохновляли тогда теоретиков в физике. И когда начиная с 1815 года, после работ Юнга, Малюса, Араго и своих собственных, Огюстен Френель вдохнул новую жизнь в старую волновую теорию света Гюйгенса, он возродил ее на основе механики, допуская, как и его голландский предшественник, что световые колебания происходят в невидимой упругой среде — эфире, свойства которого, несмотря на их необычность, описывались механикой упругих сред. И когда, начиная с 1820 года на основе работ Лапласа, Био и Савара, Андре Мари Ампер развил математическую теорию электродинамических явлений, он, безусловно, надеялся, что она получит в будущем чисто механическое истолкование. Однако горизонты физики раздвинулись в результате развития теории электричества, в частности формулировки, данной ей Максвеллом; и это привело к отказу от истолкований, основанных только на механических образах в строгом смысле слова.

Развитие «физики поля»

Изучение электромагнитного поля постепенно привело к замене собственно механических представлений величинами, строго определенными в каждой точке пространства и меняющимися с течением времени. Такие величины, как скаляры, векторы или тензоры, определяют «поле»; они описываются уравнениями в частных производных, которые связывают их изменение в пространстве с их изменением во времени и обеспечивают, таким образом, детерминизм их эволюции. Многие физики, свыкшиеся со старыми представлениями, хотевшие вывести физику из механики, пытались истолковать уравнения электромагнитного поля при помощи механических свойств находящегося в его основе «эфира», локальные изменения которого выражало бы поле; этим занимались самые выдающиеся физики, например лорд Кельвин, но их попытки ни к чему не привели и были в конце концов оставлены. Таким образом, описание посредством фигур и движений оказывается несостоятельным, если его понимать в узком смысле, предполагающем, в конце концов, сведение всей физики к механике, но оно продолжает сохраняться, если его понимать в более широком смысле, то есть как представление с помощью вполне локализованных величин, непрерывно изменяющихся в рамках пространства и времени.

Но в ту самую эпоху, когда после Максвелла физика поля, казалось, восторжествовала, она до некоторой степени была вынуждена столкнуться с необходимостью учитывать атомную природу вещества и электричества, которую каждый день демонстрировал эксперимент. Это привело к тому, что выработанное на основе эксперимента достоверное понятие электрона оказалось введенным Лорентцем в рамки электромагнитной теории Максвелла, и, несмотря на блестящий успех идей Лорентца, физики, идя вслед за ним, пришли к не очень последовательному смешению представлений физики поля с представлением, более соответствующим старым традициям теоретической физики, с представлением о частицах, движущихся под действием сил, обусловленных полем. Такое смешение, однако, не было удовлетворительным, и можно было думать, что оно имело временный характер.

Именно тогда для преодоления трудностей, порожденных отрицательным результатом некоторых экспериментов, например опыта Майкельсона, и, говоря более общо, изучением электродинамики движущихся тел, появилась теория относительности. Она возникла вначале в виде «специальной» теории относительности и сразу же принесла новые идеи исключительной важности о взаимоотношении пространства и времени, точном виде законов корпускулярной механики, инертности энергии и т. д. Но главным образом, в своей общей форме, теория относительности позволила по-новому рассматривать природу описания явлений, которое физика должна нам давать. В 1916 году Эйнштейн показал, что существование гравитации можно объяснить локальными свойствами пространственно-временнóй структуры, аналогичными кривизне. Возникающее в случае наличия гравитации поле, следовательно, можно рассматривать как проявление геометрических свойств пространства-времени. Тогда были предприняты попытки путем соответствующего усложнения геометрических свойств пространства-времени получить аналогичное истолкование электромагнитного поля и при случае — других полей, существующих в природе. Усилия в этом направлении, предпринятые Эйнштейном и его учениками, привели к наброскам единых теорий, из которых ни одна до сих пор не доведена до конца. Несмотря на трудности, возникающие при постановке этой проблемы, очевидно, что такая трактовка физики поля является логическим завершением идей теории

относительности. Она осталась верной декартовскому идеалу описания явлений посредством фигур и движений, если под ним подразумевать описание в рамках пространства и времени, которое в случае надобности можно соответствующим образом углубить и обобщить.

Эйнштейн всегда думал, что частицы должны быть включены в поле, а не прибавлены к полю, как это сделано в теории электронов Лорентца. Для него частицы являются только особыми областями поля, то есть областями, в которых поле принимает очень высокие значения. Образно выражаясь, можно сказать, что частицы представляют собой некоторого рода «горбы» в структуре поля. Преимущество этой концепции состоит в том, что она позволяет считать, что законы движения частиц зависят от законов движения поля. Так, Эйнштейн смог показать в случае гравитационного поля, что если частицы трактовать именно таким образом, то их движение полностью определяется уравнениями поля, которое заставляет их двигаться по геодезическим линиям в пространстве-времени. Этот важный результат, полученный также Жоржем Дармуа, позволяет надеяться на создание единой теории поля и частиц, в которой частицы не были бы произвольно введены в поле как посторонние тела.

Формальные теории. Энергетика и атомистика. Квантовая физика

Появление новых представлений в физической теории.

Начиная с середины XIX века развитие физических теорий приняло ярко выраженный формальный характер. Понятие «поля», которое одержало верх особенно в электромагнитной теории, было значительно более абстрактным, чем образы, связанные с понятиями частицы или сплошной упругой среды, свойственные старой физике. Многие выдающиеся умы начали тогда думать, что существенным содержанием физических теорий являются не более или менее наивные образы, которые могут служить иллюстративным целям, а только уравнения, которые выражают абстрактные отношения между ними. Некоторые даже дошли до того, что начали рассматривать каждый образ как иллюзорный и опасный и хотели свести физическую теорию к чистому формализму, позволяющему правильно предска-

зывать наблюдаемые явления. Эта новая тенденция сразу же была подкреплена ходом развития термодинамики и успехами философского учения, получившего название «позитивизм», которое начало в то время распространяться и было очень сходно с кантовским идеализмом.

Действительно, примерно век назад быстро возникла наука термодинамика, основные положения которой были сформулированы в гениальной работе Сади Карно за несколько лет до его преждевременной смерти. Термодинамика быстро приняла облик абстрактной теории, основанной лишь на двух фундаментальных постулатах: знаменитых началах сохранения энергии и возрастания энтропии. Следовательно, было весьма привлекательно, вместо попыток объяснения успехов ее формальной схемы на основе более или менее спорных механических или корпускулярных образов, придерживаться только разработанной математической схемы и совокупности дедуктивных выводов, основанных только на двух фундаментальных началах. Такова была позиция школы «энергетиков», яростными приверженцами которой были Оствальд в Германии и Пьер Дюгем во Франции. Таким образом, возникла концепция теоретической физики, блестяще развитая Дюгемом в его книге «Физическая теория», согласно которой нужно ограничиться построением идеальных логико-формальных конструкций, способных описывать экспериментальные факты, и не заниматься разработкой какого-либо образного представления результатов эксперимента. Конечно, это мировоззрение еще можно согласовать с идеей о том, что рамки пространственно-временны́х представлений хорошо приспособлены для изображения любых физических изменений, но она больше, чем теория протяженного поля, как мы выяснили несколько выше, отходит от декартовского идеала описания посредством фигур и движений.

Успешное усвоение большинством физиков этого нового отношения к физической теории, конечно, было облегчено распространением философских идей Огюста Конта и его школы. Находясь под влиянием учения Канта, который различал «феномен», достижимый для наших чувств и доступный для научной констатации, и сущность вещей, «ноумен», безусловно существующий, но недоступный для познания, Огюст Конт вменил в обязанность теоретической науки лишь классификацию и количественное предсказание наблюдаемых явлений без введения в свои кон-

струкции гипотетических элементов, которые не связаны непосредственно с экспериментальными наблюдениями. Многих ученых пленили идеи Огюста Конта; им казалось, что его метод дает возможность дословного перевода экспериментальных данных на язык науки и создает необходимую преграду для фантазии и воображения. В настоящее время многие исследователи еще находятся (иногда бессознательно!) под влиянием позитивистской доктрины.

Если преимущество позитивистской и феноменологической позиции состоит в ее благоразумии и в том, что она обязывает ученого оставаться на почве надежно установленных фактов, то она имеет и недостатки: она рискует подрезать крылья научному воображению, которое всегда играет фундаментальную роль в прогрессивном развитии науки, и она может также затормозить это развитие, априорно заявляя о том, что запрещено вступать на тот или иной путь исследования или истолкования. Она стремится также ослабить, если не уничтожить, понятие объективной физической реальности, независимой от наших наблюдений. Как некогда резко подчеркнул Эмиль Мейерсон, физик всегда инстинктивно является «реалистом» в философском смысле этого слова и сомнительно, чтобы он смог с пользой вести свою работу, отказавшись от своей веры в объективную реальность. Так или иначе, но в течение столетия физика была ареной борьбы теорий, которые допускают возможность образного описания, по крайней мере в некоторой степени, физической реальности в рамках пространства и времени, и формальных и абстрактных теорий позитивистского толка. Первым эпизодом этой борьбы был шестидесятилетний спор атомистов и энергетиков.

Атомизм и энергетика

Мы уже упоминали, что термодинамика с самого начала своего развития приняла форму абстрактной теории, основанной на двух началах, постулированных априори. Изящность и строгость полученных таким образом дедукций, надежность ее метода по сравнению с методами теорий, основанных на пространственных наглядных образах, заставили некоторых физиков полагать, что наконец-то они нашли истинную форму физических теорий. Они попытались изложить по этому образу и подобию и остальные отрасли данной науки. Эта общая «энергетика», очевидно, имела

строгий характер, который пришелся по вкусу любителям строго логических систем, но она была также в значительной степени сухой и догматичной.

Но как раз в то время, когда начала развиваться энергетика, все большее внимание физиков стала привлекать атомистическая гипотеза, которая рассматривала вещество и электричество как имеющие корпускулярную структуру. Созданная мыслителями древней Греции, лежащая в основе первых механистических теорий современной физики, эта гипотеза, преодолев разного рода сопротивления, постепенно стала основой общей химии, поскольку она дала вполне естественное истолкование основных дискретных законов, на которых эта наука основана. Таким образом, физики не могли не интересоваться ею, и те, кто имел склонность к наглядным представлениям, с радостью приняли ее. Затем Максвелл, Клаузиус и Больцман восстановили и развили кинетическую теорию газов, которая пыталась вывести свойства газообразных тел исходя из гипотезы о том, что они состоят из молекул, движущихся беспорядочно и с большой скоростью. Это объяснение, сводящееся в основном к механике, вскоре привело к значительным успехам: истолкованию понятий давления и температуры, выводу закона Мариотта—Гей-Люссака и т. д. Поскольку эта теория победоносно проникла на территорию, которая, казалось, была предназначена термодинамике, было вполне естественно попытаться обобщить ее, чтобы получить термодинамику, основанную уже не на абстрактных принципах, а на интуитивных механических образах. Эту цель преследовала статистическая механика Больцмана и Гиббса. Успехи ее известны: истолкование понятий давления и температуры, понятия энтропии на основе понятия вероятности, обоснование на основе теоремы о равномерном распределении энергии законов теплоемкостей и т. д. К великому конфузу энергетиков, она заменила конкретными и наглядными образами термодинамику, основанную на абстрактных началах, и вскоре оказалась более плодотворной, поскольку позволила истолковать такие явления, как броуновское движение и флуктуации, которые термодинамика, основанная на абстрактных началах, не смогла ни предсказать, ни объяснить.

Атомизм торжествовал победу повсюду. Экспериментаторами был обнаружен электрон, и Лорентц, как известно, с успехом ввел его в электромагнитную теорию. Атомы стали

почти ощущаемыми реальностями: физики научились их считать и прослеживать их движение, они начали вырабатывать о них детальные представления, которые вскоре были уточнены известной теорией Бора. А открытие «квантов света»— фотонов — ввело, ко всеобщему удивлению, идеи дискретности и атомизма в область, которая являлась «заповедником» для непрерывных представлений теории поля. Стоит перечесть замечательную книгу Жана Перрена «Атомы», чтобы убедиться, сколь победоносным казалось в 1910 году шествие атомистической гипотезы; ее триумф, естественно, означал возврат к представлению явлений посредством фигур и движений. Очевидно, образы физического мира не были полностью сведены к механической основе, поскольку не отпала необходимость в понятии поля, которое осталось таким же равноправным, как и понятие частицы. Но, как мы видели, теория относительности позволяла надеяться на получение синтеза этих двух понятий путем соответствующего пространственно-временнóго представления. Пятьдесят лет назад самые убежденные энергетики начали складывать оружие; абстрактные и формальные теории, казалось, были побеждены и окончательно уступили место наглядным теориям с пространственно-временны́ми представлениями.

Но история никогда не кончается, и с появлением современной квантовой теории началась новая фаза.

Современная квантовая физика и неопозитивизм

Открытие Планком в 1900 году кванта действия при исследовании им излучения абсолютно черного тела ввело новый элемент дискретности весьма таинственной природы, который, несомненно, очень тесно связан с корпускулярным строением вещества и излучения. После своего развития в весьма плодотворной (но незаконной) форме первоначальной теории квантов, которая произвольно сочетала квантовые дискретности с механическими расчетами классического типа и вершиной которой была квантовая теория атома Бора и его последователей, квантовая физика начиная с 1923 года приняла новую форму, форму волновой механики. С самого начала и в представлениях своего первого зачинателя волновая механика должна была учитывать волново-корпускулярную двойственность, или, говоря более общо, двойственность полей и частиц, осуществляя

синтез этих двух аспектов физической реальности, синтез, в который существенным образом входила бы постоянная Планка, но который полностью соответствовал бы классической идее о представлении явлений в пространственно-временных рамках. Идеи волновой механики вскоре получили более исчерпывающую математическую форму в работах Шредингера, который на основе строгого метода смог вычислить энергии стационарных состояний квантованных систем. Волновая механика получила затем в 1927 году замечательное экспериментальное подтверждение: Девиссон и Джермер открыли дифракцию электронов на кристаллах. Но вопрос истолкования волново-корпускулярной двойственности оставался открытым, и попытки автора этих строк истолковать его в указанном выше смысле (теория двойного решения, 1927 год) натолкнулись на очень серьезные трудности.

Тогда другие теоретики пошли по пути, который должен был привести их к совершенно иному истолкованию. В 1925 году Гейзенберг разработал квантовую механику, которая, как показал на следующий год Шредингер, есть лишь математическое видоизменение волновой механики. Эта квантовая механика не стремилась найти пространственно-временно́е описание волново-корпускулярной двойственности. Она выступала как абстрактная теория феноменологического характера и не вводила (или не пыталась вводить) никаких других величин, кроме величин, непосредственно связанных с экспериментальными данными. С другой стороны, Бор, пользовавшийся большим авторитетом со времени создания квантовой теории атома, заявил, что пространственно-временно́е описание квантовых переходов невозможно вообще; таким образом, он отказался от представления явлений посредством фигур и движений даже в самом широком смысле этого выражения. Наконец, работы Борна по волновой механике приводили к необходимости определенно приписать Ψ-волне, вводимой этой теорией, «вероятностный» смысл, а тонкий и убедительный анализ Гейзенберга и Бора соотношений неопределенности и невозможности одновременного измерения «канонически сопряженных» величин открывали широкие горизонты для новых представлений квантовой физики.

Таким образом, родилось современное истолкование волновой механики, а если говорить более общо, квантовой физики, которое, допуская существование дискретных

корпускулярных проявлений и кажущегося распространения волн, заставляет рассматривать всю новую теорию в целом лишь как математический аппарат, позволяющий точно предсказать вероятность наблюдаемых явлений. При этом взгляде на вещи вовсе не стремятся объяснить с помощью пространственно-временных образов волново-корпускулярную двойственность; ограничиваются тем, что рассматривают ее как отражение двух «дополнительных» сторон физической реальности, которое нужно констатировать как экспериментальный факт, но природу которого уточнить невозможно.

Становясь на точку зрения энергетиков, современные теоретики квантовой физики вынуждены представить последнюю в форме абстрактной теории, основанной на системе аксиом и имеющей своей единственной целью предсказание наблюдаемых явлений, не считая полезными, или даже законными, попытки построения картины физического мира в рамках пространственно-временных представлений. Естественно, это направление было с одобрением принято физиками и философами позитивистского направления и явилось источником развития школы неопозитивизма, известной под названием Венского кружка. Но даже независимо от этого философского течения подавляющее большинство физиков-теоретиков, покоренных изяществом и строгостью математического аппарата нового истолкования, признало его и взяло более или менее явно в качестве основы своих работ. Именно в рамках этого истолкования за последние двадцать пять лет осуществлялось многообразное применение волновой механики и выросших из нее теорий в области физики микромира.

Однако успеха математического аппарата недостаточно для доказательства того, что данное ему истолкование является единственно верным. Такие видные ученые, как Планк, Эйнштейн и Шредингер, всегда протестовали против нового направления теоретической физики. В частности, Эйнштейн неоднократно утверждал, что если существующий математический аппарат волновой механики, использующий Ψ-волну с вероятностным смыслом, несомненно точен, то он не дает полного «описания» физической реальности. Эйнштейн, безусловно, считал, что полное описание должно производиться в рамках соответствующим образом обобщенных пространственно-временных отношений теорией поля, которая осуществила бы синтез понятий волны

и частицы на основе введения кванта действия. Может быть, и можно построить теорию, объясняющую все успехи, достигнутые современным вероятностным математическим аппаратом и превзошедшую его в предсказании новых явлений, которых он не может учесть, точно так же как уже в течение полувека атомистическая теория объяснила все успехи классической термодинамики и превзошла ее в предсказании новых явлений. Большинство современных физиков-теоретиков (часть из них придерживается идеалистических тенденций), по-видимому, доходит до сомнений в существовании объективной физической реальности и не допускает возможности существования подобной теории. Но одно очевидно — этот вопрос решит только будущее.

Несколько замечаний о методах рассуждения и открытия в физике

Дедукция и индукция. При попытке разобраться в методах, которые использует человек для построения научных теорий, позволяющих ему представлять и предсказать явления природы, мы будем вынуждены признать, что наш ум следует по двум весьма различным путям. Их называют дедуктивным рассуждением и индуктивным рассуждением.

Дедуктивное рассуждение исходит из априорных представлений и постулатов и пытается извлечь из них с помощью логических правил, которым подчиняется наше мышление, следствия; эти следствия затем можно сопоставить с фактами. Математический язык предоставляет в распоряжение дедукции точный инструмент, в котором она нуждается для совершения, по возможности безошибочного, перехода от посылок к выводам. Исходя в начале рассуждения из абстрактных формул, в которых физические величины представлены символами, ученый, использующий дедуктивное рассуждение, преобразует по правилам логики свои уравнения и приходит к окончательным соотношениям, которые он хочет проверить. Тогда он должен заменить символы цифрами, для того чтобы получить численные результаты, которые можно сравнить с экспериментом; рассуждение уступает место расчету. Такова схема дедуктивного рассуждения в том виде, в каком оно используется во всех науках, достаточно точных, достаточно разработанных для того, чтобы в них можно было применять математический аппарат. По своей ясности и по своей строгости дедуктивное рассуждение представляется на первый взгляд

основным инструментом научного прогресса. Ниже мы скажем, почему это не совсем так, как можно было бы думать.

Индуктивное рассуждение значительно сложнее для определения и анализа. Опираясь на аналогию и интуицию, взывая скорее к уму проницательному, чем к уму, так сказать, геометрическому, оно стремится *угадать* то, что еще не известно, так, чтобы установить новые принципы, которые могут служить основой для новых дедукций. Отсюда видно, насколько индуктивное рассуждение смелее и рискованнее, чем дедуктивное рассуждение; дедукция — это безопасность, по крайней мере с первого взгляда; индукция — это риск. Но риск — необходимое условие любого подвига, и поэтому индукция, поскольку она стремится избежать уже проторенных путей, поскольку она неустрашимо пытается раздвинуть уже существующие границы мысли, является истинным источником действительно научного прогресса.

Сила строгой дедукции в том, что она может идти почти абсолютно уверенно и точно по прямой дороге; но слабость ее состоит в том, что, исходя из совокупности постулатов, рассматриваемых ею как несомненные, она может извлечь из них лишь то, что в них уже содержится. В завершенной науке, основные принципы которой были бы полными и определенными, дедукция была бы единственно приемлемым методом. Но в неполной, еще создающейся и развивающейся науке, какой по необходимости является человеческая наука, дедукция может служить лишь для проверки и применений, конечно, очень важных, но не открывающих действительно новых глав науки. Великие открытия, скачки научной мысли вперед создаются индукцией, рискованным, но истинно творческим методом. Новые эры в науке всегда начинались с изменений, вносимых в представления и постулаты, ранее служившие основой для дедуктивного рассуждения.

Из этого, конечно, не нужно делать вывод о том, что строгость дедуктивного рассуждения не имеет никакой ценности. На самом деле лишь она мешает воображению впадать в заблуждение, лишь она позволяет после установления индукцией новых исходных пунктов вывести следствия и сопоставить выводы с фактами. Лишь одна дедукция может обеспечить проверку гипотез и служить ценным противоядием против не в меру разыгравшейся фантазии. Но, захваченная в плен своей же строгостью, дедукция не

может выйти из рамок, в которые она с самого начала заключена, и, следовательно, она не может дать ничего существенно нового.

Аксиоматика и открытие

Вышеприведенные соображения легко объясняют, почему при изложении научных теорий, не считая, может быть, области чистой математики, метод, называемый «аксиоматическим», удовлетворителен для нашего ума и в то же время менее плодотворен практически. Многие видные умы, особенно восприимчивые к логической красоте способа изложения, предпринимали большие усилия, чтобы изложить надежно установленные физические теории в аксиоматической форме. Разумеется, подобные усилия не являются бесполезными; они позволяют в значительной степени уточнить исходные представления и постулаты, лучше обнажить весь формальный костяк теории и строже определить область ее применения и смысл следствий, который можно из нее извлечь. Вся беда, однако, заключается в том, что не успевает завершиться работа, зачастую длительная и кропотливая, по аксиоматизации науки, как теория оказывается недостаточной для истолкования экспериментальных фактов и возникает необходимость расширить, а иногда и полностью пересмотреть ее основы. Так, например, как мы уже видели выше, лишь только удалось придать классической термодинамике и энергетике вполне строгую форму, как открытие атомной структуры вещества, флуктуаций и истинной природы броуновского движения сразу же обнаруживает недостаточность этих абстрактных теорий.

Нельзя сказать, что строгие аксиоматические теории являются бесполезными, но, вообще говоря, они почти не способствуют наиболее замечательным успехам науки. И глубокая причина этого в том, что аксиоматический метод действительно стремится устранить индуктивную интуицию — единственный метод, который может помочь выйти за пределы уже известного; аксиоматический метод может быть хорошим методом классификации или преподавания, но он не является методом открытия.

Физика в процессе развития

Выше я хотел показать, какими представлениями и методами пользовались физики в ходе успешного развития их науки. Исследуя тропы, по которым они шли, мы пытались

понять, как зачастую совершенно различными путями они могли продвигаться вперед. Мы видели, как ученые добивались все больших и больших успехов на пути открытия и истолкования совокупности механических, оптических, термодинамических и электромагнитных явлений, которые имеют место вокруг нас в рамках макромира; затем мы видели, как ученые осмелились исследовать (иногда это вызывало у них головокружение) строение вещества, электричества, электромагнитного поля и таинственную двойственность волн и частиц; мы видели, как ученые последовательно открыли атомы, электроны, фотоны и другие элементарные частицы, число которых благодаря последним успехам в исследовании атомного ядра и космических лучей непрерывно возрастает. Мы видели также, как теоретики, в связи с необходимостью истолкования богатой жатвы экспериментальных фактов, колебались между образными представлениями этих явлений в рамках пространства и времени и более абстрактными представлениями, в которых реальность физического мира как бы исчезает за строгим фасадом чистого математического формализма.

Но сколь бы ни были разнообразны представления и тенденции, влияющие на теоретические рассуждения, следующий важный факт вызывает наше восхищение: в результате этой громадной работы непрерывно и во все возрастающем темпе изумительно расширяются наши знания о физическом мире. Далеко позади остались те времена, когда в XVII веке изобретение обычного микроскопа позволило человеку впервые увидеть, что происходит в мире предметов, размеры которых составляют десятые и сотые доли миллиметра, и пополнить, таким образом, в смысле малых размеров, совокупность данных, доступных для наших чувств. Не только новые методы — электронная микроскопия или фазовая контрастность — позволяют нам теперь *видеть* объекты, размеры которых едва превышают миллионную долю миллиметра, но и атомная физика позволила нам познать, правда методами более косвенными, но весьма достоверными, явления, происходящие на периферии атомов, то есть в масштабе десяти- или стомиллионных долей миллиметра. Затем возникла ядерная физика, изучающая явления, местом действия которых являются ядра атомов, то есть области пространства, размеры которых меньше одной миллионной доли миллиметра. Прогресс человеческих знаний характеризуется, если можно соединять

таким образом слова, которые кажутся противоречивыми, колоссальным увеличением в направлении малых размеров.

Другая наука — астрономия — открыла нам необъятность звездных пространств, необъятность в другом направлении. Благодаря ей мы сегодня знаем, что некоторые едва видимые в самые мощные телескопы туманности находятся на таких расстояниях от Земли, что посылаемый ими свет преодолевает эти расстояния за сотни миллионов лет, а ведь свет проходит в секунду 300 000 *км*. Впрочем, физика сделала многое для осуществления возможности таких головокружительных вычислений размеров звездной вселенной, поскольку мы познаем звезды с помощью света, а свойства света изучают физики; они и позволили астрономам расшифровать послания, которые принес нам свет из глубины бездонных пропастей усыпанного звездами небесного свода.

Не заставит ли нас такой рост наших знаний, происходящий все возрастающими темпами, полагать, что вскоре мы раскроем все секреты физического мира? Думать так означало бы впасть в большую ошибку, так как каждый успех наших знаний ставит больше проблем, чем решает, и в этой области каждая новая открытая земля позволяет предполагать о существовании еще неизвестных нам необъятных континентов.

В большой аудитории Сорбонны на прекрасной фреске, созданной Пювис де Шаванном, изображены на обширной поляне фигуры, несколько стилизованные, согласно обычной манере этого художника, символизирующие человечество, наслаждающееся самыми возвышенными и прекрасными духовными радостями: литературой, наукой и искусствами; но эту светлую часть, эту поляну, окружает обширный темный лес, который символически указывает нам, что, несмотря на самые блестящие завоевания нашей мысли, мы остаемся со всех сторон окружены тайнами вещей.

Да, мы находимся в центре огромного и темного леса. Понемногу мы освобождаем вокруг себя небольшой участок земли и создаем маленькую поляну. И теперь благодаря успехам науки мы непрерывно и во все возрастающем темпе расширяем ее границы. Однако все время перед нами находится эта таинственная опушка леса, непроницаемого и безграничного леса Неведомого.

МЕСТО ТЕХНИКИ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ[1]

Дамы, господа!

Часто отмечали, что история применений радиотехники, начиная с первого осуществления Маркони в 1898 году радиосвязи, делится на три периода, рубежами между которыми являются две мировые войны нашего столетия. Первый период, свидетелем завершения которого мне довелось быть в ранней молодости, был периодом генерирования сначала затухающих, а затем незатухающих волн Герца с помощью таких устройств, как разряды конденсаторов в колебательных контурах или колебания дуговых разрядов; использовавшиеся тогда устройства почти все нуждались в крупногабаритной аппаратуре (генераторах, трансформаторах, конденсаторных батареях и т. д.) классической электротехники и основывались, по существу, на том, что сегодня называется «техникой сильных токов». Руководствуясь правильной, но недостаточной теоретической идеей о том, что длинные электромагнитные волны способны огибать препятствия, в частности препятствия, обусловленные кривизной и неровностями земной поверхности, специалисты в области этой примитивной техники радиопередач были вынуждены использовать очень длинные волны, порядка одного или нескольких километров; в то время наблюдалась тенденция к использованию все более длинных радиоволн.

Источником первого этапа быстрого развития радиотехники явился начавшийся вместе с войной 1914—1918 годов прогресс устройств для приема волн Герца. Диод Флеминга, существенно усовершенствованный добавлением третьего электрода, превратился в триод Ли де Фореста, который постепенно, во время и после войны 1914—1918 годов, полностью преобразовал технику приема, а затем и генерирования волн Герца, что сделало возможным сначала

[1] Речь, произнесенная при открытии Конгресса по сверхвысокочастотным приборам 29 мая 1956 года.

радиотелефонию, а затем радиовещание. Несколько позднее наблюдения, сделанные сначала проницательными радиолюбителями, показали, что короткие волны (длина которых составляет примерно десятки или сотни метров) могли, вопреки тому, что предполагали, распространяться на большие расстояния по поверхности Земли. Находясь между этой поверхностью и проводящим слоем Хевисайда, о существовании которого до того времени никто не знал, они распространяются около поверхности Земли как бы внутри естественного волновода и поэтому могут огибать поверхность Земли и ее неровности, что они не могут делать путем дифракции из-за малых длин волн. И когда ламповые радиостанции, конструкция которых все время совершенствовалась, позволили генерировать эти короткие волны достаточно высокой интенсивности, тогда начался тот блестящий междувоенный период развития радиотехники, во время которого короткие волны сыграли решающую роль, роль, которая, впрочем, до сих пор остается существенной в широкой области радиосвязи, особенно в области радиовещания.

Третьему периоду, современному периоду развития радиотехники, характеризующемуся изучением и применениями сверхвысоких частот, предшествовал начавшийся незадолго до 1939 года период, во время которого радиотехники все больше и больше уделяли внимания очень коротким волнам, длиною около метра. Если к концу первого периода имело место стремление к большим длинам волн, то второй период закончился с началом стремления к очень коротким длинам волн; радиотехника, таким образом, вернулась, если можно так сказать, к своему началу, поскольку первые эксперименты Герца и его последователей касались передачи и распространения (затухающих) метровых и даже сантиметровых радиоволн.

Техника сверхвысоких частот, характерная для современной фазы радиотехники, обязана своим быстрым развитием разработке методики радиолокации, важность которой была понята в течение последней войны. Но она, кроме этого особого применения, а также других, последовавших за ним, оказала очень большое влияние на развитие идей и экспериментальные открытия в физике.

Главным препятствием, стоявшим на пути рождавшейся тогда техники сверхвысоких частот, было следующее: при длине волны, меньшей $^1/_{50}$ *см*, время пролета электронов

через генераторную или приемно-усилительную лампу классического типа (даже если их геометрические размеры были сведены до минимума) становится равным периоду колебаний волны. Поэтому использовавшиеся до тех пор устройства оказались недостаточными. Нужно было изобрести и разработать устройства, основанные на совершенно новых принципах, для обеспечения передачи и приема волн сверхвысоких частот, например магнитроны, клистроны, лампы с бегущей волной, волноводы, рупорные антенны и т. д. Общая физика извлекла много пользы из этого развития радиотехники. Физики, в частности, были вынуждены рассмотреть и изучить экспериментально и теоретически типы распространения электромагнитных волн, которые характеризовались давно известными уравнениями Максвелла, но которым не уделялось внимания. До этого изучались лишь плоские и сферические бегущие электромагнитные волны и стоячие электромагнитные волны, которые образуются в линейных колебательных контурах, например в антеннах. И вот разработка новых устройств, генерирующих и принимающих сверхвысокочастотные радиоволны, заставила проанализировать значительно более сложные явления, например образование стоячих электромагнитных волн в полостях с металлическими стенками различных форм или распространение этих волн по волноводам, в которых волны, если можно так сказать, являются стоячими в поперечном направлении и бегущими — в продольном. Таким образом, физики с некоторым удивлением обнаружили в системе теории Максвелла ряд новых и довольно трудных проблем, решение которых соответствовало важным техническим применениям. Характер распространения электромагнитных волн в пространстве из конца волновода или из отверстия рупорной антенны заставил теоретиков взяться за изучение принципа Гюйгенса, приспособить его к требованиям электромагнитной теории и сформулировать его более точно, чем это делалось раньше; эти исследования позволили установить, что распространение сверхвысокочастотных волн происходит более или менее направленным образом. Электроника также извлекла много пользы из исследований такого рода: обоснование теории клистронов, действие которых основано на модуляции скоростей электронов, теории магнитронов, теории ламп с бегущей волной потребовало проведения чрезвычайно тонкого и глубокого анализа взаимодействия электронов и электромагнитных полей, а также

движений и группирования электронов, являющихся результатом этих взаимодействий. Все эти усилия, потребовавшие привлечения сложных математических методов и очень тонкой лабораторной техники, привели к созданию новых важных глав физики, а также повлекли за собою замечательные успехи радиотехники.

Одной из важнейших характеристик излучения радиоволн очень высокой частоты является то, что их свойства, и в частности свойства их распространения, приближаются к свойствам света. По мере уменьшения длины волн уменьшается их способность огибать препятствия за счет дифракции и увеличивается способность формирования их в цилиндрические пучки, в которых не происходит заметного рассеяния в сторону. Это свойство сверхвысокочастотных волн играло и с каждым днем играет все более существенную роль в развитии метода радиолокации, телеуправления, радиорелейной связи и т. д. Научные и технические исследования, вызванные к жизни применением сверхвысоких частот, позволили предвидеть появление с уменьшением длины волны свойств прямолинейного распространения, отражения, преломления, дисперсии или интерференции, свойств, классических в обычной оптике. Проблемы зеркал и линз для сверхвысоких частот составили новую главу геометрической оптики, а изучение периодических структур привело к созданию теорий, совершенно аналогичных классической теории дифракционных решеток. Устанавливая такую связь между световыми волнами и очень короткими радиоволнами, техника сверхвысоких частот позволила перебросить мост между отраслями физики, которые были до этого разделены, хотя уже заранее было известно, что они должны со временем воссоединиться. Изучение распространения радиоволн сверхвысоких частот, главным образом в атмосфере, также составляет проблему, очень интересную в теоретическом и практическом отношении. Ее значение в ряде случаев, например для радиолокации, очень велико. Явления поглощения, играющие огромную роль для некоторых полос частот и зависящие от свойств молекул, находящихся в тех слоях, через которые проходят радиоволны, представляют значительный интерес для физика. Все эти проблемы являются сложными, особенно когда речь идет о такой среде, как атмосфера, свойства которой быстро изменяются от места к месту, а также с течением времени.

Во всех этих вопросах ярко проявляется оптический характер свойств волн сверхвысоких частот, усиливающийся при уменьшении длины волны. Техника сверхвысокочастотных приборов, позволяющая получить сегодня с помощью новых устройств длины волн, близкие к миллиметру, все ближе подводит к оптической области инфракрасного излучения, в которой физические исследования проводятся в далекой инфракрасной области до длин волн, равных сотням микрон, то есть нескольким десятым долям миллиметра. Конечно, эта связь между оптической областью и областью радиоволн давно уже установлена, поскольку в 1922 году Никольс и Тир получили радиотехническим методом волны, длина которых составляет примерно 0,22 *мм*, а оптики в спектре ртути смогли обнаружить линии, длина волны которых составляет эту величину. Но в этих старых экспериментах ультракороткие радиоволны были получены путем классического метода разряда конденсаторов и, следовательно, были затухающими. Если усовершенствование сверхвысокочастотных приборов позволит осуществить в будущем генерирование столь же коротких волн, стык между далекой инфракрасной областью и сверхвысокочастотной областью может быть изучен гораздо более глубоко, и, таким образом, несомненно, будут получены результаты, очень важные для общей физики.

Это вынуждает меня сказать несколько слов по вопросу, который я всегда рассматривал как очень важный. Свойства радиоволн и их взаимодействие с заряженным веществом очень хорошо описываются уравнениями Максвелла, которые предполагают непрерывное распределение энергии в электромагнитном поле и столь же непрерывный характер обмена энергией между веществом и излучением. В области света и в области рентгеновских лучей и гамма-лучей этот способ описания стал совершенно недостаточным. Там процессы происходят таким образом, как если бы энергия была сосредоточена в локализованных крупицах, «фотонах», а обмен энергией между излучением и веществом принимает дискретный характер «квантовых переходов», сопровождающих испускание и поглощение фотонов. Как же примирить эти столь различные описания? Однако примирить их нужно, поскольку мы знаем, что любой вид излучения, начиная от радиоволн, включая свет и кончая рентгеновскими и гамма-лучами, имеет одну и ту же природу и отличается только большей или меньшей длиной волны.

Ключ к решению загадки состоит, конечно, в том, что электромагнитная теория является статистической теорией, дающей общее описание волн, переносящих очень большое количество фотонов, и взаимодействий между веществом и излучением, состоящих из очень большого числа квантовых переходов. Этого статистического представления совершенно достаточно в области радиоволн, но оно перестает быть таковым в области света, когда становится необходимым учет индивидуальных квантовых переходов, при которых происходит испускание или поглощение единичного фотона. Граница между этими двумя областями как раз находится в спектральной области сверхвысокочастотных волн, длина волны которых составляет десятые доли миллиметра и которые можно получить различными методами: либо в виде радиоволн с очень большим числом фотонов, испускание и поглощение которых хорошо описываются теорией Максвелла, либо в виде цугов инфракрасных волн, содержащих лишь по одному фотону, испускание и поглощение которого сопровождается квантовыми переходами, происходящими в индивидуальном порядке в атомах вещества. Очевидно, что для развития общих идей квантовой физики изучение этих волн имеет очень большое значение, так как они слишком коротки для радиотехника и слишком длинны для оптика.

К вышеприведенным рассуждениям имеет отношение важная совокупность экспериментальных исследований, составляющих важную отрасль современной физики, часто называемой «радиоспектроскопией». Она занимается изучением с помощью радиотехнических методов тонкой структуры атомных или ядерных спектров, которые очень часто находятся в области сверхвысокочастотных радиоволн, или, что то же самое, изучает сложность квантованных стационарных энергетических состояний, очень близких по своему микрофизическому строению.

Вы знаете, что, когда атом (или ядро) обладает двумя квантованными энергетическими состояниями E_i и E_j, причем $E_i > E_j$, он способен перейти при известных условиях из начального состояния в конечное состояние E_j с испусканием фотона частоты ν такой, что $h\nu = E_i - E_j$, и в известных случаях из начального состояния E_i в конечное состояние E_j с поглощением избытка окружающего излучения частоты ν фотона с энергией $h\nu = E_i - E_j$. Очень часто разность $E_i - E_j$ энергий достаточно велика, для того

чтобы соответствующая частота ν принадлежала к оптической области или области рентгеновских лучей в случае атома, к области рентгеновских или гамма-лучей в случае ядер. Но и у атомов, и у ядер существуют квантованные стационарные состояния, которые являются достаточно близкими друг другу, и разность их энергий соответствует радиоволнам высокой частоты. В спектре атома водорода, например, наблюдают тонкую структуру, обусловленную существованием квантованных состояний, энергии которых близки между собой и соответствуют частотам порядка 1000—10 000 *Мгц* или волнам длиной несколько сантиметров. Будучи помещенным в полость с монохроматическим радиоизлучением, соответствующим одной из этих длин волн, атом водорода может поглотить один из фотонов этого излучения, совершив соответствующий квантовый скачок; следовательно, если через объем водорода пропустить пучок сверхвысокочастотных радиоволн, длина волны которых меняется, то можно заметить сильное поглощение излучения радиоволн тогда, когда пучок состоит из фотонов, соответствующих одной из частот, которую могут поглощать эти атомы. Наблюдение этого явления поглощения позволяет, следовательно, точно определить тонкую структуру квантованных энергетических уровней водорода. Эксперимент такого рода десять лет назад позволил двум американским физикам Лэмбу и Ризерфорду установить структуру уровней атома водорода, которая может быть истолкована только на основе очень сложной теории. Истолкование этих фактов является одним из самых замечательных успехов современной квантовой физики. Аналогичные методы измерения, впрочем, позволяют также найти очень небольшие изменения квантованных энергетических уровней атома, находящегося либо под влиянием магнитного момента своего ядра (сверхтонкие структуры), либо под действием магнитного поля, наложенного извне (эффект Зеемана). Квантованные вращательные состояния молекул также соответствуют весьма близким значениям энергий, что обусловливает во время переходов поглощение или испускание фотона, соответствующего далекой инфракрасной области, так что определение разности вращательных энергий между этими квантованными состояниями можно осуществить с помощью сверхвысокочастотной техники. Для определения собственного магнитного момента ядер и квантованных состояний, которые от них зависят, можно ис-

пользовать почти аналогичные методы, связанные с использованием скорее метровых, чем собственно сверхвысокочастотных радиоволн.

Итак, радиоспектроскопия составляет сегодня крайне важную отрасль науки и постоянно обогащает очень ценными данными молекулярную, атомную и ядерную физику, а также квантовую теорию. Ее методы, разработанные перед второй мировой войной Раби и сотрудниками в Соединенных Штатах на основе использования метровых волн, в настоящее время значительно усовершенствованы в лабораториях всего мира на основе все более широкого и разнообразного применения сверхвысокочастотных волн. Во Франции этот метод исследования блестяще освоен Альфредом Кастлером и его сотрудниками. Больше я не могу останавливаться на этой проблеме. Я отсылаю интересующихся к замечательному обзору, отредактированному самим Кастлером, в последнем переиздании тома, посвященного оптике, в широко известном «Курсе общей физики» покойного Жоржа Брюа.

Я добавлю лишь, не уделяя этому много внимания, что совсем недавно в своих сенсационных работах голландский астроном Ян Оорт и его ученики смогли определить спиральность формы нашей Галактики, наблюдая спектральную линию, испускаемую содержащимися в ней атомами водорода. Эта линия испускается атомом водорода во время совершенно исключительного квантового перехода, соответствующего обращению относительной ориентации магнитных моментов электрона и протона в этом атоме; атом водорода излучает такую линию в среднем один раз за 11 млн. лет. Эта линия имеет длину волны около 21 *см* и относится к области сверхвысоких частот.

Таким образом, во всех исследованиях физиков на различных уровнях физического мира — от ядерной и атомной физики до астрофизики — очень часто приходится использовать сверхвысокие частоты, играющие весьма важную роль. Но поскольку для использования и наблюдения сверхвысоких частот нужно уметь их генерировать и обнаруживать, техника сверхвысокочастотных приборов занимает в современной науке важное место. В этом заключается одна из причин, обусловливающих значение совещания, которое открылось сегодня утром.

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ[1]

Дамы и господа!

Вы, конечно, ожидаете, что после произнесения нескольких приветственных слов, анализа программы ваших заседаний и оценки актуальности вашего совещания я скажу кое-что также и о цветном телевидении. Для меня это не очень легкая задача, так как я не являюсь специалистом по телевидению и тем более по цветному телевидению. Выступая перед аудиторией, которой эти вопросы очень хорошо известны, я заранее прошу извинения за то, что сказанное мною покажется вам зачастую банальным, а иногда даже неточным.

Цветное телевидение представляется в настоящее время одним из наиболее полных и тщательно разработанных общих технических методов передачи на расстояние информаций, которые играют в наше время такую большую роль в жизни людей. На протяжении полувека одним из существенных средств этой передачи информаций на расстояние являются радиоволны. Постепенно, благодаря все большему усовершенствованию технических методов, благодаря все более умелому применению многочисленных приборов для генерирования и приема радиоволн, а также для преобразования токов очень высокой частоты, радиотехника стала в состоянии решать все более и более сложные проблемы, хотя в начале развития радиотехники казалось,что такие проблемы бессмысленно даже ставить. Радиотехника сначала сумела передать человеческую мысль с помощью той весьма примитивной информации, которую передают знаками Морзе. Затем этот беспроволочный телеграф, вскоре после открытия такого изумительного прибора, каким является лампа-триод, превратился в беспроволочный телефон, сред-

[1] Выступление на открытии Международного коллоквиума по физическим проблемам цветного телевидения 2 июля 1957 года в Высшем ремесленном училище.

ство передачи на расстояние без специальной подготовки человеческого слова, столь богатого оттенками, позволяющее осуществлять прямой контакт между говорящим и слушающим.

После этого, воодушевленная своими успехами, радиотехника принялась за решение сложной проблемы передачи на расстояние изображений с помощью радиоволн, проблемы весьма трудной из-за своей сложности и из-за того, что ее решение совершенно не было подготовлено. Например, создание беспроволочного телеграфа и телефона было подготовлено долгими годами применения проволочного телеграфа и телефона. Действительно, радиотелеграфия и радиотелефония с самого начала могли пользоваться давно известными техническими средствами, например телеграфным ключом или наушниками для передачи и приема знаков Морзе, микрофоном для модуляции токов акустической частоты, наушниками или громкоговорителем для преобразования этих токов в непосредственно слышимые звуки. Они использовали также результаты издавна проводившихся исследований. Более того, передача звуков не зависит существенно от их локализации в пространстве. Когда мы слышим концерт, передаваемый по радио, нам нет дела до того, какие места в оркестре занимают исполнители. Но в телевидении ситуация совершенно отличная, поскольку локализация интенсивности света играет существенную роль при передаче изображения на расстояние. Если телевизионная камера передает некоторое изображение на экран радиостанции, распределение интенсивности света на этом экране должно быть с помощью радиоволн передано на приемную радиостанцию и в неизменном виде — на экран телевизионного приемника. Более того, поскольку передаваемые сцены всегда являются движущимися, нужно добиться того, чтобы это воспроизведение на экране приемника распределения интенсивностей изображения было точным в любой момент времени; устойчивость, хотя и кратковременная, световых восприятий на сетчатке глаза и ограниченная разрешающая способность человеческого глаза являются единственными факторами, которые позволяют не придерживаться строго этого условия. Создание телевидения, даже в его простейшем черно-белом варианте, без передачи цвета, с самого начала было крайне сложной технической проблемой, решение которой требовало использования совершенно новых и очень сложных устройств. Поэтому не при-

ходится удивляться тому, что начальный период развития телевидения был довольно медленным и мучительным.

Для преобразования изменений интенсивности света в изменения силы электрического тока, которые могут передаваться с помощью радиоволн, естественно, должна была возникнуть идея применения фотоэлемента, этого чудесного маленького прибора, скрывающего в своем действии, с первого взгляда простом, все тайны структуры света. Но одного фотоэлемента оказалось недостаточно, и для достижения удовлетворительного решения этой проблемы оказалось необходимым использовать прибор типа «иконоскопа», изобретение которого прославило имя Зворыкина. Принцип этого изобретения состоял, как вам известно, в равномерном распределении по поверхности экрана, на котором в телестудии образуется передаваемое движущееся изображение, очень большого количества фотоэлементов, поверхность каждого из которых достаточно мала для того, чтобы каждый из фотоэлементов соответствовал (для человеческого глаза, разрешающая способность которого ограничена) квазиточечному элементу. Каждый фотоэлемент заряжается электрически за счет потери электронов пропорционально интенсивности освещающего его света. Тонкий пучок электронов, быстро пробегающий слева направо и сверху вниз всю поверхность экрана, разряжает последовательно все фотоэлементы один за другим. Совокупность этих последовательных разрядов порождает быстропеременный ток, изменения которого служат для «модуляции» излучения коротких незатухающих радиоволн, которые, таким образом, могут передаваться по радио до приемной радиостанции. На приемной радиостанции модуляция принятой волны служит, после детектирования, для изменения интенсивности пучка электронов электронно-лучевой трубки, движение которых строго синхронизировано (при помощи радиосигналов) с движением пучка электронов в иконоскопе передающей станции. Благодаря устойчивости световых восприятий распределение интенсивности света на люминесцентном экране приемной электронно-лучевой трубки все время точно воспроизводит распределение интенсивности света передаваемого изображения.

Но сколько пришлось преодолеть трудностей, сколько пришлось изобрести и разработать остроумных приспособлений для успешного выполнения этой программы! Об этом хорошо знают те, кто следил за развитием телевидения

и за извивами той длинной дороги, которая привела его к современному совершенству. Сидящий перед своим приемником телезритель, как правило, не подозревает о тех усилиях, которые понадобились для создания телевидения. Он не имеет ясного представления о том, сколько потребовалось научных открытий, изобретений и технических усовершенствований, чтобы подготовить передачу на расстояние изображений с помощью радиоволн и чтобы доставить ему удовольствие, которое он испытывает, когда видит, как на экране его телевизионного приемника появляются и сменяются изображения.

Но сказанное мною относится пока к черно-белому телевидению. Передача цветных изображений, естественно, ставит еще более сложные проблемы. Для осуществления высококачественного черно-белого телевидения нужно было передать на приемную радиостанцию все локальные интенсивности света во всем бесконечном количестве точек передаваемого изображения. Для осуществления высококачественного цветного телевидения на приемную радиостанцию нужно передать все световые частоты, все цвета, которые соответствуют всем точкам изображения. Число передаваемых информаций было бы бесконечным и в случае черно-белого, и в случае цветного телевидения, но порядок бесконечности во втором случае значительно больше, чем в первом. К счастью, и в том, и в другом случае физиологические свойства глаза позволяют осуществить то, что в принципе неосуществимо. Мы уже говорили, что в черно-белом телевидении ограниченность разрешающей способности глаза позволяет нам передавать большое, но ограниченное число средних световых интенсивностей, соответствующих очень небольшим участкам поверхности передаваемого изображения, каждый из которых занят одним из небольших фотоэлементов, расположенных на экране иконоскопа. В случае цветного телевидения мы можем воспользоваться другими, более сложными физиологическими свойствами человеческого глаза, например свойством, которое было символически изображено великим Максвеллом в виде известного «треугольника». Коротко говоря, это фундаментальное свойство заключается в том, что наш глаз может воспроизводить общий цвет предмета путем наложения на нашу сетчатку трех монохроматических цветных изображений этого предмета, в частности красного, синего и зеленого изображений. Эта возможность воссозда-

ния цвета предмета путем одновременного восприятия лишь трех цветных изображений этого предмета давно была положена в основу «трехцветного» метода цветной фотографии. Этот трехцветный метод может быть перенесен на телевидение, и, разумеется, так же как и в черно-белом телевидении, устойчивость световых восприятий будет также играть существенную роль в нашем восприятии на экране цветных изображений, переданных на принимающую радиостанцию без резких перерывов, возникающих при быстрой, но не мгновенной развертке изображения. Осуществление «трехцветного» телевидения в наиболее простой форме требует утроения процедур генерирования, передачи и приема, когда три изображения (красное, синее и зеленое) превращаются по отдельности в радиоволны с помощью трех установок типа иконоскопа, передаются по отдельности тремя несущими волнами и принимаются по отдельности на три люминесцентных экрана телевизионного приемника. Налагаясь друг на друга, эти изображения дают окончательную картину, в которой наш глаз довольно тонко различает оттенки передаваемой сцены. Эта форма цветной передачи, не требующая применения никакого нового принципа по сравнению с черно-белым телевидением, обладает некоторыми преимуществами, но ее неудобство в том, что она требует в 3 раза более сложной телевизионной аппаратуры.

Кроме того, еще более серьезное ее неудобство в том, что она требует в 3 раза более широкой полосы частот, тогда как по своей природе *видео*передачи, к сожалению, занимают и без того широкую полосу. Выход был найден в методе «поочередной» передачи, то есть последовательной, а не одновременной передаче цветных изображений с помощью хорошо известного метода сжатия частот с передачей по точкам. Не вдаваясь в подробности этих технически сложных вопросов, я полагаю, что можно сделать вывод о том, что цветное телевидение, венец длительных усилий, приведших к осуществлению почти безупречного черно-белого телевидения, действительно является одной из областей, в которой ее зачинатели в максимальной степени пользовались всеми возможностями электроники и, если можно употребить это слово, всеми хитростями передач на расстояние с помощью радиоволн. И оно является, таким образом, прекрасным примером того, что́ человек с помощью науки смог сегодня осуществить.

Прежде чем закончить, я хотел бы остановиться еще на двух вопросах. Первый вопрос касается важности данных физиологии ощущений для цветного телевидения. Физиология ощущений играет значительную роль во всех отраслях науки и техники, поскольку мы можем познавать внешний мир только с помощью восприятий. Например, уже давно все вопросы, касающиеся работы наших органов слуха, интересуют не только специалистов-акустиков, но и специалистов в области проводной или беспроволочной телефонии. Естественно, что в черно-белом и цветном телевидении существенную роль играют физиология глаза, механизм ви́дения и, в частности, цветного ви́дения. Ограниченная разрешающая способность глаза и устойчивость световых восприятий на сетчатке, как мы видели, являются теми обстоятельствами, которые позволили осуществить телевидение вообще. Физиологическое свойство глаза, схематически выражаемое известным треугольником Максвелла, согласно теории которого наши цветовые восприятия можно получить, по крайней мере очень приблизительно, путем наложения ограниченного числа (минимум трех) монохроматических изображений воспринимаемого предмета, само по себе обеспечивает возможность передачи цветных изображений с помощью радиоволн. Во всех формах телевидения имеют значение и другие физиологические свойства глаза. Например, способность глаза различать детали изображения в зависимости от того, черно-белое оно или цветное; предел, ниже которого глаз не замечает частого мигания экранов телевизоров; тенденция глаза различать контрасты, которые могут появиться между «линиями пробега», описываемыми пятном на экране приемной электронно-лучевой трубки (эти контрасты пытаются устранять с помощью остроумного приема «воббуляции» пятна), и т. д. Физиология зрения зачастую связана с тонкими вопросами цветного телевидения; поэтому не следует удивляться тому, что первая часть программы настоящего коллоквиума посвящена «поведению глаза», а в обсуждениях этих вопросов примет участие такой видный специалист, как Анри Пьерон.

Вторым вопросом, на который я хотел обратить ваше внимание в связи с цветным телевидением, является важность для этой отрасли техники (так же как и для многих других, имеющих дело со связью на расстоянии) теории информации, столь общей, столь многообразной теории,

которая находит сегодня применения почти во всех отраслях научного знания. В четвертой части программы настоящего коллоквиума, которая называется «Системы кодирования, используемые для передачи сигналов цветного телевидения», перечислены многочисленные сообщения о применении теории информации для решения проблем, связанных с кодированием, полосами пропускания, передачей от точки к точке и т. д. В цветном телевидении приходится передавать, конечно, значительно больше информации, чем в черно-белом телевидении, поскольку нужно сообщить принимающей станции не только информацию относительно распределения интенсивности и всех особенностей очертаний передаваемого изображения, но также всю информацию, которая необходима для того, чтобы телезритель смог воссоздать с достаточной точностью распределение окраски на поверхности этого изображения. В кратких содержаниях некоторых сообщений, которые вам предстоит прослушать, встречаются такие выражения, как «синяя информация» или «зеленая информация»,— выражения, которые могли бы удивить неискушенного читателя.

Дамы и господа! Разрешите мне закончить на этом мое устное приветствие вашему коллоквиуму, чтобы не затягивать слишком долго это опасное упражнение, состоящее в выступлении перед аудиторией специалистов на тему, в которой я сам являюсь не очень компетентным. Вскоре вы начнете свой обмен мнениями, так разрешите мне в заключение пожелать вам, чтобы во время дискуссий ум ваш озарялся строгим и богатым оттенками интеллектуальным светом, аналогичным физическому свету, яркому и верному вестнику, появлению которого на экранах цветных телевизоров вы все время способствуете.

СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ КОНТУРЫ И АНТЕННЫ[1]

Дамы и господа!

Когда Генрих Герц обнаружил существование электромагнитных волн, предсказанных теорией Максвелла, и показал, что их можно получить с помощью простых электрических приборов, многие физики и инженеры начали изучать свойства новых волн и возможности их технического использования, особенно в области связи. Если ознакомиться с выполненными в ту эпоху теоретическими работами, посвященными проблемам распространения электромагнитных волн, таких известных ученых, как лорд Рэлей и Анри Пуанкаре, то можно заметить, что в этих работах в результате прямого развития общих представлений теории Максвелла авторы, естественно, подошли к рассмотрению всех электромагнитных явлений под новым углом зрения, отводя во всех этих вопросах главенствующую роль изменению электромагнитного поля в рассматриваемой системе, наличию заряженных диэлектриков и проводников, по которым идет ток; при этом они изучали оказываемое ими влияние на изменение электромагнитного поля. Таким образом, была полностью оставлена точка зрения (она была точкой зрения науки об электричестве в течение всего XIX века), заключавшаяся в рассмотрении почти исключительно электрических «цепей», характеризующихся строго локализованными сопротивлениями, индуктивностью и емкостью, и в вычислении соотношений между разностями потенциала и токами в этих цепях на основе применения элементарных законов электричества. Приведем пример этого изменения метода. Кирхгоф, используя старый метод, получил телеграфное уравнение, которому подчиняется распространение электромагнитных колебаний вдоль линии, причем он применил к каждому

[1] Речь, произнесенная 21 октября 1947 года на открытии Международного конгресса по сверхвысокочастотным колебательным контурам и антеннам.

элементу линии соотношения теории цепей, ничего не говоря об окружающем электромагнитном поле. Приняв максвелловскую точку зрения, Анри Пуанкаре вновь получил телеграфное уравнение, вычисляя распространение электромагнитного поля в области пространства вокруг линии, которая была нужна лишь для направления этого распространения и наложения граничных условий.

Удивительная вещь! Этот новый способ решения проблем, более строгий, чем предшествующие, позволивший значительно глубже проникнуть в истинную природу электромагнитных явлений и давший возможность лорду Рэлею еще до 1900 года предсказать техническое использование волноводов, был почти сразу же оставлен радиоинженерами. Причина этого состоит в том, что радиотехника, использовав в самом начале своего развития очень короткие (затухающие) волны порядка метра или сантиметра, быстро перешла на использование значительно более длинных волн, превышающих зачастую километры, но вскоре вернулась к более коротким волнам, однако в общем еще достаточно длинным — порядка метра. Во всей этой области классическая теория цепей с локализованными константами давала вполне достаточную картину явлений, происходящих в передатчиках и приемниках, причем в форме, очень наглядной и знакомой электротехникам. Конечно, при объяснении распространения сигналов от передатчика к приемнику рассмотрение распространения электромагнитных полей было неизбежным, но даже для теории антенн и фидеров старая точка зрения Кирхгофа, вообще говоря, была вполне достаточной. Поэтому все учебные пособия, посвященные радиотехнике, начиная примерно с 1905 года, в течение тридцати лет использовали почти исключительно методику изложения, основанную на классической теории цепей; несколько поколений радиоинженеров было знакомо только с этими методами.

Лет двадцать назад положение совершенно изменилось в связи с развитием техники сверхвысоких частот. Действительно, она, как это видно из названия, использует очень короткие электромагнитные волны, длина которых порядка дециметра, сантиметра или миллиметра. Для столь коротких волн представления классической теории цепей с локализованными константами почти полностью утратили свое значение. Могли быть использованы только обобщения классических первичных определений, как, например,

определения импеданса или коэффициента перенапряжения. В случае столь коротких волн исследование передающих и приемных устройств можно проводить, лишь анализируя с помощью уравнений теории электромагнитного поля изменение со временем полей в различных частях систем и их взаимодействие с имеющимися электронами, либо образующими пучки при прохождении через вакуум, либо содержащимися в веществе. Возникающие при этом проблемы представляют большой интерес и для физиков, и для техников; эти проблемы весьма трудны и требуют применения сложных математических методов. Но эти трудные проблемы ставились и постепенно детально решались по мере развития и усовершенствования техники радиолокации, управления на расстоянии, получения пучков радиоволн и т. д.

На открывающемся сегодня конгрессе вы не будете обсуждать вопросы конструирования и работы приборов для генерирования или усиления сверхвысоких частот. Примерно год назад они были предметом работы другого съезда, посвященного «сверхвысокочастотным приборам». Вы будете обсуждать только вопросы распространения ультракоротких волн в волноводах или в коаксиальных линиях, в разветвляющихся волноводах, в резонансных полостях, в модулирующих или детектирующих сверхвысокочастотных схемах, вопросы использования анизотропных веществ и т. д., а также важные вопросы, касающиеся антенн для сверхвысоких частот и их излучения.

Все проблемы, встречающиеся во всех этих вопросах, сводятся к довольно простому типу проблем: нужно найти решение уравнений Максвелла при наличии граничных условий, определенных, вообще говоря, наличием проводящих тел. Эти проблемы, даже сведенные к наиболее простой форме, представляют очень большой интерес для теоретика благодаря разнообразию и сложности решений, которые приходится рассматривать. Хотя эти сложные решения уравнений Максвелла уже были предметом ряда исследований, в последние пятьдесят лет, как я уже говорил выше, они были забыты, и многие даже весьма искушенные в глубоком изучении электромагнитных волн люди были очень удивлены, когда двадцать лет назад осознали, что при распространении электромагнитных волн в волноводах возникают самые разнообразные типы волн, которые глубоко отличаются от волн, свободно распространяющихся

в пространстве, хорошо известных со времени Максвелла и знакомых всем радиоинженерам. Ко второму типу важных проблем, также находящихся в тесной связи с теорией волноводов, относятся проблемы расчета собственных колебаний в резонансных полостях. Тогда как в волноводе волна, имеющая стоячий характер в поперечном направлении, сохраняет распространяющийся характер вдоль оси волновода, в совершенно замкнутой полости она перестает быть распространяющейся; она описывается в этом случае полностью стационарными решениями, впрочем сходными с теми, которые встречаются в задачах для волноводов. Наконец, другая категория важных вопросов, естественно находящихся в связи с предыдущими, рассматривает следующую проблему: как распространяется электромагнитная волна после выхода из волновода или (в известных случаях) рупора, служащего его продолжением. Вообще говоря, желательно, чтобы она выходила в виде как можно более цилиндрического и достаточно узкого пучка, хотя бы по некоторым его размерам. Строгое исследование этой задачи показывает, что возможна дифракция электромагнитной волны, проходящей сквозь отверстие, размеры которого примерно равны длине волны. С точки зрения теоретической физики одним из важнейших результатов этого исследования было выявление недостаточности принятой в электромагнитной теории формулировки принципа Гюйгенса, обычно встречающейся в учебниках оптики, даже если ему дают более точную формулировку, предложенную некогда Кирхгофом. Для учета того факта, что электромагнитное поле имеет шесть компонент, связанных между собою уравнениями Максвелла, необходимо придать принципу Гюйгенса более сложный математический вид, а именно вид, выражаемый так называемыми формулами Коттлера. Применяя с помощью удобных приближений эти более строгие, чем предыдущие, формулы, удалось довольно точно предсказать излучение антенн, применяемых для сверхвысоких частот, и форму боковых лепестков на диаграмме их излучения. С этими проблемами излучения и направленности антенн также связана важная проблема электромагнитных линз, роль которых существенна в технике создания пучков радиоволн.

Сказанного мною достаточно для того, чтобы показать, как развитие техники сверхвысокочастотных контуров и антенн явилось плодотворным источником исследований в об-

ласти теоретической физики, открывших, даже в рамках теорий, основы которых были в совершенстве известны и исследованы, массу новых задач и неожиданных решений. Наоборот, техника сверхвысоких частот смогла развиваться, лишь опираясь на теоретические исследования, о которых я только что говорил. В немногих областях сотрудничество науки и техники дало столь ощутимые результаты и сослужило столь очевидную службу, как в этой области. Это, на мой взгляд, особенно выделяет технику сверхвысоких частот, где необходимость ответа на четкие и новые технические запросы привела к появлению крепких молодых побегов на старом стволе электромагнитной теории.

Разработка способа циркуляции энергии в направляющих системах и осуществление канализации этой циркуляции с целью получения строго определенных результатов является одной из наиболее интереснейших отраслей теории сверхвысоких частот; известно, что с помощью остроумных устройств удалось получить в этой области технически важные и априори довольно неожиданные результаты, например те, которые имеют место при использовании разветвления типа «волшебная крестовина». В ходе развития этих идей за последние годы были получены совершенно новые и очень важные результаты на основе введения в волноводы магнитных материалов — ферритов. Одним из главных преимуществ этого введения является получение возможности в некоторых случаях избежать следствий «теоремы взаимности», которая, устанавливая своего рода обратимость явлений распространения волн, аналогичную «обратному ходу лучей» в оптике, зачастую очень заметно ограничивает возможность канализации энергии по волноводам. Известный пример этого можно привести из техники радиолокации. Во многих радиолокационных устройствах передатчик и приемник подключены к одной антенне. Поэтому нужно, чтобы сигнал, генерируемый передатчиком, с очень большой мощностью на пике подавался только в антенну и не проникал в приемник, ибо это проникновение могло бы вывести приемник из строя. Кроме того, необходимо, чтобы очень слабое эхо от наблюдаемого препятствия, возвращающееся к антенне почти мгновенно, пошло бы все в приемник, без рассеяния своей мощности в передатчике. Эта трудная проблема решается различными способами в дуплексных системах радиолокационных станций. Но и в этом и в других более или менее аналогичных

случаях было бы желательно осуществить нужную обратимость с помощью прямого обращения теоремы взаимности. Это возможно сделать путем введения в сверхвысокочастотные контуры ферритов. В обычной оптике хорошо известен следующий факт: если естественное двойное лучепреломление и естественная вращательная поляризация подчиняются принципу обратного хода лучей, то магнитное двойное лучепреломление и магнитная вращательная поляризация этому принципу не подчиняются, что позволяет избежать необходимости обратного хода лучей.

По совершенно аналогичным причинам введение ферритов в сверхвысокачастотные контуры позволяет обойти теорему взаимности. Этот вопрос очень актуален для отрасли сверхвысоких частот и составляет четвертую часть программы ваших заседаний. Эта тема прекрасно представлена в недавно вышедшей замечательной работе «Сборник работ по радиотехнике» одного из организаторов настоящего съезда — Жана Ортузи.

Дамы и господа! Я не буду больше занимать ваше внимание изложением вопросов, которые вы знаете лучше меня, и хочу закончить свое выступление пожеланием, чтобы в ходе начинающихся сегодня дискуссий вы внесли много важных вкладов в эту замечательную технику сверхвысокочастотных контуров и антенн, которая так быстро развивается на протяжении двадцати пяти лет и которая ежедневно приводит к новым и поразительным достижениям.

СВЕТ, КВАНТЫ И ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА[1]

Природа света, то, что изменяется в нем, когда он становится более интенсивным или более слабым, белым или окрашенным, его распространение без заметного ослабления в пустоте даже на огромные расстояния межзвездных пространств, влияние на его распространение встречающихся на его пути препятствий и материальных сред — вот проблемы, интересовавшие на протяжении веков пытливые умы, стремившиеся как можно глубже понять различные стороны физического мира.

Некоторые факты с самого начала поражали создателей современной оптики. В вакууме и в однородных материальных средах, как легко заметить, свет распространяется по световым «лучам» прямолинейной формы, причем сразу создается впечатление, что свет движется вдоль этих лучей так, словно каждый из них был траекторией, по которой движется некоторый элемент света. Из источника света, расположенного в однородной среде, свет как бы устремляется во всех направлениях по прямой линии. С другой стороны, когда луч света ударяется в зеркало, он отражается так же, как частица, отскочившая от упругого препятствия: и в том и в другом случае происходит излом траектории. Преломление светового луча, пересекающего поверхность раздела двух преломляющих сред, вызывает излом траектории, характерный и для частицы, проходящей через эту же поверхность. И разве эта совокупность фактов, составляющих сегодня для нас собственно область геометрической оптики, не могла подать пытливому уму мысль о том, что свет состоит из частиц, «крупиц», перемещающихся по прямой линии в однородных средах, несомненно, с очень большими скоростями? Естественно, что это представление о свете, пользовавшееся известностью уже

[1] Доклад, сделанный на заседании Французского общества осветительной техники 27 февраля 1959 года.

в античном мире (за полвека до нашей эры его очень четко выразил Лукреций в своей философской поэме «О природе вещей»), было принято большинством физиков вплоть до XIX века.

Возникновение современной научной оптики можно отнести к XVII веку. Действительно, в первую половину этого столетия Снеллиус и Декарт впервые сформулировали в строгой математической форме законы отражения и преломления. Вскоре после этого юрист-геометр Ферма показал, что эти законы можно вывести из общего принципа, носящего теперь его имя. Этот принцип Ферма ввел в физику новую и плодотворную идею о том, что основные законы природы выражают факт минимальности некоторых величин. Действительно, он утверждает, что в явлениях геометрической оптики форма световых лучей всегда такова, что время, необходимое свету для распространения от одной точки к другой вдоль луча, является минимальным. Между 1660 и 1670 годами Бартолин в Дании открыл явление двойного лучепреломления исландского шпата, а Гримальди в Болонье наблюдал, не поняв его истинной природы, явление дифракции света на краю экрана: он заметил, что свет огибает край препятствия, встречающегося на его пути, и слегка проникает в область геометрической тени. В то же самое время Ньютон показал сложность природы белого света, осуществив с помощью призмы в своих изумительных экспериментах его «спектральное» разложение на различные простые цвета; затем он открыл интерференционные кольца, которые можно наблюдать на тонких пластинках, названные кольцами Ньютона.

И все эти последние великие открытия, сделанные почти одновременно, казалось почти невозможным истолковать на основе идей геометрической оптики и представления о крупицах света.

Без сомнения, это обилие новых знаний о свете и трудность их истолкования с помощью представления о зернистой природе света побудили человека с очень оригинальным умом — великого голландского ученого Христиана Гюйгенса — выдвинуть новую гипотезу о структуре света, полностью отличную от господствовавшей до того времени. Он предположил, что свет является волнообразным движением, распространяющимся в среде, недоступной для наших чувств, в эфире,— среде, которая проникает во все тела и даже наполняет те области пространства, которые

кажутся нам «пустыми». С помощью очень изящных геометрических рассуждений, еще классических и сегодня, Гюйгенс показал, что эта волновая теория света позволяет истолковать не только законы отражения и преломления, но и явление двойного лучепреломления. В то же самое время Ньютон, несмотря на свою верность корпускулярной концепции света, понял, однако, что явление колец на тонких пластинках, открытое им самим, требует для своего истолкования введения периодического элемента, и в своей замечательной «теории приступов» попытался синтезировать зернистую картину и волновую картину. Движение крупиц света, существование которых он допускал, должно сопровождаться, по крайней мере когда они проходят через вещество, волнообразным движением, действующим на них. Это воздействие приводит к тому, что частицы света поочередно в течение регулярных промежутков времени подвергаются «приступам легкого прохождения» и «приступам легкого отражения»: достигая поверхности раздела двух различных сред, зерна света легко проходят через нее, если они находятся в «приступе легкого прохождения», и, наоборот, отбрасываются ею назад, если они находятся в «приступе легкого отражения». Введя тогда определение «длины приступа», которой является путь, проходимый крупицей света между двумя последовательными приступами одной и той же природы, Ньютон получил теоретическое истолкование интерференционных колец, истолкование, которое совпадает с истолкованием, полученным столетие спустя Огюстеном Френелем в его волновой теории света, если только отождествить длину приступа, введенную Ньютоном, с половиной того, что мы сегодня называем длиною волны.

Из этого видно, как в конце XVII века после многочисленных и замечательных экспериментальных открытий в области оптики была почти признана не только необходимость волновой теории света, но также, а это еще более замечательно, необходимость синтеза корпускулярной точки зрения и волновой точки зрения. Но все эти попытки остались незавершенными, и после Гюйгенса и Ньютона, как это бывает иногда в истории науки, оптика, пережившая период замечательного прогресса, сразу вступила в длительную фазу бесплодия, которая длилась более века.

Действительно, пришлось ждать первых лет XIX века, когда врач Томас Юнг предпринял с помощью новых экспе-

риментов изучение явлений интерференции и дифракции, в частности с помощью известных «отверстий Юнга». После этого снова начался прогресс. В 1807 году Малюс во Франции почти случайно открыл поляризацию света, которую затем изучали такие ученые, как Био и Араго.

В 1815 году молодой выпускник Эколь политекник, инженер Службы мостов и дорог Огюстен Френель, до этого не думавший посвящать себя физике, явился жертвой «чистки», проведенной правительством Ста дней, и, отрешенный от своей должности, был вынужден уехать в деревню. Там он проводил время, изучая с помощью подручных средств явления дифракции и интерференции. Основываясь на идеях Гюйгенса, он с помощью последних достижений математического анализа своего времени показал, что лишь волновой теории света удается объяснить наблюдаемые явления. Сначала он встретил сопротивление со стороны известных ученых, привязанных к традиционной корпускулярной теории, но в конце концов он его преодолел и привлек этих ученых на свою сторону. Он с блеском завершил свою короткую жизнь, в возрасте тридцати девяти лет прерванную туберкулезом, дополнив свою замечательную работу введением в волновую теорию гипотезы о поперечности световых колебаний. Он извлек из нее с помощью превосходных рассуждений, приводящихся во всех наших курсах оптики, не только истолкование поляризации света, но, кроме того, и полную теорию двойного лучепреломления, а также, говоря более общо, теорию распространения света в анизотропных средах[1].

Во второй половине XIX века буквально каждый день приносил все больше и больше надежных подтверждений волновой теории света, но она нашла свое новое истолкование в электромагнитной теории Джемса Кларка Максвелла. Я не могу здесь кратко излагать фундаментальные работы Максвелла и удовлетворюсь тем, что упомяну о его главном вкладе в развитие оптики, который состоял в отождествлении световых колебаний Френеля с распространяющейся электромагнитной волной. Благодаря этому отождествлению вся оптика стала частным разделом электромагнетизма, и тогда оказалось возможным понять, что

---

[1] Напомним, что в волновой теории света интенсивность света измеряется квадратом амплитуды колебаний, распространяемых волной, а цвет определяется длиной волны.

спектр видимого нашим глазом света является очень небольшим интервалом (октавой на шкале частот) обширного диапазона электромагнитных излучений, который, начинаясь с очень длинных радиоволн с длиной волны порядка нескольких километров, простирается до гамма-лучей радиоактивных веществ, длина волны которых порядка 10^{10} *см*, и охватывает средние, короткие и ультракороткие радиоволны, инфракрасные лучи, видимый свет, ультрафиолетовые лучи и рентгеновские лучи[1]. Но если теория Максвелла осуществила, таким образом, величественный синтез двух областей физики, электричества и оптики, до того полностью разделенных, если в форме теории электронов Лорентца она позднее позволила углубить наше понимание взаимодействия между веществом и излучением, и в частности описать испускание и поглощение света материальными телами, если, наконец, она решительно отвергла старое понятие эфира как универсальной основы световых колебаний и смогла найти свое место в рамках теории относительности, то она существенно не изменила ни волновую картину света и излучения, покоящуюся на старых представлениях Френеля, ни непрерывное распространение лучистой энергии со всеми вытекающими из него последствиями. Идея частиц света была ей совершенно чужда, она не дала нам ничего похожего на тот удивительный синтез, который был дан Ньютоном в его теории приступов. Поскольку она полностью соответствовала их духу, все физики XIX века без исключения признавали чисто волновую и существенно непрерывную природу любого вида излучения, и в частности света. Ничто еще не предвещало необыкновенного открытия, которым явилось для физиков открытие «квантовой» структуры излучения.

* * *

К 1900 году проблема «черного излучения» была актуальной проблемой, над которой работали физические лаборатории. Этим названием, впрочем довольно неточным, обозначают исследование излучения, испускаемого абсолютно черным телом (то есть телом, полностью поглощающим па-

---

[1] Октава, занимаемая видимым светом на шкале частот, как известно, соответствует длинам волн, включенным в полосу 0,4—0,8 *мк* (микрон — одна тысячная доля миллиметра).

дающее на него излучение любой длины волны), нагретым до определенной температуры. В природе нет абсолютно черных тел, хотя есть почти черные тела в широкой области длин волн, но показано, что в замкнутой полости, нагретой до абсолютной температуры T, в «печи» с температурой T, всегда устанавливается излучение, тождественное излучению, испускаемому абсолютно черным телом при температуре T, а это придает точный экспериментальный смысл понятию абсолютно черного тела и позволяет изучать его количественно. Когда теоретики занялись проблемой излучения абсолютно черного тела на основе вполне солидных термодинамических рассуждений, они установили ряд законов, которые были очень хорошо проверены на практике. Я напомню два из них. Первый состоит в следующем: плотность энергии излучения абсолютно черного тела, нагретого до температуры T, то есть полная энергия, содержащаяся в единице объема, возрастает пропорционально четвертой степени температуры, следовательно, очень быстро с возрастанием T (это закон Стефана — Больцмана). Второй закон, о котором я хочу упомянуть, касается спектрального распределения энергии излучения абсолютно черного тела. Опыт показывает, что в излучении абсолютно черного тела представлен весь диапазон длин волн, причем каждой длине волны соответствует определенное количество энергии. Кривая распределения энергии по длинам волн при данной температуре имеет вид «колокола», имеющего максимум, то есть существует некоторая длина волны, которой соответствует максимальная энергия. Впрочем, эта длина волны λ_m является функцией температуры, так что существует «смещение» в спектре длины волны с максимальной энергией при изменении температуры. Термодинамический расчет, принадлежащий Вину, показывает, что λ_m и T связаны формулой

$$\lambda_m T = \text{const}.$$

Это — «закон смещения» Вина. Он очень хорошо согласуется с опытом, и, более того, если использовать единицы СГС и абсолютную шкалу температур (шкалу Кельвина), то можно найти, что константа правой части предыдущего соотношения равна примерно 0,29. Таким образом, имеем

$$\lambda_m T = 0{,}29 \ \textit{см} \cdot {}^\circ\text{K}.$$

До сих пор все шло хорошо, но проблема не была решена, ибо основная задача состояла в нахождении спектрального

распределения энергии между различными длинами волн в излучении абсолютно черного тела. Пусть ν — частота монохроматической компоненты излучения, а $d\nu$ — небольшой спектральный интервал излучения. Нужно было найти для излучения абсолютно черного тела, нагретого до температуры T, количество энергии $\varrho(\nu, T)\, d\nu$, которое содержат спектральные компоненты, принадлежащие интервалу $d\nu$. Но для этого общие термодинамические соображения оказались недостаточными. Состав излучения абсолютно черного тела, содержащегося в полости, нагретой до некоторой абсолютной температуры T, в действительности является следствием бесконечного количества энергетических переходов между самим излучением и стенками полости или телами, которые она содержит в себе, то есть он является в некотором роде статистическим средним бесконечного количества процессов испускания и поглощения излучения веществом. Но в конце прошлого века таким образом поставленный вопрос не представлялся очень сложным для физиков-теоретиков, поскольку электромагнитная теория в том виде, который ей придал Лорентц, казалось, позволяла полностью проанализировать эти процессы испускания и поглощения: в этом случае для получения $\varrho(\nu, T)$ было достаточно взять статистическое среднее всех этих процессов, используя методы статистической механики, уже хорошо известные всем физикам после разработки статистического истолкования термодинамики. Таким образом, была получена в аналитическом виде функция $\varrho(\nu, T)$, получившая название закона Рэлея—Джинса по имени двух английских физиков, которые получили ее различными способами. Этот закон Рэлея — Джинса имеет следующий вид:

$$\varrho(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^3} k\nu^2 T,$$

где c — скорость света в вакууме (величина которой очень близка к 300 000 *км/сек*), а k — константа, хорошо известная из статистического истолкования термодинамики, величина которой в единицах СГС с использованием абсолютной шкалы температур равна $1{,}37 \cdot 10^{16}$ *эрг/°К*.

К сожалению, полученный таким образом результат не соответствовал экспериментальным данным. При данном T функция $\varrho(\nu, T)$ возрастала как ν^2: кривая, представляющая ϱ в зависимости от ν, ни в коем случае не имела формы «колокола», как того требовал эксперимент. Более

того, количество энергии в единице объема излучения абсолютно черного тела, которое можно получить, взяв интеграл от $\varrho(\nu, T)$ по всем значениям частот, было бы бесконечным, что явно неприемлемо. Неудача, которую потерпели теоретики, оказалась очень серьезной, поскольку она сразу же могла заставить усомниться в справедливости гипотезы о непрерывном характере структуры излучения и процессов его испускания и поглощения веществом, господствовавшей почти в течение столетия.

Незадолго до 1900 года причинами этой неудачи очень заинтересовался великий немецкий ученый Макс Планк, специалист в области термодинамики и ее статистического истолкования. Он решил исследовать этот вопрос от начала до конца. Это исследование сразу же убедило его в невозможности оправдать форму закона спектрального распределения абсолютно черного тела, который разумно согласовывался с опытом на основе господствовавших тогда представлений. Нужно было найти что-нибудь новое, нужно было быть гением! Об этом патетическом эпизоде своей духовной жизни Планк оставил нам волнующее воспоминание. «После нескольких недель самой напряженной работы в моей жизни,— говорит он в своем нобелевском докладе,— тьма, в которой я барахтался, озарилась молнией и передо мной открылись неожиданные перспективы». Гениальное прозрение указало ему выход из тупика. Оказалось нужным допустить, что при испускании или поглощении излучения частоты ν веществом лучистая энергия испускается или поглощается не непрерывно, как предполагали в то время, а в виде «зерен» энергии величины $h\nu$, где h — новая универсальная постоянная, имеющая размерность действия в механическом смысле, та постоянная, которую с тех пор всегда называют его именем, «постоянная Планка», или, как ее иногда называют, «квант действия».

Предложенная Планком гипотеза полностью изменила способ приложения методов статистической механики к излучению абсолютно черного тела и поэтому позволила получить функцию $\varrho(\nu, T)$ в другом виде. Этот другой вид, известный как закон Планка, выражается следующей формулой:

$$\varrho(\nu, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}, \qquad (1)$$

где c и k — постоянные, о величине которых мы уже гово-

рили выше, а h — новая постоянная, введенная Планком[1]. Приписав постоянной h числовое значение $6{,}55 \cdot 10^{-27}$ *эрг·сек* (современное значение ее $6{,}27 \cdot 10^{-27}$), Планк с помощью этого нового закона смог совершенно точно описать экспериментальные кривые. Кроме того, поскольку этот закон находился в согласии с общими термодинамическими рассуждениями, Планку с его помощью удалось получить закон Стефана—Больцмана и закон смещения Вина, причем последний в числовой форме имеет вид: $\lambda_m T = 0{,}29$. Согласие оказалось полным и сразу устранило все сомнения в справедливости гипотезы о квантах.

Эта революционная гипотеза о квантах, позволившая Планку вывести теоретически точный экспериментальный закон спектрального распределения энергии в излучении абсолютно черного тела, постепенно проникла во всю физику микромира и является основой всего ее современного развития. Но вскоре было замечено, что она влечет за собой очень важное следствие, которое сам Планк вначале отказался принять. Если предположить, что монохроматическое излучение частоты ν испускается и поглощается квантами с энергией $h\nu$, то мы почти неизбежно должны приписать самому излучению зернистую структуру. Можно даже рассматривать закон Планка как результат статистического распределения между различными спектральными компонентами излучения абсолютно черного тела «крупиц света» с энергией $h\nu$. Эту дискретность структуры излучения смело предположил молодой Альберт Эйнштейн, когда в 1905 году, через пять лет после открытия Планка, он с помощью выдвинутой им теории «квантов света» дал удивительное по своей простоте истолкование таинственных законов фотоэлектрического эффекта. Я не собираюсь излагать сейчас эту теорию фотоэлектрического эффекта. Я ограничусь лишь упоминанием о том, что ее поразительный успех почти убедил всех в том, что испускаемое и поглощаемое в виде зерен излучение должно также обладать зернистой структурой и при распространении в пространстве. Таким образом, ученые по необходимости и под давлением экспериментально установленных фактов пришли к выводу, совер-

---

[1] С помощью хорошо известной формулы $\nu = \frac{c}{\lambda}$ легко перейти от распределения $\varrho(\nu, T)\,d\nu$ в зависимости от частоты к распределению $\varrho(\lambda, T)\,d\lambda$ в зависимости от длины волны.

шенно неожиданному для того времени, что волновые теории Френеля и Максвелла, необходимые для истолкования некоторых световых явлений, не могли точно описать распределение энергии в излучении и представляли излучение, так сказать, лишь статистически. Итак, встала крайне сложная проблема, которую, как мы уже говорили, предвидел Ньютон в своей теории приступов: проблема соединения в рамках единой и связной картины световых волн и крупиц лучистой энергии, «фотонов», как мы называем их сегодня, одновременное существование которых является экспериментальным фактом.

Поставленная, таким образом, перед проницательными физиками проблема была весьма серьезной. Через двадцать лет, в 1923—1927 годы, она встала во всей своей всеобщности, когда идеи волновой механики, вскоре подтвержденные неоспоримыми экспериментальными данными, показали нам, что все частицы вещества связаны с распространяющимися волнами, совершенно аналогично тому, как фотоны связаны с электромагнитными волнами. В настоящее время стало повседневным наблюдение у различных частиц вещества, в частности у электронов, интерференционных и дифракционных явлений, совершенно аналогичных явлениям, издавна известным для света. Как раз эти явления стали для Френеля и его последователей несомненным доказательством волновой природы излучения. Таким образом, во всей своей широте была поставлена волнующая проблема двойственности волн и частиц во всех физических явлениях. Несмотря на изящность математического аппарата, в которую она облечена, сомнительно, что мы достигли ее полного решения. Размышляя в течение всей своей жизни над этой проблемой, я пришел к выводу, что способ, с помощью которого может быть понята разумным образом эта ассоциация волн и частиц, не вполне ясен. Познание ее, безусловно, остается одной из важнейших будущих задач теоретической физики. Но я не могу больше останавливаться сейчас на этом особенно сложном вопросе и хочу кратко изложить некоторые идеи, которые стали известны нам по мере развития в физике идеи квантов и которые имеют особое значение для рассматриваемого сейчас вопроса.

В 1913 году молодому датскому физику Нильсу Бору, который работал в то время в Англии в лаборатории знаменитого Резерфорда, удалось построить квантовую теорию

атома; эта теория может рассматриваться как естественное развитие идей Планка и Эйнштейна и знаменует собой один из важнейших этапов истории современной физики. Я не хочу излагать сейчас первоначальную теорию Бора и ход ее развития по мере успехов физики микромира. Я хочу остановиться только на двух существенных идеях, которые сохранились в последующих ее модификациях. Первая из этих существенных идей состоит в том, что все материальные объекты микромира: молекулы, атомы и даже атомные ядра — обладают дискретной совокупностью устойчивых состояний, характеризующихся вполне определенными значениями энергии, квантованных состояний или стационарных состояний. Наличие квантов обеспечивает устойчивость этих состояний и ставит их в особое положение. Вторая существенная идея, дополняющая первую и составляющая вместе с ней основу теории, состоит в следующем: испускание излучения микроскопическим объектом происходит лишь при самопроизвольном переходе этого объекта из квантованного состояния с энергией W_2 в квантованное состояние с меньшей энергией, W_1. При этом он сразу

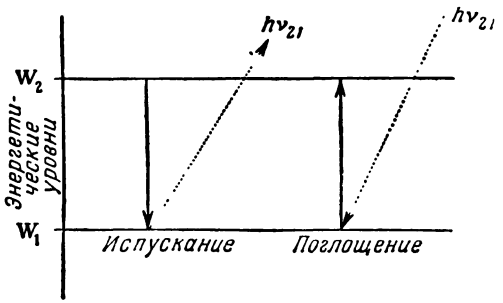

Рис. 1.

испускает теряемую энергию в виде кванта излучения с частотой ν_{21}, то есть фотон с энергией $h\nu_{21} = W_2 - W_1$. Полученная, таким образом, формула

$$\nu_{21} = \frac{W_2 - W_1}{h}$$

составляет «правило частот» Бора. Оно замечательно простым образом связывает частоту радиации, испущенной во время резкого перехода, переводящего микросистему из одного квантового состояния в другое, со значениями

его энергии в начальном и конечном состояниях. Впрочем, принцип обратимости элементарных явлений позволяет нам дополнить картину процесса испускания соответствующей картиной процесса поглощения. Если атомный объект обладает, помимо прочих, двумя квантованными состояниями W_1 и $W_2 > W_1$ и если он вначале находится в состоянии с меньшей энергией, W_1, то при взаимодействии с излучением частоты ν_{21}, равной $\frac{(W_2 - W_1}{h}$, он может поглотить фотон с энергией $h\nu_{21}$ из этого излучения путем резкого перехода из квантованного состояния с энергией W_1 в квантованное состояние с большей энергией, W_2. Таким образом, процессы испускания и поглощения являются строго обратными по отношению друг к другу.

Эти фундаментальные представления теории Бора, в которой существенную роль играют представления о квантовой структуре атомов и молекул, а также о квантовой структуре излучения, в течение сорока пяти лет являются основой наших знаний об испускании и поглощении излучения веществом. Лишь они позволили распутать весьма сложный клубок спектроскопических данных, лишь они позволили нам полностью понять действие источников света. Они имеют большое значение для истолкования многочисленных явлений, интересующих специалистов по осветительной технике. Но я вернусь к этому позднее, а пока я хотел бы остановиться подробнее на одном из очень многочисленных и важных следствий правила частот Бора.

Рассмотрим микрообъект (атом или молекулу), как обычно обладающий последовательностью возможных стационарных состояний, квантованные энергии которых располагаются в порядке возрастания W_1, W_2, W_3,..., W_n; если объект вначале находится в своем состоянии с минимальной энергией W_1, то он может поглотить из падающего излучения частоты $\nu_{n1} = \frac{W_n - W_1}{h}$ фотон с энергией $h\nu_{n1}$, сразу переходя в состояние с энергией W_n. Тогда говорят, что атом (или молекула) «возбужден» и переведен из основного состояния с минимальной энергией в состояние с энергией W_n. Если затем микрообъект совершит обратный переход из состояния W_n в состояние W_1, он вновь испустит фотон энергии в результате процесса, обратного тому, который претерпел микрообъект при поглощении, то есть он испустит радиацию той же частоты, которая его возбу-

дила. Но если, как это часто бывает, микрообъект возвращается из возбужденного состояния с энергией W_n в основное состояние с энергией W_1 путем ряда последовательных переходов (переходя, например, из W_n в W_s, затем из W_s в W_2 и, наконец, из W_2 в W_1), он может испускать при этих последовательных переходах лишь радиацию, частота которой будет ниже частоты радиации, которая его возбудила. Все происходит так, словно большой квант энергии $h\nu_{n1}$, первоначально полученный атомом, затем «разменивается» им на ряд более мелких квантов. Это необходимое следствие квантовой природы света и правила частот Бора, которое с ней тесно связано. Мы можем сформулировать этот результат следующим образом: «Атомная система, которая из своего нормального состояния с минимальной энергией

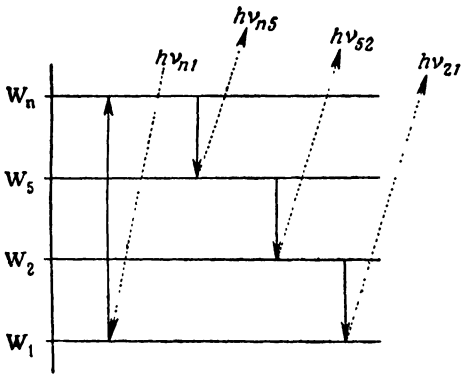

Рис. 2

переходит в возбужденное состояние с большей энергией под действием радиации частоты ν, может спонтанно испустить вновь лишь излучение, частота которого меньше или равна частоте ν». Излучение, испущенное источником света, имеет, следовательно, постоянную тенденцию, вследствие своего взаимодействия с веществом, разбиваться на излучения меньшей частоты; короче говоря, имеется постоянная тенденция к «деградации частоты». Это называют «законом Стокса», которому подчиняются явления фотолюминесценции, и в частности явления флуоресценции. К ним мы еще вернемся ниже.

Вышеприведенные рассуждения были связаны с корпускулярным характером света и излучения вообще. Я должен

сказать, что они представляют очень большой теоретический интерес, но далеко не только один академический интерес, так как они имеют в настоящее время большое практическое значение. Не говоря о технических применениях, в настоящее время очень многочисленных, таких, например, явлений, как фотоэлектрический эффект, в котором ярко проявляется квантовый характер света, я хочу рассмотреть лишь осветительную технику.

Для этой техники наибольшее значение имеют корпускулярные и квантовые свойства света. Она, видимо, до сих пор почти не использует чисто волновых свойств света (например, интерференционные явления), но она издавна использует явления геометрической оптики, которые, как мы видели, весьма тесно связаны с представлением о корпускулярной природе света. От «зажигательных зеркал» Архимеда до наиболее современных типов прожекторов, включая линзовый маяк Френеля, она не переставала использовать зеркала и линзы, то есть все средства диоптрики и катоптрики. Но это настолько очевидно, что вряд ли мне стоит на этом останавливаться. Несомненно, более интересно показать, в какой степени современная осветительная техника пользуется успехами наших знаний о квантовой природе самого света и дискретных материальных процессах, в результате которых свет появляется, исчезает или преобразовывается.

В качестве введения к этой теме мне представляется интересным сказать сначала несколько слов о природе «источников» света. Существенно различать в связи с этим источники, образованные раскаленными твердыми телами, и источники, образованные газом или парами, атомы или молекулы которых испускают свет под влиянием тепловых или электрических возбуждений.

Раскаленные тела, вообще говоря, испускают свет, по существу, в виде сплошных спектров, в которых представлены в принципе все длины волн, но, естественно, различной интенсивности. Это непрерывное испускание имеет своим источником тепловое возбуждение электронов, содержащихся в раскаленном теле: эти электроны непрерывно претерпевают изменение энергии, обусловленное ударами и возмущениями, которые они испытывают в твердом теле. Эти изменения энергии, в зависимости от того, являются ли они отрицательными или положительными, сопровождаются испусканием или поглощением кванта радиации, фотона,

а статистическим результатом всех этих элементарных процессов является в конечном счете излучение раскаленным телом наружу радиации, имеющей непрерывный спектр. Тогда можно уяснить, что если раскаленное тело похоже на «абсолютно черное тело», то спектральный состав испускаемого им света будет выражаться формулой Планка, соответствующей температуре нагрева этого тела; а эта формула, как мы уже знаем, существенно связана с квантовой структурой света. Конечно, реальные раскаленные твердые тела не являются, вообще говоря, абсолютно черными телами и не испускают в точности так, как это требуется законом Планка, но последний, однако, дает нам ценные указания о приблизительной форме спектра частот, испускаемых телами, и о положении в шкале длин волн максимума их испускания. Я далее остановлюсь на важных следствиях из этого обстоятельства, имеющих значение для осветительной техники.

А пока рассмотрим источники, образованные газом или парами, возбуждаемые термически или электрически. Здесь испускание происходит, в сущности, в результате «возбуждения» (в том смысле, о котором я говорил выше) атомов или молекул газа или пара под действием ударов, которым они подвергаются в связи с движением других присутствующих частиц в результате повышения температуры или ускорения наличных ионов в электрическом поле, вызывающем электрический разряд. Доведенный, таким образом, до возбужденного стационарного состояния, микрообъект возвращается затем к своему нормальному состоянию в результате ряда резких дискретных переходов, каждый из которых сопровождается испусканием длины волны, определяемой в соответствии с представлениями Бора. В принципе испускаемый спектр должен быть дискретным спектром, «линейчатым» спектром. Работа такого источника света не может быть понята, его сложный спектр не может быть истолкован, если не учитывать при этом, в соответствии с идеями Планка и Бора, квантовой природы света и дискретных процессов, при которых он рождается.

Остановимся еще немного на вопросе освещения с помощью раскаленных твердых тел. Непрерывное спектральное распределение излучения, испускаемого таким телом, представлено колоколообразной кривой, форма которой в основном аналогична форме кривой, предсказываемой законом Планка. Основная часть энергии этого излучения

оказывается сконцентрированной в довольно узком спектральном интервале, центром которого является длина волны λ_m, соответствующая максимальной спектральной плотности, и эта длина волны λ_m приближенно связана с температурой T раскаленного тела формулой смещения Вина $\lambda_m T = 0{,}29$, которая, как мы видели, является следствием закона Планка. Отсюда видно, что формула Планка и, в частности, закон Вина, который из нее вытекает, могут во многих случаях служить для специалистов в области осветительной техники источником если не совершенно точных, то все же достаточно приблизительных данных.

Но освещение с помощью накаливаемых тел связано с одной серьезной трудностью. Наш глаз особенно чувствителен к желтым и зеленым компонентам видимого света. Его чувствительность к красному и фиолетовому концам спектра уменьшается и полностью исчезает в инфракрасной и ультрафиолетовой области. Чем это объясняется? Конечно, тем, что, наделенные способностью приспособления, сущность которой до сих пор остается довольно загадочной, живые существа в процессе своего возникновения и эволюции приспосабливаются к внешней среде, в которой они живут. Озаряемые солнечными лучами, высшие животные и человек приспособили свое зрение к той радиации, которую они получали. Поверхность солнца излучает примерно так же, как излучает абсолютно черное тело, температура которого близка к 6000°, а согласно закону смещения Вина, длина волны максимальной спектральной плотности в этом солнечном излучении близка к $5 \cdot 10^{-4}$ *см*, или 0,5 *мк*: она расположена в желто-зеленой области и соответствует максимуму чувствительнсости человеческого глаза. Отсюда следует, что для того, чтобы источник света имел хорошую отдачу в видимой области, то есть для того, чтобы значительная часть излучаемой энергии была сосредоточена в той спектральной области, к которой чувствителен наш глаз, необходимо, чтобы этот источник имел температуру около 6000°. В земных условиях трудно получить источники, имеющие хотя бы в некоторых местах такую температуру; только кратеры некоторых электрических дуг могут иметь близкую температуру. Но эти источники с очень высокой температурой являются очень мощными и яркими, а их действие часто не является стабильным. Поэтому они используются только в специальных устройствах (прожекторы, маяки и т. д.), а в обычных усло-

виях, в частности в домашнем обиходе, обычным источником света является электрическая лампа накаливания. Но именно здесь и возникает трудность, о которой я уже говорил, температуру нити накала в лампе накаливания не удается поднять выше 3000° К, так как при этой температуре нить начинает плавиться и распадаться. Закон смещения Вина говорит, что излучение такой нити будет иметь максимальную спектральную плотность при длине волны около 1 *мк*, то есть в близкой инфракрасной области. Следовательно, в этой области нить будет испускать большую часть своего излучения без всякой пользы для нашего зрения. Лишь очень небольшая часть этого излучения, испускаемая на более высоких частотах волн, окажется включенной в спектр видимого света. Энергетический полезный эффект лампы накаливания в области видимого света будет всегда очень небольшим. Легко и поучительно подсчитать этот очень незначительный коэффициент полезного действия. Если мощность в 1 *вт* полностью преобразовать в видимый свет, то она дает световой поток примерно в 600 *лм*. В обычной лампочке получают лишь 10—15 *лм*, в исключительных случаях 20 *лм/вт*, что соответствует коэффициенту полезного действия 1,5—3,5%.

Коэффициент полезного действия наших электрических ламп накаливания очень низок, и, видимо, очень трудно его увеличить, потому что причины этого коренятся в природе вещей. Если бы человечество в течение тысячелетий развивалось под светом ламп накаливания, а не под светом солнца, наш глаз, конечно, имел бы максимум чувствительности в области 1 *мк*, и тогда коэффициент полезного действия наших ламп в области лучистой энергии, видимой нашим глазом, был бы превосходным. При такой постановке вопроса глубокие причины малого коэффициента полезного действия наших источников света, видимо, становятся ясными.

Впрочем, известно, что светлячки, слабое свечение которых можно наблюдать в летние ночи, побивают с точки зрения коэффициента полезного действия все рекорды, достигнутые в области осветительной техники. Испускаемый ими свет действительно очень слаб, но он полностью сконцентрирован в видимой части спектра, и полезный эффект в области видимого света равен единице. Новый пример способности приспособления живых существ!

Рассмотрим теперь источники света, в которых исполь-

зуются газы или пары, атомы которых доведены до различных состояний возбуждения, обычно с помощью электрического разряда. Эти разряды могут, в зависимости от типа ламп, возникать при более или менее высоком напряжении; такие лампы могут иметь специальное устройство для тушения дуги. Для нас интересно сейчас то, что испускание в них вызвано квантовыми переходами, которым подвергаются атомы газа или смеси газов, содержащейся в разрядной трубке. Выходящее из трубки излучение состоит, следовательно, из линейчатых спектров, соответствующих различным возможным стационарным состояниям атомов, которыми эти линии испускаются, а впечатление, которое это излучение производит на наш глаз, в частности его окраска, зависит от относительной интенсивности различных линий, из которых эти спектры состоят. А поскольку эта относительная интенсивность линий зависит от большей или меньшей вероятности возбуждения стационарных состояний, при переходе с которых эти линии образуются (а она сама зависит от условий разряда), то, меняя эти условия, можно в некоторых пределах изменять интенсивность и окраску испускаемого света. Я не буду входить сейчас в технические детали (безусловно, известные моим слушателям гораздо лучше, чем мне) многочисленных и очень разнообразных применений разрядных трубок, которые стали возможными в результате различного рода остроумных приспособлений. Я лишь отмечу, что свет разрядных трубок, если их использовать без специальных приспособлений (я скажу о них ниже), имеет спектральный состав, сильно отличающийся от спектрального состава солнечного света, к которому наш глаз приспособился. Он имеет иногда приятный, но всегда довольно резко выраженный цвет; он не содержит некоторых спектральных компонент, к которым привык наш глаз. В результате он иногда вызывает неприятные ощущения. Красно-оранжевая окраска, впрочем очень красивая, света неоновых трубок удивляет всех, кто не видел ее раньше, а фиолетовый оттенок ртутной дуги, который гасит все красные цвета, придает людям и вещам малоприятный мертвенно-бледный цвет. Другие разрядные трубки, например с парами натрия, имеют аналогичные недостатки. Таким образом, источники света этого типа почти исключительно предназначены для изготовления светящихся реклам или декораций, для чего они иногда очень хорошо подходят.

Однако газоразрядные трубки некоторых типов могут в настоящее время широко применяться для обычного освещения благодаря использованию люминесцентных ламп. С ними связан наиболее замечательный успех в развитии осветительной техники за последние двадцать пять лет; во Франции этот успех связан почти исключительно с именем покойного Андре Клода[1]. В трубке с парами ртути атомы ртути испускают не только тот видимый спектр, сильно окрашенный в фиолетовый цвет, о котором я говорил немного выше. Они испускают очень интенсивные ультрафиолетовые лучи, совершенно непригодные для освещения и, кроме того, полностью поглощаемые стеклянными стенками разрядной трубки. Основой идеи люминесцентного освещения является использование для освещения этого мощного ультрафиолетового излучения путем преобразования его в излучение видимого спектра на основе использования явления деградации частот, выражаемого законом Стокса, которое, как мы видели, является неизбежным следствием квантовой природы излучения. Покрывая изнутри стенки трубки, наполненной парами ртути, люминесцентным веществом, можно преобразовать значительную часть ультрафиолетового излучения в видимый свет. Преимуществом таких ламп по сравнению с лампами накаливания является возможность получения значительно более высокого светового коэффициента полезного действия. Действительно, таким методом можно получить до 50, 60 или даже 80 *лм/вт*, то есть коэффициент полезного действия 10—12%, примерно в 4 раза выше, чем у лучших ламп накаливания. Люминесцентные лампы имеют также то преимущество, что, используя для покрытия стенок газоразрядной трубки соответствующим образом подобранную смесь люминесцентных веществ, можно получить всю гамму испускаемого стенкой света, представленную мягкими и приятными для глаза цветами, которые нам известны. Не останавливаясь больше на этой методике применения люминесцентных ламп, я хочу еще раз подчеркнуть, что она является превосходным использованием явления квантовой деградации частот.

Явления люминесценции, об использовании которых сейчас шла речь, относятся к явлениям «фотолюминесценции» (или испускания света, вызванного светом, следова-

---

[1] Это не умаляет предыдущих достижений Рислера

тельно, фотонами). Но имеются и другие явления люминесценции: явление «триболюминесценции», или испускания света в результате разлома твердого тела, наблюдаемое, например, при раскалывании сахара в темноте; явление «хемилюминесценции», сопутствующее химическим явлениям (к этой категории относится излучение светлячка, очень слабое, но с коэффициентом полезного действия, равным единице). Кроме того, известны явления электролюминесценции, довольно недавно открытые и изученные Дестрио. Некоторые из этих явлений, в частности последние, может быть, когда-нибудь найдут себе применение в осветительной технике.

* * *

Я заканчиваю этот краткий экскурс в область основ осветительной техники, в котором я хотел лишь показать, какое большое значение для более глубокого понимания явлений, используемых в современной осветительной технике, имеет открытие квантовой структуры света и процессов, при которых он возникает и преобразуется. И в заключение мне хотелось бы сделать два вывода из всего вышесказанного, правда, различные по своему характеру, но, на мой взгляд, очень важные.

Первый из этих выводов касается условий научного открытия в области теории. Мы видели, что открытие корпускулярной природы света и квантового характера явлений испускания и поглощения, столь важное с точки зрения развития представлений общей физики, столь важное также для нашего понимания многочисленных явлений, которые могут найти многочисленные применения, в частности в области осветительной техники, является следствием гениальной интуиции Макса Планка, развитой затем в работах Эйнштейна и Бора. Вспомните, что, как рассказывает Планк, после долгого периода интенсивной и уединенной работы он вдруг заметил, внезапно прозрев, дискретную природу процессов испускания излучения и существование кванта действия. Уроки истории науки нам показывают, что великие открытия, по крайней мере в теоретической области, всегда совершаются таким образом: великий ученый, упорно занимаясь проблемой, которую он считает важной, внезапно начинает видеть (акт этого прозрения носит сугубо индивидуальный характер) весьма скрытые стороны физической реальности. Это нам говорит

о том (по крайней мере я так думаю), что полностью признавая ценность коллективной работы и исследования под чьим-нибудь руководством, о чем сейчас очень много говорят, не нужно переоценивать их значение. Конечно, работа в коллективе и исследование под чьим-нибудь руководством очень важны для современной науки и техники. Неизбежные в случае промышленных исследований, весьма полезные также в наших современных экспериментальных лабораториях, ставших во многих случаях как бы небольшими заводами, они все же еще недостаточны. Важнейшими факторами успеха остаются качества руководителя коллектива, индивидуальная инициатива и интуиция исследователя. Но в теоретической области наиболее существенно, как мне кажется, именно индивидуальное усилие, зачастую в уединении. Величайшие открытия в этой области были сделаны смелыми умами в уединении. Так было по крайней мере в прошлом, но, мне кажется, есть все основания думать, что так будет и в будущем.

Второй мой вывод состоит в том, что, я хочу это подчеркнуть, великие открытия, даже сделанные исследователями, которые не имели в виду никакого практического применения и занимались исключительно теоретическим решением проблем, быстро находили затем себе применение в технической области. Конечно, Планк, когда он открывал квантовую природу света и процессов испускания, когда он впервые писал формулу, носящую теперь его имя, совсем не думал об осветительной технике. Но он не сомневался, что затраченные им огромные усилия мысли позволят нам понять и предвидеть большое количество явлений, которые быстро и во все возрастающем количестве будут использованы осветительной техникой. Нечто аналогичное произошло и со мной самим. Когда в 1923 году я пришел довольно неожиданно к основным идеям волновой механики, то я стремился лишь проникнуть в глубь таинственной двойственности корпускулярного и волнового характера света и вещества. Я был крайне удивлен, когда увидел, что разработанные мною представления очень быстро находят конкретные приложения в технике дифракции электронов и электронной микроскопии. Монтень некогда писал: «Наука — это великое украшение»,— и тотчас же добавил: «И чрезвычайно полезное орудие». Действительно, таковы две неразрывно связанные стороны научного знания: одна — духовная, другая — практическая.

ПОКОРЕНИЕ МИРА АТОМОВ

Никто не отрицает, что атомистическая гипотеза восходит к древней Греции, что она родилась за несколько столетий до нашей эры среди изумительного кипения идей, которое делает честь древней Греции и ее азиатским или итальянским колониям. Левкипп, а затем Демокрит первыми выдвинули в эту эпоху гипотезу, согласно которой материя состоит из неделимых и подобных друг другу частиц. Этот взгляд на мир был воспринят Эпикуром и его школой, которые сделали его одной из существенных основ своей философии природы. Древний римлянин Лукреций, ученик Эпикура, поэт и физик, изложил ее в известных строках своей поэмы «О природе вещей».

Основания, которыми руководствовались мыслители древности, выдвигавшие идею о дискретной структуре вещества, имеют различную природу. Отступая, если можно так сказать, перед понятием бесконечного, они не могли допустить возможности бесконечного деления куска вещества; им казалось, что такая операция имеет конец. К этому аргументу (он нам не представляется более убедительным) присовокуплялись другие, сохранившие частично свое значение. Возможность смешения жидкостей, при котором сохраняются некоторые свойства, например цвет или запах, аналогичная возможность для газов, видимо, доказывают, что первичные элементы жидкостей и газа способны проникать одни между другими, что вполне соответствует представлению об этих элементах, которое дает нам атомистическая гипотеза. Некоторые доказательства, подобные тем, которые привел в 1912 году Жан Перрен еще в начале своей известной книги «Атомы», конечно, поразили бы тонкий ум мыслителей древней Греции.

Однако потребовались века, для того чтобы атомистическая гипотеза, выйдя из опасной области философских спекуляций, начала проникать в науку в том виде, в каком

мы ее понимаем сегодня. Ее возродили из пепла химики начала XIX века. К этому времени благодаря работам Лавуазье и его последователей только что сформировалась современная химия, а открытие великих законов химической дискретности, носящих имена Проута, Дальтона и Гей-Люссака, уже дало основания предполагать, что вещество имеет дискретную структуру. В частности, Дальтон очень ясно сформулировал введение в химию атомистической гипотезы. Итальянский химик Авогадро и наш великий Ампер для истолкования установленных фактов почти одновременно выдвинули гипотезу, носящую отныне имя Авогадро, согласно которой грамм-молекула какого-нибудь чистого вещества всегда содержит одно и то же число молекул. Это число, число Авогадро (сразу же напомню об этом) смог определить Жан Перрен, и это определение явилось одним из лучших прямых доказательств существования атомов и тех совокупностей атомов, которые химики называют молекулами.

После того как химики (не без долгих дискуссий) приняли атомистическую гипотезу, она привлекла также и внимание физиков; в течение второй половины XIX века атомистическая теория вещества получила дальнейшее развитие. Она вполне удовлетворительно описала свойства газа, рассматривая их как результат беспорядочного движения атомов или молекул во всех направлениях со средней кинетической энергией, возрастающей с температурой газа. Эта «кинетическая теория газа» позволяет приблизительно оценить число Авогадро и размеры атомов.

Тем не менее успех этих теоретических взглядов на атомы не был подкреплен прямым экспериментальным доказательством их существования. Доказательства такого рода были получены постепенно в начале нашего века, а именно в 1900—1910 годы.

Ряд известных экспериментов, наиболее важными из которых явились эксперименты великого французского ученого Жана Перрена, позволил получить различными методами значение числа Авогадро и диаметр атомов в полном согласии с выводами кинетической теории газов. Замечательное соответствие всех полученных результатов не оставило никакого сомнения в реальности атомистической структуры вещества.

Но к этому времени физики уже обрели уверенность в том, что атом химиков, существование которого они только

что доказали, не является неделимой частицей (такой он представлялся греческим философам), а что в действительности этот атом является сложным сооружением, структуру которого надлежало теперь определить. В решении этой задачи им помогло развитие наших знаний о природе электричества.

С XVIII века было известно, что существует два рода электричества: положительное и отрицательное. Тела, заряженные электричеством одного и того же знака, отталкиваются; если они заряжены электричеством разных знаков, то они притягиваются. Уже давно было известно также о существовании магнитов и подозревали, что между электричеством и магнетизмом имеется связь. Кулон первым исследовал количественно эти два явления и уточнил законы электрического и магнитного притяжения (примерно в 1780 году). Затем последовали работы Гальвани, Вольта, Деви о свойствах токов и о способах их получения. В 1819 году Эрстед показал, что электрический ток создает вокруг себя магнитное поле, и установил, таким образом, связь между электричеством и магнетизмом. Основываясь на результате Эрстеда, Ампер точно установил связь между токами, магнитами и магнитным полем.

В 1831 году Фарадей открыл явление индукции; тридцать лет спустя англичанин Максвелл путем замечательного синтеза объединил все знания, приобретенные об электричестве и магнетизме; он резюмировал их в теории, которая позволила ему предсказать существование электромагнитных волн, которые были открыты Герцем двадцать лет спустя; эти волны, как вам известно, используются в радиотехнике.

Тогда был поставлен вопрос: обладает ли электричество, так же как и вещество, дискретной структурой. Законы электролиза, открытые Фарадеем, по-видимому, уже свидетельствовали о существовании дискретности электричества, но только после 1880 года в этом направлении были получены новые и решающие доказательства. Напомним сначала, что электропроводность электролитов, а затем и электропроводность газа при наличии некоторых внешних воздействий можно было истолковать на основе гипотезы о существовании в этих проводящих средах «ионов», то есть атомов или совокупностей атомов, несущих электрические заряды, которые всегда являются целыми кратными элементарного заряда.

Наконец, дискретная структура электричества была окончательно установлена открытием «электронов», или элементарных частиц отрицательного электричества. Их присутствие было сначала установлено в катодных лучах, исходящих из катода трубки Крукса. Решающий эксперимент Жана Перрена в 1895 году показал, что эти катодные лучи состоят из отрицательно заряженных частиц, имеющих один и тот же заряд; этот вывод был подтвержден во Франции наблюдениями П. Виллара. Затем был открыт электрон, имеющий одни и те же свойства в большом количестве различных явлений: эмиссия накаленных нитей, фотоэлектрический эффект, бета-излучение радиоактивных тел, эффект Зеемана... Удалось измерить его электрический заряд и массу, которые, будучи выражены нашими обычными единицами, оказываются чрезвычайно малыми.

В первые годы XX века все эти результаты были получены, но еще не было известно, обладает ли положительное электричество, как и отрицательное электричество, зернистой структурой. Несмотря на еще фрагментарный характер знаний о природе электричества, физики в то время не стремились представить себе «модели атома», то есть рассматривать атомы как сложные системы, в которых электричество играет существенную роль. После некоторых поисков и ряда фундаментальных экспериментов, выполненных к 1910 году великим английским физиком Эрнестом Резерфордом, физики согласились принять так называемую «модель Резерфорда», уже намеченную в 1901 году Жаном Перреном; согласно этой модели, атом представляет собою своего рода солнечную систему в миниатюре, в которой «ядро» играет роль центрального светила и имеет положительный заряд, а электроны играют роль планет и вращаются вокруг ядра под действием электрического кулоновского притяжения.

В своем нормальном (неионизованном) состоянии атом должен быть электрически нейтральным, то есть он должен в целом содержать столько же положительного электричества, сколько и отрицательного электричества. Итак, в модели Резерфорда имеется Z электронов-планет, каждый из которых несет отрицательный заряд $-e$, характерный для электрона, а ядро должно иметь заряд $+Ze$. А один тип атомов должен отличаться от другого типа атомов, скажем атом свинца от атома серебра, количеством периферических электронов, или, что то же самое, целым числом Z

единичных зарядов ядра. Каждый химический элемент должен, таким образом, характеризоваться целым числом Z, которое называют его «атомным номером». Впрочем, было замечено, что атомный номер является не чем иным, как порядковым номером химического элемента в системе элементов по их химическим свойствам, которая была установлена в 1869 году русским ученым Менделеевым.

Электроны являются чрезвычайно легкими; почти вся масса атома сосредоточена в центральном ядре. Для самого легкого атома, атома водорода ($Z = 1$), ядро, которое получило название «протона», имеет заряд, равный заряду электрона, но противоположный по знаку, причем его масса в 1840 раз больше массы электрона. Затем в периодической системе элементов следует гелий, заряд ядра которого в 2 раза больше заряда протона ($Z=2$), а масса ядра в четыре раза больше массы протона. Заряд и масса ядра возрастают по мере увеличения атомного номера, то есть места в периодической системе. Эта система содержит 92 элемента, обычно существующих в природе; последним из них является уран, ядро которого имеет электрический заряд, в 92 раза больший заряда протона, а атомный вес близок к 238.

Я не буду здесь объяснять, как модель Резерфорда позволила в 1913 году Нильсу Бору развить квантовую теорию атома, которая, по-разному усовершенствованная и углубленная, затем довольно глубоко преобразованная после появления новых представлений волновой механики, позволила физикам дать вполне законченное истолкование явлений, совершающихся в периферической области атома, там, где движутся электроны-планеты; это явилось ключом к разгадке многих оптических, химических и магнитных свойств химических элементов. Но еще в 1930 году мы знали довольно мало об этой таинственной центральной крепости, расположенной в центре атома и называемой ядром. Теперь мы перейдем к изучению ядра, поскольку именно оно является вместилищем того, что неточно называют «атомная энергия» и что следовало бы скорее называть «ядерной энергией».

* * *

Можно сказать, что ядерная физика родилась между 1896 и 1900 годами и что она родилась во Франции, поскольку, как мы увидим, фундаментальные для

этой отрасли открытия были сделаны французскими учеными.

В начале 1896 года в Париже в физической лаборатории Музея естественной истории Анри Беккерель открыл фундаментальное явление радиоактивности. Я хочу сейчас остановиться на истории этого открытия, о котором стоит рассказать поподробнее, так как оно показывает, как подчас успех научного исследования может зависеть от случайных обстоятельств.

Анри Беккерель, так же как его отец и дед, был видным специалистом в области явлений флуоресценции и фосфоресценции. Его особенно интересовали свойства, которыми обладают в этой отрасли некоторые соединения урана — элемента, известного давно. В конце 1895 года открытие Рентгеном лучей, названных его именем, возбудило живой интерес всего ученого мира. В первых опытах Рентгена рентгеновские лучи испускались самой стенкой стеклянного сосуда в том месте, в которое попадало катодное излучение; кроме того, стенка в этом месте начинала фосфоресцировать. После разговора на эту тему с Анри Пуанкаре Анри Беккерель подумал, что, может быть, фосфоресценция тесно связана с испусканием рентгеновских лучей и что уместно исследовать, не испускают ли рентгеновских лучей обычные тела, фосфоресцирующие после освещения их светом. Итак, руководствуясь идеей, которая впоследствии оказалась ложной, этот искусный физик стал исследовать гипотетическое испускание рентгеновских лучей солями урана, которые становятся фосфоресцирующими после предварительного освещения их солнечным светом. Он выставил на солнце пластинки, покрытые слоем урановой соли, затем завернул эти пластинки в черную бумагу и поместил их в кассету вместе с фотографической пластинкой, надеясь, что проникающее излучение, исходящее из фосфоресцирующего тела и проходящее сквозь черную бумагу, будет обнаружено по его действию на фотопластинку.

Действительно, он с радостью убедился, что предполагаемое явление, видимо, существует, поскольку соли урана после освещения их солнцем испускают радиацию, которая может проходить через черную бумагу. Это открытие (он сообщил о нем в Академии наук 24 февраля 1896 года), казалось, полностью подтвердило идею, однако неправильную, которой руководствовался Беккерель в своих исследованиях.

Но счастливый случай показал известному физику, что он ошибся в истолковании наблюденного им явления, и помог ему установить его истинную природу. Для повторения экспериментов Беккерель подготовил несколько кассет, в каждую из которых были помещены фотопластинка вместе с пластинкой, покрытой слоем соли урана и завернутой в черную бумагу. Но поскольку в эти зимние дни солнце не показывалось на небе, он в ожидании его появления запер эти кассеты в ящик стола. И вот, в воскресенье 1 марта 1896 года, в памятный для истории физики день, появилось солнце. Беккерель решил продолжить свои исследования, но сначала он решил (замечательная скрупулезность, характеризующая добросовестного ученого) проверить, не произошло ли чего-нибудь с пластинками во время их пребывания в ящике стола и не потемнели ли они под действием какой-нибудь случайной причины.

И вот, к своему величайшему удивлению, он заметил, что фотографические пластинки потемнели точно так же, как и в предыдущих экспериментах, хотя на этот раз соли урана не подвергались предварительному освещению солнечными лучами и не могли фосфоресцировать. Осталось возможным единственное объяснение: уран испускает непрерывно (и для этого его не нужно предварительно выставлять на свет) очень проникающее излучение неизвестной природы, которая должна оказаться совершенно отличной от природы рентгеновских лучей. Этот факт был надлежащим образом изложен в сообщении, которое сделал Анри Беккерель на следующий день, в понедельник 2 марта 1896 года, в Академии наук: он впервые обнаружил существование радиоактивности. Великий физик, руководствовавшийся в своих исследованиях неправильной идеей, пришел, таким образом, к замечательному открытию, создавшему новую эпоху в истории науки и даже в истории человечества.

Радиоактивность, таким образом, была открыта во Франции. И во Франции два года спустя было сделано в той же области другое решающее открытие: открытие радия Пьером и Марией Кюри. В 1898 году Пьер Кюри уже имел репутацию (и по праву) высококвалифицированного физика. Его исследования в области инфракрасного излучения и в кристаллографии, открытие совместно с его братом Жаком пьезоэлектричества, его замечательные общие представления о симметрии природных явлений привлекли к нему внимание научных кругов. Незадолго до этого он был назна-

чен профессором общего курса электричества в Школе промышленной физики и химии города Парижа и женился на молодой польской студентке Марии Склодовской. Ученица и сотрудница своего мужа, молодая Мария Кюри, очень заинтересовавшаяся последним открытием Анри Беккереля, решила исследовать, не обладают ли другие элементы, кроме урана, радиоактивными свойствами, и привлекла своего мужа к изучению проблем, которыми он раньше не интересовался. Используя свои обширные знания в области пьезоэлектричества, Пьер Кюри разработал очень чувствительный электрический метод для измерения излучения, испускаемого ураном. Одновременно с немецким ученым Шмидтом Мария Кюри обнаружила, что торий так же радиоактивен, как и уран. Затем она вместе со своим мужем вскоре заметила, что некоторые минералы, содержащие торий или уран, имеют радиоактивность значительно более высокую, чем радиоактивность этих элементов в чистом виде. Создавалось впечатление, что эта высокая радиоактивность вызывается неизвестным элементом, намного более радиоактивным, чем уран и торий. Они стояли на пороге великого открытия.

Пьер и Мария Кюри обратили свое внимание на свойства урановой смолки из Иоахимсталя (ныне Иоахимов). Урановая смолка—это очень сложный минерал, в основном состоящий из окиси урана. Супругам Кюри сначала удалось извлечь из него элемент, в 400 раз более активный, чем уран, и Мария Кюри дала этому новому элементу имя полоний в честь своей родины (июль 1898 года). Затем молодым ученым удалось в сотрудничестве с Бемоном установить наличие элемента, еще более радиоактивного, чем полоний, примерно в миллион раз более радиоактивного, чем уран,— радия (декабрь 1898 года). Радий был быстро идентифицирован как элемент с химическими свойствами, близкими к свойствам бария, но с более высоким атомным весом. Изучение Демарсеем спектральных линий радия позволило точно идентифицировать этот элемент. Вскоре Пьер и Мария Кюри получили хлористый и бромистый радий в чистом виде; им удалось установить его атомный вес, равный примерно 226. Далее Дебьерн открыл актиний, а они исследовали свойства излучения, испускаемого радием, и установили существование явления, отличного от известных раньше: индуцированной радиоактивности, то есть факт того, что радий делает радиоактивными окружающие его тела.

Это таинственное явление было немного позднее истолковано на основании предположения, что атом радия, распадаясь, порождает атом нового элемента, эманации радия, или радона, в свою очередь являющегося радиоактивным и во время распада осаждающегося на окружающие тела.

Открытие радиоактивности, затем открытие радия — начало развития всей ядерной физики — было осуществлено во французских лабораториях. Иностранные ученые, принадлежащие в основном к английской школе, и особенно знаменитый Эрнест Резерфорд, впоследствии изучили явление естественной радиоактивности и внесли большой вклад в наше познание ее природы. Естественная радиоактивность, которой обладают лишь тяжелые химические элементы (с атомным числом, большим 83), состоит в способности атомов этих элементов самопроизвольно распадаться, порождая атом другого элемента, соседа по таблице Менделеева. Этот самопроизвольный распад подчиняется статистическим законам и, видимо, совершенно нечувствителен к внешним воздействиям. Новый образовавшийся элемент сам вообще является радиоактивным, так что естественные радиоактивные элементы образуют радиоактивные семейства, которые оканчиваются нерадиоактивными атомами свинца. Вероятность распада радиоактивного атома в единицу времени, впрочем, существенно зависит от рассматриваемого элемента; средняя продолжительность жизни может меняться от нескольких секунд до многих столетий. Радиоактивные атомы при распаде испускают различные виды излучения, которые можно отнести к одной из трех следующих категорий:

1) альфа-частицы, являющиеся ядрами гелия; их электрический заряд равен удвоенному заряду протона, а масса — учетверенной массе протона;

2) бета-частицы, состоящие из движущихся электронов;

3) гамма-лучи, или электромагнитное излучение высокой частоты.

Когда было признано существование у атома центрального ядра, стал ясен истинный смысл явления радиоактивности. Поскольку ядро характеризует индивидуальность химических веществ, в явлениях радиоактивности должно распадаться именно оно, так как в этих явлениях изменяется химическая индивидуальность вещества. Уже этого достаточно для доказательства того, что ядра имеют сложную структуру. Размышляя о возможном строении ядер,

физики, естественно, стремились возродить старую гипотезу, выдвинутую за сто пятьдесят лет до этого английским врачом Проутом. Согласно этой гипотезе, все химические элементы должны быть построены с помощью самого простейшего среди них — водорода. Поскольку в течение предшествующих тридцати лет элементарными казались только два вида частиц: электрон и протон, или ядро атома водорода, гипотеза о единстве вещества предстала в умах ученых в следующей форме: все атомные ядра (кроме ядра атома водорода) должны быть совокупностями протонов и электронов. Поскольку масса электрона ничтожна по сравнению с массой протона, то из этого, казалось, следует, что масса ядра должна быть величиной, кратной массе протона. Это следствие, однако, оказалось в явном противоречии с тем фактом, что атомные веса зачастую далеки от целых чисел; на пути принятия гипотезы о единстве вещества появилось серьезное препятствие.

Это препятствие было устранено примерно тридцать пять лет назад, в результате открытия «изотопов», сделанного в основном Дж. Дж. Томсоном и Астоном. Изучая отклонение электрически заряженных атомов с помощью установок, которые называются сегодня «масс-спектрографами», эти ученые смогли показать, что ядра с одинаковым атомным номером Z, соответствующие атомам с одинаковым составом периферической части атома и, следовательно, с почти совпадающими физическими и химическими свойствами, могут иметь различные массы. Эти ядра с одинаковым атомным номером и различными массами занимают одно и то же место в таблице Менделеева; поэтому они получили название изотопов. Масс-спектрография позволила обнаружить большое количество изотопов: так, например, у олова ($Z = 50$) имеется более двенадцати изотопов.

Открытие изотопов почти полностью устранило трудность, которая возникла на пути развития новой теории единства вещества. Действительно, если учесть существование изотопов, то можно заметить, что массы всех ядер являются почти точными целыми кратными массы протона. Известные атомные веса встречающихся в природе элементов часто сильно отличаются от целых кратных чисел массы протона, потому что в действительности эти естественные элементы являются смесями (в строго определенной пропорции) изотопов. Если естественный хлор имеет атомный вес, равный 35,5, то это является следствием того,

что он состоит на одну четверть из хлора с массой 37 и на три четверти из хлора с массой 35.

Но открытие изотопов, однако, не устранило полностью трудности, о которых мы говорили выше. Даже если принять во внимание существование изотопов, массы ядер в действительности не являются в точности целыми кратными массы протона. Массы атомов двух изотопов хлора, о которых мы только что говорили, не равны в точности 35- и 37-кратной массе протона. Различие между массой ядра и ближайшим целым кратным массы протона очень мало, но отлично от нуля; его называют «дефектом массы». Каково происхождение этого различия, казалось бы противоречащего гипотезе о единстве вещества?

Со времени Лавуазье, создателя современной химии, считалось, что масса всегда строго сохраняется. Развитие теории относительности привело к изменению этого представления: согласно этой теории, масса является лишь особой формой энергии, и сохраняется энергия, взятая в целом, а не обязательно эта особая форма энергии — масса. Этот новый принцип, называемый «принципом инертности энергии», сформулированный в 1905 году Альбертом Эйнштейном, позволяет сегодня написать уравнение сохранения энергии для ядерных превращений, учитывая одновременно энергию массы, кинетическую энергию вылетающих во время превращения частиц и энергию испускаемого в этот момент излучения.

Еще давно Поль Ланжевен заметил, что принцип инертности энергии позволяет понять происхождение дефектов массы. Действительно, образование устойчивого ядра из его элементов должно быть экзотермическим процессом, то есть сопровождаться потерей энергии. Следовательно, масса образовавшегося ядра должна быть немного меньшей суммы масс составляющих его элементов из-за небольшой потери энергии во время образования ядра.

Итак, наконец, гипотеза о единстве вещества и сложном строении ядер (отличных от ядра атома водорода) в настоящее время дает ответ на любые возражения. Но тогда, если ядра являются, таким образом, сложными сооружениями, которые в случае радиоактивных элементов могут самопроизвольно разрушаться, можно вызвать их разрушение с помощью внешних воздействий. Великому английскому физику лорду Резерфорду впервые удалось осуществить такое разрушение в 1919 году; таким образом, он был

первым человеческим существом, которому посчастливилось осуществить вековую мечту алхимиков — искусственно превратить один химический элемент в другой. Бомбардируя азот альфа-частицами, он заметил, что ядра азота могут поглощать альфа-частицу, а затем разделяться на ядро одного из изотопов кислорода и быстро движущийся протон. Таким образом, азот превратился в кислород и водород. С 1930 года техника ядерных превращений, вызванных бомбардировкой, быстро развивалась благодаря применению мощных и остроумных устройств, прототипом которых был циклотрон, изобретенный Лоуренсом. В ходе исследования этих превращений супругами Жолио-Кюри было сделано великое открытие: они показали, что некоторые процессы бомбардировки порождают неустойчивое ядро (искусственный радиоактивный элемент), которое затем самопроизвольно распадается, порождая другой элемент и различные виды излучения.

В 1931—1932 годах в физике ядра произошел существенный сдвиг, вызванный открытием двух новых частиц: нейтрона и положительного электрона. Последовавшие одна за другой работы Боте и Беккера, супругов Жолио-Кюри и Чедвика показали, что бомбардировка бериллия альфа-частицами порождает дотоле неизвестную частицу—нейтрон, который является электрически нейтральным и имеет почти ту же массу, что и протон. После этого нейтрон был обнаружен в большом числе ядерных реакций и в космических лучах.

Что касается положительного электрона, или «позитрона», он представляет собою частицу с массой, равной массе обычного электрона, но электрический заряд которой равен заряду электрона по абсолютной величине, но противоположен ему по знаку. Он был открыт Андерсоном и Блеккетом совместно с Оккиалини в космических лучах. В присутствии вещества позитрон неустойчив; действительно, он стремится нейтрализовать электроны, присутствующие в веществе, а одновременная аннигиляция позитрона и электрона порождает излучение; это исчезновение пары электронов противоположных знаков иногда называют «исчезновением материи». Также существует обратное явление: при некоторых обстоятельствах излучение может «материализоваться» в пару электронов противоположных знаков. Эти и другие аналогичные им явления находятся в согласии с принципом инертности энергии и соответст-

венно с законом сохранения энергии, который при этом лишь меняет свою форму.

После открытия нейтрона Гейзенберг предложил концепцию строения ядер, которая оказалась в дальнейшем более правильной, чем предыдущие.

Согласно этой концепции, ядра состоят не из протонов и электронов, а из протонов и нейтронов. Рождение отрицательных или положительных электронов во время естественных и искусственных распадов объясняется не тем, что эти электроны заранее существуют в ядре, как это считалось раньше, а превращением протона ядра в нейтрон или, обратно, превращением, которое сопровождается рождением положительного или отрицательного электрона. Протон и нейтрон являются, таким образом, в некотором роде двумя состояниями, положительно заряженным и нейтральным, одной и той же тяжелой частицы, «нуклона», основной составной части атомных ядер. Совокупность этих новых представлений служит теперь основой теории ядра и оказывает величайшую услугу в деле предсказания ядерных явлений, о которых пойдет речь ниже.

* * *

Вооружившись этими необходимыми предварительными знаниями, мы теперь можем уточнить смысл того, что называют атомной энергией и что скорее нужно было бы называть «ядерной энергией», поскольку она заключена не во всем атоме, а в центральном ядре атома. Люди давно научились использовать энергию, освобождающуюся в ходе взаимодействия атомов, когда они объединяются, образуя новые молекулы, или разделяются при диссоциации уже существующих молекул. Эти изменения состояния связи атомов зачастую бывают «экзотермическими», то есть они выделяют тепло, энергию, которую мы можем попытаться использовать с выгодой для себя. Самым простым примером является, конечно, использование окисления в форме горения, использование «огня», открытие которого ознаменовало, без всякого сомнения, коренной поворот в истории первобытного общества. Все достижения химии в ее старом виде, и в частности достижения металлургии (которые с течением времени привели к освоению изготовления и использованию меди, бронзы, железа и других металлов и сплавов), также явились результатом использования энергии атомов,

а современная химия со времени Лавуазье невиданным образом умножила число этих достижений. Открытие сильно взрывчатых веществ — нитроглицерина, тринитротолуола — позволило в течение малых отрезков времени высвобождать огромные количества энергии, способные вызывать очень сильное действие. Но в этих случаях всегда речь идет о *химической* энергии, порождаемой явлениями, которые происходят на внешних оболочках атомов и лишь изменяют их взаимные связи.

Так что же представляет собой эта новая форма энергии, используемая ныне человеком, которую называют «атомная энергия»? Это энергия, которая извлекается не из внешних оболочек атома, где образуются молекулярные связи, а из гораздо более глубокой области атома, которую называют ядром. Как мы говорили, пятьдесят лет назад было установлено, что в центре каждого атома находится ядро, которое определяет его химическую индивидуальность и в котором сосредоточена большая часть массы атома. Вокруг ядра в области, которая сама по себе крайне мала, но очень велика по сравнению с размерами атома, вращаются периферические электроны. Во внутренних частях этой внешней области атома происходят процессы, порождающие рентгеновские лучи в предназначенных для этой цели трубках, а наружные части этой же области порождают световое излучение в источниках света; здесь же происходят взаимодействия, вызывающие обычные химические явления. Мы уже объяснили, как после длительных неудачных попыток уточнения внутренней структуры атомных ядер физики наконец поняли, что ядро является сложной системой, совокупностью частиц двух сортов — «протонов» и «нейтронов», число которых возрастает по мере перехода от легких атомов, а следовательно, ядер, к более тяжелым. Точное строение этих систем, природа сил, обеспечивающих их устойчивость, лишь только начинает являться нашему взору, и много еще предстоит сделать для познания внутриядерных явлений.

Но давно уже выяснилось, что превращения, при которых ядра могут высвобождать количество энергии (воспринимаемой нами — в макроскопическом масштабе — в конце концов в форме выделения тепла), значительно больше, чем то количество, которое может выделиться при изменениях периферического состояния атомов, и в частности при химических реакциях. Отметим, что было бы непра-

вильно говорить, что одно ядро в процессе превращения дает нам большое количество энергии; наоборот, это количество энергии всегда будет крайне мало по сравнению с тем количеством энергии, которое мы можем успешно использовать, но оно, однако, гораздо больше, чем количество энергии, освобождающееся в индивидуальном процессе превращения молекулы. Тем не менее, хотя издавна было известно, что при химических реакциях могут выделяться сразу большие количества энергии, которые в макроскопическом масштабе могут вызывать значительные действия, например реакции взрыва, лишь шестнадцать лет тому назад представилась возможность получить значительные количества энергии на основе ядерных превращений. На чем основан этот способ получения энергии?

Вообще, когда химическая реакция начинается в значительном объеме вещества, например в заряде динамита, она *распространяется* в этом объеме. Вначале реакция затрагивает лишь несколько атомов из этого объема, затем она постепенно, а иногда очень быстро, распространяется на все огромное количество имеющихся атомов вещества. В каждом атоме освобождается очень незначительное количество энергии, но полное количество энергии, выделяющейся миллиардами миллиардов атомов, становится значительным, а иногда колоссальным. Несмотря на то что после известного эксперимента Резерфорда в 1919 году стало известно, как можно осуществить внутренние превращения ядер, «искусственные трансмутации», вначале было осуществлено лишь превращение нескольких ядер в некотором объеме вещества. В случае ядерных реакций из ядра выделяется значительно больше энергии, чем из атома при химической реакции, причем даже в виде взрыва, но, поскольку происходит трансмутация только нескольких ядер, а не всех ядер в объеме вещества, количество высвобождающейся энергии в целом остается ничтожным.

В 1938—1939 годах ситуация полностью изменилась в результате открытия фундаментального явления — «деления» урана. Уран является самым тяжелым химическим элементом (то есть его атом имеет самую большую массу), который существует в устойчивом состоянии в земной коре. Его ядро состоит из 92 протонов ($Z = 92$) и некоторого числа нейтронов (в зависимости от того, с каким изотопом имеют дело, насчитывают 140—146 нейтронов). Это ядро является сложным и довольно неустойчивым со-

оружением; в силу этой неустойчивости оно стремится самопроизвольно распасться, а это стремление проявляется как естественная радиоактивность. В 1938—1939 годах работы Гана, Лизы Мейтнер, Штрасмана, Фриша и Жолио-Кюри привели к открытию нового, очень важного ядерного явления — «деления», или «раздвоения», ядра урана.

Началом послужило установление следующего факта: бомбардировка урана нейтронами приводит к распаду ядер урана; сначала думали, что столкнувшийся с ядром нейтрон включается в ядро урана и при этом происходит испускание электронов. Отсюда был сделан вывод о существовании «трансурановых» элементов с атомным номером, большим 92, которые продолжают таблицу Менделеева за уран, но в природе в обычных условиях не существуют. Затем другие работы (в частности, во Франции работы Жолио) показали, что столкновение нейтронов с ядром вызывает деление этого ядра на два ядра с примерно равными массами, причем это деление сопровождается испусканием нейтронов. Впрочем, такой взрыв ядра урана может происходить различными путями, и образующиеся в различных случаях ядра сами являются неустойчивыми и претерпевают далее превращения, испуская при этом в свою очередь положительные и отрицательные электроны.

После открытия деления урана некоторое время ошибочно полагали, что столкновение нейтрона с ядром урана может привести к образованию лишь одного трансуранового элемента. Но более глубокое изучение явления показало, что в действительности бомбардировка урана нейтронами приводит и к делению, и к появлению трансурановых элементов. Для того чтобы понять это, нужно обратиться к понятию изотопа, введенному нами ранее. Уран, встречающийся в природе, почти полностью состоит из двух изотопов, соответствующих одному и тому же атомному номеру $Z = 92$. Ядро чаще всего встречающегося в природе изотопа состоит из 238 элементарных частиц: из 92 протонов и 146 нейтронов. Другой изотоп, с атомным весом 235, ядро которого состоит из 92 протонов и 143 нейтронов, встречается в природном уране в пропорции 7 : 1000 (по отношению к первому изотопу). Этот изотоп является редким и очень неустойчивым; при столкновении с нейтронами именно его ядра взрываются (явление деления). Что касается распространенного изотопа U_{238}, то его ядро способно поглощать нейтрон и превращаться в ядро урана

(с атомным номером 92, но содержащим 147 нейтронов и имеющим, следовательно, атомный вес, равный 239). Это новое ядро неустойчиво и распадается на электрон и новое ядро с атомным номером 93 (то есть он выше атомного номера урана) и атомным весом, равным 239. Таким образом, был создан новый элемент, не существующий в природе и названный нептунием. Так был получен трансурановый элемент. Ядра нептуния, образующиеся в массе естественного урана при бомбардировке нейтронами, способны поглотить движущийся нейтрон и превратиться в тяжелый нептуний с атомным номером, по-прежнему равным 93, но с атомным весом 240. Этот тяжелый нептуний неустойчив: он распадается с образованием электрона и ядра плутония с атомным номером 94 и атомным весом 240. Плутоний является вторым трансурановым элементом. Итак, бомбардировка естественного урана нейтронами приводит сразу к делению редкого изотопа урана 235 и к последовательному образованию нептуния и плутония из распространенного изотопа U_{238}.

Эти факты стали известны пятнадцать лет назад, но впоследствии, бомбардируя ядра урана и расщепляя их, удалось изготовить другие «трансурановые» ядра с атомным весом, большим 94: америций ($Z = 95$), кюрий ($Z = 96$), беркелий ($Z = 97$), калифорний ($Z = 98$), эйнштейний ($Z = 99$), фермий ($Z = 100$), менделевий ($Z = 101$), нобелий ($Z = 102$). Все эти ядра являются неустойчивыми и разрушаются в процессе естественной радиоактивности. Может быть, они существовали в природе в более ранний период развития мира, но они уже давно исчезли вследствие своей естественной неустойчивости. В середине XX века человеку удалось воссоздать эти исчезнувшие элементы. При этом очень интересным является факт возможности изменения, таким образом, человеческим умом естественного хода развития мира, по крайней мере на поверхности нашей планеты.

Вернемся к освобождению ядерной энергии. Ядерные реакции, о которых мы только что говорили и которые были осуществлены накануне открытия деления, захватывали лишь единичные атомные ядра и, несмотря на свой теоретический интерес, представляли собою лишь лабораторную игру, не имея значения для практического использования. Однако после 1939 года физики поняли, что перед ними открываются новые чудесные возможности. Действительно,

поскольку явление деления сопровождается высвобождением нейтронов, эти нейтроны должны в свою очередь быть в состоянии вызывать деление ядер, которые находятся по соседству с ядрами, испускающими нейтроны. Деление, таким образом, может принять характер «цепной» реакции по отношению к другим ядрам изотопа U_{235}, присутствующим в массе урана при наличии обстоятельств, благоприятных для этой «цепной» реакции. Итак, при каждом делении высвобождается количество кинетической энергии, способной преобразовываться в тепло, равное 0,0003 *эрга*; эта энергия берется из энергии, содержащейся в массе делящегося ядра. Это количество энергии очень мало, но если деление распространяется на всю массу урана (цепная реакция), количество выделяющейся энергии может стать огромным. Таким образом, полное деление 1 *кг* редкого изотопа U_{235} может дать огромное количество тепла, которого достаточно для нагрева от 0 до 100° 1 млн. *т* воды. Таким образом, была обнаружена возможность получения взрывчатого вещества, в миллион раз более сильного, чем все до того известные химические взрывчатые вещества, например динамит.

Незадолго до начала последней войны ряд французских физиков начал заниматься этой проблемой. Я помню, как весной 1939 года Франсис Перрен, который в настоящее время является верховным комиссаром по вопросам атомной энергии, сделал на моем семинаре в Институте имени Анри Пуанкаре доклад о возможности получения цепной реакции в массе урана. Немного позже, уже после начала второй мировой войны, Фредерик Жолио начал в своей лаборатории в Коллеж де Франс, имея в виду возможности применения в военных целях, экспериментальные исследования по этой теме, которые были прерваны перемирием в июне 1940 года. Вы знаете, что впоследствии Соединенным Штатам удалось создать первые атомные бомбы, и они были использованы в 1945 году к концу войны против Японии. В настоящее время многие нации располагают атомными бомбами различных типов; самой грозной является «водородная бомба», которая построена на несколько ином принципе.

Я не хочу задерживаться на этом вопросе об атомных бомбах и удовольствуюсь лишь пожеланием, чтобы эти ужасные средства разрушения никогда не были применены в конфликтах между цивилизованными нациями. Но я хочу

сказать несколько слов о мирном и практическом использовании в ходе развития цивилизации тех огромных запасов энергии, которыми теперь располагает человек, поскольку он умеет извлекать их, по крайней мере частично, из ядра. Эти применения основываются, при современном состоянии развития атомной техники, на использовании устройства, изобретенного в Соединенных Штатах итальянским физиком Энрико Ферми, устройства, которое называется «урановый котел». Это, так сказать, атомная бомба, которая действует очень медленно. Благодаря соответствующим приспособлениям распространение цепной реакции деления ядер урана происходит достаточно медленно, поэтому реакция не принимает характера взрыва; «котел» отдает тогда в замедленном и безопасном темпе значительные количества тепла, возникающего при распаде атомных ядер. Впрочем, в «котлах» можно использовать не только уран, но и другие тяжелые элементы, встречающиеся в природе, например торий, а также элементы, более тяжелые, чем уран, и не существующие обычно в природе, например плутоний (который, как мы видели, в настоящее время можно получить из урана, используя соответствующим образом регулируемые процессы поглощения нейтронов).

В атомном реакторе («котле») вырабатываются большие количества тепла за счет разрушения очень незначительного количества урана; это тепло можно использовать для приведения в движение паровых машин или турбин, которые могут работать на электростанциях или на кораблях, подводных лодках и т. д... Атомная энергия уже используется в большом числе случаев или разрабатываются проекты ее использования во многих странах; и нет сомнения, что она будет использоваться в возрастающем темпе. Легко понять причину, почему очень желательно ее быстрое использование. При современных темпах потребления горючего, например угля, нефти, мазута, темпах, которые год от года возрастают, запасы этих горючих ископаемых, которые еще содержатся в земле, истощатся довольно быстро, за несколько столетий, а может быть, за несколько десятилетий. А в атомных реакторах вместо обычного горючего «сгорает» очень небольшое количество урана, а поскольку уран, по-видимому, содержится в земной коре в значительных количествах (во Франции имеются значительные месторождения урана), то мы располагаем

энергетическими резервами, столь же неисчерпаемыми, как и запасы белого угля; они долго еще могли бы служить человечеству после оскудения нефтяных скважин и угольных шахт.

Я не буду проводить подробный анализ развития применений атомной энергии. Они составляют в настоящее время предмет быстро и широко развивающейся отрасли техники, в которой я не являюсь специалистом. Итак, я ограничусь, в заключение своего довольно длинного доклада, изложением в нескольких словах его краткого содержания.

Начиная от еще довольно наивных размышлений греческих философов о строении вещества, мы пришли в настоящее время к завоеванию человеком сокровищ энергии, скрытых в самом сердце атомов. Возможность использования человеком атомной энергии открыла новую эру в истории человечества, и эта эра может быть благотворной, если люди окажутся достаточно мудрыми для использования этой возможности на благо мира. С чисто интеллектуальной точки зрения мы должны сказать, что человеческий ум может по праву гордиться тем, что после настойчивых и продолжительных усилий ему удалось проникнуть в секреты внутреннего строения вещества и суметь в настоящее время использовать огромные энергетические ресурсы, содержащиеся внутри него. С этой точки зрения вековая работа ученых, которая позволяла все глубже и глубже проникать в дискретную структуру вещества, является своего рода эпопеей, которая завершается апофеозом.

ЧТО ТАКОЕ КОЛЕБАНИЕ?

Понятие колебания играет существенную роль во всех областях физики, в которой оно, впрочем, может, как мы увидим, рассматриваться с весьма различных сторон.

Определенное конкретно на основе повседневного опыта колебание может рассматриваться как быстрое отклонение материальной среды в обе стороны от состояния равновесия. В таком смысле оно понимается в механике, в теории упругости, в гидродинамике и в акустике. Колебания маятника или пружины относительно их положений равновесия, колебания твердых и жидких тел, которые могут распространяться во всех материальных средах, являются хорошо известными примерами колебаний.

Одним из существенных свойств колебания является свойство «периодичности», то есть возобновления одного и того же цикла изменений в течение одинаковых интервалов времени. Зачастую колебательное движение вещества имеет простую форму и может быть представлено в виде тригонометрической функции времени: в этом случае говорят, что колебание является «синусоидальным», но этот важный случай является, однако, лишь частным случаем колебаний. Часто колебание, не будучи синусоидальным, может быть представлено в виде наложения различных синусоидальных колебаний, периоды которых являются целыми кратными основного периода колебания, а математически явление можно представить в виде так называемого ряда Фурье. Тогда можно сказать, что колебания являются результатом сложения основного колебания и его гармоник, частоты которых являются целыми кратными фундаментальной частоты. Движение однородной колеблющейся струны, закрепленной на двух ее концах, является классическим примером такого рода колебаний, а математическая теория рядов Фурье возникла в результате исследования этого физического явления.

Более сложные случаи могут возникнуть при колебании материального тела, а именно при возникновении колебательного явления, которое относят к «нелинейным» явлениям. Простые колебания, сохраняющие четко выраженную периодичность, уже нельзя более представить в виде тригонометрической функции, а их период не является более независимым от их амплитуды, как это имеет место в случае «линейных» колебаний, рассмотренных выше. В механике классическим примером такого рода колебания является колебание маятника. Малые колебания маятника могут рассматриваться как «линейные»: их можно представить в виде тригонометрических функций, период которых не зависит от амплитуды. Этот «изохронизм малых колебаний маятника», который, если верить преданию, был открыт Галилеем при изучении колебаний люстры в соборе в Пизе, перестает иметь место при возрастании амплитуды колебаний; тогда даже в столь простом случае колебание становится «нелинейным» и уже не может быть представлено в виде простой тригонометрической функции таким образом, что период, всегда вполне определенный, больше не зависит от амплитуды.

Важный случай колебательного движения, отличный от предыдущих, наблюдается при распространении в материальной среде бегущей волны. В этом случае имеет место не только периодическое колебание, происходящее в каждой точке тела, по которому распространяется волна, но и передача колебательного состояния через тело. В простом случае «монохроматической» волны, то есть имеющей один-единственный период, явление еще можно описать с помощью тригонометрической функции, но, поскольку в каждой точке колебание осуществляется с течением времени гармонически, одно и то же колебательное состояние имеет место в каждый данный момент времени во всех точках на линии распространения волны, которые отстоят друг от друга на одинаковом расстоянии, называемом «длина волны». Итак, можно считать, что колебательное движение передается вдоль направления распространения со скоростью, которая оказывается равной отношению длины волны к периоду. Эти понятия хорошо знакомы широкому кругу людей из практики радиотехники, но они также хорошо известны всем, кто занимается механикой твердых или жидких тел и акустикой. Но если в случае волн, например акустических, распространяющихся в материальных

средах, колебание можно легко обнаружить в буквальном смысле, для электромагнитных волн, частным случаем которых являются волны Герца или радиоволны, колебание, как мы увидим, имеет более тонкий смысл, требующий уточнения. Но и в том, и в другом случае математически эти явления описываются примерно одинаково, а физический смысл волн как метода передачи энергии и сигналов на расстояние остается почти без изменений.

В области световых явлений примерно полтора века тому назад колебание вновь появилось в значительно более загадочной форме, чем в материальных явлениях макромира. Когда Френелю, который вернулся к идеям Гюйгенса о волновой природе света, удалось установить экспериментально и теоретически существование световых волн, он, естественно, попытался представить себе световое колебание по аналогии с колебанием твердого тела и ввел, так же как и Гюйгенс, понятие «эфира» — тонкой среды, проникающей во все материальные тела, способной колебаться и распространять световые волны. Но позднее гипотеза о существовании эфира была постепенно оставлена. Величественный синтез, осуществленный в 1870 году Максвеллом, когда он установил электромагнитную природу света и сделал, таким образом, всю оптику лишь главой электромагнитной теории, нанес этой гипотезе первый удар. Можно было предположить, как это и сделал Лорентц в начале своей деятельности, что электромагнитное поле света возникает в недоступном для наших наблюдений эфире, но природа этого эфира оставалась тогда весьма таинственной, и электромагнитное поле света, хотя по своей математической форме оно попадало в категорию колебаний, нельзя было уподобить колебаниям твердого тела. Начиная с 1905 года успех теории относительности Альберта Эйнштейна привел физиков к полному отказу от понятия эфира. В это же время было установлено, что электромагнитные волны образуют обширную гамму, которая в порядке убывания длин волн простирается от радиоволн до гамма-лучей, испускаемых радиоактивными телами, и охватывает инфракрасные лучи, свет, ультрафиолетовое излучение и рентгеновские лучи. Все эти виды излучения образованы колеблющимся электромагнитным полем и отличаются друг от друга, несмотря на различие их физических свойств, лишь величиной длины волны. Но наши современные представления не могут служить основой

для понимания этих электромагнитных колебаний, которые не сводятся к классическому и наглядному представлению о колебаниях материального тела; висящие в пустоте, если можно так сказать, они выглядят для непосвященных (а может быть, даже и для физиков) чем-то довольно таинственным. Мы увидим, что эта тайна природы излучения тесно связана с тайной природы элементарных кирпичиков вещества.

Начиная с 1905 года, после фундаментальной работы Эйнштейна о «квантах света», стало известно, что свойства излучений не могут быть предсказаны только с помощью представления о колеблющихся электромагнитных полях; оказалось, что излучения содержат также сгустки энергии, величина которых обратно пропорциональна длине волны и которые мы называем в настоящее время «фотонами». Так была поставлена грозная проблема двойного аспекта излучения, проблема «волны и частицы». Оказалось, что эта проблема является более широкой, правда, начиная с 1923—1924 годов начали возникать представления волновой механики, вскоре подтвержденные открытием явления дифракции электронов на кристалле; было показано, что со смещением элементарных частиц вещества связано распространение волны, которую называют Ψ-волной и которая играет для частицы такую же роль, какую электромагнитная волна играет для фотона. Волновой аспект элементов вещества, проявляющийся в явлениях дифракции и интерференции, совершенно аналогичных явлениям, имеющим место в случае света и всех прочих видов электромагнитного излучения, является бесспорным фактом, но он, естественно, не позволяет оспаривать корпускулярный аспект элементарных частиц вещества, который издавна установлен на основе других неоспоримых фактов. Осуществив замечательный синтез свойств излучения и свойств вещества, волновая механика показала универсальный характер в микрофизическом мире двойственности волн и частиц.

Но что представляет собой это колебание, распространение которого образует Ψ-волну, связанную с материальной частицей? Как и электромагнитное колебание, оно происходит в пустоте и не соответствует никакой конкретной физической картине. Впрочем, не следует удивляться тому, что колебание Ψ-волны имеет некоторые характеристики, аналогичные характеристикам электромагнитных колебаний световых волн: электромагнитное поле

излучения является не чем иным, как Ψ-волной фотонов. Поскольку трудно определить физическую природу волны, связанной с частицами, многие физики-теоретики, может быть, увлеченные абстрактной тенденцией своего ума, решили рассматривать эту волну как чисто математическое выражение, служащее лишь для предсказания вероятности некоторых явлений. Лично мне кажется, что они несколько преувеличивают; Ψ-волна, существование которой столь ясно установлено в наблюдаемых явлениях, полностью аналогичных оптическим явлениям, должна иметь более реальный и более конкретный смысл, чем тот, который ей сегодня приписывается. Конечно, было бы наивностью представлять себе электромагнитные волны и волны, связанные с частицами, в виде колебаний, распространяющихся в упругой среде, аналогичной материальному телу; но научному реализму соответствует предположение о том, что они представляют собой какое-то дрожание неизвестной еще природы, которое распространяется в пространстве с течением времени.

Мы не будем больше касаться сложных проблем, которые могут быть выяснены лишь в будущем, но мы можем в нескольких словах резюмировать вышесказанное. В физике везде встречается колебание в различных формах. Сначала оно постоянно присутствовало «на поверхности вещей» (я хочу сказать, в физической реальности, которую мы наблюдаем непосредственно вокруг себя). В этой знакомой обстановке колебание, определяемое как быстрое дрожание материальных тел, обнаруживается как явление, физическую природу которого легко понять; затем колебание обнаруживается на более скрытых уровнях физической реальности, в глубинной структуре излучения и вещества; но, не найдя для своего конкретного представления подходящих образов, мы можем лишь утверждать, что колебание там имеет место, но не можем в настоящее время сказать, что́ оно собой представляет.

ПРИНЦИПЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ

Волновая механика возникла из экспериментальных фактов, с одной стороны, касающихся света, а с другой стороны, частиц атомного масштаба, в частности электронов, и из трудностей, возникших при истолковании этих фактов.

Открытие фотоэлектрического эффекта и других световых явлений, например эффекта Комптона, привело физиков пятьдесят лет тому назад к повторному введению в теорию света корпускулярных представлений, которые были оставлены после триумфа волновой теории Френеля. Таким образом, физики оказались вынуждены допустить, что полная теория света должна включать в себя световые волны Френеля, истолкованные Максвеллом как имеющие электромагнитную природу, и крупицы световой энергии, или «фотоны», которые Эйнштейн представил себе в 1905 году, следуя, таким образом, по пути, проложенному Планком, который ввел кванты в теорию излучения абсолютно черного тела.

Впрочем, успехи, достигнутые теорией квантов Планка, показали, что частицы вещества, например электроны, не могут внутри объектов (атомов и молекул) атомного масштаба совершать все движения, описываемые классической механикой; физически возможными оказываются лишь некоторые движения, удовлетворяющие квантовым условиям, в которых фигурируют целые числа и известная постоянная действия h Планка. Применение этой идеи к движению электронов вокруг ядра в атоме, представленном с помощью модели Резерфорда, привело в 1913 году Нильса Бора к его известной теории атома, на основе которой было получено так много предсказаний и объяснений, что ее можно считать ключом к атомному миру. Несмотря на свой огромный успех, эти квантовые теории движения частиц атомного масштаба в значитель-

ной степени были гибридными и с многих точек зрения мало удовлетворительными: они очень искусственно соединяли математический аппарат классической механики с совершенно чуждыми ей условиями. В частности, введение целых чисел в квантовые теории является совершенно непонятным с точки зрения классической механики, но оно вполне понятно в волновой теории, так как очень часто встречаются в волновых процессах явления, которые описываются с помощью целых чисел (резонанс, интерференция и т. д.). Это замечание было одним из тех положений, из которых выросла волновая механика.

В 1923 году автор настоящей статьи, после длительных размышлений над этими проблемами, пришел к идее о необходимости допущения существования волново-корпускулярной двойственности не только для фотонов света, но и для электронов и других частиц вещества. Другими словами, следовало связать движение частиц вещества с распространением волны и, в случае света, связать перемещение фотонов с распространением световой волны Френеля — Максвелла. На основе соображений, вытекающих из теории относительности и аналитической механики, мне удалось разработать тогда синтетическую теорию, которая приняла характер «волновой механики». Она выразила связь между прямолинейным и равномерным движением свободной частицы с энергией E и количеством движения p, с одной стороны, и распространением плоской монохроматической волны частоты ν и длиной волны λ, с другой стороны, с помощью двух фундаментальных формул:

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h}{\lambda}. \tag{1}$$

В применении к частному случаю света эти формулы сразу же дают формулы Эйнштейна, положенные в основу его теории квантов света (фотонов): соотношение Эйнштейна вошло как частный случай в обширную синтетическую схему, данную волновой механикой. В применении к внутриатомным электронам волновая механика позволяет истолковать квантовые условия, определяющие стационарные орбиты Бора как аналог условиям резонанса, и выражают тот факт, что волна, связанная с электроном, является стоячей волной. Появление в этих формулах целых чисел стало вполне естественным.

В 1926 году, руководствуясь идеями, развитыми автором, Эрвин Шредингер в ряде замечательных статей сумел в значительной степени уточнить математические основы волновой механики и расширить область ее применения. Углубляя аналогию между геометрической оптикой и аналитической механикой, сто лет назад установленную Гамильтоном, он смог получить общее уравнение распространения, верное в нерелятивистском приближении, для волны, связанной с частицей в данном поле; затем, пользуясь представлением о «конфигурационном пространстве», он получил также уравнение распространения в этом пространстве волны, связанной с системой взаимодействующих частиц. Тогда ему удалось строго вычислить стационарные состояния для квантованных систем; им были получены результаты, ставшие по праву классическими. Пораженный тем странным фактом, что эти результаты в точности совпали с результатами, полученными Гейзенбергом в 1925 году с помощью довольно абстрактного математического аппарата его «квантовой механики» или «матричной механики», Шредингер показал, что, несмотря на внешнее различие, волновая механика и квантовая механика Гейзенберга могут рассматриваться как переводы одной и той же теории на различные математические языки. Работа Шредингера имела важное значение для развития волновой механики.

Однако, несмотря на достигнутые, таким образом, успехи, эта идея о связи волны с электроном еще нуждалась в прямой экспериментальной проверке.

Эта проверка была проведена в 1927 году Девиссоном и Джермером, которые, направив пучок электронов одинаковой энергии на кристалл никеля, получили явление дифракции, совершенно аналогичное тому явлению, которое можно получить в тех же условиях, используя вместо электронов монохроматический пучок рентгеновских лучей. Волновая механика объясняет этот факт просто. Действительно, вторая формула (1) позволяет видеть, что волна, связанная с электроном, который приобретает скорость под действием разности потенциалов U *в*, имеет длину, равную, если пренебречь релятивистскими поправками, выражению:

$$\lambda = \frac{12{,}25}{\sqrt{U}} \cdot 10^{-8}\ см. \qquad (2)$$

Эта длина волны оказывается порядка длины волны рентгеновских и гамма-лучей и, следовательно, много меньше длины волны видимого света. Следует ожидать, что электроны, падая на тело кристаллической структуры, приводят к образованию явления дифракции, совершенно аналогичного явлению дифракции, которое предсказывается для рентгеновских лучей классической теорией Лауэ — Брегга и которое постоянно используется в рентгенографии. Опыты Девиссона и Джермера, вскоре повторенные в различных формах Дж. П. Томсоном, Понте, Кикучи, Руппом и др., полностью подтвердили представления волновой механики и формулу (2), показав, таким образом, необходимость связи электрона с волной. Для очень быстрых электронов, для которых нужно учитывать релятивистское изменение массы со скоростью, формулу (2) нужно заменить немного более сложным выражением, которое также полностью подтверждается на опыте.

Впрочем, явления дифракции можно также получить не только для электронов, но и для других частиц, в частности протонов, атомных ядер и даже, совсем недавно, нейтронов. Итак, было доказано, что с каждой частицей связана волна и что формулы (1) всегда применимы для описания этой связи. Отметим, наконец, что Бёрш в 1940 году повторил с электронами опыты по дифракции на краю экрана, которые позволили в 1816 году Френелю установить волновую природу света.

Еще позднее различные физики, а именно Мартон, Мелленстедт и Ферт, получили с электронами всю серию интерференционных явлений, которые давно были получены в оптике с помощью таких хорошо известных устройств, как бипризмы Френеля, отверстия Юнга и тонкие пластинки.

Построенная отныне на прочных экспериментальных основаниях волновая механика смогла быстро развиваться в различных направлениях. Она привела к различению частиц с симметричной волновой функцией, или бозонов, подчиняющихся статистике Бозе—Эйнштейна, и частиц с антисимметричной волновой функцией, или фермионов, которые, как электрон, подчиняются принципу запрета Паули и подчиняются статистике Ферми — Дирака. Она позволила Гамову истолковать природу вероятностных законов, которым подчиняется распад радиоактивных веществ, и найти законы испускания альфа-частиц в некоторых из таких распадов. Она позволила Гейзенбергу понять

до того необъяснимый характер спектра гелия, который складывается из двух спектров, почти независимых (парагелий и ортогелий); аналогичная теория смогла объяснить различие между ортоводородом и параводородом. Она также позволила Гайтлеру и Лондону на основе представления об «обменной энергии» понять природу связи, объединяющей два одинаковых атома в гомополярной молекуле, например H_2; их теория молекулы водорода послужила затем моделью более общей теории, служащей в настоящее время для описания различных видов химической связи с помощью различных распространений и обобщений и представляющей собой «квантовую химию», о применениях которой мы упомянем ниже.

Введя тесно связанные между собою релятивистские представления и существование «спина» электрона, открытого Уленбеком и Гаудсмитом в 1925 году, Дирак построил свою прекрасную теорию электрона со спином, которая является одной из жемчужин современной теоретической физики. Для описания квантового характера электромагнитного поля, который проявляется в существовании фотонов, Иордан, Гейзенберг и Паули развили «квантовую теорию электромагнитного поля», играющую большую роль в современных теоретических исследованиях. Общая теория частиц со спином, разработанная Дираком, Паули и Фирцем и автором настоящей статьи, позволяет осуществить синтез этих различных теорий. Все попытки осуществить их синтез, а также попытки применить эти теории к истолкованию характеристик ядерных частиц и явлений, происходящих в ядре, натолкнулись на трудности (вывод о бесконечном значении собственной энергии частиц...), но они также привели к большим успехам (объяснение опытов Лэмба — Ризерфорда и небольшого несовпадения экспериментального значения магнитного момента электрона с теоретическим). Можно думать, что они должны глубоко измениться в ближайшие годы под влиянием прогресса наших знаний о различных видах частиц и ядерных явлениях.

Физическое истолкование волновой механики в первые годы ее развития породило многочисленные споры. После работ Борна, Бора и Гейзенберга утвердилось «вероятностное» истолкование, которое сегодня, видимо, принимается большинством физиков. Оно приписывает сопряженной с частицей волне, называемой Ψ-волной, несколько фиктивное

существование, поскольку она лишь представляет для любого наблюдателя вероятность возможных результатов нового эксперимента, на основе состояния его знаний о частице, полученных из предыдущих экспериментов. Это вероятностное истолкование, весьма отличное от всех истолкований, до сих пор встречавшихся в физике, находится в согласии с ее стройным математическим аппаратом. Это истолкование привело, в частности, к объяснению «соотношений неопределенностей» Гейзенберга, согласно которым состояние наших знаний о частице всегда содержит неопределенность δx в знании координаты x этой частицы и неопределенность δp_x в знании компоненты p_x количества движения, такие, что произведение $\delta x \cdot \delta p_x$ этих неопределенностей всегда по меньшей мере равно постоянной h Планка. Бор и Гейзенберг показали на многочисленных примерах, как существование кванта действия делает невозможным в одном и том же эксперименте измерение канонически сопряженных переменных x и p_x с большей точностью, которая допускается соотношениями неопределенностей. Вероятностное истолкование волновой механики, если его рассматривать как окончательное, приводит, таким образом, к следствию, что в атомном мире строгий детерминизм классической физики не имеет места; любая ситуация вообще состоит лишь из определенных возможностей, влияющих на различные вероятности, и всякая попытка описания движения частиц в рамках пространства и времени должна быть оставлена. Эти совершенно новые представления, в сочетании с представлениями Бора о «дополнительности» и с понятием неразличимости частиц одинаковой природы, открыли перед физиками неожиданные перспективы. Несомненно формальное изящество этого вероятностного истолкования; неудачные попытки создать (за последние тридцать лет) другое, столь же последовательное истолкование обеспечили его успех.

Однако я в свое время предлагал иное истолкование; следует также отметить, что вероятностное истолкование не было принято столь крупными учеными, как Эйнштейн и Шредингер. В частности, Эйнштейн всегда утверждал, что, если вероятностное истолкование Ψ-волны ему, несомненно, представляется строгой *статистической* теорией, оно не может быть полным описанием *физической* реальности. Начиная с 1951 года, после опубликования статьи Давида Бома, я вместе со своими молодыми сотруд-

никами предпринял исследование другого истолкования, уже предлагавшегося мною в 1927 году под названием «теории двойного решения». Оно основано на идее, соответствующей мнению Эйнштейна, что обычно рассматриваемые Ψ-волны, являющиеся регулярными решениями волнового уравнения волновой механики, не представляют подлинного описания физической реальности. Последнее дается другими решениями того же волнового уравнения, u-волнами, представляющими особенность, то есть область очень небольших размеров, где их амплитуда очень велика. Рассмотрение этих u-волн приводит тогда к рассмотрению частицы как своего рода неровности очень небольших размеров, включенной в обширное волновое явление. Это представление позволило бы, таким образом, построить классическую картину, согласно которой частица есть что-то вполне локализованное в пространстве в любой момент времени и совершающее вполне определенное движение во времени по вполне определенной траектории. Более того, оказалось возможно установить между u-волной и обычно рассматриваемой волной соответствие, которое позволяет рассматривать Ψ-волну как дающую точное статистическое представление обо всей совокупности возможных движений частицы. Таким образом, в согласии с утверждением Эйнштейна, обычное использование непрерывных волн приводит в соответствии с принятым в настоящее время истолкованием, к строгой статистической теории движений частиц, но вовсе не является достаточным для полного индивидуального описания физической реальности и реальной природы частиц, которое может дать лишь рассмотрение u-волн с особенностью.

Я не имею возможности развивать здесь тонкие идеи об истолковании волновой механики на основе теории двойного решения. Их математическое обоснование связано с большими трудностями, о которых я уже говорил в других работах и которых остается еще очень много, несмотря на то, что в последние годы они частично устранены. Итак, было бы еще преждевременным утверждать, что это истолкование окончательно восторжествует над общепринятым в настоящее время истолкованием. Тем не менее такое изменение положения мне не представляется более невозможным, и не исключена возможность, что после этого перед волновой механикой и квантовой физикой откроются совершенно новые горизонты.

ТРУДЫ БОЛЬЦМАНА И СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА[1]

Все, кто интересуется историей науки, а также общими и философскими выводами, которые могут следовать из ее изучения, с величайшей скорбью узнали летом 1957 года о скоропостижной смерти Рене Дюга, последовавшей в результате неумолимой болезни.

Многие знали его, конечно, лишь как выпускника Эколь политекник, который за свои знания и заслуги был назначен вице-директором Национального общества железных дорог и получил должность преподавателя механики в Эколь политекник; они не знали, что он был во Франции одним из виднейших специалистов в истории науки. Крайне глубокие и обширные научные знания в области математики, механики и физики, обширная эрудиция в сочетании с не менее обширной культурой, позволявшая ему читать и переводить почти все тексты, написанные по-гречески, по-латински и на иностранных языках, очень тонкий и проницательный критический ум, дававший ему возможность анализировать все направления и все оттенки мысли,— таковы были существенные качества, позволившие Рене Дюга стать великим историком науки.

Он начал свою деятельность в этой области истории наук с того, что «набил себе руку» на публикациях в «Ревю сьянтифик» целого ряда кратких, но эрудированных и глубоких исследований некоторых конкретных вопросов истории механики. Небольшая брошюра «Метод в квантовой механике», критический очерк, озаглавленный «Очерк о непонимании в математике», показали, что он хорошо знаком с той формой, которую обрела в самое последнее время механика, и что он с мастерством психолога умеет

---

[1] Предисловие к посмертно изданной книге: René Dugas, La Théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes, Éditions du Griffon, 1959.

анализировать испытываемые некоторыми людьми затруднения в точном понимании значения математических доказательств. Но только спустя лет десять начал во всем объеме проявляться его талант историка науки; он опубликовал важные работы, которые относятся к числу наиболее замечательных работ, созданных в этой области современной французской мыслью. Его «История механики» и «Механика XVII века» по богатству документального материала и по важности комментариев являются наиболее значительными произведениями в этой области; к ним долго еще будут обращаться за справками. В предисловиях, которые я в свое время написал к этим книгам, я проанализировал их содержание и постарался показать их исключительную ценность. Больше я не буду к ним возвращаться.

Но, покидая нас, Рене Дюга оставил рукопись, почти полностью завершенную, которая была тщательно собрана его женою, прочитана и дополнена в некоторых местах молодыми компетентными учеными и издана в виде настоящей книги. Чтение ее является исключительно увлекательным и лишний раз доказывает, что Дюга, скрупулезно разбиравший лишь тексты, был одним из наиболее тонких комментаторов хода развития научной мысли.

Работа называется «Физическая теория в смысле Больцмана и ее современное развитие». Дюга был поражен оригинальностью трудов Больцмана и той энергией, с какой он во времена своей молодости и зрелости поддерживал точку зрения атомистов и отстаивал полезность для теоретической физики использования наглядных образов и структурных представлений. Таким образом, Больцман вступил в резкое противоречие с представителями энергетической школы, которая в ту эпоху была господствующей почти во всех странах, особенно в Германии, и которая, придерживаясь позитивистской точки зрения, а также абстрактного и формального изложения физических теорий, требовала запретить исследователям описание непосредственно не наблюдаемых элементов вещества и осыпала проклятиями, а иногда высмеивала усилия Больцмана и его немногих последователей. Однако последние в конце концов должны были победить в этой борьбе; плодотворность атомных теорий, экспериментальное доказательство существования структур, на которые они ссылались, заставили в первые годы XX века сторонников энергетической школы, чисто формальные теории которой обнаруживали свою все боль-

шую и большую бесплодность, отступить и признать себя побежденными. Но для этого понадобилось примерно полвека.

Дюга горячо оценил смелость и упорство, которые были необходимы Больцману для успешного завершения столь общих и столь резко критиковавшихся работ. Его также поразила, и он пишет об этом во введении (его вы можете найти ниже), аналогия между ситуацией, в которой находился Больцман в конце прошлого века, и ситуацией, в которой сегодня находятся те немногие физики-теоретики, выступающие против позитивистского и чисто формального истолкования, рассматриваемого современной квантовой механикой как ортодоксальное, и пытающиеся вернуться к интуитивным физическим представлениям, послужившим основой для первоначального развития волновой механики; эти физики стремятся вновь ввести в истолкование квантовой физики наглядные и структурные представления. Поскольку это сходство ситуаций по причинам, которые я, впрочем, уже объяснил, часто привлекало мое внимание в последние годы, мы — Дюга и я — много раз говорили об этом сходстве; эти беседы позволили мне быть в курсе предпринятой им работы о творчестве Больцмана.

Я не претендую на изложение в нескольких строках содержания работы, столь богатой документальными данными и столь насыщенной глубоким анализом, которую Дюга оставил после себя. Я хотел бы лишь ограничиться весьма общими замечаниями. Первая глава, носящая название «Физическая теория в смысле Больцмана», начинается с глубокого исследования идей Больцмана о началах механики и о способе их изложения. В эпоху, когда писал Больцман, эти начала были в основных чертах уже установлены, но способ их формулировки и связного изложения являлся предметом многочисленных дискуссий, в которых проявлялись весьма различные тенденции ума. Конечно, все исходили из экспериментальных фактов, но на этой обязательной основе они возводили, сообразно с направленностью своих мыслей, совершенно различные сооружения. Одни для объяснения конкретных фактов строили мысленно наглядные образы, конечно, образы абстрактные и схематичные, как и все научное, но тем не менее интуитивные и порожденные воображением; с их помощью они развивали дедуктивные теории, позволявшие им истолковывать и предсказывать механические явле-

ния. В попеременном использовании опирающейся на воображение индукции и логической дедукции они видели наилучший рычаг, который мы можем использовать в наших попытках поднять тяжелую завесу, скрывающую от нас реальную природу вещей. Другие, сторонники строгого математического аппарата, стремились извлечь из экспериментальных фактов ряд представлений и постулатов, вовсе не требующих для своего понимания воображения и одинаковых для всех, и строго вывести из них возможные следствия. Таким образом, уже в ограниченной области механики проявилась противоположность тенденций, которая в более широкой области общей физики вскоре превратилась в противоположность школы атомистов и школы энергетиков и которая после победы атомизма возродилась в новой форме в современной квантовой физике.

Несомненно, что Больцман принадлежал к первой школе, и в те времена в Европе, особенно в странах немецкого языка, он был почти единственным человеком, поддерживавшим концепции атомизма и развивавшим, например в своей известной кинетической теории газов, молекулярную картину строения вещества. Триумф своей точки зрения он увидел еще при жизни. Однако, будучи уравновешенным и добросовестным исследователем, он умел признавать заслуги своих противников и даже предотвращать доведение до крайности разделяемых им точек зрения. Дюга отмечает, что с помощью индуктивного метода ему удалось избежать двух подводных камней: феноменологической иллюзии (некоторых энергетиков) о возможности построения науки без помощи абстрактных образов и неосознанного принятия (некоторыми атомистами) множества представлений, с помощью которых невозможно дать истинные доказательства. Он охотно допускал, что исследователи, такие же, как и он сам, оказывающие явное предпочтение «пестрому одеянию» механистических гипотез, должны отказаться от познания истинного механизма, лежащего в основе явлений, и рассматривать предлагаемые ими модели как простые образы или простые аналогии, не претендуя, таким образом, на точное воспроизведение путей природы. Но эта широта ума и эта умеренность не помешали ему, как мы увидим, твердо придерживаться своей точки зрения и, поскольку он усматривал определенное родство между мнениями своих противников и солипсизмом или идеализмом Беркли, который отрицает существование внеш-

него мира, страстно отвергать эти философские взгляды, даже квалифицируя их как «блажь».

С помощью разумно выбранных цитат, всегда сопровождаемых глубокими комментариями, Дюга показал, что Больцман излагал в различной форме начала механики. Хотя знаменитый физик всегда отдавал должное ясности аксиоматического изложения Кирхгофа, Маха и Герца и сам иногда, преподавая механику, придерживался аналогичного пути, он не скрывал, однако, своего предпочтения к методам, исходящим из строгих и интуитивных образов, например образа движущейся частицы. Сравнивая понятия, используемые для «энергетической» формулировки механики, и понятия, используемые в классической формулировке, он сказал, что первые должны быть развиты ясным и свободным от противоречий способом либо с помощью дедуктивного метода, либо с помощью индуктивного метода, но он добавил, что должны быть даны совершенно строгие правила приложения этих образов однозначным способом ко всем частным случаям, *не предполагая знания старой механики*. Это очень глубокое замечение; в настоящее время аналогичное замечание можно было бы сделать по поводу современных способов изложения квантовой механики.

После этого глубокого исследования отношения Больцмана к началам механики, Дюга переходит к более общему вопросу — о его отношении к физическим теориям. Хотя Больцман, который, как нам говорит Дюга, был главным образом исследователем, упрекал ученых своего времени за излишнее увлечение критикой методов и начал, он сам умел проводить, и весьма тонко, превосходный критический анализ подобного рода. Читатель с интересом и пользой прочтет высказывания Больцмана о физических теориях своего времени, особенно об электромагнетизме и термодинамике. В частности, я отмечу то место, в котором, несколько опережая свою эпоху, он заметил, что настанет день, когда вместо того, чтобы пытаться свести, как это делали в то время, электромагнетизм к механике, попытаются, наоборот, свести механику к электромагнетизму. И я приведу его фразу, в которой он, сказав об открытии электронов, сделал вывод, вполне правильный и сегодня: «Итак, мы видим, что старая кантовская антиномия, противоположность между бесконечной делимостью вещества и атомной структурой вещества, еще преследует науку».

Естественно, что больше всего в теоретической физике его времени Больцмана поражала претензия энергетиков на принципиальное превосходство над атомистами. Больцман следующим образом определял позицию энергетиков: «Они думали, что молекулярная гипотеза была полезной, потому что уравнения, которые считаются феноменологами самой сутью физики, были получены с помощью молекулярных гипотез, но они, кроме того, считают, что с момента получения этих уравнений данные гипотезы становятся излишними. Все они обречены на смерть!» Такая точка зрения (ее аналог можно легко найти в современной квантовой механике) ни в коей мере не удовлетворяла Больцмана, и он начал против энергетиков борьбу, в силу сложившихся обстоятельств оказавшуюся весьма ожесточенной. «В ту эпоху,— пишет Дюга,— когда Больцман вел борьбу против господствующей феноменологии, молекулярные теории, по крайней мере временно, не приносили больше плодов. Это делало его позицию весьма затруднительной, несмотря на то что ближайшее, но еще не наступившее будущее должно было доказать его правоту».

Больцман не переставал делать острые критические замечания по адресу энергетики. В качестве примера мы приведем критическое замечание, которое Дюга считает особенно ярким; Больцман забавлялся, показывая, что он более требователен к принципам энергетиков, чем они сами. Он говорил: «Но никакое из этих построений (энергетиков) не выполняет обещаний энергетики. Ибо они прежде всего покоятся на первой гипотезе о том, что тела состоят из материальных точек, что, согласно духу энергетики, представляет безосновательное ограничение свободы нашей мысли». Впрочем, развивая ироническое замечание, немного сходное с предыдущим, он пишет: «Я не мог до сих пор себе представить, как можно построить механику с помощью гипотезы о том, что кинетическая энергия движения задается, а сам объект движения (то, что движется) является производным понятием». Я почерпну из этой книги еще одну маленькую фразу, которую легко можно применить к тому, что мы видим в наше время: «Уже многие молодые люди стремятся воспользоваться легкими плодами, которые им сулят различные области энергетики, не обладая критической способностью (критическим умом), необходимой для полезной работы в теоретической физике». На этом я закончу приводить цитаты, в достаточной степени

показывающие, что эта часть тома представляет значительный интерес.

Прежде чем перейти ко второй части своей книги, Рене Дюга предпосылает краткому curriculum vitae Больцмана небольшую главу, посвященную последним годам его жизни, в течение которых, незадолго до своей трагической смерти, он преподавал в Вене философию наук и занимал кафедру, которую до него занимал Мах. Но великий физик не был, пожалуй, там в своей стихии, и преподавание им философии вряд ли по своей значимости может сравниться с его научной работой.

Вторая часть книги Дюга носит название «Метод и диалектика Больцмана». В начале предисловия к ней автор пишет: «Теперь стоит поглубже проникнуть в метод и диалектику Больцмана, увидеть в его творчестве сразу и творческую мысль, и защиту им идей, которую он превосходно вел». Я не буду входить в подробности прекрасного обзора, охватывающего первые работы Больцмана по статистическому истолкованию термодинамики, а именно закона распределения молекул газа по скоростям, принадлежащего Максвеллу, доказательство H-теоремы, использование теоремы Лиувилля, формулировку в кинетической теории газов второго начала термодинамики... Особенно интересно изложение возражения, выдвинутого Лошмидтом против выводов Больцмана, а также долгих и страстных дискуссий, имевших место между двумя учеными по этому поводу. Только за одним исключением, на котором мы сейчас остановимся, все возражения Лошмидта были сведены на нет Больцманом, особенно возражение, касавшееся равновесия газа в силовом поле (поле тяжести, например), и в ходе этих страстных споров Больцман, непрерывно уточнявший собственную позицию, имел возможность показать всю силу своей мысли и всю гибкость своей диалектики.

Однако одно из возражений Лошмидта было нелегко устранить. Согласно этому возражению, часто упоминаемому еще и сегодня, невозможно вывести из обратимых уравнений механики истолкование необратимых термодинамических процессов. Это приводящее в замешательство возражение быстро убедило Больцмана, который хорошо понял его точность, в том, что его примитивное доказательство второго начала является недостаточным и что его следует заменить доказательством, в котором используется теория вероятностей. Развитое им рассуждение поз-

воляет понять истинный смысл возрастания энтропии, и оно еще до настоящего времени приводится в учебниках по статистической механике. Дюга отмечает, что Больцман, вместо того чтобы впасть в уныние из-за этого возражения о необратимости, сразу же нашел на него ответ и что это свидетельствует одновременно о восприимчивости его к критике и о силе его диалектики. Для того чтобы сделать более наглядными новые представления, к которым он пришел, и устранить возражение о необратимости в его новых формах, неутомимый борец построил бесконечно ломаную кривую, которая, по его мнению, представляет изменение с течением времени его известной функции H и позволяет понять, почему более вероятно, что она уменьшается, чем увеличивается.

Новое возражение против больцмановского истолкования термодинамической необратимости было развито математиком Цермело; оно было основано на известной теореме Анри Пуанкаре о квазипериодичности движения механических систем, на которые наложены некоторые условия. Больцман снова страстно защищался и, не сумев, как ему показалось, убедить своего противника, показал, что возражение Цермело не имело того значения, которое последний придавал ему. Однако остались некоторые сомнения о справедливости кривой H, рассматриваемой Больцманом. Лишь после смерти замечательного физика П. и Т. Эренфесты в ставшей знаменитой статье смогли, дополнив и уточнив некоторые пункты его рассуждений, показать, что использование H-кривой может сильно способствовать разработке истолкования термодинамической обратимости. Таким образом, Больцман окончательно вышел победителем из этого сражения, а строгость его глубоких интуитивных взглядов была полностью доказана.

Третья и последняя часть работы, носящая название «Новейшие развития», показывает значение трудов Больцмана для всей современной физики и излагает выводы, которые можно извлечь из длительной борьбы, которую ему пришлось в свое время выдержать. В начале ее приводится краткий анализ общих представлений, развитых знаменитым Виллардом Гиббсом в его «Элементах статистической механики», касающихся, в частности, канонического и микроканонического распределения и различных возможных определений энтропии. Затем кратко излагаются оптимистические замечания Адамара о справедливости

статистической механики и вклад, внесенный в эту новую науку, а именно установление различия между тонкой энтропией и грубой энтропией, осуществленное Анри Пуанкаре, отношение которого ко всему ансамблю теории оставалось довольно сдержанным.

Затем Рене Дюга рассматривает отношение Планка к статистической механике и раскрывает постепенно, сравнивая идеи Больцмана с идеями Гиббса, концепции, развивавшиеся первым. Он цитирует очень четкий вывод Планка: «Из этого исследования, на мой взгляд, можно сделать вывод о том, что внешняя общность введенных Гиббсом различных определений энтропии в том смысле, что природа рассматриваемой системы не обязательно должна быть конкретизирована, приобретается ценой ограничения физического смысла этих определений. Все определения Гиббса вполне применимы и полезны для всех обратимых процессов, как и многие другие возможные определения еще более формальной природы. Наоборот, для необратимых процессов, дающих, по существу, понятию энтропии ее собственный смысл и служащих ключом к полному пониманию теплового равновесия, из всех до сего времени разработанных определений определение Больцмана оказывается самым адекватным и самым полезным». Таким образом, покоренный идеями Больцмана и находясь под его непосредственным влиянием, Планк придет к открытию квантов, открытию, получившему огромное значение. И Дюга напоминает в этом месте об очень любопытном и довольно забытом обстоятельстве из истории современной науки. Планк начал свои исследования по термодинамике излучения, допуская в соответствии с теорией Максвелла—Лорентца, что испускание и поглощение света происходят непрерывно, но Больцман, всегда придерживавшийся тенденции «дискретности», заметил ему, что он никогда не сможет объяснить удовлетворительным образом необратимые процессы в области излучения, не введя в свое описание обмена энергией между веществом и излучением элемента дискретности, который позволил бы осуществить расчеты. Планка это замечание убедило, и он ввел в испускание и поглощение кванты энергии и путем знаменитых рассуждений, изложенных еще раз в работе Дюга, получил свою известную формулу, которая выразила спектральное распределение излучения абсолютно черного тела в полном согласии с экспериментом.

После краткого освещения отрицательного отношения Планка к тенденциям школы энергетиков вообще, а также к позитивистским представлениям Маха Дюга исследует вклад в статистическую термодинамику, сделанный Альбертом Эйнштейном. В статьях, написанных им в ранней юности и оставшихся мало известными, Эйнштейн изложил свой сугубо личный взгляд на принципы статистической механики, причем оказалось, что он следовал по пути, довольно аналогичному пути Гиббса, работы которого ему были совершенно неизвестны; затем он приблизился к точке зрения Больцмана и, введя представления атомизма и дискретности, сумел немного позднее получить замечательные результаты в теории броуновского движения и в теории, тогда революционной, дискретной структуры света и флуктуаций излучения абсолютно черного тела. Таким образом, он сам пришел к глубоким замечаниям, которые Больцман сделал Планку, о необходимости для создания термодинамической теории излучения допустить в лоне излучения наличие дискретностей, которые могут быть сосчитаны. Так, несмотря на критические замечания, которые иногда Эйнштейн направлял в адрес больцмановского метода, можно сказать, что мысль великого создателя кинетической теории вещества постоянно освещала и оплодотворяла его исследования.

Изучение текста этой части книги Дюга и воспоминание о разговорах, которые мы вели с ним на эту тему, позволяют, как мне кажется, утверждать, что он делал примерно следующий вывод: наглядный и иногда не очень строгий метод Больцмана казался ему более плодотворным, чем более изящное в своей строгости, но более абстрактное изложение Гиббса. Он видел доказательство этого в том, что замечательные открытия, сделанные Планком и Эйнштейном — первым при изучении излучения абсолютно черного тела, вторым в области изучения броуновского движения и в теории квантов света,— были получены ими, когда они руководствовались методом Больцмана и брали его за образец. О дереве судят по его плодам!

Последние параграфы книги посвящены очень живо ощущаемой Дюга, как мы уже говорили, аналогии между современной ситуацией в квантовой физике и ситуацией, которую обсуждал Больцман в течение большей части своей деятельности. На протяжении примерно тридцати лет в квантовой физике сложилась своего рода ортодоксия,

довольно похожая на ортодоксию школы энергетиков, которая, опираясь, на феноменологические и позитивистские представления, излагает идеи волновой механики и их развитие в абстрактном и формальном виде, но очень строгом, причем полагает, что она, таким образом, решила загадку двойственности корпускулярного и волнового аспектов в физике микромира. В моих первых работах по волновой механике я, наоборот, пытался составить ясную и синтетическую картину двойственности волн и частиц в соответствии с тенденциями Больцмана и с представлениями защитников атомистической гипотезы, которая тогда торжествовала победу. Несколько лет тому назад появились работы молодых исследователей и мои работы, в которых был избран путь, указанный в свое время мною. Здесь не место открывать спор по этому вопросу, и я удовлетворюсь тем, что процитирую заключение Дюга, высказанное им после обзора этих последних работ: «С этой точки зрения ученые, которые пытаются дать интуитивно наглядную картину волново-корпускулярной двойственности, находятся по отношению к ортодоксам современной квантовой механики в положении, крайне аналогичном положению Больцмана, закоренелого атомиста, по отношению к энергетикам своего времени».

Закрывая книгу, нельзя избавиться от впечатления, что Рене Дюга был великим историком науки, скрупулезным и искушенным эрудитом, умевшим выбирать, проницательно и глубоко комментировать тексты, наиболее характерные для тех ученых, труды которых он изучал. И эта оценка не может не породить глубочайшего сожаления, испытываемого нами в связи с тем, что скончался человек необыкновенно скромный и приветливый, угас ум широчайшей культуры и очень большой тонкости, ум, который делал честь французской мысли.

ПРОБЛЕМА ЧАСТИЦ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

Первая фаза открытия элементарных частиц (1880—1930 годы)

Между 1880 и 1900 годами постепенно были открыты и уточнены существование и природа «крупиц» отрицательного электричества, за которыми укрепилось название *электрон*, присваивавшееся сначала всем наэлектризованным частицам. Они были хорошо идентифицированы в работах Дж. Дж. Томсона, Ленарда, Виллара и т. д. Они были обнаружены в катодных лучах трубки Крукса, в фотоэлектрической и термоионной эмиссии, в бета-излучении радиоактивных тел и т. д. Известный эксперимент Жана Перрена, который собрал катодные лучи в цилиндр Фарадея, позволил утверждать, что в этом случае приходится иметь дело с частицами, несущими отрицательные заряды. Отклонение электронов в электрических и магнитных полях позволило затем измерить отношение $\frac{e}{m}$ заряда к массе для этих частиц, и было найдено, что

$$\left|\frac{e}{m}\right| = 1{,}77 \cdot 10^7 \frac{\text{СГСМ}}{г}.$$

Затем открытие нормального эффекта Зеемана, предсказанного теорией электронов Лорентца,— эффекта, при котором смещение линий источника света в шкале частот под действием магнитного поля на этот источник пропорционально $\frac{e}{m}$, показало, что электрон является одной из существенных составных частей атома и играет главную роль при испускании лучей света. Наконец, эксперименты Милликена, изучавшего падение наэлектризованных капелек масла в электростатическом поле конденсатора с горизонтальными обкладками, позволили несколько позднее определить заряд электрона e и, следовательно, массу m (поскольку значение отношения $\frac{e}{m}$ уже было известно). Таким образом, были найдены значения, ставшие сегодня клас-

сическими: $e = -4{,}8 \cdot 10^{-10}$ СГСЭ $= -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *кул*; $m = 0{,}9 \cdot 10^{-27}$ *г*.

Идентификация *протона* как «крупицы» положительного электричества была осуществлена значительно позднее. Сначала было обнаружено, что атомы могут утрачивать один или несколько электронов и становиться, таким образом, положительными «ионами»; это указывает на участие в строении атомов положительного электричества. К 1910 году известные опыты Резерфорда по прохождению альфа-частиц через вещество показали, что положительное электричество в атомах сосредоточено в «ядре», которое находится в центре атома и имеет положительный заряд, равный Ze. Вскоре изучение спектров рентгеновских лучей, признание «модели атома», предложенной Резерфордом (впрочем, ранее она рассматривалась Жаном Перреном), и квантовая теория атома, выдвинутая Нильсом Бором (1913), показали, что целое число Z, называемое «атомным номером», соответствует порядковому номеру элемента в периодической системе элементов, установленной в 1869 году Менделеевым.

Согласно новым представлениям, ядро атома с атомным номером 1 (атома водорода, для которого $Z=1$) оказалось в особом положении, поскольку заряды всех остальных ядер являются целыми кратными заряда ядра атома с $Z=1$. Можно было предположить, что ядро атома водорода, или «протон», является элементарной крупицей положительного электричества и что все ядра представляют собой совокупность некоторого количества протонов, что объясняет тот факт, что электрический заряд Ze равен произведению целого числа на заряд $+e$ протона. Таким образом, ученые вернулись к старинной гипотезе английского врача Проута, который в первые годы XIX века предложил рассматривать все элементы как состоящие из самого легкого элемента — водорода. Протон имеет следующий заряд и массу $e = +4{,}8 \times 10^{-10}$ СГСЭ $= +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *кул*; $m = 1{,}67 \cdot 10^{-24}$ *г* $= 1840$ массам электрона.

Гипотеза о том, что ядро состоит из протонов, наталкивается на ряд трудностей. Во-первых, ядро не может состоять лишь из одних протонов, так как оно было бы неустойчивым в силу взаимного электростатического отталкивания протонов. Тогда предположили, что в ядре существуют электроны, которые играют роль «цемента», связывающего протоны. В таком случае в ядре с атомным номером Z и с

полным положительным зарядом Z_e имеется N_p протонов и N_e электронов, причем $Z=N_p-N_e$.

Масса электрона очень мала по сравнению с массой протона, поэтому полная масса Z внешних электронов и содержащихся в ядре атома с атомным номером Z будет незначительной величиной по сравнению с полной массой N_p ядерных протонов; поэтому атомные веса элементов (массы атомов по отношению к массе атома водорода) должны довольно точно выражаться целыми числами. На самом деле это не так: например, атомный вес хлора равен 35,5. Эту трудность удалось почти полностью преодолеть после открытия *изотопов*, которое в основном было сделано Дж. Дж. Томсоном и Астоном. Химические элементы, встречающиеся в природе, состоят примерно из одинаковых смесей атомов, имеющих один и тот же Z, а следовательно, одни и те же физические и химические свойства, но различные массы. Атомные веса встречающихся в природе элементов представляют собой, таким образом, среднее значение различных масс различных изотопов, которое зависит от довольно строго соблюдающегося относительного содержания этих изотопов в природных элементах. Итак, после определения с помощью масс-спектрографа массы ядер изотопов было замечено, что они очень близки целым кратным массы протона, и это, казалось, согласовывалось с гипотезой о протонно-электронном строении ядер.

Тем не менее даже с учетом изотопии не удалось устранить расхождения между массами ядер и целыми кратными ядер водорода; эти расхождения, несмотря на свою малость, превосходили экспериментальные ошибки и, следовательно, были слишком большими, для того чтобы согласие было удовлетворительным. Но эта трудность была устранена в свою очередь после введения понятия «дефекта массы». Когда ядро образуется в результате объединения его составных частей, реакция образования должна быть экзотермической: энергия в момент образования ядра выходит вовне его, а еще в начале развития теории относительности было замечено (Полем Ланжевеном), что эта потерянная энергия, согласно принципу инертности энергии, эквивалентна потере некоторого количества массы. Таким образом, полная масса образовавшегося ядра должна быть меньше суммы масс ее составных частей в свободном состоянии. Этот «дефект массы» очень мал, но он достаточен для объяснения наблюдаемых отклонений масс ядер изотопов от целых крат-

ных массы протона. В настоящее время уточнение измерений позволило (с учетом соотношения Эйнштейна $\Delta W = \Delta M \cdot c^2$) проверить, что при ядерных превращениях баланс энергии строго соблюдается.

Итак, в 1930 году еще можно было полагать, что все вещество состоит из совокупности двух сортов элементарных частиц: электронов и протонов. В эту эпоху видный теоретик Эддингтон даже полагал, что ему удастся доказать априори необходимость этого ограничения числа элементарных частиц. Однако в то время уже знали, что в излучении присутствует другая частица, *фотон*, или крупица света, но эта частица, казалось, имеет несколько особую природу.

Но свойства света, двойственность его проявлений, то волновых, то корпускулярных, необходимость введения для его описания одновременно и волн Френеля— Максвелла, и фотонов, существование которых было твердо установлено исследованиями фотоэлектрического эффекта, эффекта Комптона,—все это обязывало создать себе о частицах менее примитивное представление, чем первоначальное. После 1923—1924 годов развитие волновой механики и ее крупные успехи, достигнутые немного спустя (работы Шредингера в 1926 году, открытие дифракции электронов в 1927 году, теория спина электрона Дирака, созданная в 1929 году, и т. д.), показали, что всем частицам нужно приписать волну как в случае излучения (фотоны), так и в случае весомой материи (электроны и протоны). Следствием этого явился новый способ понимания природы, роли элементарных частиц и предсказания их свойств. Тем не менее можно было допустить, что число элементарных частиц сводится к трем (электрону, протону, фотону), и радоваться такой простоте.

Открытие нейтрона и положительного электрона

Эта прекрасная простота просуществовала недолго. В 1932 году открытие Чедвиком нейтрона — нейтральной частицы, масса которой примерно равна массе протона (в действительности немного больше массы протона),— увеличило число элементарных частиц и в то же самое время открыло новые перспективы в ядерной физике. Гипотеза о том, что ядра состоят из электронов и протонов, натолкнулась на некоторые трудности. Например, ядро азота $^{14}_{7}N$ должно было содержать 21 составную часть: 14 протонов и 7 электронов. Согласно квантовой механике,

это ядро должно было подчиняться статистике Ферми, но эксперимент показал, что оно является «бозоном». Было трудно понять, как ядра могли иметь очень небольшие собственные магнитные моменты, примерно равные магнитному моменту протона, если они содержали электроны, магнитный момент которых имеет значительно большую величину. Длина волны, связанной с электронами ядра, должна была быть значительно больше размеров ядра, что не позволяет понять, как эти волны в ядре могут находиться в стационарных состояниях, и т. д. Для устранения этих трудностей Гейзенберг вскоре после открытия нейтронов предложил допустить, что ядра состоят не из протонов и электронов, а из протонов и нейтронов, то есть из тяжелых частиц, «барионов», как их называют сегодня. Тогда ядро $^{14}_{7}N$ должно содержать 14 составных частей: 7 протонов и 7 нейтронов; четное число частей оказалось в согласии с тем, что ядро проявляет себя в эксперименте как «бозон». Кроме того, все составные части ядра в таком случае имеют собственные магнитные моменты, значительно меньшие, чем собственные магнитные моменты электронов, а длины связанных с нейтронами волн имеют значительно меньшую величину, чем длины волн, связанных с электронами. Таким образом, гипотеза о протонно-нейтронном строении ядра устранила трудности, возникшие при допущении протонно-электронного строения ядра. Однако против гипотезы Гейзенберга можно было выдвинуть возражение. Испускание бета-лучей при радиоактивном распаде рассматривалось как доказательство того, что ядра содержат электроны. Откуда берутся бета-электроны, если до распада радиоактивное ядро не содержит электронов? Гейзенберг устранил возражение с помощью новой гипотезы: нейтрон ядра во время распада может превращаться в пару протон — электрон; «созданный», таким образом, электрон выходит наружу.

Тогда-то была выдвинута идея, ставшая в настоящее время обычной, что не только ядра, являющиеся сложными образованиями, но даже и элементарные частицы, считающиеся простыми, могут превращаться одни в другие так же, как нейтрон может распадаться на протон и электрон. Итак, открытие нейтрона в совокупности с идеями Гейзенберга сыграло важную роль для ориентации наших современных представлений о ядре и элементарных частицах.

Почти одновременно с открытием нейтрона был обнаружен *положительный электрон* (Андерсон, Блеккет и Ок-

киалини, 1932); сначала его присутствие было установлено в космических лучах. Этот новый тип частиц, который удалось предсказать теории Дирака с помощью известной гипотезы «дырок», оказался очень неустойчивым и стремящимся быстро соединяться с электронами. При этом соединении происходит аннигиляция и испускание фотонов. Немного спустя открытие искусственных радиоактивных элементов (Фредерик и Ирен Жолио-Кюри) показало, что положительные электроны часто возникают при распаде этих элементов (бета-лучи). Гипотеза Гейзенберга привела тогда к выводу, что при таком распаде протон ядра превращается в пару нейтрон — положительный электрон (позитрон), что представляет собою новый пример возможного превращения одних элементарных частиц в другие.

Именно в это время, двадцать пять лет тому назад, начала завоевывать всеобщее признание гипотеза Паули о существовании нейтрино. В явлениях бета-распада спектр энергии испускаемых электронов является непрерывным, что как бы находится в противоречии с законом сохранения энергии. Однако было доказано, что энергия сохраняется в крайнем случае, когда испускаемый бета-электрон имеет максимальную энергию, соответствующую верхней границе энергетического спектра бета-электронов. Это обстоятельство могло дать основание полагать, что, когда энергия испускаемого электрона меньше верхней границы непрерывного спектра, часть энергии, содержавшейся в радиоактивном ядре до его распада, которая как бы исчезает в момент превращения, в действительности сообщается частице, испускаемой вовне; таким образом, эту часть энергии невозможно или по крайней мере очень трудно обнаружить экспериментально. В этом состояла гипотеза о существовании нейтрино, выдвинутая Паули. Нейтрино, относительно которого удалось доказать, что его масса если не равна нулю, то намного ниже массы электрона, долго ускользало от любого экспериментального обнаружения, но в последние годы, видимо, получены убедительные доказательства его реального существования.

В формулах ядерных реакций, в процессе которых происходит превращение одних частиц в другие, нейтрино обозначается буквой ν. Существование позитрона, античастицы электрона, имеющей одинаковую с ним массу, но равный и противоположный заряд, привело к мысли о том, что каждой частице соответствует античастица; поэ-

тому предполагается, что существует антинейтрино, которое обозначают символом $\tilde{\nu}$. Нейтрино и антинейтрино, имеющие одну и ту же очень малую массу, лишенные электрического заряда, практически неразличимы. Иногда для удовлетворения сохранения спина вводят ν и $\tilde{\nu}$ в различные уравнения превращения частиц, что означает, что превращение происходит с испусканием нейтрино и антинейтрино. Так, например, превращение нейтрона в протон в радиоактивном ядре, испускающем бета-электрон, имеет вид:

$$n = p^+ + e^- + \tilde{\nu},$$

а превращение нейтрона в протон в искусственном радиоактивном ядре, испускающем позитрон β^+, записывается в виде:

$$p^+ = n + e^+ + \nu.$$

Открытие мезонов и гиперонов

После открытия нейтрона и положительного электрона, выдвижения идеи о нейтрино и античастицах таблица элементарных частиц оказалась значительно усложненной. Но это было только начало, и вскоре началась эра *мезонов* и *гиперонов*.

В 1935 году японский ученый Юкава предсказал, исходя из теоретических соображений, существование типа частиц, масса которых примерно равна 200 массам электронов. Он исходил из следующей идеи: составными частями ядра являются протоны и нейтроны; эти частицы не могут образовать устойчивую систему, если между ними не существует притяжения, обеспечивающего устойчивость системы. Поскольку кулоновские электростатические силы существуют лишь между протонами, они являются силами отталкивания. Следовательно, должен существовать другой тип сил, ядерных сил, не зависящих от электрического заряда; экспериментальные данные свидетельствуют о том, что эти силы существуют между *нуклонами* (нейтронами и протонами), составляющими ядро, и что они имеют очень короткий радиус действия, порядка 10^{-13} *см*. Если мы напишем релятивистское волновое уравнение:

$$\Box\Psi + \frac{4\pi^2}{h^2} m_0^2 c^2 \psi = 0,$$

где m_0 — собственная масса частицы, h — постоянная Планка, а c — скорость света в вакууме, то сможем заметить,

что для $m_0=0$ сферически-симметричным статическим решением (уравнение в этом случае принимает вид $\Delta\Psi=0$) является $\Psi=\frac{\text{const}}{r}$. Оно соответствует тому факту, что фотоны, рассматриваемые как частицы с нулевой массой, связаны с электромагнитным полем, которое в статическом случае задается кулоновским потенциалом, пропорциональным $\frac{1}{r}$. Но для $m_0\neq 0$ сферически-симметрическое статическое решение определяется решением $\Delta\Psi=\frac{4\pi^2}{h^2}m_0^2c^2\Psi$ и $\Psi=\frac{\text{const}}{r}e^{-\frac{m_0cr}{h}}$. Тогда можно представить, как это сделал Юкава, существование частиц с массой, отличной от нуля, связанных с полем, соответствующим потенциалу в этой форме. Поскольку радиус действия ядерных сил примерно равен размерам ядра, то есть 10^{-13} *см*, можно допустить, что экспонента, входящая в качестве сомножителя в «потенциал Юкава», должна быть почти равна нулю при r, большем 10^{-13} *см*. Это условие заставляет нас приписать m_0 значение, равное примерно 200 массам электрона. Юкава сделал довольно смелый вывод о том, что если ядерное поле связано с частицами, как электромагнитное поле связано с фотоном, частицы ядерного поля имеют массу, примерно равную 200 массам электрона. В то время не было известно частицы, имеющей массу примерно такой величины. Но вскоре предвидение Юкава блестяще подтвердилось, так как изучение космических лучей позволило обнаружить в этом излучении существование частиц с малым временем жизни, масса которых оказалась равной вышеупомянутой величине. Им было дано название *мезонов*, то есть «частиц со средней массой», поскольку их масса является промежуточной между массой электрона и массой протона. Однако в настоящее время известно, что первые открытые мезоны, μ-мезоны, масса которых равна 208 массам электронов и которые заряжены положительно или отрицательно, имеют спин, равный $\frac{h}{4\pi}$, и не могут по этой причине быть частицами ядерного поля, гипотезу о существовании которых выдвинул Юкава. Однако частицы, предсказанные Юкава, должны существовать, но их теперь отождествляют с другим видом мезонов, π-мезонами, открытыми позднее, масса которых несколько меняется, в зависимости от того, заряжены ли они или нейтральны, в пределах 274-266 масс электрона.

Развитие исследований космических лучей и строительство крупных ускорителей частиц, способных вызывать ядерные реакции, в ходе которых рождаются новые, неизвестные частицы, привели за прошедшие двенадцать лет к открытию целого ряда частиц, с трудом поддающихся классификации, поэтому часто меняющейся и не являющейся ни законченной, ни определенной. Впрочем, эти частицы очень неустойчивы и имеют очень малые «времена жизни». К μ-мезонам и π-мезонам (мюонам и пионам) прибавилась группа К-мезонов (которым сначала давали различные названия, например τ-мезонов, θ-мезонов, ...), массы которых близки 970 массам электрона, затем Σ, Λ и Ξ-частицы, масса которых превышает массу протона и нейтрона и которые поэтому получили название *гиперонов*.

Если через e обозначить заряд протона, а через $-e$ заряд электрона, то все частицы либо нейтральны, либо имеют заряд $\pm e$. Если ввести единообразные обозначения, то заряд частиц равен 0, $+e$ или $-e$. Массы и времена жизни различных видов частиц существенно зависят от их природы, и эта зависимость пока не получила объяснения.

Мы приведем таблицу частиц, известных в настоящее время и расположенных в порядке убывания массы.

Верхний индекс у символов частиц обозначает величину заряда. В третьем столбце массы выражены в миллионах электрон-вольт, а миллион электрон-вольт соответствует примерно удвоенной массе электрона. Как видно из таблицы, времена жизни имеют значения, находящиеся в очень широкой области: от бесконечности для устойчивых частиц и до 10^{-10} сек. для самых неустойчивых. Кроме того, из таблицы видно, что в ранней классификации «мезоны», старые μ-мезоны, которые во время их обнаружения рассматривались как мезоны Юкава, больше не относятся к мезонам, а присоединяются к легким частицам, электронам и нейтрино; все они носят родовое название «лептонов».

Как мы уже отмечали, не нужно строить иллюзий относительно определенного характера этой классификации. За исключением того, что касается старых частиц p^+, n^0, фотона и μ^- и π-мезонов, настоящая таблица, конечно, будет изменена и дополнена. Однако представляется возможность уже в настоящее время предпринять некоторые усилия по подведению теоретической базы, конечно, весьма временной, под истолкование этой классификации. Этими вопросами

Таблица частиц, известных в настоящее время

Символ			Время жизни (в сек.)	Масса (в *Мэв*)	Масса (в массах электрона)
Барионы	гипероны	Ξ^-	$\sim 10^{-10}$	1321	2600
		Ξ°	$\sim 10^{-10}$	—	—
		Σ^-	$1{,}6 \cdot 10^{-10}$	1196	2340
		Σ°	$< 10^{-11}$	1189	2335
		Σ^+	$0{,}7 \cdot 10^{-10}$	1189	2335
		Λ°	$3 \cdot 10^{-10}$	1115	2200
	нуклоны	p^+	Устойчивая	938	1840
		p^-	Неустойчивая	938	—
		n°	10^{-3}	939	—
		$\tilde{n}^\circ$	Неустойчивая	939	—
Мезоны		$K^\pm$	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	494	975
		$K^\circ, \tilde{K}^\circ$	$0{,}95 \cdot 10^{-10}$	494	—
		$\pi^\pm$	$2{,}6 \cdot 10^{-8}$	140	274
		π°	$\sim 10^{-15}$	135	266
Лептоны		$\mu^\pm$	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	106	208
		e^+	Неустойчивая	0,51	1
		e^-	Устойчивая	0,51	1
		$\nu, \tilde{\nu}$	Устойчивая	~ 0	~ 0
Фотоны		γ°	Устойчивая	~ 0	~ 0

в течение нескольких последних лет занимаются физики-теоретики; и не желая рассматривать эту проблему во всей ее широте, что увело бы меня далеко в сторону, я хотел бы закончить этот очерк несколькими замечаниями общего характера.

Замечания и выводы

Одним из факторов, которые особенно осложняют в настоящее время построение общей теории элементарных частиц, позволяющей оправдать их систематику и предсказать

их свойства, как мне кажется, является сложившееся лет тридцать тому назад направление развития квантовой физики микромира, направление, которое привело ее к отрицанию перманентной локализации частиц в пространстве и, следовательно, к отрицанию возможности описывать их как объекты, перемещающиеся в пространстве с течением времени. Заняв такую позицию, теоретическая физика запретила себе создавать «картины» частиц и приписывать им «структуры», поскольку приписать чему-либо структуру значит обязательно различать у него части, которые занимают в пространстве некоторые положения относительно друг друга.

Замкнувшись, таким образом, в математическом аппарате квантовой механики, большая часть теоретиков, занимавшихся проблемами элементарных частиц, руководствовалась либо лишь экспериментальными результатами, либо лишь абстрактными аналогиями. В качестве характеристик элементарных частиц они вынуждены вводить наряду с классическими понятиями массы и электрического заряда и понятия спина, уже введенного раньше, новые понятия «изотопического спина», «барионного числа», «гиперзаряда» и «странности»[1]. Эти различные новые характеристики частиц были успешно введены эмпирически, так сказать, под давлением эксперимента. Их введение было осуществлено в виде формулировки постулатов, внешне произвольных, причем они были сформулированы так, что этим величинам нельзя было приписать конкретный физический смысл. Конечно, значительная часть результатов этих весьма формальных теоретических попыток имеет неоспоримую ценность и должна сохраниться в более или менее измененном виде в будущих новых истолкованиях, но в той форме, которая им придается обычно, их внутренний смысл остается таинственным.

Впрочем, последние эксперименты все более и более убедительно показывают, что частицы имеют структуру, что их взаимодействия нельзя объяснить, если рассматривать их как точечные источники силового поля. Итак, как я уже говорил, я не представляю возможным вернуться к представлению о внутренней структуре частиц без возвра-

---

[1] Формула Гелл-Мана дает заряд Q любой частицы в виде формулы $Q = I_z + \frac{N+S}{2} = I_z + \frac{U}{2}$, где I_z — изотопический спин, N — барионное число, S — странность, а $U = N + S$ — гиперзаряд.

щения к представлению о том, что частица является объектом, локализованным в пространстве, что, как мне кажется, требует нового истолкования волновой механики в смысле, близком к тем концепциям, которые развивались мною в первых работах на эту тему тридцатилетней давности и к которым я вернулся в последние годы. Используя наглядный образ частиц, локализованных в пространстве и обладающих структурой, образ, который согласуется с представлениями теории относительности и волновой механики, Жан Пьер Вижье, Ийон и Лошак разработали новую теорию систематики элементарных частиц. Эта теория выглядит весьма интересно: действительно, когда она будет завершена, она, видимо, сможет связать новые понятия изотопического спина, барионного числа или гиперзаряда с величинами, характеризующими внутреннюю квантованную структуру частицы. Таким образом, эти величины, которые были введены формально, без какого-либо физического истолкования, приобретут конкретный смысл, связанный с ясной и понятной картиной. Я не собираюсь излагать эту новую теорию, строгое изложение которой требует привлечения довольно сложного математического аппарата. Впрочем, она еще не приняла законченного вида, а экспериментальные факты, истолковываемые ею, известны еще далеко не во всех своих деталях. Но путь, который она указывает, по моему мнению, с весьма большой вероятностью может оказаться хорошим.

Резюмируя все вышеизложенное, мы можем сказать, что число в настоящее время известных частиц значительно больше того числа, которое было известно тридцать лет тому назад, и что истолкование совокупности их свойств ставит перед теоретической физикой проблему крайней сложности. Но эта проблема также имеет фундаментальное значение, и, когда она будет решена, мы безусловно будем знать значительно более четко истинную картину физического микромира. И быть может, для того чтобы лучше понять этот физический микромир, мы должны вернуться к более строгой и более глубокой картине действительности, чем статистический взгляд на мир, который утверждается сегодня «квантовой механикой».

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ

ВЫСТУПЛЕНИЯ И СТАТЬИ ПО РАЗЛИЧНЫМ ВОПРОСАМ

БЛАГОДАРСТВЕННАЯ РЕЧЬ ПРИ ВРУЧЕНИИ ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ ЗА НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕРТУЭНОМ, МИНИСТРОМ НАЦИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ, 24 ЯНВАРЯ 1956 ГОДА

Господин министр!

Прежде всего я хочу поблагодарить вас за ту высокую честь, которую вы мне оказали, вручив золотую медаль за научные исследования, и за похвальные слова, может быть слишком похвальные, с которыми вы ко мне обратились.

Я также должен выразить мою глубокую признательность Национальному центру научных исследований за ту высокую награду, которую он мне присудил. В частности, я хотел бы высказать директору НЦНИ всю свою признательность за то доброжелательное отношение, которое он всегда проявлял ко мне. С Гастоном Дюпуи меня связывает многое; я имею в виду не только академическое сотрудничество и мое участие в работе некоторых комиссий НЦНИ, но и существующие между нами глубокие духовные связи, порожденные его замечательными работами, которые он уже давно проводит в области электронной оптики, этой новой науки, представляющей собой столь прекрасную иллюстрацию волновой механики.

Подобная церемония дает мне повод мысленно перенестись в прошлое. Когда я думаю о периоде моей жизни от 1919 до 1928 года, в который я пришел к первым идеям волновой механики, меня поражает то, что я работал в глубоком одиночестве. Хотя я в то время слушал лекции, которые мне многое дали, особенно лекции Поля Ланжевена и Эмиля Бореля, хотя я тогда работал также в лаборатории моего брата, мои научные размышления происходили тогда в глубоком одиночестве. Это одиночество было обусловлено отчасти обстоятельствами личной жизни, но главным образом тем, что в то время во Франции лишь немногие физики следили за развитием квантовой теории, которая меня очень интересовала и которая быстро развивалась в некоторых странах. Я тогда сознавал, что одиночество во время учебы имеет свои неудобства: оно затрудняет обмен идеями с дру-

гими исследователями и часто имеет своим следствием недостаточную осведомленность. Но одиночество имеет и свои преимущества: предохраняя от стремления идти проторенными путями или следовать преходящим модам, оно делает мысль более сильной и оригинальной. Конечно, не случайно, что именно в этот период одиночества я смог выполнить свои самые значительные работы.

1928 год был поворотным годом в моей жизни, потому что в тот год я начал преподавать в высшем учебном заведении. Я очень сожалею, что состояние здоровья не позволило Эмилю Борелю, который в минувшем году был первым удостоен золотой медали НЦНИ, присутствовать здесь в настоящий момент. Его присутствие здесь дало бы мне возможность еще раз выразить ему мою признательность за ту роль, которую он сыграл в развитии моей деятельности. Обладая известной вам широтой взглядов, Борель ясно видел, что Франция не занимает более в теоретической физике того положения, которое ей надлежало бы занимать, и он с недюжинным упорством и умением добивался создания нового института Факультета естественных наук, Института имени Анри Пуанкаре, цели которого должны были состоять в преподавании и исследованиях в области теоретической физики и теории вероятностей. Когда благодаря щедрой поддержке ему удалось осуществить свой проект, он спросил меня, не соглашусь ли я занять одну из должностей преподавателя, которые были учреждены в новом институте. Я с радостью принял это предложение, и тогда Борель, по согласованию с деканом Факультета естественных наук Шарлем Мореном, которому я счастлив выразить сейчас мою исполненную почтения признательность за его благожелательное отношение ко мне в период моей деятельности в качестве преподавателя, предложил Факультету естественных наук внести мое имя в список, утверждаемый министром.

С началом моей преподавательской деятельности мое одиночество окончилось не сразу, поскольку, как я сказал, лишь немногие студенты и исследователи во Франции интересовались тогда теоретической физикой, которую я преподавал. Мои лекции посещались немногими, и не каждый год кто-нибудь из моих учеников защищал диссертацию. Когда в 1931 году я организовал семинар, то сначала у меня было лишь трое учеников, и у нас установились действительно дружеские отношения. Я счастлив видеть сегодня

здесь этих трех первых моих сотрудников[1] и выразить им мою искреннюю признательность.

Затем прошли годы. Молодые физики стали все более и более интересоваться квантовой и атомной физикой, которая с каждым днем развивалась все быстрее и находила себе многочисленные применения. Внезапно обнаруженная возможность извлечения из атомных ядер огромных количеств энергии сразу привлекла внимание широкой общественности, и многие молодые студенты взялись за изучение теоретической квантовой физики, являющейся одним из путей подхода к решению этих проблем.

Все это привело к большим изменениям в моем положении в Институте имени Анри Пуанкаре. Мой семинар существует уже четверть века, но в его работе теперь принимает участие до полусотни участников, и некоторым из них иногда приходится стоять, так как не хватает мест! Ежегодно около двадцати моих учеников защищают диссертации. Непрерывно возрастает количество работ, выполняемых под моим руководством или под руководством моих непосредственных сотрудников, а появление «третьего поколения» моих учеников вскоре приведет к еще большему увеличению этой деятельности. Вы видите, как сегодня я далек от тех времен, когда у меня было мало учеников и когда мы проводили семинарские занятия вчетвером!

Таким образом, я в течение двадцати лет с радостью наблюдаю за развитием вокруг себя целой школы и за выполнением ряда работ, зачастую важных, моими нынешними учениками или бывшими учениками, которые в свою очередь сами уже стали учителями. Я также очень доволен тем, что могу помочь развитию научной деятельности тех моих учеников, кто этого заслуживает, и тем, что некоторые из них занимают важные должности в системе высшего образования или руководят научными исследованиями.

Но, выражаясь иносказательно и без намека на прекрасную награду, которую я только что получил, каждая медаль имеет свою оборотную сторону. Удовлетворение, которое доставляет мне преподавание в Институте имени Анри Пуанкаре и постепенное развитие Института в активный центр исследований по теоретической физике, имеет и свою неизбежную противоположность: мои значительно возросшие преподавательские обязанности, в сочетании с обязан-

---

[1] Андре Жоржа, Жана Луи Детуша и Клода Маньяна

ностями по Академии наук, которые я выполняю уже в течение четырнадцати лет, и с многими мелкими побочными занятиями отнимают много времени; в связи с этим значительно сократилось время, которое я могу посвятить размышлениям и личным исследованиям. Благодаря непрерывным и иногда тягостным усилиям мне удается выкраивать на них некоторое время, и я еще, как и раньше, нахожу в них мои самые сильные духовные радости. Именно поэтому, хотя мне уже шестьдесят лет, я остался, если можно так сказать, «закоренелым исследователем», испытывающим часто почти юношеский энтузиазм. И, может быть, именно поэтому я не совсем недостоин той высокой награды, которая мне только что была вручена.

В заключение я хотел бы еще раз поблагодарить Национальный центр научных исследований за то, что он присудил мне эту медаль, вас, господин министр, за то, что вы оказали мне большую честь, вручив ее мне, а также всех присутствующих здесь лиц, с которыми меня связывают весьма различные узы, за то, что они уделили мне немного своего времени за счет своих занятий и пришли на эту очень волнующую меня церемонию.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ПРИ ПРЕДСТАВЛЕНИИ МИНИСТРУ НАЦИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БИЙЕРУ ТОМА ФРАНЦУЗСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ, ПОСВЯЩЕННОГО ФИЗИКЕ, 9 МАРТА 1956 ГОДА

Господин министр!

При столь быстром и столь дифференцированном развитии человеческих знаний, характерном для современной эпохи, несомненно, что ни в одной отрасли знания нет таких достижений, которые по их широте и их последствиям были бы больше достойны удивления и восхищения, чем достижения физики. Эта наука, являющаяся вместе с астрономией наиболее точной из всех наук о природе, которую сумел создать человеческий ум, развивается гигантскими шагами и во все более и более ускоренном темпе. Уже за период с конца XVIII по конец XIX века физика завоевала огромные области. Замечательный и неожиданный подъем пережила оптика, значительно развились наши до того времени элементарные представления об электричестве и теплоте; на наших глазах сложились те обширные разделы современной физики, которые мы сегодня называем электромагнетизмом и термодинамикой. В то время Франция была во главе этого величественного научного движения: учения о свете, электричестве и теплоте в их современном виде всегда, по сути дела, будут связаны со славными именами Огюстена Френеля, Андре Мари Ампера и Сади Карно. В последние годы XIX века вся «классическая физика», как ее теперь называют, уже представляла собой замечательное сооружение; очень быстро развивались ее технические приложения во всех отраслях промышленности и в повседневной жизни.

Но по прошествии этой эпохи, в течение полувека, родилась совершенно новая физика, которая позволила нам проникнуть в совершенно неизвестную ранее область очень малых структур вещества, элементарных частиц и проникающих излучений. Открытие ионов и электронов, открытие лучей Рентгена и естественной радиоактивности, открытие существования атомов с экспериментальной точки зрения

были первыми этапами этой поразительной истории; с теоретической точки зрения появление теории относительности и квантовой теории, использованной Бором для истолкования свойств атомов, привело нас к представлениям, необходимым для классификации и понимания этих новых фактов. Затем, после того как в 1919 году Резерфорд, впервые разрушив атомные ядра путем бомбардировки, осуществил первую искусственную трансмутацию, последующие открытия изотопов, нейтронов, положительных электронов, искусственной радиоактивности, деления урана, мезонов и т. д. открыли перед молодой наукой — ядерной физикой — почти безгранично широкие горизонты. Вся эта эпопея научной мысли привела к возможности использования энергии, заключенной в атомных ядрах; эта возможность пробудила блестящие надежды, а подчас, к сожалению, и довольно законное беспокойство. В то время квантовая теория, принявшая форму волновой механики, также открыла перед физиками совершенно новые перспективы и дала им средство, позволяющее предсказать и объяснить огромное количество атомных явлений. Опираясь на все завоевания классической физики и микрофизики, инженеры использовали все предоставленные им средства. Не говоря о других чудесных достижениях, я коснусь здесь лишь тех из них, которые довели до высокой степени совершенства благодаря неоценимой помощи электроники радиосвязь и сделали возможным телевидение, а также тех достижений в использовании коротких волн, которые привели к созданию систем радиолокации и методов телеуправления.

Резюмируя, можно сказать, что, несмотря на современные замечательные достижения других наук, например астрономии, химии и биологии, физика в настоящее время выступает, и притом уже давно, как наука-завоевательница, которая идет впереди других наук и от которой более или менее зависят все другие науки. Поэтому, когда двадцать лет назад у де Монзи возникла прекрасная и смелая мысль нарисовать, в рамках новой «Французской энциклопедии», картину развития человеческих знаний середины XX века, физика обязательно должна была занять в ней почетное место. В то время как выходили первые тома этого огромного труда, подготовка тома, посвященного физике, была доверена Полю Ланжевену, прекрасно знакомому с развитием современной физики, в которое он сам внес значительный вклад; Ланжевен, обладавший широким кругозором

и являвшийся поборником общих идей, казался самой подходящей фигурой для выполнения этой задачи. Были намечены различные соавторы, и по согласованию с ними был выработан план этого тома. Но печальные события 1939 и последующих годов, а также разного рода трудности в конечном счете надолго задержали издание задуманного тома.

Эта большая работа была продолжена примерно три года тому назад по инициативе президента академии Андре Мари, бывшего в то время министром национального образования, в сотрудничестве с издательством Ларусса. Был вновь создан Комитет Французской энциклопедии под председательством Люсьена Февра, а Гастон Берже, генеральный директор департамента высшего образования, взял на себя тяжелый труд по руководству публикаций всех новых подготавливаемых томов.

Вполне естественно, что в число первых томов должен был попасть том, посвященный физике. Но выдающегося ученого, согласившегося подготовить этот том к печати, уже не было среди нас. Гастон Берже и Комитет энциклопедии оказали мне тогда большую честь, предложив возобновить работу, которую Поль Ланжевен не смог довести до конца, а именно — руководить редактированием тома «Физика».

То, что я говорил немного выше о замечательном, хотя и несколько беспорядочном развитии современной физики, показывает, что его не легко представить в ясном и связном виде. Это трудная работа, требующая коллективных усилий. Каждая глава должна быть написана квалифицированным физиком, прекрасно знающим излагаемый вопрос. Но тогда возникают, как и в любой коллективной работе такого рода, специфические трудности. Но, несмотря на расхождение установок различных сотрудников, работа в известном смысле должна была представлять единое целое. Для достижения такого единства должен быть тщательно разработан план, и нужно определить некоторый «средний уровень» статей, от которого их авторы не должны сильно отклоняться; причем представляемые в статьях результаты должны быть точными и доступными для читателя. После разработки плана и определения уровня статей нужно распределить редактируемые главы между всеми сотрудниками, согласившимися участвовать в работе. Все эти вопросы были урегулированы на предварительных заседаниях.

В конце концов оказалось необходимым обратиться более чем к сорока ученым. Просматривая список их имен, можно видеть, что все они являются физиками высокого класса, принадлежат к числу лучших представителей французской науки и обладают необходимой квалификацией для компетентного рассмотрения вопросов, содержащихся в доверенных им статьях. Я должен весьма искренне поблагодарить их за участие в этой работе, тем более что, насколько мне известно, они сами ведут важную работу и имеют различные обязанности. Благодаря этим ученым работа могла быть завершена, а известность их имен служит лучшей гарантией высокой ценности подготовленного тома.

Еще до печатания необходимо было провести длительную работу по выверке и считке собранных рукописей, а затем с помощью авторов обеспечить корректуру оттисков. Эта работа была быстро проделана в сотрудничестве с издательством Ларусса, самоотверженным и деятельным генеральным секретарем Французской энциклопедии Робише, с помощью моего бывшего ученика, в настоящее время профессора Эколь сантраль Мишеля Казена. Я должен особенно поблагодарить Мишеля Казена за оказанную мне постоянную и действенную помощь в руководстве редактированием этой книги; без его ценной помощи я не смог бы выполнить эту работу.

Том издан. Видимо, он удался. Высокий уровень авторов обусловил качество содержащихся в нем текстов; прекрасные рисунки иллюстрируют некоторые тексты и делают их более живыми и привлекательными для читателей.

Представляя вам, господин министр, этот труд, мы просим вас увидеть в нем не только новый камень прекрасного здания, каким является Французская энциклопедия, но и доказательство того, что французская наука, несмотря на испытания, которые пришлось пережить нашей стране, и те трудности, с которыми ей еще приходится сталкиваться, осталась и намерена впредь оставаться в первых рядах международного научного и технического прогресса.

РОЛЬ ЛЮБОПЫТСТВА, ИГР, ВООБРАЖЕНИЯ И ИНТУИЦИИ В НАУЧНОМ ИССЛЕДОВАНИИ

Ребенок любопытен. Все в окружающем его мире восхищает и удивляет его. Он хотел бы понять этот мир, и по мере развития у него способности выражать свои мысли он задает вопросы. Это страстное желание понять, эта жажда знаний принимает все более и более осознанную и глубокую форму в период юности, которая поэтому является естественным возрастом для начала высшего образования. Позднее у большинства людей это всеобщее любопытство уменьшается или по крайней мере суживается или концентрируется, а уменьшение любопытства влечет за собой сокращение числа путей, открывающихся перед нами, когда мы становимся взрослее.

Человечество в своем прошлом развитии прошло путь, аналогичный в своих основных чертах пути, по которому идут человеческие индивидуумы в начале своего существования. В самом начале человечество с любопытством, вниманием и иногда с беспокойством наблюдало окружающую его природу: оно пыталось выяснить причины и связи наблюдаемых явлений. Но в начале своего развития человечество не имело ни родителей, ни учителей, которые научили бы его, и часто оно верило, что находит в мифах, иногда поэтических, но всегда обманчивых, объяснение (в действительности не имеющее большой ценности) фактов, которые оно пыталось понять. Затем через несколько веков человечество достигло юношеского возраста и освободилось от своих первоначальных заблуждений. Поскольку его любопытство могло отныне опираться на более твердый разум и на более острый критический ум, оно могло продолжать исследование явлений с помощью более надежных и более строгих методов.

Так родилась современная наука, дочь удивления и любопытства, которые всегда являются ее скрытыми движущими силами, обеспечивающими ее непрерывное развитие.

Каждое открытие открывает перед нами новые горизонты, и, обозревая их, мы испытываем новое удивление и нас охватывает новое любопытство. А поскольку неизвестное всегда бесконечно расстилается перед нами, то ничто, видимо, не может прервать этого непрерывного последовательного развития, которое, удовлетворяя наше былое любопытство, сразу же возбуждает новое, в свою очередь порождающее новые открытия.

Однако возможно, что по мере старения человечество испытывает некоторое притупление любопытства, присущее отдельному человеку в зрелом возрасте. Когда человек становится взрослым, то возникает вместе со своими отрицательными последствиями необходимость специализации. Для человечества в целом эти отрицательные последствия, конечно, менее серьезны, чем для одного человека, но они тем не менее реальны, так как специализация суживает горизонты, затрудняет плодотворные сравнения и аналогии и, наконец, ставит под угрозу будущее человеческого разума. Но, поскольку об этом вообще можно судить, человечество еще находится в фазе юности, и, если ему удастся избежать опасностей, которые могут возникнуть в результате его воздействия на физический мир, оно, несомненно, еще далеко от периода склероза и дряхлости.

Задающий вопросы ребенок жаждет понять, но он любит также и играть. Не следует думать, что игра для него бесполезное занятие, ведь она приучает ребенка размышлять, видеть, затем преодолевать трудности, иногда даже хитрить. Нет игры, какой бы наивной она ни была, не имеющей своей тактики и стратегии. Поэтому склонность к игре— удел не только детства или ранней юности; любой зрелый человек, каким бы серьезным он ни был, в глубине души сохраняет некоторую склонность к игре. Впрочем, разве не существует игр (к этому типу игр относятся шахматы), требующих большого внимания, соображения и даже логического рассуждения? Разгадать загадку, найти слово, заданное шарадой, попытаться обнаружить спрятанную вещь— разве эти действия не аналогичны в некотором роде научному исследованию? Поэтому разве нельзя думать, что склонность к игре, которая является, как и любопытство, естественной склонностью ребенка, но не является чем-то ребяческим (в пренебрежительном смысле этого слова), также способствует развитию науки?

На этот последний вопрос, как мне кажется, следует

дать положительный ответ: Что касается меня, то я иногда поражаюсь сходству проблем, поставленных природой перед ученым, и проблем, возникающих при решении кроссвордов. Когда мы видим перед собой пустые клетки кроссворда, мы знаем, что какой-то ум, аналогичный нашему, разместил в этих клетках, согласно некоторым правилам, перекрещивающиеся слова, и, пользуясь данными нам указаниями, мы пытаемся отыскать эти слова. Когда ученый пытается понять категорию явлений, он начинает с допущения, что эти явления подчиняются законам, которые нам доступны, поскольку они понятны для нашего разума. Отметим, что это допущение не является очевидным и безусловным постулатом. В самом деле, этот постулат сводится к допущению рациональности физического мира, к признанию, что существует нечто общее между структурой материальной вселенной и законами функционирования нашего разума. На основе этой гипотезы, которую мы выдвинули, естественно не всегда сознавая всю смелость такого допущения, мы пытаемся найти разумные соотношения, которые, согласно ей, должны существовать между чувственными данными. Итак, ученый старается заполнить пустые клетки кроссворда природы так, чтобы образовались осмысленные слова. Мы не будем здесь рассматривать, каков может быть смысл соответствия, по крайней мере частичного, между разумом и вещами, которое наглядно подчеркивается сравнением научного исследования с решением проблем кроссворда, но мы должны заметить, что это сравнение ясно указывает на аналогию между научным исследованием и играми вообще. И в том, и в другом случае сначала привлекает поставленная загадка, трудность, которую нужно преодолеть, затем (по крайней мере иногда) радость открытия, упоительное ощущение преодоленного препятствия. Конечно, кроссворды являются игрой интеллектуального характера, но можно утверждать, что все игры, даже самые простые, в проблемах, которые они ставят, имеют общие элементы с деятельностью ученого при его исследованиях. Именно поэтому всех людей, независимо от возраста, привлекает игра своими перипетиями, своими опасностями и своими победами, именно поэтому некоторые из них все же обращаются к научному исследованию и находят источник радости и энтузиазма в тех жестоких сражениях, которые с ним связаны. Итак, склонность к игре имеет какое-то значение и в развитии науки.

В последние годы много говорят об «электронном мозге», о «мыслящих машинах» и вообще об устройствах, и механических и электрических, по своему действию равных человеческому мозгу или даже значительно его превосходящих. Разве не в состоянии эти устройства проводить с большой точностью и за несколько секунд сложные вычисления, на выполнение которых даже опытному человеку потребовались бы многие часы, причем очень велика вероятность ошибок? Разве не имеют они более надежную и твердую «память», чем мы? Разве не обладают они логической мощью, неумолимой прямотой рассуждения, которым наш бедный мозг, зачастую нерешительный, не может не позавидовать? Однако если сравнить деятельность нашего ума во всей ее полноте, деятельность, которая отнюдь не сводится к выполнению расчетов, к построению силлогизмов или к сохранению приобретенных сведений, то, по моему мнению, создается вполне определенное впечатление, что, исключая некоторые операции автоматического характера, человеческий мозг со многих точек зрения превосходит самые совершенные машины и обладает возможностями, которыми машины не располагают. Если это так, то человеческий ум способен на такую деятельность, на которую машина неспособна. Этой особой способности трудно дать точное название: в зависимости от обстоятельств ее называют чувством, остроумием, воображением или интуицией. Вопрос о термине не столь важен, но очевидно, что под этими неопределенными названиями скрывается глубокая действительность.

Научный прогресс многим обязан чувству. Если он существует, то потому, что люди любили или любят науку. Слушая молодого Пастера, который излагал свои открытия об оптически активных изомерах, старик Био сказал ему: «Мое дорогое дитя, я так любил науку, что ваш рассказ заставил сильнее биться мое сердце!» Таким образом, даже говоря о науке, можно произносить этот опасный глагол, который французская грамматика относит к глаголам первого спряжения. Итак, я сомневаюсь в том, что электронные машины «любят» науку. Но так как в мои намерения не входит останавливаться на этом аспекте вопроса, я хотел бы теперь сказать о выдающейся роли, которую играют в научном прогрессе другие нерациональные элементы.

Люди, которые сами не занимаются наукой, довольно часто полагают, что науки всегда дают абсолютно достовер-

ные положения; эти люди считают, что научные работники делают свои выводы на основе неоспоримых фактов и безупречных рассуждений и, следовательно, уверенно шагают вперед, причем исключена возможность ошибки или возврата назад. Однако состояние современной науки, так же как и история наук в прошлом, доказывает, что дело обстоит совершенно не так. Не только каждый исследователь имеет свои личные представления и свою собственную манеру подхода к проблемам, но, кроме того, очень часто ставится под вопрос ценность констатируемых фактов и, более того, их истолкование. Теории развиваются и часто даже меняются коренным образом; в этой области, так же как и во многих других, имеются «моды», уже проходящие, и «моды», еще только возникающие. Разве это было бы возможно, если бы основы науки были чисто рациональными? Это служит надежным доказательством того, что на прогресс науки влияют и иные факторы, а не только безупречная констатация или строгие силлогизмы; это имеет место даже в таких науках, которые благодаря своей строгости или мнимой простоте, например механика или физика, видимо, особенно хорошо приспособлены для использования абстрактных схем и математических рассуждений.

Действительно, в основе всех научных теорий, стремящихся предложить нам картину мира или метод предвидения явлений, имеются понятия и представления, иногда конкретные, а иногда абстрактные, к которым любой исследователь испытывает бо́льшую или меньшую симпатию и к которым он более или менее быстро приспосабливается. Это замечание наглядно свидетельствует о неизбежном влиянии на научное исследование индивидуальных особенностей, имеющих не только рациональный характер. При более внимательном исследовании этого вопроса легко заметить, что как раз эти элементы имеют важное значение для прогресса науки. Я, в частности, имею в виду такие сугубо личные способности, столь различные у разных людей, как воображение и интуиция.

Воображение, позволяющее нам представить себе сразу часть физического мира в виде наглядной картины, выявляющей некоторые ее детали, интуиция, неожиданно раскрывающая нам в каком-то внутреннем прозрении, не имеющем ничего общего с тяжеловесным силлогизмом, глубины реальности, являются возможностями, органически присущими человеческому уму; они играли и повседневно играют

существенную роль в создании науки. Конечно, ученый рисковал бы впасть в заблуждение, если бы он в ходе своей работы переоценил значение воображения и интуиции; он в конце концов отказался бы от концепции рациональности вселенной, которая, как мы говорили, является основным постулатом науки, и постепенно возвратился бы к мифическим объяснениям, характерным для донаучной фазы человеческого мышления. Тем не менее воображение и интуиция, используемые в разумных пределах, остаются необходимыми вспомогательными средствами ученого в его движении вперед.

Конечно, постулат о рациональности вселенной, если его принять без ограничений, привел бы к утверждению о том, что следствием применения строгой системы рассуждений к наблюдаемым фактам должно быть точное и полное описание физического мира. Но это верно лишь в идеальном случае; систему рассуждений, о которой только что шла речь, нельзя фактически построить, потому что физический мир характеризуется крайней сложностью, бросающей вызов нашему пониманию; потому что мы познаем, конечно, лишь ограниченную часть физических явлений; потому что рациональность вселенной, если она действительно полная, может быть исчерпывающе раскрыта лишь разумом, бесконечно более обширным, чем наш. Очень часто нам приходится переходить от одного рассуждения к другому посредством акта воображения или интуиции, который сам по себе не является полностью рациональным актом; так, летчик, находясь на горной вершине, согласен рискнуть и подняться в воздух, чтобы добраться до соседней вершины, поскольку он знает, что в принципе более надежная дорога низом через долину, хотя и позволила бы ему проделать тот же путь, не покидая твердой земли, более длинна и практически непроходима. И так как импульсы воображения и интуиции имеют индивидуальный характер, различные исследователи отваживаются в том или ином случае не идти по уже проторенному пути; этим объясняются те споры между специалистами, те повороты научной мысли, которые иногда столь сильно удивляют сторонних наблюдателей; эти наблюдатели, судя о вещах очень поверхностно, надеялись, что наука окажется более светлым храмом.

Однако нельзя недооценивать необходимой роли воображения и интуиции в научном исследовании. Разрывая с помощью иррациональных скачков (их важность некогда

подчеркивал Мейерсон) жесткий круг, в который нас заключает дедуктивное рассуждение, индукция, основанная на воображении и интуиции, позволяет осуществить великие завоевания мысли; она лежит в основе всех истинных достижений науки. И именно поэтому человеческий ум, как мне кажется, способен в конечном итоге взять верх над всеми машинами, которые вычисляют или классифицируют лучше, чем он, но не могут ни воображать, ни предчувствовать.

Таким образом (поразительное противоречие!), человеческая наука, по существу рациональная в своих основах и по своим методам, может осуществлять свои наиболее замечательные завоевания лишь путем опасных внезапных скачков ума, когда проявляются способности, освобожденные от тяжелых оков строгого рассуждения, которые называют воображением, интуицией, остроумием. Лучше сказать, ученый проводит рациональный анализ и перебирает звено за звеном цепь своих дедукций; эта цепь его сковывает до определенного момента; затем он от нее мгновенно освобождается, и свобода его воображения, вновь обретенная, позволяет ему увидеть новые горизонты.

Но всякий порыв воображения и интуиции, именно потому что он является единственным истинным творцом, чреват опасностями; освобожденный от оков строгой дедукции, он никогда не знает точно, куда ведет, он может нас ввести в заблуждение или даже завести в тупик. И поэтому научное исследование, хотя оно почти всегда направляется разумом, тем не менее представляет собой увлекательное приключение.

ПОЛЬЗА И УРОКИ ИСТОРИИ НАУК[1]

Я нисколько не претендую ни на то, чтобы дать в настоящем докладе общий обзор истории наук, ни на то, чтобы извлечь из нее все уроки. Такая программа потребовала бы от автора необычайно широкой эрудиции и очень полного знания всех отраслей науки и их развития в прошлом и настоящем. Я сомневаюсь, что в настоящее время смог бы найтись человек, который обладал бы такой осведомленностью. Что касается меня, то я нисколько не могу на это претендовать. Итак, я удовольствуюсь в данном случае несколькими общими замечаниями, конечно весьма недостаточными и неполными, о пользе истории наук и ее уроках, которые она нам дает. И если мне придется попутно приводить примеры для подкрепления своих утверждений, то я почти всегда буду черпать их из одной отрасли науки, с которой я знаком, то есть из физики и более конкретно— из теоретической физики, хотя я думаю, что большая часть аналогичных примеров могла бы быть заимствована из многих других наук.

В порядке разъяснения темы моего доклада я хотел бы в своем изложении последовательно осветить следующие вопросы: 1) история наук является очень важным разделом истории культуры; 2) она позволяет дать очень поучительный анализ деятельности человеческого мозга и его развития; 3) она уточняет механизм научного прогресса и законы его развития; 4) она содержит ценные уроки, особенно с точки зрения педагогики.

1. *История наук является очень важным разделом культуры.*

В настоящее время никто из размышляющих над этими проблемами не отрицает, что изучение исторических, поли-

---

[1] Публичная лекция, прочитанная в Высшем ремесленном училище 28 февраля 1956 года для преподавателей дополнительных курсов Парижа и Парижского района.

тических, военных, экономических или социальных фактов не может быть отделено от изучения условий духовной, моральной или материальной культуры, в которых эти факты имели место. Так, очевидно, что духовная, моральная или материальная культура какой-либо эпохи в весьма большой степени является следствием научных знаний этой эпохи и техники (всегда более или менее непосредственно зависящей от научных знаний), которой она располагает. История этой эпохи будет обязательно неполной, если не изучаются ее наука и техника.

Уже с древнейших периодов первобытной истории дело обстоит именно таким образом: открытие огня, применение обтесанных камней для изготовления орудий труда и оружия, наблюдение форм животных, столь замечательно иллюстрируемых рисунками, относящимися к пещерному веку, уже являются признаками пробуждения у первобытного человека таких качеств, как любопытство и умение наблюдать, которые со временем должны были привести к подлинно научному знанию. Затем развилась металлургия некоторых металлов и некоторых сплавов, а именно железа, меди, бронзы. Это было плодом, конечно, неявного, но фактического приобретения научных знаний в области физики и химии. То же самое можно сказать об изготовлении предметов из драгоценных металлов, о гончарно-керамическом производстве и т. д. В эти отдаленные времена люди наблюдали солнце, луну и звезды, наиболее заметные на ночном небе; у них, таким образом, выработались понятия (еще довольно грубые и сильно смешанные с астрологическими предрассудками), которые, однако, уже были астрономическими знаниями.

В начале исторической эпохи народы Египта, Халдеи и всего бассейна восточной части Средиземного моря были создателями замечательных цивилизаций. Научные знания этих народов, еще элементарные, тем не менее не были равны нулю и уже сильно влияли на всю их технику, на материальную жизнь, а также на их представление о мире.

Далее, к VI веку до нашей эры, на берегах Ионического моря, в Греции, в южной Италии, тогда греческой колонии, появились великие школы мыслителей и наблюдателей природы, философов и ученых, которые содействовали первому великому расцвету научного знания. Это своеобразное, неистовое интеллектуальное движение, центр которого сна-

чала находился в Греции, распространилось по всему бассейну Средиземного моря и продолжало существовать, ослабевая и вырождаясь во время римского господства. По прошествии семи-восьми веков, в начале нашей эры, во время упадка Римской империи, его последние, но еще очень яркие огни пылали в школах Александрии в Египте. Здесь не место ни излагать историю древнегреческой философии и наук, ни перечислять тогдашние успехи—а они были изумительными для того времени—арифметики, геометрии, астрономии и в меньшей степени физики, естественных наук и медицины. Но все-таки стоит в нескольких словах охарактеризовать это «древнегреческое чудо», о котором уже столько писали.

Новое в научных усилиях древних греков и их последователей состояло, видимо, в стремлении основать науку на законах разума, с одной стороны, путем созерцания, размышления, которое привело древнегреческих мыслителей к закладке первооснов логики и математики, с другой стороны, путем сопоставления естественных фактов с правилами мышления, которое привело их впервые к попытке истолкования и систематизации с помощью рассуждения совокупности явлений, которые мы можем наблюдать в окружающем нас мире. Освобождая научное знание от технических и прикладных целей, которые являлись источником его возникновения и от которых оно еще не сумело освободиться, мыслители древней Греции первыми ясно осознали, что теоретическая наука является построением разума и что—это в меньшей степени касается наук о природе — она, по существу, состоит в стремлении выявить внутри явлений «рациональность» действительного. Это прекрасное представление о целях науки, безусловно не предполагающее никакой недооценки полезности ее применения, и техники, сохранило свою ценность до настоящего времени. Познание явлений природы, выявление их сверхчувственного содержания было и будет конечной целью ученых в их исследованиях.

Как случилось, что этот величественный духовный расцвет греко-латинского античного мира, оказавший столь глубокое влияние на его материальную жизнь и на его идеи, закончился (это касается развития естественных наук) своеобразным провалом? Как случилось, что современная наука, вместо того чтобы непосредственно вырасти из античной науки, явилась продолжением последней после длительного

периода упадка? Конечно, первая причина этого состояла в падении античной цивилизации под натиском варваров. Но если эта причина объясняет застой науки в период раннего средневековья, когда некоторую реальную деятельность проявляла лишь арабская наука, то весьма удивительно, что великое возрождение духовной деятельности, которое началось в Западной Европе в XII и особенно в XIII столетии, не сопровождалось, за исключением нескольких отдельных случаев, как, например, исследований магнитов Пьером де Марикуром, началом прогресса естественных наук. Несомненно, это обусловлено тем, что средневековые доктора поддались очарованию наиболее опасных сторон античной мысли.

Философы и ученые древности были подчас прекрасными наблюдателями, особенно в астрономии, в естественной истории и в медицине, но они не умели ставить и проводить экспериментальные исследования в том смысле, в каком мы их сегодня понимаем. Они занимались больше самонаблюдением и исследованием структуры рассуждения, чем строгой констатацией явлений природы, зачастую их привлекал блеск весьма общих теорий, не имеющих прямой связи с физической реальностью, и тонкая игра чисто словесных аргументов. Когда средневековые школы принялись за изучение античной мысли, то, видимо, эта сторона ее наследия больше всего поразила их внимание, поэтому они столь часто погрязали в бесплодных схоластических диспутах.

Начиная с XVI века произошел новый поворот научной мысли; после этого начался второй этап ее бурного развития, которое привело к огромному числу открытий современной науки. Конечно, я не пытаюсь дать вам общий обзор ее развития, даже краткий. История естественных наук XVI, XVII и XVIII веков весьма обширна, история науки XIX века очень сложна, и можно посочувствовать тем, кто будет писать подробную историю наук XX века!

Тем не менее я еще раз хочу отметить, что прогресс науки в течение трехсот лет оказывал все возрастающее влияние на развитие материальной культуры и на совокупность человеческих понятий. Во все возрастающем темпе, почти стремительно, делались открытия и изобретения, развивалась промышленность, изменялись все условия человеческой жизни. В области идей широко распространялись достижения астрономии, физики, химии, естествен-

ных наук, биологии, медицины; они проникали во все умы и изменяли их мировоззрение. Эти мои замечания, конечно, весьма тривиальны, но они показывают, что в современную эпоху, еще более, чем в предшествующие эпохи, история наук стала одним из существенных разделов истории культуры и даже истории в строгом смысле.

Закончим этот первый раздел несколькими замечаниями. Как и все остальные разделы истории, история наук имеет две стороны: «эрудицию» и «общие идеи». У историков эти две стороны соответствуют весьма различным складам ума и даже весьма различным знаниям. Эрудиция, вместе с терпеливыми исследованиями и кропотливым критическим анализом источников, необходима для установления подлинности исторических фактов и их строгой последовательности во времени. Но общие идеи также необходимы, поскольку они позволяют извлечь из истории выводы и уроки, придать ей подлинный интерес; простой перечень фактов такого интереса не представляет. Что касается истории наук, исследования фактической стороны особенно трудны: они могут, в частности, потребовать, за исключением современного периода, глубокого знания древних языков не только в той форме, в которой они существовали в классическую эпоху, но часто в тех дегенерировавших формах, которую они приняли в более поздние эпохи. Например, в средние века и в современную эпоху до XIX века включительно научные труды писались на латинском языке, но он не был языком Вергилия! В современную эпоху продолжает оставаться необходимым знание многих живых языков. Кроме всяческих предосторожностей, хорошо известных историкам, которыми всегда должно сопровождаться чтение, датирование и истолкование исторических документов, критический анализ текстов в данном случае должен быть особенно тонким: историк науки, исследующий документ, должен фактически проникнуть в дух научных представлений, принятых в ту эпоху и в той среде, в которой этот документ был составлен, представлений, часто сильно отличающихся от наших, для того чтобы не допустить серьезных ошибок при его истолковании. Эта необходимость хорошего знакомства с состоянием научных знаний и представлений в различные эпохи и в различных странах особенно важна для истории наук; поэтому в этой области непосредственное изучение самих документов является особенно трудным делом.

Что касается общих идей, которые, видимо, могут вызвать наибольший интерес ученых, то в истории наук с ними связаны свои специфические трудности. Тот, кто интересуется развитием научных открытий и представлений, но не владеет методикой анализа фактического материала и критического анализа текста, как правило, знаком с трудами прежних ученых из вторых рук. Исследуя тексты как таковые, он часто мог бы констатировать, что характер открытий или значение теоретических идей не соответствуют его представлениям. Кроме того, было бы весьма желательно, чтобы ученые, интересующиеся историей наук, могли располагать оригинальными текстами или переводами на современный язык, тщательно выполненными и снабженными комментариями квалифицированных специалистов; эти переводы помогли бы глубже проникнуть в подлинные мысли авторов.

Вышеприведенные замечания наглядно показывают весьма сложный характер истории наук. Она является разделом всеобщей истории, поскольку в ней применяются методы последней, в частности методы критического анализа источников, и поскольку она является неотъемлемой частью истории культуры. Но она также неотделима от истории идей и истории философских учений, поскольку научные открытия и развитие научных представлений не могли не воздействовать на представления людей о природе и их месте в мире. Поэтому вполне естественно, что до сих пор во Франции история наук преподавалась как часть истории, и в частности как часть истории философии на факультетах словесности, преподавателями, имеющими гуманитарное образование. Тем не менее история наук не может не интересовать ученых-естественников: ученый находит в ней (я постараюсь показать это ниже) многочисленные уроки, и, умудренный собственным опытом, он может лучше, чем кто-либо другой, истолковать со знанием дела эти уроки.

История наук, представляющая значительный педагогический интерес и являющаяся крайне поучительной для всех научных работников, видимо, должна занять подобающее ей место в программах естественнонаучных факультетов, как она, впрочем, уже заняла его в программах медико-фармацевтических факультетов. История наук может лишь выиграть, если ее будут преподавать не только люди, имеющие главным образом историческое или философское образование, но и исследователи, которые сами вносят вклад

в науку, знакомы с результатами ее достижений и думают о ее современном или прошлом развитии.

2. *История наук — поучительный анализ деятельности человеческого мозга.*

Этот второй подход к рассмотрению истории наук мог бы, как и предыдущий, способствовать бурному их развитию. Конечно, я не смогу остановиться на этом вопросе подробно и должен буду ограничиться тем, что выскажу несколько соображений и приведу несколько примеров. Тот, кто хотел бы более глубоко ознакомиться с этой проблемой, может обратиться к недавно опубликованной книге Рене Татона, называющейся «Причинность и случайность научного открытия»[1], к книге, богатой фактическим материалом и очень интересной.

Первое замечание, которое вытекает из изучения истории наук, заключается в том, что среди ученых — великих и рядовых — встречаются люди с совершенно различным складом ума. Даже в математике, науке наиболее абстрактной и наиболее независимой от физической реальности, наряду с логистами, главным образом отстаивающими в своих работах строгость аксиоматики и рассуждений, существуют интуиционисты, которые любят пользоваться более или менее наглядными образами и стараются угадать решение задач до того, как будет найдено их решение путем доказательств. Известно, что в свое время Анри Пуанкаре противопоставлял интуиционисту Риману логиста Вейерштрасса. В естественных науках различие ориентаций еще более велико, поскольку одни более склонны к наблюдению и эксперименту, а другие более склонны заниматься теорией. Конечно, можно быть сразу и теоретиком и экспериментатором, ученые такого типа часто встречались в прошлом и встречаются в настоящее время. Но в сильно развитых науках, например в физике, при возрастающей сложности математических методов, используемых в различных теориях, и технических средств, необходимых для осуществления строгих наблюдений и тонких экспериментов, одному человеку все более и более трудно добиться успеха в обоих направлениях. Такова одна из сторон все возрастающей специализации, необходимость которой обусловливается

---

[1] R. Taton, Causalités et accidents de la découverte scientifique, Masson, Paris, 1955.

прогрессом науки, специализации, не свободной ни от неудобств, ни даже от опасностей, к чему мы еще вернемся.

В естественных науках еще больше, чем в чистой математике, теоретики подразделяются на интуиционистов и логистов; первые охотно пользуются аналогиями и образными представлениями, вторые предпочитают обходиться по возможности без образов и интуиции и развивать теории в чисто математической форме, исходя из постулатов, возведенных в аксиомы. Примером борьбы этих двух тенденций является происходившая лет шестьдесят назад борьба между логистами-«энергетиками» и интуиционистами-«атомистами», окончившаяся победой последних. Она возобновилась совсем недавно в современной квантовой физике, в которой более двадцати пяти лет торжествовала победу абстрактная тенденция, опирающаяся на аксиоматику и исключающая по возможности образы; однако, по-моему, нельзя утверждать, что эта победа окончательная и что в один прекрасный день не появятся на свет новые, более интуитивные теоретические образы и не помогут осветить все еще довольно темные глубины микрофизики.

Что касается экспериментальных исследований, то здесь различие между логистами и интуиционистами не столь существенно. Но и здесь, как, впрочем, и в математике и в теоретических науках, можно назвать исследователей, обладавших весьма оригинальными взглядами, которые могли ставить новые проблемы и находить способы их решения (например, Коши, создавший современный анализ при исследовании аналитических функций; Эйнштейн, разработавший теорию относительности и теорию квантов света и открывший, таким образом, новые пути в теоретической физике; Жан Перрен, закрепивший победу атомистической гипотезы своими замечательными методами относительно непосредственного счета атомов, и т. д.). Наряду с ними можно назвать других исследователей, менее отважных, но более педантичных, которые производили длинные вычисления, как, например, Леверье (его вычисления позволили открыть планету Нептун), или ставили все более точные и тонкие эксперименты, для того чтобы добавить несколько десятичных знаков к уже известному значению какой-нибудь константы, как, например, Реньо (в своих известных работах по изучению газов).

Эта классификация складов ума и методов работы научных работников вполне подтверждается историей наук,

но и не только ею; можно было бы найти аналогии и в других областях духовной деятельности. С историей наук тесно связана еще одна проблема — проблема условий, в которых совершается открытие. Видимо, открытие — малое или большое — является результатом интуитивной догадки, опирающейся чаще всего на аналогии и сопоставления, результатом отступления исследователя от обычного хода его рассуждений, позволяющего исследователю неожиданно увидеть тот путь, на который он должен вступить; в случае великих открытий все это называется «гениальным прозрением».

Исследование этого таинственного процесса, являющееся одним из важнейших вкладов истории наук в изучение деятельности человеческой мысли в ее высших проявлениях, облегчается для нас сегодня рассказами некоторых великих ученых об условиях, в которых они сами сделали некоторые свои открытия. Анри Пуанкаре в своей книге «Наука и метод» рассказал, как, садясь в омнибус, он вдруг понял, что между теорией функций Фукса и неевклидовой геометрией существует глубокая связь. В книге «Введение в физику» Макс Планк, выдающийся физик, подробно разъяснил, какими довольно извилистыми путями он пришел в 1900 году к осознанию необходимости введения квантов в теорию излучения абсолютно черного тела; в этой книге имеется следующая характерная фраза: «После нескольких недель самой напряженной работы в моей жизни тьма, в которой я барахтался, озарилась молнией и передо мной открылись неожиданные перспективы». Это очень точное свидетельство; история науки отмечена рядом аналогичных случаев.

Как мы говорили, прозрение, более или менее гениальное, смотря по обстоятельствам, приводящее к открытию, является результатом неосознанной работы ума исследователя, делающего различные сопоставления и проводящего аналогии, сравнивающего, если можно так сказать, различные дороги, по которым он может пойти. Но для того чтобы делать, даже бессознательно, сопоставления, нужно быть знакомым с представлениями и фактами, подлежащими сопоставлению, а для того чтобы сравнивать пути, по которым можно идти, нужно, чтобы они уже были исследованы. Итак, открытие предполагает (обратное было бы совершенно безнравственно) длительный подготовительный период исследований, сбора фактов и размышлений. В этом смысле

можно было бы сказать: «Гений — это долготерпение»,— но точнее было бы сказать: «Предварительным условием всякого открытия является длительный и терпеливый труд», поскольку оно может возникнуть лишь на хорошо подготовленной почве. Как иногда говорят, эти вещи приходят лишь к тем, кто их заслужил.

Именно потому, что открытие является плодом более или менее неосознанного сопоставления уже полученных результатов, оно может возникнуть, лишь когда вопрос уже назрел, когда новая идея, согласно образному выражению, уже висит в воздухе. Открытие является результатом своеобразной кристаллизации, происходящей в уме «открывателя», но если оно сделано, то это означает, что все условия, делавшие его возможным, оказались выполненными. Это нисколько не уменьшает заслуги того, кто делает открытие, поскольку многие из его современников также располагают теми знаниями, которые делают возможным открытие, а они его все-таки не делают. Тем не менее тот факт, что открытие стало возможным в некоторой атмосфере, благоприятствующей его появлению, объясняет, почему в истории наук часто случается, что одна и та же новая идея почти одновременно приходит в голову различным исследователям, хотя она может прийти в более или менее различных, в более или менее точных или несовершенных формах. Это дает повод для столь многочисленных споров о приоритете, которые, к сожалению, часто обостряются из-за личного соперничества и национальной чувствительности. История наук в принципе должна быть в состоянии разрешать эти спорные вопросы приоритета, но она не всегда может их решить определенно; впрочем, самое беспристрастное решение, чтобы каждому воздать должное, часто должно быть весьма тонким решением.

Часто подчеркивается роль случая в научных открытиях, даже в очень важных научных открытиях. Как не вспомнить при этом известный случай с Анри Беккерелем, выяснявшим в 1896 году по предложению Анри Пуанкаре следующий вопрос: не излучают ли рентгеновских лучей соли урана, ставшие флуоресцирующими под воздействием солнца; проверяя эту гипотезу, Беккерель обнаружил, что в этих условиях соли урана испускают интенсивное неизвестное излучение, и наконец случайно заметил, что это неизвестное излучение испускается солями урана и тогда, когда они не выставлялись на солнце. Весьма поучительно, что

таким образом могло быть сделано такое важное открытие, как открытие радиоактивности. Упомянем еще Девиссона и Джермера, которые, работая инженерами-исследователями в одной американской промышленной лаборатории и занимаясь в основном вопросами технического применения электроники, неожиданно обнаружили в 1927 г., не стремясь к этому, явление дифракции электронов на кристаллах и лишь впоследствии, ознакомившись с идеями волновой механики, поняли фундаментальный физический смысл своего открытия. Точно так же случайно в 1928 году Александр Флеминг первым наблюдал разрушительное действие, оказываемое некоторыми микроскопическими грибками на колонии стафилококков; это наблюдение явилось первопричиной открытия антибиотиков и их столь важного применения в терапии.

Наряду с открытиями, которым благоприятствовал случай, имеются открытия, которым случайные обстоятельства помешали. Одним из наиболее известных примеров этого является пример Ампера, упустившего возможность открыть электромагнитную индукцию (это открытие несколько лет спустя прославило Фарадея). Анализ этого примера можно найти в книге Татона. Почти всегда в случаях такого рода открытие не было сделано или открытие запоздало потому, что у того, кто мог бы его сделать, существует некоторая закоснелая тенденция или некоторая предвзятая идея, которая ему мешает представить ситуацию в истинном свете или сделать решающие сопоставления; таким образом, гениальное прозрение не наступает. Ампер не открыл индукцию, видимо, потому, что в данном случае правильно истолковать наблюдаемые факты гениальному физику мешало стремление связать возникновение электрических явлений с *наличием* магнитного поля, тогда как в действительности они связаны с *изменением* магнитного поля. Несколько лет назад, в связи с изучением трудов Анри Пуанкаре по математической физике, я особенно заинтересовался еще одним случаем несостоявшегося открытия. Как случилось, что Анри Пуанкаре, который серьезно размышлял об относительности физических явлений, прекрасно знал преобразования Лорентца и пользовался в 1905 году существенными результатами релятивистской кинематики и динамики, упустил возможность осуществить их великий синтез, обессмертивший имя Альберта Эйнштейна? Мне кажется, что я ответил на этот вопрос, когда писал: «Он (Пуанкаре) занимал довольно скептическую позицию в отношении физи-

ческих теорий, считая, что вообще существует бесчисленное множество различных, но логически эквивалентных точек зрения и образов, которые ученый выбирает лишь из соображений удобства. Этот номинализм, видимо, иногда мешал ему правильно понять тот факт, что среди логически возможных теорий имеются, однако, теории, которые наиболее близки к физической реальности, во всяком случае, лучше приспособлены к интуиции физика и более пригодны содействовать его усилиям». Если эта точка зрения верна, то именно эта философская склонность его ума к «номиналистскому удобству» помешала Пуанкаре понять значение идеи относительности во всей ее грандиозности!

Итак, все несостоявшиеся открытия, видимо, связаны с ошибочной оценкой. Можно было бы найти в трудах всех ученых, в том числе и самых крупных, и другие ошибки. Было бы интересно их исследовать и установить их источник и их последствия. Вот еще какую службу может сослужить история наук в деле анализа психологии научного исследования. Впрочем, всегда полезно поразмыслить над ошибками, сделанными великими умами, поскольку они часто имели серьезные основания, для того чтобы их сделать, и, поскольку эти великие умы всегда обладают проникновенной интуицией, возможно, что их утверждения, сегодня рассматриваемые как ошибочные, завтра окажутся истинными. Ниже мы приведем пример этого.

С рассмотренными нами вопросами, видимо, могли бы быть связаны многие другие вопросы, например вопрос о роли, которую играла в прошлом и все более и более играет в настоящем коллективная работа. Бесспорно, что условия экспериментальной работы в современных науках делают коллективную работу полезной и даже необходимой и что, следовательно, эта форма работы должна развиваться. Однако мне кажется, что этот факт не должен привести к недооценке значения индивидуальной работы в большинстве теоретических исследований, а также в области экспериментальных исследований. Что касается меня, то я думаю, что самые решающие успехи науки в будущем, так же как они были и в прошлом, будут результатом индивидуальных усилий, потому что гениальное прозрение, даже в своей наиболее скромной форме, всегда, по существу, индивидуально.

В заключение настоящего параграфа отметим, что интерес вызывают и биографии ученых; биографии знакомят

с их жизнью, их деятельностью, их характером и привычками. В них иногда бывают отражены анекдотические моменты, иногда весьма забавные, истории наук, из которых можно подчас извлечь различные уроки.

3. *История наук как драгоценный источник сведений о механизме научного прогресса и законах его развития.* Мы только что видели, какие уроки можно извлечь из истории наук относительно психологии ученого. Конечно, еще более интересные уроки, хотя в некоторой степени зависимые от первых, можно извлечь из истории наук относительно эволюции научного прогресса как такового.

Первым впечатлением, которое можно вынести из истории наук по этому поводу, является впечатление о солидарности сменяющих друг друга поколений исследователей в работе по возведению здания науки. Каждое поколение получает в наследство от своих предшественников посредством устного или письменного обучения совокупность знаний, дающую ему возможность в свою очередь приступить к созидательной работе, которая позволит ему обогатить свои знания и передать впоследствии приумноженное наследство тем, кто за ним следует. Так от поколения к поколению возрастает совокупность фактов, установленных путем наблюдений или эксперимента, и совокупность представлений или теорий, служащих для их истолкования или предвидения новых фактов. Таким образом, по мере своего развития наука снабжает себя средствами, в которых она нуждается, с одной стороны, создавая или совершенствуя необходимые ей измерительные приборы и установки, с другой стороны, создавая новые представления и разрабатывая новые методы рассуждений или расчета. Таким образом, наука непрерывно кует новое материальное и духовное оружие, позволяющее ей преодолевать встающие на пути ее развития трудности, открывать для исследования неразведанные области. Тогда становится понятно, как нужно объяснять до некоторой степени экспоненциальный характер развития науки и ее применений. По этой причине для истории наук, более чем для любой другой отрасли истории, характерно развитие с постоянным «ускорением», которое не может нас не поразить, когда мы думаем о все более и более быстром развитии современной цивилизации (Д. Алеви).

Конечно, этот взрывной характер развития науки великолепен и может вызвать энтузиазм, но не таит ли он в себе

и некоторых опасностей? Одной из них, безусловно, является возрастающая сложность получаемых результатов, которая все более и более затрудняет ориентацию даже в узкой области научного знания. Из этого следует все возрастающая специализация, а она влечет за собой разрушение мостов между различными дисциплинами и даже между различными разделами одной и той же науки и, следовательно, может затруднить построение таких сопоставлений, таких аналогий, которые, как мы уже видели, часто приводят к великим открытиям. Против этого распыления усилий, ведущего к созданию непроницаемых перегородок, можно попытаться бороться путем увеличения числа научных публикаций и личных контактов между исследователями. Но научные публикации, выходящие в настоящее время на очень многих языках, столь многочисленны, что очень трудно за ними всеми уследить даже в узкой отрасли науки, а различные контакты между исследователями, устанавливаемые посредством коллоквиумов, заседаний научных обществ, семинаров и т. д., также становятся все более и более многочисленными, но при этом также происходит распыление усилий, определенное разбазаривание времени, которое могло бы подчас быть с большей пользой израсходовано на работу в лаборатории или на плодотворные личные размышления. Все это представляет довольно серьезные проблемы, остро встающие на данной фазе развития наук.

При анализе основ научных концепций, позволяющих истолковывать явления природы и реакции различного рода умов на эти научные концепции, можно заметить, я так считаю, что число этих концепций и позиций довольно ограниченно. Мы уже говорили, что теоретики в науке делятся на абстрактные умы, которые любят аксиоматику и дедуктивный вывод, недолюбливают наглядные образы и зачастую склонны уменьшать роль объективности и реальности внешнего мира, и на интуитивные умы, склонные к образным представлениям и смелой индукции, чуждые чистого формализма и убежденные в реальности и объективности внешнего мира. Конечно, можно было бы обнаружить промежуточные звенья между этими двумя категориями умов и разделить каждую из этих категорий на более мелкие, но это дает в общей сложности лишь небольшое число действительно различных тенденций. А эти немногочисленные тенденции имеют в своем распоряжении также ограни-

ченное число концепций, причем каждая выражает их сообразно своим предпочтениям и на своем языке. Эти концепции, видимо, могут быть сведены к некоторым противоречивым идеям, из которых самыми известными, без сомнения, являются идеи непрерывности и дискретности. Противоречию непрерывного и дискретного в механике соответствует противоположность материальной точки и непрерывной жидкости, в физике — противоречие частицы и поля, в биологии — противоречие эволюции и мутации.

Таким образом, заключенная в довольно узкий круг тенденций и представлений, теоретическая наука могла бы на первый взгляд оказаться обреченной на вечное движение по кругу, причем различные типы истолкований поочередно появлялись бы, исчезали и снова появлялись. К счастью, это пессимистическое суждение неверно. Если концепции и появляются вновь, то они появляются обогащенными новыми чертами, применимыми к более широким областям экспериментальной действительности, обогащенными в процессе синтеза. Прогресс науки нельзя сравнивать с круговым движением, которое нас все время возвращает в одну и ту же точку; скорее он сравним с движением по спирали; движение по спирали периодически приближает нас к некоторым уже пройденным стадиям, но не следует забывать, что число витков спирали бесконечно и что витки увеличиваются и поднимаются вверх.

Впрочем, было бы неправильно говорить, как иногда говорят пессимистически настроенные умы, что научные теории последовательно терпят крах. Когда какой-либо теории действительно удалось правильно истолковать одну область физической реальности, то установленные ею соотношения, обоснованные ею методы точного предвидения всегда оказываются, надлежащим образом перенесенные и переистолкованные, в сменяющих ее новых теориях. Принципы старой термодинамики нашли свое место в более широкой теории, которую представляет собой статистическая термодинамика; истолкование интерференции и дифракции, полученное Френелем в рамках волновой теории колеблющегося эфира и блестяще подтвержденное экспериментом, нашло свое место в электромагнитной теории Максвелла и должно сохраниться во всех синтетических теориях, которые пытаются или попытаются объяснить двойственный волновой и корпускулярный характер излучения, вводя квантовые концепции.

Развиваясь по спирали, научная мысль в то же время фактически имеет тенденцию к осуществлению синтезов, в которых сочетаются представления, вначале могущие казаться противоречивыми. Примером этого, в частности, может служить вызывающая живой интерес история борьбы корпускулярных и волновых концепций в теории света. Физика в объяснении структуры света склонялась то к чисто корпускулярному истолкованию, то к чисто волновому истолкованию; на современной фазе развития физика снова вернулась к корпускулярной идее в результате открытия фотоэлектрического эффекта и аналогичных явлений (например, эффекты Комптона и комбинационного рассеяния). В этом хорошо проявилось движение по спирали, периодически приводящее к уже встречавшимся представлениям. Но так как для истолкования явлений необходимо сохранить формулы волновой оптики, стало необходимо одновременно с воскрешением представлений о частицах света искать синтетическую точку зрения, которая так или иначе в полной теории излучения примирила бы существование частиц с понятием световых волн. В 1926—1927 годах я нашел способ осуществления этого синтеза, при котором соблюдалось бы строгое описание волн и частиц в рамках пространства и времени. Но позднее физики-теоретики отдали предпочтение другой синтетической теории, основанной на идее, предложенной Бором, о «дополнительном» характере волн и частиц. Из-за трудностей, возникших при разработке моих первоначальных концепций, я длительное время разделял это истолкование, но в последние годы у меня опять появились на этот счет сомнения, и я поставил вопрос: нельзя ли найти истинную синтетическую теорию, в конце концов, на пути, указанном в свое время мною, или по крайней мере на аналогичном пути. Каковы бы ни были мнения по этому поводу, очевидно, что для примирения картин, которые на первый взгляд могли представляться непримиримыми, необходима синтезирующая точка зрения. Конечно, подобные примеры можно было бы найти и в других отраслях науки, как в настоящем, так и в будущем. Например, мне не представляется невозможным примирение биологических концепций, а именно концепций эволюционной теории о непрерывной эволюции и внезапных мутациях, к которым поочередно питают симпатии специалисты; несомненно, однажды будет осуществлен их синтез, в котором они найдут свои места.

Чтобы дать еще один пример, заимствованный из современной физики, пример более или менее явного возврата научной мысли к представлениям, казавшимся оставленными, я упомяну вопрос о «спине» электронов и других элементарных частиц. Известно, что многие физики, в том числе Декарт в XVII веке и в более разработанной форме лорд Кельвин в XIX веке, пытались представить элементарные частицы как нечто аналогичное маленьким «вихрям». Эти представления позднее были отброшены как слишком грубые или как бесплодные. Тем не менее тот факт, что современные физики были вынуждены ввести в качестве существенной характеристики электрона и других элементарных частиц какой-то вид внутреннего вращения, который они назвали «спином», является фактом повторного появления несколько похожего представления. Но даже в рамках современной квантовой физики, которая желает оставаться чисто формальной и систематически отбрасывает любую наглядную картину, теория электрона со спином, созданная Дираком, и теории, обобщающие ее для частиц с высшим спином, видимо, неявно содержат нечто аналогичное представлению о вихревом строении элементарных единиц вещества (и даже фотонов), и если бы однажды вновь заговорили о теориях более конкретного характера, вполне возможно, что попытались бы вернуться, конечно, в более богатой и более разработанной форме, к образам, сходным с образами, выдвинутыми в свое время такими людьми, как Декарт или Кельвин.

Конечно, можно было бы привести и другие примеры этого движения научной мысли по спирали, которое время от времени приводит к повторному появлению, казалось бы, отживших концепций и стремится вновь вернуться в рамках более широких теорий, казалось бы, к взаимоисключающим образам. В этом одна из причин того интереса, который всегда представляет внимательное чтение трудов великих творцов науки. Их реакция на поставленные природой проблемы всегда является поучительной, и редко в их интуитивных суждениях нет чего-либо правильного. Как можно перечитывать без волнения сегодня те главы «Оптики» Ньютона, где гениальный ученый, с истинным предчувствием этой необходимости примирения корпускулярной концепции и волновой концепции света, которая стала мукой теоретической физики XX века, развивает свою теорию «приступов», в которой «зерна света» связы-

ваются с распространением волн, что позволяет истолковать интерференцию (кольца Ньютона). Может быть, под названием «длина приступа» следует рассматривать величину, родственную длине волны? А разве в другой отрасли науки задолго до Ламарка и Дарвина не заметил Бюффон основных черт эволюционной теории?

При ознакомлении с историей наук, естественно, возникает следующий вопрос: за последние два столетия наука развивается крайне быстро; следует ли ускорение прогресса науки приписать, по крайней мере частично, повышению степени умственного развития людей? Другими словами, более ли умны современные ученые, чем их предшественники? На этот вопрос, естественно, трудно ответить с уверенностью, однако мне кажется, что из скромности мы должны дать скорее отрицательный ответ.

Мне не кажется, что за немногие столетия, отделяющие нас от исторических времен глубокой древности, человеческий мозг успел бы претерпеть заметную эволюцию, которой могло бы соответствовать бурное развитие наших умственных способностей. Впрочем, при чтении трудов античных мыслителей часто поражаешься живости их ума, их умению глубоко и тонко рассматривать проблемы. Если бы мы оказались в тех же условиях, что и они, с таким же зачаточным запасом знаний, действовали ли бы мы лучше, чем они? На те же мысли наводит изучение того решающего периода истории с XV по XVIII век, в течение которого сформировалась современная наука. В эту эпоху люди, не знавшие ни понятия вектора, ни алгебраических или тригонометрических методов, ни тем более способов анализа бесконечномалых, располагавшие совершенно зачаточными средствами наблюдения и эксперимента, смогли, однако, обнаружить фундаментальные истины, которые в конце концов преобразовали наше представление о мире и все человеческое производство. Для этого им понадобились величайшие творческие способности, которые, несомненно, мы не можем превзойти в настоящее время. В области теории они достигали своей цели в основном с помощью геометрических рассуждений; эти рассуждения нам сейчас представляются тяжеловесными и не очень изящными по сравнению с теми, которые мы можем теперь поставить на их место, но сколько потребовалось изобретательности для их построения и осознания их значения? Если вы хотите отыскать пример этого, то обратитесь к превосходному рассуждению, с помощью

которого голландец Стевин в конце XVI века проанализировал равновесие цепи, покоящейся на прямоугольном треугольнике с горизонтальной гипотенузой, и открыл, не отдавая себе полного отчета в этом, что вес является силой, представляемой вектором, составляющие которого заданы законом, ставшим сегодня классическим.

Почему же тогда мы более быстро и более уверенно помогаем развитию науки, чем наши предшественники, если они были столь же умны, как и мы? Несомненно, потому, что масса человеческих знаний непрерывно растет, потому, что с детства мы пользуемся понятиями и методами, которые нам иногда представляются простыми и очевидными, в то время как они были с трудом выработаны нашими предшественниками. Это утверждение позволяет нам говорить, в порядке заключения, об уроках истории наук с педагогической точки зрения.

4. *История наук и педагогика.*

Как мне представляется, история наук с точки зрения педагогики имеет двойной интерес: во-первых, потому, что ее изучение могло бы быть не без пользы включено в некоторые учебные программы, во-вторых, потому, что она может нам дать интересные указания о самом методе преподавания наук.

Введение истории наук в учебные программы, даже в программы школ второй ступени, на мой взгляд, было бы весьма желательным. Она может дать молодым умам представление об условиях, в которых развивалась наука, о ее прошлом и о ее будущем; она послужила бы полезным дополнением к научному образованию в узком смысле, а также была бы полезной при обучении истории, психологии и философии наук. Она позволила бы даже приобщить молодежь, слишком юную, чтобы приступить к рассмотрению некоторых сложных научных вопросов, или желающую по-другому построить свои занятия, к важным проблемам, представляя их в более живой форме какой-либо истории, имеющей часто забавную анекдотическую сторону.

Но, кроме той роли, которую она могла бы сыграть в школьных программах, история наук может дать нам полезные указания о методе преподавания наук. Ограничиваясь областью физики, я напомню, что в последние годы замечательные успехи электроники, атомной и ядерной физики побудили некоторых прийти к следующему выводу:

следует полностью перевернуть порядок изучения физики молодыми умами, так как прежде всего им следует дать наши новые знания о сокровенном строении вещества. Этот вывод, доведенный до логического конца, привел бы к изучению законов классической физики, то есть макроскопической физики, как следствий из представлений о строении вещества и электричества.

Конечно, в настоящее время полезно в начале физического образования давать учащимся некоторое представление об электронах, атомах и т. д. И, конечно, было бы логично, исходя из этих основ, вывести из понятий микрофизики классические законы макроскопической физики. Но, как мне кажется, этот метод нужно вводить лишь на высших ступенях физического образования. Введенный на ранней стадии обучения, он оказался бы неудобным и даже опасным. Конечно, микрофизика является захватывающей наукой, но не все ее разделы завершены, ее представления сложны и являются предметом споров между специалистами. Переход от микрофизических явлений к явлениям суммарным, изучаемым макроскопической физикой, можно осуществить лишь путем весьма тонких рассуждений (стоит вспомнить о трудностях, возникающих в статистической термодинамике, даже в ее старой и относительно простой форме Больцмана и Гиббса, при выводе на основе атомной гипотезы начал классической термодинамики!). Поэтому вряд ли разумно вводить подобный метод преподавания физики на уровне школы второй ступени или даже в начале высшего образования. Мне кажется, что на *этих уровнях* (я, естественно, не говорю о высших уровнях) основу образования, фактически формирующего молодые умы, должна составлять классическая физика с ее вполне установившимися представлениями и ее относительно простыми выводами.

Впрочем, имеется весьма веское основание (опять связанное с историей наук) не придерживаться в начальном обучении логического порядка, согласно которому следует изучать макроскопические явления на основе знания молекулярных явлений, а обратного порядка. В самом деле, при постепенном познании физических явлений люди придерживаются этого обратного порядка; *они необходимо должны его придерживаться*. Первыми физическими явлениями, установленными человеком, были явления, которые он мог воспринять непосредственно своими чувствами, без помощи каких-либо приборов или какого-либо теоретического истол-

кования; они по самой своей природе были макроскопическими явлениями. Классификация и истолкование этих явлений в рамках представлений, называемых ныне классической физикой, были связаны со значительными трудностями. Лишь много позднее, не далее чем полвека тому назад, человеку удалось косвенными методами, с помощью сложных приборов и непрерывного построения смелых теоретических концепций, открыть и изучить явления малого масштаба и создать атомную физику в широком смысле слова. Итак, как эмбрион живого существа проходит последовательные фазы, в основных чертах кратко повторяющие эволюцию вида, к которому он принадлежит, так и ум ребенка и молодого человека в некотором роде кратко повторяет историю человеческого ума. Ребенок интересуется исключительно макроскопическим миром, поскольку его он может познавать на основе своих ощущений и наивного опыта; сначала он будет иметь о нем неясное представление, которое станет ясным лишь тогда, когда у него разовьется способность к абстракции и обобщению. Молодой человек, приступающий к серьезному изучению физики, хорошо представляет лишь макроскопический мир. Нам кажется, что он должен продолжать переживать историю человеческого ума, изучая сначала физику макроскопического мира, то есть классическую физику. Затем, если у него есть к тому желание, он может попытаться выйти за пределы этой хорошо разработанной области и приступить к изучению более тонких и более рискованных умозрительных построений атомной физики. Поэтому мне кажется, что классическая физика должна сохранить ведущее место не только в элементарном физическом образовании, но даже в начальный период высшего образования. Замечания, которые я сделал по поводу физики, могут быть применимы, по моему мнению, и к другим наукам. При изучении всех отраслей научного знания молодой формирующийся ум сначала должен более или менее быстро пробежать главные этапы, которые человечество прошло, для того чтобы создать современную науку.

Заключение

Я попытался в настоящем докладе на нескольких примерах показать, какой интерес представляет история наук с различных своих сторон. Конечно, из нее можно было бы извлечь много других уроков, но я не претендую на исчерпывающее изложение этой достаточно богатой темы.

Я хотел бы закончить доклад одним замечанием, которое считаю весьма важным. История наук показывает нам науку в процессе постоянного развития, науку, непрерывно перерабатывающую и пересматривающую накопленные знания и их истолкование; она показывает нам прошлое, которое, несмотря на многие недостатки, подготавливает настоящее. Но мы никогда не должны забывать, что наша современная наука является лишь временной ступенью научного прогресса, что она сама, несомненно, изобилует недостатками и ошибками и что ее роль с этой точки зрения заключается как раз в подготовке будущего. Величайшей ошибкой, которую, кстати, очень легко допустить, было бы мнение о том, что современные представления науки являются окончательными. Часто люди справедливо восторгаются последними достижениями наук и хотят на их основе совершить чрезмерную и опасную экстраполяцию, тщетность которой будет показана будущим развитием науки. Мы никогда не должны забывать (история наук это доказывает), что каждый успех нашего познания ставит больше проблем, чем решает, и что в этой области каждая новая открытая земля позволяет предполагать о существовании еще неизвестных нам необъятных континентов. Я прочел недавно в статье Александра Арну следующую фразу: «Наш краткий опыт (он насчитывает едва несколько тысяч лет — секунда в истории видов) научил нас пока лишь немногому». Этот проникнутый скромностью вывод очень хорошо выражает наш взгляд на историю наук и наши размышления по поводу современных знаний.

УЧЕНЫЕ ФРАНЦУЗСКОЙ АКАДЕМИИ

Французская академия, наше старое и почтенное учреждение, никогда не была исключительно Академией словесности. Действительно, с момента основания ее в 1635 году кардиналом Ришелье она всегда объединяла в своих рядах людей, представляющих интеллектуальную элиту Франции и французскую мысль во всех ее аспектах. Если взглянуть на список ее членов, то мы увидим, что наряду с истинными литераторами, романистами, драматургами и поэтами, историками и философами, представителями церкви, армии, дипломатии, юриспруденции или политического красноречия в нем значатся и ученые. Сегодня я хотел бы посвятить свое выступление ученым Французской академии.

В настоящем очерке я оставляю в стороне несколько специфическую категорию врачей, не забывая, однако, что в прошлом членами Французской академии часто являлись известные врачи различных званий, например Литтре, и что они являются ее членами и в настоящее время. В равной степени я обойду молчанием длинный список имен щедрых меценатов, влиятельных министров и знатных вельмож, которые при старом режиме были почетными членами Академии наук, а также членами Французской академии, не будучи при этом настоящими учеными в современном смысле этого слова; среди этих имен можно найти хорошо известные имена кардиналов Дюбуа и Флери, министров д'Аржансона, Мальзерба и Ломени де Бриенна и маршала де Ришелье.

Напомним, что история Французской академии разделяется на два периода: первый — от ее создания в 1635 году до упразднения Конвентом в 1793 году, второй период — от ее восстановления в 1795 году, как одного из отделений нового Института Франции; этот период был отмечен в 1816 году восстановлением традиционного наименования Французской академии. Он длится до наших дней.

Итак, я перечислю ученых, которые были членами Французской академии с 1635 по 1793 год.

Собственно говоря, первые имена, которые нам встретятся, не являются именами ученых, деятельность которых оставила заметный след. Баше, господин де Мезирьяк (1581—1638), который состоял членом Французской академии со дня ее основания, хорошо знал математику своего времени, но в основном был грамматиком и эллинистом. Аббат Галлуа (1632—1707), который также был эллинистом и профессором греческого языка в Коллеж де Франс, был хорошим геометром и стал членом Академии наук немного спустя после ее создания в 1666 году Кольбером. Аббат Террассон (1671—1750), одновременно и эрудит, и философ, и математик, стал членом Академии наук в 1707 году, а Французской академии — в 1732 году.

Значительно более известен Фонтенель; Бернар ле Бовье де Фонтенель родился 11 февраля 1657 года и умер почти столетие спустя — 9 января 1757 года. Способный писатель, он не оставил работы большого научного значения; назначенный в 1667 году непременным секретарем Академии наук, он написал «Похвальные слова» покойным ученым, остающиеся образцом этого жанра академических упражнений.

Дорту де Мэран (1678—1771), который также дожил до преклонного возраста, с 1741 года был преемником Фонтенеля на посту непременного секретаря Академии наук и позднее стал членом Французской академии; он был видным математиком и физиком.

К середине XVIII века, как мы увидим, членами Французской академии стали значительно более известные ученые.

Назовем сначала Мопертюи. Пьер Луи Моро де Мопертюи (1698—1759) в 25 лет стал членом Академии наук; он руководил вместе с Клеро в 1736 году известной геодезической экспедицией в Лапландию. Ему мы обязаны одним из фундаментальных начал механики — принципом наименьшего действия; впрочем, он был им сформулирован туманно и метафизически, а истинный смысл его был понят лишь позднее. Приглашенный Фридрихом II возглавить Берлинскую Академию наук, он полемизировал там с Вольтером. Обладая парадоксальным, но не лишенным глубины умом, Мопертюи также и в биологии оставил после себя труды, оригинальность которых мы можем в настоящее вре-

мя лучше оценить: так, в своей книге «Физическая Венера» он изложил идеи, близкие к современным представлениям о наследственности.

Шарль Мари де ла Кондамин (1701—1774) стал членом Академии наук как химик; он сопровождал Бугера во время его знаменитой геодезической экспедиции в Перу, которая проводилась одновременно с экспедицией Клеро и Мопертюи в Лапландию. Будучи отважным путешественником, он объехал значительную часть Южной Америки и, сделав сообщение о том, что деревья из семейства гевеи дают эластичную смолу, явился одним из первооткрывателей каучука.

Бюффон (1707—1788) был великим натуралистом. Его часто недооценивали, но в настоящее время современная наука воздает ему должное. Будучи длительное время директором Королевского сада, ныне Музея естественной истории, он описал в труде огромных размеров все известные в то время виды животных. Несмотря на излишне вычурный стиль, он был крупным писателем и, можно сказать, автоматически стал членом Французской академии в 1753 году. Мысли его иногда были глубокими, и в своей книге «Эпохи природы», вышедшей в свет в 1778 году, он дал набросок родственных связей между существующими видами. Это делает его одним из предшественников эволюционной теории.

Жан Лерон, именуемый д'Аламбером (1717—1783), был одним из величайших умов своего века. Он был выдающимся математиком, внес прекрасный и основательный вклад в алгебру, астрономию и гидродинамику. Но особенно замечательную работу он проделал в механике; его труд послужил как бы соединительной чертой между трудами Ньютона и Лапласа; не следует забывать, что он установил в математической физике при исследовании колебаний струны волновое уравнение в его первоначальной форме. Став в 24 года членом Академии наук, д'Аламбер был избран во Французскую академию в 1753 году. В 1772 году он стал ее непременным секретарем. Известно, что он принимал участие в общем развитии идей этого периода XVIII века и вместе с Дидро сыграл большую роль в деле издания Энциклопедии, к которой написал введение, носящее название «Вступительное слово». Д'Аламбер является одной из великих фигур «века просвещения».

Байи (1736—1793) и Кондорсе (1741—1794) являются менее крупными учеными. Первый за свои хорошие работы

в области астрономии в 26 лет стал членом Академии наук. Затем он писал по различным социальным и экономическим вопросам; его репутация писателя открыла ему вход во Французскую академию в 1783 году. Безусловно, о нем мы мало вспоминали бы сегодня, если бы он не играл известной роли в начале революции 1789 года и если бы не был одной из невинных жертв террора. Что касается Мари Жана Антуана Никола Карита, маркиза де Кондорсе, то он блестяще дебютировал как математик и в 26 лет стал членом Академии наук. Сотрудник Энциклопедии, ум благородный и полный огня, он вскоре стал главным образом писателем и полемистом и был избран во Французскую академию в 1782 году. Он был последним из непременных секретарей старой Академии наук и влиятельным членом жирондистской партии; был вынужден покончить с собой, чтобы избежать гильотины после упразднения его партии Конвентом.

Феликс Вик д'Азир (1745—1794) занимался чисто научной деятельностью. Врач и известный анатом, профессор сравнительной анатомии в Эколь д'Альфор, член Академии наук с 1774 года, он занял место Бюффона во Французской академии в 1788 году. Не играл никакой политической роли во время революции и умер в разгар террора в июне 1794 года естественной смертью.

Перейдем теперь к ученым, которые были членами Французской академии с 1795 года. Здесь собрались крупные ученые.

Начнем с Лапласа. Пьер Симон Лаплас (1749—1827) стал в 24 года членом Академии наук; был великим творцом в области математики и ее приложений. Он проделал гигантскую работу: поставил на прочную основу математическую астрономию, которую великолепно изложил в своем большом труде по небесной механике. Лаплас был одним из главных создателей теории вероятностей; он внес огромный вклад во все отрасли математической физики. Будучи беспринципным в политических вопросах, Лаплас был революционером во время революции, министром, затем сенатором и графом Империи при Наполеоне, а после Реставрации стал маркизом и пэром Франции. Членом Французской академии он был с 1816 года. Его имя — одно из наиболее великих имен французской науки.

Жозеф Фурье (1768—1830), математик и физик, сопровождал Бонапарта в Египет. Будучи назначен во время

Империи префектом и бароном, он тем не менее продолжал свою работу и развил свою прекрасную «Аналитическую теорию распространения теплоты». Таким образом, он не только объяснил важнейшую категорию физических явлений, но и создал для этой цели математические понятия, ряды и интегралы Фурье, которые еще до сего дня не утратили своей величайшей полезности. В период белого террора находился некоторое время в немилости. Членом Академии наук он стал в 1816 году, ее непременным секретарем — в 1822 году и членом Французской академии — в 1826 году.

Кювье, барон Жорж Кювье (1769—1832), был одним из великих ученых той эпохи. Натуралист и преимущественно анатом, он создал своими замечательными работами об ископаемых животных палеонтологию как науку. Будучи непременным секретарем Академии наук с 1803 года, руководил Музеем и выполнял многочисленные административные обязанности. В состав Французской академии был избран в 1818 году.

Жан Батист Био (1774—1862), астроном и физик, был выдающимся ученым; он открыл много явлений в области оптики и электричества; в этих областях с его именем связано открытие многих важных законов. В 1800 году стал членом Академии наук. Позднее он заинтересовался изучением иероглифов, историей науки древнего Востока и был принят в члены Академии надписей и изящной словесности. Во Французскую академию был принят в 1856 году.

Мари Жан Пьер Флуранс (1794—1867) был видным физиологом, преподавал в Музее и в Коллеж де Франс, сделал ряд важных открытий. С 1883 года был непременным секретарем Академии наук и шесть лет спустя был принят во Французскую академию.

Жан Батист Дюма (1800—1884) был одним из создателей современной химии и ее применения в промышленности и фармацевтике; ему мы обязаны изучением большого числа органических веществ. Во время революции 1848 года и Второй империи играл важную политическую роль; в 1868 году стал непременным секретарем Академии наук, членом которой был с 1832 года, во Французскую академию был принят в 1875 году.

Клод Бернар (1813—1878) широко известен своими работами по физиологии и своими глубокими взглядами на любые жизненные явления. Он одним из первых понял роль и деятельность печени. Обладая философским умом,

изложил правила современной экспериментальной науки в своей замечательной книге «Введение в изучение экспериментальной медицины». В 1854 году стал членом Академии наук, в 1868 году — членом Французской академии.

Всему миру известно великое имя Луи Пастера (1822—1895). Химик и минералог, не получивший медицинского образования, он преобразовал своими открытиями медицину. Глубокие исследования оптически активных веществ привели его к необходимости изучения микроорганизмов и послужили основой для его теории о роли микробов в возникновении инфекционных болезней, которая революционизировала все наши медицинские представления. Открытие и успех вакцины против бешенства явились вершиной его славы. Став членом Академии наук в 1862 году, Пастер был принят Ренаном во Французскую академию в 1881 году.

Пастер — человек большого сердца и высоких моральных качеств — несмотря на слабое здоровье был страстным тружеником. Пастер — один из тех ученых, какими по праву гордится французская наука.

Жозеф Бертран (1822—1900) был замечательным и рано созревшим математиком: в 34 года стал членом Академии наук. В его работах рассматривались вопросы геометрии, анализа, механики, теории вероятностей, математической физики. Обладая настоящим литературным талантом, он в 1874 году стал непременным секретарем Академии наук и десять лет спустя был избран во Французскую академию.

Марселен Бертело (1827—1907) оставил заметный след в истории химии, поскольку первым показал возможность изготовления в лаборатории органических соединений, синтез которых до того времени считался уделом «жизненной силы». Будучи великим химиком, применил к своей науке законы физики и был одним из основателей термохимии. Он посвятил также ряд любопытных статей деятельности средневековых алхимиков. Членом Академии наук стал в 1873 году, через шестнадцать лет был избран ее непременным секретарем. После кратковременной деятельности на политическом поприще он стал в 1900 году членом Французской академии.

Анри Пуанкаре (1854—1912) был величайшим математиком современности. Будучи совсем молодым, он прославился своим открытием фуксовых функций. Обладая

неимоверной работоспособностью, он выполнил ряд замечательных работ во всех областях математики, механики, астрономии и математической физики. Глубокий мыслитель, обладавший очень острым критическим умом, он написал ряд книг по философии науки, которые известны повсюду. В 30 лет стал членом Академии наук, в 1908 году перед ним открылись двери Французской академии. Это был величайший ученый.

Эмиль Пикар (1856—1941) был виртуозом в области математического анализа и его приложений в механике и физике. В 22 года прославился в научных кругах благодаря своему открытию двух замечательных теорем, носящих его имя, и в 33 года стал членом Академии наук. Обладая универсальной культурой и острым критическим умом, он написал много книг по философии науки. Начиная с 1916 года, в качестве непременного секретаря Академии наук, он написал большое количество прекрасных академических заметок. Членом Французской академии стал в 1924 году; я имею честь быть его преемником с 1944 года. Это позволило мне встретиться здесь с моим старшим братом Морисом, физиком, хорошо известным своими работами по рентгеновским лучам и атомной физике, который занял место среди сорока бессмертных за десять лет до этого.

Я перечислил профессиональных ученых, которые начиная с 1795 года были членами Французской академии. К ним следует добавить ряд лиц, обладающих большой научной культурой. В первом списке состава Отделения словесности Национального института в 1795 году рядом с доктором Кабанисом, врачом, физиологом и автором смелых философских теорий, находится Бернарден де Сен-Пьер, знаменитый автор «Поля и Виргинии», который некоторое время был управляющим Музея естественной истории. Позднее во Французскую академию входили: граф Дарю—математик и писатель, который был министром Наполеона I; Фердинанд де Лессепс — великий инженер, проложивший Суэцкий канал; адмирал Жюрьян де ла Гравьер — известный моряк, ученый и географ; Шарль де Фрейсине — в основном известный своей политической деятельностью во время Третьей республики, он окончил Эколь политекник, в начале своей деятельности был инженером, написал достойные внимания труды по философии науки; наконец, маршал Фош — славный победитель в войне 1914—1918 годов, которого Французская академия, как и Академия наук, сочла

за честь принять в свои ряды и который также был воспитаником Эколь политекник[1].

В заключение хочу отметить огромную роль, которую играет наука в современном обществе. В области умственной деятельности она приносит новые идеи, открывает новые перспективы, которые постоянно преобразуют наше воззрение на природу и вселенную. Что касается практической стороны, то применение научных открытий как в области промышленности и сельского хозяйства, так и в области физиологии, медицины и хирургии имеет все возрастающее значение в развитии человеческой цивилизации. Наука является одной из величайших сил, от которых зависят наше настоящее и наше будущее.

Поэтому Французская академия, в которой по традиции представлены наиболее активные умственные силы нашей страны, должна, более чем когда-либо, предоставлять в своем лоне представителям науки такое место, какого они заслуживают.

---

[1] После того, как был написан этот очерк, членом Французской академии был избран Жан Ростан; его имя следует присоединить к только что перечисленным мною.

ФРАНЦУЗСКИЙ ЯЗЫК КАК СРЕДСТВО ВЫРАЖЕНИЯ НАУЧНОЙ МЫСЛИ[1]

Верная наставлениям Рене Декарта, научная мысль непрерывно стремится к ясности и точности. Поскольку она подвержена слабостям, присущим человеческой природе, быть может, это ей не всегда удается, но таков ее идеал. В таких наиболее абстрактных и наиболее разработанных отраслях науки, как математика и естественные науки, где можно успешно применить математический подход к проблемам, наука вынуждена пользоваться особым языком, символическим языком, своего рода стенографией абстрактной мысли, формулы которой, когда они правильно записаны, по-видимому, не оставляют места ни для какой-либо неопределенности, ни для какого-либо неточного истолкования. Но даже в тех отраслях, где его можно использовать, и особенно в прочих отраслях, символический язык с его суховатой точностью не дает научной мысли все те выразительные средства, которые ей необходимы, и поэтому даже в работах, почти целиком состоящих из математических формул, текст, написанный обычным языком, сохраняет всю свою важность и позволяет прослеживать во всех ее тонкостях мысль автора и понять истинное значение полученных им результатов.

Почему это так? Не следует ли думать, что, по крайней мере в некоторых областях, математического языка со всей его прозрачной ясностью должно хватить для передачи мысли ученого, всегда жаждущего точности? Причины этого очевидного парадокса глубоки, и на эту тему можно было бы говорить очень долго. Мы коснемся лишь двух сторон этого вопроса. Математический язык является чисто дедуктивным, он позволяет строго выводить следствия из посылок. Эта строгость, являющаяся его силой, является также его слабостью, поскольку она замыкает его в круг, за пределы

[1] Речь, произнесенная на конгрессе Французского альянса 28 марта 1956 года.

которого он не может больше выйти. Математическое рассуждение должно установить следствия, которые уже содержатся в посылках, не будучи еще очевидными; следовательно, оно не может дать в своих выводах ничего более того, что содержится неявно в исходных гипотезах. Если бы дело обстояло иначе, то можно было бы допустить какую-либо ошибку в ходе расчетов! В силу своей строгой дедуктивности математический язык позволяет детально описать уже полученные интеллектуальные ценности; но он не позволяет получить что-либо новое. Итак, не чистые дедукции, а смелые индукции и оригинальные представления являются источниками великого прогресса науки. Лишь обычный язык, поскольку он более гибок, более богат оттенками и более емок, при всей своей относительной неточности по сравнению со строгим символическим языком позволяет формулировать истинно новые идеи и оправдывать их введение путем наводящих соображений или аналогий. Даже в ходе чисто дедуктивных аналогий обычный язык позволяет выразить замечания или комментарии, способные развить полученные результаты и выявить их нюансы и возможные последствия.

Итак, даже в наиболее точных, наиболее разработанных областях науки применение обычного языка остается наиболее ценным из вспомогательных средств выражения мысли. Тем более это справедливо, например, для естественных и биологических наук, в которых использование символического языка и по сей день представляет собой исключение. В настоящее время уделяется много внимания, и небезосновательно, ознакомлению широких кругов общества с фундаментальными представлениями и существенными достижениями современной науки; в этой пропаганде научной мысли роль обычного языка весьма существенна, и нужно хорошо владеть всеми его средствами, если желательно в строгой форме донести до культурной аудитории, но не до аудитории специалистов, сложные проблемы. Значение языка, используемого учеными для передачи их мыслей, его качества, его гибкость, таким образом, вполне очевидны.

Итак, различные языки, на которых говорит в настоящее время население земного шара, обладают с этой точки зрения весьма различными достоинствами и недостатками. Современное состояние этих языков, их структура, их способность передать оттенки мысли или чувства являются результатом длительного исторического развития. Весьма

разнообразные факторы — географические, этнические и лингвистические — определяли их рождение и развитие; они отражают всю материальную и духовную историю народов, которые их употребляют. На некоторых из них говорят народы, цивилизация которых находится в зачаточном состоянии или развивается с большим запозданием; они мало пригодны для выражения тонкостей мысли; другие языки, употребляемые группами людей, более склонными к созданию фантастических образов или символических аллегорий, чем к строгости логических рассуждений, с трудом пригодны для изложения научных идей.

Даже среди языков, используемых нациями, которые можно считать находящимися на вершине развития современной цивилизации, с этой точки зрения можно заметить явственные различия. Одни языки обладают сложной грамматической структурой, но легко допускают образование сложных слов или новых прилагательных и легко выражают мысли в виде длинных фраз с обилием вводных предложений. Эти языки очень хорошо приспособлены для не очень точного, но глубокого выражения великих философских доктрин, а также для детального разбора, иногда немного тяжеловесного, но зачастую весьма поучительного, того или иного раздела науки. Другие языки, с укороченными грамматическими формами, с особенно простым синтаксисом, являющиеся словесным инструментом, созданным народами с прагматической склонностью к действию и к действенности, превосходно приспособлены для выражения научных идей в ясном и сжатом виде, выработки строгих правил предсказания явлений и воздействия на природу, не особенно заботясь при этом о проникновении во все ее тайны.

Среди этих средств выражения мысли французский язык занимает своеобразное и в некотором роде промежуточное положение. Его взыскательная грамматика, его достаточно строгий синтаксис до некоторой степени обуздывают фантазию и чрезмерное воображение. Менее гибкий, чем другие языки, он отводит словам внутри фразы почти совершенно определенное место и с трудом допускает инверсии, которые, сближая некоторые слова или выделяя их, позволяют получить неожиданные эффекты и дают в некоторых языках, например в латинском, возможность добиться необычных по красоте контрастов. Далее, французскому языку чужды длинные периоды, перегруженные вводными предложения-

ми, что также лишает его некоторых возможностей. Конечно, многие авторы, и не плохие, талантливо использовали, однако, стиль такого рода, но это скорее говорит об их искусности, так как этот стиль не вполне соответствует духу французского языка. Но если этот язык, может быть, менее других подходит для выражения, с помощью различных приемов построения предложения, волнующих контрастов или для основательного исследования, с помощью фраз с обилием придаточных предложений, темных лабиринтов сложной мысли, он обнаруживает свое явное преимущество, когда необходимо выражаться точно, следуя прочной нити логического рассуждения, цепочке ясных и четких представлений. И не случайно мне хочется произнести слова, которые снова неизбежно вызывают в памяти великий образ Рене Декарта, так как этот глубокий философ (он написал «Рассуждение о методе» и был также, не нужно об этом забывать, великим ученым, создателем аналитической геометрии) принадлежал к тому французскому XVII веку, одной из существенных особенностей которого было то, что он был веком разума. Итак, французский язык, который в XVI веке, грубый и сочный, еще искал для себя путь развития, установился в течение XVII и XVIII веков в форме, которая почти не изменилась с того времени. В XVII веке, в эпоху первого великого взлета современной науки, все великие мастера классической французской литературы были «людьми разума». Они всегда стремились сделать выводы, доказать и убедить, и вместе с тем они стремились создать из языка, употребляемого ими, инструмент, вполне приспособленный для выражения ясных и четких представлений. И французский язык складывается в это время, обретая свою рациональную форму. Затем наступает XVIII век, век преклонения, до романтической реакции, перед рациональностью, даже рационализмом, век, более, чем предыдущий, пронизанный критическим духом, часто с примесью скептицизма и иронии. Наш язык, полностью сохраняя свою способность к передаче дедуктивной мысли, станет теперь еще более тонким в анализе мысли и еще более гибким в передаче нюансов. И в течение этого века просвещения, века быстрого развития всех математических, физических и естественных наук и их приложений, научный французский язык станет великолепным инструментом, способным выполнить самые сложные задачи. В этом, несомненно, одна из причин (конечно,

имеются и другие), обеспечивших Франции весьма блестящую роль в прогрессе наук в течение пятидесятилетнего периода, с 1780 по 1830 год, периода, который ознаменовался взлетом научной мысли в нашей стране. От Лавуазье и Кулона до Огюстена Френеля, Андре Мари Ампера и Сади Карно, включая Лапласа, Лагранжа, Гаюи, Ламарка, Коши, Фурье и многих других,— в этом поразительном списке имен великих французских ученых того времени можно найти имена ученых, стоящих у истоков всех главных отраслей современной науки. Достаточно прочитать их главные произведения, чаще всего написанные классически строгим стилем, чтобы понять, в какой степени их гениальной мысли помогал в ее творчестве прекрасный инструмент выражения, предоставленный ей французским языком, сложившимся в предыдущие столетия.

Как известно, за последние сто пятьдесят лет развитие науки стало еще более ускоренным. В этом бурном развитии Франция, вступившая в соперничество со всеми прочими великими цивилизованными странами, не перестала играть первостепенной роли благодаря значению сделанных в ней открытий и блеску мысли ее великих ученых. Качества французского языка, безусловно, в значительной степени помогли ей удержать свои позиции, несмотря на соперничество, все более и более грозное, других великих наций, также являвшихся пионерами научного прогресса. Здесь возникает один вопрос, на котором интересно остановиться подробнее.

Очевидно, что язык, обладающий качествами французского языка, является особенно точным посредником в деле пропаганды научной мысли и великих открытий с помощью работ, предназначенных для довольно широких кругов общественности. Достаточно строгий, для того чтобы обеспечить без пробелов непрерывность рассуждения, достаточно гибкий, для того чтобы точно передать многочисленные нюансы, французский язык прекрасно подходит для строгой и доброкачественной «популяризации». Многие великие ученые также не гнушались иногда прерывать свои исследования или свои занятия и посвящали свое время написанию трудов такого рода. Для доказательства этого достаточно было бы назвать славные имена Клода Бернара и Анри Пуанкаре. Все помнят названия их трудов по философии науки. Но не только они, такие великие ученые, как Лаплас, Фурье, Кювье, Био, Жан Батист Дюма, Жозеф Бертран,

Марселен Бертело, Эмиль Пикар в прошлом, как и Бернар и Пуанкаре, были удостоены звания членов Французской академии за подобные заслуги. Если они смогли обеспечить своими книгами распространение научной французской мысли в нашей стране и вне ее, то, безусловно, такие качества нашего языка, как точность и прозрачность, позволили им добиться этого.

В более строгой области собственно научного исследования эти качества, конечно, способствовали тому, что Франция сохранила почетное место, которое она занимала. Разве не является хорошим и надежным проводником для ученого в его исследованиях язык, который с такой легкостью применяется и к логическим дедукциям и к кропотливому анализу и с таким трудом допускает неясность и неточность? Тот, кто редактирует научные мемуары, знает, какое неприятное впечатление оставляет чье-либо стремление выразить на французском языке неясные представления, и, перефразируя известный стих Буало, можно было бы сказать, что в нашем языке «то, что плохо понято, с трудом выражается, и слова для выражения этого подбираются с трудом». Итак, ученому, выражающему свои представления и открытия на французском языке, постоянно помогают качества языка, который стремится вывести его на прямую дорогу, если он отклоняется в сторону, и предохранить его от неточности или ошибки.

Тем не менее если для выражения новых идей или экспериментальных открытий важно иметь хороший инструмент, то еще более важно понять одни или осуществить другие. Может ли французский язык служить хорошим подспорьем в этой конструктивной работе? И в этом случае ответ будет утвердительным, и я хотел бы кратко сказать вам почему. Я часто размышлял об условиях, в которых совершаются великие научные открытия, и думаю, что их источником следует считать нечто вроде внезапного прозрения ученого; оно имеет своим условием сопоставление, аналогию, синтезирующую идею, которую ученый внезапно осознает. Это явление, описанное такими великими учеными, как Анри Пуанкаре и Макс Планк, есть то, что можно назвать «луч света», который внезапно освещает темное помещение; когда речь идет о великих открытиях, этот луч света есть «гениальное прозрение».

Итак, французы издавна имеют репутацию остроумных людей, и, может быть, эта репутация иногда немного вре-

дит им, так как остроумие в разговоре — это нечто, что может показаться несколько фривольным. Французский язык (его основы были заложены в эпоху, когда блестящие разговоры играли большую роль в общественных отношениях, и в частности в XVIII веке, веке Вольтера, Мариво, Бомарше) приобрел в большой степени способность использовать живые и краткие обороты речи, позволяющие передать все оттенки тонкой и остроумной мысли. Но вы мне скажете: какая связь между этой склонностью (зачастую бесплодной, а иногда раздражающей) «острить» и путями (со стороны они выглядят столь строгими) научного исследования? Однако эта связь существует. А что означает быть остроумным, как не быть способным устанавливать внезапно неожиданные сопоставления, поучительные или забавные? Живой язык, который легко приспосабливается к таким сопоставлениям, может благоприятствовать научному открытию и потому, что меткое высказывание иронизирующих и «внезапное прозрение» ученых в момент великих открытий, о котором я говорил выше, в сущности, являются различными, но родственными проявлениями гибкого ума. С этой точки зрения французский язык, столь же способный передавать быстрые интуитивные выводы и тонкие замечания проникновенного ума, как и излагать строгие рассуждения или кропотливые анализы, был и остается точным инструментом для выражения научной мысли.

Вышеизложенные и другие аналогичные соображения хорошо показывают, какие услуги использование французского языка может оказать и в действительности оказало людям науки. В XVII и XVIII веках, в эпоху, когда влияние Франции во всех областях было особенно мощным, французский язык играл преобладающую роль не только в дипломатии и международных отношениях, но и в обмене идеями, и в частности научными идеями, между избранными слоями общества всех стран. Заняв, таким образом, это привилегированное место, он сохранял его в течение более чем столетия. Но постепенно равновесие в цивилизованном мире нарушилось: Западная Европа не занимает в системе государств преимущественное положение, которое она занимала ранее, и положение Франции по сравнению со странами более обширными, более богатыми, с более развитой промышленностью, чем она, уже не такое, как прежде. Тем не менее французы продолжают оставаться умными людьми, с проницательным и находчивым умом, в частно-

сти способными развивать науку и ее приложения, и французский язык остается, как и в прошлом и по тем же причинам, превосходным инструментом для выражения научной мысли.

Все нации мира заинтересованы в том, чтобы французская научная мысль продолжала распространяться за пределы своей страны, во всей своей мощи и тонкости, присущих ей, и чтобы это распространение происходило с помощью этого гибкого и точного языка, который был языком Декарта, Клода Бернара, Анри Пуанкаре; Французский альянс призван защищать во всех странах позиции, завоеванные французским языком, и поддерживать тесные контакты французской мысли со всеми теми, кто ею восхищается и кто ее любит. Эту прекрасную работу нужно проводить с усердием во всех областях умственной деятельности. Но она особенно важна, когда речь идет о естественных науках. Если бы качества нашего языка перестали цениться по их достоинству и если бы, как следствие этого, идеи, приходящие из Франции, находили бы в мире лишь слабый отклик, погас бы великий источник интеллектуального света и научное наследие всех стран было бы обеднено навсегда.

ЭВОЛЮЦИЯ НАУЧНОГО ЯЗЫКА[1]

Живой язык, как все живые организмы, непрерывно развивается: он увеличивает свой словарь за счет введения новых слов и наряду с этим беднеет, поскольку некоторые слова, некоторые выражения выходят из употребления; так же постепенно развиваются его синтаксис и грамматические формы. Однако, несмотря на все изменения за время своего существования, живой язык, так же как и живые люди, сохраняет при всех этих видоизменениях не только определенную индивидуальность, но и некоторые характерные черты, некоторые качества и недостатки, придающие ему конкретную индивидуальность. Так, французский язык, со своим точным синтаксисом, своей неприязнью к длинным фразам со многими придаточными предложениями, с почти строго определенной расстановкой слов в предложении, в течение трех последних столетий оставался точным и ясным языком, инструментом, очень хорошо приспособленным к передаче логического развития мысли и дедуктивных рассуждений. И, может быть, потому, что он был выкован народом тонким и остроумным, он легко допускает живые и образные обороты речи, позволяющие ему, пропуская ненужные промежуточные звенья, внезапно делать неожиданные сопоставления; все это благоприятствует появлению смелых индуктивных выводов и глубоких интуитивных мыслей, которые всегда ведут к великим научным открытиям и самым замечательным изобретениям. И, несомненно, французский язык, медленно развиваясь, сохранил в течение трех последних веков эти различные способности потому, что имел в своем распоряжении несравненное средство выражения, которое французская наука могла все время блистательно использовать.

---

[1] Сокращенный текст выступления на общем собрании Общества содействия друзей естественных наук 13 июня 1956 года.

Но сейчас мы живем в период ускоренного исторического развития, в период, когда в связи с ростом научных открытий и быстрым их применением условия материальной и интеллектуальной жизни как таковые непрерывно и быстро развиваются. Более того, западная и средиземноморская Европа постепенно перестала быть центром человеческой цивилизации. Последняя медленно распространяется по всему земному шару, и во всех областях соотношение наличных сил оказалось ныне измененным. Это изменение положения сказывалось и с каждым днем все больше сказывается на развитии французского языка. Наводненный иностранными словами, которые даже не пытаются ассимилировать путем «офранцуживания», засоренный всякого рода плохо построенными выражениями и оборотами, введенными поспешно и некритически прессой, радио или нетребовательными писателями, французский язык подвергается сегодня большой опасности и рискует быстро испортиться; многие дальновидные умы уже указывали на эту опасность и пытались избежать столь печального упадка. Очевидно, что в нашу эпоху, более чем в какую-либо другую, язык должен развиваться и что он должен быстро обогащаться новыми словами, позволяющими выразить быстрый рост наших знаний и наших возможностей действия. Всякий чрезмерный пуризм, который попытался бы выступить против этого неизбежного следствия развития цивилизации, потерпел бы крах в борьбе против течения, которое он не мог бы преодолеть, и, отказываясь от попыток направить его, принес бы, в конце концов, больше вреда, чем пользы. Но обогащение французского языка, если оно и желательно и неизбежно, должно осуществляться разумным образом, так, чтобы сохранялась автономия языка и обогащение находилось в соответствии с основами и духом языка. Конечно, французский язык должен изменяться и развиваться, но он должен это делать, не утрачивая таких существенных качеств, как точность и связность; эти качества обеспечили в прошлом его успешное использование во всем мире и распространение идей, выразителем которых он был.

Не желая обсуждать эту серьезную проблему защиты нашего языка во всей ее общности, я хотел бы сказать несколько слов об особом подходе к рассмотрению научного языка. В этой области, более чем в какой-либо другой, французский язык ежедневно вынужден меняться и разви-

ваться потому, что наука ежедневно нуждается в новых словах для обозначения вводимых ею представлений, открываемых ею явлений, изобретаемых ею приборов. Было бы столь же вредно, сколь и бесполезно, пытаться помешать научному языку разрастаться, поскольку это разрастание является необходимым следствием все более настоятельной потребности в новых терминах для обозначения новых представлений. Но следует избегать того, чтобы это неизбежное разрастание происходило слишком беспорядочным образом, путем создания неточно определенных, неудачно образованных слов, что вызывало бы кривотолки или придавало бы словам двойной смысл; следует избегать слишком часто встречающегося буквального заимствования научных или технических терминов из иностранных языков, так как наш язык очень часто располагает всеми необходимыми средствами для создания эквивалентных терминов, дающих точный перевод. Необходимо, чтобы научный французский язык, непрерывно пополняясь и обогащаясь, сохранял, однако, такие качества, как точность и ясность (эти качества всегда обеспечивали ценность и изящество нашего языка), и не превращался в некорректный жаргон, претенциозный и тяжелый, перегруженный иностранными словами и непонятными сокращениями.

Борясь за чистоту и правильность научного французского языка, директор журнала «Ревю сьянтифик» Жан Дюгем несколько лет назад создал Консультативный комитет по вопросам научного языка; входящие в этот комитет ученые и языковеды выработали некоторые правила и дали некоторые советы. Позднее, для того чтобы в комитете были лучше представлены различные отрасли наук и чтобы его решения были более авторитетны, Жан Дюгем счел полезным передать комитет под эгиду Академии наук, которая с этим согласилась. Жорж Дюамель, заседающий во Французской академии в комиссии по составлению словаря, согласился вместе со мною руководить реорганизованным таким образом комитетом. В комитет, состав которого был расширен, входят теперь представители всех отраслей науки; кроме того, в его составе много языковедов. В состав секретариата комитета входят два секретаря «Докладов Академии наук», которые при обнаружении в поступающих в академию статьях новых терминов или новых выражений ставят вопрос о допустимости их в «Докладах» и, таким образом, непрерывно следят за развитием научного языка. Это

один из источников вопросов, рассматриваемых комитетом; кроме того, ряд вопросов выдвигается различными специалистами. Комитет поддерживает связь с некоторыми организациями, цели работы которых более или менее совпадают с целями его работы. Заседания комитета являются продолжительными и оживленными; на них утверждаются некоторые рекомендации; эти рекомендации после одобрения Академией наук должны публиковаться в ее «Докладах».

Естественно, комитет может давать лишь рекомендации; он не может претендовать на издание абсолютных законов, и у него, впрочем, нет жандармов, чтобы заставить соблюдать эти законы. Очевидно, что, несмотря на одобрение рекомендаций Академией наук, несмотря на распространение рекомендаций, которое обеспечивается их опубликованием в «Докладах» и при случае в других журналах, рекомендациям Консультативного комитета по вопросам научного языка не всегда будут следовать,— на этот счет не нужно строить никаких иллюзий. Тем не менее усилия, которые комитет прилагает для направления (без всякого стремления к ограничению) необходимого развития научного французского языка и для избежания анархии и путаницы, заслуживают поощрения и позволяют надеяться, что со временем эти усилия принесут плоды.

ТРУД ЛЮДЕЙ НАУКИ[1]

В настоящее время люди науки трудятся совсем в иных условиях, чем раньше. Если мы мысленно перенесемся на два или три столетия назад, то увидим, что в те времена многие ученые работали как любители и их профессиональные занятия были весьма далеки от научных исследований. Тогда Европа, пожалуй, была почти единственным очагом науки (в том смысле, в каком мы ее понимаем в настоящее время); поэтому проследить за развитием науки было бы довольно несложно. Но небольшое число публикаций, медленность средств сообщения, слабый интерес, проявленный широкими слоями общества к знаниям, которые к тому же почти не находили применения в повседневной жизни, во многом затрудняли обмен идеями и внедрение научных открытий.

Зачаточное состояние математических методов, недостаточность материальных средств, находившихся в распоряжении тех, кто хотел проводить эксперименты с помощью тогда еще несовершенной техники, создавали, впрочем, в те времена дополнительные трудности на пути научных исследований.

Однако именно в этих крайне неблагоприятных условиях были сделаны величайшие открытия, которые еще и по сей день являются основой всей нашей науки. Для их осуществления потребовались большие усилия, много умения, а зачастую и много изобретательности, так как в те времена почти совершенно не было основных теоретических представлений и приборов, необходимых для измерения и эксперимента. Следовательно, даже при таком состоянии цивилизации в то время великие научные открытия эпохи Возрождения и конца XVII века были сделаны учеными, работав-

---

[1] Сокращенный текст выступления на общем собрании Общества содействия друзей естественных наук 11 июня 1958 года.

шими в условиях некоторой изоляции, и в значительной степени явились результатом индивидуальных размышлений или наблюдений, протекавших зачастую в тишине и одиночестве.

С тех пор времена сильно изменились. Огромное развитие науки и промышленности в XIX веке и в первой половине XX века и те огромные преобразования, которые они вызвали в жизни цивилизованных народов, привели к громадным изменениям в условиях жизни и работы людей науки: вынужденные все более и более специализироваться ставшие почти все либо преподавателями, либо инженерами, все они в большей или меньшей степени вовлечены в круговорот беспокойной современной жизни.

Европа утратила положение единственной части света, где проводятся научные исследования; в настоящее время они проводятся во всем мире, их результаты быстро распространяются бесчисленным количеством периодических и иных изданий. Все возрастающее развитие средств сообщения способствует обмену идеями и личным контактам; с невероятной быстротой увеличивается число совещаний и конгрессов. Лаборатории оснащаются все более и более мощными средствами и по крайней мере в богатых и высокоразвитых странах превращаются в настоящие заводы. В этих лабораториях или институтах, в состав которых они входят, работа выполняется часто коллективами, объединяющими экспериментаторов, теоретиков и даже инженеров; деятельность исследователей во многих случаях направляется по заранее составляемому плану.

Очевидно, что все это облегчает проведение научной работы и что ученый, лучше информированный, лучше снабженный необходимыми инструментами, чувствующий поддержку своих коллег по работе, использует ранее неизвестные благоприятные условия, а также все возрастающие с каждым днем средства, предоставляемые ему современной цивилизацией.

Все это оправдывает законный оптимизм в отношении будущего науки.

А нет ли все-таки каких-нибудь темных мест в этой блестящей картине? Не сможет ли легкое беспокойство немного поколебать этот оптимизм? Я не буду здесь намекать на опасные последствия, которые могло бы иметь для людей нежелательное использование чудовищных сил, предоставленных в их распоряжение наукой; это иная проблема,

конечно, весьма важная, но сейчас я не хочу о ней говорить. Я хочу коснуться лишь прогресса науки как таковой.

Быстрота и множественность информаций, помимо своих положительных сторон, таят в себе и некоторые опасности. Научный работник часто чувствует себя погребенным под массой статей и монографий, выходящих во всех уголках земного шара; несмотря на помощь библиографий, ему чаще всего не удается ни прочитать их целиком, ни тем более поразмыслить над ними. Утопая в непрекращающемся потоке публикаций, он все время рискует запутаться в мелочах и упустить главное. Не будучи в состоянии разместить в помещениях, которыми он располагает, такую массу бумаг, он часто вынужден выбрасывать документы, создание которых потребовало больших трудов и часто больших издательских расходов. Отсюда подчас возникает впечатление об инфляции и избытке, которое может привести в состояние некоторой растерянности.

Работа в коллективе, по необходимости более или менее направляемая, имеет большие преимущества; в настоящее время во многих научно-исследовательских учреждениях она стала совершенно необходимой. Тем не менее руководство совместной работой требует большой осторожности: нельзя допускать, чтобы коллективный ум и направляемое исследование исключали оригинальность стремлений и независимость мысли; нельзя допускать, чтобы они приводили к созданию капелл верующих, где царят предвзятые идеи или непримиримая ортодоксальность. Хорошо, что существуют коллективы. хорошо, что они четко организованы, но столь же хорошо, что живут независимые исследователи, что в относительном одиночестве они могут свободно размышлять над проблемами и открывать новые пути исследования, чего никакой руководитель научного учреждения не в состоянии предусмотреть в своих планах работы.

Ученому желательно иметь возможность быстро передвигаться, быть в курсе научных новостей, сообщаемых по радио или в прессе, участвовать в съездах или торжествах, иметь возможность изложить свои мысли устно или письменно. Но как можно серьезно работать в лаборатории или за письменным столом, как можно глубоко размышлять над проблемой, если постоянно звонит телефон, если то и дело нужно прерывать начатую работу, для того чтобы ехать на какое-нибудь совещание или торжественное заседание, если все время нужно откладывать решение какой-либо

задачи, для того чтобы подготовить какое-нибудь выступление или написать какую-нибудь статью, часто серьезную и срочную, иногда поверхностную? Говорят, что, когда Ньютона спрашивали, как ему удалось сделать великие открытия, открытия, которые поставили на новую основу математику, механику, астрономию и физику, он отвечал: «Все время думал об этом». Если бы Ньютон жил в наше время и если бы беспокойная современная жизнь постоянно отвлекала его от размышлений, открыл ли бы он закон всемирного тяготения?

Но я не буду больше говорить об этом. Как я уже сказал, это лишь небольшие темные пятна на блестящей картине современной научной деятельности. Эти пятна существуют, но картина остается светлой. Так пожелаем же, чтобы гибкая и рациональная организация научной работы позволила сосуществовать четко организованным коллективам и свободному творчеству оригинальных исследователей и чтобы она позволила примирить новые требования современного мира с тем, что было всегда великим и плодотворным в прошлом.

ПРЕПОДАВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ[1]

Просматривая недавно книгу, посвященную Шарлю Пеги, я прочел фразу, написанную им полвека назад. Она привлекла мое внимание. «Нет ничего более противоположного,— писал Пеги,— функциям науки, чем функции преподавания, поскольку наука требует вечного беспокойства, а преподавание — непоколебимой уверенности».

Таким образом, Пеги заметил существование фундаментальной противоположности между позицией исследователя, который, в силу природы своего ума, всегда занят открытием еще не известных вещей и охотно ставит под сомнение вещи, считающиеся вполне установленными, и позицией преподавателя, который, обучая тому, что он знает, или тому, чему он верит, следуя программе, установленной для него извне или составленной им для себя, невольно поддается естественному стремлению к некоторому догматизму.

Реальна ли эта противоположность? Таков вопрос, который можно поставить себе. Сомнения в реальности противоположности могло бы вызвать то, что склонность к исследованию и склонность к преподаванию почти всегда встречается у одного и того же человека; что на протяжении веков, и в особенности в настоящее время, исследование и преподавание в высшей школе всегда связаны друг с другом. После того как миновала первая молодость, когда прежде всего возникает желание овладеть основами знания, когда, кроме того, живое воображение и молодой задор способствуют первым открытиям, исследователь, еще не достигнув поры зрелости, начинает постепенно испытывать желание сообщать другим о том, что он узнал или изобрел;

---

[1] Отрывок из выступления на общем собрании Общества содействия друзей естественных наук 10 июня 1959 года.

перестав быть учеником, он сам стремится теперь иметь учеников. И в настоящее время большинство исследователей в конце концов посвящает часть своей деятельности преподаванию. Те же, кто этого не делает (в прежние времена их было довольно много, например к ним относятся такие юристы-геометры, как Ферма, или такие откупщики-химики, как Лавуазье), не отказываются, вообще говоря, писать, помимо специализированных заметок, в которых они сообщают о результатах своих работ, обзорные работы, имеющие дидактический характер; и это также одна из форм преподавания. Как же можно в таком случае говорить о противоположности между исследованием и преподаванием, если одно из них, видимо, взывает к другому, если одни и те же люди занимаются и тем и другим, словно симбиоз был здесь необходим.

Но можно привести аргументы противоположного характера. Безусловно, что преподавание, по самой сути своей, имеет склонность к догматизму, что оно стремится придать окончательную, застывшую форму состоянию наших знаний, в действительности всегда временному. Преподаватель не может беспрестанно вводить ограничения или ставить под сомнение свои утверждения; возводя перед слушателями здание наших теоретических представлений о том или ином предмете, он не может постоянно демонстрировать его непрочность. Если бы он это делал, то у его учеников, особенно если они очень молоды, создалось бы впечатление о слабости мысли, и они не доверяли бы его авторитету. Сколько раз во время лекций преподавателю приходит в голову мысль, что публично он дает гораздо более категоричное решение некоторых проблем, чем наедине со своими мыслями?

В ходе многолетней преподавательской деятельности более или менее незаметно вырабатывается привычка придавать мысли определенную форму. Эта привычка заставляет отворачиваться от новых идей и благоприятствует выработке далеко не бесспорных ортодоксальных взглядов. Хорошо известно, что иногда некоторые очень крупные ученые в течение довольно длительного времени мешали развитию науки, упорно отказываясь признать новые точки зрения, которые затем оказывались правильными и плодотворными. Несомненно, что часто такая позиция ученых объясняется их преклонным возрастом, их привязанностью к представлениям, воспринятым в то время, когда они, бу-

дучи молодыми, формировались умственно. Но несомненно и то, что эта недостаточная гибкость ума является следствием длительной привычки к преподаванию в письменной или устной форме, которое, вынуждая взять за основу некоторые принятые идеи, приводит ко все более и более прямолинейным утверждениям. Так, часто повторяют в лекциях или в книгах: «Хорошо известно, что...», что в конце концов даже перестают исследовать основы, на которых покоятся эти столь известные утверждения.

Человек не любит отказываться от своих убеждений; нужна большая душевная сила для того, чтобы человек признался в возможной ошибочности своих утверждений. А ведь преподавание обязывает все время делать выбор между противоположными точками зрения, и это (вопреки преобладающему мнению) даже в самых точных науках. И этот выбор необходимо делать публично, и когда он сделан, необходимо определенное усилие, чтобы противоречить самому себе, ставя под сомнение свои прежние взгляды; однако в некоторых случаях прогресс науки достигается именно такой ценой.

Каждый, кто пишет или говорит публично, кто в связи с этим обязан занять определенную позицию в отношении рассматриваемых проблем, в конце концов вопреки своей воле оказывается скованным играемой им ролью и не может более избавиться от «персонажа», которого он воплощает.

Часто, не будучи при этом лицемером, идеи, которые он вынашивает, идеи, которые он развивает во время своих размышлений наедине с собой, заметно отличаются от идей, которые он, по привычке или в силу профессиональной обязанности, выражает в устной или письменной форме. В глубине души он остается исследователем, беспокойным и сомневающимся, а внешне он остается мэтром, который уверен и в самом себе и в том, что он утверждает.

Исследование и преподавание почти неотделимы друг от друга и чаще всего страдают от взаимной разобщенности. Исследование питает преподавание, а преподавание, необходимое для того, чтобы факел науки переходил от предыдущего поколения к последующему, укрепляет исследование. И, однако, по причинам, о которых я говорил выше, существует вполне определенная противоположность между этими двумя источниками, питающими развитые уровни познания. Преподавание по крайней мере на высшем уровне

и исследовательская работа являются как бы двумя братьями-врагами, объединенными тесными родственными узами, которые никогда нельзя разорвать; но между ними тем не менее существуют своеобразные секреты и постоянный антагонизм. Исследование непременно предполагает вечное беспокойство, преподавание как таковое стремится к установлению невозмутимой уверенности, которая противопоставляется беспокойству.

Вот что хотел столь тонко выразить Шарль Пеги во фразе, послужившей темой моего выступления.

Приложения

ОБЗОР МОИХ НАУЧНЫХ РАБОТ[1]

Вначале я хочу поблагодарить тех моих друзей, учеников или бывших учеников, которые проявили инициативу в издании настоящего сборника в связи с шестидесятилетием со дня моего рождения; их внимание очень меня тронуло, и я хотел бы выразить им свою искреннюю и сердечную признательность.

Я хотел бы также выразить свою глубокую благодарность выдающимся ученым, согласившимся принять участие в создании этого сборника. Кроме большого научного интереса их статей, само присутствие их имен в оглавлении настоящего сборника является для меня весьма большой честью.

Что касается моего личного участия, то я думал, что с моей стороны было бы естественно включить в сборник обзор моих научных работ, уделяя, в частности, больше внимания тем из них, которые менее известны, и ясно формулируя основные идеи, которыми я руководствовался в своих различных исследованиях. Вообще говоря, я буду соблюдать хронологический порядок, не придерживаясь, однако, его полностью.

1. Первые работы под руководством моего брата Мориса (1921—1925)

Получив степень бакалавра, а затем лиценциата литературы (по разделу истории), я с 1911 по 1913 год готовился к получению степени лиценциата наук; мне помогал своими советами мой брат Морис, в то время уже доктор наук. В октябре 1911 года в Брюсселе состоялся Первый Сольвеевский конгресс по физике, на котором обсуждались в то время еще очень плохо разъясненные вопросы, связанные с квантами. Мой брат, который был одним из секретарей

[1]Из сб. «Louis de Broglie, Physicien et penseur», Albin Michel, Paris, 1953, p. 457—493.

конгресса и подготавливал к печати отчет о его работе, предоставил мне возможность ознакомиться с текстом обсуждения этих вопросов. Со всей страстностью, свойственной молодости, я увлекся обсуждавшимися проблемами и решил посвятить все свои силы выяснению истинной природы введенных за десять лет до этого в теоретическую физику Максом Планком таинственных квантов, глубокий смысл которых еще мало кто понимал. В то время я понял, что для изучения этого вопроса очень большое значение имеет знание классических теорий аналитической механики, в частности теорий Гамильтона и Якоби, и начал углублять свои знания в этой области.

Мировая война 1914—1918 годов внезапно прервала на несколько лет мои размышления, которые, как вскоре оказалось, шли в правильном направлении. Моя служба в военной радиотелеграфии под началом генерала Феррье и полковника Брено дала мне возможность углубить практические знания в области электротехники и заниматься экспериментальными исследованиями, но почти не позволяла мне продолжать мои теоретические исследования в желаемом направлении.

После демобилизации в 1919 году я возобновил свои прерванные исследования, тесно связанные с работами по изучению спектров рентгеновских лучей и фотоэлектрического эффекта, проводимыми моим братом в своей частной лаборатории вместе с молодыми сотрудниками. Таким образом, я получил первое боевое крещение в научном исследовании, опубликовав несколько работ, посвященных тем областям, которые изучал мой брат.

В первой серии работ (I; 1, 2, 8, 9)[1] я занимался явлением поглощения рентгеновских лучей, его истолкованием на основе теории Бора и его связью с термодинамическим равновесием. Я даже попытался уточнить вид закона поглощения рентгеновских лучей, пользуясь (что сегодня мне кажется необоснованным) принципом соответствия. Многие мои рассуждения, развитые тогда, были спорными, но они позволили мне получить формулы, являющиеся удобным эмпирическим описанием известных в то время фактов.

В то же время я вел со своим братом долгие споры относительно истолкования проведенных им блестящих экспе-

---

[1] См. «Общую библиографию», составленную автором.— *Прим. ред.*

риментов в области фотоэлектрического эффекта и спектров фотоэлектронов. Я опубликовал ряд статей (некоторые написаны совместно с братом), посвященных квантовой теории этих явлений (I; 3, 6, 7, 14, 20), теории, ставшей сегодня классической, а в то время еще плохо разработанной. Эти долгие беседы с братом о свойствах рентгеновских лучей, которые, впрочем, помогли мне глубоко понять необходимость обязательной связи волновой и корпускулярной точек зрения, привели к тому, что несколько позднее, в 1928 году, мы вместе с ним написали общий курс физики рентгеновских лучей (II; 3).

В то время в лаборатории моего брата Александр Довийе выполнил ряд замечательных работ по систематике и классификации линий в спектрах рентгеновских лучей и по теоретическому истолкованию полученных им фактов. Вполне естественно, что я заинтересовался его исследованиями и начал работать в тесном контакте с ним. Результатом этого сотрудничества явился ряд заметок и статей (I; 4, 5, 10, 11, 15, 19). Одним из наиболее интересных результатов нашего исследования был следующий, сначала поразивший нас факт: если классифицировать систематически линии в спектрах рентгеновских лучей, руководствуясь аналогией между спектрами рентгеновских лучей и спектрами щелочноземельных элементов и вводя внутреннее квантовое число j Зоммерфельда, то можно заметить, что известная формула Зоммерфельда, позволяя предсказать существование в рентгеновских спектрах так называемых «правильных» дублетов, обязанных своим существованием релятивистскому эффекту, не дает возможности определить их точное положение. Позднее введение спина позволило полностью объяснить это расхождение, но в то время, о котором я пишу, оно представлялось весьма таинственным.

Завершая перечень своих работ о рентгеновских лучах, я хотел бы упомянуть еще об одной работе, выполненной мной в 1925 году совместно с другим молодым сотрудником моего брата Ж. Ж. Трия; в этой работе нам удалось с помощью довольно неожиданного применения принципа Бабине объяснить некоторые явления, наблюдавшиеся Трия в ходе его великолепных исследований по выяснению с помощью рентгеновских лучей строения жирных кислот (I; 26).

2. Работы по волновой механике и ее истолкованию (1922—1929)

а) *Открытие и первые успехи волновой механики.* Мои исследования в области физики рентгеновских лучей убедили меня в необходимости создания синтетической теории излучения, в которой сочетались бы его «волновой» и «фотонный» аспекты, и я много размышлял над уже известными работами Эйнштейна о квантах света. Думая об этих вопросах, я опубликовал в 1922 году по этой теме две работы (I; 12, 13). В первой из них я показал, что если рассматривать излучение абсолютно черного тела как фотонный газ, подчиняющийся классической статистической механике (с учетом, разумеется, законов релятивистской динамики), то можно получить закон спектрального распределения, имеющий вид эмпирического закона Вина, закона, не согласующегося с экспериментом лишь в области больших значений отношения частоты к температуре. Во второй работе я сделал несколько замечаний о флуктуациях энергии в излучении абсолютно черного тела, руководствуясь хорошо известными результатами, полученными Лорентцем и Эйнштейном.

Эти первые исследования, посвященные излучению, все более и более приводили меня к мысли о необходимости поисков общей синтетической концепции, которая позволила бы объединить волновую и корпускулярную точки зрения. Появление целых чисел в законах внутриатомного квантованного движения электронов, как мне казалось, указывает на существование для этих движений интерференции, аналогичной интерференции, встречающейся во всех разделах волновой теории; в эту теорию, вполне естественно, входят целые числа. Кроме того, я продолжал размышлять над аналогией между математическим аппаратом аналитической механики и волновой теории; эта аналогия меня поразила в ранней молодости. Наконец, в конце лета 1923 года все эти идеи как бы выкристаллизовались в моей голове, и я опубликовал в «Comptes rendus de l'Académie des Sciences» три основные статьи (I; 16, 17, 18), послужившие отправной точкой для создания волновой механики. В первой статье, руководствуясь релятивистскими соображениями, я установил в настоящее время широко известную связь между движением свободной частицы и распространением волны, которую я предложил связать с частицей; я показал, что мои новые идеи позволяют дать простое истолко-

вание условий квантовой устойчивости для движения электронов внутри атома. Во второй статье я попытался уточнить применение моих представлений к случаю фотонов и набросал теорию явлений интерференции и дифракции света, совместимую с существованием фотонов. Наконец, в третьей статье я показал, как мои представления приводят в случае излучения абсолютно черного тела к закону Планка, и установил соответствие, ставшее сегодня классическим, между принципом наименьшего действия, применяемым к движению частицы, и принципом Ферма, применяемым к распространению связанной с частицей волны. Таким образом, в сентябре — октябре 1923 года я получил некоторые из фундаментальных принципов волновой механики.

В течение 1924 года я старался развить свои идеи, написав на эту тему докторскую диссертацию и опубликовав несколько статей (I; 22, 23). В одной из этих статей я заметил, что, если встать на мою точку зрения, можно истолковать знаменитое «правило частот» Бора как описание своего рода «биения» между частотой волны, связанной с начальным стационарным состоянием, и частотой волны, связанной с конечным стационарным состоянием. К этому же истолкованию через два года пришел Шредингер; теперь оно обычно приписывается ему.

В статье, опубликованной в «Journal de Physique» (I; 27), я углубил связь между движением частицы и распространением связанной с ней волны в классических для оптики случаях. А именно, я показал, что формулу Бугера, устанавливающую кривизну луча света в оптически неоднородной среде, нужно понимать просто как теорему о моменте количества движения в применении к фотону; этот результат, сразу же примененный мною к случаю произвольной частицы, сослужил мне службу позднее при преподавании основ электронной оптики.

25 ноября 1924 года я защитил в Сорбонне докторскую диссертацию (II; 1) перед жюри в составе Жана Перрена, Эли Картана, Шарля Могена и Поля Ланжевена. Эта диссертация хорошо известна, и я не буду вдаваться здесь в ее анализ. Однако сделаю по поводу нее два замечания. Первое заключается в том, что многие иностранные авторы датируют открытие волновой механики 1924 годом, поскольку в этом году я защитил свою диссертацию, но в действительности я открыл ее в 1923 году, поскольку в своей

диссертации лишь развивал идеи, содержавшиеся в моих статьях, написанных в сентябре — октябре 1923 года. Мое второе замечание заключается в том, что последняя часть моей диссертации посвящена применению моих концепций к статистике и что я изложил в ней основные начала из тех, которые год спустя благодаря более широким и более глубоким работам Бозе и Эйнштейна легли в основу статистики Бозе — Эйнштейна. Эйнштейн, которому Ланжевен передал рукопись моей диссертации, очень живо заинтересовался ею, а в заметке, опубликованной в «Berichte der Deutsche Akademie des Wissenschaften» в январе 1925 года, обратил внимание на мою работу и, сравнивая мои выводы с выводами более поздней работы Бозе, набросал основы статистики, пригодной для описания совокупностей неразличимых частиц, не подчиняющихся принципу Паули.

Упомяну, не останавливаясь на них подробно, о двух общих обзорах (I; 21; II; 2), написанных мною в то время и отражающих состояние моих мыслей сразу же после этих первых открытий.

Весной 1926 года Эрвин Шредингер, в то время профессор в Цюрихе, по-приятельски познакомил меня в рукописи с написанными им после прочтения моих работ статьями, которые он собирался публиковать. Всему миру известно значение работ Шредингера, который, развивая волновую механику на нерелятивистской основе, на основе давно известных идей Гамильтона уточнил вид волнового уравнения, разработал волновую механику для системы частиц, вводя распространение волны в конфигурационном пространстве, и показал, что «квантовая механика» (матричная механика), предложенная годом ранее Вернером Гейзенбергом, является лишь выражением в иной математической форме аппарата квантовой механики.

Придя в восторг от прекрасных работ Шредингера, я попытался лучше понять их связь с моими первоначальными идеями и, поскольку в качестве руководящей нити я всегда использовал релятивистские представления, попытался найти релятивистскую форму волнового уравнения, полученного Шредингером. В одной из заметок в «Comptes Rendus de l'Académie des Sciences» (I; 28) я дал эту релятивистскую форму уравнения и высказал некоторые замечания; но после работ Шредингера эта идея витала в воздухе, и почти одновременно со мной релятивистское уравнение было получено Де Дондером, Клейном, Гордоном, Фоком

и Кударом; в литературе оно обычно называется уравнением Клейна — Гордона. Кроме того, в «Journal de Physique» (I; 29) я опубликовал общий обзор результатов, полученных на основе работ Шредингера. Я должен подчеркнуть, что, полностью признавая справедливость предложенной выдающимся физиком формы волновой механики для системы частиц, я был удивлен, когда узнал, что движение такой системы нельзя представить в обычном пространстве-времени и что для описания его необходимо вводить явно фиктивное распространение волн в абстрактном конфигурационном пространстве; это обстоятельство, как мне кажется, и сегодня не утратило своего интереса.

Начиная с весны 1927 года в печати появились результаты замечательных экспериментов по дифракции электронов на кристаллах Девиссона и Джермера и затем — экспериментов Дж. П. Томсона. Эти эксперименты полностью подтвердили мою концепцию: они заставили меня в начале лета заняться составлением доклада для Сольвеевского конгресса по физике, который должен был собраться в Брюсселе в октябре для обсуждения новых формулировок квантовой физики.

б) *Исследования по физическому истолкованию волновой механики.* Когда я впервые пришел к идеям волновой механики, то нисколько не сомневался в необходимости создания таким путем синтетической теории, в которой понятия волны и частицы сохранили бы свой обычный характер. Я не сомневался в том, что частицу следует рассматривать лишь как своего рода «особенность» в лоне волнового явления, и во времена защиты диссертации я даже писал в ноябре 1924 года в статье (I; 24): «Никакая теория не будет истинно ясной, если в ней не будет определена структура волны и природа особенности, созданной частицей, движение которой можно было бы описать, основываясь *целиком* на волновой точке зрения».

Но как осуществить эту программу? Этот вопрос беспрестанно занимал меня в течение нескольких лет после защиты докторской диссертации. Убежденный в том, что фотоны существуют столь же реально, как и частицы вещества, я попытался воспользоваться знаниями, приобретенными при изучении фотонно-волновой двойственности света; этот метод обеспечил мне успех в моих предыдущих исследованиях. Вся совокупность работ, опубликованных мною в 1925—1927 годах (I; 25, 30, 32, 35), позволяет про-

следить за развитием моих идей в течение этого периода. Я пришел к довольно тонкому истолкованию, которому дал название «Теории двойного решения»; подробно я изложил ее в статье, опубликованной в «Journal de Physique» (I; 34), а кроме того, в последующей заметке (I; 37), содержащей существенное дополнение к этой статье. Точно так же я подошел к истолкованию волновой механики в общем обзоре, посвященном состоянию этой новой науки, который я написал в то же время (II; 4).

Чтобы понять характер моих усилий, следует вспомнить, что одним из первых принципов, которые вводятся при попытках уточнить физический смысл волновой механики, является следующий: «Квадрат амплитуды волны Ψ, связанной с частицей в любой точке и в любой момент времени, является мерой вероятности того, что частица будет обнаруживать свое присутствие в этой точке и в этот момент времени». Этот принцип (принцип интерференции) сразу же явился одним из очевиднейших и лучше всего установленных физических истолкований новой математической схемы. Итак, если предположить известной форму волны, связанной с частицей, интенсивность этой волны в любой точке и в любой момент времени (задаваемая в виде $|\Psi|^2$) может рассматриваться как величина, определяющая плотность фиктивной жидкости, перемещающейся в пространстве с течением времени, и тогда количество этой жидкости, содержащейся в элементе объема, даст вероятность того, что частица будет присутствовать в этом элементе объема. Уравнения волновой механики показывают, что если записать волну Ψ в виде $\Psi = ae^{i\varphi}$, то движение элементарного объема фиктивной жидкости задается в виде

$$\mathrm{v} = -\frac{h}{2\pi m}\overrightarrow{\mathrm{grad}\,\varphi} \qquad (1)$$

(v — локальная скорость фиктивной жидкости).

Тогда можно предположить, что движение частицы, связанной с волной Ψ, всегда совпадает с движением, рассчитываемым по формуле (1) для одного из элементарных объемов фиктивной жидкости: ансамбль частиц, связанных с одной и той же волной, явился бы тогда физическим воплощением фиктивной жидкости, но, даже в случае одной частицы, движение этой частицы будет полностью определяться формулой (1), и вышеизложенный принцип автоматически соблюдался бы. В этом состоит «гидродинамическое истол-

кование Маделюнга», названное так потому, что этот физик первым, независимо от меня, выдвинул его идею.

Но мне не хотелось останавливаться на этом, поскольку мне казалось, что для получения наглядной картины волново-корпускулярной двойственности, в общем согласующейся с классическими представлениями, в рамках представлений пространства и времени, следует попытаться *включить* частицу в волну. Это можно, на мой взгляд, сделать единственным образом, а именно — предположить, что частицы фактически являются своего рода постоянными особенностями в лоне протяженной волны. Но в волновой механике, как и в оптике Френеля, приходится рассматривать непрерывные волны без особенностей, как обладающие следующим фундаментальным свойством: их интенсивность определяет вероятность присутствия частиц в любой точке. Как примирить эти два противоположных представления о волне, связанной с частицей, представления, которые, как мне кажется, оба являются необходимыми? Для осуществления этого я попытался развить идею о том, что уравнения волновой механики всегда допускают два сопряженных решения; одно решение, допуская особенность, реально представляло бы существующую частицу, включенную в волновое явление, тогда как другое решение, с непрерывно изменяющейся амплитудой, давало бы лишь статистическую сторону перемещения облака частиц. Таким образом, я истолковывал волново-корпускулярную двойственность в духе старой физики, что полностью оправдывало использование непрерывных волн Ψ, приписывая им существенное свойство, выражаемое принципом интерференции. На этом пути я пришел к гидродинамическому истолкованию Маделюнга, но дополненному, так сказать, структурной картиной волн с корпускулярными особенностями.

Несмотря на некоторый успех, достигнутый мной на этом пути в упомянутых выше работах, я прекрасно сознавал всю трудность строго математического обоснования моей концепции двойного решения. Собираясь, как я уже упоминал, сделать доклад о волновой механике на Пятом Сольвеевском конгрессе по физике и опасаясь, что недостаточная строгость моей теории дает повод к критическим замечаниям, я решил придерживаться в моем докладе (I; 36) более осторожной точки зрения. Допуская *априори* существование частиц и справедливость волновых уравнений волновой механики, я умышленно поместил частицу в лоно непре-

рывной волны и предположил, что распространение волны увлекает за собой частицу согласно закону, выражаемому формулой (1); в результате я пришел к несколько более уточненной гидродинамической картине Маделюнга. Согласно этой гипотезе, волна Ψ в некотором роде «указывает дорогу» движению частицы; отсюда название «теории волны-лоцмана», которое я дал этой менее четкой форме моих первых представлений об этом предмете. В этой менее четкой форме моя теория отказывалась, следовательно, от включения частицы в волну и ограничивалась *констатацией* волново-корпускулярной двойственности, не пытаясь больше уточнить ее природу, но для меня она всегда имела то преимущество, что сохраняла интуитивное понятие о точечной частице, локализованной в пространстве и со строго детерминированным движением.

Незадолго до открытия в октябре 1927 года Пятого Сольвеевского конгресса я ознакомился с капитальным, только что опубликованным трудом Гейзенберга; в этом труде молодой ученый, руководствуясь некоторыми соображениями Бора, впервые сформулировал свои знаменитые «соотношения неопределенностей» и развил новые идеи, с которыми они связаны. Однако я колебался принять точку зрения, чуть ли не прямо противоположную моим первоначальным представлениям. На Сольвеевском конгрессе развернулась очень оживленная дискуссия. В превосходной вступительной речи Лорентц разделял и уточнял точку зрения классической физики. Борн, Гейзенберг и Бор отстаивали необходимость представлений, в некотором роде революционных, вытекавших из их чисто вероятностного истолкования новой механики. Шредингер придерживался довольно классического образа мышления и пытался отождествить частицы с цугами волн; эта гипотеза не представлялась мне удовлетворительной. Эйнштейн враждебно встретил чисто вероятностную трактовку и выдвинул против нее очень интересные возражения, которые Бор попытался отвести тонкими рассуждениями.

Вернувшись в Париж, я снова начал размышлять о всей совокупности этих проблем. Если не считать некоторых может быть, опровержимых возражений, сделанных в мой адрес Паули, я обнаружил, что против «теории волны-лоцмана», этой менее четкой формы моих первоначальных представлений, выдвинуто возражение, показавшееся мне неопровержимым; в моей теории движение частицы направ-

лялось распространением волны, непрерывной волны Ψ, имевшей (это признавалось все больше и больше) только вероятностный смысл и представлявшей лишь состояние наших знаний, так что фактически эта теория не могла явиться конкретным описанием движения частицы в истинном согласии с идеями классической физики. Что касается моей первоначальной концепции двойного решения, то, как мне казалось, это возражение к ней не относилось, но ее развитие было связано с математическими трудностями, которые мне казались непреодолимыми. Обескураженный этим, я совершенно отказался от своих попыток детерминистского истолкования волновой механики и полностью присоединился к концепциям Бора и Гейзенберга. Осенью 1928 года я начал свою официальную преподавательскую деятельность на Факультете естественных наук в Париже, и свой первый курс я посвятил изложению идей Бора и Гейзенберга, а также показу причин недостаточности моей «теории волны-лоцмана» (II; 7).

Начиная с этого времени я все время придерживался вероятностного толкования волновой механики, и в своих учебных курсах, и в популярных лекциях я рассказывал о его природе и происхождении; впрочем, я никогда не соглашался с довольно опрометчивыми философскими выводами, которые из него иногда пытались делать.

1951 год приготовил для меня в этой области новый сюрприз. Предшествующим летом молодой американский ученый, Давид Бом, любезно ознакомил меня с рукописью своей статьи, которую он рассчитывал опубликовать в «Physical Review»[1]. Она полностью воспроизводила мою «теорию волны-лоцмана», основанную на формуле (1), в том виде, в каком я развивал ее на Сольвеевском конгрессе в 1927 году, включая и некоторые выводы, полученные мною (введение «квантового потенциала»), но к этим старым идеям (по-видимому, в начале своей работы он не знал о моих работах, так как они были опубликованы за 25 лет до этого) Бом добавил ряд интересных замечаний, и в частности анализ процедуры измерения, позволяющий ответить на некоторые возражения, например выдвинутые Паули в Брюсселе в 1927 году. После такого воскрешения моих старых идей моим первым побуждением было напомнить в заметке,

---

[1] Его статья была опубликована в номере «Physical Review» от 15 января 1952 года.

опубликованной в «Comptes rendus de l'Académie des Sciences» (I; 93), не только о моем неоспоримом приоритете в этом вопросе, но также и о трудностях, которые меня заставили отказаться от этой теории в той форме, в какой я излагал ее на Сольвеевском конгрессе.

Затем я ознакомился с выполненными в Париже в Институте им. Анри Пуанкаре работами Ж. П. Вижье, возродившего мою концепцию двойного решения и связавшего ее одновременно с идеями Бома и, в рамках общей теории относительности, с идеями Эйнштейна о возможности описания материальных частиц в виде областей, в которых пространственно-временна́я метрика имеет особенности[1]. Эти работы привлекли мое внимание. Но, как я уже говорил выше, не думаю, что теория двойного решения *априори* наталкивается на те же принципиальные трудности, что и «теория волны-лоцмана», поскольку она позволяет рассматривать «ведение» частицы волной вероятности Ψ лишь как внешнее проявление; глубокая физическая сущность данного явления, согласно этой теории, состоит в распространении волны, обладающей некоторой особенностью. С другой стороны, возражения, которые Эйнштейн не переставал начиная с 1927 года выдвигать против чисто вероятностного истолкования волновой механики, всегда мне казались достаточно серьезными, и ответы, данные на них с большим искусством Бором, все-таки не все могут показаться совершенно убедительными. Вдохновленный работами Бома и Вижье, я в новой заметке исследовал, в каких условиях можно было бы попытаться получить причинное и конкретное истолкование волновой механики на основе моей старой гипотезы двойного решения, соответствующим образом подправленной (I; 95). Но я заметил также, что осуществление этого замысла всегда мне казалось связанным с огромными трудностями. В тот момент, когда я пишу эти строки (март 1952 года), этот вопрос еще не решен. Я предпочитаю отложить на будущее решение вопроса о возможности добиться успеха на пути, указанном Бомом и Вижье, вернувшись к моим представлениям 1927 года, или о необходимости окончательно отказаться от попытки построения детерминистской микрофизики, в чем я был уверен и чему я учил в течение двадцати пяти лет.

---

[1] То есть областей, в которых уравнения, связывающие величины поля, не являются более даже приближенно линейными.

Чтобы закончить обзор моей научной деятельности до 1928 года, я отмечу, что часть моих опубликованных в этот период статей, посвященных волновой механике, была издана вместе с некоторыми статьями Леона Бриллюэна в сборнике, выпущенном в Англии (II; 5); там как раз помещена моя статья из «Journal de Physique» по теории двойного решения.

Упомяну также о двух маленьких работах, опубликованных в 1927 году: статью в «Comptes rendus» (I; 31), в которой идет речь об оставшейся бесплодной попытке трактовки электромагнитного поля, и статью в «Journal de Physique» (I; 33), в которой я получил форму волнового уравнения волновой механики для пятимерного мира, изучавшегося Калюце и Клейном.

3. Преподавание волновой механики и связанные с этим работы (после 1928 года)

В октябре 1928 года мне было поручено чтение лекций на Факультете естественных наук в Париже (в Институте им. Анри Пуанкаре), где с 1933 года я руковожу кафедрой теоретической физики; с тех пор я посвятил значительную часть своего времени преподаванию. В моих лекциях рассматривались почти все разделы (весьма разнообразные) волновой механики и ее приложений. Я заставил себя изложить эти лекции в письменном виде и почти все опубликовал. В прилагаемую библиографию включен перечень всех этих работ (II; 7, 8, 10, 11, 14, 15, 19, 23), за исключением работ, посвященных моим собственным теориям, о которых я упомяну ниже. Конечно, в них содержится вообще лишь изложение известных вопросов, однако я пытался сам продумать все проблемы и включить в лекции оригинальные замечания и результаты моих собственных работ.

Кроме моих курсов лекций, прочитанных в Институте им. Анри Пуанкаре, мне также пришлось изложить в письменном виде и другие общие курсы (I; 38; II; 6, 9), так же как и курс лекций, прочитанный в Высшей школе электричества; в этом курсе я пытался дать инженерам-электрикам, слушателям этой школы, общий обзор проблем квантовой физики (II; 20).

Подготовка моих курсов лекций привела меня к необходимости углубления целого ряда вопросов, связанных с определением первых интегралов, средних значений,

с частотой и фазовой скоростью в волновой механике, с теорией электрона, разработанной Дираком, с теоремами Кенига, с принципом инертности энергии. Эти исследования составили предмет целого ряда статей (I; 39, 40, 46, 52, 71, 72).

Сравнительно недавно я заинтересовался применением общих идей теории вероятностей к вероятностному истолкованию волновой механики. Я обратил особое внимание на следующий факт: невозможность одновременного измерения двух некоммутирующих величин и явление интерференции вероятностей не позволяют применять в волновой механике схемы, обычно используемые статистиками, поскольку применение этих схем основано на предположении, естественном для макроскопичесих явлений, что определение значения одной величины не мешает распределению вероятностей другой величины. Я изложил эту точку зрения в двух статьях в «Comptes rendus» (I; 68, 74), затем в статье в «Revue Scientifique» (I; 74 bis). Впрочем, я добавлю, что, если бы можно было построить детерминистскую схему волновой механики в выше упоминавшемся смысле, вопрос приобрел бы иной характер.

4. Волновая механика фотона и общая теория частиц со спином (начиная с 1932 года)

В моих первых работах по волновой механике я постоянно руководствовался картиной волново-фотонной двойственности света и пытался получить теорию, удовлетворяющую требованиям теории относительности. В работах Шредингера получила развитие волновая нерелятивистская механика, в которую казалось невозможным ввести фотон и не перевернуть ее построение. Когда Лорентц на Сольвеевском конгрессе в 1927 году спросил, какова связь между волной Ψ-фотона и электромагнитной волной Максвелла, никто не смог ему ответить. Немного спустя появилась квантовая теория электромагнитного поля, созданная главным образом усилиями Иордана, Гейзенберга и Паули, но эта теория, хотя я и сознавал ее значение, казалась мне очень формальной и не представляла собой волновую механику фотона в той форме, в какой я желал бы ее видеть.

В 1930—1931 годах я изучал и преподавал теорию электрона со спином, созданную Дираком, и мое внимание было в значительной степени приковано к ней. Меня поразил

следующий факт: переход от нерелятивистской волновой механики к функции Ψ в теории Дирака представлял некоторую аналогию с переходом, который осуществил Френель, когда при объяснении явлений поляризации и двойного лучепреломления света он отказался от скалярной теории «световой переменной» и заменил ее векторной теорией поперечных волн.

Переходы эти аналогичны, но не тождественны, так как теория Дирака не является векторной, а спин нельзя непосредственно сравнить с поляризацией. Тогда я решил поставить вопрос глубже, и это привело меня к целой серии работ, об основных этапах которых я сейчас хочу напомнить.

а) Предварительные работы по теории Дирака и по теории света (1932—1933 годы). В 1932—1933 годах в ряде заметок в «Comptes rendus» (I; 41, 42, 43, 44) я внимательно сравнил некоторые аспекты теории Дирака с хорошо известными формами электромагнитной теории, отметив при этом и аналогии и различия. После этих первых исследований я уже смог сделать решительный шаг.

б) Волновая механика фотона (теория частицы со спином 1) (1934—1937 годы). В ряде заметок, опубликованных в 1934 году (I; 45, 48, 49, 50), мне удалось построить волновую механику фотона в соответствии с намеченным мною ранее планом. Я исходил из следующей идеи: фотон, частица со спином 1, подчиняющаяся статистике Бозе—Эйнштейна, может рассматриваться как тесно связанная между собой совокупность двух составляющих, каждая из которых имеет спин $^1/_2$, и описываться уравнениями типа уравнений Дирака. (К этой идее меня привели мои предшествовавшие исследования, и она, как мне казалось, вытекает из теоремы Эренфеста — Оппенгеймера, касающейся симметрии или антисимметрии волновой функции сложной частицы с четным или нечетным числом составляющих, причем каждая из них имеет половинный спин этой частицы.)

Исходя из предположения о том, что уравнения Дирака описывают обе составляющие, и используя не очень строгую, но довольно доказательную методику «слияния», я построил волновые уравнения, описывающие совокупные движения сложной частицы. Эти уравнения могут быть преобразованы в векторные уравнения, составляющие две

независимые группы: одна из них, которую можно свести к уравнениям типа Клейна — Гордона, соответствует случаю антипараллельности спинов обеих составляющих; тогда полный спин частицы оказывается равным нулю и эти уравнения описывают своего рода «скалярный фотон», экспериментально не обнаруженный; другая группа описывает случай параллельности спинов обеих составляющих; в этом случае полный спин частицы оказывается равным единице и уравнения приобретают вид уравнений Максвелла. Следовательно, эта последняя группа представляет «векторный фотон» света, и если бы речь шла об ответе на вопрос, поставленный в свое время Лорентцем, то я смог бы сказать, что электромагнитная волна Максвелла вполне совпадает с волной Ψ для фотона.

В соответствии с идеей, которую я часто выдвигал в своих предыдущих исследованиях, я предполагал, что собственная масса фотона, несмотря на свою исключительную малость, отлична от нуля. Поэтому я получил уравнения, названные мною «максвелловскими», потому что они представляют собою уравнения Максвелла, в которые введена собственная масса фотона. Естественно, что эти уравнения при предположении о равенстве этой собственной массы нулю сразу же превращаются в уравнения Максвелла как таковые. Но существенным преимуществом *априорного* предположения о том, что собственная масса отлична от нуля, является возможность получения общих уравнений для частиц со спином 1 и некоторой собственной массой. Получив эти общие уравнения, я показал, как в этой теории выглядят проблема спина и проблема вероятности наличия.

Таким образом, я смог установить очень ясную связь между спином фотона и поляризацией света, что является одним из наиболее удовлетворительных результатов этих концепций.

Совокупность этих результатов составила предмет нескольких общих обзоров (II; 12, 13; I; 47, 55). Я хочу отметить, что в первом из этих обзоров, написанном в 1934 году, я привел общие уравнения для частицы со спином 1, которые иногда за границей называют «уравнениями Прока». Александр Прока нашел их иным путем лишь в 1936 году и ввел в них члены, описывающие действие внешнего поля на частицу, предполагающуюся заряженной (что, конечно, не имеет места в случае фотона).

в) Квантование электромагнитного поля в волновой механике фотона. Волновая механика фотона в том виде, в каком я сформулировал ее с самого начала, не была вторично квантованной теорией. Для того чтобы получить в ней ставшие к тому времени классическими результаты квантовой теории электромагнитного поля, нужно было ввести в волновую механику фотона вторичное квантование. Это было сделано мною в заметке, опубликованной в «Comptes rendus» (I; 56).

Затем я начал писать двухтомный труд (II; 16) обзорного характера по волновой механике фотона; в процессе его написания я начал более глубокое исследование вопроса о постановке в этой теории проблемы квантования поля и проблемы взаимодействия между электромагнитным полем и электрическими зарядами. Хотя в этом обзорном труде есть ряд мест, которые могли быть подправлены или написаны по-другому, он дает верную картину направляющих идей, которыми я руководствовался при создании волновой механики фотона, и основных результатов, полученных мною в 1940—1942 годах.

Через несколько лет, прочтя прекрасный обзор Вентцеля по теории полей, я в своем курсе лекций сравнил волновую механику с этой теорией. Этот курс лекций был позднее опубликован (II; 21). Обзор данного раздела моих исследований является самым свежим, но если книга будет переиздана, я внесу в нее не одно исправление и добавление.

г) Обобщение общей теории частиц со спином (1939—1944 годы.) Мои работы по волновой механике фотона привели меня к мысли, что все элементарные частицы имеют спин $^1/_2$ (в единицах $h/2\pi$) и описываются уравнением Дирака и что частицы, спин которых отличен от $^1/_2$, являются сложными частицами, образованными посредством тесного соединения, своего рода «слияния», нескольких элементарных частиц со спином $^1/_2$. Я даже смог получить математический аппарат, основанный на математической операции «слияния» матриц, описывавшей это тесное соединение нескольких элементарных составляющих. Я понял, что этот метод позволяет описывать частицы со спином, равным некоторому целому кратному числа $^1/_2$.

После опубликования нескольких заметок (I; 57, 58, 60) я прочитал на эту тему курс лекций, который затем был опубликован (II; 18); в настоящее время готовится его

переиздание. Хочу упомянуть также о ряде статей, написанных мною совместно с мадам Тоннела и посвященных смежным вопросам (I; 59, 62, 63, 64).

В этих работах метод слияния позволил мне очень легко установить неустранимый спинорный характер волнового уравнения для частиц с полуцелым спином $\left(n+\frac{1}{2}\right)\frac{h}{2\pi}$ и тензорный характер волнового уравнения для частиц с целым спином $n\frac{h}{2\pi}$. Таким образом, мне удалось иным путем прийти к результатам, полученным в то время Дираком, Паули и Фирцем. Кроме того, мне удалось этим методом исследовать свойства вероятности наличия, спина и плотности энергии для различных сортов частиц. В своих изысканиях я широко пользовался важными работами Жерара Петьо, посвященными этому же вопросу, а также прекрасными исследованиями мадам Тоннела о возможности приписания гравитационному полю «гравитонов», которые были бы частицами со спином 2. Ван Изаккер, впрочем, позднее сделал очень много для разработки теории частиц со спином 2, что побудило меня для второго издания переделать последнюю главу вышеупомянутого обзора.

Наконец, я должен отметить, что в появившихся недавно работах Хенля и Мауэ[1], видимо, показано превосходство метода слияния при рассмотрении многих вопросов, связанных со свойствами частиц со спином.

5. Сложная структура частиц со спином, отличным от $\frac{1}{2}$

При разработке метода слияния я в основном руководствовался идеей, что каждая частица со спином, отличным от $^1/_2$, является сложным образованием, состоящим из связанных друг с другом элементарных составляющих со спином $^1/_2$. Таким образом, я пришел к описанию (в смысле волновой механики) общего движения частицы посредством системы дифференциальных уравнений в частных производных, одновременно удовлетворяющих компонентам волновой функции Ψ, системы, объясняющей свойства спина этой частицы как результат сложения спинов ее элементарных составляющих. Итак, эти уравнения описывают совокупное движение сложной частицы, рассма-

---

[1] H. Hönl, H. Boerner, «Zeits. f. Naturforschung». 5a, 1950 p. 353; A. W. Maue, «Zeits. f. Physik», 128, 1950, p. 378.

триваемой как единое целое, или, если в данном случае можно использовать довольно тонкий термин, который нелегко определить с релятивистской точки зрения, движение его «центра тяжести». Тогда возникает следующий вопрос: как, исходя из описания частицы, рассматриваемой как система, состоящая из многих компонент, можно перейти к волновым уравнениям, которым подчиняется ее общее движение? Ведь этот переход должен сопровождаться *переносом спиновых свойств компонент частицы на ее центр тяжести*. Метод слияния, которым я вначале пользовался, не позволял показать всю очевидность этого переноса и представлял собой лишь не очень строгий (и скорее чисто эвристический) метод для получения искомых волновых уравнений. Желая углубить проблему, я посвятил ей статью в «Comptes rendus» за 1936 год (I; 54). Но эта работа, некоторые моменты которой остаются темными, никогда не давала мне полного удовлетворения. Я хотел бы улучшить ее, но сложность проблемы долгое время не позволяла осуществить мои намерения.

Лет через двенадцать я вернулся к изучению этого вопроса в сотрудничестве с мадам Тоннела. К этому времени я уже ознакомился с работой Френкеля, в которой он развивал идеи, полностью аналогичные моим в вопросе о сложности частиц со спином, отличным от $^1/_2$. В начале 1950 года Ферми и Янг опубликовали в «Physical Review» статью, в которой они развивали теорию мезонов (со спином 1), рассматривая их как объединение двух составных частей со спином $^1/_2$; эта статья усилила мой интерес к данной проблеме. В статье в «Comptes rendus», написанной совместно с мадам Тоннела, я вернулся к своим идеям 1936 года, улучшив их и сформулировав по-новому (I; 86, 87). Затем я изложил в общих чертах свою новую точку зрения на эту проблему в статье, опубликованной в 1951 году в «Journal de Physique» (I; 91).

Очень трудно полностью уточнить эти представления, потому что мы ничего не знаем о природе сил, которые связывают составные части частицы в единое целое. Однако я твердо уверен в том, что идея сложности частиц со спином, отличным от $^1/_2$, является правильной и что соображения, содержащиеся в моих работах 1950—1951 годов, в той или иной форме встретятся в более обстоятельных работах, которые в будущем могут быть посвящены решению этого сложного вопроса.

6. Работы, посвященные радиоволнам

Во время войны в 1939—1940 годах Национальный центр научных исследований поручил мне реферирование новых работ, опубликованных в Соединенных Штатах и посвященных сантиметровым волнам, волноводам, рупорным антеннам и т. д. После перемирия мне было досадно, что я не предоставил французским инженерам собранную таким образом документацию, и я сделал общий обзор изучавшихся мною вопросов. Он был опубликован в 1941 году в книге, озаглавленной «Проблемы направленного распространения электромагнитных волн» (II; 17).

В этой работе я, в частности, исследовал применение принципа Гюйгенса к электромагнитным волнам и дал оригинальное доказательство так называемых «формул Коттлера». В появившихся позднее работах Кроз и Жорж Дармуа[1] показали, что формы, данные мною формулам Коттлера в процессе доказательства, было наиболее общими и эквивалентными всем прочим точным формулировкам, предложенным другими авторами.

Как мне думается, моя книга сослужила службу французским радиоинженерам, которые в то время были плохо информированы о новых вопросах, связанных с использованием сверхвысоких частот, и во время оккупации почти не имели возможности получать новые сведения, относящиеся к этой теме. Недавно, в 1951 году, вышло новое издание этой книги, пересмотренное и немного дополненное.

Отмечу еще маленькую статью, посвященную вопросу распространения радиоволн (I; 79).

7. Новые работы по различным вопросам

а) Электронная и корпускулярная оптика (1946—1950 годы). Развитие электронной оптики за последние двадцать лет, естественно, в значительной степени привлекло мое внимание, поскольку с теоретической точки зрения эта новая отрасль физики тесно связана с концепциями волновой механики. С большим интересом я следил за прекрасными работами, выполненными в этой области во Франции Дюпюи в Тулузском университете, Клодом Маньяном и Полем Шансоном в Коллеж де Франс, где им удалось создать первую модель протонного микроскопа.

[1] «Comptes Rendus», 228, 1949, p. 236; 228, 1949; p. 305; 228, 1949, p 824.

Размышляя, таким образом, над многими проблемами, касающимися корпускулярной оптики, я показал с помощью метода, схожего с методом, которым пользуются для установления существования квантовых неопределенностей, что корпускулярные микроскопы, независимо от успехов в области повышения их разрешающей способности, все же не могут дать истинное изображение внутренней структуры атомов (I; 65, 67, 70).

В двух курсах лекций, прочитанных в Институте им. Анри Пуанкаре, я изложил в общих чертах теорию электронной и корпускулярной оптики, в которую включил ряд выводов, полученных мною при анализе этих проблем. Эти два курса лекций были недавно опубликованы в одном томе (II; 22).

б) Работы, касающиеся соотношения между действием и энтропией, релятивистской термодинамики и т. д. Блестящий успех статистического истолкования термодинамики заставил до некоторой степени забыть о других попытках механического истолкования термодинамических величин, в частности о канонической схеме термодинамики, принадлежащей Гельмгольцу, и о формуле Больцмана, касающейся адиабатических возмущений циклических систем, формуле, важность которой подчеркнул некогда Леон Бриллюэн в своих исследованиях адиабатической инвариантности в квантовых теориях.

В 1946 году я с увлечением взялся за исследование некоторых из этих забытых вопросов и опубликовал статью, посвященную способу истолкования формулы Больцмана и установлению соотношения между температурой и частотой вращения в схеме Гельмгольца (I; 66). Кроме того, я опубликовал статью в «Cahiers de physique théoretique» о релятивистской термодинамике и изменении температуры (I; 73). Эти исследования старых теорий привели меня также к использованию канонических схем электромагнитизма и к рассмотрению столь долго обсуждавшегося вопроса об отсутствии взаимной потенциальной энергии между постоянным магнитом и токами. Доказательство, устанавливавшее это отсутствие в рамках классической теории электричества, мне представлялось совершенно правильным, но я считаю, что для его понимания следует вспомнить, что ферромагнетизм обязан своим происхождением наличию спина у электрона. Классическая теория

электричества неявно вводила посредством своего определения постоянных магнитов следующую идею: орбитальное движение электронов не является источником ферромагнетизма; таким образом, классическая теория выдвигает в данном случае (так же как и в теории парамагнетизма, разработанной Ланжевеном) гипотезу о том, что объяснить ферромагнетизм можно только на основе введения квантовых представлений. Я осветил этот вопрос в статье журнала «Portugaliae Physica».

Кроме того, вышеупомянутой совокупности проблем я посвятил курс лекций, который остался неизданным.

в) Переход от геометрической оптики к волновой оптике в теории Дирака (1947—1951 годы). Эксперименты Жана Тибо, в которых ему как будто удалось показать существование почти нейтральных частиц, имеющих массу меньше массы электрона, привлекли мое внимание, хотя не убедили меня окончательно. Посвятив одну статью (I; 69) истолкованию этих экспериментов, я заинтересовался рассуждениями, с помощью которых Бор и Паули пытались установить невозможность обнаружения существования собственного магнитного момента электрона в явлениях, где применимо понятие траектории электрона (приближение геометрической оптики), и мне показалось, что я обнаружил в этих рассуждениях некоторые пробелы; результаты своих размышлений я изложил в двух статьях (I; 75, 76).

Эти исследования заставили меня взяться за изложение перехода от геометрической оптики к волновой оптике в теории электрона Дирака с учетом идей Вейссенгофа, относящихся к этому вопросу. Я тщательно исследовал проблему определения собственных магнитных моментов путем изучения траекторий, но к какому-либо окончательному выводу не пришел. Недавно курс моих лекций, посвященных этому вопросу, был опубликован (II; 23).

г) Вычитательная теория поля (начиная с 1949 года). Как известно, современные квантовые теории приводят к неприемлемому выводу о бесконечности собственной энергии электрона. Для устранения этой трудности были затрачены немалые усилия. Одна из этих попыток, предпринятая Штюкельбергом и Боппом, состоит в предположении, что электроны (говоря более общо, частицы со спином $^1/_2$) взаимодействуют не только с электромагнитным полем фотонов,

но также с одним или несколькими полями других частиц со спином 1 и отличной от нуля массой (мезоны). Тогда легко видеть, что, если сумма коэффициентов взаимодействия (одним из слагаемых является электрический заряд частицы, если она заряжена в обычном смысле этого слова) равна нулю, собственная энергия частицы будет конечной. В 1949 году я снова вернулся к этой идее в новой формулировке под влиянием соображения, изложенного мной в статье, относящейся к 1935 году (I; 51). В трех заметках, опубликованных в «Comptes rendus» в течение лета 1949 года (I; 80, 81, 82), я нашел двумя различными путями основные представления этой «вычитательной теории поля» и вывел из них ряд интересных следствий: в частности, я уточнил форму «фактора сходимости», вводимого теорией во взаимодействие электрона и излучения, фактора, который, несмотря на различные толкования, оказывается, имеет ту же форму, какая предложена в широко известных работах Р. П. Фейнмана. Изложение своих идей по этому вопросу я позднее опубликовал в журнале «Portugaliae Mathematica» (I; 84).

Применяя свои формулы к расчету массы электрона и предполагая, что электрон взаимодействует с полем фотонов и с одним мезонным полем, я нашел, что масса мезонов, связанных с этим последним полем, должна быть равна $4 \times 137 = 548$ массам электрона (масса электрона принята за единицу). Подобного рода соображения я применил, впрочем на весьма сомнительных основаниях, к протону и нейтрону (I; 83), а затем совместно с Рене Рело я исследовал гипотезу о том, что электрон должен быть связан с несколькими мезонными полями (I; 85). Эти расчеты, выполненные лишь в качестве примеров, недостаточно обоснованы. Они интересны тем, что показывают, как, основываясь на вышеизложенных представлениях, можно было бы получить соотношения между массами мезонов (их спин предполагается равным 1) и коэффициентами взаимодействия частиц со спином $^1/_2$ с мезонными полями. Эти расчеты указывают на значение числа 137 для создания стройной теории масс мезонов. Эти замечания особенно интересны сегодня, когда мы чуть ли не каждый день открываем новые типы мезонов.

В 1950 году я дал новое изложение своей вычитательной теории поля в «Journal de Physique» (I; 89). Кроме того, еще в одной статье (I; 90) я указал, что фактор сходимости,

введенный в мою теорию, видимо, может устранить расходимости, которые встречаются при изучении поляризации вакуума. Это выглядит вполне возможным, поскольку в диаграммы Фейнмана для поляризации вакуума мой фактор сходимости входит столько раз, сколько раз имеет место взаимодействие электрона с излучением; в теории же Фейнмана его фактор сходимости, хотя он тождествен моему, оказывается недостаточным для устранения расходимостей, поскольку он встречается столько раз, сколько фотонных линий присутствует в диаграммах.

В 1951 году я опять вернулся к вычитательной теории поля в иной формулировке, основанной на лагранжевой схеме, предложенной Подольским. Преимуществом этой схемы является возможность четкого выражения идеи, лежащей в основе представления о вычитательном поле: необходимости осуществления своего рода слияния электромагнитного поля и различных мезонных полей со спином 1. Развивая этот лагранжев формализм (I; 90, 94), я вновь пришел к главным выводам моих предыдущих работ, но мне пришлось рассматривать тензор энергии-импульса в новом виде. Основываясь на гипотезе о том, что электрон взаимодействует с одним мезонным полем, я нашел, что масса мезона, выраженная в массах электрона, равна не 548, как было получено мною ранее, а $2\times 137=274$, что очень близко к массе π-мезона.

Метод, использованный мною в 1949 году, состоял в рассмотрении по отдельности электромагнитного поля и различных мезонных полей и последующем слиянии их. Метод лагранжевой схемы допускает проведение слияния сразу. Сравнение двух методов показывает, что для их совместности необходимо, чтобы существовали определенные соотношения между коэффициентами взаимодействия частиц с мезонными полями, с одной стороны, и массами мезонов, связанных с этими полями,— с другой. Число этих соотношений увеличивается с увеличением числа мезонных полей, существование которых допускается. Полученные, таким образом, результаты, несомненно, находятся в связи с общей теорией «регуляризации», принадлежащей Паули (I; 96).

д) *Отдельные статьи.* Чтобы сделать настоящий перечень статей исчерпывающим, я упомяну здесь еще три отдельные статьи, опубликованные в 1942, 1949, 1951 годах

(I; 61, 77, 92). В первой из них я исследовал новым методом распространение световой энергии в анизотропной оптической среде. Во второй я сделал ряд замечаний о классическом расчете энергии и количества движения чисто электромагнитного электрона в связи с проблемой сил поверхностного натяжения, поставленной Пуанкаре. Наконец, в третьей я совместно с Бернаром Квалем исследовал калибровочные преобразования и определение тензоров Герца в теории максвелловских частиц со спином 1.

8. Работы научно-популярного характера (начиная с 1936 года)

Мне приходилось делать доклады, для того чтобы познакомить широкие слои интеллигенции с новейшими достижениями физики. Правда, в научно-популярном плане я написал только одну книгу в серии «Научная философия», издаваемой издательством «Фламмарион» (III; 1), но по разным поводам я написал большое количество статей и сделал большое количество докладов. Значительная часть этих отредактированных докладов собрана в трех выпусках серии «Наука сегодня», издаваемой под редакцией моего друга Андре Жоржа (III; 2, 3, 4).

Наконец, как непременному секретарю Академии наук мне представлялся неоднократно случай выступать с докладами и статьями, посвященными памяти или творчеству выдающихся ученых. Почти все они собраны в сборнике, вышедшем в свет в 1951 году (III; 5).

Март 1952 г. *Луи де Бройль*

ОБЩАЯ БИБЛИОГРАФИЯ (СОСТАВЛЕННАЯ АВТОРОМ)

I. Статьи и заметки

1. Sur le calcul des fréquences limites d'absorption K et L des éléments lourds («C. R.», **170**, 1920, p. 585).
2. Sur l'absorption des rayons X par la matière («C. R.», **171**, 1920, p. 1137).
3. Sur le modèle d'atome de Bohr et les spectres corpusculaires («C. R.», **172**, 1921, p. 746, совместно с Морисом де Бройлем).
4. Sur la structure électronique des atomes lourds («C. R.», **172**, 1921, p. 1650, совместно с А. Довийе).
5. Sur la distribution des électrons dans les atomes lourds («C. R.», **173**, 1921, p. 137, совместно с А. Довийе).
6. Sur le spectre corpusculaire des éléments («C. R.», **173**, 1921, p. 527, совместно с Морисом де Бройлем).
7. Sur la dégradation du quantum dans les transformations successives des radiations de haute fréquence («C. R.», **173**, 1921, p. 1160).
8. Sur la théorie de l'absorption des rayons X par la matière et le principe de correspondance («C. R.», **173**, 1921, p. 1456).
9. Rayons X et équilibre thermodynamique («Journal de Physique», série VI, tome III, p. 33—45).
10. Sur le système spectral des rayons Röntgen («C. R.», **175**, 1922, p. 685, совместно с А. Довийе).
11. Sur les analogies de structure entre les séries optiques et les séries Röntgen («C. R.», **175**, 1922, p. 755, совместно с А. Довийе).
12. Rayonnement noir et quanta de lumière («Journal de Physique», série VI, tome III, p. 422—428).
13. Sur les interférences et la théorie des quanta de lumière («C. R.», **175**, 1922, p. 811).
14. Remarques sur les spectres corpusculaires et l'effet photoélectrique («C. R.», **175**, 1922, p. 1139, совместно с Морисом де Бройлем).
15. Remarques sur le travail de E. Hjalmar concernant la série M des éléments («C. R.», **175**, 1922, p. 1198, совместно с А. Довийе).
16. Ondes et Quanta («C. R.», **177**, 1933, p. 517).
17. Quanta de lumière, diffraction et interférences («C. R.», **177**, 1923, p. 548).
18. Les quanta, la théorie cinétique des gaz et le principe de Fermat («C. R.», **177**, 1923, p. 630).
19. Sur le système spectral des rayons et la structure de l'atome («Journal de Physique», série VI, tome V, p. 119, совместно с А. Довийе).

20. Sur la vérification expérimentale des projections d'électrons prévues lors de la diffusion des rayons X par les considérations de Compton et Debye («C. R.», 178, 1924, p. 383, совместно с Морисом де Бройлем).
21. A tentative theory of light quanta («Phil. Mag.», t. XLVII, p. 446—458).
22. Sur la définition générale de la correspondance entre onde et mouvement («C. R.», 179, 1924, p. 39).
23. Sur un théorème de Bohr («C. R.», 179, 1924, p. 676).
24. Sur la dynamique du quantum de lumière et les interférences («C. R.», 179, 1924, p. 1029).
25. Sur la fréquence propre de l'électron («C. R.», 180, 1925, p. 498).
26. Sur l'interprétation physique des spectres X d'acides gras, («C. R.», 180, 1925, p. 1485, совместно с Ж. Трийя).
27. Sur le parallélisme entre la dynamique du point matériel et l'optique géometrique («Journal de Physique», série VI, tome VII, № 1, p. 1—6).
28. Remarques sur la nouvelle Mécanique ondulatoire («C. R.», 183, 1926, p. 272).
29. Les principes de la nouvelle Mécanique ondulatoire («Journal de Physique», série VI, tome VII, № 11, p. 321, 337).
30. Sur la possibilité de relier les phénomènes d'interférences et de diffraction à la théorie des quanta de lumière («C. R.», 183, 1926, p. 447).
31. Sur la possibilité de mettre en accord la théorie électromagnétique avec la nouvelle Mécanique ondulatoire («C. R.», 184, 1927, p. 81).
32. La structure atomique de la matière et du rayonnement et la Mécanique ondulatoire («C. R.», 184, 1927, p. 273).
33. L'Univers à cinq dimensions et la Mécanique ondulatoire («Journal de Physique», série VI, tome VIII, No 2, p. 65—73).
34. La Mécanique ondulatoire et la structure atomique de la matière et du rayonnement («Journal de Physique», série VI, tome VIII, № 5, p. 225—241).
35. Sur le rôle des ondes continues en Mécanique ondulatoire («C. R.», 185, 1927, p. 380).
36. Доклад на Пятом Сольвеевском конгрессе по физике: «Nouvelle Dynamique des quanta» (в «Electrons et Photons», rapports et discussions du Ve Conseil de la Physique Solvay, Gauthier — Villars, édit. 1928, p. 105).
37. Corpuscule et ondes Ψ («C. R.», 185, 1927, p. 1180).
38. Sur les équations et les conceptions générales de la mécanique ondulatoire («Bull. Soc. Math. de France» mai 1930).
39. Remarques sur les intégrales premières en Mécanique ondulatoire («C. R.», 194, 1932, p. 693).
40. Sur les densités des valeurs moyennes dans la théorie de Dirac («C. R.», 194, 1932, p. 1062).
41. Sur une analogie entre l'électron de Dirac et l'onde électromagnetique («C. R.», 195, 1932, p. 536).
42. Remarque sur le moment magnétique et le moment de rotation de l'électron («C. R.», 195, 1932, p. 577).
43. Sur le champ électromagnetique de l'onde lumineuse («C. R.», 195, 1932, p. 862).

44. Sur la densité de l'ènergie dans la théorie de la lumière («C. R.», 197, 1933, p. 1377).
45. Sur la nature du photon («C. R.», 198, 1934, p. 135).
46. Quelques remarques sur la théorie de l'élection magnétique de Dirac («Arch. Sci. Phys. et natur.», 5e pér., vol. XV, p. 465), 1933.
47. Remarques sur la Théorie de la lumière («Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de Liége», 3 ser., tome XIX).
48. L'équation d'ondes du photon («C. R.», 199, 1934, p. 445).
49. Sur le spin du photon («C. R.», 199, 1934, p. 813, совместно с Дж. Винтером).
50. Sur l'expression de la densité dans la nouvelle théorie des photons («C. R.», 199, 1934, p. 1165).
51. Une remarque sur l'interaction entre la matière et le champ électromagnetique («C. R.», 200, 1935, p. 361).
52. Sur le théorème de Koenig en mécanique ondulatoire («C. R.», 201, 1935, p. 369, совместно с Ж. Л. Детушем).
53. La variance relativiste du moment cinétique d'un corps en rotation («Journ. Math. pures appl.», XV, 1936, p. 89).
54. La théorie du photon et la Mécanique ondulatoire relativiste des systèmes («C. R.», 203, 1936, p. 473).
55. Les récentes conceptions theoriques sur la Lumière («Ann. Soc. Sci. Bruxelles», tome CLVII, 1re série, 1937, p. 99—119).
56. La quantification des champs en théorie du photon («C. R.», 205, 1937, p. 345).
57. Sur un cas de réductibilité en Mécanique ondulatoire des particules de spin un («C. R.», 208, 1939, p. 1697).
58. Sur les particules de spin quelconque («C. R.», 209, 1939, p. 265).
59. Champs réels et champs complexes en théorie électromagnétique quantique du rayonnement («C. R.», 211, 1940, p. 41).
60. Sur l'interprétation de certaines équations dans la théorie des particules de spin deux («C. R.», 212, 1941, p. 657).
61. Sur la propagation de l'énergie lumineuse dans les milieux anisotropes («C. R.», 215, 1942, p. 153—156).
62. Sur le représentation des grandeurs électromagnétiques en théorie quantique des champs et en Mécanique ondulatoire du photon («C. R.», 217, 1943, p. 89).
63. L'introduction des constantes de Coulomb et de Newton en Mécanique ondulatoire («C. R.», 218, 1944, p. 373, совместно с мадам Тоннела).
64. Remarques sur quelques difficultés de la théorie du photon liées à l'emploi d'une solution d'annihilation («C. R.», 218, 1944, p. 889, совместно с мадам Тоннела).
65. Sur un effet limitant les possibilités du microscope corpusculaire («C. R.», 222, 1946, p. 1017).
66. Remarques sur la formule de Boltzmann relative aux systèmes périodiques («C. R.», 223, 1946, p. 298).
67. Sur l'étude des très petits structures au microscope corpusculaire («C. R.», 223, 1946, p. 490).
68. Sur l'application du théorème des probabilités composées en Méchanique ondulatoire («C. R.», 223, 1946, p. 874).
69. Sur les électrinos de M. Thibaud et l'existence éventuelle d'une très petite charge du neutron («C. R.», 223, 1947, p. 615).
70. La diffusion cohérente et le microscope corpusculaire («C. R.», 224, 1947, p. 1743).

71. Le principe d'inertie de l'énergie et la notion d'énergie potentielle («C. R.», 225, 1947, p. 163).
72. Sur la fréquence et la vitesse de phase des ondes planes monochromatiques en Mécanique ondulatoire («C. R.», 225, 1947, p. 361).
73. Sur la variance relativiste de la température («Cahiers Phys.», janv. 1948, p. 1—11).
74. Sur la statistique des cas purs en Mécanique ondulatoire («C. R.», 226, 1948, p. 1056).
74 bis. La statistique des cas purs en Mécanique ondulatoire et l'interférences des probabilités («Rev. Sci.», 87e année, 1948, p. 259).
75. Sur la possibilité de mettre en évidence le moment magnétique propre des particules à spin («C. R.», 226, 1948, p. 1765).
76. Sur la possibilité de mettre en évidence le moment magnétique propre des particules de spin 1/2 («Journ. Phys.», série VIII, tome IX, 1948, p. 265).
77. Sur le calcul classique de l'énergie et de la quantité de mouvement d'un électron purement électromagnétique («C. R.», 228, 1949, p. 1265).
78. Énergie libre et fonction de Lagrange. Application à l'électrodynamique et á l'interaction entre courants et aimants permanents («Portugaliae Physica», vol. III, 1949, p. 1—20).
79. Pénétration d'une onde électromagnétique dans un milieu où la constante diélectrique varie linéairement (Note préliminaire du Laboratoire national de Radioélectricité, 1949, No 129).
80. Sur une forme nouvelle de l'interaction entre les charges électriques et le champ électromagnétique («C. R.», 229, 1949, p. 157).
81. Nouvelles remarques sur l'interaction entre une charge électrique et le champ électromagnétique («C. R.», 229, 1949, p. 269).
82. Sur la théorie du champ soustractif («C. R.», 229, 1949, p. 401).
83. Sur les champs créés par le proton et par le neutron («C. R.», 229, 1949, p. 640).
84. Une conception nouvelle de l'interaction entre les charges électriques et le champ électromagnetique («Portugaliae Mathematica», 8, 1949, p. 37—58).
85. Sur les champs mésoniques liés à l'électron dans la nouvelle théorie du champ soustractif («C. R.», 230, 1950, p. 1009, совместно с Рене Рело).
86. Sur la possibilité d'une structure complexe pour les particules de spin 1(«C. R.», 230, 1950, p. 1329, совместно с мадам Тоннела).
87. Remarques complémentaires sur la structure complexe des particules de spin I («C. R.», 230, 1950, p. 1434).
88. Sur la convergence des intégrales dans le problème de la polarisation du vide («C. R.», 230, 1950, p. 2061).
89. Sur une forme nouvelle de la théorie du champ soustractif («Journal de Physique», tome II, 1950, p. 481).
90. Schéma lagrangien de la théorie du champ soustractif («C. R.», 232, 1951, p. 1269).
91. Sur la possibilité d'une structure complexe des particules de spin I («Journal de Physique», tome XII, avril 1951, p. 509).
92. Quelques considerations sur les transformations de jauge et la définition des tenseurs de Hertz en théorie du corpuscule maxwellien de spin 1 («C. R.», 232, 1951, p. 2056, совместно с Бернаром Квалем).

93. Remarques sur la théorie de l'onde-pilote («C. R.», **233**, 1951 p. 641).
94. Sur le tenseur énergie-impulsion dans la théorie du champ soustractif («C. R.», **234**, 1952, p. 20).
95. Sur la possibilité d'une interprétation causale et objective de la Mécanique ondulatoire («C. R.», **234**, 1952, p. 265).
96. Sur les relations entre les coefficients de charge et de masse dans la théorie du champ soustractif («C. R.», **234**, 1952, p. 1505).

II. Монографии и сборники

1. Recherche sur la théorie des quanta, докторская диссертация, защищенная в Париже 25 ноября 1924 года («Annales de Physique», Série 10, tome III, p. 22—128, 1925). Немецкий перевод Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1927).
2. Ondes et mouvements (Gauthier—Villars, Paris, 1926, серия «Physique mathématique», № 1).
3. Introduction à la Physique des rayons X et γ (Gauthier—Villars, Paris, 1928, совместно с Морисом де Бройлем. Имеется немецк. перев. J. A. Barth, Leipzig, 1930).
4. La Mécanique ondulatoire (Gauthier—Villars, Paris, 1928, серия «Mémorial des Sciences physiques», № 1).
5. Selected Papers on Wave Mechanics (Blackie and Son, Glasgow, 1928, совместно с Леоном Бриллюэном).
6. Ondes et corpuscules (Hermann, Paris, 1930).
7. Introduction à l'étude de la Méchanique ondulatoire (Hermann, Paris, 1930. Английский перев.: Methuen and Co., London; немецк. перев.: Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig).
8. Théorie de la quantification dans la nouvelle mécanique (Hermann, Paris, 1932).
9. Sur une forme plus restrictive des relations d'incertitude (Hermann, Paris, 1932, серия «Exposés de Physiques théorique», № 1).
10. Le passage des corpuscules électrisés à travers les barrièrs de potentiel («Annales de l'Institut Henri Poincaré», tome III, 1932, p. 339—446).
11. L'electron magnétique (Theorie de Dirac), (Hermann, Paris, 1934).
12. Une nouvelle conception de la Lumière (Hermann, Paris, 1934, серия «Exposés de Physique théorique, № XIII).
13. Nouvelles recherches sur la Lumiere (Hermann, Paris, 1936, серия «Exposés de Physiques théorique», № XX).
14. Le principe de correspondance et les interactions entre la matière et le rayonnement (Hermann, Paris, 1938, «Exposés de Physique théorique, p. 704).
15. La Mécanique ondulatoire des systèmes de corpuscules (Gauthier—Villars, Paris, 1939, серия «Physique mathématique», № V).
16. Une nouvelle théorie de la Lumière, la Mécanique ondulatoire du photon. Tome I; La lumière dans le vide (Hermann, Paris, 1940). Tome II; L'interaction entre les photons et la matière (Hermann, Paris, 1942).
17. Problèmes de propagation guidée des ondes électromagnétiques (Gauthier-Villars, 1941).

18. Théorie générale des particules à spin (Gauthier—Villars, Paris, 1943).
19. De la Mécanique ondulatoire à la théorie du Noyau. Tome I (Hermann, Paris, 1943), Tome II (Hermann, Paris, 1945), Tome III (Hermann, Paris, 1946).
20. Corpuscules, ondes et Mécanique ondulatoire. Курс лекций в Высшей школе электричества (Centre de Documentation universitaire, Paris, 1943; Albin Michel; Paris, 1945, серия «Sciences d'aujourd'hui». Переведена на испанский и итальянский языки).
21. Mécanique ondulatoire du photon et théorie quantique des champs (Gauthier—Villars, Paris, 1949).
22. Optique ondulatoire et corpusculaire (Hermann, Paris, 1950).
23. Théorie des particules de spin $^1/_2$ (Electrons de Dirac), (Gauthier—Villars, Paris, 1952).

III. Работы по общим вопросам науки

1. La Physique nouvelle et les Quanta. Серия «Bibliothèque de Philosophie scientifique», издаваемая Полем Голтье (Flammarion, Paris, 1937. Переведена на итальянский язык).
2. Matière et Lumière (Albin Michel, Paris, 1937). Серия «Sciences d'aujourd'hui», издаваемая Андре Жоржем. Издана в Англии, США, Германии, Италии, Японии, Испании и Голландии.
3. Continu et discontinu en Physique moderne (Albin Michel, Paris, 1941; серия «Sciences d'aujourd'hui», издаваемая Андре Жоржем. Переведена на немецкий, голландский и итальянский языки).
4. Physique et Microphysique (Albin Michel, Paris, 1947. Серия «Sciences d'aujourd'hui», издаваемая Андре Жоржем Переведена на итальянский, испанский и немецкий языки).
5. Savants et Découverts (Albin Michel, Paris, 1951. Серия «Les Savants et le Monde», издаваемая Андре Жоржем. Переведена на испанский язык).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ БИБЛИОГРАФИЯ (СОСТАВЛЕННАЯ ПЕРЕВОДЧИКОМ)

I. Научные статьи

1. Wird die Quantenphysik indeterministisch bleiben? («Phys. Blätter», **9**, 1953, № 11, p. 488—497; № 12, p. 541—548).
2. Sur l'interprétation de la Mécanique ondulatoire á l'aide d'ondes á region singulière («C. R.», **236**, 1953, № 15, p. 1453—1456).
3. Sur l'interprétation causale et non linéaire de la Mécanique ondulatoire («C. R.», **237**, 1953, № 7, p. 441—444).
4. Considérations de mécanique classique préparant la justification de la mécanique ondulatoire des systemes dans la théorie de la double solution («C. R.», **239**, 1954, № 7, p. 521—524).
5. Justification, du point de vue de la théorie de la double solution, de la mécanique ondulatoire des systemes dans l'espace de configuration («C. R.», **239**, 1954, № 8, p. 565—567).
6. Henri Poincaré et les théories de la physique («Astronomie», **68**, 1954, juin, p. 217—229).
7. Notice nécrologique sur Albert Einstein («C. R.», **240**, 1955, № 18, p. 1741—1745).
8. Une nouvelle démonstration de la formule du guidage en théorie de la double solution («C. R.», **239**, 1954, № 13, 737—739).
9. Une interprétation nouvelle de la mécanique ondulatoire est—elle possible? («Nuovo Cimento», **1**, 1955, № 1, p. 37—50).
10. Allocutions á la séance d'ouverture du colloque sur le role du cortège electronique dans les phénomènes radioactifs («J. Phys. et radium», **16**, 1955, № 7, p. 499—502, совместно с Ф. Жолио-Кюри).
11. Az anyagi pont dinamikája és a geometriai optika közötti pár huzamról («Magyar fir. folyóirat», **3**, 1955, № 1, p. 103—110).
12. L'interprétation de la mécanique ondulatoire («Bull. Union physiciens», **50**, 1956, № 429, p. 391—413).
13. Ondes réqulières et ondes à région singuliére en Mécanique ondulatoire («C. R.», **241**, 1955, № 4, p. 345—348).
14. Illustration par un exemple de la forme des fonctions d'ondes singulières de la théorie de la double solution («C. R.», **243**, 1956, № 7, p. 617—620).
15. La signification du $|\Psi|^2$ pour les états stationnaires dans l'interprétation causale de la mécanique ondulatoire («C. R.», **245**, 1956, № 8, p. 689—692).

16. L'interprétations de la mécanique ondulatoire («Atomes», **11**, 1956, № 118, p. 5—11).
17. Remarques an sujet de la note precédente («C. R.», **243**, 1956, № 25, 2029).
(Заметка о статье: Фате, Фер, Дифракционные и интерференционные явления в электронной оптике: Френелева дифракция, интерференция по Юнгу, бипризма Френеля («C. R.», **243**, 1956, № 25, p. 2028—2029.)
18. Idées nouvelles concernant les systémes de corpuscules dans l'interprétation causale de la mécanique ondulatoire («C. R.», **244**, 1957, № 5, p. 529—533).
19. Tentative de raccord entre l'équation de Heisenberg et l'équation de l'onde U en théorie de la double solution («C R.», **246**, 1958, № 14, p. 2077—2079).
20. Notice nécrologique sur Frédéric Joliot («C. R.», **247**, 1958, № 8, p. 697—702).
21. «Physics and metaphysics» de Broglie L., Rosenfeld L., («Nature», **181**, 1958, № 4626, p. 1814).
(Дискуссия с Л. Розенфельдом по поводу отрицательной рецензии последнего на книгу Д. Бома «Причинность и случайность в современной физике».)
22. Sur la nomenclature des particules («C. R.», **247**, 1958, № 15, p. 1069—1072).
23. La physique contemporaine et l'oeuvre d'Albert Einstein, Notices et discours («Inst. France», Acad. Sci., t. 3, P., 1957, p. 39—66).
24. Le problème des particules dans la physique contemporaine («Sciences» (France), **1**, 1959, № 1, p. 41—50).
25. Propriétés classiques et réprésentation bilocale du rotateur de Nakano («C. R », **249**, 1959, № 22, p. 2255—2258).
26. L'interprétation de la mécanique ondulatoire («J. Phys. et radium», **20**, 1959, № 12, p. 963—979.
27. Deux remarques en relation avec le problèmes du disque tournant en théorie de la relativité («C. R.», **249**, 1959, № 16, p. 1426—1428).
28. L'intérpretation de la mécanique ondulatoire («Pensée», 1960, № 91, p. 16—45).

II. Книги и новые переиздания

1. Conséquences de la relativité dans le developpement de la mécanique ondulatoire, P., 1932.
2. Matiére et lumiére, 2 ed. P., 1948.
3. L'énergie atomique et ses applications, P., 1951.
4. Les applications de la mécanique ondulatoire à l'etude de la structure des molecules, P., 1953.
5. Eleménts de théorie des quanta et de mécanique ondulatoire, P., 1953; P., 1959.
6. La physique quantique restera-t-elle indéterministe? P., 1953 (сборник статей 1927 года с предисловием).
7. The Revolution in Physics. A nonmathematical survey of quanta, №. I., 1953; L., 1954.
8. Le dualisme des ondes et des corpuscules dans l'oeuvre de Albert Einstein, lecture faite... 5 déc. 1955, P., 1955.

9. Physics and microphysics, L., 1955; №. I., 1960.
10. Une interprétation nouvelle de la mécanique ondulatoire est-elle possible? Alençon, 1955.
11. El problema de la interprétacion causal y objetiva de la fisica, Mexico, 1956.
12. Une tentative d'interprétation causale et non leneaire de le mécanique ondulatoire, P., 1956. Перевод на английский язык: Non-linear Wave Mechanics. A causal interpretation. Amsterdam, 1960.
13. Nouvelles perspectives en microphysique, P., 1956; P., 1958.
14. Continuidad y discontinuidad en fisica moderna, Madrid, 1957.
15. La thèorie de la mesure en mécanique ondulatoire; interprétation usuelle et interprétation causale, P., 1957.
16. Examen de mécanica cuantica, Mexico, 1961, p. 199—255 (перевод некоторых статей на испанский язык).
17. Introduction à la nouvelle thèorie des particules de M. Jean-Pierre Vigier et de ces collaborateurs, P., 1961.

III. Книги и статьи, переведенные на русский язык

1. Введение в волновую механику, ГНТИУ, Харьков, 1936 (перевод II, 7).
2. Магнитный электрон (теория Дирака), ГНТИУ, Харьков, 1936 (перевод II, 11).
3. Электромагнитные волны в волноводах и полных резонаторах, Издательство иностранной литературы, 1948 (перевод II, 17).
4. Останется ли квантовая механика индетерминистской?, «Вопросы философии», 1954, № 4, 105—118.
5. Останется ли квантовая физика индетерминистской?, в сб. «Вопросы причинности в квантовой механике», Издательство иностранной литературы, 1955, стр. 11—33.

ЛУИ ДЕ БРОЙЛЬ И ЕГО КНИГА «ПО ТРОПАМ НАУКИ»

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Перевернута последняя страница этой книги. Закончено поучительное и увлекательное путешествие по многим из тех троп, по которым некогда прошла и идет ныне научная мысль. Когда мы следовали по ним, внимание всецело было занято развертывавшимися перед нашим мысленным взором картинами неустанных поисков истины, образами тех, кто вложил в общую сокровищницу человеческого знания ценнейшие дары. Мы тогда не думали о том, **кто** ведет нас по этому пути, **кому** мы обязаны духовной встречей с выдающимися людьми науки, творческий труд которых всегда будет вызывать восхищение. Теперь, расставаясь с прочитанной книгой, мы невольно обращаемся к человеку, который так искусно направлял нас в этом мысленном путешествии,— к автору книги, замечательному французскому физику Луи де Бройлю. Это тем более оправдано, что он является не только умелым проводником по тропам науки, проложенным некогда другими, но и проницательным первооткрывателем новых путей, по которым движется физика наших дней. Поэтому его собственная творческая деятельность столь же поучительна, как и творческая деятельность тех людей, о которых рассказал он.

Говоря о Поле Ланжевене, де Бройль указывал на его «широкий кругозор» и любовь к «общим идеям». Но то, что сказал де Бройль о своем всемирно прославленном учителе, может быть отнесено и к нему самому. В содержании книги хорошо отразилась эта приверженность к общим идеям, большая широта интересов и взглядов ученого. Его внимание привлекают фундаментальные принципы современной квантовой механики и изобретение кислородно-ацетиленовой горелки; насущные проблемы теории «эле-

ментарных» частиц и вопросы осветительной техники; физический смысл кванта действия и сверхвысокочастотные колебательные контуры и антенны; общие перспективы, закономерности, а также уроки развития физической науки и цветное телевидение; структура атомного ядра и роль любопытства, игр и воображения в научном исследовании; эволюция научного языка и соотношение научно-исследовательской работы и преподавательской деятельности и т. д.

Но де Бройль не просто рассказывает о многом, но и в этом многом раскрывает общее, единое. Поэтому его книга, составленная из статей и речей, написанных и прочитанных по самым различным поводам и в различные моменты времени, начиная с 1947 г., обладает определенной внутренней цельностью. Две стержневые линии, проходящие через весь разнородный материал книги, создают эту цельность:

1. По какому бы поводу ни выступал де Бройль, в каждой из его речей или статей отражено победное, торжествующее шествие человеческой мысли, с все возрастающим успехом раскрывающей тайны природы и овладевающей ее силами. Вера в науку, в ее неограниченные возможности, восхищенная любовь к человеку — творцу великих духовных и материальных ценностей, в какой бы области он ни работал, сквозят во всем, о чем счел нужным рассказать в своей книге маститый ученый. С проникновенной теплотой и сердечностью рисует он облик и таких корифеев, как Г. Лорентц, Ф. Жолио-Кюри, П. Кюри, Л. Больцман, которым человечество обязано созданием целых разделов физической науки, и таких скромных тружеников, как инженеры Ш. Пикар, Э. Фуше, трудившиеся над созданием газовой горелки, или инженер А. Клод, отдававший свои силы делу усовершенствования люминесцентных ламп.

2. Повторив слова Монтеня, сказавшего, что «наука — это великое украшение», и вслед за тем добавившего: «...и чрезвычайно полезное орудие», Луи де Бройль отмечает: «Действительно, таковы две **неразрывно связанные** (подч. мной.— *И. К.*) стороны научного знания: одна — духовная, другая — практическая» (стр. 223).

Идея органической взаимосвязи «духовной» и «практической» сторон научного знания, т. е., говоря другими словами, науки и техники, производства, пронизывает книгу де Бройля.

Размышляя о прикладных проблемах, де Бройль стремится показать их связь с теоретической физикой, с ее основными идеями и задачами, перспективами ее развития. Когда, например, ему представляется случай выступить по вопросам осветительной техники, он перебрасывает мост от чисто практических вопросов к наиболее абстрактным теоретическим проблемам современной физики. Он показывает, какое большое значение для развития современной осветительной техники имеет открытие квантовой структуры излучения и квантового характера процессов, при которых излучение возникает и преобразуется. Говоря в этой связи о важности глубокого исследования природы света, он пользуется представившейся ему возможностью, чтобы вновь привлечь внимание к всегда волнующей его физической проблеме — проблеме синтеза корпускулярных и волновых свойств материи.

Де Бройль показывает не только важность теоретических исследований для техники, но и демонстрирует определяющую роль техники, производства, практики в развитии теоретических идей. Он заявляет, что **источником** научного знания являются «технические и прикладные цели».

Это общее положение он превосходно подтверждает конкретными примерами, взятыми из области техники сверхвысоких частот. Он рассказывает о том, как развитие техники сверхвысоких частот, обслуживающей новые виды практической деятельности, обнаружило недостаточность прежних классических представлений о колебательных электромагнитных контурах; как оно поставило ряд новых глубоких теоретических задач и побудило для их решения создать новый сложный математический аппарат. Так, в частности, в волноводах были открыты неизвестные ранее типы электромагнитных волн, обнаружена необходимость значительного усложнения принципа Гюйгенса, фигурирующего в классической электромагнитной теории, и т. д. Хотя в данном случае основы классических теоретических представлений и не были нарушены, но потребности техники дали толчок для зарождения существенно новых идей. В образной форме де Бройль это удачно выразил так: «...необходимость ответа на четкие и новые технические запросы привела к появлению крепких молодых побегов на старом стволе электромагнитной теории» (стр. 201).

Подчеркивая, что все это служит прекрасным образцом «сотрудничества науки и техники», де Бройль пишет:

«Сказанного мной достаточно для того, чтобы показать, как развитие техники сверхвысокочастотных контуров и антенн явилось плодотворным источником исследований в области теоретической физики, открывших, даже в рамках теорий, основы которых были в совершенстве известны и исследованы, массу новых задач и неожиданных решений. Наоборот, техника сверхвысоких частот смогла развиваться, лишь опираясь на теоретические исследования...» (стр. 200—201).

Краткая, но выразительная речь де Бройля, посвященная Анри Лешателье, по существу, вся направлена на то, чтобы на примере деятельности этого знаменитого химика еще раз сказать о «необходимости постоянного сотрудничества между наукой и производством», о необходимости «установить прочную и тесную связь между наукой и техникой для наибольшей выгоды той и другой». Присоединяясь к мнению Лешателье о том, что «быстрое развитие физико-химических наук в прошлом веке было обусловлено бурным ростом промышленности», де Бройль снова подтверждает свою общую мысль о единстве «духовной» и «практической» сторон научного знания. Перечисляя черты, делающие фигуру Лешателье, по его мнению, «наиболее привлекательной» среди людей современной французской науки, де Бройль особо выделяет именно то обстоятельство, что Лешателье «...был символом плодотворного союза между наукой и промышленностью» (стр. 113).

Хорошо понимая важность союза между наукой и техникой, де Бройль не только в общей форме показывает значение этого союза, но и своими специальными исследованиями вносит конкретный вклад в его укрепление и расширение. Среди трудов де Бройля мы находим и такие, которые прямо отвечают на назревшие потребности новых отраслей техники, а именно техники сверхвысоких частот. Здесь следует назвать его книгу «Вопросы направленного распространения электромагнитных волн». В ней ученый использовал свое мастерство физика-теоретика, искусно владеющего сложным математическим аппаратом, для решения практических задач, встающих перед радиоинженерами.

* * *

Если обратиться к тематике проведенных Луи де Бройлем исследований, то легко обнаружить, что они касаются

почти всех основных разделов физической науки — молекулярной физики, термодинамики, электродинамики, оптики, физики рентгеновских лучей, строения атома, квантовой механики, теории относительности, теории «элементарных» частиц. Цикл специальных профессионально-физических исследований увенчивается его трудами по истории науки, философским проблемам физики, по вопросам образования. В этой почти энциклопедической многоплановости творчества Луи де Бройля проявляется та широта его интересов, о которой уже говорилось выше.

Мысль де Бройля чутко откликается на все новые запросы физической науки, всегда работает на переднем крае исследований современной теоретической физики. Она занята решением насущных, актуальных задач. Словом, она живет духом науки сегодняшнего дня.

Между тем далеко не всегда крупный ученый, внесший значительный вклад в познание природы, оказывается в таком положении. История физики показывает, что существует немало ученых, обессмертивших себя выдающимся открытием, однако не успевающих за продвижением науки вперед и остающихся у того рубежа, до которого некогда дошла наука благодаря их собственным усилиям. Мы чтим по заслугам таких ученых, но их творчество еще при их жизни становится достоянием прошлого — хотя бы и незыблемым, славным достоянием.

Луи де Бройль не относится к таким деятелям науки. Он — в гуще научных интересов сегодняшнего дня и остается, по его удачному выражению, «закоренелым исследователем», испытывающим почти юношеский энтузиазм, огромные духовные радости от этого участия в общем поступательном движении современной науки.

В каждой из областей физической науки, привлекших внимание де Бройля, он сказал свое слово. Здесь и данные им формулы, выражающие закономерности поглощения рентгеновских лучей; и исследования, связанные с классификацией рентгеновских спектральных линий; и применение принципа Гюйгенса к радиоволнам; и анализ возможностей так называемых «корпускулярных микроскопов» (основанных на применении потоков частиц вещества) в деле отображения внутренней структуры атомов; и изучение новым, разработанным им методом распространения световой энергии в анизотропных оптических средах; и решение некоторых тонких вопросов релятивистской термоди-

намики, а также рассмотрение некоторых сторон явления флуктуации энергии в излучении абсолютно черного тела и т. д.

Хотя де Бройль касается многих разделов физической науки, но не ко всем из них он обращается одинаково часто и углубленно. Самой излюбленной областью физики является для него область волновой или квантовой механики, а также тесно примыкающей к ней теории «элементарных» частиц. Ей отдано сердце де Бройля. На этой почве взросли его наивысшие достижения как ученого. Ряд его работ, особенно ранних, в сущности, явились для него лишь ступеньками той лестницы, по которой нужно было подняться, чтобы впервые открыть эту область и для себя, и для других ученых, для всей науки вообще. Некоторые из его работ, как будто и находящиеся вдали от этой области, все же оказываются закономерным следствием сделанного именно в ней.

Создание квантовой механики в том ее виде, в каком теперь предстает перед нами эта весьма обширная и разветвленная дисциплина, не является делом какого-либо одного человека. Она плод усилий ряда ученых многих стран. И она возникла не на пустом месте, а на почве, подготовленной ее предшественницами — квантовой теорией излучения М. Планка, фотонной теорией А. Эйнштейна, квантовой теорией атома Н. Бора.

Но Луи де Бройль заложил краеугольные камни, фундамент квантовой механики, открыл ее важнейший принцип. Дату рождения квантовой механики надо поэтому относить к моменту публикации основополагающих трудов де Бройля, содержащих ясную формулировку этого принципа,— они вышли в свет в 1923 г.

Великий научный подвиг Луи де Бройля состоит в открытии им общего закона природы, устанавливающего, что **любые виды материи, изучаемые физикой, необходимо обладают как корпускулярными, так и волновыми свойствами**. Луи де Бройль дал строгое математическое выражение для закономерной связи корпускулярных (импульс p и энергия E) и волновых (длина волны λ и частота ν) свойств **любых** материальных объектов в виде ставших знаменитыми «уравнений де Бройля»:

$$p=\frac{h}{\lambda}, \qquad E=h\nu,$$

где h — квант действия, открытый М. Планком.

Так в истории науки впервые появились «волны де Бройля», характеризуемые вышенаписанными соотношениями и неразрывно связанные с движением всех материальных объектов[1]. Они сразу же позволили французскому физику объяснить правила квантования движения электронов в атоме, найденные Н. Бором и до той поры остававшиеся совершенно загадочными. Это были те самые пси-функции (ψ-функции), к нахождению специфического конкретного вида и свойств которых стало сводиться решение всех основных квантово-механических задач. Открытие «волн де Бройля» и «уравнений де Бройля» создало все условия для систематического построения всего здания квантовой механики. Луи де Бройль активно участвовал в этой работе, осуществлявшейся многими физиками.

Дальнейшее развитие квантовой механики состояло прежде всего в установлении закона движения волн де Бройля, связывающего их изменение в пространстве и во времени с характером силового поля, в котором находится материальный объект. Этот закон для скоростей, малых в сравнении со скоростью света, дается уравнением Э. Шредингера (нерелятивистский случай); оно было найдено раньше всего. Для скоростей, сравнимых со скоростью света, он дается уравнением П. Дирака. Сам де Бройль предпринял попытку выразить уравнение Шредингера в форме, отвечающей требованиям теории относительности. Это была первая попытка такого рода, и она являлась совершенно назревшей. Де Бройль получил уравнение, которое оказалось переходным к уравнению Дирака, в полной мере соответствующему теории относительности. В историю квантовой механики оно вошло под именем уравнения Клейна—Гордона, так как эти ученые почти одновременно с де Бройлем нашли его. Но по справедливости его, быть может, следовало назвать уравнением де Бройля—Клейна—Гордона.

После того как Дирак предложил свое релятивистское квантово-механическое уравнение электрона, де Бройль провел исследование сходства и различия между уравнением Дирака и уравнениями электромагнитной теории Максвелла. Благодаря этому лучше выявились принципиальные

---

[1] Фактически учет волновых свойств является актуальным лишь для микроскопических объектов. Только для движения микрообъектов волновые свойства являются существенными. В случае макроскопических тел на первый план выступают их корпускулярные свойства.

особенности новой квантово-релятивистской теории. Вместе с тем это позволило де Бройлю предпринять попытки создать волновую механику фотона. Де Бройль выдвинул оригинальную идею фотона как сложной частицы. По его представлениям фотон, обладающий спином, равным 1, состоит из двух составляющих, каждая из которых имеет спин, равный $^1/_2$, и движение которых описывается уравнением Дирака. Он разработал особый «метод слияния», благодаря чему эти составляющие и были представлены в виде одной совокупной частицы. Соображения, развитые де Бройлем, привели его к двум выводам: 1) что может существовать фотон со спином 0 (экспериментально не обнаруженный «скалярный фотон») и 2) что фотон обладает хотя и очень малой, но конечной собственной массой. Таким путем де Бройль закладывал основы общей теории частиц со спином 1 и обладающих конечной собственной массой. Он вывел для «волн де Бройля» таких частиц особое уравнение. Оно оказалось своеобразным обобщением уравнений Максвелла и прообразом так называемого «уравнения Прокá», предложенного позже для заряженных мезонов, только что открытых в то время. Последнее отличается от уравнения де Бройля для частицы со спином 1 только членами, описывающими воздействие электромагнитного поля на заряженную частицу. Не следовало ли и тут внести уточнение, назвав это уравнение «уравнением де Бройля—Прока»?

Но дело не в этой формальной стороне вопроса. Суть заключается в том, что труды де Бройля и здесь облегчали решение сложных проблем, помогали пролагать тропы на новых направлениях научного исследования. Он активно трудился рядом с теми, кто отстраивал новые разделы квантовой механики на том же общем основании, созданием которого наука обязана только ему. Его идеи, в частности идея представления «элементарных» частиц как сложных, образованных составляющими со спином $^1/_2$, подхватывались другими учеными и в более или менее модифицированном виде прилагались к решению все новых и новых вопросов.

Мы не будем останавливаться на других относительно частных вопросах квантовой механики и теории «элементарных» частиц, над решением которых размышлял ученый. Но мы не можем обойти молчанием одну проблему, которой де Бройль всегда придавал фундаментальное значение и к поискам решения которой он постоянно возвращается

Это проблема раскрытия конкретной картины, физической сущности синтеза корпускулярных и волновых свойств материи—фундаментальной диалектической черты микроявлений.

О том, что синтез корпускулярных и волновых свойств материальных объектов реально осуществляется в природе, с несомненностью говорят знаменитые «уравнения де Бройля». И в точном математическом воплощении этой истины состоит их великое, непреходящее значение. Но наука не останавливается на констатации этого факта. Она идет дальше и стремится раскрыть **физическую** основу этого синтеза, конкретный реальный механизм «ассоциации» частицы и волны, пытается понять характер той материальной связи, которая объединяет в цельную нераздельность внутренне противоречивые стороны объектов.

Луи де Бройль уже в самом начале своего научного пути осознал важность глубокого понимания природы корпускулярно-волнового синтеза и на протяжении долгих лет ищет решения этой проблемы.

Открытие фундаментального закона природы и познание его глубокой физической сущности, своего рода «механизма», или «способа реализации» его действия, по большей части не совпадают по времени друг с другом. Второе отстает от первого на более или менее длительный срок. Так было, например, в случае с периодическим законом химических элементов Д. И. Менделеева. Гениальный русский химик открыл факт периодической повторяемости свойств в ряду химических элементов, благодаря чему их стало возможным объединить в единую систему, в 1869 г. Но познание того, **почему** существует периодичность, каковы ее материальные основы, было достигнуто значительно позже, в XX веке,— только после того, как удалось в общей форме раскрыть строение атома, неизвестное Д. И. Менделееву. Основой периодичности свойств химических элементов оказалась периодичность в структуре электронных оболочек, облекающих атомы ядра.

Подобное этому должно было произойти и в случае открытия де Бройля. Осознание характера, природы связи частицы и волны могло прийти только более или менее значительно позже самого обнаружения факта существования такой связи.

Для де Бройля проблема синтеза частиц и волн с самого же начала представлялась как проблема органической

«ассоциации» реальных физических сущностей, в равной мере обладающих пространственными и временными свойствами. Поэтому он искал их соединения в рамках обычного трехмерного пространства, в котором существуют все материальные явления.

Готовясь к пятому Сольвеевскому конгрессу по физике, на котором осенью 1927 г. должны были обсуждаться актуальные вопросы только что народившейся новой науки — квантовой механики, де Бройль пришел к идее «двойного решения». Согласно этой идее частица **включена** в волну и представляет собой некоторую особенность в лоне волны, локализованную в малой области пространства. Это, по образному выражению де Бройля, своего рода «неровность», или «горб», небольшой протяженности в обширном волновом явлении. По мысли де Бройля, основное уравнение квантовой механики должно дать два решения, одно из которых определяет распространение реальной непрерывной волны, а другое — движение реальной дискретной частицы, как узко локализованной особенности в этой волне.

Следует сказать, что ученому тогда не удалось безукоризненно обосновать свою идею и представить на суд коллег строго математически развитую теорию. Он встретился с рядом значительных технических трудностей, путей преодоления которых не нашел. Понимая незавершенный характер идеи двойного решения, де Бройль на пятом Сольвеевском конгрессе изложил свою точку зрения в несколько более «осторожной форме». Он не подчеркивал, что частица по своей физической природе есть особенность волны, но указывал, что волна эта является материальным процессом, распространяющимся в пространстве и времени и некоторым образом «**указывающим** дорогу» частице при ее перемещении. Эта точка зрения, получившая наименование теории «волны-лоцмана», или теории «волны-пилота», оставляла открытым вопрос о природе корпускулярно-волновой двойственности, но настаивала на реальном физическом существовании и волны и частицы в пространстве и во времени.

Но к тому времени в трудах ряда выдающихся ученых уже развивалась другая интерпретация, согласно которой волны де Бройля носят чисто статистический, вероятностный характер и не являются физическим процессом, распространяющимся в пространстве и времени. Квадрат амплитуды волны определяет лишь вероятность местонахож-

дения частицы в данной области пространства в данный момент времени. С этой точки зрения и была подвергнута критике теория «волны-лоцмана». При подобном понимании волн де Бройля, конечно, бессмысленно думать, что волна может «вести» частицу.

Вняв этой критике, хотя она, как ему представлялось, все же не затрагивала основ более глубокой идеи «двойного решения», де Бройль присоединился к статистическому толкованию и написал ряд фундаментальных работ, опираясь на него. Впрочем, как он сам подчеркивал, его, в сущности, обескураживало то обстоятельство, что эти волны в случае систем частиц нужно представлять себе находящимися в чисто математическом конфигурационном пространстве.

Статистическое толкование волн де Бройля, предложенное М. Борном, было принято подавляющим большинством физиков всего мира, несмотря на то что оно оставалось чуждым не только Лорентцу, но и Эйнштейну, Шредингеру и некоторым другим ученым. Оно доказало свою плодотворность в блестящих успехах квантовой механики. Но идеалистические спекуляции на статистической интерпретации волн де Бройля привели к появлению в литературе антинаучных заявлений о «крахе причинности», о «разгроме принципа детерминизма», о «свободе воли электрона», о существовании микрообъектов «вне времени и пространства» и т. п. Поль Ланжевен назвал эти заявления «интеллектуальным развратом». У его ученика Луи де Бройля этот «интеллектуальный разврат» вызывал отвращение. В обзоре своих научных работ де Бройль сдержанно констатирует, что, относясь к сторонникам вероятностного толкования волновой механики, он «...никогда не соглашался с довольно опрометчивыми философскими выводами, которые из него иногда пытались делать» (стр. 356). И это действительно так. Подобного рода «выводы» противоречат коренным основам мировоззрения де Бройля, которых он никогда не покидал.

Но принятие статистического толкования не было для де Бройля окончательным. В его душе, видимо, накапливался внутренний протест против точки зрения, которая не была им усвоена органически. Когда в самом начале 50-х годов молодые физики Д. Бом и Ж. Вижье возродили его идею «двойного решения» и показали некоторые дальнейшие возможности ее развития, ученый как бы воспрянул

духом. С мужеством, достойным глубокого уважения, он заявил о решительном пересмотре взглядов, которые он разделял четверть века, и о возврате к точке зрения, которую он некогда первоначально провозгласил. Раньше де Бройль был одинок. Теперь рядом с ним появились молодые инициативные сотрудники, с энтузиазмом стремящиеся реализовать программу его теории «двойного решения».

Луи де Бройль осторожен в оценках дальнейших перспектив этой теории, предпочитает «отложить на будущее окончательное суждение о возможности добиться успеха» на пути, указываемом его теорией. Он снова напоминает о серьезности критических замечаний А. Эйнштейна по адресу статистического толкования пси-волн, о том, что тонкие и искусные ответы, даваемые на них Н. Бором, «не на всех производят впечатление совершенно убедительных». Преимущество своей позиции де Бройль видит в том, что на ее основе физическая теория дает непосредственный, конкретный пространственно-временной образ микрообъекта и его движения. По его мнению, задача раскрытия структуры «элементарных» частиц, поставленная на повестку дня современной физикой в качестве самой актуальной, может быть решена только на базе таких пространственно-временных представлений. Таким образом, развитие современной физики делает настоятельным прямое обращение к ним.

Взгляды де Бройля и его сотрудников и единомышленников встречают сильное сопротивление со стороны ряда авторитетных физиков, считающих единственно верным и исчерпывающим статистическое толкование квантовой механики. Де Бройль это знает и понимает. Но он с глубокой внутренней убежденностью и притягательной смелостью борца за истину отстаивает свое истолкование, привлекающее ныне новых сторонников, стремящихся помочь ему в превращении его идей во всесторонне развитую строгую физическую теорию. Вместе с ними он устранил уже ряд трудностей, стоявших прежде на пути развиваемого им истолкования. Но он также видит, что этих трудностей остается еще очень много. Отмечая это, он тем не менее полон оптимизма: «Итак, — пишет он,— было бы еще преждевременным утверждать, что это истолкование окончательно восторжествует над общепринятым в настоящее время истолкованием. Тем не менее такое изменение поло-

жения мне не представляется более невозможным, и не исключена возможность, что после этого перед волновой механикой и квантовой физикой откроются совершенно новые горизонты» (стр. 255).

Знакомясь с высказываниями критиков точки зрения Луи де Бройля, мы встречаемся порой с ее оценкой как «механистической» и направленной на возвращение физики к чисто классическим представлениям. Мы полагаем, что это несправедливо. Де Бройль вовсе не стремится свести специфические квантовые закономерности к закономерностям механики Ньютона или переставить все здание современной физики на старый фундамент классической физики. Иногда он говорит о необходимости физического объяснения в прежнем, «классическом духе». Но под этим он подразумевает только одно — представление физических объектов, изучаемых квантовой механикой, как **реально** существующих и существующих в **реальных** пространстве и времени, движение которых подчиняется принципу детерминизма. Толковать это как механицизм нет достаточных оснований. Сам де Бройль не раз говорит о несостоятельности сведения современной физики к классической механике.

Но в полемике, может быть, и де Бройль не вполне точен и справедлив. Порой, например, создается впечатление, что он не отличает объективную сущность статистической интерпретации квантовой механики от идеалистических устремлений некоторых физиков. А между тем смешивать эти вещи ни в коем случае нельзя.

Как бы то ни было, не может не радовать творческая настроенность маститого ученого, стимулирующего развитие новых идей, поиски истины на новых путях, возникновение дискуссий, способствующих лучшему уяснению принципов квантовой механики. Независимо от того, кто в конце концов окажется правым, Луи де Бройль станет на сторону истины, даже если ему и доведется признать возможную ошибку. Честный и смелый ум ученого ищет только истину. Но истину, равно убедительную для обоих сторон, которая скажет последнее слово в этом важном для науки споре, еще предстоит извлечь из недр добываемого современной физикой материала.

* * *

Луи де Бройль не только решал те или иные специальные задачи физики, но и много думал о сущности, источниках

и общих путях научного познания, законах его развития, о тех орудиях, которыми пользуется наука для постижения истины, о типах научных теорий, о влиянии различных философских течений на познавательную работу ученого и т. д. Это, конечно, вполне естественно. Ученый такого масштаба, как де Бройль, живущий интересами всей физической науки в целом, в поле зрения которого находится вся совокупность ее фундаментальных проблем, собственные исследования которого касаются ее коренных основ, не может не размышлять о вопросах подобного рода. Как чрезвычайно метко сказал замечательный русский физик В. А. Михельсон, «физик, не желающий оставаться на второстепенной роли научного чернорабочего, только собирающего факты, должен быть вместе с тем и философом»; «великий физик всегда вместе с тем и философ». А де Бройль — великий физик!

Та совокупность общих представлений о природе и познании, которых придерживается де Бройль, в ряде его высказываний характеризуется им как «научный реализм». Ученый нигде не дает прямого развернутого определения этого понятия, предполагая, видимо, содержание его само собой разумеющимся, хотя в действительности этот термин достаточно неопределенен и расплывчат. Но если внимательно приглядеться к тому, в каких случаях де Бройль его употребляет, каким взглядам его противопоставляет, с каких позиций он решает конкретные задачи науки, то смысл одобряемого де Бройлем «научного реализма» становится совершенно ясным и недвусмысленным. Под этим он понимает признание реального, т. е. независимого от субъекта, существования тел и явлений, изучаемых наукой, их движения в объективных пространстве и времени, их ничем не ограниченную познаваемость на основе чувственных восприятий и абстрагирующей действительности разума. С этим де Бройль также связывает и представление о господстве в природе объективной закономерности, причинности, детерминизма.

Безоговорочное признание объективного существования явлений природы в пространстве и времени де Бройль считает принципиально важным для науки. Он прямо выражает сомнение в возможности плодотворной научной работы без этого признания объективной реальности. Ссылаясь на мнение французского философа Эмиля Мейерсона, де Бройль указывает: «Физик всегда инстинктивно является

«реалистом» в философском смысле этого слова, и сомнительно, чтобы он смог с пользой вести свою работу, отказавшись от своей веры в объективную реальность» (стр. 172). Сам де Бройль не принадлежит к числу тех, кто лишь «инстинктивно» придерживается убеждения в существовании объективной реальности. Напротив, он сознательно, а не стихийно, с твердой внутренней уверенностью разделяет это убеждение.

Давая точную философскую квалификацию существа взглядов де Бройля, мы с полным правом можем охарактеризовать их как сознательно материалистические. Не имеет значения, что сам ученый не прибегал к такой терминологии, оценивая свои воззрения. Важно, чем он фактически руководствовался в своей деятельности. Руководящими же для него всегда были именно общие принципы материализма.

Понятно, что де Бройль специально не занимался самостоятельными научными исследованиями в области явлений высшей нервной деятельности. Но когда ему выдался случай сказать свое мнение по вопросу о соотношении мышления и мозга — вопросу, играющему кардинальную роль в разграничении линий материализма и идеализма,— он, опираясь на данные современного естествознания, выразил ясную материалистическую точку зрения: мозг есть центр высшей нервной деятельности, и именно материальным электрическим явлениям, происходящим в нем, он, «несомненно, обязан... изумительной сложностью и удивительным богатством своих возможностей к мышлению и деятельности» (стр. 149). Де Бройль решительно отвергает характерные для идеалистической гносеологии представления о наличии неких сверхчувственных источников и путей познания. Без какой-либо тени сомнения он провозглашает: «...мы можем познавать внешний мир только с помощью восприятий» (стр. 195).

Характер философских позиций де Бройля четко обрисовывается в его оценке роли позитивизма в научном познании вообще и в развитии физики в частности.

Говоря о школе «энергетиков», возникшей во второй половине XIX в. и возглавлявшейся В. Оствальдом и П. Дюгемом, де Бройль правильно отмечает основные черты воззрений этой школы: ограничение физической теории построением логико-формальных конструкций, ставящих своей целью лишь описание, сжатое резюмирование и классификацию непосредственных чувственных данных, полу-

ченных в эксперименте; принципиальный отказ от всяких устремлений дать отображение внечувственного (т. е. независимого от субъекта), объективного, пространственно-временного бытия физических явлений. Он подчеркивает родство этого «феноменологического направления» с позитивизмом О. Конта, способствовавшим усилению влияния «энергетизма» среди естествоиспытателей. Причину распространения этих взглядов де Бройль видит в том, что намеченная в них познавательная программа показалась некоторым ученым надежно ограждающей науку от беспочвенных умозрений, фантазий, исключающей отрыв теории от эксперимента.

Однако осторожное благоразумие феноменологизма и позитивизма, обязывающее ученого ни на шаг не отходить от непосредственных чувственных данных, иметь дело только с ними одними, на деле оказывается бескрылой догматической трусливостью. Она накладывает тяжкие цепи на познающий разум, сковывая его творческую работу. Она таит в себе серьезную опасность, угрожающую самому существованию науки. И Луи де Бройль настойчиво предупреждает против этой опасности: «Если преимущество позитивистской и феноменологической позиции состоит в ее благоразумии и в том, что она обязывает ученого оставаться на почве надежно установленных фактов, то она имеет и недостатки: она рискует подрезать крылья научному воображению, которое всегда играет фундаментальную роль в прогрессивном развитии науки, и она может также затормозить это развитие, априорно заявляя о том, что запрещено вступать на тот или иной путь исследования или истолкования. Она стремится также ослабить, если не уничтожить, понятие объективной физической реальности, независимой от наших наблюдений» (стр. 172). А между тем, как подчеркивал де Бройль, о чем уже говорилось выше, без этого понятия полезность научного исследования становится сомнительной. Главная особенность познания состоит в восхождении мысли от непосредственных чувственных данных к тому, что, порождая эти чувственные данные, лежит вне них и существует независимо от них, т. е. к объективной реальности. Отказываясь от признания объективной реальности, позитивизм насильственно закрывает для науки путь к ее высшей цели.

Нельзя не видеть, как глубоко и точно Луи де Бройль раскрыл здесь существо основной философской тенденции

позитивизма и его разновидности — энергетизма: они стремятся ослабить или уничтожить совсем понятие объективной реальности! Да, именно это является главным в их теоретических злоключениях — поход против объективной реальности. Именно за это В. И. Ленин и подверг их неотразимой критике в своей знаменитой книге «Материализм и эмпириокритицизм». Остается пожалеть, что эта книга, по-видимому, осталась неизвестной французскому физику. Знакомство с ней, несомненно, усилило бы его собственную аргументацию против позитивизма и энергетизма.

Отрицательное влияние позитивистских концепций на научное исследование де Бройль показывает на примере ожесточенной борьбы энергетизма против атомистики. Сторонники энергетизма предавали анафеме труды Л. Больцмана, разрабатывавшего кинетическую теорию материи, высмеивали все его усилия познать скрытый атомно-молекулярный механизм физических явлений, противопоставляя им свои формальные теории. Но атомистика неуклонно одерживала одну триумфальную победу за другой, в то время как формальные теории энергетистов с неумолимой неизбежностью «...обнаруживали свою все большую и большую бесплодность...» (стр. 257—258). В конце концов они были вынуждены отступить и признать себя побежденными.

Научная бесплодность — таков, по мысли де Бройля, итог неотступного следования энергетистов за предписаниями позитивизма.

Де Бройль считает правильным путь Л. Больцмана, непримиримо боровшегося с позитивизмом и строившего физическую теорию на основе признания объективной реальности, на основе стремления нарисовать ясную пространственно-временную картину течения физических процессов. Л. Больцман страстно отвергал философские взгляды своих противников, считая их родственными солипсизму Беркли. Луи де Бройль стоит на стороне великого адепта атомистики, творца основ современной кинетической теории, поборника материалистических воззрений в физике. Он показывает, какое благотворное воздействие оказали идеи Л. Больцмана на творчество М. Планка и А. Эйнштейна, и подчеркивает, что в своих первых работах по квантовой механике он сам пытался развивать идеи, соответствующие «тенденциям Больцмана». К попыткам продолжить эти тенденции он вновь вернулся с начала 50-х гг.

В ходе развития квантовой механики сложилась школа физиков, защищающих идеалистические воззрения, субъективистски понимающих задачи физической теории, отрицающих объективное существование микрообъектов, отказывающихся от признания их движения в пространстве и времени, развивающих квантовую механику как чисто формальную математическую схему. Де Бройль ясно видит этот тревожащий его факт: «На протяжении примерно тридцати лет,— пишет он,— в квантовой физике сложилась своего рода ортодоксия, довольно похожая на ортодоксию школы энергетиков, которая, опираясь на феноменологические и позитивистские представления, излагает идеи волновой механики и их развитие в абстрактном и формальном виде...» (стр. 265—266). Эта позитивистская «ортодоксия» вызвала протест де Бройля. В своих выступлениях начала 50-х гг. он подвергает ее критике, к которой внимательно прислушивается все большее число ученых.

Следует признать бесспорными его принципиальные критические замечания по адресу философских основ позитивизма. Но сама по себе антипозитивистская направленность этой критики не может гарантировать полную адекватность природе той конкретной физической программы решения коренных вопросов квантовой механики, которую он предлагает на основе «теории двойного решения». Здесь последнее слово принадлежит опыту, но опыт еще не сказал его и мы вынуждены ждать развития событий.

В одной из своих работ Луи де Бройль обсуждает очень интересный вопрос о «несостоявшихся открытиях» — открытиях, которые могли быть в свое время сделаны, но тем не менее оказались несделанными. Де Бройля интересуют причины несостоявшихся открытий, и на примере одного из них он снова показывает отрицательную роль позитивизма в развитии науки. Он имеет в виду случай, относящийся к деятельности знаменитого французского физика и математика А. Пуанкаре.

Этот ученый, как отмечает де Бройль, весьма близко подошел к идеям теории относительности, владел аппаратом релятивистских преобразований, оперировал существенными результатами релятивистской кинематики и динамики. Однако ему не довелось осуществить их великий синтез в единую теоретическую систему. Почему это случилось? Почему назревшее открытие, к которому был так близок ученый, оказалось для него «несостоявшимся»? Де Бройль

дает на этот вопрос убедительный и глубокий ответ. Дело заключалось в том, что А. Пуанкаре придерживался позитивистских конвенционалистских взглядов на сущность научных теорий. По его мнению, научные теории — всего лишь по нашему произволу формулируемые условные соглашения или конвенции, выбор которых определяется только соображениями нашего удобства. Устраняя вопрос о необходимости соответствия теории объективной реальности, А. Пуанкаре лишил себя возможности отобрать среди формально-логически допустимых вариантов теории ту, которая наиболее адекватна природе вещей. Именно поэтому создание теории относительности стало счастливым уделом другого ученого, не разделявшего скептического взгляда на существо научного знания.

Об этом де Бройль рассказал в своей работе, посвященной А. Пуанкаре, полной восхищения творческим даром последнего и вместе с тем не одобряющей его позитивистских склонностей. В книге «По тропам науки» де Бройль вновь напомнил об этой поучительной истории и процитировал свои прежние соображения, относящиеся к ней: «Он (Пуанкаре) занимал довольно скептическую позицию в отношении физических теорий, считая, что вообще существует бесчисленное множество различных, но логически эквивалентных точек зрения и образов, которые ученый выбирает лишь из соображений удобства. Этот номинализм, видимо, иногда мешал ему правильно понять тот факт, что среди логически возможных теорий имеются, однако, теории, которые наиболее близки к физической реальности, во всяком случае, лучше приспособлены к интуиции физика и более пригодны содействовать его усилиям». Если эта точка зрения верна, то именно эта философская склонность его ума к «номиналистскому удобству» помешала Пуанкаре понять значение идеи относительности во всей ее грандиозности!» (стр. 306—307).

Среди ряда общих философских вопросов, привлекших внимание де Бройля, особое место занимает вопрос о закономерностях развития научного знания, или, как образно выражается де Бройль, о «механизме научного прогресса», о «способе передачи факела науки» от поколения к поколению, от этапа к этапу на пути ее движения вперед. Правда, у него нет каких-либо работ или работы, специально посвященной этому вопросу. Но он его касается многократно, рассматривая другие проблемы. Высказанные по этому

поводу соображения весьма содержательны и в целом образуют вполне стройную систему. Прежде всего де Бройль констатирует следующий важный факт: в едином историческом процессе накопления научных знаний неизбежно выделяются постоянно повторяющиеся стадии двух типов — более или менее длительные периоды «относительной стабильности» и краткие периоды «кризисов». Развитие науки ни в одном из этих периодов не прекращается. Но если в первых оно таково, что в общем и целом сохраняет основные тенденции науки, ее фундаментальные теоретические представления, то на протяжении вторых происходит решительное преобразование принципов, концепций, тенденций и намечаются совершенно новые пути. Это эпохи решающих «переворотов», отмечающих важнейшие этапы в развитии научных знаний (см. стр. 9).

Для де Бройля ясна закономерная неизбежность наступления таких «переворотов», или, как он говорит в другом месте, «революций», неотвратимо подготовляемых эпохами «относительной стабильности». Он хорошо видит взаимопроникающее единство этих «переворотов» и периодов «стабильности», отмечая, таким образом, одну из существеннейших черт диалектики познания.

Но не означают ли такие перевороты отбрасывания ранее добытых знаний, не ведут ли они к тому, что после них познавательная работа науки как бы начинается сызнова и общая «сумма истин» только изменяется по своему характеру, но не растет с течением времени? Де Бройль отрицательно отвечает на этот вопрос: нет, не ведут! На всем протяжении книги, при каждом подходящем случае он подчеркивает, что происходит непрестанный рост знаний, и не простой рост, а со «все ускоряющимся темпом». Он отмечает, «экспоненциальный», то есть весьма сильно ускоряющийся, характер развития науки.

Почему возможен этот «экспоненциальный закон» развития науки? Две причины, заложенные в самой науке, по де Бройлю, обусловливают это: 1) с развитием науки происходит быстрое усовершенствование средств и орудий познания природы, которые постоянно расширяют сферу познаваемого; 2) развитие науки совершается, как говорит де Бройль, «путем последовательных включений» старого знания в новое.

В том, что де Бройль называет «последовательным включением», выражается одна из фундаментальных закономер-

ностей развития научного знания вообще и физической науки в частности. Суть ее он раскрывает следующим образом. Когда, отмечает ученый, обнаруживается факт, не укладывающийся в рамки существующей теории, тогда возникает необходимость доделки или даже принципиальной переделки воздвигнутого ранее здания теории. «Но, и это существенно,— подчеркивает де Бройль,— такая переделка, поскольку она всегда должна производиться с учетом всех накопленных ранее фактов, должна быть осуществлена так, чтобы включить тем или иным образом, и зачастую в качестве первого приближения, в новую теорию предыдущую теорию и всю совокупность уравнений, на которых она зиждется, хотя их истолкование может измениться. Таким образом, новая теория должна признать все точные предсказания старой теории, но, отличаясь от нее в некоторых пунктах, она должна строго предвидеть наблюдаемые факты, в том числе и те, которые старая теория не в состоянии предвидеть. Путем таких последовательных включений развивается теоретическая физика; не отрицая ни одного из своих предыдущих успехов, она охватывает все время изменяющимся и расширяющимся синтезом возрастающее число экспериментальных фактов» (стр. 163—164).

Можно привести множество примеров, подтверждающих сказанное де Бройлем. Сам он для иллюстрации ссылается на пример оптической теории Френеля и электромагнитной теории Максвелла. Последняя включила в себя все уравнения оптики Френеля, осуществив синтез оптики с электродинамикой, и благодаря такому синтезу объяснила большое число явлений, принципиально не могущих уложиться в рамки Френелевой оптики.

Процесс «последовательного включения» прежних теорий в новые теории довольно многообразен. Но среди его различных форм можно отметить одну, особенно примечательную,— включение в качестве предельного, асимптотического случая. Эта форма связи физических теорий, впервые отмеченная Н. Бором в одном из ее частных проявлений и плодотворно использованная им для построения первой квантовой теории атома, получила наименование **принципа соответствия**[1].

[1] Подробно об этом см.: И. В. Кузнецов, Принцип соответствия в современной физике и его философское значение, М., 1948.

Луи де Бройль не раз ссылается на принцип соответствия, свидетельствующий о непреходящем значении классических физических теорий, в частности великолепной электронной теории Г. Лорентца. Если последнюю рассматривать как универсальную, всеобщую картину атомных процессов, то ее следует признать принципиально неправильной, поскольку она не отражает квантовой природы этих процессов. Но для случаев, в которых дискретная квантовая природа явлений сглаживается (при очень большом числе квантов), классическая электронная теория оказывается справедливой. Имея в виду электронную теорию Лорентца, де Бройль пишет: «... тонкая и, конечно, правильная идея соответствия, введенная Бором, позволяет сказать, что она сохраняет полностью свое значение в качестве направляющей нити и асимптотического представления явлений, в которых участвует большое количество квантов. Так в истории науки часто случается, что идеи, выдвинутые гениальным умом, должны в дальнейшем истолковываться по-разному, не так, как их истолковывал он сам; при этом они не теряют своего глубокого значения и решающей роли для прогресса человеческого познания» (стр. 39).

Факт закономерной преемственности научного знания, выраженный в «последовательном включении» теорий, в действии принципа соответствия, де Бройль использует для того, чтобы развеять взгляды пессимистов, видящих в истории науки только «крушения» теорий, лишь их «неизбежные падения». Он указывает: «...неправильно говорить, как иногда говорят пессимистически настроенные умы, что научные теории последовательно терпят крах. Когда какой-либо теории действительно удалось правильно истолковать одну область физической реальности, то установленные ею соотношения, обоснованные ею методы точного предвидения всегда оказываются, надлежащим образом перенесенные и переистолкованные, в сменяющих ее новых теориях» (стр. 310). Таким образом, подтвержденные опытом теории в ходе развития науки никогда не отбрасываются и не рушатся, как полагают пессимисты.

Изучение истории науки приводит Луи де Бройля еще к двум весьма глубоким выводам, также выражающим диалектические черты научного познания: 1) научная мысль «развивается по спирали»; 2) в ней имеется постоянная тенденция к осуществлению синтезов, в которых сочетаются

представления, ранее выступавшие как исключающие друг друга. Де Бройль стремится теоретически объяснить, почему именно развитие научной мысли совершается по спирали. Суть его рассуждений можно было бы изложить следующим образом.

Если обратиться к анализу **основ** научных воззрений, то мы обнаружим, что наука оперирует сравнительно небольшим числом общих представлений. Весь ее мыслительный материал укладывается в рамки таких немногих основополагающих категорий, как «материя», «пространство», «время», «движение», «закон», «причинность», «дискретность», «непрерывность», «частица», «волна» и т. п. С развитием науки на передний план выступают то одни, то другие аспекты действительности, создаются различные теоретические системы, возникают то одни, то другие тенденции. Но так как фундаментальных категорий науки, к которым все это в конце концов приводится, относительно немного, то с течением времени рано или поздно вновь и вновь возникают повторяющиеся типы концепций, повторяющиеся типы систем воззрений и представлений.

Таким образом, указывает де Бройль, может создаться впечатление, будто наука оказывается «обреченной на вечное хождение по кругу». Однако, решительно подчеркивает он, такое пессимистическое заключение неверно. «Если концепции и появляются вновь, то они появляются обогащенными новыми чертами, применимыми к более широким областям экспериментальной действительности, обогащенными в процессе синтеза. Прогресс науки нельзя сравнивать с круговым движением, которое нас все время возвращает в одну и ту же точку; скорее он сравним с движением по спирали; движение по спирали периодически приближает нас к некоторым уже пройденным стадиям, но не следует забывать, что число витков спирали бесконечно и что витки увеличиваются и поднимаются вверх» (стр. 310).

Общие контуры картины развития научной мысли набросаны здесь де Бройлем очень выразительно и совершенно правильно. Не может не привлечь внимания читателей и его попытка объяснить, почему дело обстоит именно таким образом. Высказанная им мысль о связи спирального характера развития познания с необходимостью приведения мыслительного материала науки к фундаментальным всеобщим категориям заслуживает более полной разработки.

«Развиваясь по спирали,— пишет де Бройль,— науч-

ная мысль в то же время фактически имеет тенденцию к осуществлению синтезов, в которых сочетаются представления, могущие казаться противоречивыми» (стр. 311), то есть не подлежащими соединению. Но наука неизбежно объединяет их. Этот синтез не нечто однократное, только однажды совершающееся, но постоянно повторяющееся явление, свойственное истории науки на всем протяжении ее существования.

Для иллюстрации положения о том, что движение научной мысли действительно происходит по спирали и что во время этого движения осуществляется синтез противоречивых, взаимоисключающих представлений, де Бройль приводит убедительные примеры из истории оптики и теории «элементарных» частиц. Он напоминает о том, что некогда господствовавшие корпускулярные концепции света сменились затем волновыми, а в наше время совершился возврат к корпускулярным концепциям. Но так как результаты волновой теории не могли быть отброшены, ибо они подтверждены опытом, то в современной физике развивается синтетическая точка зрения, объединяющая и корпускулярные и волновые представления. Хотя среди ученых и существуют разногласия по поводу конкретных форм осуществления этого синтеза, тем не менее необходимость самого синтеза признается всеми. Подобный синтез осуществляется не только в учении о свете, но и в учении о веществе.

Сходная ситуация имеет место и в истории развития представлений о характере движения элементарных материальных сущностей. Декарт, а позже и Кельвин рассматривали их как некие микроскопические вихри, т. е. принимали, что собственное внутреннее вращение является их атрибутом — тем, без чего они существовать не могут. Позднее физики от этого взгляда отказались. Но современная физика вновь вернулась к оставленному взгляду. В качестве неотъемлемой характеристики «элементарных» частиц материи принимается так называемый «спин», являющийся мерой особого внутреннего вращения этих частиц. Но это не буквальный возврат к прошлому, а «возврат» на более высокой основе. Наличие собственного момента количества движения, выражаемого понятием спина, уже не объясняется механическим движением в духе законов Ньютона.

Закономерность повторных возрождений прежних представлений, являющаяся проявлением закона отрицания

отрицания в сфере познания, дает де Бройлю основание для того, чтобы подчеркнуть большое познавательное значение истории науки, важность изучения трудов великих ученых прежних эпох. Здесь современный ученый может найти то, что ему облегчит поиски решения ныне стоящих проблем.

Из сказанного о спиралеобразном движении научной мысли ясно видно, что развитие науки де Бройль понимает как бесконечный процесс. Ученый часто возвращается к этой мысли, неоднократно подчеркивает ее. Если наука, спрашивает де Бройль, наращивает знания во все возрастающем темпе, то не случится ли так, что мы скоро откроем все секреты природы? Думать так, отвечает он сам,— значит впадать в большую ошибку. Каждый успех в развитии науки ставит все новые и новые проблемы, а решенные проблемы представляют собой лишь ничтожную часть безграничного Неведомого. В своей работе «Польза и уроки истории наук», помещенной в этой книге, Луи де Бройль так говорит об этом: «История наук показывает нам науку в процессе постоянного развития, науку, непрерывно перерабатывающую и пересматривающую накопленные знания и их истолкование; она показывает нам прошлое, которое, несмотря на многие недостатки, подготавливает настоящее. Но мы никогда не должны забывать, что наша современная наука является лишь временной ступенью научного прогресса, что она сама, несомненно, изобилует недостатками и ошибками и что ее роль с этой точки зрения заключается как раз в подготовке будущего. Величайшей ошибкой, которую, кстати, очень легко допустить, было бы мнение о том, что современные представления науки являются окончательными. Часто люди справедливо восторгаются последними достижениями наук и хотят на их основе совершить чрезмерную и опасную экстраполяцию, тщетность которой будет показана будущим развитием науки. Мы никогда не должны забывать (история наук это доказывает), что каждый успех нашего познания ставит больше проблем, чем решает, и что в этой области каждая новая открытая земля позволяет предполагать о существовании еще неизвестных нам необъятных континентов» (стр. 317).

Все изложенное дает нам основание сказать, что де Бройль диалектически понимает общие пути развития научной мысли и правильно формулирует ряд важнейших закономерностей этого развития.

Де Бройль верно схватывает не только диалектику общего исторического процесса познания, но и диалектику отдельных ступеней познания, в частности соотношения теории и опыта. Он исходит из того, что опыт — неотъемлемая основа науки, единственный источник знаний о реальных явлениях и фактах, стоящих, по его словам, «выше любой теоретической концепции». Лишь на основе опыта может развиваться научная теория, синтезирующая полученные в эксперименте результаты в единую систему, не только истолковывающая то, что стало благодаря опыту известным, но и предвидящая неизвестное.

На первый взгляд кажется, что научное познание разделено на две сферы, одна из которых (опыт) полностью определяет вторую (теорию), в то время как первая совершенно независима от второй. Де Бройль разъясняет, что такое представление об **односторонней** взаимосвязи теории и опыта не является адекватным. Соотношение между опытом и теорией оказывается более сложным и тонким. Дело в том, подчеркивает де Бройль, что «...результат эксперимента никогда не имеет характера простого факта, который нужно только констатировать. В изложении этого результата всегда содержится некоторая доля истолкования, следовательно, к факту всегда примешаны теоретические представления» (стр. 164). Это справедливо даже в случае самых простых измерений, например измерений тока. Здесь экспериментатор не может ограничиться констатацией того, что стрелка амперметра отклонилась на то или иное число делений шкалы, а должен выразить силу тока в определенных единицах. Но сделать это он не может, не привлекая данные теории.

Не существует совершенно «голого факта». Чтобы лечь в основу науки, данные чувств, выражающие результаты опыта, должны быть некоторым образом истолкованы, а истолкование всегда включает определенные теоретические идеи. Таким образом, не только теория зависит от опыта, но и опытное исследование зависит от теории. Связь между теорией и опытом не односторонняя, а **двусторонняя**.

Этот факт нередко используется идеалистами для того, чтобы еще и еще раз поставить под сомнение существование объективной реальности. Де Бройль знает о таких попытках и как материалист возражает против них: «Это неизбежное вмешательство теоретических представлений в формулировку экспериментальных результатов так поражает некото-

рые умы, что они начинают сомневаться в том, что экспериментальные факты существуют независимо от наших теоретических представлений, и иногда говорят: «Ученый создает научный факт». Это высказывание, конечно, представляет собой преувеличение... Научный факт, разумеется, существует независимо от представлений, служащих для его выражения. Иногда факт даже отказывается подтвердить теоретическое истолкование, которое ему хотели дать» (стр. 164—165), и вынуждает ломать это истолкование и создавать новое. Но в науку он все равно входит в оболочке некоторого теоретического истолкования.

Мы не имеем возможности останавливаться на ряде других соображений по проблемам теории познания и другим вопросам, которых касается де Бройль. Да это и не входило в нашу задачу. Мы хотели лишь рассказать об основных чертах научного мировоззрения ученого, о тех важнейших идеях, которыми он руководствуется в своей творческой деятельности, о наиболее характерных особенностях его книги. Есть в книге и некоторые, в общем второстепенные, высказывания, которые нам кажутся неточными, против которых можно было бы возразить. Например, вряд ли точно такое деление ученых-теоретиков на «абстрактные умы» и «интуитивные умы», при котором первым из них приписывается склонность к тому, чтобы «уменьшать роль объективности и реальности внешнего мира», а вторым — убежденность «в реальности и объективности внешнего мира» (стр. 309). Де Бройль в общем верно нащупывает деление ученых по их философским симпатиям на два лагеря, в которых нетрудно видеть лагери материализма и идеализма. Но это деление вовсе не совпадает с делением их умов на «абстрактные» и «интуитивные». Хотя де Бройль несколько и смягчает указанное им деление, все же его нельзя признать удачным. Конечно, высокие степени абстракции могут способствовать возникновению идеалистических иллюзий. Но мы знаем людей науки, весьма абстрактный характер деятельности которых соединяется с твердым признанием объективной реальности. Можно упрекнуть де Бройля и в том, что он упускает из виду таких ученых, как, например, М. В. Ломоносов, А. С. Попов или С. И. Вавилов, когда рассказывает об атомистике, об изобретении радио или исследовании явлений люминесценции.

Но читатель, прочитав книгу де Бройля, закрывает ее с чувством признательности к автору за то глубокое духовное удовлетворение, которое его труд доставляет.

И. В. Кузнецов

СОДЕРЖАНИЕ

От издательства 5

Часть первая. Академические доклады

Жизнь и труды Гендрика Антона Лорентца. 9
Жизнь и творчество Эме Коттона 40
Жизнь и труды Эмиля Бореля 66
Жизнь и творчество Фредерика Жолио 87

Часть вторая. Выступления, посвященные различным ученым и инженерам

Выступление по случаю столетия со дня рождения Анри Лешателье 113
Речь по случаю пятидесятилетия изобретения во Франции кислородно-ацетиленовой горелки 118
Памяти Андре Клода 124
Четыре пионера науки об электричестве 127
Речь, произнесенная по случаю вручения розетки кавалера ордена Почетного легиона Ли де Форесту 5 октября 1956 года 133
Краткое изложение творчества Пьера Кюри 135
Таинственная постоянная h — великое открытие Макса Планка 139

Часть третья. Доклады и выступления по научным вопросам

Огромное значение электричества в современной науке и культуре 149
По тропам физики 162
Место техники сверхвысоких частот в развитии современной физики 182
Цветное телевидение 190
Сверхвысокочастотные колебательные контуры и антенны . . 197
Свет, кванты и осветительная техника 203
Покорение мира атомов 224
Что такое колебание? 244
Принципы и приложения волновой механики 249
Труды Больцмана и современная физика 256
Проблема частиц в современной физике 267

Часть четвертая. Выступления и статьи по различным вопросам

Благодарственная речь при вручении золотой медали за научные исследования Бертуэном, министром национального образования, 24 января 1956 года 281
Выступление при представлении министру национального образования Бийеру тома Французской энциклопедии, посвященного физике, 9 марта 1956 года 285
Роль любопытства, игр, воображения и интуиции в научном исследовании 289
Польза и уроки истории наук 296
Ученые Французской академии 318
Французский язык как средство выражения научной мысли 326
Эволюция научного языка 334
Труд людей науки 338
Преподавание и исследование 342
Приложения: 380
Обзор моих научных работ 346
Общая библиография (составленная автором) 371
Дополнительная библиография (составленная переводчиком) 377
И. В. Кузнецов, Луи де Бройль и его книга «По тропам науки» (Послесловие) 380

Луи де Бройль
ПО ТРОПАМ НАУКИ

Художник *Е. М. Казакоз*
Художественный редактор *Б. И. Астафьев*
Технический редактор *Л. М. Харьковская*

Сдано в производство 11/VII 62 г. Подписано к печати 25/X 62 г.
Бумага 84×108 1/32=6,4 бум. л. 20,9 печ. л. Уч.-изд. л. 21.
Изд. № 9/1030. Цена 1 р. 41 к. Зак. № 336.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва, 1-й Рижский пер., 2. Московская типография № 5
Мосгорсовнархоза.
Москва, Трехпрудный пер., 9