

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
ЦЕНТР ИССЛЕДОВАНИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
И ИСТОРИИ НАУКИ

Ю. А. ХРАМОВ

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ В ФИЗИКЕ

Под редакцией академика АН УССР В.Г.Барьяхтара

Киев Наукова думка 1987

Научные школы в физике / Храмов Ю.А. — Киев : Наук. думка, 1987. — 400 с.

В монографии приведены характерные черты научной школы, дано определение современной научной школы, ее рабочая модель. Предложенная модель использована для поиска в истории физики научных школ. Выяснены научно-технические и социально-экономические предпосылки, приведшие в последней четверти XIX ст. к появлению первых физических школ — школ А.Кундта, Дж. Дж. Томсона и П.Н.Лебедева. Рассмотрены ведущие зарубежные физические школы первой половины XX ст., их характерные черты и роль в развитии современной физики: школы Э.Резерфорда, Х.Камерлинг-Оннеса, А.Зоммерфельда, М.Борна, Н.Бора и Э.Ферми. Описано возникновение и развитие ряда советских физических школ, их вклад в становление физики в СССР — школы А.Ф.Иоффе, Д.С.Рожественского, Л.И.Мандельштама, С.И.Вавилова, Л.Д.Ландау, И.Е.Тамма, И.В.Курчатова.

Для физиков, историков науки, науковедов.

Ил. 48. Табл. 2. Библиогр.: с. 369—380 (560 назв.).

Рецензенты *А.И.Ахиезер, А.Т.Григорьян,
В.И.Онопrienко, А.Г.Ситенко*

Редакция физико-математической литературы

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сегодня в условиях возрастающей дифференциации знания прогресс науки, ее успехи определяются уже не деятельностью ученых-одиночек, время которых безвозвратно ушло в прошлое, а работой больших научных коллективов, в том числе научных школ — своеобразных неформальных творческих объединений ученых, возникающих в рамках отдельных научных направлений. Особенно широкое распространение они получили с начала нашего века, оказывая на развитие современной науки огромное влияние. Поэтому исследование вопросов, связанных с проблемой научных школ, в частности физических, представляется не только интересным, но и важным для выработки научно обоснованных рекомендаций по управлению наукой и большими научно-исследовательскими коллективами, интенсификации научного труда, повышения его результативности.

В монографии впервые предпринята попытка исследовать формирование физических школ, их характерные черты и роль в развитии физики. На основе анализа главным образом историко-физического материала, связанного с деятельностью крупных физиков и воспитателей творческой молодежи, высказываний отдельных ученых, автором в работах [293, 296] обоснованы отличительные признаки научной школы, а также те черты научного лидера, которые свойственны именно руководителю, главе школы. Построена своего рода рабочая модель научной школы, которую можно использовать для поиска в науке, в том числе в физике, творческих объединений ученых с последующей их идентификацией с научными школами. В результате установлено, что первые физические школы возникли в последней четверти XIX ст. Ими были школы А.Кундта, Дж.Дж.Томсона и П.Н.Лебедева. Выявлены предпосылки, приведшие к появлению школ в физике, а также комплекс условий, способствующий успешному функционированию неформальных содружеств ученых и их переходу в ранг школы. Даны характеристики первых физических школ и их руководителей, вклад в науку. Эти вопросы изложены во введении и первых двух главах.

В третьей главе описан переход от классической физики к современной, приведший к резкому возрас-

танцию роли коллективного труда, активизации деятельности научных школ. Использование разработанной модели научной школы позволило определить ведущие физические школы первой половины XX ст. В четвертой и пятой главах раскрыто значение этих школ в создании основ современной физики и отдельных ее направлений, их отличительные черты и персональные составы, полученные результаты, творческие портреты лидеров этих школ. По сути, описание деятельности ряда школ — это своеобразный исторический срез отдельных научных направлений, генезиса и эволюции их идейного потенциала, реализации их научно-исследовательской программы.

Рассмотренные научные школы еще при жизни своих руководителей получили всеобщее научное и общественное признание. Это школы Н.Бора, М.Борна, С.И.Вавилова, А.Зоммерфельда, А.Ф.Иоффе, Х.Камерлинг-Оннеса, А.Кундта, И.В.Курчатова, Л.Д.Ландау, П.Н.Лебедева, Л.И.Мандельштама, Э.Резерфорда, Д.С.Рожественского, И.Е.Тамма, Дж.Дж.Томсона и Э.Ферми. Созданные в разных странах и в разное время они внесли существенный вклад в мировую физику и научный прогресс. Однако деятельность большинства этих корифеев в роли создателей физических школ раскрыта далеко неполно, хотя почти о каждом написаны научные биографии, популярные очерки и статьи. В них лишь по крупнякам можно воедино собрать материал, относящийся к научной школе. Эта работа и проделана в монографии.

На основе широкого изучения зарубежных и отечественных историко-физических материалов, в частности архивных, мемориальных, юбилейных, оригинальных публикаций научных лидеров и их учеников, реконструирована деятельность названных выше неформальных коллективов (ряда из них впервые), их характерные особенности, роль в развитии физики, взаимосвязь идей, а иногда и взаимодействие отдельных школ. Широко освещена деятельность советских научных школ на начальном этапе развития физики в СССР и их значение в создании ее основ.

Автор понимает сложность и новизну темы и в связи с этим ответственность за правильность проведенных оценок, адекватность изложенного исторической правде. Поэтому надеется на полную объективность читателей, которую, может быть, сам не выдержал до конца, и возможность существования альтернативных точек зрения.

В процессе работы над рукописью ему помогало плодотворное общение и обсуждение отдельных ее положений со многими учеными Академии наук УССР. Автор приносит искреннюю благодарность академикам АН УССР А.И.Ахизеру, В.Г.Барьяхтару, С.Я.Брауде, А.С.Давыдову, М.П.Лисице и А.Г.Ситенко, члену-корреспонденту АН СССР С.М.Рытову, профессорам И.Н.Головину, Г.М.Доброву, Д.Д.Иваненко и Л.В.Лёвшину, докторам физико-математических наук А.Т.Григорьяну и В.Я.Френкелю за высказанные письменно или устно полезные и конструктивные замечания, большинство из которых учтено при подготовке рукописи к печати.

Феномен научной школы и научного лидера, становление и развитие школ, их роль, значение и вклад в науку и научный прогресс являются сегодня предметом интенсивных историко-научных исследований. Богатый материал для них дает история науки, в частности физики, высказывания "живых свидетелей" — участников научных школ, "хранителей" их истории, на чьих глазах зарождались и развивались эти творческие объединения ученых. При этом особое место занимает изучение отношений учитель — ученик, научный руководитель — коллектив, научный лидер — научная школа.

И это не удивительно. Ведь во многих случаях заслуги ученого отнюдь не исчерпываются его непосредственным вкладом в науку. Часто он является к тому же организатором науки, воспитателем молодых творческих личностей, вдохновляюще воздействуя на свое научное окружение. Тогда его значение оценивается не только личными научными результатами, но и тем влиянием, которое он оказал на других, косвенно обогатив тем самым науку. "Каждый выдающийся исследователь навсегда вносит свое имя в историю не только собственными открытиями, — отмечал в этой связи М.Планк, — но и открытиями, к которым он побуждает других" [154, с. 231]. Приобщение творчески способной молодежи к науке и ее воспитание — задача необычайно важная. "Если я горжусь чем-либо из своей научной деятельности, — писал В.Оствальд, — то это блестящим рядом людей, которых я выделил уже молодыми и которым помог в их свободном научном развитии" [199, с. 236].

Однако история науки свидетельствует, что не часто ученые наделены и качествами педагога, не часто являются учителями по призванию ("учительскими натурами"). "Редко встречаются поистине значительные ученые, еще реже можно встретить учителей с большой буквы, — пишет В.Л.Гинзбург, — соединение же обеих

сторон в одном лице, подобно произведению вероятностей двух редких событий, еще несравненно более редкое явление" [68, с. 182].

История физики хранит немало имен своих выдающихся представителей, снискавших к тому же славу воспитателей и учителей. Среди них Н.Бор, М.Борн, А.Зоммерфельд, А.Ф.Иоффе, Л.Д.Ландау, Л.И.Мандельштам, Э.Резерфорд, Э.Ферми и ряд других, создавших всемирно известные школы.

На протяжении всего существования научные школы постоянно демонстрировали необычайную продуктивность, представляя порой ведущие звенья в сложном и трудном процессе научного поиска. Поэтому изучение природы научных школ, их особенностей, эволюции, условий, в которых они успешно функционируют, и факторов, их иницилирующих, деятельности их руководителей просто необходимо для выяснения закономерностей коллективной научной работы, поиска оптимальных форм объединения ученых в процессе их научной деятельности в целях расширения возможностей управления наукой и большими коллективами, активизации человеческого фактора в науке, выработке правильной научной стратегии и политики.

Проблема школ в науке приобретает новое звучание в связи с необходимостью дальнейшего совершенствования всей системы организации научных исследований в нашей стране для успешного решения задач, поставленных перед советской наукой XXVII съездом КПСС. Она должна быть более гибкой, мобильной и эффективной. Актуальность изучения этих вопросов подчеркивалась и в материалах XXVII съезда КПСС. "Должны получить более широкое развитие такие формы организации науки, — отмечается в Программе Коммунистической партии Советского Союза, — которые обеспечивают междисциплинарное исследование актуальных проблем, необходимую мобильность научных кадров, гибкость структуры научных учреждений, эффективность исследований и разработок" [3, с. 168]. И одной из таких эффективных форм организации научных исследований являются, на наш взгляд, научные школы.

В настоящее время проблемы научного творчества, закономерностей коллективной научной работы и форм ее организации, управления большими и малыми коллективами ученых, становления ученого как организатора и воспитателя творческой молодежи, создателя научной школы, формирования и развития научных школ, повышения эффективности научной работы и другие широко исследуются учеными и историками науки, социологами и психологами [221, 254, 255, 299, 302]. Это объясняется необходимостью изучения не только генезиса идей и их "движения", истории создания отдельных наук и научных направлений,

но и поиска оптимальных форм организации научных исследований в условиях ускорения научно-технического прогресса, расширения возможностей управления наукой. "Организации науки, — писал П.Л.Капица, — нельзя давать развиваться стихийно, нужно изучать закономерности развития коллективной научной работы, мы должны уметь отбирать творчески талантливых людей. И это должно делаться на основании изучения опыта деятельности больших ученых и больших организаторов научной работы..." [118, с. 164].

Различные вопросы научных школ в разное время освещались самими учеными — А.А.Богомольцем [37], М.Борном [43, 328], С.И.Вавиловым [48], П.Л.Капицей [118], П.Н.Лебедевым [164], В.Оствальдом [198], Н.Н.Семеновым [245] и др. Однако особое, профессиональное внимание, им уделили историки науки и науки — Т.Кун [143], Дж.Агасси, И.Лакатос [151], Ф.Гернек, Б.М.Кедров, С.Р.Микулинский, М.Г.Ярошевский [302], К.А.Ланге [152], Н.И.Родный [202], Г.М.Добров [86], С.Г.Кара-Мурза [122], В.П.Карцев [123], Е.С.Бойко [38] и др. Активно программа "научная школа" разрабатывается в Институте истории естествознания и техники АН СССР. Подготовленная в институте книга "Школы в науке" [302] впервые раскрыла довольно широкий спектр вопросов в области "школоведения", в частности, в изучении отношений учитель — ученик, лидер — коллектив.

Какими качествами должен обладать научный руководитель, чтобы привлечь в науку талантливую молодежь, чтобы стать научным лидером коллектива или главой школы? "История науки показывает, — отмечал П.Л.Капица, — что крупный ученый — это не обязательно большой человек, но крупный учитель не может не быть большим человеком" [232, с. 28].

Притягательная сила ученого заключается в сочетании его таланта, педагогического дарования и личных качеств. Это прежде всего одаренность, крупные научные результаты, любовь к науке, педагогическое мастерство, целеустремленность, научная принципиальность, широта и разносторонность знаний и интересов, высокая культура, личный авторитет, обаяние, доброжелательность, энтузиазм, умение направить работу, поддержать инициативу и самостоятельность, смелость и др. Как правило, ученые именно с такими качествами становятся воспитателями больших групп учеников и создателями научных школ.

Огромное значение для приобщения молодых исследователей к науке имеет такое качество руководителя, как умение отбирать творческих людей, талант "открывать" их. Отбор действительно творческой и одаренной молодежи, создание условий, при которых ее талант мог бы быстро развернуться в полную силу, — самый важный и трудный процесс. Ведь нужно суметь

оценить творческие способности исследователей, когда они только начинают свою научную работу, когда они еще молоды. В связи с этим П.Л.Капица писал: "...Для ученого, которому предстоит стать руководителем молодежи, организатором научной работы коллектива, главным фактором, обеспечивающим успех его деятельности, явится отбор кадров по их творческим качествам... Мой жизненный опыт показывает, что в оценке творческих качеств молодых ученых и проявляется основной талант руководителя научного института. Без этих способностей ученый не может подобрать сильный научный коллектив для своей школы... Качество отбора творчески одаренных ученых и есть основной фактор, обеспечивающий высокий уровень развития науки" [118, с. 165—166].

Одним из главных условий формирования творческой личности является научное общение с учителем. Личные контакты, общение с руководителем, живой обмен мнениями, научные дискуссии, особая научная атмосфера служат той основой, которая определяет стиль работы и мышления молодого ученого, превращает его в подлинного исследователя [236].

В формировании молодых ученых большую роль играют курсы лекций, которые ведет учитель. Но наиболее эффективными являются семинары. Привлекая способных и одаренных студентов вуза, где, как правило, заведует кафедрой или читает курс, к работе в институте (лаборатории), он "доучивает" их в семинарах. Семинары представляют своего рода форму рабочего общения ученых между собой, способствующую повышению уровня понимания ими той или иной проблемы, когда они получают доступ к источникам информации, к новостям с переднего края науки, к новым идеям, к личным контактам и коллективной научной работе.

В подтверждение приведем высказывание Ф.Ф.Волькейнштейна о семинарах, проводимых в Ленинградском физико-техническом институте А.Ф.Иоффе: "Эти семинары, которыми он искусно управлял, как капитан большим пароходом, навсегда останутся в воспоминаниях всех тех, кто в них участвовал. Абрам Федорович часто прерывал докладчика и резюмировал в нескольких фразах сказанное, и притом так, что все становилось прозрачно ясным. Немедленно проступал физический смысл, невидимый часто за туманной и заумной речью докладчика. Скудный и непонятный доклад от прикосновения Абрама Федоровича делался понятным и интересным, как от прикосновения волшебной палочки. А главное — будились мысли у слушателей: миллионы мыслей, ассоциаций, догадок.

Я понял тогда, что руководство научным семинаром — это большое искусство. Такое же искусство, как хорошо прочитан-

ная лекция или хорошо написанная книга. Руководитель семинара управляет умами своих слушателей часто не в меньшей, а в большей степени, чем докладчик. От него зависит, как будет звучать доклад, что в нем будет звучать сильнее, а что глуше. От него в значительной степени зависит, что именно будет рождать доклад, какие мысли" [59, с. 168]. Можно с полным основанием сказать, что хороший семинар представляет собой школу, где происходит обучение, воспитание и формирование научного и нравственного облика ученого.

Таким образом, научное общение учителя с учеником на лекциях, семинарах, в лаборатории является неотъемлемым и интенсивным фактором воспитательного процесса. Не менее важно оно и для самого учителя, для процесса творчества вообще, для получения новых результатов, для создания и осмысления нового знания. Ученики не позволяют учителям отставать от жизни, недооценивать или отрицать новое, что рождается в науке, заставляют (иногда помогают) быть в курсе новостей науки, поднимают производительность научной работы в лаборатории. "Ученики заставляют меня самого оставаться молодым", — часто говорил Э.Резерфорд. И в этом заключается глубокая истина.

Однако не каждый выдающийся ученый может быть руководителем учеников или создать научную школу. Это объясняется некоторыми личными качествами, например замкнутостью или "углублением в самого себя", стремлением решать проблему только своими силами. К таким ученым можно отнести А.Эйнштейна, М.Планка, П.Дирака, Дж.Гиббса и др. В отношении А.Эйнштейна у М.Лауэ мы находим такое объяснение: "... его совершенно исключительная гениальность просто не позволяла учить, она могла бы даже быть опасной для учеников, которые попытались бы с ним сравняться" [155, с. 209—210].

Уже около века самые выдающиеся открытия в науке совершаются коллективно и профессия ученого стала такой же массовой как и профессия инженера или рабочего, правда, при этом изменился характер научного труда, изменился и сам учитель. Сегодня он стал организатором широкомасштабной работы, всемерно учитывающим человеческий фактор. И предпосылки создания ученым школы, воспитания им учеников следует искать не только в природе самого ученого, но и в действии научно-технических и социальных факторов, в условиях, которые формируют его как учителя, позволяют максимально раскрыться его педагогическому таланту и в то же время формируют и его учеников. Поэтому, подчеркивая, с одной стороны, роль коллективного творчества в современной науке, с другой — нельзя не видеть исключительного значения личных качеств лидера научного коллектива, ибо в их единстве и рождаются научные школы.

Этот момент хорошо иллюстрируется высказыванием А.А.Богомольца: "Для создания школы, — писал он, — необходим прежде всего выдающийся ученый, имеющий новую идею обобщающего, синтетического значения. Однако этого еще мало... необходимы сотрудники. Когда они заражаются энтузиазмом своего руководителя, делаются его учениками и на протяжении многих лет работают над разными вопросами проблемы, выдвинутой руководителем, то школа постепенно формируется в процессе работы над этой проблемой, в процессе оформления этих работ в единое, гармоничное новое учение" [37, с. 303].

Сложность и новизна проблемы "научная школа" обусловили разнообразие подходов к ней, обилие трактовок этого понятия [302]. Многозначность рассматриваемого понятия можно проиллюстрировать несколькими его дефинициями, имеющими различные смысловые оттенки.

Н.Н.Семенов: "... научная школа — это своеобразный образ мышления и действия в науке, в подходе к решению любых научных проблем" [245].

Б.М.Кедров: "Это прежде всего структурная ячейка современной науки, существующая внутри самой науки и позволяющая концентрировать усилия большой группы сравнительно молодых ученых под непосредственным руководством основателя данного научного направления на решении определенной, достаточно ограниченной области актуальных проблем в той или иной отрасли науки" [302, с. 309—310].

М.Г.Ярошевский: "Школа — это прежде всего "посвящение в науку", усвоение ее концептуального и методического аппарата, ценностных ориентаций и категориального строя" [302, с. 90].

В.Б.Гасилов: "Научная школа — это сообщество ученых разных статусов, компетенции и специализации, координирующих под руководством лидера свою исследовательскую деятельность, вносящих вклад в реализацию и развитие исследовательской программы и способных активно представлять цели и результаты программы" [302, с. 127].

К.А.Ланге: "... неформальный научный коллектив, формирующийся при крупном ученом на базе научно-исследовательского учреждения и объединяющий с целью коллективной разработки определенной научной идеи (проблемы, направления) целый ряд формально обособленных научных коллективов" [152, с. 207].

Н.И.Родный: "... Научный коллектив во главе с научным руководителем, который является автором определенной программы исследования. Для научных школ характерен определенный стиль работы, остающийся неизменным при перемене проблематики... Притягательная черта научных школ — стиль работы ("климат") [202, с. 84—85].

А.А.Баев: "Когда возникает вопрос о школах в современной науке, то в поисках ответа естественно обратиться к реальной ситуации. И тогда приходится сделать вывод, что трудно найти структуру, которая полностью обладала бы признаками научной школы, т.е. единством проблематики, методов исследования и истолкования научных результатов, и к тому же была бы связана с определенной личностью и географической точкой" [302, с. 503].

П.К.Анохин: "Большое значение в формировании начинающего ученого имеют научные школы. Но прежде чем говорить об этом, нужно сформулировать само понятие. Лаборатория, научно-исследовательский коллектив переходят в ранг школы тогда, когда у них есть оригинальная концепция, совершенно новое направление в науке. Научная школа — это... традиция мышления, особая научная атмосфера. Такая школа очень ускоряет становление ученого" [22, с. 259].

Этот перечень определений научной школы можно было бы продолжить.

Таким образом, феномен "научной школы" не является однозначным и требует многостороннего системного анализа. Научная школа — это объект, отражающий сложный спектр социально-творческих связей между представляющими ее учеными. Обобщенный словесный портрет научной школы еще не создан, но отдельные характерные черты его уже известны. Именно наличие их дает основание присваивать тому или иному неформальному объединению ученых статус научной школы.

Научная школа — это не просто коллектив исследователей во главе с научным лидером (учитель и ученики или лаборатория и отдел во главе с руководителем), а творческое содружество ученых различных поколений, объединенных единством принципов подхода к решению той или иной проблемы, мыслей и навыков мышления, стиля работы, оригинальной стержневой идеей, доказательство которой служит стимулом для развития исследований и фактором, сплачивающим исполнителей, несмотря на различия их характеров и представлений. Иными словами, научная школа — это коллектив исследователей-единомышленников, высшая форма коллективного взаимодействия в процессе научного поиска. Например, ученики А.Ф.Иоффе, А.Р.Регель и Л.С.Стильбанс так определяют научную школу: "Мы думаем, что основными признаками научной школы ... являются единство образа мыслей, единство целей и единство действий. Школа — это не маленькая или большая группа эпигонов, повторяющих то, что уже в основном сделал их учитель, а коллектив, соединенный одинаковым отношением к своей специальности, к людям и жизни" [59, с. 206].

Типичной чертой научной школы, на которую обращают внимание многие известные физики, является стиль исследования. Характеризуя А.Зоммерфельда как основателя школы, М.Борн отмечал: "Не следует полагать, будто достаточно быть большим исследователем и хорошим доцентом, чтобы привлечь к себе многих учеников. Конечно, к такому человеку студенты будут стремиться, но они будут приходить и уходить, между учителем и учеником не возникнет той связи, которая в гораздо меньшей степени заключается в передаче знания и умения, чем в усвоении стиля исследования и представления его результатов" [101, с. 247].

Метод и стиль исследований, подход к пониманию явлений, научная идеология определяют то, что принято называть "духом школы", выработка их способствует превращению коллектива исследователей в коллектив единомышленников, тесное содружество, своего рода научное и идейное братство. В то же время

эти особые черты отличают одну школу от другой. Например, гёттингенскую школу Борна характеризует изощренная математическая строгость, а копенгагенскую школу Бора — глубинное физическое обоснование. Исследователи, не связанные непосредственно с научными лидерами, т.е. не являющиеся их прямыми учениками, тем не менее могут принадлежать к их школам, если восприняли научную идеологию, дух этих школ. И наоборот, исследователи, не унаследовавшие от своих прямых учителей их концепций, считаются лишь формальными представителями их школ. История науки хранит немало подобных примеров.

В научных школах особенно четко прослеживается традиция преемственности, заключающаяся в передаче от одного поколения исследователей к другому определенного запаса знаний, идей, концепций, подходов и методов, стиля мышления и стиля работы. Об этой черте научной школы, роли традиций, хорошо сказал Ф.Жолио-Кюри: "В старых лабораториях существуют скрытые богатства: это традиции, духовный и моральный капитал, накопленный во время бесед и обучения, даже просто личное присутствие. В определенный момент совокупность этих предпосылок создает необходимые условия, в которых внезапно рождается правильное толкование сделанного открытия... Ученые, работающие в лабораториях с древними традициями, часто, сами того не сознавая, пользуются тем, что я называю скрытым богатством. Идеи, когда-то высказанные учителями и другими сотрудниками как живущими, так и уже ушедшими от нас, постоянно вспоминаются в разговорах и проникают сознательно или подсознательно в мозг молодых ученых. Во время исследовательской работы такие приобретения облегчают правильное толкование, а иногда и само открытие. Понятно, почему данное открытие имело больше шансов быть сделанным именно в такой лаборатории" [34, с. 80, 144].

Школы являются не только хранителями традиций, а и "очагами" интенсивной концентрации творческой энергии и скоординированных усилий ученых в процессе научного поиска, зародышами новых точек роста науки и отдельных ее направлений. Школа не только генерирует научную продукцию, идеи и открытия, но и обеспечивает расширенное воспроизводство последующих поколений исследователей, когда отдельные ее воспитанники сами становятся научными лидерами, руководителями новых "дочерних" школ или групп ученых, новых направлений. Многие школы дали несколько поколений ученых — и в этом их долголетие и жизненная сила. Именно научные "дети", "внуки" и "правнуки" определяют длительность активной жизни школы.

Для научной школы характерна особая творческая атмосфера: обстановка непрерывного научного общения и доброжелатель-

ных дискуссий, демократичности и научной принципиальности, взаимного уважения и требовательности, преданности науке и научного энтузиазма.

И, наконец, также "проходным баллом" научного коллектива в ранг школы являются его высокий авторитет в данной дисциплине или направлении, огромный научный потенциал и значимость полученных результатов, высокая научная квалификация исследователей, их способность самостоятельно решать фундаментальные проблемы, а не повторять то, что уже в основном сделал их учитель, вносить значительный вклад в науку и научный прогресс.

Используя в качестве оценочных критериев высказывания ученых, в которых отмечаются те или иные черты научной школы, и просуммировав их, выделим наиболее характерные:

наличие научного лидера исследовательского коллектива, руководителя школы;

стиль работы и стиль мышления;

научная идеология, определенная научная концепция (фундаментальная идея), научно-исследовательская программа;

особая научная атмосфера;

высокая квалификация исследователей, группирующихся вокруг лидера;

значимость полученных ими результатов в определенной области науки, высокий научный авторитет в этой области.

В результате современную научную школу определим как неформальное творческое содружество исследователей различных поколений высокой научной квалификации во главе с научным лидером в рамках какого-либо научного направления, объединенных единством подходов к решению проблемы, стилем работы и мышления, оригинальностью идей и методов реализации своей научной программы, получившее значительные результаты, завоевавшее авторитет и общественное признание в данной области знания.

Перечисленные признаки наиболее полно, на наш взгляд, отражают специфику и характерные особенности таких творческих объединений ученых, как научные школы, и могут служить критериями при поиске в истории науки сообществ подобного типа. Они могут быть использованы в духе метода экспертных оценок для отождествления некоторых групп исследователей во главе с лидером с научной школой, задаваемой предложенной рабочей моделью. При этом научной школой следует считать только тот коллектив, который удовлетворяет всем перечисленным выше признакам.

Как показывает практика, наиболее плодотворно группа или коллектив исследователей во главе с научным лидером (учителем) функционирует в таких структурах:

научный лидер (учитель) — вуз (кафедра) — физический институт (физическая лаборатория) — коллоквиум (семинар);
научный лидер (учитель) — вуз (кафедра) — семинар;
научный лидер (учитель) — физический институт (физическая лаборатория) — семинар.

Они способствуют приобщению студентов к науке с последующим их превращением в ученых, являясь своего рода системой отбора, подготовки и воспитания исследователей. В результате вокруг лидера формируются ученики, а при определенной благоприятной ситуации эти творческие неформальные объединения ученых могут перерасти и в научные школы, т.е. при определенных условиях творческая группа исследователей может стать зародышем школы. И наоборот, при неблагоприятных организационных условиях перспективная в идейном плане научная школа может и не выйти из своего начального состояния. Становится ясным, что комплекс мероприятий, формирующий благоприятный для научной школы микроклимат, ресурсное обеспечение, представляет по сути управленческий инструмент.

Научная школа — наиболее яркое проявление коллективной формы творчества под непосредственным практическим и идейным руководством выдающегося ученого, питающего этот неформальный коллектив научными идеями и определяющего методы и содержание проводимых в школе работ. Будучи "коллективным исследователем", она не создается решением, как научно-исследовательский институт, отдел или лаборатория, а формируется во времени кропотливым трудом научного лидера, отбирающего творческих работников и воспитывающего ученых-исследователей высшей квалификации. Их высокий профессиональный уровень в сочетании с достаточно представительным персональным составом является показателем "класса" научной школы.

Сегодня в приведенных выше структурах функционирует большинство научных школ и коллективов учеников, группирующихся вокруг лидера. В то же время первая структура убедительно показывает исключительно важную роль тесных связей научно-исследовательских учреждений с вузами и ослабление контактов между ними может нанести серьезный урон успешному формированию научных школ.

В подтверждение сказанного отметим, что во многих институтах страны сложившиеся основные ступени подготовки научных кадров: студент, стажер-исследователь, аспирант — вполне коррелируются с предложенными структурами. Многие, например, физические институты являются базовыми для ряда родственных кафедр вузов. Студенты, приходящие на практику в эти институты с четвертого курса вуза, под руководством ведущих ученых выполняют не только учебные задания, но и первые

научные исследования. Наиболее способные выпускники зачисляются на два года стажерами-исследователями и продолжают таким образом выбранную научную тему. По окончании стажировки хорошо зарекомендовавшие себя направляются в аспирантуру. Они уже в значительной мере сложившиеся исследователи, выполнявшие зачастую большую часть работы по теме диссертации. В результате соискатель практически несколько лет работает над диссертацией, что, как правило, обуславливает ее высокое качество и исключает появление случайных и скороспелых трудов.

Кроме того, все эти годы молодой исследователь пребывает в "зоне повышенного внимания" старших, опытных товарищей и научного руководителя и активно "варится" в научном процессе, вырабатывая критический подход к изучаемым явлениям, нетривиальность мышления, овладевая экспериментальными навыками или теоретическим арсеналом, становится человеком науки и членом научной группы или школы своего учителя. Это начало формирования молодого ученого, но начало, позволяющее видеть его перспективность. Такой путь становления молодого исследователя является в большинстве своем типичным. Типичный он и в смысле пополнения научной школы свежими силами. Начав свое существование при научном лидере в ранге малой группы, она в дальнейшем может получить интенсивное развитие в большом коллективе в рамках научной лаборатории, отдела или института. Затем, когда она заявит о себе, приобретет научное признание, в процессе ее эволюции происходит отпочкование дочерних групп и школ от основного ядра, которое по-прежнему концентрируется вокруг главы школы. Именно в них показатель активной жизни школы, действенности ее методов, стиля, преемственности и т.д.

История науки знает немало имен выдающихся ученых, воспитавших большие коллективы учеников и создавших всемирно известные научные школы. Ими являются школы Н.Бора, А.Ф.Иоффе, И.Н.Лузина, В.Оствальда, И.П.Павлова, Л.Пастера, Э.Резерфорда и др. Эти школы получили всеобщее научное и общественное признание, их вклад в мировую науку, в интеллектуальный климат эпохи и научный прогресс весьма велик. В то же время они, равно как и рассматриваемые ниже физические школы, представляют собой непосредственную иллюстрацию того содержания и тех критериев, которые мы заложили в понятие "научная школа". Тем самым построенная нами модель научной школы получает дополнительное подтверждение в научных сообществах, ставших уже достоянием истории и занявших прочное место в "памяти" современной науки.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ НАУЧНЫХ ШКОЛ В ФИЗИКЕ

1. ФИЗИКА И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ
ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XIX ст.

С 60-х годов XIX ст. в развитии классической физики начался второй этап, связанный с созданием Дж.Максвеллом теории электромагнитных процессов — новой общей модели явлений природы [87, 295, 500]. Используя новые идеи, явно не вытекающие из классической механики, он в 1860—1865 гг. разработал теорию электромагнитного поля [178]. До этого попытки построения теории электродинамических взаимодействий на основе ньютоновской концепции дальнего действия предпринимались А.Ампером, В.Вебером и Ф.Нейманом, но они оказывались несостоятельными, так как приводили к электродинамическим силам, не соответствующим третьему закону Ньютона. Малоуспешными были объяснения ньютоновской механикой и оптических явлений. Например, в волновой теории света, зародившейся почти одновременно с корпускулярной, носителем волновых движений считали всепроникающий эфир, и дать ясную картину внутренних сил, "управляющих" эфиром, и сил, действующих между ним и "вещной" материей, было практически невозможно.

Все эти недостатки наиболее четко осознал М.Фарадей, который благодаря своей фантастической интуиции понял искусственность сведения электромагнитных явлений к взаимодействию на расстоянии электрически заряженных частиц. Для объяснения электродинамических взаимодействий он еще в 1834 г. ввел представление о силовых линиях (понятие поля в первоначальной форме) [276]. Идея поля Фарадея явилась одним из важнейших открытий XIX ст., которое в дальнейшем позволило разорвать рамки механистического описания природы. Если у И.Ньютона и его последователей пространство выступало как пассивное вмещающее тел и электрических зарядов, то у М.Фарадея оно участвовало в явлениях. И, как отмечал А.Эйнштейн, нужно было иметь могучий дар научного предвидения, чтобы распознать, что в описании электрических явлений основополагающую роль играет пространство между зарядами и частицами, а не заряды и частицы. С этого

времени материя стала выступать не только в форме вещества, но и в форме поля. Полям стали придавать смысл физической реальности. Понятие сил, действующих на расстоянии (мгновенно распространяющихся), было заменено новым фундаментальным понятием — понятием поля. На основе своей концепции поля М.Фарадею удалось дать качественное представление всего комплекса электромагнитных эффектов, открытых им и его предшественниками.

Точные пространственно-временные законы электромагнитных явлений сформулировал в 1860—1865 гг. Дж.Максвелл. Все разнообразие этих явлений, всю совокупность законов, которым они подчиняются, он свел в систему из четырех уравнений (уравнения Максвелла):

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{d\mathbf{B}}{dt} \quad (1), \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (2), \quad \operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{d\mathbf{D}}{dt} \quad (3), \quad \operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi\rho \quad (4).$$

Здесь \mathbf{E} и \mathbf{H} — векторы напряженностей соответственно электрического и магнитного полей; \mathbf{D} и \mathbf{B} — векторы электрической и магнитной индукции; ρ — плотность электрического заряда; \mathbf{j} — вектор плотности тока.

Уравнение (1) является математической формулировкой закона электромагнитной индукции, (2) отражает отсутствие магнитных зарядов, невозможность их выделения, (4) формулирует электростатическую теорему Гаусса и обобщает закон Кулона. Уравнение (3) является обобщением на переменные поля закона Ампера о возбуждении магнитного поля электрическими токами. Однако в нем содержится также оригинальная и блестящая идея Максвелла. К току проводимости, обусловленному переносом зарядов, он добавил так называемый ток смещения — переменное электрическое поле, которое подобно току проводимости также создает свое магнитное поле. Это была гениальная догадка Максвелла, не вытекающая из известных экспериментальных фактов и давшая возможность избавиться от трудностей, возникающих при рассмотрении замкнутых и незамкнутых токов.

Идея тока смещения позволила Дж.Максвеллу построить замкнутую систему дифференциальных уравнений для электрического и магнитного полей, переставших быть несвязанными и представших как единое целое — электромагнитное поле. Максвелловские уравнения показывали, что электромагнитные поля могут распространяться в свободном пространстве со скоростью света в виде поперечных электромагнитных волн. А если электромагнитное поле может существовать независимо от материального носителя, то электрическое взаимодействие уже нельзя объяснить действием на расстоянии. Поэтому ньютоновское дальное действие уступило место близкоддействию, полям, распространяющимся в пространстве с конечной скоростью.

Кроме того, уравнения Максвелла позволили рассматривать свет как электромагнитное возбуждение. А это, в свою очередь, объединило такие две, казалось бы, разные области физики, как оптику и электромагнетизм, в одну, в которой оптика стала считаться разделом электродинамики. Идеи тока смещения (1861), электромагнитных волн и электромагнитной природы света (1865) были настолько необычными и смелыми, что современники Дж.Максвелла и последующее поколение физиков не сразу приняли его теорию, которая к тому же была изложена в труднодоступной форме. Сопrotивление новой теории было сломлено в 1888 г. экспериментальным открытием электромагнитных волн Г.Герцем. А активного противника этой теории У.Томсона в справедливости теории Максвелла убедили лишь эксперименты Лебедева, доказавшие существование светового давления (1899).

Значение теории электромагнитного поля выразительно охарактеризовал А.Эйнштейн. "Теория электрического поля Фарадея и Максвелла, благодаря которой удалось выйти из ... затруднительного состояния, — писал он, — представляет, очевидно, наиболее глубокое превращение, которое основание физики претерпело со времени Ньютона. Это был новый шаг в конструктивном развитии теории..." [307, т. 4, с. 212].

Дальнейшее развитие теория электромагнитного поля получила в работах О.Хевисайда и Г.Герца, которые уравнениям Максвелла придали (1890) математически симметричную форму, хорошо демонстрирующую полную взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями [179].

Электродинамика явилась первой областью физики, в которой были применены полевые концепции, получившие в дальнейшем широкое распространение. В результате впервые также была показана определяющая роль электромагнитных сил в веществе. В дальнейшем уравнения Максвелла как макроскопические уравнения электромагнитного поля обобщил на мелкомасштабные электромагнитные поля, создаваемые отдельными заряженными частицами, Х.Лоренц. Им была построена электронная теория (1880—1892), которая объяснила и предсказала много новых фактов и явлений [175]. В развитие электронной теории внесли вклад также Дж.Дж.Томсон, М.Абрагам, А.Пуанкаре, Дж.Лармор и др. Свою теорию Лоренц использовал и для разработки электродинамики движущихся сред, представляющей собой синтез теории электромагнитного поля Максвелла и электронной теории (уравнения Максвелла, лежащие в основе классической электродинамики, относились к неподвижным телам. Задачу распространения системы уравнений Максвелла на движущиеся тела в определенных рамках решил в 1890 г. Г.Герц). Благодаря усилиям перечисленных физиков была создана электродинамическая картина мира.

Наряду с развитием электромагнетизма во второй половине XIX ст. было завершено создание термодинамики [64]. Р.Клаузиусом введено важное понятие для термодинамической системы — понятие энтропии и установлен принцип, характеризующий направление протекания процессов (1865). Л.Больцманом открыта связь энтропии физической системы с вероятностью ее состояния и доказан статистический характер второго начала термодинамики (1872). Дж.Гиббсом заложены основы химической термодинамики (1873—1878).

Дж.Максвелл, Р.Клаузиус и Л.Больцман продолжали развивать кинетическую теорию газов [197]. Именно благодаря ей впервые в физику при рассмотрении статистически большого числа не связанных между собой элементарных механических процессов были введены методы теории вероятностей. Так, Дж.Максвеллом (1859—1860) и Л.Больцманом (1866) был установлен статистический закон распределения молекул газа по скоростям (закон распределения Максвелла — Больцмана). В результате такого нового подхода возникла статистическая механика, обосновавшая законы термодинамики и установившая границы ее применения. Она показала, что законы термодинамики не носят уже характер строгой необходимости, им свойствен вероятностный характер. Иными словами, они начали рассматривать некоторые закономерности природы как статистические. Своим завершением классическая статистическая физика получила в работе Дж.Гиббса "Элементарные принципы статистической механики" (1902) [66].

В 1869 г. Д.И.Менделеевым был открыт один из фундаментальных законов природы — периодический закон химических элементов, имеющий огромное естественнонаучное и философское значение [182]. Он позволил рассматривать все элементы в их взаимной связи и прогнозировать свойства неизвестных элементов. Обнаружена закономерность в спектральных линиях водорода (И.Бальмер, 1885) и предложена (1890) формула, описывающая любую спектральную линию химического элемента (формула Ридберга). Установлены законы теплового излучения (закон Стефана — Больцмана, закон смещения Вина), уравнение состояния реального газа (уравнение Ван дер Ваальса).

В области эксперимента получен ряд значительных достижений: определено (1865) число молекул в 1 см^3 газа при нормальных условиях (число Лошмидта), открыты электро- и магнито-оптические эффекты (Дж.Керр, 1875—1876), эффект Холла (1879), пьезоэлектрический эффект (П. и Ж. Кюри, 1880), термоэлектронная эмиссия (Т.Эдисон, 1883), внешний фотоэффект (Г.Герц, 1887), получен жидкий кислород (Л.Кальете, Р.Пикте, 1877), выполнены опыты по обнаружению "эфирного ветра" (А.Майкельсон, 1881, 1887).

Созданы важные для дальнейшего развития физики и техники инструменты и устройства: динамомашин (А.Пачинотти, 1860), аккумулятор (Г.Планте, 1860), лампа накаливания (А.Н.Лодыгин, 1872; Т.Эдисон, 1879), радиометр (У.Крукс, 1873), трансформатор (П.Н.Яблочков, 1876), телефон (А.Белл, 1876), микрофон (Д.Юз, 1878), оптический микроскоп (Э.Аббе, 1878), болометр (С.Ленгли, 1881), фотоэлемент (А.Г.Столетов, А.Риги, 1888), генератор трехфазного тока (М.И. Доливо-Добровольский, 1888), электромагнитный осциллограф (А.Блондель, 1893), вакуумный спектрограф (В.Шуман) и др. [141, 176, 500].

В результате в конце XIX ст. различные разделы физики представляли собой взаимосвязанную систему, объединенную механикой Ньютона и электродинамикой Максвелла — Лоренца. Своим современникам физика казалась почти завершенной наукой. Правда, ее завершенность большинство ученых XIX ст. понимало как возможность сведения всех физических явлений к механике молекул (атомов) и эфира [224].

Значительные изменения произошли во второй половине XIX ст. и в организации физических исследований. Широкое распространение получили физические лаборатории, пришедшие на смену традиционным физическим кабинетам, физические институты, специально создаваемые для проведения широких и систематических физических исследований, а также физические коллоквиумы, возникшие при этих лабораториях и институтах [142, 485]. Появились первые физические общества и специализированные физические журналы.

Первые физические лаборатории были организованы в 30-х годах XIX ст. в Лейпцигском и Гёттингенском университетах [555]. В начале 40-х годов Г.Магнус [413] в Берлине, а Ф.Нейман [253] в Кёнигсберге открыли частные лаборатории для проведения научных работ студентов и практикантов. В 1846 г. физические лаборатории были созданы У.Томсоном в университете в Глазго и Ф.Жолли в Гейдельбергском университете. В последнем она успешно развивалась в дальнейшем под руководством Р.Бунзена и Г.Кирхгофа. В 1863 г. на базе лаборатории Магнуса была организована физическая лаборатория в Берлинском университете, в 1868 г. — лаборатория в Парижском университете под руководством Ж.Жамена, в 1871 г. — Кавендишская лаборатория в Кембриджском университете во главе с Дж.Максвеллом, в 1872 г. — Кларендонская в Оксфордском. В России первая физическая лаборатория была организована в Московском университете в 1872 г. по инициативе А.Г.Столетова [148, 228].

Первые физические институты были открыты в 1835 г. при Лейпцигском [555] и в 1850 г. при Вюрцбургском университетах. В 1875 г. основан физический институт во главе с А.Тёпplerом при

Грацком университете, в 1877 г. построен физический институт при Страсбургском университете, возглавляемый А.Кундтом, открыты также институты при Берлинском, Парижском и других университетах. В 1888 г. основан первый физико-технический институт в Шарлоттенбурге во главе с Г.Гельмгольцем. В России первый физический институт был открыт в 1901 г. при Петербургском университете, в 1904 г. — при Московском.

Первые физические коллоквиумы возникли в лабораториях Г.Магнуса (1843) и Г.Кирхгофа, но широкий размах получили у А.Кундта в Страсбурге (в 1834 г. объединенный коллоквиум по теоретической физике и математике был основан Ф.Нейманом и К.Якоби в Кёнигсберге). Первый коллоквиум в России был организован в 1901 г. П.Н.Лебедевым, хотя ранее (1871—1872) попытки предпринимались А.Г.Столетовым. В 1856 г. создано Берлинское физическое общество, в 1872 г. — Российское. Во второй половине XIX ст. сначала в Германии, а затем в Америке появились специализированные физические журналы по отдельным разделам физики.

Эти события в физике и изменения в организации и проведении физических исследований, являющиеся следствием социально-экономических факторов, и создали во второй половине XIX ст. необходимые научно-технические и социальные предпосылки для формирования физических ш.кол.

2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЯДА НЕФОРМАЛЬНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ ФИЗИКОВ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX ст. С НАУЧНЫМИ ШКОЛАМИ

Используем разработанную модель научной школы [293] и критерии научного лидера [296] для поиска в истории физики таких творческих неформальных объединений физиков, которые можно было бы идентифицировать с научными школами.

С этой целью рассмотрим ряд коллективов физиков во главе с научными лидерами второй половины XIX ст., которые являлись также широко известными воспитателями молодых ученых и с различной частотой встречаются в историко-физической литературе как создатели физических школ. На вопрос, какой из названных коллективов физиков может считаться научной школой в соответствии с предложенной выше моделью, дает ответ табл. 1. Полное совпадение с научными школами обнаруживают коллективы физиков, возглавляемые А.Кундтом, Дж.Дж.Томсоном и П.Н.Лебедевым. А это означает, что начало возникновения школ в физике относится к последней четверти XIX ст.

Именно в это время форма коллективного творчества в физике

Таблица 1. Идентификация ряда неформальных коллективов физиков второй половины XIX ст. с научными школами

Научный лидер	Высокие личные результаты	Педагогическое мастерство	Особая научная атмосфера	Стиль, научная идеология, программа	Количество учеников высшей квалификации (более 10)	Высокие результаты учеников	Можно ли считать школой
Ф.Нейман	+	+	+	-	-	+	-
Г.Магнус	-	+	+	-	+	+	-
Э.Х.Ленц	+	+	-	-	-	-	-
Г.Гельмгольц	+	-	-	-	-	+	-
Ф.Ф.Петрушевский	-	+	-	-	-	-	-
Дж.Максвелл	+	+	-	-	-	+	-
Й.Стефан	+	+	-	-	-	+	-
М.П.Авенариус	-	+	-	-	-	-	-
А.Кундт	+	+	+	+	+	+	+
А.Г.Столетов	+	+	-	-	-	+	-
В.Рентген	+	-	-	-	-	+	-
Дж.Томсон	+	+	+	+	+	+	+
П.Н.Лебедев	+	+	+	+	+	+	+

стала действительно необходимой для ее дальнейшего прогресса и одной из эффективных ее форм оказались научные школы. Таким образом, только к концу XIX ст. в физике сложились предпосылки, необходимые для формирования школ с признаками, фигурирующими в нашей модели научной школы, т.е. оказалась возможной реализация трех- или четырехзвенной структур, в которых плодотворно функционируют группы или коллективы физиков-исследователей во главе с научным лидером: учитель — кафедра вуза (лаборатория) — семинар; учитель — физический институт (лаборатория) — семинар; учитель — кафедра вуза — физический институт (лаборатория) — семинар. Именно в них с определенной степенью вероятности и возникают физические школы.

Правда, элементы коллективной формы научного творчества и научной школы (учитель и ученики или последователи) появились еще в античную эпоху. К древним натурфилософским "школам" относятся ионийская, пифагорейская, атомистическая, "школа" Платона и перипатетическая. В этом же смысле можно говорить и о "школе" Галилея (XVII ст.), учениками которого были известные физики Б.Кастелли, Э.Торричелли, Дж.Борелли и В.Вивiani. Непосредственной предтечей физической школы можно считать кружок и лабораторию Г.Магнуса, из которых вышли Г.Гельмгольц, Р.Клаузиус, Г.Квинке, А.Кундт, Дж.Гиббс, Г.Видеман, Э.Сименс, Дж.Тиндаль, А.Г.Столетов, А.Крёниг и др., а также группу учеников Ф.Неймана (Г.Кирхгоф, К.Нейман, Ф.Дорн, Л.Зонке, Л.Мейер, Р.Этвеш, В.Фойгт и др.) [544].

В России элементы научной школы находим у М.В.Ломоносова, много сделавшего для развития отечественной науки, культуры и образования. В 1755 г. по его инициативе и проекту был открыт Московский университет, где по его указаниям при философском факультете была создана кафедра физики, а также физический кабинет. Свои физико-химические исследования Ломоносов проводил в основанной им в 1748 г. химической лаборатории Петербургской академии наук. Его учениками были А.А.Барсов, Н.Н.Поповский, Ф.А.Яремский, А.А.Константинов, И.Ф.Фрязин и др. [228]. Эти элементы обучения искусству научного исследования развивались в дальнейшем Э.Х.Ленцем [71], М.П.Авенариусом [72], А.Г.Столетовым [263] и Ф.Ф.Петрушевским [228].

Простое наличие у ученого ряда учеников в ранге профессоров, которые когда-то были его студентами, часто давало историкам науки основание для "облегченной" формулировки понятия научной школы как отношения учитель — ученики, т.е. позволяло считать его главой, фундатором элементарной структуры научной школы. Поэтому в работах по истории физики, особенно прежних лет, можно встретить упоминание о ранних научных школах Ф.Неймана, Г.Магнуса, Й.Стефана, Э.Х.Ленца, М.П.Авенариуса, А.Г.Столетова, Ф.Ф.Петрушевского и др. Однако если рассматривать научные школы сложной структуры, положив в основу те критерии, о которых речь шла выше, то первой физической школой следует считать школу А.Кундта, а в России — школу П.Н.Лебедева.

ПЕРВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ШКОЛЫ

1. СТРАСБУРГСКАЯ ШКОЛА А.КУНДТА

Видный немецкий физик А.Кундт вошел в историю науки не только как блестящий экспериментатор, но и как замечательный учитель. Помимо выдающихся научных результатов, принесших ему широкую известность, огромной заслугой Кундта было создание им большой интернациональной научной школы — первой школы экспериментальной физики [320, 370, 450]. "Если Кундт как ученый, являясь нам во всем блеске своего таланта, занимает одно из первых мест среди современных ему физиков, — отмечал его ученик П.Н.Лебедев, — то Кундт как учитель представляет собою совершенно исключительное явление как лектор и как руководитель будущих деятелей" [165, с. 59]. Об этой стороне деятельности Кундта писал и П.П.Лазарев: "Кундт был не только замечательным ученым, обогатившим науку рядом гениальных исследований, он был главой большой международной физической школы, давшей нам таких первоклассных исследователей, как Рентген, Варбург, Браун, Гальвакс, Винер, Рубенс, Дюбуа и др. Специалисты, работавшие у Кундта, стекались в его лабораторию со всего земного шара..." [148, с. 38].

А.Кундта отличали яркий исследовательский, педагогический и организаторский талант, любовь и преданность науке, необыкновенное обаяние, работоспособность, добросовестность, высокая требовательность к себе, доброжелательность, отзывчивость, непосредственность и простота в общении, бескорыстие, остроумие, феноменальная память, гибкость ума и ясность языка. Все это притягивало к нему учеников и слушателей со всего мира, которых он умело объединял в одну дружную семью. Его экспериментальная работа всегда характеризовалась большой изобретательностью в выборе средств получения точных результатов, разносторонностью, оригинальностью и ясностью мысли, целеустремленностью, скрупулезностью, сочетающейся с средним качеством самокритицизма, интуицией, научной проницательностью и видением перспективы. Иными словами, Кундт обладал всеми качествами, чтобы быть лидером научного коллектива.

Приведем несколько характеристик, данных его современниками. "Страстный, темпераментный, блистающий остроумием и интеллектом, — писал М.Планк, — он оказывал на своих сотрудников и учеников пленяющее действие, воодушевляя их на занятия физикой" [217, с. 565]. Подобное же мнение высказал и Ф.Пашен: "Значение Кундта как создателя плодотворной школы экспериментальной физики прежде всего определяется своеобразием его личности. Кундт был натурой высоко художественной. Он был художником и в своих работах по физике, и в воспитании своих учеников. Обладая тонкой физической интуицией и строгой логикой, он не погрязал в мелочах явлений, которые в то время кропотливо исследовались многими экспериментаторами. Он направлял свой взор на взаимосвязь и сущность вещей. Каждый преданный ученик должен был следовать ему, потому что в атмосфере этой лаборатории не было другого пути" [216, с. 222].

Восторженно-эмоциональный отзыв о Кундте дал также П.Н.Лебедев в своих письмах из Страсбурга: "Я удивлен, я поражен, я восхищен, я очарован — конечно, Кундтом... Удовольствие (получаемое чтением) переходит в наслаждение, особенно когда замешан Кундт (лекции или беседы с ним). Я никогда не думал, чтобы человек мог на меня действовать так удивительно околдовывающе, как мой патрон, часто даже не словами, а просто своей гениальностью" [148, с. 39]. И далее "... Кундт — художник и поэт, пылкий, реагирующий — он расшевеливает и поддерживает возбужденное настроение духа..." [148, с. 42].

Август Адольф Кундт родился 18 ноября 1839 г. в Шверине (ныне ГДР). Уже в детстве у него проявился интерес к естественным наукам, и в юности он уже самостоятельно конструировал различные приборы и инструменты, проявляя завидную сноровку и умение в их создании. Одну из комнат в доме он переоборудовал под "лабораторию", где проводил оптические опыты. Особенности характера, отличающие его от сверстников, развиваясь и прогрессируя, заставили еще в юношеские годы обратить на себя внимание. Обладая исключительной памятью, Кундт знал огромное количество стихов немецких поэтов. Окончив в 1859 г. гимназию в родном городе, он поступил в Лейпцигский университет, где изучал математику и естественные науки, прежде всего физику и астрономию. Однако вскоре он занялся исключительно физикой. В 1861 г. он перешел в Берлинский университет, в котором слушал лекции Г.Магнуса. Здесь и были заложены основы его научного творчества.

В 1864 г. А.Кундт окончил Берлинский университет. Работая в лаборатории Магнуса сначала как студент, а затем как ассистент, он испытывал на себе его благотворное влияние. Позже в речи в Берлинской Академии наук в 1889 г. Кундт скажет: "Ког-

да я вспоминаю период своей учебы ..., то невольно речь заходит о человеке, который протянул мне руку, — Густаве Магнусе... Слово благодарности и личной признательности хочу выразить... тому, у кого я учился в юношеские годы. Когда я покинул лабораторию Магнуса, я многое знал (это я понял позже), он сформировал мои взгляды в области теории физики, но у меня была страсть к эксперименту. Когда мне удалось создать свое экспериментальное направление в науке, я с благодарностью думал о своем учителе" [488, с. 161].

В лаборатории Магнуса впервые проявились и были развиты экстраординарные экспериментальные способности Кундта. Как отмечал П.Н.Лебедев, в этой лаборатории впервые блеснул его необыкновенный экспериментальный талант и был проведен ряд работ, замечательных как по ясности постановки вопроса, так и по изяществу исполнения, которые привели его к классическим исследованиям скорости звука в твердых телах и в газах с помощью акустических фигур. Под влиянием своего учителя Кундт удачно "вписался" в ряды физиков-экспериментаторов.

В 1867 г. он стал приват-доцентом Берлинского университета, а в 1868 г. — профессором Цюрихского политехникума, где его студентом был В.Рентген, которого он "превратил" из инженера-механика в физика. В 1870—1872 гг. Кундт являлся профессором Вюрцбургского, в 1873—1888 гг. — Страсбургского (в 1877—1878 гг. — ректор) университетов. В Страсбурге он создал (1877) один из первых физических институтов. Причем план здания института был разработан самим Кундтом, поставившим цель — построить институт, который служил бы как для "лекционных и педагогических целей, так и для всевозможных научных исследований". Строительство института велось под постоянным контролем Кундта. В результате, как писал в 1892 г. Лебедев, "он создал не только лучший в мире Кундтовский физический институт, но и основал в нем ту интернациональную Кундтовскую школу физиков, ученики которой рассеяны теперь по всему земному шару" [165, с. 52]. Страсбургский институт физики служил прототипом при создании подобных институтов во многих странах. И в этом также заключается одна из крупнейших научных заслуг Кундта, который один из первых во всей полноте уяснил те благоприятные внешние условия, в которых должен работать физик.

В 1888 г. А.Кундт стал профессором Берлинского университета и преемником Г.Гельмгольца в Физическом институте при университете в связи с избранием последнего на пост президента только что созданного первого физико-технического института (Берлин — Шарлоттенбург). В этом же году он был избран действительным членом Берлинской Академии наук и почетным членом Петербургской. 21 мая 1894 г. Кундт скончался.

Исследования А.Кундта посвящены акустике, молекулярной физике, оптике, электричеству, физике кристаллов, металлооптике. Уже в первых работах (1863—1864) проявились его изобретательный ум, отличное умение экспериментировать, строгая логика мышления. В 1865 г. он разработал метод измерения скорости звука в твердых телах и газах с помощью так называемых акустических пылевых фигур, вошедший во все элементарные курсы физики [448], в 1866 г. объяснил звуковые фигуры в органических трубах, определил форму колебаний звучащих пластин, исследовал спектр молнии (1867). В 1871 г. им была переоткрыта аномальная дисперсия света [449] после Ф.Леру, впервые обнаружившего ее в парах иода (1862), и К.Кристиансена, наблюдавшего ее в растворе фуксина и чистом спирте (1870) [460]. На большом количестве веществ Кундт выполнил широкие исследования аномальной дисперсии, ставшие классическими. В частности, способом "кундтовых кривых дисперсии" показал, что она свойственна всем окрашенным средам. Разработал ряд методов изучения аномальной дисперсии, первый обратил внимание на связь ее с поглощением лучей света, показав, что поглощение инициирует аномальную дисперсию, и вывел соответствующее эмпирическое правило. Его работы коренным образом изменили взгляды на явление преломления света и стимулировали теоретические исследования в этом направлении Г.Гельмгольца, Э.Кеттелера, Э.Ломмеля, В.Зельмейера, В.Фойгта и др.

Совместно со своим учеником Э.Варбургом А.Кундт выполнил классические работы в области кинетической теории газов, дав экспериментальное доказательство ряду ее основных положений и выводов. В частности, они показали, что в сравнительно широком интервале давлений (от 1 до 0,001 атм) внутреннее трение и теплопроводность газов не зависят от давления, а обусловлены их химической природой и температурой. Однако при больших разрежениях газа имеют место значительные отклонения. Для этого случая ими было открыто явление скольжения молекул газа на границе с твердым телом (1875) [452]. Они также измерили скорость звука в парах ртути, получив значения, полностью совпадающие с теоретическими, и определили (1876) отношение удельных теплоемкостей одноатомных газов [453].

А.Кундт изучал влияние растворителя на поглощение растворимого тела, открыл двойное лучепреломление в жидкостях, исследовал удельную теплопроводность и взаимную диффузию паров и газов, пьезо- и пьезоэлектрические свойства кристаллов, предложил оригинальный и простой способ получения картины распределения электричества на кристалле (метод напыления красного и желтого порошка), которым впоследствии пользовались многие физики.

Последующие исследования А. Кундта сосредоточились в области оптики металлов. Он разработал технологию приготовления тонких прозрачных металлических листов (пленок) в целях изучения свойств светового луча, проходящего через эти пленки. Поместив прозрачную тонкую пленку железа в магнитное поле и направляя на нее луч света, Кундт наблюдал вращение плоскости поляризации проходящего света, которое оказалось огромным (1884). Иными словами, он обнаружил сильную способность магнитного вращение плоскости поляризации металлических пленок (эффект Кундта). Этот эффект лег в основу современной магнитооптики, вызвав целый ряд теоретических и экспериментальных работ. Следует отметить, что до этого Кундт совместно с В. Рентгеном открыл (1879) слабое вращение плоскости поляризации света в некоторых парах и газах, помещенных в магнитное поле, — явление, которое тщетно пытался обнаружить М. Фарадей [451]. Исследовал оптические свойства кристаллов. В 1888 г., приготовив тонкие клинообразные пластинки из Ag, Au, Cu, Fe, Ni, Pt и Bi, преломляющий угол которых изменялся от 11 до 51°, он впервые определил показатель преломления для красного, белого и синего света, распространяющегося в названных выше пластинках. Этой работой была открыта новая страница в металлооптике.

Получение крупных научных результатов в различных областях экспериментальной физики у Кундта органично сочеталось с его большой работой по воспитанию молодых исследователей, созданию школы физиков-экспериментаторов широкого профиля. Причем, по словам В. Безольда, "эту сторону Кундта следует рассматривать как основную во всей его деятельности в целом" [320, с. 13]. Яркое и полное личное Кундта как ученого и учителя раскрыл в очерке о нем П. Н. Лебедев. "В своих работах, — писал он, — Кундт является тем физиком-экспериментатором, который не пытается угадать и объяснить природу, а, пользуясь своим исключительным экспериментаторским талантом, заставляет ее говорить и отвечать на целый ряд систематически поставленных ей вопросов. Обладая замечательным "физическим чутьем"..., Кундт угадывал связь между отдельными, разнородными явлениями, а также с удивительной легкостью схватывал сущность математически развитой теории и всегда умел ребром поставить такой вопрос, который, являясь наиболее смелым следствием теории, был бы доступен непосредственному экспериментальному исследованию.

Ясно и точно формулируя задачи данного исследования, Кундт при выполнении его является нам во всем блеске своего удивительного экспериментального таланта, поражая нас то простотой и изяществом приема (например, "кундтовы кривые дисперсии"), то борьбой с такими экспериментальными трудностями (напри-

мер, "кундтовы призмы"), которые может оценить только тот, кто сам занимался аналогичными работами; его изобретательность в постановке вопроса, как это знают все работавшие у него, не имела границ, но в тех случаях, где изобретательность не могла помочь и являлась необходимостью идти ощупью (например, "кундтовы зеркала"), он брал кропотливым трудолюбием и настойчивостью, иногда месяцами работая бесплодно, и многие из его работ под своей кажущейся простотой скрывают огромный труд..." [165, с. 58—59].

А.Кундт всегда избегал вызывать в слушателе неверное представление о физике как завершенной науке. В его изложении она была живой наукой, где наряду с бесспорно установленными фактами было огромное количество вытекающих из них новых вопросов, ожидающих своей разработки и на которые еще надо получить ответ. "Кундт читал физику так, — отмечал Лебедев, — как он "чувствовал" ее, так, как она доступна только умственному оку глубокого исследователя, с теми особенными неуловимыми оттенками изложения, которые свойственны только очевидцу, — на его лекциях слушатели невольно и незаметно проникались духом науки" [165, с. 59].

При этом основной задачей А.Кундта было раскрыть перед начинающими физиками закулисную сторону научного исследования, дать им возможность попробовать свои силы и научиться самостоятельно работать. Предоставляя каждому полную свободу в выборе темы и в ее разработке, он особенно поощрял любое проявление самостоятельности в работе, видя в нем залог будущих успехов. Пользуясь этой свободой, многие начинающие студенты нередко брались за весьма трудные темы или проводили эксперимент в очень несовершенной форме, но Кундт им не мешал и даже подбадривал при неудачах, усматривая в этом особую пользу. "Пусть молодой физик, — говорил он, — сразу же почувствует, что представляет из себя самостоятельное исследование, — ряд неудач ему гораздо больше объяснит сущность дела, чем все мои описания" [165, с. 62]. Ежедневное непосредственное его общение с учениками и сотрудниками, его теплое, дружеское к ним отношение, отзывчивость свидетельствовали о том, что в каждом из них он видел прежде всего будущего исследователя, ценил их любовь к делу и способность работать.

Для своих учеников А.Кундт был идеальным руководителем и помощником. Обладая отличной памятью и огромной эрудицией, он превосходно ориентировался в физической литературе, всегда знал, что сделано и по какому вопросу, и ясно представлял, что еще предстоит сделать. Поэтому он легко мог советовать, какие статьи окажутся полезными и их необходимо проработать. У Кундта всегда в избытке был запас идей, мыслей и тем для учеников, и

исследования в институте велись почти по всем направлениям физики. Следует заметить, что в большинстве своем работы его учеников были выполнены по предложенным им темам и при его непосредственном содействии. Так, за годы его работы в Страсбурге в институте под его руководством было выполнено более 50 научных работ. Ежедневно Кундт являл собой пример исследователя, показывающего, как надо разбираться в любом физическом вопросе. При этом он открывал перед собеседником теневую сторону обдумывания вопроса, своего рода "творческую кухню", убеждал его в том, что ответ получается не сразу, а складывается постепенно из отдельных разрозненных сведений, путем обобщений, аналогий и т.д. Это называлось у Кундта "физически мыслить". Молодым физикам он особенно настоятельно рекомендовал самостоятельно, критически и творчески мыслить и не мерить знания только количеством. Именно творческое начало в молодом исследователе привлекало Кундта, являлось для него показателем ученого.

Но Кундт учил не только "физически мыслить", но и "физически работать", раскрывая перед начинающими исследователями полную картину экспериментальной работы. При этом он настаивал на обязательности постоянного общения всех, кто выполнял у него самостоятельные экспериментальные исследования. В результате молодой физик расширял и углублял свои знания, осваивался с духом экспериментальных работ, видел, как создается метод исследования, возникают и преодолеваются трудности, меняются приемы работы и, наконец, ценой долгих усилий получают ясные и интересные результаты, а вместе с ними уверенность в своих силах.

"Оценить влияние на учеников этого непосредственного общения с великим учителем и той чисто научной атмосферы, где впервые пробудилась и окрепла любовь их к серьезной, самостоятельной научной работе, — оценить их невозможно, — писал Лебедев, — они сказались и сказываются в работах, произведенных далеко от института Кундта, выступая независимо от индивидуальных особенностей авторов в том, что мы привыкли называть духом Кундтовской школы" [165, с. 64]. Все это и привело к выработке в лаборатории Кундта, по словам В.Безольда, "стро-гого, научного и современного" подхода ко многим проблемам.

Огромное значение для формирования молодых физиков имели еженедельные коллоквиумы, проводимые Кундтом. Участниками его были студенты первых курсов, ведущие самостоятельные исследования, ассистенты и профессора смежных с физикой наук. Каждый реферат знакомил слушателей с новым, как правило, интересным исследованием. В ходе обсуждения и беседы перед участниками открывалась картина непрерывного развития науки.

Коллоквиум был превосходной школой, которая учила разбираться в материале, выбирать существенные результаты исследований и выяснять их значение, учила выступать. Предоставляя каждому участнику свободно высказываться, поддерживая беседу, Кундт обладал особой способностью не стеснять своим присутствием, не подавлять своим авторитетом и талантом. Изредка вставляя, как бы мимоходом, короткие замечания, он незаметно направлял ход беседы, незаметно поддерживал общее воодушевление, порождая новые соображения, нередко приводящие к интересной для дальнейших исследований теме.

"Что особенно было дорого в этих коллоквиумах, — писал Лебедев, — это та простота и то товарищеское отношение между отдельными участниками собрания, в котором Кундт ставил себя равным только что поступившему студенту; всякий свободно и не колеблясь высказывал какое-нибудь сомнение, только что пришедшее ему на мысль, в полной уверенности, что даже в том случае, когда его вопрос и неоснователен, то и тогда никому не придет в голову посмеяться над ним и всегда его недоразумение будет разъяснено знающим человеком... Перед слушателем выступал только что начинающий студент рядом с ученым, имя которого пользуется заслуженной известностью, — всех их Кундт соединял в одно целое, одушевленное одним общим интересом. Под влиянием таких бесед в каждом участнике незаметно вырабатывалось представление о современном состоянии физики, о непрерывном ее развитии и о той огромной интернациональной работе, в которой каждый мог принять участие; если занятия в институте учили, как надо физически думать и работать по различным отраслям физики, то коллоквиум захватывал в самую середину современного научного течения, делал науку близкой и родной, открывая новые, невиданные горизонты" [165, с. 65—66]. А. Кундт стремился создавать из учеников не только профессионально подготовленных ученых, владеющих искусством эксперимента, ориентирующихся в современной им физике и физической литературе, он давал возможность развиваться и их лекторским способностям. В результате им была сформирована большая плодотворная школа физиков с определенным стилем, традициями и широким тематическим спектром. "Выдающийся учитель, равно которому не было, — писал В. Безольд, — он своим примером, прекрасной жизнью закладывал основы развития индивидуальных качеств молодых исследователей, готовя их к большим открытиям, и его первые шаги на этом поприще увенчались успехом. Уже в начале деятельности Кундт всегда был окружен учениками, а его выдающиеся способности учителя быстро увеличивали этот группирующийся вокруг него круг учеников, многие из которых сегодня занимают почетные места в науке" [320, с. 21].

Школу экспериментальной физики Кундта представляют Л. Арокс, Р. Биркеланд, Э. Блазиус, К. Браун, Э. Варбург, О. Винер, В. Гальвакс, Д. А. Гольдгамер, Б. Б. Голицын, Л. Гретц, Г. Дюбуа, Э. Коц, П. Н. Лебедев, О. Леман, В. А. Михельсон, Ф. Пашен, В. Рентген, Г. Рубенс, Ф. Штенгер, Ф. Экснер и др. [294, 544]. Двое из его учеников В. Рентген и К. Браун стали лауреатами Нобелевской премии по физике, а К. Браун, Э. Варбург, П. Н. Лебедев, Ф. Пашен и Г. Рубенс — создателями собственных научных школ.

К основным достижениям школы, кроме перечисленных ранее, можно отнести открытие "рентгеновского тока" и рентгеновских лучей (В. Рентген), изобретение электронно-лучевой трубки, кристаллического детектора, нескольких типов антенн (К. Браун), измерение давления света на твердые тела и газы (П. Н. Лебедев), открытие (независимо от Г. Герца и А. Риги) фотоэффекта (В. Гальвакс), стоячих световых волн (О. Винер), магнитного гистерезиса и ионной проводимости диэлектрических кристаллов (Э. Варбург), экспериментальное подтверждение закона Планка теплового излучения (Г. Рубенс), открытие новой серии водорода в инфракрасной области спектра (серия Пашена) и эффекта Пашена — Бака, жидких кристаллов (О. Леман), создание научных основ сейсмологии (Б. Б. Голицын) и физики горения (В. А. Михельсон) и др.

2. КАВЕНДИШСКАЯ ШКОЛА ДЖ. ДЖ. ТОМСОНА

Имя выдающегося английского физика Дж. Дж. Томсона известно широкой научной аудитории благодаря открытию им электрона [491, 523, 524]. Меньший же круг лиц знает его также как основоположника первой в Англии физической школы, влияние которой вышло далеко за рамки этой страны. Она была создана Дж. Дж. Томсоном в Кембридже в период его работы директором Кавендишской лаборатории (1884—1919), а точнее в 1895—1914 гг., когда им с учениками и сотрудниками закладывались основы атомной физики. "Здесь (в Кавендишской лаборатории. — Ю. Х.) над всем этим трудились первая исследовательская школа современного типа, которая когда-либо существовала в Англии", — писал его сын и ученик Дж. П. Томсон [521, с. 1318].

Это же отмечают и другие известные физики, являвшиеся учениками Дж. Дж. Томсона в разное время. "В период пребывания в должности Кавендишского профессора Томсон преуспел в создании школы научных исследований, с которой редко какая-либо еще школа может сравниться, если вообще таковая имеется, — писал Р. Рэлей (Стрэтт). — Это научное сообщество полностью зависело от его личности, плодотворности его суждений, его доброй заинтересованности в своих учениках и от искреннего вос-

торга, когда они добивались каких-либо успехов. Иногда до сорока студентов наряду с несколькими иностранными профессорами из американских и континентальных университетов занималось научной работой под его руководством... Фактически большая часть профессуры в англоязычных странах состоит из его учеников" [490, с. 595].

В таком же плане высказывается и О.Ричардсон: "...Он создал в Кавендишской лаборатории большую школу экспериментальной физики, которая когда-либо существовала до того времени. Список лиц, заслуживших высоких отличий, превышал бы размеры этой статьи, и было бы трудно решить, где подвести черту... И все они, действительно, были серьезно подготовлены под руководством "Дж.Дж." в Кавендишской лаборатории. Он был великим вдохновителем. Я не знаю никого другого, кто бы в такой степени сделал столько доброго в смысле обучения других во время своей жизни" [502, с. 355].

Нужно было быть поистине яркой личностью и обладать такими исключительно высокими человеческими качествами, которые привлекали бы молодых людей, стимулировали их на занятие наукой. И Томсон был таким. Он был выдающимся мыслителем, тонким экспериментатором, непревзойденным учителем и очень обаятельным человеком. "Томсон был более чем великий ученый-экспериментатор, он был великий педагог и выдающаяся личность, — писал Дж.Кроузер. — Слава его открытий привлекала к нему многих молодых людей из разных частей цивилизованного мира, но именно его личность удерживала их. Он делился с ними своим вдохновением и идеями, а они отвечали ему восхищением и искренней привязанностью... Год за годом из нее (Кавендишской лаборатории. — Ю.Х.) выходили высококвалифицированные физики, которые в разных странах и на разных постах являлись носителями традиций Кавендиша" [502, с. 351—352].

Дж.Дж.Томсон создал в Кавендишской лаборатории такой стиль отношений и работы, такую научную атмосферу, которые превратили ее в своего рода "цех" по подготовке физиков-исследователей. "Те, кому посчастливилось работать в Кавендишской лаборатории с сэром Джозефом, считают эти годы самыми незабываемыми, — вспоминал его ученик Дж.Зелени. — Мы жили там в атмосфере, изобилующей новыми идеями. Нас связывало свободное и счастливое товарищество. Новые идеи и результаты экспериментов становились предметом дружеской и справедливой критики. Мы испытывали трепет, присутствуя при важнейших открытиях и наблюдая день за днем работу проницательного и изобретательного ума сэра Джозефа... Этот великий ученый необыкновенно человечен. Те, кому выпало счастье общаться с ним, не смогут забыть его разносторонние интересы, доброе сердце,

юмор, жизнерадостность, добродушие, бодрость, гостеприимство, готовность помочь другим" [503, с. 884]. И это все вместе взятое и сделало Томсона большим учителем и создателем крупной физической школы.

Джозеф Джон Томсон, или "Джи-Джи", родился 18 декабря 1856 г. в предместье Манчестера, где окончил в 1876 г. Оуэнский колледж (ныне Манчестерский университет). В 1876—1880 гг. продолжал учебу в Тринити колледже Кембриджского университета и после получения ученой степени по математике стал работать в Кавендишской лаборатории под руководством Дж.Рэлея. В 1884 г. Томсон был избран преемником Рэлея в университете — кавендишским профессором и директором лаборатории. Эти посты он занимал до 1919 г., когда стал магистром Тринити колледжа. Скончался Томсон 30 августа 1940 г.

Научные работы Дж.Дж.Томсона посвящены теории электромагнитного поля Максвелла, теории вихрей, исследованию катодных и рентгеновских лучей, прохождения электрического тока через газы, проводимости металлов, атомной физике. Он удачно соединял в себе физика-теоретика и экспериментатора, блестяще владея как аппаратом математической физики, так и искусством проведения эксперимента, экспериментальным чутьем и проницательностью. "Его работа является счастливым сочетанием экспериментальных и математических способностей, — писал О.Лодж. — Он проводил искусные эксперименты для наблюдения и разделения явлений и в то же время с большим мастерством применял динамику для их анализа..." [461, с. 49].

Ранние теоретические работы Дж.Дж.Томсона были вдохновлены теорией Максвелла и первая значительная его работа "Об электрических и магнитных эффектах, происходящих при движении наэлектризованных тел" (1881), показала Томсона последователем великого Дж.Максвелла, его удачным комментатором и пропагандистом [525]. В ней он не только развил некоторые результаты максвелловской теории, но и выдвинул совершенно новую и смелую идею — идею электромагнитной массы, предположив, что движущийся заряженный шар приобретает дополнительную массу благодаря своему заряду (первый намек на связь массы с энергией). Здесь же содержалось выражение для силы, действующей на движущийся заряд в магнитном поле, которое через несколько лет с другой численной постоянной было получено Х.Лоренцом и стало известно как "формула Лоренца".

Свой вклад в развитие электродинамики Томсон внес не только упоминавшейся выше работой, но, в частности, и другими работами: "Объяснение свойств электрического поля при помощи трубок электростатической индукции" (1891) [528] и "Новейшие исследования в области электричества и магнетизма"

(1893) [530]. В первой Томсон впервые выдвинул идею электромагнитного импульса и дал для него математическое выражение, а также пришел к зависимости электромагнитной массы от скорости, а вторая работа представляла собой дополнение, или своего рода комментарий, к переизданию трактата Максвелла, которое он осуществил.

Следует заметить, что воспитанный на воззрениях М.Фарадея и Дж.Максвелла Томсон в основу своих теоретических исследований структуры электрического поля положил концепцию силовых трубок Фарадея, объясняя их движением и изменением формы отдельные факты и черты явлений. Этой позиции он не изменял до конца жизни даже ценой непризнания или полупризнания таких известных сегодня теорий, как теория относительности Эйнштейна или теория атома Бора, пытаясь положения и факты новой физики интерпретировать с позиций фарадеевских представлений.

В начале 80-х годов Дж.Дж.Томсон выполнил ряд исследований по теории вихрей, восходящей к Г.Гельмгольцу и У.Томсону. Он изучал вихревые кольца (в частности, кольца дыма), в том числе экспериментально (1885), их устойчивость, соединения между собой. В монографии "Движение вихревых колец" (1883) [526] построил их теорию, в ней же содержались предположения о том, как вихревые атомы (а Томсон воспринял идеи вихревых атомов Г.Гельмгольца) могут соединяться в молекулы. Эти работы привели Томсона к экспериментам по газовым разрядам (1886), с которыми он уже не порывал всю дальнейшую жизнь [527]. Однако до открытия (1895) рентгеновских лучей особенных успехов в изучении электрических разрядов в газах Томсон не достиг, хотя и приобрел большой опыт. Используя рентгеновские лучи, Томсон совместно с Э.Резерфордом в 1896 г. разработал управляемый метод ионизации газа, имевший важное значение для последующих экспериментов [529]. Однако непосредственно к открытию электрона его привели катодные лучи, в изучении которых он был одним из лидеров.

Дж.Дж.Томсон использовал их для определения отношения заряда частицы этих лучей к ее массе (e/m) с тем, чтобы затем сравнить его с аналогичным отношением для ионов при электролизе. Вначале Томсон показал, что отклоненные магнитом катодные лучи несут с собой "свой" заряд и их отклонение одинаково для всех лучей, получаемых от разрядов равного напряжения, независимо от природы газа в трубке и материала катода. Результаты этого эксперимента (опубликованы в феврале 1897 г.) убедили его, что катодные лучи не просто "электричество", а основная часть материи. Однако для полного и окончательного доказательства следовало сделать еще многое, так как против этого утверждения существовали серьезные возражения.

Во-первых, Г.Герц показал, что катодные лучи не отклоняются электрическим полем, как должны были бы отклоняться заряженные частицы, во-вторых, опыты с трубкой Ленарда свидетельствовали о том, что если бы катодные лучи были заряженными атомами, то они не смогли бы проникать через тонкую фольгу (скорее всего это волны — трактовал данный опыт). И никто не задумывался о частицах, меньших, чем атомы. Томсон, получив в трубке лучший вакуум, в 1897 г. легко доказал отклонение катодных лучей электрическим полем и, используя этот эффект, разработал метод определения e/m , основанный на сравнении электрического и магнитного отклонений частиц катодных лучей в трубке. Затем в серии опытов, измеряя их магнитное отклонение и переносимую ими теплоту, нашел для их частиц отношение e/m , которое оказалось почти в тысячу раз больше, чем такое же отношение для иона водорода, определяемое из законов электролиза Фарадея. Причем независимо от природы газа в трубке (воздух, водород, двуокись углерода) и металла излучаемого их катода (железо, алюминий, платина) все частицы катодных лучей имели одинаковое e/m .

Первые сообщения об измерении отношения e/m для катодных лучей и идеи о субатомной частице Томсон сделал в Королевском институте в Лондоне 30 апреля 1897 г. В мае результаты экспериментов были впервые опубликованы [531], в октябре появилась подробная публикация [532]. В ней Томсон убедительно показал, что катодные лучи представляют собой новое состояние вещества, существенно отличное от обычного газообразного состояния. Следует заметить, что в работах по определению отношения e/m Томсон постоянно подчеркивал факт, что частицы катодных лучей, или корпускулы, как он их называл, являются новой универсальной составляющей материи.

Используя метод Вильсона получения капель тумана на заряженных частицах при его конденсации, Томсон измерил заряд корпускул, который оказался таким же, как и у одновалентного иона водорода. А это означало, что масса частиц катодных лучей по крайней мере в тысячу раз меньше, чем масса водородного атома. Однако это еще не было окончательным доказательством электрона-корпускулы как элементарной частицы. Оно было получено Томсоном в 1899 г., когда он определил отношение e/m и заряд e для корпускул, испускаемых при термоэлектронной эмиссии из горячих проволок и фотоэффекте из металлов, облучаемых ультрафиолетовым светом [534]. В обоих случаях отношение e/m оказалось таким же, как и у частиц катодных лучей. Этим было завершено доказательство существования новой частицы, в 1000 раз более легкой, чем самый легкий атом, и играющей важную роль в строении материи. Таким образом, электрон был иден-

тифицирован как элементарная частица, и идея частицы, меньшей атома, получила почти полное признание.

Теоретически электрон породили две идеи: естественной единицы электрического заряда и существования очень легких электрически заряженных частиц. Идею об атомизме электричества как необходимом следствии атомизма вещества высказывали Б.Франклин (1749), И.Риттер (1801), М.Фарадей (1833), В.Вебер (1845), Дж.Максвелл (1873), Г.Гельмгольц (1881) и др. В 1874 г. Дж.Стойей впервые дал количественную оценку минимального электрического заряда в 15 раз меньше значения, принятого ныне (опубликовал в 1881 г. [517]), в 1891 г. он предложил для постулированного элементарного электрического заряда название "электрон". Идея сверхлегкой заряженной частицы была выдвинута еще в 1848 г. В.Вебером, в 1879 г. к ней пришли независимо также У.Крукс и Х.Лоренц. Эти две упомянутые выше идеи соединил в своих корпускулах-электронах Дж.Дж.Томсон.

Следует заметить, что величину e/m для частиц катодных лучей измеряли А.Шустер (1890), П.Зееман (1897), В.Кауфман (1897), Э.Вихерт (1897), Ф.Ленард (1898) и другие, в открытии электрона "замешаны" также П.Зееман, Х.Лоренц (1896) и Э.Вихерт (1897). История этого подробно изложена в работах [61, 88].

В рамках проводимых исследований по электрическим разрядам в газах Томсон объяснил (1898) возникновение сплошного рентгеновского излучения в результате резкого торможения быстрых корпускул при ударе их об антикатод рентгеновской трубки, а его трубка для определения отношения e/m явилась прообразом электронно-лучевых трубок. В 1899 г. он высказал новую точку зрения на процесс ионизации атомов, понимая его как отрыв электрона от атома с образованием положительного иона, или присоединение электрона к нейтральному атому и образование отрицательного иона [534]. Эти представления сегодня известны каждому, но тогда они были необычными, так как шли вразрез с убеждениями о неизменности атомов. В следующем году Томсон, независимо от Э.Рикке и П.Друде, наличием электронов в металлах объяснил их электропроводность и ряд других свойств [535].

Еще в 1897 г. он выдвинул гипотезу об электронном составе атомов — внутриатомных электронах [532]. Дальнейшие теоретические рассуждения привели его к заключению, что атомы содержат не бесконечное, а вполне определенное количество электронов, пропорциональное массе атома, которая включает также положительно заряженный компонент. В 1903 г. он предложил такую структуру атома. Атом похож на крыжовник, у которого зерна — корпускулы (электроны), отрицательный заряд которых

нейтрализуется положительным зарядом, "размазанным" по остальной части (модель Томсона) [269, 270, 536, 537]. В 1904 г. выдвинул идею распределения электронов в атоме по группам (электронные кольца), основываясь на которой попытался объяснить сходство химических элементов в периодической системе [537], в 1906 г. определил число электронов в атоме, оказавшееся равным примерно значению атомного веса [538], в 1910 г. предложил теорию рассеяния заряженных частиц при прохождении сквозь тонкие слои вещества [540].

В 1903 г. Дж.Дж.Томсон несколько развил идею о связи массы с энергией, показав, что электрическая энергия в единице объема равна кинетической энергии массы, ограниченной силовыми трубками, движущимися со скоростью света. Это был шаг на пути к соотношению $E = mc^2$, полученному в 1905 г. А.Эйнштейном. В этом же году Томсон высказал предположение, что волновой фронт света не однороден, а состоит из отдельных "пятен" большой интенсивности, разделенных значительными интервалами, где интенсивность мала. Это предположение предшествовало идее А.Эйнштейна о световых квантах.

Значительное и важное место в научных исследованиях Дж.Дж.Томсона занимают работы по изучению положительных, или каналовых лучей, начатые им в 1905 г. Усовершенствовав методику и использовав лучший вакуум, он показал, что положительные лучи состоят из атомов и молекул, потерявших электроны в газовом разряде и ускоренных в направлении к катоду сильным электрическим полем в темном кружковом пространстве [539]. То есть было установлено, что положительные лучи представляют собой не поток новых частиц, а поток ионов газа трубки, изучением которых Кавендишская лаборатория занималась уже многие годы. В 1910 г. для их исследования Томсон применил вместо флюоресцирующего экрана фотопластинку. Пропуская положительные лучи через направленные под прямым углом друг к другу электрическое и магнитное поля, он получал на фотопластинке следы от частиц этих лучей определенной массы и различных скоростей в виде одной параболы. Для частиц лучей иной массы парабола была другая, более крутая, чем меньше масса частиц. Это и есть знаменитый метод парабол Томсона (1911), позволяющий по положению каждой параболы определять отношения e/m для тех частиц, следы которых и "дают" на фотопластинке эту параболу [541]. Разработанный метод стал мощным инструментом исследования природы частиц в газовом разряде.

В результате Дж.Дж.Томсоном впервые было экспериментально доказано (ранее принималось на веру), что атомы одного и того же элемента одинаковы и имеют определенный атомный вес, являющийся индивидуальным свойством этого элемента. Пара-

бола, появляющаяся на фотопластинке, соответствует одному значению отношения e/m , а следовательно, одной массе одинаковых атомов. Метод парабол привел Томсона также к обнаружению (1912) атомов неона с различными массами — 20 и 22 [542]. Томсону принадлежит и первая конструкция масс-спектрографа. В дальнейшем его ученик Ф.Астон с помощью масс-спектрографов своей конструкции и высокой разрешающей способности открыл большое количество стабильных изотопов различных элементов.

Обширный цикл работ по газовому разряду излагался Томсоном в его книгах, в частности, книге "Прохождение электричества через газы", являющейся настольной для специалистов в этой области и вышедшей в свет тремя изданиями, последнее, третье в двух томах в соавторстве с Дж.П.Томсоном [533]. В 1906 г. за теоретические и экспериментальные исследования прохождения электричества через газы Дж.Дж.Томсону была присуждена Нобелевская премия по физике.

Дж.Дж.Томсон многое сделал, чтобы понятие электрона широко использовалось химиками для объяснения химических явлений, чтобы сблизить тем самым физику и химию [271].

Дж.Дж.Томсон первый поставил вопрос о структуре электрона. В свое время, дав первое экспериментальное доказательство сложной структуре атома и разрушив представление о его неизменности, он не побоялся сделать такой же вывод и в отношении электрона. В лекции "За пределами электрона" (1928) Томсон схематично нарисовал сложное строение электрона. Слова Томсона из лекции свидетельствовали о его гениальной прозорливости и вере в неисчерпаемость материи, в безграничность человеческого знания: "У некоторых из вас может явиться вопрос, а нужно ли идти так далеко вглубь, не лучше ли поставить где-нибудь точку? На это я отвечаю следующее: вся прелесть физики состоит в том, что в ней нет жестких и определенных границ. Каждое новое открытие не приводит нас к концу, а наоборот, открывает путь для дальнейших исследований; и потому пока будет существовать наука, всегда будет много новых неразрешенных проблем" [272, с. 571].

Выдающиеся личные результаты создали Дж.Дж.Томсону высокий научный авторитет и сделали главой физиков-экспериментаторов в Кембридже. "Насколько меньше знал бы мир, — писал об этом периоде О.Лодж, — если бы Кавендишской лаборатории никогда не существовало; и насколько скромнее выглядели бы успехи даже этой прославленной лаборатории, если бы одним из ее директоров не был сэр Дж.Дж.Томсон" [461, с. 49]. Все свои наиболее фундаментальные исследования Дж.Дж.Томсон осуществил в период интенсивного формирования им научной школы в 1895—1914 гг. и характерной чертой его научной деятельности яв-

ляется неразрывная связь его собственных работ с работами его сотрудников и учеников. Поэтому ученики для него были также нужны и важны, как и он для них. "Страстное желание знания горело в нем и он обладал счастливым умением зажигать его в других, — писал Ф.Астон. — Неиссякаемый поток его идей, казалось, был неисчерпаем и снабжал всю лабораторию темами исследований" [502, с. 355].

В этом отношении для него и лаборатории переломным был 1895 г. До этого в Кавендишской лаборатории работали лишь студенты и сотрудники Кембриджского университета, с этого года в ней начали стажироваться также студенты и молодые исследователи из различных университетов Англии и других стран. Их называли исследователями-студентами. Это была своеобразная докторантура. В 1896—1900 гг. в лаборатории под руководством Дж.Дж.Томсона работали П.Ланжевен, Т.Лайман, Дж.Зелени, Г.А.Вильсон, Дж.Мак-Клелланд, О.Ричардсон, Р.Рэлей (Стрэтт), Дж.Таунсенд, Э.Резерфорд, Ч.Вильсон, Ч.Баркла и др. Число работающих в лаборатории очень быстро возрастало и вскоре в ней проводилось более 30 научных исследований одновременно. Из работающих в лаборатории в 1895—1914 гг. уже к 1926 г. трое стали Нобелевскими лауреатами, 22 — членами Лондонского королевского общества и более 50 возглавили кафедры физики в университетах разных стран [543].

"Я полагаю, что это был самый счастливый период жизни Дж.Дж., — писал Дж.П.Томсон, — так как несмотря на то, что он был большим индивидуалистом в работе, сотрудничество с другими учеными ему доставляло удовольствие. Его личный энтузиазм заражал их... В свою очередь он воодушевлялся их энтузиазмом, который он ценил как высшее качество физика" [521, с. 1318].

Обстановку в Кавендишской лаборатории в те годы помогают воспроизвести воспоминания некоторых учеников Томсона. "Когда студентом-выпускником я попал в лабораторию Кавендиша (в конце 1901 г.), я почувствовал себя в атмосфере, которая, казалось, стимулировала способности человека и которой я нигде прежде не встречал, — отмечал Т.Лайман. — Не так уж редко великий человек косвенно влияет на свое время, но проф. Томсон не только просветил научный мир периода, о котором идет речь, но и увлек своих студентов за собой своим интеллектуальным энтузиазмом ... Опыт, полученный в Кавендишской лаборатории, останется, сколько бы времени ни прошло, счастливым воспоминанием и источником вдохновения" [503, с. 882].

Своими впечатлениями о работе в Кавендише в 1904—1905 гг. делится и Г.Бумстед: "Вся общественная атмосфера Кембриджа представляется для студента американского университета чарующей и восхитительной. Ее простоту и отсутствие претенциозности

мы ощущали на каждом шагу ... До этого я никогда не видел лаборатории, в которой человек с идеями мог бы себя чувствовать так независимо. Дружелюбие и взаимопомощь аспирантов представляли собою наиболее откровенные и утонченные отношения молодых исследователей науки ... Другое обстоятельство, которое я до сих пор считаю чрезвычайно важным, это связь профессора со своими студентами. Фанатическое обожание и безупречная вера в своего учителя чуть ли не излучались каждым его учеником, при этом исчезали такие понятия, как субординация, лень, зависть, ненависть. Мне довелось увидеть там немало ученых, которые следовали своим собственным курсом в океане знаний и не пытались попасть в кильватер линкора "Томсон". Я вспоминаю основной тон собрания Кавендишского общества, в унисон которому звучали все выступления ее членов, — чистый тон, задаваемый Истиной. Она была и истицей, и ответчицей, и судьей. А жертвой ..., жертвой, вознесенной на суд этой Единой Троицы, могла стать по общему приговору когорты равных одна из теорий или один из экспериментов Великого Профессора ..." [524, с. 89—90].

Для ряда поколений физиков мира Кавендишская лаборатория в конце XIX — начале XX ст. стала своего рода физической Меккой, оказывая сильное влияние своим исследовательским духом на тех, кто работал в ней в те годы и чьи способности раскрылись в полную силу благодаря общению с великим учителем. Его отличали не только талант пытливого и настойчивого исследователя, но и большое личное обаяние, энергия, самостоятельность, твердость убеждений, независимость мышления, общительность, интерес к самим людям, а не только к их работе, доброжелательность, необычайная увлеченность исследованиями, которая передавалась окружающим, исключительная способность смотреть в суть явлений, огромная эрудиция и тонкая интуиция, дружественность в отношениях с сотрудниками лаборатории, высокое лекторское мастерство и ораторское искусство, большие организаторские способности, остроумие. "Он был исключительно общительным человеком, любил разговаривать с людьми и умел сделать так, что собеседник тоже свободно говорил с ним о своем предмете, — писал Дж.П.Томсон. — ... Больше всего он ценил в ученом-физике два качества: самобытность и энтузиазм; при этом высоко чтя самобытность, превыше всего ставил энтузиазм" [523, с. 23].

Дж.Дж.Томсон никогда не навязывал свою точку зрения по трудным для понимания вопросам и, если можно было прийти к общему мнению, то предпочитал его. Он никогда не прикидывал заслуг других, если они имелись. Его оценки людей и вещей всегда были точны. Он всегда разрешал своим ученикам спорить с ним.

Дела исследователей-студентов во время их совместной работы были и его делами, предметом его личной заботы. Он обнаруживал широкие познания о странах, откуда были его ученики, и обычно тонкими вопросами вовлекал их в разговор. Томсон никогда не терял самообладания, был хорошим рассказчиком и не менее хорошим слушателем, любил спорт, увлекался садоводством.

"Я знал многих великих ученых, чья жизнь была полностью сконцентрирована на научных исследованиях, которые вытесняли все другие стороны человеческой деятельности, — писал Дж.П.Томсон, — но Дж.Дж. был одним из тех, кому такая характеристика вовсе не подходила. И я уверен, что именно из-за широты его интересов, охватывавших различные стороны проявления человеческой активности, его ум сохранял ясность понимания происходящего и позволил ему продлить активную творческую жизнь до самых последних дней" [524, с. 100]. В отличие от традиционных ученых Томсон скорее руководствовался не логикой, а интуицией, и в этом, очевидно, заключается секрет его успехов.

В Дж.Дж.Томсоне особенно в период его возросшей творческой активности в наиболее концентрированном виде соединились те особые качества, которые присущи научному лидеру коллектива и руководителю школы. Под его руководством Кавендишская лаборатория стала быстро давать крупные научные результаты и приобрела славу одной из лучших лабораторий мира. Этому способствовали также взгляды Томсона на организацию научных исследований. По его убеждению, университетская лаборатория должна быть не "фабрикой по производству публикаций", а "школой подготовки" физиков-исследователей. Работающий там познает свое дело путем проб и ошибок, при этом не допускается никакой спешки для получения результата, которая губит процесс воспитания и становления ученого.

Каждый работающий в лаборатории имел, как правило, свою собственную задачу и аппаратуру. Большую часть приборов исследователь изготавливал собственными руками и сам собирал установку. Но в то же время даже, когда в лаборатории трудилось до 30 человек, каждый знал большую часть того, над чем работали его коллеги. И такая обоюдная осведомленность частично связывалась с тем, что большинство в лаборатории работали над взаимосвязанными проблемами и знание результатов коллег имело важное значение для каждого. А это в свою очередь обеспечивало единство методов, стиля, взаимную заинтересованность в достижении цели.

В лаборатории Дж.Дж.Томсон делал обход рабочих мест аспирантов и стажеров и давал им советы. Однако это не было единственным временем, когда он был доступен. Всю вторую полови-

ну дня Томсон занимался экспериментами, за исключением тех дней, когда должен был читать лекции студентам-отличникам, но и в это время к нему можно было обратиться.

Дж.Дж.Томсон не обладал должным мастерством в той части работы экспериментатора, которую исследователь должен выполнять своими руками. Тем не менее его выдающиеся способности и природная изобретательность помогали ему преодолевать эти затруднения и он овладел искусством управлять людьми таким образом, что их достоинства и умение восполняли его недостатки. Томсон обладал удивительной способностью устанавливать причины неполадок в приборах, не работая с ними руками. "Когда происходили задержки, и раздражающие капризы аппаратуры приводили в безысходное отчаяние техника, который проектировал, строил и работал с этой аппаратурой, на нашего профессора они действовали совершенно иным образом, — отмечал Ф.Астон. — Он углублялся в сосредоточенное размышление ..., записывая своим аккуратным почерком некоторые цифры и формулы на обратной стороне чьих-то тезисов или на старом конверте, или даже на лабораторной книге и производил на свет блестящую догадку, которая не только открывала причину неисправности, но и давала способ ее устранения. В такие минуты он напоминал мне фокусника, достающего из пустой шляпы кролика. Эта интуитивная способность постигать внутреннюю работу замысловатого аппарата без знания, как с ним обращаться, казалась мне тогда и кажется до сих пор чем-то граничащим с чудом, чем-то таким, что отличает великого гения от простых смертных" [524, с. 93].

В начале 90-х годов XIX ст. Дж.Дж.Томсон впервые в Англии положил начало коллоквиумам, которые проводил раз в две недели в течение семестра. На обсуждение участникам этого неформального собрания выносились одна-две теоретические или экспериментальные работы. Авторами их обычно были аспиранты, представляющие свои результаты исследований, хотя доклад мог и не содержать собственную работу.

Дж.Дж.Томсон был отличным лектором. Он обладал редким умением подавать материал как в умеренном темпе, так и количестве. В то же время он не читал и слишком медленно, чтобы не наскучить студентам, обладающим быстрым восприятием. Как правило, основные контуры излагаемой темы очерчивались им в начале лекции, часто они сопровождались теоретическими рассуждениями, отражавшими его собственные недавние мысли, а также историческим материалом. Демонстрировал в нужный момент Томсон и один-два эксперимента, однако они отнюдь не заменяли общую картину лекции и не служили ее передним планом, являясь в то же время совершенно неординарными. В 1888 г. Томсон повторил на своих занятиях опыты Герца с электромаг-

нитными волнами и вскоре эти опыты проводили все, кто занимался у него в лаборатории.

Лекции Дж.Дж.Томсона стимулировали каждого интеллектуального слушателя. Он имел обыкновение повторять основной вывод много раз и его формулировки были совершенные по форме и завершённые по смыслу. Он никогда не погружался в проведение на доске математических расчетов и не стеснялся, когда вычисления не получались и ему приходилось от них отказываться. Свой основной результат Томсон всегда иллюстрировал численным примером, понимая, что если этого не сделать, то он останется для многих слушателей голой строкой математических манипуляций, которую они смогут воспроизвести, но не смогут понять. Таковы были его обычные лекции, читаемые для рядовых студентов. Для выпускников Томсон читал курс "Электрическая теория материи", который резко отличался по стилю и структуре от обычных формальных лекций. Здесь предметом могло быть и то, что его особенно интересовало в данный момент, или тема какой-либо статьи, казавшаяся ему важной. Теоретические выкладки всегда были оригинальны и представляли небольшое исследование. Эти лекции Томсона открывали слушателям совершенно новую область знаний и благодаря им многие из них избирали физику главным предметом своих исследований. По словам учеников, Томсон обладал удивительным даром вызывать у слушателей ощущение адекватности его точки зрения на предмет с реальностью. Его лекции будили мысль и стимулировали к исследованиям.

Образно влияние лекций Томсона описал М.Борн: "Именно имя проф. Дж.Дж.Томсона привело меня в Кембридж в 1906 г. Его лекции об электронах и строении вещества ввели меня в область, новую для меня, и изменили мои интересы: от абстрактной математики я обратился к атомному и субатомному миру. Природу пленительного влияния преподавания Томсона описать нелегко. В нем не было ничего сенсационного, но очевидная простота экспериментов и ясность объяснения несли в себе удивительную силу убеждения. Когда я уехал из Кембриджа, я был "обращен" в физики" [502, с. 356]. Томсон многих своих слушателей обратил в физиков, которые и стали его учениками и последователями.

"Пытаясь оценить место Дж.Дж.Томсона в физике, необходимо в полной мере учесть его влияние на Кавендишскую школу, — писал Дж.П.Томсон. — Семь Нобелевских премий получены теми, кто работал под его руководством, большинство высших постов по физике в Британских университетах и в других англоязычных странах занимали одно время экс-Кавендишские ребята. В этом смысле его идеи и методы исследований приобрели весьма активную форму" [524, с. 173].

Дж.Дж.Томсон многое сделал для улучшения преподавания физики в Кембриджском университете. Он написал специальный учебник "Элементы математической теории электричества и магнетизма" (1895) [268], выдержавший ряд изданий и вооруживший идейно не одно поколение физиков, и совместно с Дж.Пойнтингом опубликовал курс физики из четырех книг: "Звук" (1899), "Свойства материи" (1902), "Теплота" (1904), "Электричество и магнетизм" (1914).

Большое внимание Дж.Дж.Томсон уделял студентам, обнаружившим способности к научно-исследовательской работе, и активно интересовался их успехами. Он предпочитал таких учеников, которые приезжали к нему с готовой, выбранной темой, а не тех, кто просил темы. Круг учеников и последователей Томсона не ограничивался только работавшими в Кавендишской лаборатории. Большое влияние на физиков оказывали также его работы и письма.

В результате Дж.Дж.Томсоном была создана обширная научная школа, которая насчитывала 27 членов Лондонского королевского общества и 80 профессоров во многих странах, в частности в Канаде, Индии, США, Франции, Австрии, Германии, Польше и др. "... можно справедливо заметить, что величайшим вкладом Томсона в физику была не его собственная работа, а работа школы, основанной им в Кавендишской лаборатории, которая воспитала многих способнейших физиков его времени и почти всех цивилизованных народов, — писал в 1956 г. Дж.П.Томсон. — Восемь из его учеников получили Нобелевскую премию. Большая часть работ этой школы была посвящена изучению электропроводности и разрядов в газах и многие исследования самого Томсона были на эту тему" [522, с. 1194]. В своей книге "Воспоминания и размышления" Дж.Дж.Томсон привел список тех своих студентов, которые стали членами Лондонского королевского общества [543, с. 435—437].

Школу экспериментальной физики Томсона представляют Г.С.Аллен, Ф.Астон, Ч.Баркла, У.Л.Брэгг, Г.Бумстед, Р.Виддингтон, Г.А.Вильсон, Ч.Вильсон, У.Гендерсон, Э.Голд, У.Демпьер, У.Дуэн, Дж.Зелени, Х.Каллендар, А.Коварик, Д.Комсток, Дж.Кроузер, Т.Лайман, П.Ланжевен, Н.Кемпбелл, Дж.Мак-Клелланд, Дж.Мак-Леннан, В.Натансон, Дж.У.Никольсон, Э.Резерфорд, Л.Ричардсон, О.Ричардсон, А.Робб, Д.Робертсон, У.Розенгейн, Р.Рэлей (Стрэтт), Дж.Сирль, С.У.Смит, М.Смолуховский, Дж.Таунсенд, Дж.Тейлор, Дж.П.Томсон, Р.Трелфолл, Ф.Хортон, Дж.Шотт, Э.Эплтон, А.Юз и др. [294]. Из них У.Л.Брэгг, П.Ланжевен, Дж.Мак-Леннан и О.Ричардсон явились учителями многих известных физиков, а Э.Резерфорд — основателем большой школы в области ядерной физики.

К достижениям школы следует, безусловно, отнести результаты самого Томсона, открытие характеристических рентгеновских лучей (Ч.Баркла, 1906), построение теории излучения электрических зарядов, движущихся с ускорением (Дж.Шотт, 1907), формулировку уравнения, связывающего длину волны рентгеновского излучения с периодом кристаллической решетки кристалла (У.Л.Брэгг, 1912), изобретение камеры Вильсона (Ч.Вильсон, 1912), установление закона, определяющего коротковолновую границу непрерывного рентгеновского спектра (У.Дуэн, 1915), открытие большого количества стабильных изотопов у многих химических элементов (Ф.Астон), разработку точных методов и приборов термометрии (Х.Каллендар), построение классической теории диа- и парамагнетизма (1905) и основ ультразвуки (П.Ланжевен), создание теории несамостоятельного газового разряда и определение заряда иона (Дж.Таунсенд), установление зависимости плотности тока насыщения термоэлектронной эмиссии от температуры поверхности катода (О.Ричардсон, 1901), создание основ ультрафиолетовой спектроскопии (Т.Лайман), открытие ионосферы (1924) и верхнего отражательного слоя E в ней (1926) (Э.Эпплтон), дифракции электронов (Дж.П.Томсон, 1927) и, наконец, результаты Э.Резерфорда, которые создали ему имя основоположника ядерной физики.

Заслуги Дж.Дж.Томсона отмечены многими наградами. С 1884 г. он являлся членом Лондонского королевского общества, в 1916—1920 гг. был его президентом. Он удостоен Королевской медали (1906), медалей Д.Юза (1902) и Копли (1914), был членом ряда зарубежных академий наук и научных обществ, в том числе АН СССР (1925).

3.МОСКОВСКАЯ ШКОЛА П.Н.ЛЕБЕДЕВА

Видный русский ученый П.Н.Лебедев известен широкой научной общественности как выдающийся физик-экспериментатор и создатель школы физиков, которая была сформирована им в Московском университете [164, 165]. "Петр Николаевич Лебедев не только прославил русскую науку выдающимися трудами по самым животрепещущим вопросам современной ему науки, — писал его ученик Т.П.Кравец, — но и создал обширную физическую школу, в которой воспитал плеяду талантливой молодежи. Он первый организовал лабораторию, в которой будущий ученый-физик мог творчески работать. Воспитание достойной смены, подготовка руководящих кадров русской физики стали осуществляться в широких масштабах и без иностранной помощи" [165, с. 391]. Значение Лебедева как воспитателя творческой молодежи

жи отмечал и другой его ученик Н.А.Капцов: "Гениальный ученый, в исследованиях которого исключительная глубина мысли сочеталась с необыкновенным искусством эксперимента, был одновременно организатором широко поставленной коллективной работы в области физики. Он принадлежал к тем ученым, которые не только сами двигают науку вперед, но и вовлекают в эту работу молодое поколение. Заветной мечтой Петра Николаевича было передать своим ученикам свой метод, свое умение научно и творчески мыслить, воспитать из них ученых, способных удовлетворить практические запросы родины. К этому делу он относился с таким же увлечением, с такой же любовью, как и к своим собственным научным исследованиям" [165, с. 406]. О Лебедеве, как создателе первой физической школы в России, говорил также его ближайший ученик и помощник по физической лаборатории П.П.Лазарев.

Петр Николаевич Лебедев родился 8 марта 1866 г. в Москве. Уже в ранней юности он проявил склонность к конструированию, мастерил различные электрические машины и проводил с ними опыты, читал книги по физике и электротехнике. В результате уже к 16 годам четко определился его интерес к изучению физических явлений и он решил стать исследователем. В 1884 г. Лебедев поступил в Московское высшее техническое училище, в лаборатории которого провел свои первые научные исследования в области физики. Они хотя и не дали положительных результатов, но тем не менее привили навыки к экспериментированию. Не окончив училища, в октябре 1887 г. он отправился в Страсбургский университет, где стал учеником А.Кундта. Именно в Физическом институте Кундта П.Н.Лебедев сформировался как физик-исследователь и здесь же в глубоко научной атмосфере наметился план его будущих физических работ. То влияние, которое на него оказал А.Кундт, научив его "физически мыслить" и "физически работать", Лебедев ярко раскрыл в очерке о своем учителе.

В Страсбурге П.Н.Лебедева заинтересовала природа молекулярных сил и строения вещества, а также электромагнитная теория света Максвелла. И две работы, выполненные здесь, относились к изучению электрических свойств молекул и отталкивающего действия лучеиспускающих тел. Именно от второй работы генетическая линия его исследований ведет к знаменитым опытам по экспериментальному доказательству давления света на твердые тела и газы. В 1891 г. П.Н.Лебедев получил степень доктора философии Страсбургского университета за работу "Об измерении диэлектрических постоянных паров и о теории диэлектриков Клаузиуса — Моссотти" [165, с. 11—30]. Полный планов и идей он в этом же году вернулся в Москву, где в университете стал сверхштатным лаборантом физической лаборатории. В тесном, мало приспособленном для проведения научных работ, помещении ла-

боратории Лебедев развернул физические исследования, совмещая таким образом педагогическую работу с чисто научной и реализуя свою программу, основной целью которой было опытным путем обосновать давление света. Здесь же он устроил и мастерскую для изготовления необходимых приборов. И из этой мало удобной для научных работ лаборатории вышли замечательные по мастерству и глубине исследования.

Следует заметить, что интерес П.Н.Лебедева к микроструктуре материи проходит через все его работы, начиная с первой диссертационной, в которой он не только экспериментально обосновал справедливость теории Клаузиуса — Моссотти, но и, рассматривая молекулы как электропроводящие частицы, способные реагировать на электромагнитные колебания, иными словами, резонирующие на падающие электромагнитные волны, дал дополнительные аргументы в пользу концепции атомно-молекулярного строения вещества.

Нельзя не сказать и о другой работе Лебедева "Об отталкивательной силе лучеиспускающих тел" [165, с. 31—35], которая явилась исходной в реализации его программы по световому давлению. Впервые она была доложена в июле 1891 г. на семинаре у Ф.Кольрауша в Страсбурге. "Цель настоящей статьи, — писал Лебедев, — заключается в том, чтобы показать, какую долю ньютоновской силы притяжения составляет отталкивание лучеиспусканием как для Солнца, так и для всякого шаровидного тела, температура которого не равна абсолютному нулю" [165, с. 31]. И завершая статью, сделал вывод, что при изучении природы молекулярных сил никак нельзя пренебрегать силами, возникающими от лучеиспускания, более того, их необходимо отделить от молекулярных сил и определить, какую часть их они составляют. После доклада результатов работы на семинаре, Ф.Кольрауш заключая, сказал: "Я считаю все это очень плодотворной идеей. Однако нужно делать выводы с большей осторожностью — и, прежде всего, все проверить экспериментально" [188, с. 564]. Лебедев и сам понимал это и активно принялся за реализацию своих планов.

В 1894—1897 гг. он осуществил цикл исследований по влиянию электромагнитных, гидродинамических и акустических волн на резонаторы. Результаты их были опубликованы сначала в виде статей, а в 1899 г. вышли в свет отдельным изданием "Экспериментальное исследование пондеромоторного действия волн на резонаторы" [164, с. 56—120]. Лебедев установил, что независимо от природы волны она оказывает механическое влияние на резонатор, а также раскрыл некоторые закономерности такого воздействия. "Полная тождественность в действии пондеромоторных сил, которая экспериментально обнаружена для столь различных колебательных движений, каковы колебания электромагнитные,

гидродинамические и акустические, — писал Лебедев, — показывает, что те элементарные законы, к которым сводятся наблюдаемые явления, должны быть независимы от физической природы данных колебаний и воспринимающих их резонаторов. В таком случае пределы приложимости найденных законов должны быть чрезвычайно расширены. Главный интерес исследования пондеромоторного действия волнообразного движения лежит в принципиальной возможности распространить найденные законы на область светового и теплового испускания отдельных молекул тела и предвычислять при этом межмолекулярные силы и их величину" [164, с. 119—120]. За эту работу Лебедеву была присуждена (1899) степень доктора физико-математических наук без защиты магистерской диссертации.

В рамках указанного цикла работ П.Н.Лебедевым были получены также важные результаты в области электромагнитных колебаний, которые сделали его основоположником физики миллиметровых электромагнитных волн. Он разработал новые методы их генерирования и детектирования. Если Г.Герц с помощью 26-сантиметрового вибратора получал волны длиной 60 см, то П.Н.Лебедев с помощью миниатюрного вибратора собственной оригинальной конструкции получал волны в 20 раз короче. Таким же эффективным был и его чувствительный термоэлектрический детектор. Имея в своем распоряжении подобные приборы, Лебедев генерировал электромагнитные волны длиной 6 и даже 3 мм. "... Я обнаружил слабые, но несомненные следы колебаний при $\lambda = 3$ мм, — писал он. — До настоящего времени это самые короткие электромагнитные волны, которые когда-либо наблюдались при искровом разряде проводников" [165, с. 222]. Этот лебедевский предел волны был перекрыт лишь в 1922 г. А.А.Глаголевой-Аркадьевой. Экспериментируя с полученными 6-миллиметровыми волнами, Лебедев наблюдал те же эффекты, что и Герц, т.е. их отражение, преломление, поляризацию и интерференцию, а также обнаружил новый эффект — их двойное преломление в кристаллах (1895) [165, с. 127—141]. Тем самым было дано еще одно подтверждение о единой природе световых и электромагнитных волн, способствующее утверждению теории Максвелла.

Следует заметить, что лебедевские методы получения и измерения электромагнитных волн нового диапазона были разработаны им на основе оптических методов. Г.Рубенс и П.Н.Лебедев, "идя" по шкале электромагнитных волн навстречу друг другу, пытались "сомкнуть" на ней тот промежуток, который существовал между самыми длинными инфракрасными лучами и самыми короткими герцовыми волнами. Первый получил инфракрасные лучи с рекордной величиной λ , равной 0,3 мм, второй — электромагнитные волны с $\lambda = 3$ мм.

Однако уже в то время П.Н.Лебедев ясно сознавал, что физика не может довольствоваться достигнутым интервалом электромагнитных волн, и для изучения структуры и свойств вещества потребуются еще более короткие волны. "... Переходя к волнам $\lambda = 1$ мм, мы попадаем в область волн, соответствующих уже молекулярным колебаниям материи, — писал он. — Но для всестороннего исследования свойств материи нам необходимо пользоваться еще меньшими колебаниями. Тепловое лучеиспускание ... не может давать лучей $\lambda > 0,1$ мм; для получения колебаний, заключающихся между $\lambda = 3$ и $\lambda = 0,1$ мм, нам необходимо найти новый источник ... и способ получения еще более коротких волн будет очень крупным шагом вперед в области экспериментальной физики" [165, с. 222—223]. Эти мысли нашего гениального соотечественника можно отнести к предистории миллиметровой и субмиллиметровой спектроскопии, которая родилась в 40-х годах XX ст.

Работы П.Н.Лебедева, посвященные электромагнитным волнам, были своеобразной прелюдией к его последующим, главным работам по измерению давления света. Они отточили его экспериментальное мастерство, укрепили уверенность в успех новых, более сложных и тонких экспериментов. Именно в процессе их реализации, а также исследований в области акустики появляются его первые ученики — П.Б.Лейберг, В.Я.Альтберг, В.Д.Зернов, Н.П.Неклепаев, Н.А.Капцов, Т.П.Кравец, А.Р.Колли, В.И.Романов. Они работали по темам, предложенным П.Н.Лебедевым. Так, Лейберг исследовал затухание акустических резонаторов в связи с изучением самим Лебедевым пондеромоторного действия акустических волн на резонаторы (1896) [169], Колли — дисперсию электромагнитных волн в жидкостях (1899) [134], Кравец — диэлектрическую проницаемость воды в поле высокой частоты. Исследования последних двух тесно примыкали к работе Лебедева "О двойном преломлении лучей электрической силы" (1895) [165, с. 127—141]. Этим Лебедев положил начало не только коллективной экспериментальной работе по физике в России, но и формированию своей физической школы.

"Трудно сказать, что было дороже Петру Николаевичу: его собственные работы или работы его учеников, — вспоминал Н.А.Капцов. — Заветной мечтой Петра Николаевича было передать ученикам свой огромный исследовательский опыт и свое умение научно и творчески мыслить, воспитать из них ученых, двигающих физику вперед и способных удовлетворить запросы техники и народного хозяйства страны ... Он не только двигал науку вперед, как никто иной, но и всеми силами вовлекал в свою науку молодое поколение, стараясь создать продолжателей своего дела" [121, с. 328].

В 1899 г. П.Н.Лебедев приступил к опытам по экспериментальному подтверждению существования светового давления и его измерению, которые представляли собой качественно новый этап в его научном творчестве. Известно, что световое давление было предсказано И.Кеплером в его трактате "Гармония мира" (1619) при объяснении отклонения хвостов комет в сторону от Солнца. Механическое действие света на тела отмечал также Л.Эйлер (1746). Теоретически существование давления света следовало из теории Максвелла, который и вычислил его величину (1873)[178]. На другом пути, исходя из термодинамических соображений, А.Бартоли также определил (1876) его значение [317]. Существование сил светового давления пытались доказать О.Френель (1825), У.Крукс (1874), Ф.Цёльнер (1877), А.Риги (1877), Ф.Пашен, А.Бартоли (1884), а еще ранее Ж. де Меран и Ш.Дюфе (1754), поставившие первые опыты. Однако все эти попытки окончились неудачей. Правда, в экспериментах Крукса были обнаружены другие силы, интересные и важные для исследователей, так называемые радиометрические, которые, как стало ясно, совместно с силами конвекции маскируют эффект светового давления [354].

Реализация этого принципиально нового цикла исследований была сопряжена с огромными экспериментальными трудностями, перед которыми отступили даже такие мастера опыта, как У.Крукс, А.Риги и Ф.Пашен. Она потребовала ловких остроумных решений и настойчивости в достижении конечной цели. Ведь эффект светового давления на тела чрезвычайно мал и к тому же подавлен более сильными эффектами — конвекционным и радиометрическим. Лебедев их значительно ослабил, поместив свою установку в самый высокий для того времени вакуум, достигаемый эвакуацией остатков частиц газа из сосуда с помощью паров ртути с последующим их вымораживанием (идея диффузионно-ртутного насоса в ее первоначальной форме). Преодолев колоссальные экспериментальные трудности, Лебедев прямым опытом доказал давление света на твердые тела (1899—1901). Впервые результаты предварительных опытов Лебедев доложил 17 мая 1899 г. в Обществе естествоиспытателей в Лозанне [165, с. 190, 423—424], затем сообщение об опытах сделал в августе 1900 г. на Международном конгрессе физиков в Париже [165, с. 178—183]. Полностью он завершил их в начале 1901 г. Описание опытов и полученные результаты были изложены в обстоятельной статье "Опытное исследование светового давления", опубликованной в том же году [165, с. 187—210]. Из опытов однозначно следовало, что падающий пучок света производит давление на поглощающие и отражающие поверхности и возникающие пондеромоторные силы не связаны с вторичными конвекционными и радиометрическими силами, вызываемыми нагреванием; силы светового давления прямо

пропорциональны энергии падающего света, не зависят от его длины волны (цвета) и в пределах погрешностей наблюдений (точность своих экспериментов Лебедев оценивал в $\pm 20\%$) количественно равны силам давления, вычисленным теоретически.

Выполненное исследование принесло П.Н.Лебедеву всемирную известность и поставило его в ряд выдающихся физиков-экспериментаторов своего времени. "По всем своим подробностям работа П.Н. останется ярким образцом экспериментального искусства, настойчивости и умения преодолевать все затруднения, возникающие в результате несовершенства техники, — писал Т.П.Кравец. — Эта работа имела во всем научном мире шумный и вполне заслуженный успех. Основные журналы на всех языках перепечатали ее полностью или в извлечении" [138, с. 311]. А известный английский физик У.Томсон по этому поводу высказался так: "... Я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его светового давления, и вот ... Лебедев заставил меня сдаться перед его опытами" [149, с. 415]. Высоко оценил полученные результаты и Ф.Пашен. "Я считаю Ваш результат одним из важнейших достижений физики за последние годы и не знаю, чем восхищаться больше — Вашим экспериментальным искусством и мастерством или выводами Максвелла — Бартоли, — писал он. — Я оцениваю трудности Ваших опытов тем более, что я сам несколько времени тому назад задался целью доказать световое давление и проделывал подобные же опыты, которые, однако, не дали положительного результата, потому что я не сумел исключить радиометрических действий" [188, с. 569].

С такой же энергией и целеустремленностью П.Н.Лебедев принялся за осуществление экспериментов по обнаружению и измерению давления света на газы, что представляло еще более сложную и непомерно трудную задачу. П.П.Лазарев вспоминал: "Нельзя перечислить всех тех вариантов опытов, которые были сделаны, чтобы открыть явление; достаточно сказать, что окончательных приборов, — приборов, с которыми были сделаны измерения, — было построено до двадцати. Много раз казалось, что исследование дает вполне отрицательный результат, что нельзя устранить побочных пертурбирующих сил, что наблюдать явление невозможно, и всякий раз Лебедев находил зацепку, которая позволяла ему сделать новый вариант опыта, чтобы иметь возможность до конца довести все то, что было им блестяще задумано" [164, с. XVIII—XIX]. В 1909 г. Лебедев окончательно и однозначно доказал существование давления света на газы [165, с. 299—321; 12, с. 141] (предварительное сообщение им было сделано в декабре 1907 г. [165, с. 280—281]).

"Путем долгого напряжения, блестящих приемов и тонкого проникновения в механику явления ему удалось довести рабо-

ту до удачного конца и подтвердить основное предположение, — отмечал в этой связи Т.П.Кравец — Работа представляет собой образец непревзойденного, а, может быть, и недостижимого экспериментального искусства. Никто не пытался ее повторить. Сделав ее, П.Н. мог считать, что он одну за другой поставил и разрешил все задачи, группирующиеся вокруг предсказанного Максвеллом светового давления" [138, с. 313]. Ученик А.Кундта и наиболее яркий представитель его школы экспериментальной физики Лебедев снискал себе известность блестящего экспериментатора-виртуоза, автора исследований, выполненных скромными средствами на грани технических возможностей того времени, но поражающих глубокой интуицией и гениальностью.

Установление существования давления света на твердые тела и газы имело огромное значение для физики вообще и для окончательного утверждения теории электромагнитного поля Максвелла в частности. Из опытов Лебедева следовало также, что с излучением связана не только энергия, но и импульс, что само по себе представляло вывод фундаментального значения. Достаточно посмотреть на лебедевскую формулу светового давления $P = E/v(1+\beta)$, где E — лучистая мощность, падающая на поглощающую поверхность; v — скорость света; β — отражательная способность поверхности (учитывая, что давление света численно равно изменению количества движения mc), чтобы "перебросить" от нее мостик к эйнштейновскому соотношению массы и энергии $E = mc^2$.

"... Доказанный факт светового давления необычайно облегчил конкретизацию той неразрывной связи между массой и энергией, которая во всей широте была выяснена теорией относительности, — писал в этой связи С.И.Вавилов. — Элементарное световое давление современной квантовой физики, момент фотона $h\nu/c$, есть обобщение лебедевского опыта. На почве этого обобщения стало возможно понимание особенностей рассеяния лучей Рентгена и лучей-гамма. Так называемый эффект Комптона есть, в сущности, осуществление лебедевского опыта в элементарном процессе при столкновении фотона и электрона. Таким образом, работы Лебедева по световому давлению — это не отдельный эпизод, но важнейший экспериментальный узел, определивший развитие теории относительности, теории квантов и современной астрофизики... Не только историк, но и исследователь-физик еще долго будут прибегать к работам П.Н.Лебедева как к живому источнику" [46, с. 96].

Работы Лебедева по световому давлению были апогеем его научного творчества. В этот же период начала активно формироваться и его школа экспериментальной физики. Все исследования, проводимые его учениками, были тесно связаны с его соб-

ственными, часто являлись своеобразным дополнением к ним, иными словами, звеньями одного и того же цикла работ. "Как разнообразны и как идейно связаны темы, которые получают ученики, — отмечал В.Д.Зернов. — Это единство идейности связывает учеников в контактную дружную группу, это единство идей, заложенных в работах учеников, с идеями работ самого учителя, связывает учеников с учителем" [94, с. 145]. В таком же духе высказывался и Т.П.Кравец: "... Они (ученики. — Ю.Х.) всегда чувствовали, что их усилия не являются разрозненными и случайными, что те камни, которые они приносили и клали, на их глазах, по указанию зодчего, складывались в прекрасное здание, которое уже вырисовывалось своими строгими и классическими линиями" [136, с. 288].

Исходя из аналогии с существованием давления света П.Н.Лебедев предположил существование давления на тела вообще со стороны любого волнового процесса и предложил своим ученикам экспериментально доказать это. Так, В.Я.Альтберг измерил давление, производимое звуковыми волнами (1901) [18], Н.А.Капцов — давление от волн, распространяющихся по поверхности воды (1902) [120]. Позднее В.Д.Зернов построил прибор для определения силы звука в абсолютных единицах, основанный на использовании метода звукового давления Альтберга [93].

Перечисленные выше исследования П.Н.Лебедева и его первых учеников проводились в студенческой физической лаборатории в вечерние часы. Своих учеников Лебедев "находил" среди студентов, занимающихся в физическом практикуме.

Огромное значение для обучения и воспитания учеников имели еженедельные коллоквиумы по типу кундтовских, которые Лебедев впервые в России организовал в 1901 г. при физической лаборатории. Эти коллоквиумы по средам сделались для них своеобразной высшей школой. "... Впечатление от коллоквиумов Лебедева, — вспоминал П.П.Лазарев, — было совершенно изумительное. Помимо колоссальной учености, у него было исключительное умение просто подойти даже к начинающему. Меня с самого начала поразило, с каким терпением Лебедев выслушивал высказывания молодых физиков, отстаивающих иногда заведомо неправильную точку зрения. Эта черта, несомненно, обладала большой притягательной силой, привлекавшей к Лебедеву симпатии молодежи. Вокруг него образовалась большая группа начинающих физиков, из среды которых вышли впоследствии очень ценные научные работники... Постепенно коллоквиумы стали одной из постоянных составных частей университетского преподавания у Лебедева" [150, с. 574]. В другом месте Лазарев писал: "В этих коллоквиумах все с начинающего студента и кончая их руководителем, чувствовали себя членами большой семьи, и таким пу-

тем получалось то объединение работающих, которое так необходимо в научной работе" [149, с. 419—420].

Восторженно высказывался о лебедевских коллоквиумах и Т.П.Кравец: "Нет в нашей жизни более сильного воспоминания, чем эти незабвенные собрания, — пишет он, — на которых мы из учеников незаметно для себя вырастали в начинающих, но уже самостоятельных ученых, и на которых наш учитель проявил себя в новом, невиданном блеске. Огромная эрудиция, блестящая выдумка, меткость научных характеристик, богатство воспоминаний П.Н. только здесь предстали нам во весь свой полный рост" [138, с. 319].

Таким образом, в условиях, стесняющих исследования, П.Н.Лебедев не только проводил плодотворную научную работу, несущую фундаментальный и приоритетный характер, но и воспитывал творческую молодежь. "Он показал своей работой, — писал Т.П.Кравец, — что даже в тяжелых условиях университетского устава 1884 г. и дореволюционной политической атмосферы можно создать свой, русский, центр научной работы — и центр не захудалый, центр передовой, притягивающий к себе взоры всего научного мира. Он и молодежи сумел показать, как нужно работать, чтобы стать настоящим ученым, и что значит быть настоящим ученым. Выше труда усвоения, учебы он поставил перед молодежью труд творчества. "Отдельных посетителей университета" (таковы должны быть студенты по указанному уставу) он сумел в своей лаборатории превратить в один рабочий коллектив, работающих по единому плану, идущий к единой цели ..." [137, с. 103].

В 1904 г. было завершено строительство здания Физического института при Московском университете, где на втором этаже было отведено две большие комнаты под лабораторию самого Лебедева и полуподвальное помещение для руководимых им исследований ("лебедевский подвал"), что позволило шире развернуть научную работу. Таким образом, только в 1904 г. Лебедев получил в свое распоряжение настоящую научно-исследовательскую лабораторию с мастерской, не связанную с общестуденческим практикумом.

Лаборатория научных исследований по физике официально была открыта 1 сентября 1904 г. в составе заведующего профессора П.Н.Лебедева и лаборанта В.И.Романова. В 1904 г. в ней работали также лаборант В.Д.Зернов, оставленные при университете В.Я.Альтберг, Н.А.Капцов, А.К.Тимирязев и студенты А.Б.Млодзеевский и П.С.Эпштейн. В 1905 г. в лаборатории проводят исследования уже П.П.Лазарев и Н.Н.Лебеденко, в 1906 г. — также Т.П.Кравец, Н.К.Щодро, В.И.Котович и В.И.Эсмарх, в 1907 г. появляются М.В.Вильборг, Л.И.Лисицын, В.К.Аркадьев и Е.В.Богословский.

"Обаяние учителя привлекало все большее количество учеников, — писал В.Д.Зернов. — Школа Лебедева, стиснутая в старой лаборатории стенами маленького помещения, не могла нормально развиваться. Некоторые работы учеников размещались в залах студенческого практикума, автор же этой статьи работал в проходной передней. И все же к моменту перехода в новое здание велось уже шесть специальных работ; вскоре после перехода в новое здание число учеников удвоилось, а к 1910 году число их уже достигло 20—25" [94, с.145]. Таким образом, если в 1896 г. у Лебедева работало всего 3, в 1900 г. — 10, то в 1911 г. — уже 28 сотрудников. В 1905 г. в лаборатории одновременно велось около десяти научных работ начинающими молодыми физиками. В 1910 г. в ней насчитывалось уже 1229 приборов, многие из которых сделаны самими сотрудниками лаборатории, и велась большая серия работ по идеям Лебедева [201, с. 181—182].

Исследования в этот период в основном были сосредоточены в двух направлениях — физической акустики и физики электромагнитных колебаний. Совместно с В.Я.Альтбергом, В.Д.Зерновым и Н.П.Неклепаевым П.Н.Лебедев осуществил пионерские работы по изучению генерации, распространению и приему ультразвуковых волн в воздухе. В частности, в 1906 г. им был предложен метод генерации ультразвука с помощью искрового разряда. Ему впервые удалось получить ультразвуковые колебания с широким спектром вплоть до 400 кГц и осуществить их спектральный анализ. Вместе с учениками он создал ряд ультразвуковых измерительных приборов, используемых для количественной оценки величины пондеромоторных сил в ультразвуковом поле (В.Я.Альтберг, 1903). Кроме того, Альтбергом были получены (1907) акустические волны с $\lambda = 1$ мм [19]. В 1911 г. Неклепаев исследовал поглощение ультразвука в воздухе, обнаружил его аномальное поглощение, установил предельную длину звуковой волны, распространяющейся в воздухе. Используя предложенный Лебедевым метод, он измерил коэффициенты поглощения акустических волн в диапазоне 2,5—0,8 мм [191]. Полученные опытные данные выявили расхождение с существующей гидродинамической теорией Стокса — Кирхгофа. Проанализировав проблему поглощения ультразвука в воздухе, Лебедев пришел к выводу, что получению очень коротких акустических волн препятствует их поглощение газами, в которых они распространяются благодаря вязкости и теплопроводности последних, и высказал предположение о возможном механизме поглощения и дисперсии ультразвука в газах. Эти фундаментальные исследования Лебедева и его учеников в области ультразвука привели к возникновению молекулярной ультраакустики, значительно опередив соответствующие работы зарубежных авторов.

Другая серия исследований П.Н.Лебедева с учениками относилась к электромагнитным колебаниям и являлась как бы продолжением его собственных работ 1893—1895 гг. в этой области. Так, В.И.Романов изучал абсорбцию электромагнитных волн [237], Н.К.Щодро — незатухающие колебания [306], В.К.Аркадьев — магнитные свойства вещества в переменных полях высокой частоты [23], К.П.Яковлев сконструировал инфракрасный спектрограф, позволяющий автоматически фиксировать поглощение в различных лучах спектра [310], кроме того, А.К.Тимирязев провел исследования внутреннего трения в газах [266], П.П.Лазарев — о скачке температуры на границе твердого тела и газа [147] и др.

К организации работ в лаборатории П.Н.Лебедев относился необычайно внимательно и с большой любовью, считая это делом своей жизни. "Его сферой была лаборатория, тесный кружок людей, связанных с ним одними научными интересами, — вспоминал Т.П.Кравец. — Здесь он любил беседовать подолгу — часами, и здесь его воодушевленные речи поражали богатством мысли и образов ... И, наверное, долго будет жить среди учеников память о метких и образных выражениях учителя. Беседы в лаборатории — одно из наиболее сильных воспоминаний его учеников. И, без сомнения, это была одна из тех сил, которые привлекали людей к работе у него ..." [136, с. 290].

Лаборатория работала по определенному плану и определенной программе, составленным им самим. Темы прежде чем предлагались практикантам, многократно и всесторонне продумывались Лебедевым, в них всегда была определенная цель и ясно выработанный метод решения основного вопроса, не было простого экспериментирования в расчете на удачу, обдумывались им и все детали будущего исследования. Большинство тем, которые предлагались ученикам, были занесены Лебедевым в книгу-дневник задолго до их осуществления. Ежедневно он проводил обход рабочих комнат "подвала" и поочередно нередко подолгу беседовал с каждым работающим, причем не делая различия между студентом, впервые приступившем к исследованиям, и работником со стажем, требуя от каждого сознательного отчета о проделанной работе.

Воспитывая исследователей, П.Н.Лебедев использовал советы и методы своего учителя А.Кундта. Он учил начинающих физиков "физически работать", помогал им освоить все тонкости экспериментального искусства, учил "физически мыслить", глубоко продумывать вопросы и грамотно излагать свои мысли, направлял их работу и вдохновлял своим необыкновенным талантом и обаянием.

Как это удавалось Лебедеву, описывал Н.А.Капцов: "Петр Николаевич, прежде всего, требовал, чтобы каждый из работавших в лаборатории строго продумывал весь план работы своей. Но

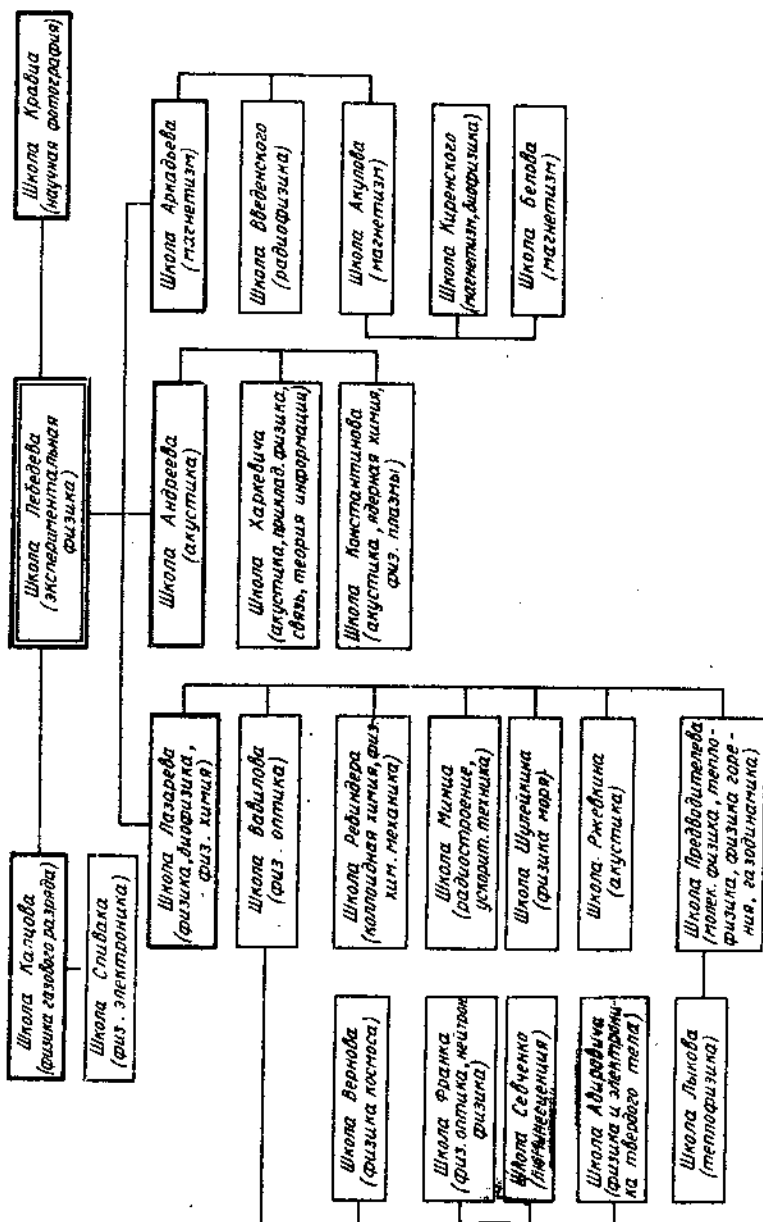
этот план исследовательской работы должен был быть не застывшим и раз навсегда установленным, а деятельным и живым. Как только в ходе исследования выяснялись какие-либо новые данные, Петр Николаевич после короткого раздумья оживлялся и предлагал новое, не предусмотренное прежним планом направление работы. Ему тут же приходило в голову множество свежих мыслей. Он увлекался ими, рисовал перед молодым исследователем новые широкие горизонты, увлекал его своим энтузиазмом. В эти минуты он, может быть, больше чем в любом другом случае передавал своим ученикам крупицу столь ценного у него умения, выражаясь словами Кундта, "физически мыслить", посвящая их в тайны своего научного творчества" [165, с. 409].

Критика П.Н.Лебедева, его указания работающим никогда не были абстрактны. Объясняя, как писать статью, он набрасывал ее план, эскизы чертежей и др. Он не позволял делать доклад на коллоквиуме или посылать статью в печать, если считал их незавершенными, а статью к тому же литературно недоработанной. Лебедев учил своих учеников писать всегда коротко и ясно, заставляя их по несколько раз переделывать тексты статей. Придавал большое значение их самообразованию, расширению кругозора. Применяя к каждому индивидуальный подход, он вовлекал своих учеников в круг своих идей. "... Своей неусыпной, резкой, упорной пропагандой он добился того, — писал Т.П.Кравец, — что вокруг него понемногу стал формироваться небольшой круг молодежи, которая мыслила так же, как он, ставила себе те же задачи и боролась за те же условия, что и ее учитель" [138, с. 318].

В результате на базе физической лаборатории окончательно оформилась (1904—1911) его школа экспериментальной физики. "Сам великий ученый и исследователь, он хотел исследовать все подробности явлений, которые занимали его, он хотел видеть эти явления приложенными к практике и он собирал вокруг себя учеников, которым щедро раздавал свои идеи, — писал В.Д.Зернов. — Он сумел всколыхнуть в нас то, что было в нас, может быть, глубоко заложено, он умел во всяком случае привить нам любовь к науке и энтузиазм, которого хватает нам на всю жизнь, который и мы, по мере наших сил и способностей передаем нашим ученикам" [94, с. 143]. Еще в 1893 г. П.Н.Лебедев записал в своем дневнике, что обилие мыслей и проектов не дает ему спокойно работать. И, естественно, что он старался передать их своим ученикам.

Лебедевская школа была первой отечественной физической школой, со своим стилем, для которого характерны четкость в постановке задачи, высокая требовательность к технике эксперимента, глубокая научная принципиальность, со своей тематикой и программой, коллективистским духом, истинно научной атмосферой. Расцвет ее приходится на 1911 г. Однако в этом же году

Эволюция школы Ледеева



П.Н.Лебедев в знак протеста против реакционных действий министра просвещения Л.А.Кассо вместе с передовой профессурой оставил Московский университет. Уход П.Н.Лебедева из университета ярко продемонстрировал его высокую гражданскую позицию, огромное мужество, последовательность характера и решительную солидарность с коллегами по профессии.

В мартовском номере "Русских ведомостей" в заметке "Письмо в редакцию" его ученики попытались привлечь внимание общественности к первой русской физической школе и ее роли в развитии отечественной науки. "За короткое время, в течение которого он занимается в Москве самостоятельное положение, — писали они, — он успел создать вокруг себя обширную научную школу. Его лаборатория превосходит едва ли не все существующие в мире по количеству ведущих в ней научных работ, что находится далеко не в соответствии с ее небольшими размерами и отпускаемыми на нее скромными средствами. В последнее время в ней велось до 30-ти научных работ, объединенных общей программой. Некоторые вопросы физики именно в московской школе, совместными трудами ее представителей, получили свое полное и исчерпывающее разрешение" [240].

В крайне тяжелых условиях на частные средства при Московском городском университете им. А.Л.Шанявского в подвальных помещениях жилого дома была организована новая физическая лаборатория, куда и перешел Лебедев со своими учениками, сохранив тем самым сформированную им научную школу. Здесь он выполнил свою последнюю работу по магнетизму вращающихся тел. Возродил и свои знаменитые коллоквиумы, значительно расширив их рамки. Однако наследственная болезнь сердца, огромные перенапряжения, наконец, переживания последнего времени сказались и 1 марта 1912 г. П.Н.Лебедева не стало.

В связи с кончиной П.Н.Лебедева Х.Лоренц в письме В.А.Лебедевой от 1 мая 1912 г. написал: "Я считал его одним из первых и лучших физиков нашего времени и восхищался тем, как он в последний год при неблагоприятных условиях сумел поддержать в целости основанную им Московскую школу и нашел возможность продолжать общую работу ... Пусть дух его живет в его учениках и сотрудниках по работе, и пусть посеянные им семена принесут богатый плод!" [188, с. 606].

А семена были брошены в благодатную почву и дали богатые всходы. Созданная П.Н.Лебедевым школа продолжала существовать, руководимая П.П.Лазаревым. Был исполнен и еще один завет Лебедева, который настойчиво убеждал своих учеников всегда продолжать дело привлечения к науке творческой молодежи. Незадолго до смерти Лебедева к его школе примкнули С.И.Вавилов, С.Н.Ржевский, Т.К.Молодой и другие, которые хотя и не имели по-

стоянного общения с Лебедевым, но успели воспринять от своих старших товарищей традиции школы и ее стиль.

К первой русской школе экспериментальной физики относятся *В.Я.Альтберг, Н.Н.Андреев, В.К.Аркадьев, Е.В.Богословский, Д.Д.Галанин, В.Д.Зернов, Б.В.Ильин, Н.А.Капцов, А.Р.Колли, Т.П.Кравец, П.П.Лазарев, П.Б.Лейберг, А.Б.Млодзеевский, Н.П.Неклепаев, В.И.Романов, А.К.Тимирязев, Н.Е.Успенский, Н.К.Щодро, К.П.Яковлев* и др.[294]. В школе, кроме упомянутых, учениками Лебедева получен ряд фундаментальных результатов, значительно углублены и расширены лебедевские научные направления и созданы новые. Из школы Лебедева вышло два академика и три члена-корреспондента АН СССР, более десяти докторов наук и профессоров, а *П.П.Лазарев, Н.Н.Андреев, В.К.Аркадьев, Н.А.Капцов* и *Т.П.Кравец* стали основателями собственных научных школ.

Лебедевская школа дала несколько поколений ученых — и в этом ее жизненная сила. И если сегодня в нашей стране создан сплошной фронт физической науки с широким тематическим диапазоном и действуют многочисленные физические школы, то в какой-то мере истоки этих достижений ведут к П.Н.Лебедеву — большому ученому и учителю, гражданину и патриоту, "мысли и начинания которого, — как писал С.И.Вавилов, — полностью могли осуществиться только в Советской России" [48, т. 3, с. 248]. В знак глубокого уважения к памяти великого физика России его имя присвоено Физическому институту АН СССР, а президиумом АН СССР учреждена премия им. П.Н.Лебедева, присуждаемая советским ученым за выдающиеся работы в области физики.

ФИЗИЧЕСКИЕ ШКОЛЫ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XX ст.

1. ПЕРЕХОД ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
К СОВРЕМЕННОЙ

Переход к новой физике характеризовался ломкой многих устоявшихся законов, принципов, теорий и закономерностей классической физики. Уже во второй половине XIX ст. появились факты, при объяснении которых классическая теория сталкивалась с большими трудностями, например неинвариантностью уравнений Максвелла—Лоренца относительно преобразований Галилея. Эти трудности можно было преодолеть, привлекая лишь новые понятия и идеи, коренным образом отличающиеся от господствующих классических представлений.

Процесс революционного преобразования физики готовили также открытия конца XIX — начала XX ст.: открытия рентгеновских лучей (В.Рентген, 1895), радиоактивности урана (А.Беккерель, 1896), электрона — новой частицы материи (Дж.Дж.Томсон, 1897), радиоактивных элементов полония и радия (М.Склодовская-Кюри, П.Кюри, 1898), идея квантов энергии (М.Планк, 1900), закон радиоактивных превращений (Э.Резерфорд, Ф.Содди, 1902—1903). Экспериментально были доказаны зависимость массы электрона от скорости (В.Кауфман, 1902) и образование гелия из радона (У.Рамзай, Ф.Содди, 1903), последнее явилось ярким подтверждением взаимопревращаемости элементов. В 1903 г. было также обнаружено непрерывное выделение тепла солями радия (П.Кюри, А.Лаборд), что по сути представляло открытие атомной энергии [65].

Иными словами, окружающий мир стал намного сложнее, он не укладывался в теоретические схемы, построенные учеными прошлого. Атомный мир, представляющийся ученым XIX ст. миниатюрной копией макромира с теми же известными принципами и законами, оказался полным необъяснимых неожиданностей и обладающим более богатым набором явлений, чем можно было представить, исходя из классических концепций, а следовательно, и отличным от нашего привычного мира значительно сильнее, чем ожидали. Отчетливо проявилась ограниченность пред-

ставлений физики XIX ст. [45, 172]. Привычный ньютоновский мир стал давать "трещины" по всем направлениям. Причем речь шла не о деталях, сотрясались сами основания этого мира. Это дало повод М.Планку сказать: "Современная теоретическая физика может произвести впечатление старого, почтенного, но уже обветшалого здания, в котором одна часть за другой начинает рушиться, и даже сам фундамент начинает шататься" [216, с. 73].

Таким образом, были созданы предпосылки для революции в физике, для решающего шага к переходу к новой физике. Этот переход готовили М.Склодовская-Кюри и П.Кюри, Дж.Дж.Томсон и Э.Резерфорд, Х.Лоренц и М.Планк. Поэтому годы с 1895 по 1904 являлись годами революционных изменений в физике, годами перехода к современной физике. В этот же период было изобретено радио (А.С.Попов, 1895), обнаружено явление расщепления спектральных линий в магнитном поле (П.Зееман, 1896), измерено давление света на твердые тела (П.Н.Лебедев, 1899), введена фундаментальная постоянная h (М.Планк, 1900), экспериментально подтверждена формула закона излучения Планка (Г.Рубенс, Ф.Курлбаум, 1900), установлены общие преобразования пространственных координат и времени при переходе в движущую систему отсчета (Х.Лоренц, 1904):

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

(преобразования Лоренца), предложены модели атома (Ж.Перрен, Дж.Дж.Томсон, Х.Нагаока) и др. [295].

Процесс крутой ломки старых понятий, когда новейшие естественнонаучные открытия разрушали старые метафизические представления о неделимости атомов, неизменности химических элементов, постоянстве массы, когда отбрасывались старые принципы науки и открывались новые свойства материального мира, часть физиков квалифицировала как кризис физики, считая, что исчезает масса, исчезает материя, подрываются основы механики.

Новые достижения физики рассмотрел в своей работе "Материализм и эмпириокритицизм" (1909) В.И.Ленин и дал им материалистическое толкование [1]. Проанализировав так называемый кризис в физике, он, напротив, показал революционный смысл названных выше физических открытий, их фундаментальный характер, наметил путь выхода из этого кризиса. "Материя исчезает" — это значит исчезает тот предел, до которого мы знали материю до сих пор, — писал В.И.Ленин, — наше знание идет глубже; исчезают такие свойства материи, которые казались раньше абсолютными, неизменными, первоначальными (непроницаемость, инерция, масса и т.п.) и которые теперь обнаружи-

ваются, как относительные, присущие только некоторым состояниям материи" [1, с. 275]. И говоря об углублении человеческого познания, В.И. Ленин подчеркивал, что "если вчера это углубление не шло дальше атома, сегодня — дальше электрона и эфира, то диалектический материализм настаивает на временном, относительном, приблизительном характере всех этих вех познания природы прогрессирующей наукой человека" [1, с. 277].

Разрушение классической картины мира с ее ложной гипотезой тождества микро- и макроявлений явилось естественным и закономерным фактом, подтвердившим как нельзя лучше диалектический материализм, который настаивает на относительном характере всякого научного положения о строении и свойствах материи. На самом деле это был не кризис физики, а ее обновление, состоявшее в ломке старых принципов и замене их новыми законами, адекватными физической реальности. Мысль В.И. Ленина о неисчерпаемости материи стала общим принципом естествонаучного познания, программным положением для всей физики XX ст. [124]. И годы 1895—1904 явились этапными в переходе к новой физике, физике XX ст., фундамент которой заложили теория относительности и квантовая теория. Начало ее отнесем к 1905 г., когда А.Эйнштейн разработал третью после механики Ньютона и электродинамики Максвелла великую физическую теорию — специальную теорию относительности [307, т. 1, с. 7—35] и показал необычайную эффективность и жизненность идеи квантов Планка [307, т. 3, с. 92—107].

Специальная теория относительности оказала огромное влияние на сам стиль мышления физиков, революционизировав его. Она показала, что наглядные обычные и, казалось бы, очевидные представления в новых областях явлений не пригодны. Поэтому хотя по своему содержанию специальная теория относительности и принадлежала к классической физике, завершая ее, однако по духу это была новая великая теория, открывавшая наряду с квантовой теорией новый период в развитии физики.

Оценивая значение специальной теории относительности, М.Борн писал: "Родившуюся в 1905 г. специальную теорию относительности по справедливости можно считать завершающим моментом классического периода или началом новой эры в науке. Ибо, с одной стороны, она исходит из твердо установленных классических понятий о материи, распределенной непрерывно в пространстве и времени, и о каузальных, или, более точно, детерминистических, законах природы. Но, с другой стороны, она вносит революционные представления о пространстве и времени, решительно критикуя традиционные концепции, сформулированные Ньютоном. Таким образом, она открывает новые пути осмысливания естественных явлений. Это в наши дни и представляется наиболее

выдающимся подвигом Эйнштейна, отличающим в корне его работу от работ его предшественников, а современную науку — от классической" [41, с. 12].

Наряду с идеями релятивизма переходу к новой, современной физике способствовала еще в большей мере идея квантов, возникновение которой также было связано с трудностями классической теории. Попытки построить теорию излучения абсолютно черного тела со старых классических позиций оказались совершенно бесплодными. Выход из положения нашел М.Планк. Он в конце 1900 г. предложил новую идею, совершенно чуждую классическим представлениям, — идею квантования энергии (в классической физике все свойства материи непрерывны). Согласно этой идее вещество (материальные осцилляторы) излучает энергию конечными порциями — квантами, пропорциональными частоте: $E = h\nu$, где E — энергия кванта излучения; ν — частота; $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$ эрг·с — фундаментальная постоянная, имеющая размерность действия (постоянная Планка). Исходя из гипотезы квантов энергии Планк построил теорию теплового излучения и вывел закон распределения спектральной плотности энергии абсолютно черного тела [217, с. 251—257; 258—267].

Отдавая дань уважения глубоко плодотворной идее Планка, Эйнштейн писал: "... Он убедительно показал, что кроме атомистической структуры материи, существует своего рода атомистическая структура энергии, управляемая универсальной постоянной h ... Это открытие стало основой всех исследований в физике XX в. и с тех пор почти полностью обусловило ее развитие. Больше того, оно разрушило остов классической механики и электродинамики и поставило перед наукой задачу: найти новую познавательную основу для всей физики" [307, т. 4, с. 257].

Гипотеза квантов энергии дала начало квантовой теории. "Основы этой теории были заложены Планком в его знаменитых работах о законе теплового излучения, — писал Н.Бор. — Эта теория решительно порывает с прежними воззрениями; в ней впервые при формулировке общих законов природы вводится предположение о наличии прерывностей" [39, т. 1, с. 319].

Однако вначале кванты Планка как "побочный продукт формального процесса вывода формулы излучения", по словам А.Зоммерфельда, не обратили на себя особого внимания, и h , как писал сам Планк, "вначале полностью повисла в воздухе". Однако вскоре многим стало ясно, что фундаментальной величиной является не квант энергии $h\nu$, а квант действия, или постоянная Планка h (h). Ее введение означало разрыв с классической теорией, причем более радикальный и глубокий, чем можно было предположить. От идеи Планка берут начало две линии развития этой теории, которые соединились в середине 20-х годов в новой механике — квантовой, полностью порывающей с классическими традиция-

ми. Позже В.Вайскопф напишет: "...Квантовая теория была таким разрывом, шагом в неизвестное, в мир явлений, который не укладывается в русло идей физики XIX ст. Необходимо было создать новый язык формул, новый метод мышления для того, чтобы проникнуть в мир атомов и молекул с его дискретными энергетическими состояниями..." [50, с. 67].

Однако вначале большинству ученых, да и самому М.Планку, гипотеза квантов представлялась лишь удачным приемом, позволившим построить теорию интересного, но отдельного процесса. Она не воспринималась как гениальная идея, которая должна привести к изменению основных концепций классической физики. Первый, кто оценил и понял основополагающее значение идеи квантов и вдохнул "жизнь" в новую концепцию, был Эйнштейн. "Удивительный результат Планка стоял вначале совершенно особняком в естественных науках, — писал Н.Бор. — Однако благодаря важным работам Эйнштейна в этой области через несколько лет указанный вывод нашел широкое применение" [39, т. 1, с. 423]. Используя квантовые представления, Эйнштейн рассмотрел некоторые известные тогда трудности классической физики. В статье "Об одной эвристической точке зрения, относящейся к возникновению и превращению света" (1905) он распространил идею квантования на процесс излучения, введя понятие о дискретной, квантовой структуре самого светового излучения, рассматривая последнее как поток квантов света, или фотонов (фотонная теория света) [307, т. 3, с. 92—107]. На основе квантовой теории света А.Эйнштейн объяснил фотоэффект, правило Стокса, фотоионизацию и др., чего не смогла сделать электромагнитная теория. В этот год квантовая теория родилась вторично, продемонстрировав еще ярче отход от классических представлений. И 1905 г., когда возникла специальная теория относительности, внесшая глубокие изменения в наше представление о пространстве и времени, и "заработала" квантовая физика, стал началом новой эпохи в физике, началом периода современной физики, которая привела к созданию новой картины мира [211, 261]. При этом переход от классической физики к современной отмечен не только возникновением новых идей, концепций и понятий, но и новыми способами мышления, новым "языком", изменением ее духа в целом.

2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЯДА КРУПНЫХ НЕФОРМАЛЬНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ ФИЗИКОВ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XX ст. С НАУЧНЫМИ ШКОЛАМИ

Новый период в развитии физики начался под знаком идей релятивизма и квантов и характеризовался проникновением научной мысли в глубину материи, к ее микроструктуре. Уже первая поло-

Таблица 2. Идентификация ряда крупных неформальных коллективов физиков первой половины XX ст. с научными школами

Научный лидер	Высокие личные результаты	Педагогическое мастерство	Особая научная атмосфера	Стиль, научная идеология, программа	Количество учеников высшей квалификации (более 20)	Высокие результаты учеников	Можно ли считать школой
Н.Бор	+	+	+	+	+	+	+
М.Борн	+	+	+	+	+	+	+
С.И.Вавилов	+	+	+	+	+	+	+
А.Зоммерфельд	+	+	+	+	+	+	+
А.Ф.Иоффе	+	+	+	+	+	+	+
Х.Камерлинг-Оннес	+	+	+	+	+	+	+
И.В.Курчатов	+	+	+	+	+	+	+
П.П.Лазарев	+	+	+	+	+	+	+
Л.Д.Ландау	+	+	+	+	+	+	+
П.Ланжевэн	+	+	+	+	+	+	+
Э.Лоуренс	+	+	+	+	+	+	+
Л.И.Мандельштам	+	+	+	+	+	+	+
С.Пеньковский	+	+	+	+	+	+	+
Р.Поль	+	+	+	+	+	+	+
Э.Резерфорд	+	+	+	+	+	+	+
Д.С.Рождественский	+	+	+	+	+	+	+
И.Е.Тамм	+	+	+	+	+	+	+
Э.Ферми	+	+	+	+	+	+	+
П.Шеррер	+	+	+	+	+	+	+
П.Эренфест	+	+	+	+	+	+	+

вина нашего века ознаменовалась бурным развитием всей физической науки в целом. Были созданы новые фундаментальные физические теории, составившие основу современной физики: релятивистская механика, квантовая механика и электродинамика, квантовая теория поля. В результате возникла новая квантово-релятивистская картина мира. Появившиеся ускорители заряженных частиц дали возможность проникнуть на более глубокие уровни строения материи. Были обнаружены новые составляющие вещества — ряд элементарных частиц, взаимодействия в природе — сильные и слабые. Возникли такие разделы физики и научные направления, как атомная и ядерная физика, физика твердого тела, физика низких температур, физика полупроводников, физика элементарных частиц и др., значительно изменился также характер и облик традиционных отраслей физики [295].

Современная физика стала представлять собой сложную структуру с множеством различных направлений, тесно связанных благодаря глубокой внутренней взаимосвязи, существующей между объектами материального мира и процессами, в которых они участвуют. Физика по-прежнему осталась ведущей наукой естествознания, в то же время она создала фундамент для всех его областей, и физические методы исследования приобрели решаю-

щее значение во всех естественных науках. На стыке их с физикой возникло множество смежных дисциплин.

Усилилась связь физики с техникой и производством. В свою очередь, развитие техники способствовало созданию новых методов физического исследования, обуславливающих прогресс как самой физики, так и смежных наук. Особенно возросло это взаимодействие в середине нашего века, когда человечество вступило в период научно-технической революции, характерные особенности которой заключаются в бурном развитии и завершении процесса превращения науки в непосредственную производительную силу, возрастании и углублении связи науки со всеми сферами общественной жизни, усилении ее социальной роли. Именно физика внесла наиболее существенный вклад в научно-технический прогресс и революционизировала саму науку и способ производства [50] .

В современной физике создан сплошной фронт исследований в широком тематическом диапазоне, что привело также к значительному увеличению числа физических учреждений и научных работников в них. Деятельность больших коллективов исследователей и научных школ стала основой прогресса в физике. И ярким тому свидетельством служит ее история. Именно в большинстве своем с научными школами связано возникновение новых физических наук и направлений — ядерной и нейтронной физики, ускорительной техники, физики полупроводников, ряда разделов физики твердого тела, физики низких температур и др., новых теорий — квантовой механики, квантовой электродинамики, квантовой теории поля и др. К таким школам относятся школы *Н.Бора, М.Борна, С.И.Вавилова, А.Зоммерфельда, А.Ф.Иоффе, Х.Камерлинг-Оннеса, И.В.Курчатова, Л.Д.Ландау, Л.И.Мандельштама, Э.Резерфорда, Д.С.Рождественского, И.Е.Тамма и Э.Ферми*, которые являлись ведущими физическими школами первой половины XX ст. (табл. 2). Ниже рассматривается их возникновение и развитие, характерные особенности, полученные в них результаты и их влияние на развитие физики.

ВЕДУЩИЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ШКОЛЫ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XX ст.

1. ШКОЛА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ Э.РЕЗЕРФОРДА

О выдающемся английском физике-экспериментаторе Э.Резерфорде написано немало книг, брошюр и статей, раскрывающих его образ ученого и человека [80, 232, 257, 375, 380]. Авторами их выступали в большинстве те, кто лично знал его, общался и сотрудничал с ним, учился у него — коллеги, сотрудники, ученики. Личные воспоминания этих людей послужили исходным "скульптурным" материалом, из которого удалось для истории науки, и физики в частности, "слепить человеческую фигуру ученого".

Э.Резерфорд был не только великим физиком, "чье творчество в исследовании природы сравнимо с змymi величайшими творениями самой природы", как писал М.Олифант, но и выдающейся личностью, великим учителем, воспитавшим не одно поколение исследователей по физике ядра и создавшим всемирно известную физическую школу. "В истории науки трудно найти другой такой случай, когда один ученый смог повлиять в такой огромной степени на развитие науки, — писал П.Л.Капица. — Я думаю, это в основном стало возможным потому, что Резерфорд был не только великим ученым-исследователем, одаренным исключительной гениальностью, энтузиазмом и энергией, которые являются существенными для работы первопроходца, но и величайшей личностью, человеком-учителем. Его идеи и его личность привлекали молодых исследователей-студентов, а его способности как учителя помогали ему дать каждому студенту возможность развить свой собственный характер" [475, с. 1054].

Учительские способности Э.Резерфорда отмечал и Н.Бор. "...Вокруг Резерфорда группировалось большое число молодых физиков из разных стран мира, привлеченных его чрезвычайной одаренностью как физика и редкими способностями как организатора научного коллектива", — писал он [39, т. 2, с. 546].

Э.Резерфорд привлекал в науку молодых людей силой своего таланта и научного авторитета, а также обаянием своей личности,

не говоря еще и о том, что он обладал удивительной способностью находить одаренных студентов и выявлять самостоятельность их мышления.

"В отличие от Ньютона, Фарадея, Максвелла и других великих людей британской физики, Резерфорд работал с помощью своих коллег и исследователей-студентов, — писал Олифант в "Воспоминаниях..." о своем учителе. — Всю свою жизнь он был окружен молодыми людьми и через них его влияние продолжает ощущаться в физической науке не только в пределах британской нации, но и во всем мире. Его бескомпромиссное стремление к научной истине и заразительный энтузиазм представляли сочетание качеств, которое вызывало все хорошее у тех, кто с ним соприкасался. Он называл сотрудников своей лаборатории "мальчиками" и соответственно относился к ним. Он мог увлеченно спорить с ученым юношей, внимательно прислушиваться к мнению менее опытного, чем он, коллеги. Но при окончательном анализе его слово действовало как закон, потому что необычная интуиция делала его почти во всех отношениях правым. Заразительность его энтузиазма и обаяние распространяли его влияние далеко за пределы профессиональных контактов..." [477, с. 136].

Э.Резерфорда характеризовали недюжинный природный талант, простота, скромность, доброта, обаяние, внимательность, честность, чувство долга, юмор, здравый смысл и, наконец, прямо-таки вулканическая энергия, находящая выражение в его неиссякаемом энтузиазме, безмерной увлеченности, темпераменте, огромной работоспособности, постоянной интеллектуальной активности.

По внешности и по характеру Резерфорд был обыкновенным человеком. Он ненавидел помпезность и искусственность, любил простых людей, простой образ жизни, не реагировал на мелочи, всегда оставался самим собою. Он был дружен со всеми, не ссорился ни с кем и не имел врагов.

В научном плане его отличали, помимо исключительной гениальности, полная отдача исследованиям, потрясающая интуиция, незаурядное физическое видение — своего рода внутреннее видение процессов поведения атомов и их ядер, мощное экспериментальное чутье, самостоятельность мышления, воображение. "...Простота, ясность мышления, большая интуиция и большой темперамент — основные черты его творческой личности, — писал о Резерфорде П.Л.Капица. — Изучая работы Резерфорда и наблюдая, как он работает, приходишь к выводу, что все же главная черта его мышления — это большая независимость и, следовательно, смелость" [232, с. 29].

Сотрудникам и коллегам Э.Резерфорда рассказывал только о тех своих исследованиях, которые давали определенные результа-

ты, но на их долю приходился лишь небольшой процент того колоссального труда, который он вкладывал в свои работы. Иногда только по случайным намекам можно было догадаться, что он пытался что-то сделать, но у него ничего из этого не вышло. Он не любил говорить о своих проектах, предпочитая рассказывать о том, что сделано и дало определенные результаты.

Э.Резерфорд тонко чувствовал, где можно ожидать получения фундаментальных результатов, и это чувство "премиальных проблем" физики очень редко изменяло ему. Он понимал сам и учил других понимать, что ключевые, фундаментальные проблемы ядерной физики явятся точками роста физической науки в целом. Поэтому все, что он делал сам и поручал делать другим, как правило, приводило к значительным результатам. Однако Резерфорд также хорошо чувствовал момент, когда необходимо остановиться или отложить неперспективное исследование, или приостановиться в трудном эксперименте, поджидая его подкрепления более современными техническими средствами, делающими его продолжение возможным.

Он всегда придерживался качественного подхода к проблеме в целях получения быстрого и простого ответа, опираясь на который можно было бы осуществить количественный рывок. Точность измерений сама по себе Резерфорда не интересовала. Когда эксперимент давал достаточно сведений для объяснения полученных результатов, он призывал своих помощников двигаться дальше без промедления. Но если необходимо было в интересах физической интерпретации знать какую-то величину с большей точностью, он, не колеблясь, стимулировал такие измерения. Он обладал в высочайшей степени способностью схватывать сущность, видеть второстепенность тех или иных препятствий и смело преодолевать их.

Он как будто чувствовал, как должен проводиться эксперимент и что нужно искать. Один опыт у него следовал за другим так естественно, что создавалось впечатление, что он вытекает из предыдущего. Несколькими замечаниями он мог осветить весь вопрос. Казалось, он улавливал ответ еще до того, как окончится эксперимент, и уже готов с новой энергией браться за новый.

Э.Резерфорд обладал также исключительным качеством дарить идеи другим. Он отдал гораздо больше идей, чем оставил себе. "Ученый с глубоким творческим мышлением, с большой интуицией, Резерфорд видел в науке больше проблем, чем мог заниматься сам, — писал П.Л.Капица. — Привлекая такое количество талантливого молодежи, Резерфорд не мог не быть большим учителем. Его научный энтузиазм и любознательность передавались его ученикам. Он был щедрым учителем и часто говорил: "Уче-

ники заставляют меня оставаться молодым". Ряд крупнейших открытий был сделан учениками Резерфорда, когда они работали с ним" [231, с. 501]. Работать с ним всегда было радостно и интересно.

Эрнест Резерфорд родился 30 августа 1871 г. в деревне Спринг-Броув (ныне Брайтуотер) в Новой Зеландии в семье фермера, в которой, кроме него, было еще 11 детей (он был четвертым). Будучи обычным скромным ребенком Резерфорд в то же время обладал невероятной способностью сосредоточиваться, что в дальнейшем явилось одним из секретов его замечательных успехов. Увлекался чтением, музыкой, конструированием и фотографией. В 1894 г. окончил Кентерберийский колледж Новозеландского университета в Крайстчерче, проявив уже в колледже склонность к научному творчеству, в частности, в 1891 г. представил научному обществу университета работу "Эволюция элементов", экспериментировал с электромагнитными волнами, пытаясь использовать их для телеграфирования, и дал в 1892 г. доказательство возможности их использования для передачи без проводов [230, с. 7—40].

В 1895 г. Э.Резерфорд в числе немногих молодых и способных выпускников-новозеландцев направился в Кембриджский университет для продолжения образования и в качестве исследователя-студента стал первым учеником Дж.Дж.Томсона. Здесь Резерфорд какое-то время продолжал работать над темой о магнитном детекторе, начатой им еще в Новой Зеландии, получив волны длиной 6—7 м и детектировав их на расстоянии более полумили от вибратора с помощью разработанного магнитного детектора. Результаты были опубликованы в 1895—1896 гг. в ряде статей, в частности, в обобщающей статье "Магнитный детектор электрических волн и некоторые его применения" [230, с. 41—65].

Следующие работы Э.Резерфорда посвящены исследованию прохождения электрического тока через газы. Совместно с Дж.Дж.Томсоном он разработал эффективный способ получения ионизации газа с помощью рентгеновских лучей, установил явление насыщения тока при ионизации, измерил коэффициент скорости рекомбинации ионов (1896—1897). В Кавендише Резерфорд начал исследовать и только что открытое А.Беккерелем явление радиоактивности урана.

В 1898 г. Э.Резерфорд назначен профессором Мак-Гиллского университета в Монреале (Канада), где и начался первый период его самостоятельной научной деятельности, длившийся до 1907 г. В Монреале он продолжил исследования радиоактивности. Уже в 1899 г. Резерфорд показал неоднородный характер излучения урана, открыв в его составе так называемые α - и β -лучи, обнаружил отклонение последних в электрическом поле [230, с. 66—

109], в следующем году открыл эманацию тория и ввел в неявном виде понятие периода полураспада [230, с. 110–120].

В 1902–1903 гг. Э. Резерфорд совместно с Ф. Содди выполнил ряд фундаментальных исследований природы радиоактивности, в результате которых было показано, что последняя представляет собой спонтанный распад атомов, сопровождающийся образованием новых химических элементов. Ими была разработана теория радиоактивного распада и установлен закон радиоактивных превращений, вычислена энергия радиоактивного превращения и внутренняя энергия атома, иными словами, сделан вывод о существовании атомной энергии.

Так, уже в первой работе из этой серии, исходя из данных эксперимента, они сделали заключение, что радиоактивность представляет собой атомное явление, сопровождаемое химическими изменениями вещества, приводящими к появлению новых его типов. Причем изменения происходят в самом атоме, и радиоактивные элементы испытывают спонтанные превращения. "Полученные до сих пор результаты, согласно которым скорость этих реакций не зависит от окружающих условий, — писали они, — доказывают, что рассматриваемые превращения отличаются по своему характеру от тех, с которыми химия имела дело до сих пор. По всей очевидности, мы встретились с явлениями, лежащими за пределами сферы приложения известных атомных сил. Поэтому радиоактивность можно рассматривать как проявление внутриатомного химического превращения" [230, с. 223]. В этой же статье впервые уже в явном виде использовались понятия периода полураспада (независимо от П. Кюри, 1902), постоянной распада, изучалась скорость спада активности радиоактивного препарата (ThX), была высказана мысль, что радиоактивность "даст средства получения информации о процессах, происходящих внутри химического атома" [230, с. 224].

В статье "Радиоактивное превращение" (1903) приведенные выше результаты получили более четкое обоснование, здесь же содержался закон радиоактивного превращения $N_t/N_0 = e^{-\lambda t}$, где N_t и N_0 — соответственно количество систем, остающихся неизменными в моменты времени t и $t = 0$; λ — радиоактивная постоянная [230, с. 300–313]. Они сформулировали его также в виде $dN_t/dt = -\lambda N_t$, т.е. относительное количество радиоактивного вещества, превращающегося в единицу времени, есть величина постоянная, дали определение постоянной распада λ , показав, что в широком интервале она не зависит от температуры и действия различных сильных физических и химических факторов, ввели понятие среднего времени жизни радиоактивного элемента, связав его с λ . Согласно Резерфорду и Содди закон радиоактивных

превращений в математической форме выражает общий принцип и радиоактивность следует рассматривать как процесс, не поддающийся воздействию со стороны известных сил, который не может быть создан, изменен или уничтожен.

В указанной выше статье содержится также предсказание трансурановых элементов. "Если существуют элементы, более тяжелые, чем уран, то вполне вероятно, что они окажутся радиоактивными, — писали Резерфорд и Содди. — Исключительная чувствительность методов химического анализа, основанных на радиоактивности, позволит опознать эти элементы, даже если они будут присутствовать в ничтожно малых количествах. Поэтому можно надеяться, что в будущем число известных радиоактивных элементов увеличится и что существует в незначительных количествах гораздо больше, чем три известных к настоящему времени радиоактивных элемента. Чисто химические методы исследования малопригодны на первом этапе изучения таких элементов. Основными критериями будут служить постоянство излучений, их характеристики и существование или отсутствие эманаций или других продуктов распада" [230, с.308—309]. Время подтвердило это удивительное и смелое предвидение авторов. К сожалению, уже после смерти Резерфорда было открыто множество заурановых элементов, и изучение свойств радиоактивного распада стало основным критерием при их идентификации.

Э.Резерфорд и Ф.Содди определили также количество энергии, выделяющейся при распаде 1 г радия — не меньше 10^5 кал, и пришли к заключению, что энергия радиоактивного превращения "по крайней мере в 20 000 раз, а может быть и в миллион раз, превышает энергию любого молекулярного превращения" [230, с. 311]. И здесь же мы встречаемся с их далеко идущими выводами: "...Энергия, скрытая в атоме, во много раз больше энергии, освобождающейся при обычном химическом превращении... Нет оснований предполагать, что только атомы радиоактивных элементов обладают такой огромной внутренней энергией. По всей вероятности, энергия атома вообще очень велика, однако в отсутствие превращений она не может проявиться. Большая величина внутренней энергии атома объясняет устойчивость химических элементов, а также сохранение радиоактивности при всевозможных условиях. Ее следует учитывать при объяснении явлений космической физики. Например, легко объяснить постоянство солнечной энергии, если предположить, что она обуславливается внутренней энергией элементов, составляющих Солнце, т.е. что на Солнце идут процессы субатомного превращения" [230, с. 313].

Теория радиоактивного распада Резерфорда—Содди нанесла

сильный удар по концепции неделимого атома, показав, что атомы вещества могут претерпевать различные изменения, а радиоактивность представляет собой спонтанный распад атомов, сопровождаемый выделением огромной энергии, и положила начало учению об атомной энергии. Убедительное подтверждение теории распада было дано Г.Брэггом в 1904 г. его исследованиями α -излучения радия (кривые Брэгга) [335]. Заметим также, что в 1903 г. П.Кюри и А.Лаборд наблюдали высокую скорость выделения тепла из радия, определив, что 1 г радия излучал теплоту со скоростью около 100 кал/ч [356]. Это было первое наглядное доказательство существования атомной энергии.

В этом же году Э.Резерфорд провел серию экспериментов, установивших связь между тепловым излучением радия и его радиоактивностью. Он вычислил, что количество тепла, освобождающегося из 1 см³ эманации радия за один час, лежит в пределах от $1,25 \cdot 10^5$ до $1,25 \cdot 10^6$ кал и пришел к выводу, что при специальных условиях радий способен выделить такое количество энергии, которое во много раз превосходит энергию, освобождаемую при самых бурных химических реакциях.

В 1903 г. Э.Резерфорд выполнил опыты, показывавшие, что α -лучи отклоняются в сильных электрических и магнитных полях, получил косвенное доказательство, что эти лучи представляют собой поток положительно заряженных частиц, и дал первые оценки скорости этих частиц ($2,5 \cdot 10^9$ см/с). Уже в 1904 г. он сделал более определенное, но не окончательное заключение, что, по-видимому, α -частицы представляют собой атомы гелия. "Будучи талантливым экспериментатором, Резерфорд превратил изучение α -частиц, им же и открытых, — писал Ф.Содди, — в персональный объект исследования. Однако окончательное установление опытным путем их действительной природы отняло у него несколько лет напряженного труда" [251, с. 112].

Описанный выше цикл работ Э.Резерфорда по радиоактивным превращениям элементов нашел свое завершение в его известной бейкерянской лекции "Последовательность превращений радиоактивных тел", прочитанной им 19 мая 1904 г. в Королевском обществе [230, с. 328—377]. В ней представлена полностью отработанная теория радиоактивных превращений химических элементов, в частности, радиоактивные ряды радия, тория, урана и актиния и цепочки превращений в них, т.е. показано, что распад их проходит через четко выраженные стадии, вычислены средние времена жизни радия и урана, рассмотрен вопрос о происхождении радиоактивных элементов. За исследования по превращению элементов и химии радиоактивных веществ Э.Резерфорд в 1908 г. был удостоен Нобелевской премии по химии. Не случайно писали

А.Ив и Дж.Чэдвик, что "изменения, которые он внес в атомную теорию, явились не просто преобразованием, а настоящей революцией" [376, с. 401].

Таким образом, уже в Монреале научная деятельность Э.Резерфорда достигла своего расцвета и общественного признания. По этому поводу Дж.Дж.Томсон писал: "Научная деятельность Резерфорда достигла вершины, когда он жил и работал в Монреале. В период между его приездом в Кембридж и отъездом из Монреаля... он опубликовал около 40—50 работ. Некоторые из них были совместными с его коллегами, но большинство описывали его собственные исследования, которые привели к результатам первоочередной важности и которые мог провести только талантливый ученый-экспериментатор. В то время лаборатории не имели достаточных средств, чтобы приобретать необходимое оборудование. Поэтому достижение даже незначительных результатов требовало неординарных способностей, терпения и самокритичности" [474, с. 752].

В университете Мак-Гилла у Э.Резерфорда появляются и первые ученики — О.Ган, Г.Кук, С.Аллен, Г.Брукс, Г.Барнс и др. Короткое время Резерфорд сотрудничал в университете и с Ф.Содди, который писал об этих днях: "Личное знакомство с этим человеком и его методами работы в лаборатории... были для меня несомненным приобретением" [474, с. 753].

Обстановку тех дней передает в своих воспоминаниях О.Ган. "Атмосфера в лаборатории Резерфорда была очень оживленной, — писал он. — Все, кто работал с ним в то время, внесли большой вклад в быстрое развитие радиоактивности... В Монреале все без малейшего чувства зависти признавали Резерфорда лидером научных исследований. Его энтузиазм и огромная энергия заражали всех нас... Много вечеров проводили мы также в доме Резерфорда, посвящая большую часть времени разговорам об исследованиях..." [466, с. 293—294].

В 1907 г. Э.Резерфорд возглавил кафедру физики в Манчестерском университете, которой руководил до 1919 г. [493]. Условия для исследовательской работы здесь были, безусловно, лучшими, лаборатории, в которых ему предстояло работать, были новые, открытые в 1900 г., многое для их оснащения сделал А.Шустер. Резерфорд без промедления развернул работы, начатые в Монреале. Ему повезло и на коллег: незаменимым помощником оказался талантливый ассистент А.Шустера Х.Гейгер, а энергичным и способным лаборантом — У.Кэй. В 1908 г. Венская академия наук выделила Резерфорду 250 мг радия. Все это способствовало успешному началу работ в лаборатории.

Начальный период его деятельности в Манчестере характеризуют А.Ив и Дж.Чэдвик: "Ему не мешали ни преподавательская

работа, ни административные обязанности. У него были прекрасные коллеги, которые помогали ему ... На факультете все шло гладко, и Резерфорд мог направить всю свою энергию на развитие школы радиоактивных исследований. За короткое время он привлек к работе так много исследователей со всех концов света, что лаборатория оказалась переполненной" [376, с. 403]. Именно в Манчестере начала формироваться его обширная научная школа. Если в Монреале был сам Резерфорд с его выдающимися достижениями, ставший непререкаемым авторитетом в новой рождающейся отрасли науки, то в Манчестере был уже Резерфорд и его школа, представленная *Х.Гейгером, Э.Марсденом, Г.Мозли, Дж.Чэббиком, Дж.Нэттолом, У.Маковым, Г.Ричардсоном, Г.Робинсоном, Т.Ройдсом, У.Роулинсоном, Э.Андре, Ч.Дарвиным, Н.Бором, Д.Хевеши, О.Ганом, А.Расселом, К.Фаянсом, А.Вудом, Дж.Греем, Д.Флорансом* и др.

"Из своих студентов он организовал команду для исследования радиоактивности, выделяя каждому задачу в соответствии с его возможностями и настраивая самым энергичным образом, хотя, впрочем, никакая настройка не требовалась, — вспоминал Э.Андре. — Наша вера в него было совершенно беспредельной. Если Резерфорд говорил, что эксперимент должен быть сделан, он делался... Резерфорд был молодым в нашем окружении, разделял наши шутки и показывал, как преодолевать возникающие затруднения. В то время ему было дано прозвище "папа", возможно, из-за его отеческих наставлений. Но он был очень молодым и нетрадиционным "папой" семейства. Когда дела шли хорошо и открытия следовали с частотой одно открытие в неделю, тогда шаги профессора в коридоре сопровождались мелодией "Вперед, солдаты Христа". Когда же дела шли не очень, раздавалась другая мелодия, но уже менее святая... То были славные дни. Несомненно в будущем появятся другие великие люди науки, но не похоже, чтобы кто-либо из нас, кто работал с ним в те дни, доживет до времени, когда сможет увидеть другого такого гения, лидера и друга такой обширной школы" [474, с. 753].

В Манчестере Э.Резерфорд продолжил исследование природы α -излучения. Следует заметить, что еще в 1905 г. он выполнил эксперименты, показывающие, что при прохождении α -частиц сквозь тела их скорость уменьшается, определил число α -частиц, испускаемых 1 г радия в 1 с ($6,2 \cdot 10^{10}$), в 1906 г. обнаружил их рассеяние при прохождении через вещество, показал, что α -частица должна иметь заряд $+2e$. В развитие этих исследований Э.Резерфорд с Х.Гейгером разработали в 1908 г. электрический метод счета α -частиц, представляющий собой прямой метод наблюдения дискретности излучения. Они построили счетчик, с помощью которого можно было обнаружить отдельную частицу (счетчик Гейге-

ра), а следовательно, непосредственно вести счет числа α -частиц, испускаемых радиоактивными веществами [231, с. 123—142]. Счетчик был использован ими в серии экспериментов для более точного определения числа α -частиц, испускаемых 1 г радия за 1 с. Было получено значение $3,4 \cdot 10^{10}$ частиц. В следующей совместной статье "Заряд и природа α -частицы" (1908) они доказали, что α -частица — это дважды ионизированный атом гелия [231, с. 143—153]. Окончательно же идентичность α -частицы заряженному атому гелия Резерфорд доказал (1908) с Т.Ройдсом, продемонстрировав появление гелия в откачанном пространстве, в которое влетают α -частицы [231, с. 164—168]. В том же году Резерфорд и Гейгер разработали метод определения числа Авогадро, основанный на использовании радиоактивных данных ($N = 2,77 \cdot 10^{19}$) [231, с. 169—184], что позволило с большей точностью определять ряд атомных и молекулярных характеристик вещества.

Последующие работы Э.Резерфорда и его учеников связаны с изучением рассеяния отдельных α -частиц при их столкновении с атомами. Именно они привели к самым важным открытиям в области атомной теории, в частности, к открытию в 1911 г. атомного ядра и установлению ядерно-планетарной модели атома. До этого существовал ряд атомных моделей Ж.Перрена (1901) [484], Дж.Дж.Томсона (1903) [536], Ф.Ленарда (1903) [459], Х.Нагаоки (1904) [473], являющихся скорее плодом теоретических построений, воображения и интуиции их авторов, чем результатом экспериментальных работ. В отличие от них модель Резерфорда основывалась на твердом фундаменте экспериментальных фактов. До 1909 г. предполагали, что рассеяние пучка α - или β -частиц при прохождении через тонкий слой вещества есть результат наложения многочисленных малых рассеяний, возникающих при прохождении пучка сквозь атомы вещества. Эксперименты, проведенные в 1909 г. Х.Гейгером и Э.Марсденом по рассеянию α -частиц при прохождении их сквозь слой золотой фольги толщиной 0,00004 см, показали, что имеют место случаи, когда некоторое количество падающих α -частиц (примерно одна из 20 000) испытывает однократное столкновение с отклонением на угол, больший 90° , а примерно 1/8000 часть α -частиц, испущенных радием С, падающих на толстую платиновую пластинку, рассеивается обратно в направлении падения [398].

Через 25 лет после описанных событий Э.Резерфорд в лекции об этом скажет так: "Помню ... ко мне пришел возбужденный Гейгер и сказал: "Нам удалось наблюдать α -частицы, возвращающиеся назад...". Это было самым невероятным событием, которое мне пришлось пережить. Это было почти столь же невероятно, как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в листок

папиросной бумаги, а он вернулся бы назад и угодил бы в вас. Поразмыслив, я понял, что это обратное рассеяние должно быть результатом однократного столкновения, а когда я произвел расчеты, то увидел, что невозможно получить величину того же порядка, разве что вы рассматриваете систему, в которой большая часть массы атома сконцентрирована в малом ядре. Вот именно тогда у меня родилось представление об атоме с малым массивным центром, несущим заряд" [231, с. 489].

В 1910 г. Х.Гейгер с помощью метода сцинтилляций провел тщательное измерение рассеяния α -частиц при прохождении сквозь тонкие слои металлической фольги и определил наиболее вероятный угол, под которым отклонялись α -частицы, проходя через различные вещества известной толщины. Так, он показал, что наиболее вероятный угол рассеяния α -лучей при прохождении сквозь золотую пластинку, толщина которой по тормозной способности эквивалентна 0,76 см воздуха, составляет $1^{\circ}40'$ [397]. Иными словами, напрашивался вывод, и простой расчет это подтверждал, что вероятность отклонения α -частиц на 90° исчезающе мала.

Основываясь на экспериментах Гейгера и Марсдена и пытаясь объяснить рассеяние α -частиц на большие углы при прохождении сквозь тонкие слои вещества, Резерфорд разработал теорию рассеяния и пришел к представлению о ядерной модели атома. Он предложил модель атома, согласно которой атом состоит из массивного положительно заряженного ядра, где сосредоточена большая часть его массы, окруженного системой электронов, суммарный заряд которых компенсирует положительный заряд ядра и делает атом электронейтральным (модель атома Резерфорда) [231, с. 207–224]. "Гениальность Резерфорда заключалась в том, что он собрал все, казалось бы, незначительные детали и создал теорию, которая послужила ключом к вопросу о внутреннем строении атома, — писали А.Ив и Дж.Чэдвик. — Ядерная теория атомной структуры была полностью сформулирована и опубликована в 1911 г. Вначале она была основана на предварительных опытах Гейгера..., а через несколько месяцев полностью сформировалась благодаря ряду точных опытов. Трудно переоценить влияние ядерной теории атомной структуры на все естественные науки. Эта теория заняла главенствующее место среди открытий Резерфорда в физике" [376, с. 405–406].

Для проверки справедливости выдвинутой теории Х.Гейгер и Э.Марсден провели серию тщательных экспериментов и подтвердили (1913) ее основные выводы [399]. В частности, они нашли, что заряд ядра приблизительно равен $1/2 A e$, где A — атомный вес, а Ч.Дарвин разработал полную теорию отклонения α -частицы и ядра (отдача ядра) с учетом массы ядра и показал (1911–1912), что результаты экспериментов Гейгера–Марсдена

указывают, что силы, действующие между α -частицей и ядром, подчиняются закону обратной пропорциональности квадрату расстояния [359].

Фундаментальное значение для последующих исследований Э.Резерфорда имела также его идея, которой он руководствовался в эти годы, что α -частицы — это своеобразные зонды атомной структуры вещества. "Исследование прохождения быстрых α -частиц через вещество, — писал он в 1914 г., — представляет собой наиболее определенный и прямой метод изучения общей структуры атома, так как α -частица может проникнуть внутрь атома без значительных возмущений со стороны электронов и, таким образом, подвергается влиянию лишь интенсивного поля атомного ядра" [231, с. 240].

Однако Э.Резерфорд и его ученики исследовали не только эффекты бомбардировки этими естественными ядерными снарядами, которыми являлись α -частицы, твердых мишеней, но и особое внимание уделили явлениям, сопровождающим прохождение этих частиц сквозь легкие газы, в частности, водород и гелий. Так, Резерфордом и Дж.Нэттолом в 1913 г. было показано, что рассеяние α -частиц в водороде и гелии хорошо согласуется с представлением о том, что ядро атома водорода имеет единичный положительный заряд $+e$, а гелия $+2e$ [495]. Проведенные в следующем году Э.Марсденом эксперименты показали, что в результате лобового столкновения α -частицы с ядром атома водорода, последнее приобретает скорость, в 1,6 раза превышающую скорость α -частицы до удара, и энергию, составляющую 0,64 энергии налетающей α -частицы. Образовавшиеся эти так называемые длиннопробежные Н-атомы (ядра), движущиеся с большой скоростью, вызывают на экране из сернистого цинка сцинтилляции и, кроме того, имеют пробег в 3—4 раза больший, чем налетающие α -частицы (более 100 см) [464]. Эти два факта явились доказательством существования протона как элементарной частицы, представляющей собой ядро атома водорода (Н-атома).

В обобщающей статье "Строение атома" (1914) Э.Резерфорд писал, что ядро атома водорода (правда, он называет и считает его положительным электроном) — "это тот единичный элемент, из которого составлены все атомы..." [231, с. 243]. В 1915 г. Э.Марсден получил ряд указаний на то, что сами радиоактивные вещества испускают быстрые Н-атомы, или протоны (до этого наблюдались случаи испускания только α - или β -частиц), и высказал гипотезу о возможности эмиссии протонов в радиоактивном распаде [465]. Как известно, протонная радиоактивность была экспериментально обнаружена лишь в 1962 г. В.А.Карнауховым с сотрудниками, наблюдавшими испускание запаздывающих протонов. Следует также сказать, что Резерфорд впервые

вычислил и размеры ядра. Так, для радиуса ядра золота он получил значение $3 \cdot 10^{-12}$ см.

Таким образом, в 1913—1914 гг. физикам уже были известны две структурные составляющие вещества — электрон и протон, открытые соответственно учителем (Дж.Дж.Томсоном) и учеником (Э.Резерфордом). Появилась возможность "конструировать" из них материю. В 1913 г. А.Ван ден Брук выдвинул гипотезу строения атомных ядер из протонов и электронов, которая просуществовала около 20 лет [548], пока не была заменена (1932) протонно-нейтронной моделью Иваненко—Гейзенберга [103].

Ядерная модель атома имела далеко идущие последствия. Вскоре после ее опубликования в школе Резерфорда были сделаны еще два крупных открытия. Н.Бор, проводя лето 1912 г. в Манчестере, начал задумываться над ролью кванта в устойчивости атома Резерфорда. Для объяснения его стабильности он ввел в резерфордовскую модель квантовые идеи, предположив квантование движений электронов в атоме, т.е. ввел в атом дискретные уровни энергии. Новая теория атома была построена Н.Бором в 1913 г. и знаменовала собой рождение современной теории атома (теория атома Бора) [39, т. 1, с. 84—148].

Другое известное открытие, также связанное с ядерной моделью атома, осуществил Г.Мозли, поставивший важное значение атомного номера для характеристики свойств атома [471]. Исследуя рентгеновские спектры элементов, он установил (1913—1914) закон, связывающий частоту спектральных линий характеристического рентгеновского излучения с порядковым номером излучающего элемента: $\sqrt{\frac{\nu_K}{3/4 R}} = Z - 1$ (закон Мозли). Здесь K_α — одна из линий К-серии; R — постоянная Ридберга; Z — порядковый (атомный) номер элемента.

Этот закон позволил выяснить физический смысл порядкового номера элемента в периодической таблице, его равенство заряду ядра и изменение ядерного заряда на единицу при переходе от атома к атому. Открытое соотношение дало возможность по-новому взглянуть на периодическую систему элементов, так как атомный номер, а не атомный вес оказался фундаментальной характеристикой, определяющей свойства атомов. Следует заметить, что, по словам Резерфорда, ко времени установления Мозли названного выше закона в лаборатории уже существовало представление о том, что заряд ядра и атомный номер как-то связаны между собой. Поэтому не случайно Г.Мозли, исходя из своего закона, предположил, что атомный номер соответствует заряду ядра (это предположение впервые высказал в ноябре 1912 г. А.Ван ден Брук). В 1920 г. тождественность атомного номера заряду ядра

подтвердил Дж.Чэдвик путем прямых экспериментов по рассеянию α -частиц [342].

Манчестерская физическая школа интенсивно развивалась. Все больше и больше молодых физиков приходило в лабораторию, чтобы работать под руководством Резерфорда. Однако прежде чем приступить к научным исследованиям, они должны были пройти практический курс по радиоактивности, который вел Гейгер. Только после этого они становились полноправными членами школы и включались в научную работу в лаборатории.

Кроме указанных выше фундаментальных открытий, Э.Резерфордом и его учениками было проведено большое количество работ, результаты которых сыграли также важную роль в физике атома. Так, Э.Резерфордом и Г.Робинсоном в 1912—1913 гг. были выполнены исследования β -спектров ряда радиоактивных элементов, Г.Робинсоном и У.Роулинсоном — исследования вторичной эмиссии β -лучей из тяжелых металлов под действием γ -излучения. В 1912 г. Дж.Чэдвик открыл вынужденное γ -излучение, вызванное бомбардировкой α -частицами, а в 1914 г. обнаружил непрерывный спектр энергии β -лучей. Дж.Грей, Д.Флоранс, Дж.Чэдвик, А.Рассел и другие изучали природу γ -лучей, а Резерфорд совместно с Э.Андрате измерил (1914) их длину волны и наблюдал дифракцию γ -лучей на кристалле.

Еще в 1911 г. Х.Гейгер и Дж.Нэттол, измеряя длину пробега α -частиц, испускаемых радиоактивным веществом, установили зависимость между этой длиной и постоянной распада, или же между периодом полураспада T и энергией испускаемых частиц E : $\lg T = C + D/\sqrt{E}$, где C и D — постоянные (закон Гейгера—Нэттола) [400]. Закон инициировал ряд исследований и открытий, получив объяснение только в квантовой механике. С Дж.Нэттолом Резерфорд изучал рассеяние α -частиц легкими атомами, с А.Вудом — длиннопробежные α -частицы, с Г.Робинсоном выполнил точные измерения удельного заряда и скоростей α -частиц и др.

Следует отметить также работу Ч.Дарвина, Э.Марсдена и У.Маковера по изучению ветвления в радиоактивных рядах, У.Маковера и других по исследованию атомов отдачи, вклад Д.Хевеши и А.Рассела в химию радиоактивных веществ. В 1913 г. Д.Хевеши и Ф.Панетом был разработан метод меченых атомов, Ч.Дарвиным построена теория дифракции рентгеновских лучей на кристаллах. Э.Эванс провел опыты, доказавшие, что спектральная серия Пикеринга принадлежит ионизированному гелию, чем подтвердил вывод Н.Бора, следовавший из его теории атома. Большой вклад в исследование проблемы прохождения заряженных частиц сквозь вещество внесли Н.Бор, разработавший теорию поглощения α -частиц в веществе (1913), и Ч.Дарвин, вычислив-

ший пробег быстрых Н-атомов в водороде (1914). Все эксперименты, проведенные в Манчестерской лаборатории, были обобщены в книге У.Маковера и Х.Гейгера "Практические измерения радиоактивности".

С началом первой мировой войны школа Э.Резерфорда практически распалась, так как многие из его учеников ушли на фронт, в августе 1915 г. в сражении был убит Г.Мозли — один из основоположников рентгеновской спектроскопии. Лаборатория была переоборудована и переориентирована на проведение акустических исследований, в частности, в области гидроакустики. Лишь в 1919 г. Резерфорд возобновил эксперименты по бомбардировке α -частицами легких ядер. В апреле он закончил цикл работ, который был опубликован в июне в виде четырех статей " Столкновение α -частиц с легкими атомами" (I—IV), завершающих его деятельность в Манчестере и содержащих поистине революционное открытие — первую искусственную ядерную реакцию [231, с. 247—291].

Уже в первой статье на основании исследования процесса образования быстродвижущихся атомов водорода (Н-атомов, наблюдаемых еще в аналогичном опыте Э.Марсденом), возникающих в результате тесных столкновений между α -частицами и атомами водорода, когда ядра сближались на расстояние не меньше 3×10^{-13} см (один случай на 10^9 столкновений), Резерфорд делает уверенный вывод, что Н-атомы — это устойчивые ядра атома водорода (протоны). "Очевидно, что при таких близких столкновениях каждый атом водорода в любой сложной молекуле действует как независимая единица, — писал Резерфорд, — и потому быстрые Н-атомы будут высвобождаться α -частицами из любого вещества, содержащего свободный или связанный водород" [231, с. 265]. Здесь же содержалось высказывание о том, что силы, действующие на таких малых расстояниях при столкновении ядер, не подчиняются закону обратных квадратов и могут чрезвычайно сильно изменяться вблизи ядра, причем отталкивание может быстро превратиться в притяжение. При этом сами ядра на таких расстояниях нельзя рассматривать как точечные заряды. "...Поскольку закон обратных квадратов, по-видимому, справедлив (по крайней мере приблизительно) для положительных зарядов вплоть до расстояний $3 \cdot 10^{-12}$ см, проще предположить, — отмечал Резерфорд, — что быстрое изменение величины и направления силы вблизи ядра обусловлено деформацией структуры ядра и его составных частей. Принимая во внимание огромные силы, развивающиеся при таких столкновениях, даже распад ядра гелия не может оказаться неожиданным" [231, с. 266—267].

В третьей статье анализировались эксперименты по столкно-

вению α -частиц с атомами азота, кислорода и др. Они привели Э. Резерфорда к выводу, что наблюдаемые эффекты очень похожи на те, которые имели место в случае водорода, т.е. и в этих случаях появляются быстрые длиннопробежные частицы. Правда, здесь Резерфорд еще не делает заключения, что это те же Н-атомы (протоны), к этому выводу он пришел в следующей, четвертой статье. "Длиннопробежные атомы в азоте как по своему пробегу, так и по яркости сцинтилляций, — писал он, — чрезвычайно похожи на Н-атомы и, по всей вероятности, представляют собой атомы водорода. Однако, чтобы установить этот важный факт однозначно, необходимо определить отклонение этих атомов в магнитном поле" [231, с. 289].

И Э. Резерфорд сделал это. Полученные результаты доказали достаточно корректно, что длиннопробежные частицы, возникающие при столкновениях α -частиц с ядрами азота, являются ядрами водорода: "Если это действительно так, — писал Резерфорд, — то мы должны сделать вывод, что атом азота распадается под действием громадных сил, развивающихся при близком столкновении с быстрой α -частицей, и что освобождающийся атом водорода образует составную часть ядра азота" [231, с. 290].

Э. Резерфорд попытался объяснить механизм этого искусственного распада ядра азота. Он предположил, что приближающаяся к нему α -частица может подойти к Н-ядру (протону), находящемуся в составе ядра азота, настолько близко, что передаст ему энергию, "достаточную для разрыва его связи с центральной массой". Объяснение, что протоны могут возникнуть в результате расщепления обычно устойчивого ядра азота атомными снарядами (α -частицами), не укладывалось в привычные рамки и свидетельствовало об открытии совершенно необычного эффекта. Ведь речь шла не о спонтанном разложении вещества, а об искусственном превращении одного элемента в другой. Сегодня эта первая искусственная ядерная реакция записывается так: ${}^4_2\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_0\text{O} + {}^1_1\text{H}$. Кроме того, впервые также четко было показано, что протоны являются составляющими сложных ядер.

Важное значение имела и высказанная Э. Резерфордом мысль, что благодаря огромной энергии близкое столкновение α -частиц с легкими атомами является наиболее подходящим средством разрушения ядра. "Если учесть огромные развивающиеся здесь силы, то не столь удивительно, что распадается атом азота, сколько то, что сама α -частица избегает разрушения на свои компоненты, — отмечал Резерфорд. — ... Если экспериментально станет возможным получать α -частицы или подобные им снаряды еще большей энергии, то мы могли бы, вероятно, разрушить ядерные структуры многих легких атомов" [231, с. 29]. А это ничто иное, как идея искусственного ускорения заряженных частиц.

Дальнейшие эксперименты с расщеплением ядер различных легких элементов и разработка их теории приходится уже на Кембриджский период (1919—1937) деятельности Э. Резерфорда и его школы.

В 1919 г. Э. Резерфорд был назначен профессором экспериментальной физики и директором Кавендишской лаборатории, сменив на этом посту своего учителя Дж. Дж. Томсона. О времени его "правления" в Кавендише очень образно высказался его ученик С. Девонс: "Резерфорд-личность и Кавендиш-учреждение слились воедино... В Монреале был сам Резерфорд, в Манчестере — Резерфорд и его школа, в Кембридже — Резерфорд как олицетворение великого Кавендиша и часть его славы. Резерфорд был не только одним из известных Кембриджских профессоров. В Кавендишской лаборатории он был профессором физики с большой буквы. В то время в Англии было принято, что профессор считал лабораторию чем-то вроде своей вотчины, где безраздельно царил его авторитет. Безусловно, Кавендишская лаборатория была сферой влияния Резерфорда, но никто не мог сказать, что это происходит только благодаря его профессорскому званию. Благожелательность и интеллигентность, исходящие от него, встречали ответное восхищение, уважение, доверие и преданность. Его влияние на окружающих воспринималось так же естественно, как влияние Солнца на планеты-спутники. Резерфорд — профессор Кавендиша — был центром света, тепла и жизни" [362, с. 39].

В Кавендише продолжалось как развитие его научной школы, так и его активная научная деятельность, которая привела к ряду результатов первостепенного значения. С первых же дней своего пребывания на посту Кавендишского профессора Резерфорд собрал вокруг себя многочисленную и блестящую группу исследователей, с которыми проводил работы в области актуальных проблем ядерной физики. Так, совместно с Дж. Чэдвигом он продолжил изучение эффектов, сопровождающих прохождение α -частиц через азот и кислород. В дальнейшем они также исследовали (1921—1924) расщепление α -частицами ядер бора, фосфора, натрия, алюминия, фтора, натрия, неона, магния, кремния, серы, хлора, аргона, калия и др. [231, с. 317—345, 369—375]. Во всех наблюдаемых реакциях был установлен вылет протонов и показано, что ядра даже легких элементов представляют собой сложные системы. Сравнение пробегов выброшенных частиц привело их к выводу (1924), что ядра четных легких элементов сравнительно устойчивы, нечетных — относительно неустойчивы, однако им не удалось наблюдать распад ядер тяжелых элементов, в частности урана. В этих же работах высказаны их взгляды на структуру ядер и на силы, действующие внутри и вблизи ядра. Так, в первой работе (1921) они отмечали: "Наблюдаемое расщепление легких

элементов интерпретировалось нами в предположении, что Н-атомы — это спутники центрального ядра. При этом неявно предполагалось, что положительно заряженные тела на очень близких расстояниях притягивают друг друга. Такие силы притяжения должны существовать, чтобы удерживать в равновесии части сложных ядер, и кажется вероятным, что эти силы притяжения могут простирались и на некотором расстоянии от ядра. Если эта точка зрения справедлива, то действующие на α -частицу силы вначале будут силами отталкивания, но вблизи ядра они поменяют знак” [231, с. 330].

Э.Резерфорд четко понимал, что столкновения ядерных частиц уже нельзя рассматривать как механические соударения, “Взаимодействие между двумя частицами, — говорил он в 1923 г., — происходит посредством мощных электрических полей, окружающих эти частицы” [231, с. 354]. Справедливость этого заключения хорошо иллюстрировали эксперименты Ч.Вильсона, П.Блэккетта и др. Однако Резерфорд уже тогда прекрасно понимал, что взаимодействие посредством электрических сил в соответствии с законом обратных квадратов имеет место на некотором расстоянии от ядра, внутри же ядра этот закон нарушается. Это он доказал экспериментально сам в 1919 г., а в 1921 г. его доказательство подтвердили также Дж.Чэдвик и Э.Билер, для случая, когда при сближении α -частицы с ядрами водорода расстояние составляло порядка $4 \cdot 10^{-13}$ см, т.е. впервые была дана оценка размеров области, где силы взаимодействия между частицами аномальны.

“Детальное изучение столкновений α -частиц с атомами водорода, — отмечал Резерфорд, — когда ядра очень близко приближаются друг к другу, показывает, что действующие между ядрами силы в конце возрастают значительно быстрее, чем по закону обратных квадратов, и, возможно, на очень малых расстояниях, отделяющих протоны и электроны в ядре, вступают в действие новые, неизвестные нам силы” [231, с. 363]. Он называет их также особыми силами, подчеркивая тем самым необычность данных сил и тот факт, что здесь, на ядерном уровне, физики столкнулись с принципиально новым типом взаимодействий — сильным (в современной терминологии). Таким образом, от экспериментов Резерфорда и их физического истолкования берет свое начало концепция ядерных сил и сильных взаимодействий (1919—1925).

Эксперименты Э.Резерфорда и его учеников позволили определить верхнюю границу для размеров ядра. Так, для случая сферических ядер эти размеры имеют порядок 10^{-13} см, что в общем-то отвечает действительности. Нельзя не обратить внимание также на оговорку Резерфорда, если ядра сферичны, что характеризует его осторожность в категорических выводах, когда речь идет о

новых и нетрадиционных явлениях и фактах, а также его потрясающую интуицию и гениальную прозорливость.

В этом плане интересна статья Э.Резерфорда и Дж.Чэдвика "Дальнейшие эксперименты по искусственному разложению элементов" [231, с. 369—375]. Согласно ей в ядре действуют силы притяжения между составляющими частицами, которые обеспечивают устойчивость ядра. Однако уже на незначительном расстоянии от него эти силы становятся равными нулю (т.е. ядерные силы являются короткодействующими). "С этой точки зрения должна существовать критическая поверхность вокруг ядра, где сила равна нулю, а потенциал достигает максимума", — писали они [231, с. 374].

Они же произвели и оценку (правда грубую) критического потенциала (ныне высота потенциального барьера) для ядер ряда элементов, а также вычислили расстояние, на котором критическая поверхность отстоит от центра ядра (не более, чем на $6 \cdot 10^{-13}$ см). И α -частица не вызовет распад ядра, если она не проникнет в пределы критической поверхности, а зная энергию α -частицы, вызывающей распад ядра, можно определить потенциал критической поверхности. Например, экспериментально Резерфорд и Чэдвик нашли, что минимальный пробег α -частицы, вызывающий распад ядра алюминия, составляет около 4,9 см. Иными словами, они предложили модель ядра и процесса его распада. "Согласно этой модели α -частица, проникая внутрь поверхности нулевых сил, — писали они, — будет притягиваться ядром и, вероятно, приведет к распаду с испусканием частицы... О дальнейшей судьбе α -частицы нам ничего не известно... Возможно, что α -частица каким-то способом присоединится к остаточному ядру. Конечно, она не может быть вновь испущена с какой-либо значительной энергией, иначе мы должны были бы ее обнаружить" [231, с.375].

Как видим, приведенная картина в общем соответствует нашим взглядам. Согласно разработанной концепции Э.Резерфорд стремился, исследуя рассеяние α -частиц, получить как можно больше информации о потенциальных барьерах вокруг атомных ядер. Следует сказать, что уже в 1925 г. подтверждение приведенной выше модели дал П.Блэкетт. С помощью фотографий, полученных в камере Вильсона, он установил, что при бомбардировке ядер азота α -частицами последняя захватывается его ядром с испусканием протона [322]. Это было первым наглядным доказательством существования протона и искусственного превращения элементов.

Приведем также еще ряд "ядерных мыслей" Э.Резерфорда. Он говорит об огромной плотности ядер, которая в миллиарды раз превышает плотность самого тяжелого элемента, что ядро

имеет дискретную структуру, "занятую, но не заполненную мельчайшими строительными единицами..., находящимися в непрерывном движении, управляемом их взаимными силами" [231, с. 363], и "в специальных случаях рассеяние может каким-то образом подчиняться квантовым условиям" [231, с. 407], не исключено, что электрон и протон "на самом деле сложны и могут быть разделены на еще более фундаментальные сущности" [231, с. 353].

Нельзя не сказать и о предсказаниях Э. Резерфордом существования нейтрона, дейтерия и гелия-3, которые содержались в его второй бейкериянской лекции "Ядерное строение атомов" (1920) [231, с. 292—316]. "...Кажется весьма правдоподобным, что один электрон может связать также два Н-ядра, а может быть, и одно Н-ядро, — говорил Резерфорд. — Тогда в первом случае возможно существование атома с массой, примерно равной 2, и одним зарядом, который нужно рассматривать как изотоп водорода. В другом случае предполагается возможность существования атома с массой 1 и нулевым зарядом ядра. Подобная атомная структура представляется вполне возможной" [231, с. 312].

Но Э. Резерфорд не просто выдвинул идею нейтрона (это в 1920 г. сделал также У. Харкинс [406]), а предсказал и его значение в ядерной структуре, условия возникновения. "...Они должны легко проникать в недра атома и могут либо соединяться с ядром, либо распадаться под действием интенсивного поля ядра, результатом чего будет, вероятно, испускание Н-атома или электрона, или же обоих вместе, — отмечал он. — Если существование таких атомов возможно, то они должны возникать ... при электрическом разряде через водород... Существование таких атомов, по-видимому, почти необходимо для объяснения строения ядер тяжелых элементов" [231, с. 313].

В процессе проведения Э. Резерфордом описанных выше исследований продолжалось активное развитие и его школы, создавались первые кадры физиков-ядерщиков. К нему в лабораторию, как и прежде, стекались молодые талантливые физики со всех концов мира, желавшие работать под его руководством. Его учениками в кембриджский период были П. Блэккетт, Ч. Эллис, Дж. Кокрофт, Э. Уолтон, Э. Билер, П. Л. Капица, С. Пауэлл, М. Олифант, У. Вустер, Т. Шимицу, Н. Фезер, Ф. Ди, Г. Мессис, Т. Аллибон, Х. Баба, С. Девонс, У. Б. Льюис, Г. Вебстер, Ч. Винн-Вильямс, Дж. Гендерсон и др. Короткое время в лаборатории работали и советские физики Ю. Б. Харитон, А. И. Лейпунский, К. Д. Синельников и др.

Э. Резерфорд хорошо понимал, что руководство лабораторией, обучение такого большого количества молодых исследователей ядерной физике будет препятствовать его собственной научной работе. А окружали его в основном молодые люди, только вступившие на путь научного исследования. Но он воспринимал это

как свой долг, моральную обязанность перед молодой сменой и рассматривал процесс обучения как не менее важную ступень в скорейшем достижении успеха. И хотя сам он уже больше не сделал таких выдающихся открытий, как в Монреале и Манчестере, его энергия и сила, как никогда лучше, проявились в руководстве лабораторией, великие традиции которой он всячески и активно поддерживал.

В лаборатории он создал тот удивительный климат, который так необходим для высокоодаренных людей, составлявших его окружение. "Несмотря на обширный и все время возрастающий объем научной и административной деятельности Резерфорда, в Кавендишской лаборатории царил тот же самый дух, — вспоминал Н.Бор, — который мы все так радостно ощущали в предыдущие манчестерские годы" [39, т. 2, с. 587].

Весьма характерным для Э.Резерфорда был его благожелательный и живой интерес ко всем молодым физикам, с которыми он сталкивался в лаборатории. Когда к нему прибывал новый "сырой" исследователь-студент, Резерфорд в первую очередь старался "рассмотреть" его в работе, подметить в нем какую-либо оригинальность и самостоятельность. Как только он "открывал" в нем что-либо оригинальное, то делал в дальнейшем все возможное для его развития.

"Самое замечательное качество Э.Резерфорда как учителя, — писал П.Л.Капица, — было его умение направить работу, поддерживать начинание ученого, правильно оценить полученные результаты. Самое большое, что он ценил в учениках, — это самостоятельность мышления, инициативу, индивидуальность. При этом надо сказать, что Резерфорд применял все возможное для того, чтобы выявить в человеке его индивидуальность. Я помню, еще в начале моей работы в Кембридже я как-то сказал Резерфорду: "У нас работает Х, он работает над безнадежной идеей и напрасно тратит время, приборы и прочее". — "Я знаю, — ответил Резерфорд, — что он работает над безнадежной проблемой, но зато эта проблема его собственная, и если работа у него и не выйдет, то она научит его самостоятельно мыслить и приведет к другой проблеме, которая уже будет иметь экспериментальное решение". Так оно потом и оказалось. Он многим готов был пожертвовать, чтобы только воспитать в человеке независимость и оригинальность мышления, и, если они проявлялись, он окружал его заботой и поощрял его работу" [232, с. 35—36].

Э.Резерфорд считал, что исследователь-студент должен сам думать и задавать себе вопросы, а учитель должен не столько отвечать на вопросы, сколько стимулировать его ставить вопросы себе самому. Резерфорд всегда отдавал предпочтение фактам, подчеркивая, что они являются самыми важными в работе уче-

ного. Его более всего интересовали результаты, а не использованные его подопечными методы и их трудности. Однако он всегда вникал в них, равно как и в рассуждения по дальнейшему ходу эксперимента, побуждая делать как можно больше. Посещая студентов на их рабочих местах, Резерфорд устраивал им небольшой экзамен, спрашивая, что они делают, как и почему, и в конце неизменно следовала проверка результатов. "Он прекрасно действовал как учитель, — вспоминал С.Девонс, — и результаты его бескомпромиссного, но не враждебного опроса были без сомнения благотворными" [362, с. 44].

Одним из требований Э.Резерфорда было требование простоты во всем — в объяснении фактов, в постановке задачи и др. Простые идеи и приборы, но весомые результаты, простые представления, но глубокие выводы — такова была тогда характерная черта Кавендишской лаборатории. (Но когда в 30-х годах физические эксперименты потребовали нового, дорогостоящего и сложного оборудования, Резерфорд достаточно быстро воспринял эти новые тенденции.) "... Природа, по-видимому, работает просто, — говорил он в речи 1923 г., — и чем более фундаментальна какая-то проблема, тем проще зачастую понятия, необходимые для ее объяснения" [231, с. 367]. И этот принцип простоты был для Резерфорда всегда основополагающим как в научном творчестве, так и в жизни. Этому принципу соответствовала и его знаменитая фраза: "Я простой человек и хочу иметь простой ответ". Он всегда требовал четкости и той же простоты в формулировке задачи, чтобы она была как можно ближе к реальности, требовал уважительного отношения к фактам, четко проводя границу между фактами и теорией, которую считал "мнением". Он никогда не отклонялся от поставленной цели, от поиска и идентификации фактов, был всегда против всяких попыток затуманить вопрос, усложнить его без надобности, был против пустого теоретизирования и софистики.

Однако это нисколько не означало его отрицательного отношения вообще к теоретическим построениям. Его взгляд на эксперимент и теорию лучше всего передают его собственные слова: "Наблюдая за быстрым развитием физики, я все больше поражаюсь мощью научного метода познания Природы, — говорил он. — Эксперимент, поставленный дисциплинированным мышлением одного исследователя, а еще лучше — группы различно мыслящих ученых, способен привести к результатам, далеко превосходящим одни лишь умозрения даже крупнейшего мыслителя. Эксперимент без теоретических умозрений или умозрения вне связи с экспериментом значат весьма немного; для действительного прогресса необходимо счастливое их сочетание" [231, с. 367].

По воспоминаниям Дж.Чэдвика, в поле зрения Э.Резерфорда находился каждый исследователь-студент, каждый из них ощу-

щал на себе влияние незримого внимания и испытывал временами всю мощь характера профессора, увлекающего своим энтузиазмом нерешительных и робких, заставляющего проявлять все то лучшее, что скрыто у студента. Не случайно именно этот момент отмечает Г.Брэгг: "В лаборатории его помощники шли вперед без страха и сомнений к тем выводам, которые он сам предсказал ясно и определенно накануне эксперимента. Возможно, поэтому мы можем понять, почему такая тонкая работа вышла из лабораторий, которыми он успешно руководил, и почему в те дни физическая наука обогатилась так значительно" [474, с. 752].

Особую симпатию питал Э.Резерфорд к молодым людям, не имеющим еще достаточного научного опыта. Он старался подыскивать им такие задачи, которые были бы ими выполнимы. Он хорошо знал, как быстро теряет терпение и выдержку молодой физик, если он не получает обнадеживающего результата. Но особенно большое значение Резерфорд уделял поддержке даже незначительной искорки оригинальности своих подопечных.

Когда подходило время публикации результатов, он сам читал статью, проявляя при этом величайшее внимание и осторожность, часто предлагая те или другие изменения, которые, по его мнению, необходимы, а иногда советовал переписать и отдельные разделы. Ни одна статья не покидала лабораторию, пока Резерфорд не был полностью удовлетворен ее содержанием. Трудно переоценить ту пользу, которую приносило начинающим физикам такое покровительство профессора.

Немаловажное значение для исследователей-студентов имели лекции, читаемые Э.Резерфордом. Они были живыми, современными и предназначались в первую очередь физикам. Курс этих лекций под названием "Строение материи" был глубоко личностным, так как давал историческую панораму развития атомной физики за несколько последних десятилетий, неотделимой от деятельности Кавендишской лаборатории и самого Резерфорда. Лекции сопровождались многочисленными слайдами, диаграммами, фотографиями, записями экспериментов, графиками. "Не было никакого сомнения в том, что мы слушаем великого ученого, который повествует эпическую историю, — писал С.Девонс. — Это было скорее похоже на рассказ о великой научной экспедиции из уст главы экспедиции. Он не говорил о том, что думает он сам (или кто-либо другой) по поводу того или иного явления, а объяснял, как оно происходит в природе, как было открыто" [362, с. 40].

Правда, в ordinarilyном смысле слова, его нельзя было назвать хорошим лектором, за исключением разве тех случаев, когда он излагал своими словами собственные свежие мысли. При этом, как отмечал М.Олифант, "... его энтузиазм и давление его мыслей

были настолько велики, и он был настолько насыщен ими, что его одухотворенность без труда передавалась всем слушателям" [477, с. 26]. А это было намного важнее и полезнее правильно построенной, но сухой лекции.

Своего рода событиями в жизни Кавендишской лаборатории были и еженедельные (по средам) коллоквиумы в Максвелловской аудитории, проходившие под председательством Резерфорда. Лекторами обычно выступали видные ученые, и лекции предназначались в основном для преподавателей университета, приезжих ученых и исследователей. В заключение Резерфорд давал оценку лекции, комментировал ее, делал критические замечания, задавал вопросы, инициировал вопросы аудитории. На этих лекциях, как и на собственных, всегда четко и однозначно выражалась позиция Резерфорда к физическим проблемам: какова цель, каковы факты, каково соответствие их реальности?

В руководстве исследователями-студентами Э.Резерфорд опирался на своих ближайших помощников. В Манчестере таким доверенным лицом был Х.Гейгер, здесь в Кембридже — сначала Дж.Чэдвик, затем Ч.Эллис, Дж.Кокрофт, П.Л.Калица и М.Олифант. Многие старшие коллеги фактически руководили начинающими физиками. Большую роль играл Дж.Чэдвик, переехавший в Кембридж с Резерфордом из Манчестера. Он лучше, чем Резерфорд, знал, кто чем занимается в лаборатории, заботился о том, чтобы студенты получали необходимые приборы, "тренировал" новичков для исследовательской работы в лаборатории так называемого детского сада, совместно с Резерфордом отбирал темы исследований для большинства студентов, организовывал коллоквиум. Дж.Чэдвик читал все журналы и знал обо всем, что происходило в тех областях физики, которые могли быть интересными для Кавендиша. И если попадалось что-нибудь стоящее, то через некоторое время уже кто-то в лаборатории начинал работать над ним: это означало — "быть начеку". Дж.Чэдвик был самым близким соратником и коллегой Резерфорда в Кембриджский период.

Кроме личных контактов с Э.Резерфордом, в общем-то не очень частых, исследователи-студенты всегда и во всем ощущали его незримое присутствие. "Оно передавалось нам через его учеников — старших сотрудников Кавендишской лаборатории и ветеранов — лабораторных служащих и ассистентов, — вспоминал С.Девонс. — В даваемых нерегулярно советах и замечаниях о нашей работе, в поощрениях на научных дискуссиях и коллоквиумах нетрудно было проследить, что вся работа являлась воплощением духа Резерфорда и отражением его стиля. И в повседневной работе в лаборатории всегда отчетливо ощущался авторитет Резерфорда..." [232, с. 71].

Э.Резерфорд всегда был рад успехам своих учеников. В связи с этим интересно привести слова П.Л.Капицы, описывающие эту уникальную его черту. "Как-то в одном из откровенных разговоров, — писал П.Л.Капица, — Резерфорд мне сказал, что самое главное для учителя — научиться не завидовать успехам своих учеников, а это с годами становится нелегко! Эта глубокая истина произвела на меня большое впечатление. Главным свойством учителя должна быть щедрость. Несомненно, Резерфорд умел быть щедрым, это, по-видимому, главный секрет того, что из его лаборатории вышло столько крупных ученых..." [232, с. 36]. В лаборатории Резерфорда всегда была деловая, творческая обстановка, работалось свободно и легко. Ученики для Резерфорда, в свою очередь, играли огромную роль, они не позволяли ему отставать от жизни, недооценивать новое, заставляли, как он сам говорил, оставаться молодым.

В результате Э.Резерфорду удалось воспитать многих самостоятельных исследователей, внесших большой вклад в развитие физики и создавших свои собственные коллективы учеников. Девять его учеников — П.Блэккетт, Н.Бор, О.Ган, П.Л.Капица, Дж.Кокрофт, С.Пауэлл, Э.Уолтон, Д.Хевеши, Дж.Чэдвик стали лауреатами Нобелевской премии, а Н.Бор, П.Блэккетт и С.Пауэлл — к тому же основателями своих научных школ.

Кроме описанных выше результатов, в Кавендишской лаборатории Э.Резерфордом и его учениками был осуществлен еще ряд фундаментальных открытий. Предсказав в 1920 г. нейтрон, Резерфорд никогда не оставлял мысль о его существовании и "заразил" этой идеей Дж.Чэдвика. В последующие годы они предприняли несколько попыток обнаружить его. В частности, в исследованиях по расщеплению легких элементов α -частицами они всегда помнили о возможности излучения нейтронов [494].

Однако непосредственные предпосылки к его открытию дали физики из других центров. В 1930 г. В.Боте и Г.Бекер обнаружили, что при столкновении с некоторыми легкими элементами α -частиц, например с бериллием, испускается слабое, но весьма проникающее излучение (излучение Боте — Бекера). Они приняли его за жесткое γ -излучение [190, с.140 — 141]. Экспериментируя с бериллиевым излучением от источника полония, Г.Вебстер в Кавендишской лаборатории установил (июнь 1931), что оно в направлении падения возбуждающих его α -частиц более проникающее, чем в обратном направлении. "Этот точно установленный факт взволновал меня, — писал впоследствии Дж.Чэдвик. — Его можно было легко объяснить, лишь предполагая, что излучение состоит из частиц, судя по их проникающей силе, нейтральных" [190, с. 8]. Это было первое указание на нейтрон.

В январе 1932 г. И. и Ф.Жолио-Кюри установили удивительное

свойство бериллиевого излучения — способность выбивать протоны из водородсодержащих веществ [190, с. 141—143]. Считая излучение от бериллия электромагнитным излучением высокой частоты, они обнаружили, как писали, что оно "способно освободить в водородсодержащих веществах протоны и придавать им высокие скорости" [190, с. 143].

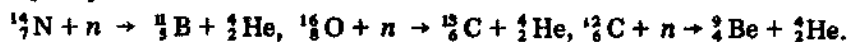
Сразу же после сообщения в печати об "эффекте Жолио—Кюри" (11 января 1932) Дж. Чэдвик провел несколько опытов, показавших, что бериллиевое излучение выбивает частицы из водорода, гелия, лития, бериллия, углерода, воздуха и аргона, и установил, исходя из длины пробега и ионизационной способности, что частицы, выбиваемые из водорода, являются протонами со скоростями до $3,2 \cdot 10^8$ см/с. "... Результаты, полученные мною в ходе работы, очень трудно объяснить, исходя из предположения, что излучение, испускаемое бериллием, представляет собой электромагнитное излучение, если при столкновении должны сохраниться энергия и количество движения, — писал Дж. Чэдвик в статье от 17 февраля 1932 г. — Однако трудности исчезают, если предположить, что излучение состоит из частиц с массой 1 и зарядом 0, т.е. из нейтронов. Можно предположить, что в результате захвата α -частиц ядром ${}^9_4\text{Be}$ образуется ядро ${}^{12}_6\text{C}$ и испускается нейтрон" [190, с. 143—144]. Иными словами, Дж. Чэдвик постулировал, что ядерная реакция идет согласно уравнению: ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + n$.

Таким образом, настойчивость кавендишцев в поиске нейтрона, постоянная вера в его существование привели к заслуженному успеху. В этом факте слились воедино экспериментальное мастерство его исполнителя, дух и традиции лаборатории, линия преемственности учитель — ученик и, наконец, ощущение нейтрона. Любопытно привести воспоминания автора открытия Дж. Чэдвика о тех событиях. "Я беспристрастно приступил к работе, хотя мысли мои были, естественно, сосредоточены на нейтроне. Мне было ясно, что наблюдения Кюри—Жолио нельзя приписать эффекту Комптона, с которым мне не раз приходилось сталкиваться. Я был уверен, что здесь нечто новое и незнакомое. Несколько дней напряженной работы оказалось достаточно, чтобы показать, что эти странные эффекты обязаны своим происхождением нейтральной частице; мне удалось также измерить ее массу. Нейтрон, существование которого предположил Резерфорд в 1920 г., наконец, обнаружил себя ... Нет необходимости говорить о моем удовлетворении и восторге в связи с тем, что продолжительные поиски нейтрона в конце концов увенчались успехом. Решающий шаг, однако, был сделан другими... И все же я не могу избавиться от чувства, что должен был бы добиться цели быстрее... Но, несмотря на все это, я должен признать, хотя бы для себя, что

не смог достаточно глубоко продумать свойства нейтрона, особенно те из них, которые наиболее ясно свидетельствуют о его существовании" [190, с. 8—9].

В том же году Дж.Чэдвик, используя реакцию ${}^1_1\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + n$, оценил и массу нейтрона — 1,0067 массовых единиц, Ф.Ди дал первые экспериментальные доказательства нейтральности нейтрона, а Н.Фезер независимо от И. и Ф.Жолио-Кюри и Л.Мейтнер установил, что энергия нейтронов, возникающих при бомбардировке бериллия и бора α -частицами полония, лежит в довольно широких пределах.

Открытие нейтрона явилось в физике событием огромной важности. В Кавендишской лаборатории Н.Фезер показал, что нейтроны представляют чрезвычайно эффективное средство превращения элементов, осуществив (1932) первые ядерные реакции под действием нейтронов на азоте, кислороде и углероде [379]:



Одним из первых систематических исследований с нейтронами начал Ф.Ди. В 1934 г. Дж.Чэдвик и М.Гольдхабер на основании превышения массы нейтрона над массой протона предположили нестабильность нейтрона относительно β -распада, который должен происходить по схеме $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ [343]. В этом же году Д.Ли открыл новый тип реакции с нейтронами — (n, γ) , или радиационный захват [457]. Можно сказать, что в Кавендишской лаборатории было положено начало нейтронной физике и нейтронной спектроскопии. Благодаря нейтрону в том же 1932 г. удалось построить и новую, ныне общепринятую, модель ядра, согласно которой ядра всех элементов состоят из протонов и нейтронов (Д.Д.Иваненко, В.Гейзенберг) [103].

Появление нейтрона привело к далеко идущим последствиям, причем не только в физике. Следующий важнейший шаг в нейтронной физике осуществил другой ученик Э.Резерфорда — О.Ган, который в декабре 1938 г. совместно с Ф.Штрассманом обнаружил деление ядер урана под действием нейтронов [190, с. 162—165]. В результате был открыт путь к практическому освобождению атомной энергии. На этом пути резерфордовские ученики также получили ряд важных результатов.

Как уже отмечалось, в 1919 г. Э.Резерфорд предсказал возможность искусственного получения α -частиц и подобных им ядерных снарядов большой энергии. Эта идея не покидала его долгое время. В 1927 г. на торжественном собрании Лондонского королевского общества в своей президентской речи он отмечал, что его давней мечтой является изучение "питания атомов и электронов, которые имели бы энергию, намного превышающую энер-

гию α - и β -частиц от радиоактивных тел". В развитие этой идеи в Кавендише начались эксперименты. Первые опыты по получению высокоскоростных электронов с помощью электронных ламп высокого напряжения осуществил Т.Аллибон.

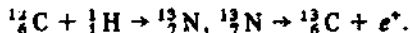
Стимулом для успешной работы в этом направлении были теоретические исследования Дж.Гамова, Р.Гёрни и Э.Кондона, применивших (1928) квантовую механику к изучению явления прохождения частиц через потенциальный барьер (теория α -распада) [395, 404]. Было показано, что частицы даже с относительно не очень большой энергией могут с определенной вероятностью проникать через потенциальный барьер (т.е. в ядро) за счет туннельного эффекта, а также, что более эффективными ядерными снарядами являются протоны.

Отталкиваясь от этих работ, проблемой ускорения протонов в Кавендишской лаборатории занялся (1928) Дж.Кокрофт, получивший полную поддержку Э.Резерфорда. В 1932 г. он совместно с Э.Уолтоном сконструировал высоковольтную установку для искусственного ускорения протонов — каскадный генератор (ускоритель Кокрофта—Уолтона), на которой они в апреле 1932 г. осуществили первую ядерную реакцию с искусственно ускоренными протонами — трансмутацию ядер лития [350]: ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$. И в этих исследованиях поддержка и энтузиазм Резерфорда благоприятно повлияли на ход работы. В октябре 1932 г. эта же реакция была осуществлена в Харьковском физико-техническом институте А.И.Лейпунским, К.Д.Синельниковым, А.К.Вальтером и Г.Д.Латышевым [501].

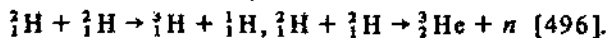
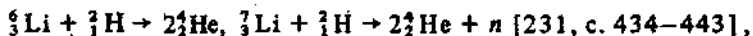
В 1933 г. Дж. Кокрофт и Э.Уолтон также впервые осуществили трансмутацию бора и фтора ускоренными протонами [351]:



а в 1934 г. впервые получили с ними искусственную радиоактивность [349]:

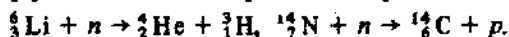


Следует сказать, что и сам Э.Резерфорд не остался в стороне от подобных исследований, начав работать в этой новой области. Совместно с М.Олифантом он построил прибор для ускорения ионов (дейтронов), получив напряжение около 250000 В и скомпенсировав это напряжение увеличением ионного тока. Это дало возможность использовать ускоренные дейтроны для бомбардировки ядер различных элементов и открыть много интересных ядерных реакций, в частности, реакции:



В результате осуществления первых двух реакций (Э.Резерфорд, М.Олифант и Б.Кинси, 1933) была экспериментально доказана справедливость соотношения $E = mc^2$ в ядерных реакциях и впервые на ускорителях получены нейтроны; в третьей и четвертой реакциях (Э.Резерфорд, М.Олифант и П.Хартек, 1934) — открыты сверхтяжелый изотоп водорода — тритий и изотоп гелия — гелий-3. К тому же третья реакция представляет собой впервые полученную реакцию синтеза легких элементов, а четвертая имеет большое практическое значение, так как позволяет получать строго моноэнергетические нейтроны с помощью дейтронов со сравнительно малой энергией.

Таким образом, Э.Резерфордом и его учениками была ярко продемонстрирована чрезвычайная эффективность получения превращения многих элементов бомбардировкой быстрыми частицами, ускоренными в специальных устройствах. Однако в лаборатории было показано, что эти превращения можно также осуществить с помощью γ -лучей высокой энергии. Так, в 1934 г. Дж.Чэдвик и М.Гольдхабер осуществили фоторасщепление дейтрона (ядерный фотоэффект) [343]: ${}^2_1\text{H} + \gamma \rightarrow {}^1_1\text{H} + n$. Это был новый способ получения ядерного превращения. В случае получения интенсивного источника γ -квантов высокой энергии можно было надеяться на необычайную перспективность нового метода. Ими же независимо от группы Ферми были открыты (1935) ядерные реакции с участием медленных нейтронов, которые оказались очень эффективными ядерными снарядами:



Первая реакция явилась источником получения радиоактивного трития, вторая — радиоактивного углерода.

К крупным достижениям школы принадлежит также создание камеры Вильсона, управляемой счетчиками, позволившей перестроить позитрон, обнаружить явления образования электрона и позитрона из γ -кванта, электронно-позитронных ливней в космических лучах (П.Блэкетт, Дж.Оккалини, 1933) [323].

Следует отметить также ряд важных исследований, проведенных другими учениками Э.Резерфорда в Кавендишской лаборатории. Так, изучая прохождение α -частиц через вещество и проводя точные измерения ионизационной кривой, Дж.Гендерсон открыл (1922) явление захвата и потери электронов. Ч.Винн-Вильямсом были разработаны остроумные методы автоматического счета частиц, широко применяемые во многих лабораториях. Ч.Эллис, продолжая манчестерские опыты Э.Резерфорда, Г.Робинсона и У.Роулинсона, прерванные войной, детально исследовал β - и γ -спектры. Он обнаружил связь между отдельными линиями этих спектров и указал, что это явление можно исполь-

зовать для изучения спектра γ -лучей. При этом Ч.Эллис предположил существование в ядрах атомов дискретных уровней энергии. В дальнейшем он показал, что происхождение γ -лучей обусловлено переходами ядра с одного энергетического уровня на другой.

В 1927 г. Ч.Эллис совместно с У.Вустером выполнил измерения средней энергии электронов в β -распаде (опыт Эллиса—Вустера) [373]. Результаты опыта показали, что непрерывный характер β -спектра связан с каким-то "внутренним свойством" электронов распада, а не с вторичными процессами. В то же время этот опыт, а также аналогичные исследования Л.Мейтнер указывали, что при β -распаде имеет место кажущееся нарушение закона сохранения энергии. Для объяснения этого загадочного явления и "спасения" закона сохранения энергии В.Паули в 1930—1931 гг. выдвинул идею нейтрино, которая оказалась очень плодотворной.

В лаборатории Г.Мессии был начат большой цикл исследований по атомным столкновениям, а П.Л.Капицей — разработка методов и установок получения сверхсильных магнитных полей и сверхнизких температур. В частности, в 1924 г. П.Л.Капица предложил новый метод получения импульсных сверхсильных магнитных полей (напряженностью до 500 тыс. Э). Получив рекордные значения магнитного поля, он изучил его влияние на различные физические свойства вещества. Создал новые методы ожижения водорода и гелия, сконструировал новые типы ожижителей — поршневые, детандерные и турбодетандерные установки. В 1934 г. построил ожижитель гелия детандерного типа производительностью 2 л/ч. Турбодетандер Капицы заставил пересмотреть принципы создания холодильных циклов, используемых для ожижения и разделения газов. Работы П.Л.Капицы в новых областях привели к организации в 1930 г. лаборатории низких температур при Лондонском королевском обществе (лаборатория Монда), которую он возглавлял до своего отъезда в СССР (в 1924—1932 гг. Капица был заместителем Резерфорда по Кавендишской лаборатории).

Исследования по физике низких температур активно продолжались П.Л.Капицей в Институте физических проблем в Москве, где им в начале 1938 г. было открыто явление сверхтекучести гелия II (несколько раньше Дж.Аллена и А.Майзнера в лаборатории Монда) [117, 312].

Еще раз возвращаясь к научным заслугам Э.Резерфорда и перечитывая написанное о нем, убеждаешься в однозначности вывода, что Резерфорд — личность и в науке, и в жизни. Современники называли его "Ньютоном атомной физики". И это действительно так. Резерфорд заложил основы ядерной физики,

открыв многие закономерности атомного мира, стоял у истоков нейтронной физики и ускорительной техники, теории атома и атомного ядра. Ему выпало редкое счастье наблюдать за результатами и успехами своих многочисленных учеников, видеть частицу своего "я" в созданной им обширной физической школе. Прекрасно понимая возрастающую роль коллективного труда в современной науке, он говорил: "Успех ученых зависит не от идей отдельного человека, а от объединенной мудрости многих тысяч людей, размышляющих над одной и той же проблемой, и каждый вносит свою небольшую лепту в великое здание знания, которое постепенно воздвигается" [231, т. 2, с. 492].

И это стремление к "объединенной мудрости" он наглядно демонстрировал всей своей деятельностью, когда привлекал в свою лабораторию молодых физиков, воспитывал из них настоящих ученых, проводил с ними совместные исследования. Можно сказать, что для Резерфорда его ученики, его научная школа и были "объединенная мудрость" и "коллективный разум", которые и привели к выдающимся открытиям. Как-то в связи с одним открытием Резерфорду сказали, что он счастливый человек и всегда находится на гребне волны. На что тот ответил, что делает эту волну сам. Можно без преувеличения сказать, что его волна всегда шла рядом с ним, потому что, как писали Дж.Чэдвик и А.Ив, "он обладал тремя драгоценными качествами — глубокой интуицией, прекрасным воображением и сильной любовью к правде" [376, с. 422—423]. Но он любил также сильно физику, своих близких и учеников, и мир, ибо, как он говорил еще в 1923 г., "мир во всем цивилизованном мире является залогом успешного развития науки и общего благосостояния" [231, т. 2, с. 368].

2. ЛЕЙДЕНСКАЯ ШКОЛА Х.КАМЕРЛИНГ-ОННЕСА

С именем видного нидерландского физика-экспериментатора Х.Камерлинг-Оннеса (Оннеса) связано не только появление нового научного направления — физики низких температур, но и, что менее известно широкой физической аудитории, создание первой низкотемпературной физической школы. Последняя неразрывно связана с организованной им криогенной лабораторией, получившей под его началом бурное развитие и широкое общественное признание, став фактически крупным научно-исследовательским институтом. По мере развития лаборатории формировалась и его школа. Все это стало возможным благодаря тому, что Оннес обладал незаурядным талантом экспериментатора и организатора, огромной энергией, неиссякаемым энтузиазмом, большой изобретательностью, трудолюбием, целеустрем-

ленностью, интуицией, доброжелательностью. Где Хаас-Лоренц отзывалась о нём как об "удивительно энергичном и талантливом физике и организаторе" [405, с. 445], а Х.Казимир "как о человеке с широчайшим кругозором, исключительной целеустремленности, человеку, достигшем замечательных успехов, как о выдающемся администраторе, строгом, но великодушном человеке..." [340, с. 159]. В материалах об Оннесе, помещенных в "Obituary Notices" Лондонского королевского общества, писалось: "Веселый, активный и доброжелательный директор создавал в лаборатории атмосферу товарищества и сотрудничества, чтобы вершить большие дела. Благодаря его предусмотрительности и организаторскому таланту в лаборатории все было упорядочено и хорошо организовано, каждый эксперимент и научное исследование тщательно спланированы и проводились постепенно до успешного завершения. Камерлинг-Оннес был великим мастером экспериментальной методики и год от года эта методика измерений постоянно разрабатывалась и совершенствовалась... Он всегда был другом и лидером своих сотрудников, помощником и советчиком всех, кто нуждался в его помощи" [407, с. V]. Эти качества ученого и организатора науки сделали Оннеса научным лидером коллектива лаборатории и в итоге привели к созданию большой и исключительно продуктивной научной школы, которой были заложены основы физики низких температур.

Формирование представлений о низких температурах, их получение и измерение относится к началу XVIII ст. Однако прошло почти два столетия, прежде чем низкие температуры стали мощным инструментом исследования вещества, сыграв решающую роль в изучении конденсированного состояния. Уже отчетливо эта роль проявилась непосредственно после ожижения в 1908 г. Оннесом гелия и исследования им, его сотрудниками и учениками свойств различных веществ при гелиевых температурах (4,2 — 1 К). Тогда же было открыто много новых фактов и закономерностей фундаментального значения. Поэтому 1908 г. целесообразно считать началом собственно физики низких температур как раздела физики, изучающего свойства вещества и процессы при температурах вблизи абсолютного нуля, когда тепловое движение атомов вещества существенно подавлено глубоким охлаждением и на первый план выступают квантовые эффекты.

Период же до 1908 г. следует рассматривать как предысторию физики низких температур, в основном связанную с молекулярной физикой [184]. В конце 80-х годов XIX ст. в исследованиях низких температур наступил новый этап, который характеризовался стремлением к получению все более низких температур, ближайших к абсолютному нулю, и изучением при этих температурах явлений и свойств вещества. На этом этапе и началась

научная деятельность Х.Камерлинг-Оннеса [353, 405, 407, 435, 436].

Хейке Камерлинг-Оннес родился 21 сентября 1853 г. в Гронингене, где в 1870 г. поступил в университет. С октября 1871 г. по апрель 1873 г. учился у Р.Бунзена и Г.Кирхгофа в Гейдельбергском университете. Затем продолжил учебу в Гронингенском университете, который окончил в 1878 г., там же в 1879 г. получил степень доктора философии. Уже в школьные и студенческие годы проявил способности к естественным наукам. В 1878—1882 гг. — ассистент Высшей технической школы в Делфте, где заявил о себе как многообещающий ученый. В 1882 г. стал профессором экспериментальной физики Лейденского университета и руководителем физической лаборатории, которая в 1883—1885 гг. была реконструирована, расширилась и специализировалась на создании криогенного оборудования и проведении низкотемпературных исследований. В 1894 г. на ее базе была организована Лейденская криогенная лаборатория, получившая в 1932 г. современное название — Лаборатория Х.Камерлинг-Оннеса [402]. В названных выше должностях Оннес пребывал до 1923 г. Умер Оннес 21 февраля 1926 г.

Уже через несколько лет после вступления в эти должности ему удалось несмотря на ограниченность выделяемых средств наладить постановку различных экспериментов. Исследования в лаборатории проводились в двух направлениях — в области молекулярной физики и низких температур (уравнение состояния, свойства смесей, критические явления, закон соответственных состояний, изотермы газов) и изучения термодинамических, электрических, магнитных и оптических свойств тел при этих температурах. "... Когда Камерлинг-Оннес организовал свою лабораторию, он сконцентрировал работу своих студентов в двух направлениях, — писал П.Эренфест. — Одно из них было посвящено молекулярной теории Ван дер Ваальса, а другое ... охватывало круг идей, высказанных в лоренцовских работах" [308, с. 204].

Под влиянием работ Ван дер Ваальса Х.Оннес заинтересовался уравнениями состояния и общими термодинамическими свойствами жидкостей и газов. И хотя идеи Ван дер Ваальса пленили его, он в то же время отчетливо понимал, что более необходимо не совершенствование существующей теории, а разработка обширной программы точных измерений объема, давления и температуры для газов и жидкостей в их взаимосвязи и в широком температурном интервале. Важной частью этой программы было распространение этих измерений до самого низкого достижимого уровня температуры. Получением таких температур, их удержанием в соответствующих криостатах и точным измерением и

заялся молодой Оннес. Другой частью его программы были точные измерения объемов и давлений.

В университете Х.Оннес проявил себя крупным организатором науки, положившим начало новому подходу к планированию и руководству научными исследованиями, экспериментатором с острым чутьем инженерных проблем, понимающим важность тщательного планирования и организации успешного эксперимента и развивающим физические идеи в таком масштабе, в каком они никогда раньше не осуществлялись в физических лабораториях, каждый его эксперимент был строго продуман и подготовлен.

В речи "Значение количественных измерений в физике" по случаю вступления в должность профессора Х.Оннес четко изложил свои взгляды на роль экспериментальных исследований, социальную роль и значение физики для общества. "Я твердо убежден в том, — говорил он, — что целью физики являются количественные измерения и во всех физических экспериментах приоритет должен быть отдан установлению зависимостей, получаемых на основе измерений тех или иных явлений. Над входом в каждую физическую лабораторию я поместил бы надпись "От измерения — к знанию" [340, с. 160—161]. Здесь, безусловно, Оннес явно преувеличивает роль количественных измерений, которые хотя и весьма важны, но не только на них одних основывается экспериментальная физика. "К счастью, Оннес был слишком хорошим физиком, чтобы строго придерживаться собственных узких принципов, — пишет в этой связи Х.Казимир. — ... Самые лучшие результаты были им получены при отступлении от собственного догматизма" [340, с. 161]. Однако Оннес одно прекрасно знал, что точные измерения являются последним арбитром теории.

В 1904 г. при вступлении в должность ректора университета Х.Оннес изложил программу криогенной лаборатории и все последующие годы стремился ее реализовать и превратить лабораторию в специализированный научно-исследовательский институт. И действительно, скоро его физическая лаборатория стала ведущей в стране и получила и международное признание. "Создав центр точных экспериментальных исследований, — отмечалось в [407, с. V], — он радушно принимал всех компетентных исследователей в эту дружескую и эффективную мастерскую знаний. Лишенный зависти и самомнения, он всегда беспокоился о том, чтобы в распоряжение научных работников любой национальности предоставлялось то оборудование и экспериментальная техника, которые были им созданы за годы интенсивного труда".

Х.Оннес был также первым ученым, который понял, что сложная современная экспериментальная техника требует хорошо под-

готовленного вспомогательного персонала и время профессорско-любителей прошло. В 1901 г. он основал при лаборатории Школу прибористов и стеклодувов, что явилось важным и весьма предусмотрительным шагом в деле подготовки первых криогенных кадров. Днем учащиеся школы работали в лабораторных мастерских, а по вечерам слушали теоретический курс, который им читали сотрудники Оннеса. Это позволило проводить в лаборатории многие сложные эксперименты.

Другим проявлением дальновидности Х.Оннеса было основание им в 1885 г. научного журнала "Сообщения из физической лаборатории Лейденского университета", в котором печатались результаты экспериментальных работ, выполненных в его лаборатории, теоретические же обзоры публиковались в "Приложениях" к "Сообщениям...". К тому же подробные описания экспериментальных методов и результатов каждого исследования, сопровождаемые техническими чертежами, систематически передавались в библиотеку и были доступны каждому работающему в лаборатории. В результате уникальные работы, проводимые Оннесом с учениками и сотрудниками, становились доступными широкому кругу физиков-криогеников. В течение нескольких десятилетий "Сообщения..." являлись своего рода библией низкотемпературных исследований, а Лейден — своеобразной Меккой для ученых, работающих в области физики низких температур. "Оннес широко распахнул двери Лейденской лаборатории перед учеными всего мира, которые хотели работать в области криогенной техники, — писал К.Мендельсон. — Благоприятные условия для исследований, а также впечатляющий размах работ Лейденской лаборатории сделали эти работы непревзойденными в своем роде на протяжении более чем четверти века" [184, с. 70]. Непосредственно к исследованиям низких температур Х.Оннес приступил в 1892 г., хотя именно этим целям и была подчинена вся его предшествующая деятельность по систематическому созданию криогенного оборудования. Причем объем низкотемпературных работ в Лейденской лаборатории и та стратегия массовой атаки в направлении абсолютного нуля, которую он избрал, не шли ни в какое сравнение с постановкой исследований в Королевском институте в Лондоне у Дж.Дьюара или в Краковском университете у К.Ольшевского, хотя они и достигли значительных успехов, проявив завидную энергию и целеустремленность в проведении низкотемпературных работ. В частности, в 1892 г. Дьюар изобрел сосуд для сохранения охлажденных газов (сосуд Дьюара), который и сегодня является необходимым атрибутом криогенной лаборатории, в 1898 г. получил жидкий водород, измерил его температуру кипения (~ 20 К) и определил температуру, соответствовавшую тройной точке на диаграм-

ме состояний (~ 16 К). Пытался ожидить водород и Ольшевский, но безуспешно [184].

Несжиженным оставался только гелий — газ, открытый в 1868 г. спектроскопически в атмосфере Солнца независимо П.Жансеном и Дж.Локьером, а в 1895 г. на Земле — У.Рамзаем и М.Траверсом. Именно на него обратили внимание Дьюар, Ольшевский и Рамзай с Траверсом, предприняв попытки его перевода в жидкое состояние.

Следует отметить, что 1895 г. был знаменателен также другим событием. В этом году К.Линде и У.Хемпсон независимо предложили новый метод охлаждения с использованием дросселирования сжатого газа (эффекта Джоуля — Томсона) и регенерации тепла в теплообменнике (последний был предложен Э.Сименсом в 1857 г.), на основе которого ими были сконструированы первые промышленные ожидители воздуха. Этим было положено начало технике низких температур [265].

Планомерно готовился к "штурму" гелия и Х.Оннес. Постоянным и кропотливым трудом, проявляя необычайную изобретательность, совершенствуя имеющееся оборудование и подготовку механиков, стеклодувов и научных работников, Оннесу удалось создать улучшенную каскадную систему охлаждения, включающую три последовательных автономных цикла, использующих хлористый метил, этилен и кислород. В 1892—1894 гг. в лаборатории была построена первая крупная достаточно эффективная ожидительная установка каскадного типа для кислорода, азота и воздуха производительностью 14 л/ч. Она была в эксплуатации несколько лет и обеспечивала быстрорастущие потребности лаборатории. Благодаря тому, что Оннес ввел в каскадные схемы теплообменники, каждый цикл в каскадной системе стал представлять собой паровую компрессионную холодильную машину. Это позволило получать очень низкие температуры и положило начало ожидению воздуха в больших масштабах. В 1894 г. Оннес располагал постоянной ванной жидкого кислорода с температурой 90 К и ниже. К 1904 г. в его распоряжении уже были большие количества жидкого воздуха, азота и кислорода и завершена работа над системой криостатов. Имея в достаточных количествах жидкий кислород, Оннес, его сотрудники и ученики получали возможность проводить измерения при этих температурах.

В 1882—1904 гг. параллельно с совершенствованием низкотемпературных криостатов и другого оборудования Оннес с сотрудниками разрабатывал точные методы измерения температур, давлений и объемов, исследовал изотермы газов и газовых смесей в широком интервале давлений и температур, конденсацию и критические явления в смесях, давление паров, плотность, вязкость и капиллярность ожиденных газов, оптические, магнитные,

магнитно-оптические и электрические свойства вещества при низких температурах, эффекты Керра, Холла и Зеемана [435, 436, 478].

Еще в 1881 г. Х.Оннес опубликовал важную работу по применению кинетической теории к жидкостям и газам, в которой закон соответственных состояний Ван дер Ваальса объяснил механическим подобием. Она стала исходной в исследованиях свойств тел при низких температурах. В дальнейшем Оннес проверил уравнение Ван дер Ваальса и улучшил его, уточнив в нем коэффициенты a и b . В результате многих последующих экспериментов он в 1901 г. придал ему более удобный для использования в экспериментах вид: $pV = A(1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \frac{D}{V^3} + \frac{E}{V^4} + \frac{F}{V^5})$, где A, B, C, D, E, F — вириальные коэффициенты, являющиеся функциями температуры [419].

В 1894 г. Х.Оннес и Х.Блом сконструировали водородный термометр для низких температур. Однако в связи с его недостаточной практичностью при периодических измерениях температуры Оннес начал изучать возможность применения для этих целей термозлемента и разработал его приемлемую конструкцию, служившую в качестве вторичного термометра, в дальнейшем он был заменен более надежным и точным термометром сопротивления, созданным в лаборатории в 1904 г. Мейлинком. Несколько раньше был разработан (1902) способ поддержания постоянной температуры в усовершенствованных к тому времени криостатах и сконструированы (1899) для измерения давления специальный манометр, а для объема сжатого газа — пьезометр, которые позволили Шалквейку провести в 1901 г. точные измерения изотермы водорода при температуре 20 °С и давлении до 60 атм. При низких температурах исследовались капиллярность (де Фриз, Ж.Вершафельт), эффект Холла (Лебре, Ван Эвердинген), смесь этана и закиси азота (Кюннен), измерялись диэлектрические проницаемости жидких закиси азота и кислорода (Хазенорль), расширение стекла (Хеюсе), водорода (Боден), изотермы кислорода и водорода в диапазоне температур от 20 до 0 °С (Хейндман, 1902) и т.д. В лаборатории П.Зееман открыл в 1896 г. явление расщепления спектральных линий в магнитном поле (эффект Зеемана), а Кюннен — обратную конденсацию.

Большой и важный цикл работ был выполнен по изучению свойств газовых и жидкостных смесей на основе теории смесей Ван дер Ваальса, в частности, по систематическому измерению изотерм ряда газовых смесей и построению диаграмм энергия — объем $\psi - V$ (Оннес, Кюннен, Вершафельт, Хартман, Закржевский, Кеезом и др.). Были не только определены ψ -поверхности для

отдельных смесей, но и построены их гипсовые модели (Х.Оннес, М.Рейнганум).

Эти пионерские исследования преследовали одну цель — вывести уравнение состояния простых веществ как важнейшей характеристики их поведения. Затем стало больше уделяться внимания изучению уравнения состояния однокомпонентных систем и личное участие Оннеса стало еще более плодотворным. В процессе работы с низкими температурами также приобретался бесценный опыт, росла квалификация исследователей, в лабораторию приезжали стажироваться многие ученые из разных стран. Это было началом формирования (90-е годы) школы Оннеса.

После "завоевания" кислорода Х.Оннес и его сотрудники обратили все внимание на водород. В июне 1905 г. в лаборатории было получено примерно 0,25 л жидкого водорода и принято решение о создании водородного ожигителя большей мощности. В феврале 1906 г. водородный цикл был готов, что дало возможность в том же месяце получать уже литры жидкого водорода, в мае начались первые измерения в нем. Производительность первого лейденского водородного ожигителя составляла 4 л/ч при рабочем давлении 180–200 атм. Усовершенствованная технология ожигения водорода дала возможность Оннесу в больших масштабах использовать ванны с жидким водородом, т.е. включить водородный цикл (в качестве пятого) в постоянную работу в лаборатории. Если в 1906 г. в лаборатории использовали 71 л жидкого водорода, то в 1907 г. — уже 167 л. Лейденская установка имела высокую надежность и хорошую для того времени производительность. Это позволило Оннесу на финишной прямой, ведущей к абсолютному нулю, обойти Дьюара и Ольшевского, чьи аппараты не шли ни в какое сравнение с лейденской установкой.

"В тот период, когда в большинстве лабораторий уровень техники не превышал герметизации с помощью воска и бечевки, а также замороженных изделий из стекла, — писал Х.Казимир, — Оннесу удалось поднять лабораторное оборудование на производственный уровень. Это была настоящая большая научная техника и достичь этого ему удалось только благодаря научной дальновидности, техническим знаниям, энергии, настойчивости, дипломатическому искусству..." [340, с. 166]. В статье об Оннесе его ученик Кеезом привел список сотрудников, принимавших участие в работах с жидким водородом: Кроммелин, Клей, Браак, А. и Ж.Беккерели, Ленард, Паули, Вейсс, Перье, де Хаас, Б.Бекман, мисс А.Бекман, Остерхейс, Дорсман, Вебер, мадам Кюри, Кеезом, Холст, Хоф, Кюйперс, Кэт, Вершафельт, Никайсе, Бюргерс, Матиас, Хадфильд, Вольтье, Паласиос, Тюйн, Джексон, Пеннинг,

Брейт, Вегард, Бокс, Вольфке, Свэллоу, Ковальский, Ван Агт [436].

Создание водородного ожигателя и последующее управление им позволило Х.Оннесу и его коллегам, накопив уже большой опыт криогенной работы, приступить к "штурму" гелия. Единственным подходящим для охлаждения гелия хладагентом являлся жидкий водород, имеющий температуру кипения 20,4 и тройную точку 14 К. Попытки превратить гелий в жидкое состояние предпринимались ранее Дьюаром и Ольшевским, но они оказались безуспешными. Дьюар определил точку кипения жидкого гелия — 5—6, Ольшевский ниже — 2 К.

В 1907 г. Х.Оннес опубликовал ряд измерений изотерм гелия в температурном интервале от 373 до 57 К, выполненных им с целью определения критических значений для гелия. Вскоре он произвел измерения при водородных температурах, в частности при температурах 20 и 14 К. В результате для критической температуры гелия Оннесом было получено значение около 5 К, что вселяло надежду на успех в его скором ожигении. В 1908 г. Оннес добыл из монацитового песка прокаливанием 360 л гелия для своих опытов. И, наконец, 10 июля 1908 г. после нескольких месяцев напряженной работы был получен жидкий гелий (более 60 см³) тем же методом, что и жидкий водород, с использованием эффекта Джоуля — Томсона [420]. Завершенный эксперимент был успехом как для людей, так и для оборудования. И не случайно Оннес в связи с этим говорил, что "в этом удачном эксперименте и человек и машина выложились до конца". В подготовке и проведении опыта с ожигением гелия участвовало большинство из названных выше сотрудников [435].

Велики, безусловно, и заслуги самого Оннеса — человека огромной энергии и большого таланта. "Ведь он был не только участником, он был вдохновителем всей работы, — писал В.Кеезом. — Он не просто уделял внимание каждой детали, он сам в полную меру своих способностей разрабатывал ее" [435, с. 20]. Следует упомянуть также постоянного помощника Оннеса по криогенной работе, руководителя мастерской — "шефа технического отделения" Г.Флима, и главного стеклодува О.Кессельринга. И не менее важно, что в процессе реализации программы достижения все более низких температур, создания соответствующего оборудования, получения жидких водорода и гелия и исследования свойств веществ при водородных и гелиевых температурах создавался коллектив специалистов в области криогеники, формировалась первая научная школа в этой области [353, 435]. Фундатором ее и руководителем на протяжении более 30 лет был Камерлинг-Оннес.

Ожижение гелия имело огромное значение для физики в целом, Ведь при этом были созданы не только новые экспериментальные методы исследования и новая техника, но и открыта совершенно новая область температур (вблизи абсолютного нуля), в которой можно было проводить изучение физических свойств вещества. Здесь уместно привести слова самого Оннеса, которые он произнес в своей Нобелевской речи 11 декабря 1913 г.: "...Я, конечно, был убежден, что исследование свойств тел при низких температурах даст объяснение многим из этих свойств. Но действительность далеко превзошла мои ожидания. Оказалось, что не только можно было в куда более высокой степени, чем ожидалось, упростить условия, при которых происходят явления, уменьшая тепловое движение, но возможно при помощи жидкого гелия сделать неожиданно большой шаг вперед: получить температуры, которые для некоторых свойств должны практически считаться абсолютным нулем. Открытия в других областях неожиданно связали многие свойства и сделали исследование их вблизи абсолютного нуля необходимым. Тепловая теорема Нернста и в особенности Планково учение о квантах и об энергии при абсолютном нуле выдвинули измерения при самых низких температурах на передний план физического интереса" [115, с. 221].

Овладев новым температурным интервалом, Х.Оннес приступил к изучению свойств тел при гелиевых температурах, осуществив со своими сотрудниками и учениками широкий комплекс термодинамических, электрических, магнитных и оптических исследований. В этом ему помогали Ж.Беккерель, Дж. Бокс, А.Ван Юрк, С.Вебер, Л.Вегард, А.Вольтье, М.Вольфке, В. де Хаас, Л.Дана, В.Кеезом, К.Кроммелин, Э.Матиас, Дж.Свэллоу, Г.Сизо, В.Тюйн, Р.Хадфильд, Г.Холст [353]. В последующие годы Оннесом и его сотрудниками были достигнуты новые низкие температуры, все более близкие к абсолютному нулю: 1,72 (1908), 1,38 (1909), 1,04 (1910), 1,00 (1919) и 0,83 К (1922) [116, 428], и открыт новый мир совершенно неожиданных и загадочных явлений, которые существенно повлияли на представления физиков [125, 183, 281]. Возникла новая область науки — физика низких температур, или в широком смысле физика макроскопических квантовых систем, основы которой были заложены Оннесом и его школой.

Будучи в течение 15 лет единственным обладателем жидкого гелия, Лейденская криогенная лаборатория до конца 30-х годов сохраняла в новом научном направлении лидирующее положение, именно в ней были получены основные фундаментальные результаты в этой области [125, 402]. Годы, последовавшие непосредственно за первым ожижением гелия, были посвящены

развитию экспериментальной техники, конструированию криостата, определению некоторых термодинамических постоянных. В первом историческом эксперименте по ожидению гелия Х.Оннес определил также (правда, грубо) плотность жидкого гелия, получив значение $0,15 \text{ г/см}^3$. Понижая давление пара над жидкостью, он также попытался достичь тройной точки, однако эта и последующие попытки оказались неудачными (только в 1911 г. Оннес выполнил заслуживающие доверия измерения критической точки гелия [421]). Отсутствие признаков образования твердого гелия заставило Оннеса предположить, что тройная точка гелия лежит за пределами возможностей его опытов. На самом же деле он получал при этом температуру, всего лишь на один градус отстоящую от абсолютного нуля. Правда, вскоре был сделан вывод, что гелий под давлением насыщенных паров остается жидкостью вплоть до самых низких достижимых температур. И в этом также заключалась необычность вновь открываемых явлений при гелиевых температурах.

В 1915 г. Х.Оннес и С.Вебер опубликовали результаты по определению температуры кипения гелия, введя в отсчеты по гелиевому термометру поправку на термомолекулярный эффект, и для измерения температур ниже точки кипения гелия разработали метод с использованием манометра Пирани. Ими же была получена серия значений упругости гелиевых паров и предложена формула для упругости в интервале $1,475\text{--}5,16 \text{ К}$ [434].

Х.Оннес впервые исследовал и характер зависимости плотности жидкого гелия от температуры (1911). Измерения выполнялись в температурном интервале $1,5\text{--}4,3 \text{ К}$ и зафиксировали максимум плотности вблизи температуры $2,2 \text{ К}$ [421]. В 1924 г. Оннес вернулся к этой проблеме, повторив с Дж.Боксом эксперимент с большей точностью [430]. В результате наличие максимума было установлено более отчетливо ($2,19 \text{ К}$) и Оннес квалифицировал этот факт как новое и интересное явление. В 1925 г. А. Ван Юрк, В.Кеезом и Х.Оннес осуществили измерения, которые привели их к выводу, что наблюдаемый максимум плотности обусловлен свойствами самого гелия, а не свойствами стеклянных сосудов [549]. В этой же работе они измерили в интервале температур $1,5\text{--}4,2 \text{ К}$ поверхностное натяжение жидкого гелия, находящегося в равновесии со своими насыщенными парами, наблюдая поднятие его в капилляре. В этом же году Э.Матигас, К.Кроммелин, Х.Оннес и Дж.Свэллоу провели измерения плотности жидкого гелия и его паров и получили значение критической плотности $\rho_{\text{кр}} = 0,06930$ (при $T_{\text{кр}} = 5,19 \text{ К}$) [468].

Однако понимание, что максимум плотности указывает на глубокие изменения в свойствах жидкого гелия, пришло к Оннесу после эксперимента по определению его скрытой теплоты испа-

рения, который он провел в 1926 г. совместно с Л. Дана [357]. Они нашли, что скрытая теплота испарения, оставаясь в первом приближении постоянной в интервале 1,5—3,5 К, принимает минимальное значение при температуре, совпадающей с температурой аномалии на кривой плотности (~2,2 К). Измерив также удельные теплоемкости жидкого гелия, под давлением его насыщенных паров при разных температурах Оннес и Дана и здесь столкнулись с удивительными явлениями. Опубликованные данные содержали значения, полученные при температурах выше 2,6 К, однако несомненно, что они проводили измерения и при более низких температурах, где имеет место максимум плотности. Они не решились опубликовать результаты измерений, так как считали их неправильными, или искаженными какими-то побочными процессами. А получены были очень высокие значения теплоемкости. Авторы предположили, что обнаруженные аномалии свидетельствуют о каком-то скачкообразном изменении, происходящем в жидком гелии при температуре ~2,2 К. Иными словами, они близко подошли к предсказанию возможности существования гелия в двух состояниях.

Полное исследование этой необычной проблемы провел В. Кеезом со своими учениками и сотрудниками. В 1928 г. совместно с М. Вольфке, измеряя диэлектрическую проницаемость жидкого гелия в зависимости от температуры, он обнаружил, что ее изменение аналогично изменению плотности, т.е. измеряемая величина обнаруживала некоторый разрыв при той же температуре, при которой плотность имела максимум [443]. Ими был сделан вывод, что при температуре 2,19 К жидкий гелий претерпевает своеобразный фазовый переход (причем в очень узком температурном интервале), свидетельствующий о существовании его в двух состояниях, которые переходят одно в другое при 2,19 К. Жидкий гелий в состоянии выше температуры перехода они назвали гелием I, а в состоянии ниже точки перехода — гелием II.

В 1932 г. В. Кеезом и К. Клузиус выполнили определения удельной теплоемкости жидкого гелия в области 1,3—4,1 К, обнаружив аномалию уже в температурной зависимости теплоемкости, которая на кривой теплоемкости по форме походила на греческую букву "лямбда" λ [439]. Изучив пик теплоемкости, они выяснили, что ее скачок происходит при температуре 2,19 К (λ -точка). К тому же, как ими было специально исследовано, скрытая теплота при этом отсутствовала, т.е. превращение, происходящее при температуре 2,19 К, не было связанным со скрытой теплотой перехода. Открытие λ -перехода представляло собой явление перехода гелия в состояние с аномальными свойствами. В более тщательных экспериментах Кеезома и его дочери А. Кеезом по изучению аномалии в теплоемкости жидкого гелия

было установлено (1932—1935), что падение теплоемкости с температурой происходит внезапно в интервале нескольких тысячных градуса [441]. В 1935—1936 гг. они исследовали изменение теплопроводности жидкого гелия при прохождении через λ -точку и обнаружили ее резкое возрастание [442]. Так, измерения при 1,4 и 1,75 К дали для теплопроводности жидкого гелия II значения ~ 190 кал/(с·см·°С), что намного превышало теплопроводность любого другого вещества. Чрезвычайно высокая теплопроводность ("сверхтеплопроводность") жидкого гелия, как оказалось, лишь одно из уникальных свойств гелия II, инициировавшая исследования явлений переноса в жидком гелии.

Следует заметить, что открытие λ -перехода в жидком гелии подтолкнуло П.Эренфеста рассмотреть (1933) подобный тип перехода в общих чертах [372]. В результате в физику было введено представление о фазовых переходах I и II рода и λ -переход трактовался как фазовый переход II рода, поскольку при этом отсутствовал "разрыв" в тепловой энергии, а имел место лишь скачок теплоемкости. В дальнейшем в жидком гелии было открыто еще много удивительных явлений: перенос пленки, эффект фонтанирования, сверхтекучесть [117, 312]. И от большинства из них генетическая линия ведет к работам Камерлинг-Оннеса.

В 1911 г. Х.Оннес открыл уникальное явление — исчезновение сопротивления некоторых металлов при гелиевых температурах [69, 422]. Значительно раньше он уже проводил исследования зависимости удельного сопротивления ряда металлов от температуры, снижая последнюю до точки кипения жидкого воздуха (~ 80 К). Для некоторых чистых металлов он установил, что сопротивление падает примерно линейно с температурой. Эти исследования Оннеса были продолжены Дьюаром, получившим к тому времени уже водородные температуры. Дьюар обнаружил, что сопротивление уменьшается, но несколько медленнее.

Это в какой-то степени находилось в соответствии с существующими теоретическими воззрениями на проводимость металлов, согласно которым электрическая проводимость металлов осуществлялась потоком свободных электронов, а электрическое сопротивление являлось результатом их столкновений с атомами. И линейный характер изменения проводимости с температурой вполне коррелировался с предполагаемым изменением характера движения электронов в металлах при понижении температуры. Правда, при этом допускалось, что при очень низких температурах электроны сконденсируются на атомах и сопротивление металла станет минимальным. Такова ожидаемая классическая картина поведения чистых металлов при снижении температуры. И это вначале старался доказать Оннес.

Действительность внесла существенные коррективы в предполагаемую картину. Измеряя сопротивление ртути в интервале 3—4 К, Оннес обнаружил, что оно претерпевает необычные изменения. Например, при температуре образца около 4 К его сопротивление составляло 0,08, а при 3 К — менее $3 \cdot 10^{-6}$ Ом, при повышении температуры до 4 К сопротивление возрастало вновь до 0,08 Ом. Более поздние измерения (1912—1913) Оннеса показали, что при малых токах падение сопротивления происходит скачком в температурном интервале порядка 0,01 К. В 1912 г. Оннес писал: "...Эти измерения показали, что, начиная с точки плавления водорода вплоть до окрестности точки кипения жидкого гелия, наблюдается обычное постепенное уменьшение скорости спадания сопротивления с температурой... Немного выше и немного ниже точки кипения гелия (в интервале 4,29—4,21 К) подобное медленное изменение сопротивления было ясно видно, однако в интервале 4,21—4,19 К сопротивление уменьшилось очень резко и при 4,19 К вообще исчезло..."

В возникшей ситуации важно было отказаться от бытовавшего классического взгляда, что сопротивление должно плавно уменьшаться с понижением температуры, и, поверив эксперименту, увидеть в нем совершенно новый физический факт. В 1913 г. Оннес уже определенно писал, что "ртуть переходит в новое состояние, которое вследствие его необычных электрических свойств может быть названо сверхпроводящим состоянием" [424]. В этом же году он ввел термины "сверхпроводимость" и "сверхпроводник". В экспериментах, приведших к открытию сверхпроводимости, Оннесу помогал Г.Холст. Вскоре (1913) Оннес обнаружил сверхпроводимость также у свинца и олова, а в 1922 г. совместно с В.Тьюном — у таллия и индия. В частности, в 1922 г. с ним он определил температуру перехода свинца в сверхпроводящее состояние $T_{кр} = 7,2$ К [431]. В 1913 г. Оннес впервые измерил сопротивление ряда сплавов при низких температурах: ртуть — золото, ртуть — кадмий, ртуть — олово [423], в 1926 г. с Тьюном — сопротивление сплава свинец — олово (твердого раствора), обнаружив у него более высокую температуру сверхпроводящего перехода, чем в случае чистого олова [432].

Следующий этап работ Оннеса заключался в изучении открытого сверхпроводящего состояния, в частности, при больших токах и в сильных магнитных полях. В 1913 г. он обнаружил разрушение сверхпроводимости током, а в 1914 г. — магнитным полем, когда сопротивление сверхпроводника восстанавливалось до его нормальной величины при наложении сильного магнитного поля [425]. В 1925 г. Оннес и Тьюн установили, что сопротивление образцов (бралось два цилиндрических образца, оси которых были направлены вдоль приложенного поля) восстанавливается

скачком в очень узком интервале магнитного поля [545]. В следующем 1926 г. они установили, что критическое значение тока непосредственно связано с критическим полем [546].

В 1914 г. Х.Оннес выполнил ряд экспериментов со сверхпроводящими катушками и кольцами [426]. В частности, он создал первый сверхпроводящий магнит на основе свинцовой проволоки, получив поле в 400 Гс, обнаружил незатухающие в течение нескольких часов токи в сверхпроводящей цепи (из свинцового проводника), что дало ему возможность разработать чрезвычайно чувствительный метод определения малых сопротивлений. В этом же году Оннес доказал, что незатухающий ток может быть возбужден электрической батареей и выключен путем разрыва сверхпроводящей цепи. В 1924 г. эти эксперименты были продолжены с В.Тьюном.

Широкий цикл низкотемпературных исследований проведен Х.Оннесом с Ж.Беккерелем, А.Перье, Э.Остерхейсом и А.Вольтье в области магнетизма. Еще в 1914 г., изучая парамагнитную восприимчивость сульфата гадолиния, Оннес показал справедливость закона Кюри — Вейсса вплоть до гелиевых температур [427]. Однако для ряда солей обнаружил в 1925 г. с А.Вольтье отклонение от этого закона при водородных температурах [559]. В 1923 г. они продолжили изучение сульфата гадолиния и обнаружили в нем парамагнитное насыщение в соответствии с теорией магнетизма Ланжевена [558]. Исследуя поведение солей хрома (CrCl_3), кобальта (CoCl_2) и никеля (NiCl_2) при гелиевых температурах, они обнаружили ферромагнетизм у CrCl_3 при переходе через точку Кюри. В 1921 г. Оннес совместно с Хадфильдом и Вольтье исследовал магнитные свойства ряда железоникелевых и железомарганцевых сплавов [345]. В 1925 г. Х.Оннес, В. де Хаас и Г.Сизо изучали влияние магнитного поля на сверхпроводящее состояние и обнаружили интересные закономерности, в частности, дискретности в кривой намагничивания.

Ряд оптических исследований Х.Оннес провел совместно с Ж.Беккерелем, В. де Хаасом, В.Кеезомом и Л.Вегардом. Еще в 1908 г., изучая с Беккерелем спектры поглощения кристаллов некоторых редких земель в магнитных полях при низких температурах, он открыл их упрощение при понижении температуры от 83 до 14 К, при которой полосы к тому же становились более узкими [318]. Этими экспериментами было положено начало низкотемпературной спектроскопии. В 1925 г. Оннес, Беккерель и де Хаас продолжили эти исследования, используя уже гелиевые температуры [346]. При температуре 4,2 К спектры оказались еще проще, чем при 14 К, и обнаруживали максимумы поглощения отдельных полос. При воздействии магнитного поля была открыта асимметрия в интенсивностях двух состав-

ляющих, соответствующих лучам света, поляризованным по кругу в противоположных направлениях, а также огромная вращательная способность. В том же 1925 г. Оннес, Вегард и Кеезом осуществили исследования спектров люминесценции твердых азота, аргона, неона и их смесей в интервале от 20 до 4,2 К и показали, что понижение температуры не вызывает каких-либо характерных изменений в виде спектров [347].

Нельзя не назвать также ряд других пионерских результатов, полученных Оннесом и его учениками. В 1914 г. он вместе с Холстом выполнил первые калориметрические измерения при гелиевых температурах, получив некоторые значения (предварительные) удельной теплоемкости и теплопроводности ртути. В 1924 г. с Кеезом, наблюдая дифракцию рентгеновских лучей на свинце выше и ниже $T_{кр}$, обнаружил, что получаемая дифракционная картина при этом не меняется [440]. Это приводило к выводу, что изменения постоянной решетки при переходе из нормального состояния в сверхпроводящее чрезвычайно малы. В 1925 г. Оннес и Г.Сизо открыли понижение $T_{кр}$ олова под давлением и ее повышение при растяжении [504]. В связи с трудностями в осуществлении подобных экспериментов они не проводились вплоть до 1948 г.

В течение многих лет Х.Оннес занимался также вычислением поправок к нормальному гелиевому термометру, в частности, в 1922 г. он совместно с П.Кэтом составил их таблицу, названную ими "временной" [341]. В 1923—1925 гг. Оннесом и его сотрудниками Ф.Пеннингом, Дж.Боксом, Ф.Ван Агтом и Дж.Паласиосом был опубликован ряд работ по измерению изотерм гелия. В 1924 г. Х.Оннес с М.Вольфке определил в высокочастотном электрическом поле диэлектрическую проницаемость жидкого гелия при температуре кипения [557].

В 1922 г. Х.Оннес, наблюдая перенос жидкого гелия между двумя концентрическими сосудами Дьюара, обнаружил выравнивание уровней жидкого гелия между сосудами (эффект Оннеса) и сделал вывод об особом механизме переноса в гелии [429]. В том же году он, понизив давление паров гелия до 0,013 мм рт. ст., достиг самой низкой тогда температуры 0,83 К [428]. В 1932 г. В.Кеезом, используя батарею мощных масляных диффузионных насосов, достиг температуры 0,71 К [438], а в 1935 г. В. де Хаас уже методом однократного адиабатического размагничивания парамагнетиков (магнитного охлаждения) получил кратковременную температуру 0,0044 К.

В 1926 г. Х.Оннес и В.Ван Гюлик исследовали изменение точки плавления водорода от давления [433]. Этот эксперимент привел В.Кеезома к мысли, что и при достигнутых температурах (следует заметить, что вплоть до температуры 0,83 К гелий оста-

вался жидким под давлением насыщенных паров) гелий можно перевести в твердую фазу с помощью давления. В этом же году он это и сделал, получив твердый гелий [437].

До 1923 г. все опыты с жидким гелием проводились в криостате, присоединенном к ожижителю (в 1911 г. Оннес впервые осуществил переливание жидкого гелия в криостат). В 1924 г. была успешно решена задача транспортировки жидкого гелия из одной комнаты лаборатории в другую, а уже в 1931 г. криостат, наполненный жидким гелием, доставили из Лейдена в Лондон.

Монополия Лейденской криогенной лаборатории на жидкий гелий окончилась в 1923 г., когда Дж.Мак-Леннан в Торонто построил водородный, а затем гелиевый ожижители по чертежам, предоставленным ему Оннесом. В 1925 г. завершил постройку гелиевого ожижителя по своему проекту в Берлинском институте мер и стандартов В.Мейсснер, стажировавшийся в свое время в Лейдене у Оннеса. В 1930 г. криогенная лаборатория была создана в Харьковском физико-техническом институте, в которой Л.В.Шубников уже в 1931 г. получил жидкий водород, а в 1932 г. — жидкий гелий. В последующие годы криогенные центры были основаны также в Оксфорде, Кембридже, Беркли, Вашингтоне и Москве.

Однако роль Лейденской криогенной лаборатории продолжала ощущаться по-прежнему в международном масштабе, хотя по некоторым направлениям физики низких температур вперед вышли уже другие лаборатории. Это влияние, безусловно, обуславливалось тем, что эта лаборатория долгие годы была международным центром криогенных исследований, определяющим научную идеологию в этой области, в ней подолгу работали и стажировались, получая "криогенное образование", ученые из многих стран мира, в том числе из молодой Советской России Л.В.Шубников, О.Н.Трапезникова, И.В.Обреимов и др. Лейденская лаборатория была детищем Оннеса в полном смысле этого слова, и даже уже после его выхода в отставку в 1923 г. она была расширена и полностью реконструирована по его собственному проекту, а ее руководителями (содиректорами) стали его ученики В. де Хаас и В.Кеезом, являвшиеся крупными авторитетами в физике низких температур.

И, пожалуй, самое главное, она всегда была основой школы физиков-экспериментаторов, созданной и руководимой талантливым педагогом, ученым и организатором Х.Камерлинг-Оннесом. Сам Оннес отмечал, "... что истинной характеристикой Лейденской лаборатории является состав ее служебного персонала и ближайших помощников, который мог сформироваться только при продолжительном ее функционировании. Благодаря непрерывному контакту с точными исследованиями в различных

областях экспериментальной физики, усваивая постепенно новые усовершенствования способов производства этих исследований при все более и более низких температурах, этот персонал приобрел традиции, позволяющие приложить всего приобретенного опыта и привычек к разрешению новых проблем самого разнообразного свойства" [116, с. 240].

Ядро школы Оннеса составляли, безусловно, нидерландские ученые: В. де Хаас, В.Кеезом, П.Зеeman, К.Кроммелин, Я.Клей, Й. Кюнен, Г. Холст, Э.Остерхейс, Ф. Пеннинг, Г. Сизо, В. Тюйн, В.Ван Гюлик, А.Ван Юрк, М. де Хаас, Ш.Хартман и др. Из зарубежных ученых, принадлежащих к школе Оннеса, следует назвать Ж.Беккереля, П.Вейсса, Э.Маттиса (Франция), Ж.Вершафельта (Бельгия), Л.Джексона, Р.Хадфильда (Англия), Л.Дана (США), Б.Бекмана (Швеция), Л.Вегарда (Норвегия), С.Вебера (Дания), А.Перье (Швейцария), М.Вольфке (Польша), Дж.Паласиоса (Испания) и др. И прав К.Мендельсон, когда писал, что "вклад в наши знания, внесенный лабораториями, которые специализировались в работе с низкими температурами, заключается не в получении больших количеств криоагентов, а в воспитании исследовательских школ, умеющих мыслить в терминах физики низких температур" [183, с. 12].

И Лейденская лаборатория, лейденская школа внесли не только огромный вклад в физику низких температур, заложили ее основы и открыли новые направления, но и создали определенный стиль в низкотемпературных исследованиях, который восприняло не одно поколение нидерландских физиков. Некоторые ученики Оннеса, став крупными учеными, сами воспитали многих учеников и создали собственные школы. Так, широко известны низкотемпературные школы В. де Хааса и В.Кеезома и магнитная школа П.Вейсса. Велик вклад Оннеса и его школы также в прикладные исследования и промышленность. Лично Оннес многое сделал для создания Международного института холода. Еще при жизни он был удостоен многих наград: в 1913 г. Нобелевской премии по физике за исследование свойств тел при низких температурах и получение жидкого гелия, а также медалей Б.Румфорда и Б.Франклина. Он был избран членом Нидерландской АН в Амстердаме и иностранным членом Лондонского королевского общества (1916), Академии деи Линчей (1918), АН СССР (1925) и др. Обществом холодильной техники Нидерландов учреждена премия им. Х.Камерлинг-Оннеса.

Еще на заре своей научной деятельности Х.Оннес предсказал, что точные измерения физических свойств при очень низких температурах обогатят наши знания о природе и строении вещества, и сегодня можно убедиться, насколько по: то современное развитие физики подтвердило мудрость его утверждений.

3. МЮНХЕНСКАЯ ШКОЛА А.ЗОММЕРФЕЛЬДА — ПЕРВАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

А.Зоммерфельд был не только выдающимся немецким физиком-теоретиком, одним из тех, кто превратил классическую физику в новую, или квантовую, но и выдающимся учителем, педагогом, своего рода "волшебником", обладающим искусством открывать и создавать физиков [319, 378, 516]. "Выявление и воспитание одаренных физиков, — писал Борн, — двумя этими особенностями Зоммерфельд обладает в чрезвычайной мере" [101, с.247]. Это же отмечал и А.Эйнштейн в письме к Зоммерфельду в январе 1922 г.: "Что меня особенно восхищает в Вас — это огромное число юных талантов, которых Вы выпестовали как будто из земли. Это нечто совершенно исключительное. У Вас, по-видимому, особое умение облагораживать и активизировать ум своих слушателей" [101, с.231].

А.Зоммерфельд представляет собой заметную фигуру на грани двух эпох в истории физики. "Арнольд Зоммерфельд, — писал М.Борн, — был одним из наиболее выдающихся представителей физики в период между классической и современной теоретической физикой. Работы, выполненные им в юности, были связаны еще с научными концепциями XIX в., но когда в первом десятилетии нашего века мощный поток, вызванный новыми экспериментальными и теоретическими открытиями, разрушил дамбы [привычных] традиций, он сделался лидером нового направления и в деле сочетания двух образов мышления оказал мощное влияние на молодое поколение. В этой комбинации классического образа мышления, неотъемлемыми составляющими которого были ясность в понимании вопроса и математическая точность в сочетании с духом исканий, характерных для пионеров, и следует искать корни научных успехов Зоммерфельда, в то время как исключительный дар выражения своих идей устным или письменным словом делал его великим учителем" [101, с.265].

Восторженно отзывался об А.Зоммерфельде и его прямой ученик В.Паули, отмечая его педагогический талант, позволивший ему воспитать не одно поколение физиков-теоретиков. "Вряд ли найдется еще один исследователь, — писал В.Паули, — которому бы удалось создать такой постоянно расширяющийся круг учеников, какой был создан Зоммерфельдом в Мюнхене. Ученики Зоммерфельда, к числу которых я с радостью могу причислить и себя, из многих стран по обе стороны Атлантики заботятся о том, чтобы передать академической молодежи, а тем самым и потомству, духовные традиции, воспринятые ими у Зоммерфельда" [209, с.229].

Но А.Зоммерфельд был не просто великим учителем, имевшим большое количество учеников, он создал в Мюнхене чрезвычайно эффективную физическую школу — первую в теоретической физике, в которой сформировались многие известные теоретики. "...Он был тем, кто основал школу теоретической физики еще при жизни, — писал М.Лауэ, — тем, которого на немецкой почве никогда не существовало" [456, с.518]. М.Борн отмечал, что "школа Зоммерфельда была исключительно плодотворной и из нее вышли ученые чрезвычайно высокого класса... Более легко составить перечень выдающихся физиков-теоретиков, которые не были зоммерфельдовскими учениками, чем тех, кто относился к их числу" [101, с.284].

Арнольд Иоганн Вильгельм Зоммерфельд родился 5 декабря 1868 г. в семье врача в Кёнигсберге (ныне Калининград). Здесь он учился с Г.Минковским, Вилли и Максом Винами в городской гимназии, здесь же окончил университет, где слушал лекции таких крупных математиков, как К.Линдеман, А.Гурвиц и Д.Гильберт. Особенно сильное впечатление на него производили лекции Гильберта. В 1891 г. А.Зоммерфельд был удостоен степени доктора философии за работу о произвольных функциях в математической физике. В 1893—1897 гг. работал ассистентом Ф.Клейна в Математическом институте в Гёттингене.

Ф.Клейн стал для А.Зоммерфельда истинным и основным учителем, примером, достойным подражания, с ним у него завязались дружеские отношения. Испытывая на себе в полной мере обаяние личности Клейна и влияние его индивидуальности, восхищаясь его лекциями, Зоммерфельд в то же время старался глубоко понять клейновский метод чтения, что оказало на него как на преподавателя решающее влияние. Ф.Клейн сосредоточивал внимание Зоммерфельда на проблемах математической физики и старался передать ему свое отношение к ним. Именно результатом такого воздействия и является работа Зоммерфельда по математической теории дифракции, в которой впервые было дано строгое решение задачи оптической дифракции для случая экрана в виде непрозрачной полуплоскости на основе нового оригинального метода, давшего возможность получить решение в форме интеграла по комплексной области, величина которого может быть определена численно [508]. Уже в этой работе проявилась сила и оригинальность математической мысли ее автора. В 1911 г. Зоммерфельд, изучая дифракцию рентгеновских лучей, расширил предложенный им метод и получил более менее достоверную оценку для длины волны рентгеновского излучения. Разработанный Зоммерфельдом метод стал в современной теоретической физике классическим. Итогом его совместной работы с Ф.Клейном был их четырехтомный труд "Теория гироскопа", начатый в 1895 г. и завер-

шенный в 1910 г., когда Зоммерфельд уже был профессором Мюнхенского университета. Первые два тома давали математическую трактовку проблемы, последние — ее применение.

Научное развитие А.Зоммерфельда как ученого проходило от чистой математики к прикладной и теоретической физике. Как отметил К.Вайцзеккер, Зоммерфельд пришел в физику из математики. Он посвятил свой талант теоретическому обоснованию и стимулированию экспериментальных исследований и, как считал сам, использовал его самым оптимальным образом. В 1898 г. Зоммерфельд дал теоретическую интерпретацию опытам Герца по распространению электромагнитных волн вдоль проводов, решив точно задачу и получив формулу зависимости поля от свойств материала проволоки. В дальнейшем вопросы распространения радиоволн по поверхности между двумя средами, вдоль Земли и т.д. активно разрабатывались Зоммерфельдом и его учениками. В частности, диссертация его ученика Д.Хондроса об электромагнитных колебаниях в диэлектриках явилась основополагающей работой в этой области.

В 1897 г. А.Зоммерфельд стал профессором математики Горной академии в Клаустале, а в 1900 г. — профессором механики Высшей технической школы в Ахене. В этот период круг его научных интересов был сконцентрирован как на технических задачах, так и на различных направлениях теоретической физики. Подобно Ф.Клейну он в основном сосредоточился на инженерных проблемах, чтобы показать своим новым коллегам и студентам, которые вначале недоверчиво восприняли его — чистого математика, насколько важна математика в инженерном деле. Он опубликовал ряд работ по динамической прочности материалов, колебаниям в динамомашине, гидродинамической теории смазки [102] и др., которые в Ахене создали ему надежную репутацию. Одновременно Зоммерфельд исследовал и проблемы динамики электронов, дифракцию рентгеновских лучей, сопротивление катушек переменному току. С помощью метода преобразования Фурье он вывел формулу для поля произвольно движущегося электрона, определил результирующие силы и импульс и получил формулу Абрагама для массы электрона, а также выражения, справедливые для случая движения с произвольным ускорением, в том числе со сверхсветовой скоростью (1904—1905) [509].

Однако в 1905 г. появилась специальная теория относительности Эйнштейна, заставившая пересмотреть ряд основных положений и понятий механики Ньютона. Она открыла новые пути осмысливания явлений и оказала сильное воздействие на сам стиль мышления физиков. Сложившаяся ситуация была своеобразным испытанием для А.Зоммерфельда так как перечеркивала ряд его результатов. Однако из этих испытаний А.Зоммерфельд вышел

убежденным релятивистом. И та часть работы 1905 г., в которой он рассмотрел движение электрона со сверхсветовой скоростью, и казалась вначале "похороненной" теорией относительности, в дальнейшем, как выяснилось, успешно может быть использована для случая движения частиц в среде со скоростью, превышающей скорость света в этой среде. Экспериментально это было подтверждено открытием (1934) эффекта Вавилова — Черенкова [300], а теоретически объяснено (1937) И.Е.Таммом и И.М.Франком [260]. И уже в пятом томе своих "Лекций по теоретической физике" Зоммерфельд дал очень изящный вывод эффекта Вавилова — Черенкова.

А.Зоммерфельд восторженно встретил и следующую великую физическую теорию — квантовую механику, приведшую к значительному перевороту в представлениях о физической картине мира, ибо ясно понимал, что в новых, малоизученных или вовсе неисследованных областях физики для описания явлений и фактов необходимы другие методы и подходы. Обладая колоссальной физической интуицией, он верил, что гармония природы найдет свое адекватное отражение в более совершенных формах математических соотношений, которые выведут ученые и внедрят в новую, построенную ими физическую картину мира. Эту черту творческого метода Зоммерфельда хорошо описал В.Гейзенберг: "Он любил классическую физику с ее точным выводом физических результатов из заданных вполне определенных представлений, но он понимал, что в новых областях физики, в которых законы природы еще неизвестны, такими методами ничего нельзя добиться. Здесь правомочным было угадывание математического описания явлений. Для этого необходимы были двоякого рода способности, которыми Зоммерфельд обладал в высокой степени: 1) точное эстетическое чувство возможных математических форм; 2) безошибочное чутье физического ядра проблемы" [410, с.534—535].

В 1906 г. А.Зоммерфельд возглавил кафедру теоретической физики Мюнхенского университета и Институт теоретической физики университета. В Мюнхен он приехал с П.Дебаем, своим первым учеником еще по Ахену, который разделил с ним успех в подготовке первых выпускников-физиков, так как именно здесь Зоммерфельд начал широко привлекать к научной работе большое количество студентов.

Этот период хорошо описал В.Гейзенберг: "Как и пример его подражания Феликс Клейн, Зоммерфельд показал силу своей личности, вовлекая в круг своих научных интересов молодых исследователей, пробуждая у них интерес к поискам и находкам, любовь к строгой красоте математических формул и тайнам очарования еще не понятых наукой связей. Он сознавал, что постигнуть все

премудрости науки по одним лишь лекциям крайне сложно, и поэтому давал своим студентам такие задачи, решая которые они познакомились бы с наиболее актуальными проблемами физики. При этом он принимал сам непосредственное участие в решении важнейших физических задач. На семинарах часто зачитывал письма Эйнштейна или Бора, в которых содержались новые размышления или результаты совместной работы. Большую часть своего времени Зоммерфельд отдавал ученикам, объединив их в общество, в котором со всей строгостью учителя, но вместе с тем по-дружески рассматривал даже личную жизнь своих подопечных... Он прививал молодым людям подлинно научные интересы, ценил в них прежде всего способность сосредоточиваться на чем-то одном, верил в их силу... Успех Зоммерфельда как учителя трудно сравнить с чем-либо. В этот период в области теоретической физики ни один ученый в стране не прошел мимо его школы..." [409, с.338].

В университете А.Зоммерфельд читал лекции по многим вопросам теоретической физики, причем не только по ясным, устоявшимся, но и дискуссионным. Организованные им еженедельные коллоквиумы и неформальные стихийные утренние собрания в кафе Хофгартен, в которых участвовали также студенты из лаборатории Рентгена и Высшей технической школы, привлекали многих студентов и молодых исследователей даже издалека и вскоре сделали Мюнхен центром теоретической физики. Необычайно старательно готовил Зоммерфельд каждый коллоквиум. "Многие выдающиеся ученые, — вспоминает их слушатель П.Эвальд, — воспитывались на коллоквиумах Зоммерфельда" [377, с.542]. По словам того же Эвальда, на них постепенно формировались взгляды его ранних учеников. Именно здесь в 1910—1935 гг. была создана обширная теоретическая школа Зоммерфельда.

Профессуру в университете А.Зоммерфельд оставил в 1938 г., но активную научную деятельность продолжал, направив всю свою неутомимую энергию исследователя и авторское мастерство на подготовку к изданию "Лекций по теоретической физике" [95—98, 100]. Шесть томов лекций, характеризующихся исключительной ясностью изложений и аргументации, стали хорошим наследством молодому поколению. Во время работы над пятым томом он попал в автомобильную катастрофу и после нескольких операций 26 апреля 1951 г. скончался.

В Мюнхене А.Зоммерфельд получил свои наиболее значительные научные результаты. В 1908 г. он впервые начал читать курс по теории относительности, из которого возникла целая серия его публикаций в этой области. В 1909 г. вышла в свет его работа по изучению стабильности ламинарного потока, явившаяся вкла-

дом в гидродинамическую проблему турбулентности. Огромное значение имели его исследования рентгеновских лучей. В частности, изучение испускания рентгеновских лучей при резком торможении электронов в результате удара о твердое тело привело (1911) Зоммерфельда к квантовой теории. Его теоретические рассуждения позволили (1911) сделать вывод, что длина волны рентгеновских лучей составляет порядка 10^{-9} см и их следует рассматривать как электромагнитные волны. Исследования рентгеновского излучения также подсказали Зоммерфельду тему докторской диссертации для П.Эвальда — изучение поведения электромагнитных волн в атомной решетке кристалла. В процессе дискуссии П.Эвальда и М.Лауэ, который был в то время приват-доцентом в институте, у последнего возникло предположение, что рентгеновские лучи должны проявлять дифракционные свойства при прохождении через кристалл, так как длина их волны одного порядка с постоянной решетки. Зоммерфельд сразу же увидел в этом предположении фундаментальный факт и В.Фридрих и П.Книппинг под руководством Лауэ экспериментально обнаружили дифракцию рентгеновских лучей при прохождении их через кристалл. Об этом Зоммерфельд доложил Баварской Академии наук 8 июня 1912 г.

С 1911 г. А.Зоммерфельд энергично взялся за исследование основ теоретической спектроскопии и еще неясной тогда квантовой теории. Свой взгляд на состояние в этих областях он изложил позже (1932) в статье "Двадцать лет развития теоретической спектроскопии в Мюнхене" [101, с.29—39]. "До 1911 г. область спектроскопии представляла собой огромное сборище непосредственного числового материала; некоторый свет проливали лишь весьма немногие общие закономерности, в первую очередь — комбинационный принцип Ритца. Повсюду существовали скорее предположения, чем правила. Это мне стало пугающе ясным, когда в 1914 г. я попытался приобщиться к спектроскопии... Квантовая теория, которой было суждено дать вскоре ключ ко всем тайнам спектроскопии, находилась еще в зачаточной стадии" [101, с.29—30]. В 1914 г., рассматривая теорию эффекта Зеемана, разработанную В.Фойгтом, и существенно упростив ее, Зоммерфельд столкнулся с широким кругом вопросов, связанных с объяснением спектров. Именно с этого времени квантовая теория и теоретическая атомная спектроскопия стали для Зоммерфельда основными направлениями в его научном творчестве, где он достиг наибольших успехов.

В 1913 г. Н.Бор разработал свою знаменитую теорию водородоподобного атома, в которой соединил модель атома Резерфорда с идеей квантов Планка. Находясь под большим впечатлением от этой теории, Зоммерфельд обратился в 1915 г. к теоретической

интерпретации спектров и тем самым к проблеме строения атома. С этого момента в научной биографии Зоммерфельда начался новый этап, связанный не только с изменением объекта исследований, но и применяемых при этом методов. Эту его сторону ярко описал М.Борн: "Его талант заключался не столько в предсказании новых фундаментальных принципов, отличающихся от явно несущественных, не в смелом комбинировании двух различных сторон какого-либо явления, подымая его на более высокую ступень, но в логически и математически углубленном обосновании проблематичных теорий и выводе заключений, которые могли бы привести к их подтверждению или отклонению. Также справедливо и то, что в свой более поздний "спектроскопический" период деятельности он проявил свой талант в предсказании и расчете — на основе данных эксперимента — математических соотношений" [101, с.277—278].

В 1915—1916 гг. А.Зоммерфельд независимо от У.Вильсона и Дж.Ишивары предложил метод квантования механических систем, определяемых несколькими переменными, и применил его к атомной модели Бора, введя в рассмотрение эллиптические орбиты (теория Бора — Зоммерфельда) [512]. В результате правила отбора "разрешенных" орбит в атоме Зоммерфельд сформулировал в более общей форме, дав так называемое обобщенное квантовое правило, согласно которому угловой момент являлся целым кратным величины \hbar , и введя радиальное n_r и азимутальное (орбитальное) n_ϕ квантовые числа ($n = n_r + n_\phi$). При этом основная роль отводилась не кванту энергии, а квантовой постоянной, являющейся квантом действия \hbar (эта идея впервые была выдвинута А.Зоммерфельдом совместно с П.Дебаем в 1913 г.). Используя свои правила квантования и учитывая релятивистскую зависимость массы электрона от скорости, Зоммерфельд построил теорию тонкой структуры водородоподобных спектров, введя постоянную тонкой структуры $\alpha = e^2 / \hbar c \approx 1/137$ [511].

Он дал также детальный анализ сложных спектров рентгеновских лучей, применив к ним свою теорию. Работы Зоммерфельда 1915—1916 гг. способствовали созданию общей квантовой теории многократно периодических механических систем, сформулированной в 1916 г. независимо П.С.Эпштейном и К.Шварцшильдом [374, 499].

В 1916 г. А.Зоммерфельд и П.Дебай построили квантовую теорию эффекта Зеемана и ввели представление о пространственном квантовании [510]. В 1920 г. Зоммерфельд для объяснения ридбергерских дублетов и триплетов ввел новое квантовое число, назвав его внутренним, которое имело смысл полного углового момента импульса, т.е. суммы спинowego и орбитального квантовых чисел [513]. Совместно с В.Косселем установил (1919) за-

кон спектроскопического смещения [515], с В.Гейзенбергом и Х.Хёнлем исследовал мультиплеты сложных атомов и с Хёнлем вывел (1925) формулы для их интенсивности [514]. В 1922 г. Зоммерфельд предложил квантовую интерпретацию теории аномального эффекта Зеемана [298]. "Я с восхищением наблюдал, — писал Зоммерфельду в 1922 г. А.Эйнштейн, — как Вы распутывали спектры" [101, с.230].

В 1919 г. появился основополагающий труд А.Зоммерфельда "Строение атома и спектры", сыгравший важную роль в понимании и общем признании квантовой теории [99]. Он выдержал ряд изданий с дополнением новых данных и представлял по сути историю развития теории строения атома и атомной спектроскопии за тридцатилетний период (1916—1946). Результаты самого Зоммерфельда и его учеников в рассматриваемой области дали колоссальный материал для обобщений и осмыслений и, по словам В.Паули, "этим была подготовлена почва для квантовой механики, созданной учеником Зоммерфельда Гейзенбергом" [101, с.256].

Новую механику, правда в волновой форме, А.Зоммерфельд встретил с энтузиазмом. И уже в 1928 г. он совместно с Х.Бете (независимо от Я.И.Френкеля), используя волновую механику, принцип Паули и статистику Ферми — Дирака, разработал первую квантовую теорию металлов [33].

Однако личная научная деятельность А.Зоммерфельда представляла только одну, хотя и необычайно яркую грань его творчества и таланта. Вторая грань заключалась в его большой и чрезвычайно плодотворной преподавательской деятельности, которая отнюдь не уступала первой. Зоммерфельд удачно и эффективно сочетал в себе ученого-исследователя и педагога-учителя, что в общем-то дано немногим. Большое количество известных физиков, которые в разное время были его учениками, лично испытали эффективность методов его учительской деятельности. Следует заметить, что еще в 1896 г. Ф.Клейн отозвался о Зоммерфельде как "учителе, который умеет увлечь студентов".

Каким же педагогическим секретом обладал А.Зоммерфельд, воспитавший огромное количество учеников? На этот вопрос частично ответил М.Борн. "Секрет влияния Зоммерфельда, — писал он, — сводился не только к хорошо организованному обучению, блестящим лекциям и семинарам, но определялся еще и обаянием его личности и той заинтересованностью, с которой он относился к молодым людям... Между зоммерфельдовской и моей школами имело место нечто вроде обмена. Я вспоминаю несколько примеров, когда ему удавалось поставить на ноги молодого человека в тех случаях, когда меня в этом постигала неудача. Теоретическая физика — наука, которая привлекает самых молодых людей философского склада ума... Это был как раз тот тип начинающих,

о котором Зоммерфельд знал, как держать его в руках, помогая ему шаг за шагом преодолевать пробелы в действительном знании и обучая искусству плодотворной исследовательской работы" [101, с.284—285].

М.Борн попытался выделить те характерные черты, которые были свойственны методам обучения Зоммерфельда. "Это прежде всего прозрачная, как стекло, ясность, — отмечал он. — Сначала идет описание опытных фактов — не обилие отдельных подробностей, а хорошо упорядоченные и обзорные сведения. Затем следует простое обобщение, необходимое для теоретического подхода, внезапно предстающего в виде математической задачи. Наконец, проводится расчет... При этом в зависимости от предварительной подготовки ученика понятие "строгость" имеет самую разную меру. Даже спорные методы приобретают у Зоммерфельда поразительную способность к убеждению, основанную на том воодушевлении, с которым изображается вся картина явления. И когда в итоге дедукции достигается новый результат, то в душе ученика возникает целая буря чувств, включающих в себя открытие важности найденного, высказанное простыми и все же вдохновенными словами, и выражение радости и гордости от того, что у природы удалось вырвать еще один "квантик" истины. Однако это высокое искусство преподавания ничего бы не дало, если бы не пришло волшебство личного обаяния, создающее прямую духовную нить между учителем и учеником. Местом действия для этого процесса является семинар, где благодаря удачно поставленным заданиям ученик пробует остроту своего ума, где пробуждается его честолюбие и разгорается его энтузиазм" [101, с.248].

Подобные выводы М.Борн сделал на основании частого слушания докладов Зоммерфельда, знакомства с его многими публикациями и его искусством ведения научных споров, наблюдений за становлением и развитием многих зоммерфельдовских учеников. И сказанное выше давало, по мнению Борна, возможность Зоммерфельду находить таланты среди большого количества слушателей и участников семинаров. Характеристику методов обучения Зоммерфельда, данную Борном, разделяют и частично дополняют другие ученые — ученики Зоммерфельда.

"...Он обычно делал ударение на проблемах и трудностях и не пытался умять их, — писал Г.Вентцель. — Он заставлял вас чувствовать, что наука является чем-то живым и что, даже будучи начинающим ученым, вы можете быть ей полезны..." [315, с.314]. "Он обладал необычайной способностью, — отмечал У.Хаустон, — увидеть сквозь массу путанных деталей основное звено вопроса и передавал своим слушателям чувство простоты и изящества в теоретической физике" [315, с.314].

А.Зоммерфельд как учитель имел успех благодаря умению четко и правильно выразить идею, удачно выбрать предмет лекции, которая заставляла даже студентов младших курсов понимать, что за пределами установленной теории лежит область еще многих нерешенных задач.

Характерной чертой стиля Зоммерфельда являлось широкое использование математики и философии. Однако оно не было обременено громоздкими математическими вычислениями и туманными философскими рассуждениями. Для его метода преподавания свойственно, что многие из проблем, обсуждаемых им на лекции для студентов старших курсов, а также на семинарах, были как раз теми, которые он сам собирался решить. Столкнувшись неожиданно с серьезными затруднениями, он не боялся думать вслух, таким образом демонстрируя студентам, что и ему необходимо сделать несколько попыток, прежде чем найти путь к решению задачи.

"Лекции Зоммерфельда — шедевры четкого изложения, — отмечал Л.Полинг. — Объясняя трудную тему, он никогда не делал уступок целесообразности, а всегда брался за нее с энергией, добиваясь ясного изложения, которое понимали способные студенты, собравшиеся вокруг него. Он не оставлял в рассуждениях ничего неясного, что могло бы озадачить студента. Зоммерфельд обычно указывал места, где теория была еще сомнительной, чтобы студент знал, что его непонимание объясняется состоянием науки" [315, с.314].

Обычно А.Зоммерфельд начинал свои лекции с упражнений, подводя постепенно слушателей к важнейшим физическим проблемам. Он высоко ценил и поощрял особо прилежных студентов, которые во время лекций проявляли оригинальность мышления. Он много внимания уделял подбору студентов, основываясь исключительно на собственном мнении. Как учитель А.Зоммерфельд брал за образец своих собственных учителей — Д.Гильберта и Ф.Клейна. У первого он научился затрагивать в дискуссиях актуальные научные проблемы, у второго — искусству работать у доски.

Следует отметить, что контакты с учениками, слушателями, взаимодействие с аудиторией были органично необходимы и самому А.Зоммерфельду. Он принадлежал к тому типу ученых, которые нуждались в сотрудничестве с другими. Это было неотъемлемой чертой его творчества. Вступая в контакт со студентами, он, как отмечал П.Дебай, "продолжал свой научный поиск". "Его осеяли идеи даже тогда, — писал в этой связи М.Лауэ, — когда он преподавал, даже у доски во время лекций он творил и делал открытия. Поэтому его лекции будоражили мысль и вызывали такое одушевление, что могло, например, случиться, что какой-ни-

будь сформировавшийся зоолог, попавший случайно к нему на коллоквиум, обращался после этого к теоретической физике, но наряду с более отдаленным кругом слушателей к нему как бы примыкал более узкий круг собственно его учеников, которые учились у него исследовательской работе до или после получения степени. Он выбирал их обычно с большим проницанием... Он заботился обо всем, что могло оказать положительное или отрицательное влияние на их научное развитие... Зоммерфельд... с самого начала имел самый тесный контакт со своим окружением. Он прошел в Гёттингене школу и он основал школу, которая была для него существенной. Его лекции были в значительно большей мере направлены персонально к слушателям и приспособлены к тому, чтобы вовлечь слушателей в науку..." [456, с.518].

Таким образом, А.Зоммерфельда отличали большой талант исследователя, вылившийся в выдающиеся научные результаты, любовь к науке, необыкновенный педагогический дар, заключающийся в поразительной способности привлекать и поддерживать молодые таланты в сочетании с классической ясностью и четкостью изложения материала, огромное личное обаяние, сочетавшееся с простотой общения, доброжелательным отношением к молодежи, интересом к ней. Все это и сделало его воспитателем ряда поколений физиков-теоретиков и создателем большой школы теоретической физики с центром в Мюнхене. "...Как получилось, что именно вокруг Зоммерфельда сложились важнейшие и преуспевающие школы теоретической физики? — писал П.Эвальд в статье "Арнольд Зоммерфельд — человек, учитель и друг". — На мой взгляд, ответ содержится не только в выдающемся значении научных идей Зоммерфельда, искать его также следует в человеческих качествах ученого" [487, с.6].

Например, К.Вайцзеккер передает свою беседу с В.Гейзенбергом, в которой тот определил влияние, оказанное на него Зоммерфельдом. "У Зоммерфельда я научился оптимизму, у гёттингенцев — Борна и математиков — математике, у Бора — физике". И далее уже сам Вайцзеккер пишет: "У Зоммерфельда Гейзенберг научился видению проблемы, который воодушевил его постигать глубину предмета исследования и развил его дарование решать конкретную проблему конкретно, описывая в конце концов ее точной математической формулой... Следует заметить, что работа Гейзенберга в области квантовой механики никогда не пришла бы к успеху без увлеченности и оптимизма Зоммерфельда" [551, с.41].

А.Зоммерфельд заботился не только о подготовке своих учеников как физиков, но и питал к ним исключительную симпатию, со многими из них у него были искренние дружеские отношения. Он часто проявлял заботу о своих учениках, порой активно вме-

шиваясь в их жизнь, помогал принимать решения, ученики видели в нем искреннего советчика и друга. Эти открытые, подлинно человеческие отношения Зоммерфельда с учениками являлись объединяющей основой всего коллектива. Зоммерфельд представлял собой пример бескорыстного служения идеалам науки.

Его всегда волновали политические события. В период фашизма ему был запрещен вход в институт. Почти все его ученики были физиками, преданными своему делу, с огромным воодушевлением занимавшимися наукой и радовавшимися, что их учителю принадлежит в этом ведущая роль.

Первое предвоенное (до 1914 г.) поколение физиков, получивших под руководством Зоммерфельда докторскую степень, представляют *П.Дебай, Л.Хопф, В.Ленц, Д.Хондрос, П.Эвальд, П.С.Эпштейн, А.Ланде*; второе (послевоенное) — *Э.Фюс, Г.Вентцель, В.Паули, В.Гейзенберг, Х.Хёль, О.Лапорт*; третье (после создания в 1925—1927 гг. квантовой механики) — *Х.Гримм, А.Унсольд, В.Гайтлер, Х.Бете, Г.Фрёлих*. К его ученикам (не докторантам) этого периода можно причислить также *Л.Бриллюэна, К.Герцфельда, Ф.Заутера, М.Каталана, Э.Кембла, Э.Кондона, В.Косселя, Ф.Лондона, Ф.Морса, Г.Отта, Л.Полинга, И.Раби, В.Рубиновича, Н.Франка, У.Хаустона, Э.Штюкельберга, К.Эккарта* и др. В последующие годы учениками Зоммерфельда стали *К.Бехерт, Л.Валдман, И.Валкер, Х.Велкер, Й.Мейкснер, В.Франц, О.Шерцер, Г.Шуберт* и др.

Слава об особой способности А.Зоммерфельда учить личным воздействием распространилась далеко за пределы Германии. Его неоднократно приглашали зарубежные университеты для чтения лекций и докладов. Он был в Испании, Америке, Англии, Индии, Японии и других странах и каждый раз ряды его учеников пополнялись новыми именами. Среди его учеников и последователей не только физики-теоретики — профессора университетов, но и ассистенты, учителя средних школ, работники промышленности. Однако как ни велико число тех, кто лично учился у Зоммерфельда, слушая его на лекциях и семинарах, еще больший круг тех, кто учился по его печатным трудам, впитывая в себя тот же зоммерфельдовский дух. Его знаменитая книга "Строение атома и спектры" появилась в критическое для физики время и более чем любая другая работа познакомила широкие круги физиков с квантовой теорией, точнее, с учением об атоме, став на многие годы руководством на пути прогресса в физике, а вскоре и в интерпретации квантовой механики (в 1929 г. книга была дополнена томом по волновой механике, который несколькими годами позже превратился в справочник "Механика волн", выдержавший также ряд переизданий). Не случайно, открывая торжественное собрание и симпозиум, посвященные 100-летию юбилею А.Зом-

мерфельда, Ф.Бопп сказал, что эту книгу "называли библией атомной физики, по которой два поколения физиков изучали старую квантовую теорию и новую квантовую механику" [487, с.2]. Нельзя не сказать и о другой его выдающейся работе — шеститомном курсе "Лекций по теоретической физике", написанном уже после выхода в отставку и также завоевавшим признание физиков во многих странах.

Огромный личный вклад А.Зоммерфельда в науку и блестящие работы его учеников, шесть из которых (В.Гейзенберг, В.Паули, П.Дебай, Х.Бете, И.Раби и Л.Полинг) стали Нобелевскими лауреатами, принимая самое активное участие в построении фундамента современной физики, создали славу мюнхенской теоретической школе [294, 487].

Впоследствии активный участник процесса становления квантовой механики и известный ее историк Ф.Хунд в своей книге "История квантовой теории" напишет: "Успехи Мюнхена в развитии квантовой теории основаны на достижениях его исследователей и неповторимой притягательной силе педагогического таланта А.Зоммерфельда. Внеся значительный вклад в различные области физики (теория гироскопа, дифракция волн, технические вопросы, гидродинамика, теория относительности), Зоммерфельд был в Германии в решающий период до и после 1920 г. движущей силой теоретического исследования строения атома. Он умел, как никто другой, овладеть вниманием слушателей на лекциях, передать им свое вдохновение и поставить перед ближайшими учениками такие задачи, на которых они могли вырасти. Среди немецких педагогов высшей школы, преподававших теоретическую физику, он имел, пожалуй, больше, чем кто-либо другой, известных учеников...

В Мюнхене квантовая теория была обобщена на многократно периодические движения, построена систематика спектров, особенно по n, l, j , в значительной степени поняты мультиплеты, здесь же позднее квантовая теория была применена к электронам в металлах" [298, с.222].

В дальнейшем, к достижениям школы можно отнести создание (1925) квантовой механики в матричной форме и разработку (1927) принципа неопределенности (В.Гейзенберг); построение (1929) общей схемы квантования полей, что завершило создание основ квантовой электродинамики (В.Гейзенберг, В.Паули); формулировку (1924—1925) принципа исключения, предсказание (1931) нейтрино и формулировку (1955) СРТ-теоремы (В.Паули); создание независимо от Д.Д.Иваненко протонно-нейтронной модели ядра и построение теории ядерных сил, введение концепции изотопического спина (В.Гейзенберг, 1932), введение (1943) в квантовой теории поля матрицы рассеяния, или S -матрицы

(В.Гейзенберг); создание (1912) основ теории твердого тела (П.Дебай); открытие (1938—1939) независимо от Ч.Критчфилда и К.Вайцзеккера циклов термоядерных реакций в звездах главной последовательности (Х.Бете); первый квантово-механический расчет молекулы водорода (В.Гайтлер, Ф.Лондон, 1927); построение (1935) феноменологической теории сверхпроводимости (Ф. и Х.Лондоны), предсказание (1950) квантования магнитного потока (Ф.Лондон); введение (1921) g -фактора и построение (1923) векторной модели атома (А.Ланде); разработку (1926) метода нахождения приближенных собственных значений и собственных функций одномерного уравнения Шредингера (Л.Бриллюэн, независимо от Г.Вентцеля и Х.Крамерса); построение теории поляризации диэлектрических кристаллов (1912) и динамической теории интерференции рентгеновских лучей (1916) (П.Эвальд); разработку (1950) независимо от Дж.Бардина теории сверхпроводимости, основанной на рассмотрении электрон-фононного взаимодействия, и предсказание изотопического эффекта (Г.Фрёлих); идею компенсации расходимостей в квантовой электродинамике (1935) и идею ренормализационной группы (1953) (Э.Штюкельберг) и многое другое.

Ученики А.Зоммерфельда работали практически во всех областях теоретической физики и достигли крупных результатов, создали ряд новых научных направлений, поддерживая к тому же тесную связь с экспериментальной наукой. А такие ее представители, как В.Гейзенберг, Г.Вентцель, Л.Полинг и И.Раби, сформировали собственные научные школы.

А.Зоммерфельд был почетным членом многих академий наук и научных обществ, в частности АН СССР (1929), удостоен почетных степеней доктора многих университетов и многих наград, в том числе медалей Х.Лоренца, М.Планка, Х.Эрстеда и др.

4. ГЕТТИНГЕНСКАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ШКОЛА М.БОРНА

В историю физики М.Борн вошел как один из классиков современного естествознания и пионеров новой физики, одно из главных действующих лиц драматических событий 20-х годов, завершившихся созданием квантовой механики и ее физически философской интерпретации на основе его концепции вероятности. "Имя Макса Борна давно стоит среди имен классиков века, — писал Я.А.Сморodinский. — Он был одним из тех, кто создавал новую физику и вокруг кого собирались в свое время молодые исследователи, ставшие потом знаменитыми" [250, с.84]. А Дж.Франк отмечал, что "...Борн на всех этапах развития физической науки показал себя превосходнейшим физиком" [383,

с.544]. И, наконец, он снискал славу физика физиков, воспитав ряд поколений учеников, среди которых было много выдающихся теоретиков, и создав всемирно известную теоретическую школу. Она была сформирована им в 20-х годах XX ст. в Гёттингенском университете, где он в 1921—1933 гг. был профессором и директором Института теоретической физики. Именно этот период являлся наиболее плодотворным в научной деятельности М.Борна. В Гёттингене наиболее полно и ярко раскрылись его выдающиеся способности ученого и учителя, которые и позволили ему получить научные результаты фундаментального значения и создать необычайно сильную и продуктивную теоретическую школу.

"Именно здесь в научной жизни Борна наступила решающая фаза, а вместе с тем начался совершенно новый период и в научной деятельности Гёттингенского физического факультета, — писал В.Гейзенберг. — До того времени Гёттинген славился математической школой: традиции Гаусса, Римана, Вебера продолжали Феликс Клейн и Гильберт. Теперь, благодаря Борну и Франку, Гёттинген стал также и центром атомной физики... С этого момента (лета 1922 г. — Ю.Х.) началась интенсивная работа Борна над боровской теорией атомного строения, которая нашла отражение в многочисленных лекциях, семинарах и коллоквиумах. Макс Борн оказался природным учителем. Вскоре ему удалось собрать в институте ряд одаренных молодых теоретиков из различных стран и воодушевить их на совместную разработку сложных проблем квантовой теории. Наряду с Копенгагеном, где Нильс Бор создал новую квантовую теорию, и Мюнхеном, где Зоммерфельд своей работой по атомной структуре и анализу спектров основал школу, развивавшую новую атомную науку, теперь и Гёттинген стал одним из центров разработки вновь возникшей дисциплины" [411, с.50—52].

Чтобы возглавить работу по созданию новой фундаментальной теории, которой стала квантовая механика, необходимо было быть не только гениальным физиком и мыслителем, обладающим глубоким философским подходом, но и талантливым организатором и воспитателем молодежи. И Борн был таким. Слагаемыми его успеха в создании школы физиков были: яркий талант исследователя, высокий научный авторитет, активная преподавательская деятельность, моральные качества, в частности, личное обаяние. Где же истоки этих слагаемых? Для этого следует обратиться к биографии М.Борна, к обширной мемуарной литературе, написанной им с большим блеском и вдохновением, в частности, автобиографическим публикациям, позволяющим заглянуть в его внутренний мир, к его переписке с другими физиками, а также к высказываниям его учеников и современников, близко знавших и работавших с ним [40, 42, 43, 328, 383, 394, 411].

Макс Борн родился 11 декабря 1882 г. в Бреслау (ныне Вроцлав, ПНР) в семье известного ученого-эмбриолога, заведовавшего кафедрой в университете. Его формирование проходило в глубоко научной и культурной среде. Следуя традиции немецких студентов, он слушал курсы в ряде университетов (Бреслау, 1901—1902, 1904; Гейдельберг, 1902; Цюрих, 1903; Гёттинген, 1905—1907), изучая не только точные науки и математику, но и философию, историю искусства и другие предметы. Вначале Борн увлекся астрономией, но затем оставил ее и сосредоточился на математике. В Бреслау профессор Я.Розанес познакомил его с матричным исчислением, а в Цюрихе А.Гурвиц — с математическим анализом. В Гёттингене Борн в основном посещал лекции Д.Гильберта и Г.Минковского и вскоре стал у первого приват-доцентом, получив таким образом возможность более тесных с ними контактов, в том числе и неформальных.

"Хотя я привык к свободным, оживленным дискуссиям между друзьями моего отца — биологами, — писал М.Борн, — на меня произвело глубокое впечатление мировоззрение этих двух выдающихся математиков. Я воспринял от них не только самые новейшие математические методы своего времени, но нечто гораздо более важное: критический подход к традиционным институтам общества и государства, который я сохранил на всю жизнь" [42, с.17—18].

Уроки, которые преподавал М.Борну Д.Гильберт, сильно повлияли на его путь в жизни и науке. Стимулирующее воздействие оказали и лекции другого замечательного гёттингенского ученого — В.Фойгта, углубленный курс которого по оптике заложил основу знаний Борна в этой области, полезными в дальнейшем оказались и фойгтовские представления о симметрии, эквивалентные в первом приближении теории групп, используемые им при выводе свойств кристаллов. Именно из этих курсов Фойгта возникли зародыши тех идей, которые были развиты Борном в его исследованиях по динамике кристаллической решетки. В Гёттингене Борн слушал лекции по философии Э.Гуссерля. "Философский подтекст науки всегда интересовал меня больше, чем специальные вопросы", — напишет он позже [42, с.19]. В эти же годы Борн посещал семинар по электродинамике движущихся тел, руководимый Гильбертом и Минковским, и семинар по теории упругости, который вели Ф.Клейн и К.Рунге.

В 1907 г. М.Борн получил степень доктора философии. Через год с небольшим он отправился в Кембридж для более глубокого изучения фундаментальных проблем физики, где слушал лекции Дж.Дж.Томсона и Дж.Лармора и посещал экспериментальный курс Г.Сирля. Лекции Томсона об электронах и строении вещества ввели Борна в новую для него область исследований и измени-

ли его интересы: от абстрактной математики он обратился к изучению атомного мира и когда уезжал из Кембриджа, то, как сам отмечал, был "обращен" в физика.

Вернувшись в Бреслау, М.Борн после кратковременных экспериментальных исследований занялся теоретической работой. Большое влияние на него оказала первая статья А.Эйнштейна по теории относительности, которой он был буквально очарован. Используя физические идеи Эйнштейна и математические методы Минковского, Борн предложил новый способ вычисления электромагнитной массы электрона, о чем сообщил Минковскому. Последний пригласил его в Гёттинген, чтобы помочь ему в работе по теории относительности. Однако их недолгое сотрудничество (декабрь 1908 г. — январь 1909 г.) было прервано внезапной кончиной Минковского. В Гёттингене Борн продолжал работать до 1914 г., став здесь в 1912 г. приват-доцентом.

В этот период исследования М.Борна в основном были посвящены теории относительности и теории твердого тела и именно тогда, как он писал в своих "Воспоминаниях", стал физиком в полном смысле этого слова. В области теории относительности Борн выступил удачным комментатором идей Эйнштейна, издав впоследствии ряд книг, первая из которых вышла в 1920 г. В письме от 31 января 1921 г. М.Борну А.Эйнштейн писал: "Твоя книжечка по теории относительности : ты очень многих открыла путь к пониманию этого предмета" [210, с.24].

Работы в области теории твердого тела также отталкивались от идей Эйнштейна и были непосредственно инициированы его теорией удельной теплоемкости твердых тел (1906) [307, т.3, с.134—143]. Совместно с Т.Карманом М.Борн предпринял (1912) попытку развить эйнштейновскую "монохроматическую" теорию путем учета связей между атомами, которыми обусловливается почти непрерывный спектр собственных частот (то же самое осуществил П.Дебай, предложив, правда, иной метод расчета собственных частот [360]). Они определили спектр колебаний кристаллической решетки и показали, что значения удельной теплоемкости можно вычислить более точно, если рассматривать в качестве колеблющихся осцилляторов не отдельные атомы, как это делал Эйнштейн, а главные колебания кристаллической решетки — носители квантованных колебаний. Иными словами, было получено правильное решение вопроса о собственных колебаниях кристаллической решетки в его строгом атомистическом понимании [333].

Следует заметить, что эта работа Борна и Кармана была выполнена до открытия М.Лауэ с В.Фридрихом и П.Книппингом дифракции рентгеновских лучей на кристаллах, явившегося экспериментальным доказательством существования кристаллической ре-

шетки. Это свидетельствовало о том, что для Борна и Кармана теоретическое представление о решетке кристалла было естественным и не вызывающим никаких сомнений. Их статьей, а также несколько ранней публикацией П.Дебая фактически были заложены основы динамики решетки (1912). Она же послужила началом обширного цикла работ Борна и его учеников, преследующих цель вывести все свойства кристалла на основе идеи смещения частиц решетки под действием внутренних сил. На реализацию этой программы ушли многие годы.

Но первое подведение итогов здесь было проведено М.Борном уже в 1915 г. в книге "Динамика кристаллической решетки" [262], в которой дана общая математическая теория механических, электрических и оптических свойств твердых тел, что привело к новой многоплановой программе. В последующие годы происходило дальнейшее развитие этой программы, преследовавшей цель — выяснить природу сил взаимодействия в кристаллической решетке прежде всего в ионной. Было внесено понимание в условия существования и свойства ионов, охарактеризованы основные черты их взаимосвязи. Вторая фаза исследований Борна в этом направлении завершилась в 1923 г. его работой "Атомная теория твердого состояния" [326].

Таким образом, на этапе, предшествующем созданию квантовой механики (1912—1923), М.Борном с учениками и сотрудниками были получены следующие важные результаты: введено представление, что независимые степени свободы кристалла должны быть сопоставлены с нормальными модами колебаний всего тела в целом, а не с колебаниями отдельных атомов или их групп; показано, что спектр собственных колебаний решетки кристалла содержит полосы оптического и акустического диапазонов; введено понятие энергии решетки; дано описание динамических свойств решетки, дополняющее теорию электромагнитных волн в кристалле Эвальда; разработан новый подход к определению межатомных и межмолекулярных сил в кристаллах и получено новое соотношение между константами упругости алмаза (1914), а также полное описание электромагнитного взаимодействия в кристалле (1915); впервые применена теория групп к молекулам и кристаллам (с К.Брестером, 1924), что предвосхитило метод приложения теории групп к электронной структуре атома Вигнера; начаты исследования по термодинамике кристаллов (с Э.Броди, 1921—1922) и др. [262]. В этот период, как подчеркивал Борн, в его сознании стала расти убежденность в том, что понимание квантов требует совершенно новой механики, которая должна заменить классическую механику.

После кратковременной работы профессором университетов в Берлине (1915—1919) и во Франкфурте-на-Майне (1919—1921)

Борн возвратился (1921) в Гёттингенский университет, где стал профессором и директором Института теоретической физики при университете. Этот третий гёттингенский период (1921—1933), как уже отмечалось, стал наиболее эффективным в научной жизни Борна, именно в это время возникла его теоретическая школа. Доминирующей темой его исследований стали проблемы квантовой теории. Старую квантовую теорию Борн изучил благодаря общению с М.Планком в Берлинском университете, под влиянием же Дж.Франка — своего давнего друга и коллеги, возглавлявшего в Гёттингене Институт экспериментальной физики, научные интересы Борна переместились в сторону исследования атома. Однако воспитанный в духе математической точности Борн-философ не мог воспринимать квантовую теорию в существующем виде. И когда он со своими талантливыми и энергичными ассистентами В.Паули и В.Гейзенбергом обратился к теории атома Бора—Зоммерфельда, то сосредоточил внимание на слабых ее моментах, где она расходилась с опытом.

Летом 1922 г. в Гёттингене со своими знаменитыми докладами по квантовой теории атома выступал Н.Бор. С этого момента и началась интенсивная работа Борна с учениками над теорией строения атома, которая проявлялась в многочисленных лекциях и дискуссиях. На своих семинарах Борн активно и систематически внушал мысль, что конечной целью физики является не расчет сложных атомных моделей методами старой механики, дополненной квантовыми условиями, а создание новой механики атома. При этом он требовал от своих учеников и сотрудников детального знания наиболее сложных математических методов старой механики, так как считал, что только из знания ее мельчайших деталей и подробностей может возникнуть "ощущение простора", так необходимого для формулировки новой атомной теории.

Именно борновские семинары, часто проводившиеся по вечерам в одной из комнат его особняка в тесном дружеском кругу, в атмосфере человеческой близости и душевной общительности, сыграли первостепенную роль в возникновении этой новой теории. "Я вспоминаю, — писал В.Гейзенберг, — что в то время, когда я сам принимал участие в этих семинарах, в числе участников бывали Паули, Ферми, Хунд, Иордан, а позднее фрау Гёпперт-Майер и Дельбрюк. В то время многие из них были еще молодыми студентами, и лишь немногим было больше 25 лет; только позднее их имена стали известны в числе основателей новой науки, но к выполнению своих позднейших задач они были подготовлены именно здесь... Несомненно, что в дискуссиях борновского семинара была подготовлена почва для новой атомной физики. Уже в 1924 г. появился термин "квантовая механика" и это понятие ясно характеризовало цель всех усилий" [411, с.52].

Первая работа М. Борна, непосредственно относящаяся к квантовой тематике "О квантовании возмущенной механической системы", была выполнена им совместно с В. Паули в 1922 г. и знаменовала коренной переход первого к теории квантов [208, с. 575—595]. Затем последовал ряд его совместных работ с В. Гейзенбергом. В июне 1924 г. Борн завершил статью "О квантовой механике" [43, с. 133—152], в работе над которой ему помогал Гейзенберг. В ней Борн, отталкиваясь от идей Х. Крамерса, исследовал состояния Бора — Зоммерфельда в многоэлектронном атоме, рассматривая взаимодействие электронов как возмущение. В этой же статье он впервые употребил термин "квантовая механика". "В работе содержится попытка сделать первый шаг в квантовой механике связи, объясняющий важнейшие свойства атома (его стабильность, резонанс на дискретных частотах, принцип соответствия) и вытекающий естественным образом из законов классической физики, — писал М. Борн. — Эта теория содержит дисперсионную формулу Крамерса и выявляет близкое родство с гейзенберговской формулировкой правил аномального эффекта Зеемана" [43, с. 133]. Переход от классической к новой механике, квантовой, Борн видел в обобщении крамеровского рассмотрения взаимодействия излучения и электронов в атоме.

"Классические законы для возмущения механической системы, осуществляемого путем введения внутренних связей либо наложения внешних полей, — писал Борн в указанной выше работе, — мы приведем к одному и тому же определенному виду, который очень близок формальному переходу от классической механики к "квантовой механике". При этом правила квантования сами по себе останутся неизменными; в качестве величин, кратных кванту действия, появляются интегралы действия невозмущенной системы (которая считается разделимой и невырожденной). Однако сама механика претерпевает изменение, а именно в смысле перехода от дифференциальных уравнений к разностным уравнениям, уже имевшим место в условии частот Бора... Сочетание этой новой "квантовой механики" со старыми правилами квантования ведет к законам взаимодействия, которые прежде всего можно проверить тем, содержат ли они в себе дисперсионную формулу Крамерса. На самом деле это имеет место, и тем самым достигнута основа для других исследований" [43, с. 134].

Таким образом, М. Борн уже довольно отчетливо представляет себе контуры будущей теории, но, как отмечают Н. Кеммер и Р. Шлапп, "место решающего прорыва от него ускользает". И действительно, об этом свидетельствует выдержка из этой же статьи Борна. "Наш опыт квантовой механики связей, по-видимому, характеризуется многими чертами, которые необходимы для пред-

ставления свойств атома: его стабильности, резонанса на дискретных частотах, выполнением принципа соответствия и т.д., — писал Борн. — Подтверждается ли он в действительности, может показать лишь количественный расчет простой системы. При этом надо преодолеть еще значительные трудности, возникающие вследствие различных возможных способов вырождения” [43, с.135].

Вскоре к теории дисперсии обратился и В.Гейзенберг, который в январе 1925 г. совместно с Х.Краммером всесторонне и полно исследовал рассеяние и дисперсию света (дисперсионная формула Краммера—Гейзенберга), что привело его летом этого же года к идеям матричной механики [447]. К 1925 г. сотрудником Борна стал П.Иордан. В их совместной работе “О квантовании аperiодических процессов” была проанализирована возможность сопоставления классического рассмотрения многопериодической системы с аperiодическим возмущением с боровскими правилами квантования и принципом соответствия [332]. Однако и эта работа явилась еще одной неудачной попыткой добиться успеха в создании новой теории. “Напряжение, с которым работали сотрудники Борна, было настолько высоко, — писал В.Гейзенберг, — что и в столовой, и на лыжной прогулке в Гарце квантовые проблемы и теория возмущений из астрономии занимали их больше, чем какие-либо события дня” [411, с.52].

Ситуацию в физике накануне создания квантовой механики образно описал М.Джеммер: “До 1925 г. квантовая теория (и особенно квантовая теория многоэлектронных систем), при всей пышности названия и многочисленности примеров успешного решения задач атомной физики, с методологической точки зрения представляла собой скорее внушающее жалость скопление гипотез, принципов, теорем и вычислительных рецептов, чем логически последовательную теорию. Каждую отдельную квантово-теоретическую задачу надо было сначала решить на языке классической физики; полученные классические решения надо было затем просеять через таинственное решето квантовых условий, либо же — как это происходило в большинстве случаев — классическое решение надо было перевести на квантовый язык, придерживаясь принципа соответствия. Обычно разыскивание такого “верного перевода” было делом искусных догадок и интуиции, а не процессом дедуктивных и последовательных рассуждений. Фактически квантовая теория стала полем действия неких специальных изоциренных или даже артистических приемов, доводившихся до высшей мыслимой степени совершенства в Гёттингене и Копенгагене. Одним словом, квантовая теория еще не приобрела черт, свойственных зрелой теории: концептуальной автономии и логической согласованности” [83, с.196].

И вот, наконец, был осуществлен прорыв и осуществлен он был В.Гейзенбергом — учеником А.Зоммерфельда и М.Борна, который к тому же находился под сильным влиянием Н.Бора и его окружения. Все они способствовали формированию его квантовых интересов, но сам Гейзенберг постоянно подчеркивал, что только особый дух Гёттингена и твердая уверенность Борна в необходимости создания новой внутренне согласованной теории (квантовой механики) явились решающим фактором в окончательном оформлении его идей. В статье "О квантово-теоретическом истолковании кинематических и механических соотношений" [273, с.574—586], завершенной им летом 1925 г., Гейзенберг в противоположность борновскому описанию движения использовал для описания только наблюдаемые величины, считая, что ненаблюдаемые величины, как, например, частоты или размеры электронных орбит, не должны фигурировать в теории. Иными словами, Гейзенбергом был предложен исключительно оригинальный подход к новой механике, учитывающий основные требования квантовой теории и дающий возможность описывать новые факты не с помощью искусственной и вынужденной подгонки старых привычных понятий, а путем создания новой системы понятий. "В этой работе делается попытка, — писал он, — получить основы квантово-теоретической механики, которые базируются исключительно на соотношениях между принципиально наблюдаемыми величинами" [273, с.574]. При этом Гейзенберг отдавал себе отчет в том, что предложенный им принцип требовал еще глубокого математического исследования.

М.Борну, посылавшему статью В.Гейзенберга в редакцию журнала, где она была получена 29 июля, сразу стала ясна важность гейзенберговской идеи-принципа. "Этому периоду внезапно положил конец Гейзенберг ..., — отмечал М.Борн. — Он разрубил gordiev узел философским принципом и заменил угадывание математическим правилом. Принцип утверждает, что понятия и представления, которые не соответствуют физически наблюдаемым фактам, не должны использоваться в теоретическом описании. Гейзенберг изгнал картину электронных орбит с определенными радиусами и периодами обращения, потому что эти величины ненаблюдаемы; он потребовал, чтобы теория была построена с помощью квадратичных таблиц... Вместо описания движения, представляющего координату как функцию времени $x(t)$, нужно определить таблицу вероятностей переходов x_{mn} . Мне кажется, что решающей частью в его работе является требование о том, что необходимо найти правило, по которому, исходя из данной таблицы, ... можно найти таблицу для квадратов... С помощью рассмотрения известных примеров, открытых по догадке, он нашел это

правило и с успехом применил его к простым случаям, таким, как гармонический и негармонический осцилляторы" [40, с.304—305].

Удивительным в статье было также представление физических величин в виде наборов комплексных чисел, зависящих от времени, и своеобразное правило их перемножения. "Правило перемножения Гейзенберга не оставляло меня в покое, — вспоминал Борн, — и после недели интенсивного обдумывания и проб я внезапно вспомнил алгебраическую теорию, которую узнал от моего учителя Розанеса во Вроцлаве. Такие квадратичные таблицы хорошо известны математикам и в соединении с определенным правилом перемножения называются матрицами. Я применил это правило к квантовому условию Гейзенберга и нашел, что оно годится для диагональных элементов. Легко было догадаться, что остальные элементы должны быть нулями; и сейчас же передо мной возникла странная формула $pq - qp = i\hbar$. Она означала, что координата q и количество движения p должны представлять собой не числовые значения, а символы, произведение которых зависит от их последовательности, которые, как мы говорим, не "коммутируют". Мое возбуждение, вызванное этим результатом, напоминало волнение моряка, который после долгого плаванья видит вдали желанную землю... Я с самого начала был убежден, что мы наткнулись на истину" [40, с.306].

Сразу же в развитие этих идей Гейзенберга началось плодотворное сотрудничество Борна с П.Иорданом, уже в сентябре завершившееся их фундаментальной статьей "О квантовой механике" [273, с.586—611], в которой предположения Гейзенберга были оформлены в теорию. "...Мы постарались после завершения его исследования выяснить формально-математическое содержание его подхода и предлагаем здесь некоторые наши результаты, — писали Борн и Иордан. — Они показывают, что действительно можно на фундаменте, данном Гейзенбергом, возвести здание замкнутой математической теории квантовой механики..." [273, с.587]. Статья содержала наиболее важные принципы квантовой механики, в частности, в ней рассматривалось также квантование электромагнитного поля.

Затем последовал напряженный период сотрудничества Борна с Иорданом и письменно с Гейзенбергом, который завершился в октябре их совместной статьей "О квантовой механике" (вышла в январе 1926 г.), содержащей в основном весь математический аппарат матричной механики, приводящий уравнения движения в атомных явлениях к определенным задачам алгебры и математического анализа [330]. "Статья трех" представляла собой первое систематическое изложение основ квантовой механики в ее матричном варианте.

Первое приложение новой механики вскоре выполнил В.Паули, использовавший матричные методы для расчета величин энергий стационарных состояний атома водорода [480]. Получив их полное соответствие с формулами Бора, он тем самым дал четкое доказательство правильности теории. Новая теория, как писал впоследствии Борн, "дала настолько удовлетворительные результаты, что сомневаться в ее справедливости было уже почти невозможно" [42, с.28].

Отталкиваясь от июльской статьи В.Гейзенберга, П.Дирак в работе "Основные уравнения квантовой механики" (ноябрь 1925 г.) обобщил его матричную форму квантовой механики, используя исчисление некоммутативных величин, и построил так называемую алгебру q -чисел [273, с.611—621].

Зимой 1925—1926 гг. М.Борн совершил поездку в Америку для чтения лекций в Массачусетском технологическом институте. Здесь им совместно с Н.Винером в январе 1926 г. было разработано операторное исчисление, представляющее собой обобщение матричной механики на системы свободных частиц с непрерывным спектром [334]. Заменяв матрицу операторами, они получили возможность описывать также аperiодические процессы. Лекции, прочитанные Борном и отражающие гёттингенскую точку зрения на волнующие тогда проблемы атомной теории (дебройлевские волны материи пока не привлекали внимания физиков), легли в основу его книги "Проблемы атомной динамики" [327] — первой книги по квантовой механике.

Однако одновременно с разработкой матричной механики проходил и другой процесс, связанный с созданием новой механики в волновой форме. Автором ее был Э.Шредингер, построивший ее в течение нескольких месяцев 1926 г. Исходя из концепции Л.де Бройля о волновых свойствах материи и аналогии между классической механикой и геометрической оптикой, открытой еще в 1834 г. У.Гамильтоном, Шредингер вывел уравнение, описывающее поведение волн, связанных с частицами, и используя так называемую волновую, или ψ -функцию (волновое уравнение, или уравнение Шредингера), предложив тем самым новый мощный метод решения квантовых задач [273, с.621—632]. Уравнение Шредингера $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi$, где \hat{H} — оператор Гамильтона, явилось математическим выражением фундаментального свойства микрочастиц — корпускулярно-волнового дуализма. В результате возникла нерелятивистская квантовая механика в волновой форме, основанная на уравнении Шредингера и генетически связанная с работами М.Планка (1900), А.Эйнштейна (1905), Н.Бора (1913) и Л. де Бройля (1923—1924). Волновая механика сразу же завоевала намного большую популярность, чем две другие формули-

ровки матричной квантовой механики — гёттингенская и кембриджская, найдя применение при решении большого круга квантово-механических задач.

На первый взгляд могло показаться, что имеются две совершенно независимые теории, но вскоре сам Э.Шредингер, а также В.Паули и К.Эккарт доказали их математическую эквивалентность (1926) [304, с.56—74; 371]. При этом Шредингер посчитал, что ему удалось вернуться к классическому способу мышления (детерминистская классическая физика), рассматривая электрон не как частицу, а как распределение плотности, определяемой квадратом его электронной волновой ψ -функции. А это для него означало возможность отказаться от представления о частицах и квантовых скачках.

В июне и июле 1926 г. М.Борн опубликовал статьи, в которых раскрыл физический смысл шредингеровской ψ -функции [273, с.632—651]. Будучи твердо уверенным, что представление о частицах не может быть отброшено, а этому способствовали эксперименты Франка — Герца, подтверждающие также корпускулярную природу электрона, Борн пошел по пути примерения представлений о частицах и волнах, увидев связывающее звено в вероятностном подходе. Исходя из идеи А.Эйнштейна, что квадрат амплитуды световых волн характеризует плотность вероятности появления фотонов, Борн экстраполировал ее на ψ -функцию, постулируя, что $|\psi|^2$ должна представлять плотность вероятности для электронов или других частиц.

В июльской статье "Квантовая механика процессов столкновения" М.Борн писал: "Матричная форма квантовой механики, обоснованная Гейзенбергом и развитая им совместно с Иорданом и автором настоящей статьи, исходит из идеи, что точное представление процессов в пространстве и во времени вообще невозможно, и поэтому она ограничивается установлением соотношений между наблюдаемыми величинами, которые только в предельном случае классической теории можно истолковывать как свойства самих движений. С другой стороны, Шредингер, по-видимому, приписывает волнам, которые он вслед за де Бройлем рассматривает как носителей атомных процессов, ту же реальность, какой обладают световые волны; он пытается "построить волновые группы, имеющие во всех направлениях относительно малые размеры", которые, очевидно, должны непосредственно изображать движущуюся корпускулу. Ни один из этих двух подходов не кажется мне удовлетворительным. Я хотел бы попробовать дать в этой работе третью интерпретацию и испытать ее применимость на примере процессов столкновений..." [273, с.632]. В июньской, июльской статьях и ряде других М.Борн в 1926 г. строго доказал, что квадрат ψ -функции представляет собой плотность

вероятности в конфигурационном пространстве и шредингеровские волны следует понимать как меру вероятности обнаружить частицу в соответствующем месте (волны вероятности).

В 1954 г. в Нобелевской лекции он скажет обо всем этом так: "Когда появилась волновая механика Шредингера, я сразу почувствовал, что она требует недетерминистической интерпретации, и предположил, что $|\psi|^2$ определяет амплитуду вероятности; однако должно было пройти некоторое время, пока я сумел найти физические аргументы в пользу этой точки зрения, исследуя процессы столкновений и переходов под действием внешних сил. И тут произошла странная вещь: Гейзенберг сначала не согласился со мной и обвинил меня в измене духу матричной механики. Однако вскоре он отказался от этого и нашел удивительный способ примирить корпускулярную и волновую картины в своем соотношении неопределенностей" [42, с.238].

Разработанный подход М.Борн использовал в 1926 г. для построения теории процессов столкновения частиц (борновское приближение). Применяв борновский метод к рассеянию заряженных частиц, Г.Вентцель в том же году получил классическую формулу Резерфорда для рассеяния α -частиц на атомах, тем самым впервые доказав эффективность использования этого метода в теоретических исследованиях и подтвердив гипотезу $|\psi|^2$ [364].

Статистическая интерпретация М.Борном ψ -функции была первым шагом на пути вероятностной интерпретации квантовой механики в целом. "Но фактором, который больше, чем эти успехи, способствовал быстрому признанию статистической интерпретации ψ -функции, — писал Борн, — была статья В.Гейзенберга, содержащая его знаменитый принцип неопределенности, благодаря которому впервые стал ясным революционный характер новой концепции. Оказалось, что необходимо отказаться не только от классической физики, но также и от наивного представления реальности, которое рассматривало частицы атомной физики так, как если бы они были чрезвычайно малыми крупинками песка" [40, с.309].

В статье "О наглядном содержании квантово-теоретической кинематики и механики" (март 1927) В.Гейзенберг показал, что в квантовой механике "канонически сопряженные величины могут быть одновременно определены только с характерной неточностью (§ 1). Эта неточность и представляет, собственно говоря, основание для появления статистических взаимосвязей в квантовой механике" [273, с.651]. Гейзенберг сформулировал важный принцип современной физики — принцип неопределенности, объясняющий физический смысл уравнений квантовой механики, ее связь с классической механикой и ограниченность применения

к микроскопическим объектам классических понятий и представлений. В соответствии с принципом Гейзенберга невозможно одновременно точно узнать координату и импульс частицы, т.е. нельзя измерить ее координату, не исказив значения импульса: $\Delta p \cdot \Delta x > \hbar$ (соотношение неопределенностей). "Это уравнение ($E_1 t_1 \sim \hbar$ — Ю.Х.) соответствует соотношению (1) ($p_1 q_1 \sim \hbar$ — Ю.Х.), — писал Гейзенберг, — и показывает, что точность в определении энергии может быть достигнута только за счет соответствующей неточности в определении времени" [273, с.656]. Соотношение неопределенностей стало дальнейшим существенным шагом на пути физической интерпретации формализма квантовой механики.

Принцип неопределенности возник на основе появившейся к тому времени теории преобразований (представлений), созданной в конце 1926 г. независимо П.Дираком, П.Иорданом и Ф.Лондоном и представляющей собой дальнейшее развитие формализма квантовой механики [364, 416, 462]. Уже тогда Дирак и Иордан отчетливо сознавали, что в квантовой механике задание точного значения координаты частицы q несовместимо с заданием точного значения ее импульса p : "В квантовой теории нельзя ответить ни на один вопрос относительно числовых значений q , и p одновременно" (П.Дирак); "При данном значении q все значения p равновероятны" (П.Иордан) [83, с.316].

Дальнейшее более строгое математическое оформление квантовой механики осуществили в 1927 г. (апрель) Д.Гильберт, Дж. фон Нейман и Л.Нордгейм. Они сделали идеи Дирака и Иордана более понятными и четче разграничили ее математический формализм и физическое истолкование. В последующие годы (1927—1932) Нейман дал строгую математическую формулировку принципов квантовой механики, ликвидировав те пробелы, которые существовали в ее математических доказательствах [189].

С созданием квантовой механики борновский институт стал одним из мировых центров теоретической физики, центром притяжения для многих физиков из многих стран, добившихся впоследствии выдающихся результатов. Все, кто участвовал в становлении современной физики, считали необходимым приехать в Гёттинген и рассказать Борну и его ученикам о полученных результатах, идеях и планах. Некоторое время у М.Борна работали советские физики В.А.Фок, Я.И.Френкель, Ю.А.Крутков, С.А.Богуславский, Ю.Б.Румер, испытывая на себе его благотворное влияние.

"Это было волнующее время, — вспоминал М.Борн. — Независимо от официальных коллоквиумов мы устраивали частные дискуссии у меня дома. Мне, уже немолодому человеку, было очень трудно находить общий язык с молодежью. Я работал с большим напряжением" [43, с.17]. В результате в 20-х годах Борном в Гёт-

тингене в процессе разработки новой теории была создана сильная теоретическая школа, благодаря которой в 1925—1926 гг. появилась окончательная форма новой атомной теории — матричная квантовая механика. "Он является одним из тех, — писал Ю.Б.Румер, — кто рано понял, что эпоха "гениальных одиночек" закончилась и что развитие физики потребует привлечения в науку огромного количества людей самого различного калибра, самых различных склонностей и интересов... Он создал одну из самых больших школ теоретической физики... Макс Борну принадлежит главная заслуга в создании той особенной творческой "гёттингенской обстановки", с описания которой сейчас принято начинать книги о последующем развитии атомной физики" [238, с.695].

В институте Борна в те годы работали или стажировались В.Паули, В.Гейзенберг, П.Иордан, В.Гайтлер, Ф.Хунд, Э.Хюккель, Л.Нордгейм, Р.Крониг, В.Эльзассер, М.Гёпперт-Майер, В.Вайскопф, Э.Хиллерос, Н.Винер, Дж.Майер, Р.Ошпенгеймер и др., его гостями были Ю.Вигнер, П.Дирак, Э.Кондон, Ф.Лондон, Н.Мотт, Л.Полинг, Э.Теллер, Э.Ферми и др. Уже этот перечень имен говорит сам за себя, ведь большинство из теоретиков, примыкавших к гёттингенской школе Борна, стали впоследствии ведущими учеными в физике.

Секрет Борна как воспитателя творческой молодежи, основателя и руководителя крупной теоретической школы, например, Ю.Б.Румер видел в необычайной широте его натуры и в сочетании таланта большого ученого с горячим сердцем хорошего человека. "Макс Борн никому не навязывает своих мыслей и своих вкусов, — пишет Румер. — Он любит обсуждать любые идеи, в любой отрасли теоретической физики, с любым из своих сотрудников, причем при обсуждении никогда не давит своим авторитетом, не обнаруживает своего превосходства. Он считает нужным предоставить всем, кто к нему попадает, широчайшую свободу для учебы и творчества. Со своей стороны он делал все, что было в человеческих силах, чтобы устранить препятствия, мешающие его сотрудникам работать. Он всегда кому-то пишет, у кого-то просит, кому-то рекомендует... Он привлек в науку огромное число людей. От одних он ожидал много, и они оправдали его надежды. Другие не оправдали его надежд, но он никогда не показывал им своего недовольства или разочарования. Он всегда обнаруживает большой интерес к людям, с которыми его сталкивает судьба, и всех бережно хранит в своей памяти. Он дружил с Эйнштейном и Шредингером..., с Бором и Гейзенбергом, со всеми коллегами, учениками и сотрудниками, всегда радуется и гордится их успехами. Он отличается необыкновенной личной скромностью, он всегда восхищался чужими достижениями, но никогда не подчеркивал своих. Его научные заслуги далеко не исчерпываются внушитель-

ным списком научных трудов и написанных им книг. Лишь человек..., который имел возможность наблюдать Макса Борна в течение многих лет, может оценить, сколько идей и труда вложено им в работы многочисленных сотрудников и учеников..." [238, с.695—696].

С этим высказыванием Ю.Б.Румера перекликается и оценка М.Борна, данная В.Гейзенбергом. "Если еще раз вспомнить о времени расцвета научной деятельности Борна здесь, в Гёттингене, то в памяти его сотрудников и учеников возникает образ необыкновенно жизнелюбивого и доброго человека, — говорил Гейзенберг. — Он не только вовлекал в науку своих сотрудников масштабами своего научного вклада и собственным мастерством, но и покорял сердца окружающей его академической молодежи человеческим интересом к ней, и это создавало образцовую основу для самой тесной коллективной работы учителя и учеников над большими и волнующими проблемами" [411, с.54].

Многие ученики, сотрудники и коллеги М.Борна отмечали его необыкновенную скромность, человечность, доброту, веру в людей, общительность, прямоту в выражении своих взглядов и чувств, интерес к молодежи, умение находить способных учеников и сотрудников. Борн обладал энциклопедическими знаниями не только в области физики, но и всегда мог дать ответ на любой вопрос или ссылку на источник. Зная всех ведущих физиков своего времени, он часто рассказывал о них интересные истории. И не случайно в его мемуарах мы находим замечательные творческие портреты многих физиков, написанные с большой теплотой и любовью. Борн обладал определенным сопротивлением в восприятии новых идей и результатов, полученных не им самим. Но размышляя над ними и убеждаясь в их правильности, он принимал их. Приведем ряд наблюдений Л.Инфельда о Борне, сделанных во время его короткого пребывания в Кембридже [415]. "Борн функционировал подобно целому институту, сочетая живое воображение с великолепной организацией труда, — писал Л.Инфельд. — Он работал быстро и в неустойчивом темпе. Подобно другим ученым, для него был важен не только результат работы, но и способ, которым он получен... Было что-то детское и привлекательное в борновской жажде быстро двигаться вперед, не щадя себя и своих настроений, внезапно меняющихся от высочайшего энтузиазма до глубочайшей депрессии... В его высоком энтузиазме, в его живости ума и импульсивности, с которой он воспринимал и отвергал идеи, лежало очарование высочайшей истинности" [556, с.13]. Одним словом, о Борне можно говорить как о большом, добром и замечательном человеке.

Для многих физиков Борн был первым непосредственным учителем, для некоторых же, как и Н.Бор, — вторым. Это связано

с тем, что между существовавшими тогда пятью теоретическими школами — школами Зоммерфельда, Борна, Бора, Эренфеста и Фаулера, имело место тесное общение и обмен учениками. И правильнее будет сказать, что именно коллективными усилиями представителей этих в общем-то разных школ во главе со своими лидерами была создана законченная система идей, методов и принципов квантовой механики и немаловажно, что в процессе ее оформления происходило и становление как исследователей многих представителей этих школ.

"Квантовая механика возникла не только как логически обоснованная теория, — отмечал Ф.Хунд. — Она связана также с расцветом способностей и талантов, индивидуальностью и темпераментом отдельных личностей. Возникла она благодаря смелости и хватке Зоммерфельда, направленных на конкретную проблему, первоначальным идеям Гейзенберга, интуиции Бора, стремлению Дирака к математической красоте, математической фантазии Иордана, критике и осторожности Паули, антипатии Шредингера, математической решительности и проницательности Борна. Деятельность этих в большинстве своем молодых людей... протекала в творческой и созидательной атмосфере. Гёттингенский кружок сформировал прекрасных исследователей, дал свободу их мысли и направлял ее в нужном русле..." [414, с.351].

Небезынтересны сравнительные оценки, данные первым трем школам их общим учеником В.Гейзенбергом. "Если бы я стал сравнивать обе школы, учеником которых я себя считаю, в Мюнхене и в Гёттингене, и учителей Зоммерфельда и Борна, которые возглавляли эти школы, — писал В.Гейзенберг, — то я должен был бы сказать, что Борн привлекал своих молодых сотрудников прежде всего тем, что он воспитывал их в более скептическом духе в отношении тогдашнего состояния теории строения атома Бора — Зоммерфельда и что он внушал своим ученикам ощущение, будто в этой области необходимо еще провести самую важную работу. А в Мюнхене в то время еще было распространено мнение, что к атому можно подходить со старой ньютоновской механикой, если только ее дополнить квантовыми условиями, сформулированными Планком, Бором и Зоммерфельдом. У нас, гёттингенцев, после доклада Бора летом 1922 г., — эта вера была уже более или менее потеряна, а Борн на своих семинарах систематически внушал убеждение, что в конечном счете нужно стремиться не к тому, чтобы рассчитывать сложные модели атомов и молекул по законам старой механики, а к тому, чтобы создавать новую механику.

Если сравнить школу Борна в Гёттингене со школой Бора в Копенгагене, то, вероятно, следует отдать предпочтение гёттингенской, так как Борн тверже, чем Бор, был убежден в том, что

в конечном счете должна быть получена замкнутая, математически строго сформулированная квантовая механика и что, следовательно, нельзя оставаться в состоянии противоречия и компромиссов между ньютоновской механикой, квантовыми условиями и гипотезой световых квантов. Для Бора, унаследовавшего прагматические традиции во время обучения в Англии, эта идея была не столь принудительной, какой она была для Борна с его математическим воспитанием" [411, с.52].

Для творчества М.Борна характерна неразрывная связь математики и физики. Воспитанный в духе математической точности он, проводя математические выкладки, никогда не забывал и о физической реальности. Он не любил "соображать на пальцах", как это делали многие из его великих современников, и математика всегда вела его к раскрытию тайн природы. Вместе с тем М.Борн никогда не одобрял работ, в которых математический аппарат отрывался от живой физики.

М.Борн всегда видел связь физики с принципиальными философскими проблемами, он много занимался анализом вклада физики в теорию познания, стремился философски осмыслить новый этап развития физической науки и пытался привить все это своим ученикам. "Что же касается философии, — писал он, — то любой современный ученый-естественник, особенно каждый физик-теоретик, глубоко убежден, что его работа теснейшим образом переплетается с философией и что без серьезного знания философской литературы его работа будет впустую. Этой идеей я руководствовался сам, стараясь вдохнуть ее и в своих учеников, чтобы сделать их не какими-то приверженцами традиционной философской школы, а специалистами, способными критически анализировать уже известные понятия и системы, найти их пороки и преодолеть их с помощью новых концепций, как учил нас Эйнштейн" [42, с.44].

Сразу же после создания квантовой механики М.Борн и его школа применили ее к различным проблемам строения атома, физики твердого тела и сплошных сред, молекулярной физики. Так, в 1927 г. он совместно с Р.Оппенгеймером построил теорию строения двухатомных молекул; в том же 1927 г. В.Паули, введя спиновые операторы (матрицы Паули), разработал последовательную квантово-механическую теорию спина, а также объяснил парамагнетизм электронного газа в металле (парамагнетизм Паули); В.Гайтлер и Ф.Лондон, рассчитав (1927) молекулу водорода, заложили основы теории валентных связей и положили начало квантовой химии; Р.Оппенгеймер дал (август 1927 г.) общий расчет прохождения частиц сквозь потенциальный барьер между двумя потенциальными ямами и применил полученные результаты к атому водорода, находящемуся во внешнем электрическом поле.

В 1928 г. В.Гейзенберг построил одну из первых квантовых теорий ферромагнетизма — модель локализованных спинов, а Л.Нордгейм независимо от Р.Фаулера объяснил явление холодной эмиссии электронов из металлов на основе электронного туннелирования (модель Фаулера — Нордгейма). В 1929 г. Э.Хиллерос получил точное собственное значение энергии для основного состояния гелия и рассчитал (1928—1930) многочисленные энергии атомов. Р.Крониг провел (1927—1928) строгое рассмотрение вращательных термов, а еще в 1926 г. В.Гейзенберг и П.Иордан, используя формализм матричной механики, объяснили аномальный эффект Зеемана. В конце 1927 г. — начале 1928 г. П.Иорданом, О.Клейном и Ю.Вигнером был разработан метод вторичного квантования. Одним словом, квантовая механика с момента своего рождения начала активно работать на физику в целом [298].

С позиций новой механики М.Борн с некоторыми своими учениками возвратился к динамической теории кристаллов. С Дж. Майером он написал работу "Теория решетки ионных кристаллов" (1932), в которой вычислил значения энергии решетки различных кристаллов, с М.Гёпперт-Майер — обзор "Динамическая теория кристаллических решеток" (1933), представлявший собой развитие (на новой основе) вопросов, изложенных им в его монографии "Динамика кристаллической решетки" (1915), а также рассматривающий термодинамику кристаллов, уравнение состояния кристаллов, электростатическую теорию ионных решеток, теорию поляризуемости ионов, теорию поверхностных свойств кристаллов и прочности и др. [262].

Оценивая значение работ М.Борна в теории твердого тела, Э.Фюс в речи по случаю 80-летия со дня его рождения говорил: "В настоящее время исследование твердого тела невозможно без того фундамента, который был заложен Вами в 1912—1933 гг. Я считаю, что все, находящееся в центре динамики кристаллической решетки, и связанные с ней атомистические представления и феноменологические выводы сформулированы Вашей школой... Вы зарекомендовали себя как мастер значительных математических обоснований, которого не пугают сложные проблемы" [394, с.545].

К сожалению, с приходом в Германии к власти в 1933 г. нацистов М.Борн и другие известные ученые вынуждены были покинуть Гёттинген. Был разрушен один из центров мировой науки. В 1933—1936 гг. Борн был лектором в Кембридже. Здесь он занимался нелинейной электродинамикой и совместно с Л.Инфельдом разработал (1934) феноменологическую модель классической электродинамики, устранявшую бесконечность энергии точечного заряда (теория Борна-Инфельда) [331]. Осенью 1936 г. М.Борн возглавил кафедру натуральной философии Эдинбургского уни-

верситета, которой руководил до выхода в отставку в 1953 г. Ему удалось собрать новых учеников и сотрудников из разных стран, но это уже была не школа.

Учениками и сотрудниками М. Борна в эдинбургский период были Р. Фюрт, К. Фукс, Г. Грин, Э. Вольф, Хуан Кунь, Р. Шлапп, Г. Пенг, М. Брэдбери и др.

Исследования Борна и его молодых коллег в основном относились к физике твердого и жидкого состояний, где ими получен ряд фундаментальных результатов, причем связь с его предыдущими работами в этой области ощущалась довольно явно. В 1946—1948 гг. Борн совместно с Г. Грином разработал строгую кинетическую теорию жидкостей, в частности ими был предложен (независимо от Н. Н. Боголюбова) метод коррелятивных функций [329]. Были выполнены (1940—1947) важные исследования, связанные с определением спектра колебаний решеток, вызванных диффузным рассеянием рентгеновских лучей и комбинационным рассеянием света. С Хуан Кунем М. Борном была написана книга по динамике кристаллической решетки — "Динамическая теория кристаллических решеток" (вышла в 1954 г.), основной целью которой, как писал в предисловии Борн, было "исходя из наиболее общих принципов квантовой теории, вывести дедуктивным путем, насколько это возможно, строение и свойства кристаллов" [44, с. 7]. Научное влияние Борна распостранялось не только на его непосредственных учеников, но и на его близких друзей и коллег.

Если же выделять непосредственных учеников Борна, принадлежащих к его теоретической школе, то перечень их скорее всего будет выглядеть так: *В. Паули, В. Гейзенберг, Ю. Вигнер, М. Гёпперт-Майер* (Нобелевские лауреаты), *М. Блэкман, Э. Борман, К. Брестер, Э. Броди, М. Брэдбери, В. Вайскопф, Н. Винер, Э. Вольф, В. Гайтлер, Г. Грин, М. Дельбрюк, П. Иордан, Р. Крониг, В. Людвиг, Дж. Майер, Л. Нордгейм, Р. Оппенгеймер, Г. Пенг, Э. Теллер, К. Фукс, Р. Фюрт, Э. Хиллерос, Хуан Кунь, Ф. Хунд, Д. Хутон, Э. Хюккель, В. Эльзасер* и др.

М. Борн, как и А. Зоммерфельд, умел находить одаренных молодых людей с научным складом ума и делал все, чтобы воспитать из них настоящих исследователей. "Мне представляется, что искусное и фундаментальное научное мышление — это некий дар, — отмечал он, — который нельзя компенсировать обучением и который достается лишь ничтожному меньшинству... У меня сложилось впечатление, что никакими мерами по улучшению методов образования нельзя добиться, чтобы неодаренные люди приобрели все требуемое для этого" [42, с. 44—45]. Но поиск таланта, его обнаружение и способствование раскрытию — на это и были направлены усилия Борна. Он к тому же старался не только сделать

из своих учеников специалистов, но и привить им любовь к науке и преданность ее высоким идеалам. И когда некоторые из них (Э.Теллер и П.Иордан) нарушили эти высокие принципы (как известно, Теллер являлся ярким вдохновителем разработки водородной бомбы, а Иордан в годы гитлеровского режима был активным нацистом), Борн с грустью и даже горечью писал: "Приятно сознавать, что у тебя были такие одаренные и деятельные ученики, но мне бы хотелось, чтобы они проявили меньше одаренности и больше мудрости. Я чувствую, что заслуживаю порицания, если все, чему они у меня научились, — это лишь методы исследования, и ничего больше" [6, с.76]. Но эти ученики явились редким и досадным исключением. В целом же школа Борна сыграла выдающуюся роль в развитии физики и, как он сам отмечал, "труды гёттингенской школы... способствовали разрешению интеллектуального кризиса, в котором оказалась наша наука благодаря открытию Планком в 1900 году кванта действия" [40, с.301].

В 1954 г. М.Борн переехал в Бад Пирмонт недалеко от Гёттингена, где его занятия в последующие годы были связаны с раскрытием социальных, экономических и политических последствий развития науки, а также опасности для человечества ядерного оружия. В этот же период увидели свет его книги "Физика в жизни моего поколения" (1956) [40] и "Моя жизнь и взгляды" (1968) [42]. В 1957 г. Борн выступил одним из авторов "Гёттингенского манифеста", направленного против гонки ядерных вооружений. И в дальнейшем Борн занимал активную гражданскую позицию страстного борца за мир. Он принадлежал "к тем физикам, которым хорошо понятна ценность науки, и которые думают о счастливом будущем человечества" [394, с.551].

Его книга "Моя жизнь и взгляды", представляющая своего рода глубокое философско-этическое и историко-публицистическое повествование и раздумье о роли науки в жизни человечества и его судьбе в ядерный век, в то же время она — и предостережение об угрозе ядерной войны и одна из попыток на пути ее предотвращения голосом всемирно известного ученого. И очень современно звучат слова последней, шестой главы книги, будто их автор — свидетель событий, которые сегодня развиваются в нашем мире. "На что же остается надеяться? Можно ли надеяться, что осознание человечеством сути атомной угрозы принесет спасение? — спрашивает Борн. — Единственное, что может спасти нас, — это старая мечта человечества: всеобщий мир и всемирная организация. Это считалось недостижимым, утопическим. Считалось, что природа человеческая неизменна и поэтому войны всегда были и всегда будут. Сегодня это больше неприемлемо. Всеобщий мир в мире, который стал меньше, больше не утопия, а необ-

ходимость, условие выживания человеческого рода. Мнение, что это так, распространяется все шире и шире... Но при всем этом возникает один вопрос, кстати говоря наиболее важный: должны ли политические, экономические, идеологические споры решаться только при помощи силы или войны? Должен ли постулат о неизменности человеческой природы оставаться неоспоримым, поскольку-де она, человеческая природа, всегда была такая и такой пребудет.

Мне это кажется абсурдным... До тех пор пока эта аксиома не будет отброшена, человечество осуждено на уничтожение. Наша надежда зиждется на союзе двух духовных сил: это нравственное сознание неприемлемости войны, выродившейся в массовое убийство беззащитных, и рациональное знание несовместимости ведения войны с помощью современных технических средств уничтожения с возможностью выживания человеческого рода... Мы не можем быть гарантированы от ужасающих событий до тех пор, пока не произойдут изменения в образе мысли и действий людей. Но мы должны надеяться! Надежда еще есть, но она исполнится, если мы ничего не пожалеем для борьбы против недугов нашего времени" [42, с.137-140].

И подобные высказывания и мысли выдающегося физика первой половины нашего века, подкрепленные всей силой его научного и гражданского авторитета, особенно близки в настоящее беспокойное время всем людям доброй воли, стремящимся к миру и борющимся за него. На этой высокогуманной позиции страстного борца за мир М.Борн стоял до самой своей кончины, последовавшей 5 января 1970 г. в Гёттингене.

Научные заслуги М.Борна были оценены по достоинству. В 1954 г. ему (явно с большим опозданием) была присуждена Нобелевская премия по физике за работы в области квантовой механики, в частности статистической интерпретации волновой функции. Он был избран членом многих зарубежных академий наук и научных обществ, в том числе АН СССР (1934), почетным доктором многих университетов, удостоен премий и медалей — медалей Дж.Стокса, Д.Юза, М.Планка и др. В честь М.Борна учреждена премия его имени, присуждаемая за работы в области физики твердого тела.

5. КОПЕНГАГЕНСКАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ШКОЛА Н.БОРА

Среди ярких имен ученых, которыми по праву гордится история науки и бережно хранит в своей памяти, мы встречаем и имя Н.Бора — выдающегося датского физика-теоретика, одного из пионеров и создателей современной физики. Он внес в нее огром-

ный вклад, оказав особенно сильное влияние на развитие квантовой теории и, в частности, на создание квантовой механики, явился творцом нового способа мышления, научив физиков, подобно И.Ньютону и А.Эйнштейну, думать по-новому [39, 81, 132, 186, 192, 193]. "Нильс Бор и Альберт Эйнштейн — это, несомненно, два величайших физика XX в., — говорил на вечере памяти Н.Бора 16 декабря 1962 г. в Москве И.Е.Тамм. — Бор не только был основателем квантовой теории, которая открыла человечеству путь к познанию нового мира — мира атомов и элементарных частиц... Труды Бора наряду с работами Эйнштейна оказали решающее влияние не только на физику нашего века, но и на современное научное мировоззрение в целом" [260, т.2, с.428].

Н.Бор также наглядно продемонстрировал значение научного сотрудничества ученых разных стран для прогресса научного знания, создав большую интернациональную школу физиков-теоретиков и положив своей школой начало новому стилю исследовательской работы в теоретической физике. "Многие выдающиеся ученые получили свои наиболее глубокие результаты, трудясь в одиночку, вдвоем от мира, — писал В.Паули. — Что же касается Нильса Бора, то он по мере того, как росла и формировалась его работа, благодаря своему личному обаянию устанавливал контакты со все возрастающим числом людей. Многие из них становились его сотрудниками и учениками" [209, с.238].

Н.Бор был страстным борцом за мир, за сотрудничество между народами, за предотвращение угрозы ядерной войны. Все это позволяет говорить о нем как о выдающейся личности в истории человечества, который всей своей жизнью и деятельностью снискал себе еще при жизни заслуженную непреходящую славу, а время сделало его имя бессмертным наряду с именами Г.Галилея, И.Ньютона и А.Эйнштейна.

Нильс Хенрик Давид Бор родился 7 октября 1885 г. в Копенгагене в семье профессора физиологии Копенгагенского университета Х.Бора, в семье с глубокими духовными запросами, живым интересом к проблемам человеческой жизни, захватывающими научными спорами. Благоприятное социальное и научное окружение способствовали развитию дарований молодого Бора, явились той средой, в которой рос и формировался будущий ученый. В 1903 г. он поступил в Копенгагенский университет, который окончил в 1907 г., а в 1911 г. получил степень доктора философии за работу по электронной теории металлов. По воспоминаниям соучеников по школе и университету Бор уже в то время производил сильное впечатление своей гениальностью на всех, кто с ним встречался. В 1911—1912 гг. (с перерывами) он продолжил образование в Кембридже у Дж. Дж. Томсона и в Манчестере у Э.Резерфорда. Эти годы для Бора были необычайно плодотворными

и даже можно сказать решающими, именно тогда у него созрели новые идеи. В октябре 1912 г. стал приват-доцентом Копенгагенского университета, в сентябре 1916 г. — профессором теоретической физики (в 1914—1916 гг. преподавал в Манчестерском университете), с 1920 г. — Бор также директор организованного им Института теоретической физики при университете (ныне Институт Нильса Бора), сыгравшего огромную роль в международном общении ученых.

Формирование Н.Бора как ученого происходило в довольно острое и драматическое для физической науки время, когда она вплотную приблизилась к исследованию атомного мира. Работы Э.Резерфорда, М.Планка, А.Эйнштейна и других, анализ спектров излучения атомов показывали необычность его закономерностей. При этом накопленный огромный экспериментальный материал был весьма противоречив в свете существующих законов и принципов. Например, применение к ядерно-планетарной модели атома классической электродинамики приводило к странному выводу: движение электронов вокруг ядра по орбитам должно сопровождаться электромагнитным излучением, т.е. рассеянием энергии, а значит и быстрым сжатием электронных орбит. Однако это противоречило общеизвестному факту о необычайной устойчивости атомных систем. Именно поэтому при попытке объяснения некоторых свойств веществ с привлечением модели атома Резерфорда физики сталкивались с большими трудностями, вытекающими из кажущейся неустойчивости электронов в атоме.

Или же было известно, что каждому химическому элементу соответствует свой комплект спектральных линий, связанных между собой определенными соотношениями. И физики, занимающиеся отысканием сериальных закономерностей, руководствовались исключительно чистой эмпирикой и комбинаторикой, в основе которой, по словам Д.С.Рожественского, "нельзя было еще усмотреть закона природы". Безусловно, ни о какой связи между структурой спектров элементов и строением их атомов не могло быть и речи. Для создания адекватной физической картины атомных процессов необходим был принципиально новый подход, связанный с изучением противоречивых, на первый взгляд, сторон физики микромира. Важная заслуга в этом принадлежала Н.Бору, нашедшему такой подход.

Анализ проблемы устойчивости движений электронов в атомах естественно приводил к мысли, что классическая электродинамика неприемлема для описания поведения систем атомных масштабов, одновременно, указывая на особый, еще не ясный характер атомных процессов. Наряду с этим эмпирические закономерности, обнаруженные в оптических спектрах элементов, т.е. соотношения между частотами, соответствующие определен-

ным спектральным линиям, подсказывали новые, энергетические трактовки комбинационного принципа Ридберга — Ритца (с учетом эйнштейновских квантов света), а следовательно, и связь процессов испускания света с энергетикой атомных состояний. При исследованиях атома, проводимых А.Эйнштейном, И.Штарком, В.Нернстом, А. де Хаасом, Дж.Никольсоном и другими, начала использоваться и планковская идея квантов [298].

Однако подлинное рождение квантовой теории строения атома следует отнести к 1913 г., когда Бор, убедившись в невозможности интерпретировать его внутреннее строение на основе классической механики, использовал для объяснения структуры атома квантовую теорию, осуществив синтез атомной модели Резерфорда с идеями, основанными на существовании кванта действия. Бор считал и был глубоко убежден, что начало квантовой теории, положенное Планком, было ключом к проблеме атома и уже весной 1912 г. пришел к выводу, что энергия атома должна быть квантована и электронным строением атома "управляет" квант действия. "Что касается законов движения электронов, то представляется необходимым ввести в эти законы чуждую классической электродинамике величину, а именно постоянную Планка, или, как ее часто называют, элементарный квант действия, — писал Бор. — Если ввести эту величину, то вопрос о стабильных конфигурациях в атомах существенно меняется... Применение указанной выше идеи к модели атома Резерфорда создает основу для теории строения атома" [39, т.1, с.85].

Новая теория атома была изложена Н.Бором в работе "О строении атомов и молекул", вышедшей в свет в трех частях соответственно в июле, сентябре и ноябре 1913 г. [39, т.1, с.84—148]. Для объяснения устойчивости резерфордовской модели атома он сформулировал два допущения (квантовых постулата), которые положил в основу своей теории водородоподобного атома, простейшей системы, состоящей из положительно заряженного ядра и электронов, движущихся вокруг него по замкнутым (круговым) орбитам (теория атома Бора):

"1. Динамическое равновесие системы в стационарных состояниях можно рассматривать с помощью обычной механики, тогда как переход системы из одного стационарного состояния в другое нельзя трактовать на этой основе.

2. Указанный переход сопровождается испусканием монохроматического излучения, для которого соотношение между частотой и количеством выделенной энергии именно такое, которое дает теория Планка" [39, т.1, с.90].

Первый постулат предполагал наличие определенных, устойчивых состояний электронов в атоме (стационарных состояний), в которых атом не излучает; второй утверждал, что испускание

или поглощение некоторого излучения атомом происходит только при переходах электрона из одного стационарного состояния в другое (квантовых переходах, или квантовых скачках) и устанавливал связь между работами Планка и Эйнштейна. Таким образом, согласно теории Бора среди множества движений электронов в атоме только некоторые, так называемые квантованные движения, оказываются устойчивыми и обычно реализуются в природе. Иначе говоря, для электрона в атоме существуют "разрешенные" орбиты, двигаясь по которым, он, вопреки законам классической электродинамики, не излучает энергии. Однако электрон скачком может "перейти" на ближайшую к ядру разрешенную орбиту, испустив при этом квант энергии, равной разности энергий атома в стационарных состояниях, которой пропорциональны частоты излучения, т.е. $h\nu = E_1 - E_2$, где E_1 и E_2 — значения энергий атома в стационарных состояниях, между которыми осуществляется переход; ν — частота излучения; h — постоянная Планка.

Н. Бор показал, что основное состояние (когда излученная энергия максимальна) системы, состоящей из ядра и связанного электрона (водородный атом), определяется условием, согласно которому момент импульса движущегося по круговой орбите электрона относительно ядра должен равняться \hbar . Тогда для ряда стационарных состояний он равен целому кратному величины \hbar , т.е. $mvr = n\hbar$, где m — масса электрона; v — скорость его движения по орбите радиуса r ; $n = 1, 2, 3, \dots$ — главное квантовое число. Из этого условия стало возможным легко получить радиусы разрешенных орбит и полную энергию электрона на таких орбитах. В названной выше работе Бор также объяснил закономерности в линейчатом спектре, задаваемые формулами Бальмера и Ридберга, и выдвинул "руководящие идеи для создания теории строения атомов элементов и образования молекул химических соединений" [39, т.1, с.148]. Существование уровней энергии в атомах экспериментально подтвердили в 1913—1914 гг. опыты по возбуждению света ударами электронов (опыты Франка — Герца), явившиеся к тому же первым прямым измерением кванта действия [385].

Идея дискретных квантовых состояний электронной системы атома и сама теория выходили за рамки привычных, устоявшихся взглядов и концепций, поэтому не все были уверены в правоте теории, имелись и скептики (Дж. Рэлей, Дж. Дж. Томсон, О. Ричардсон, П. Зеeman и др.), но в общем она произвела сильное впечатление. И Бору потребовалась большая смелость, мужество и независимость мышления, чтобы решиться на подобный шаг. Эти качества бойца в науке и жизни ему приходилось проявлять не раз. Позже о них его ученик Л. Розенфельд напишет так: "Он объединяет в себе в удивительно удачном сочетании смелость и силу

мышления с благоразумием и критической проницательностью. Когда он рискует вступить на нехоженный путь, безжалостно оставляя представления, которые казались наиболее твердо обоснованными, он никогда не делает этого с легким сердцем, наоборот, подобно всем великим творцам он идет на это, лишь удостоверившись после тщательного раздумья и проникновенного анализа требований эксперимента в неизбежности такого шага" [235, с.7]. И дальше продолжает: "Он задумывает свои работы в воинствующем духе: это либо борьба за признание новых точек зрения, либо борьба против укоренившихся предрассудков или, наконец, борьба за новые знания, или их защита от безграничных сомнений и критики" [235, с.14].

Теория Бора объяснила структуру атома и ее устойчивость, многие закономерности в атомных и молекулярных спектрах, свойства химических элементов. Оценивая ее значение, М.Планк писал: "Дать наглядный и плодотворный во многих областях свод законов, которым подчиняются тончайшие атомные явления, удалось Нильсу Бору с помощью установленной им атомной модели. Лежащее в основе квантовой теории деление множества состояний физической системы на счетный ряд дискретных состояний было здесь впервые применено способом, которым можно пользоваться и для других целей..." [217, с.513].

В 1918 г. Н.Бор сформулировал в общем виде важный для новой атомной теории принцип соответствия (наиболее полную формулировку дал в 1923 г.), представлявший собой физический постулат, требовавший совпадения результатов квантовой и классической теории в предельном случае, когда квантовые эффекты малы [39, т.1, с.482—525]. "Бор не только постоянно указывал, что предложенная им модель атома все-таки не является окончательным решением квантовой проблемы, — отмечал Планк, — но и ввел исключительно плодотворный принцип соответствия, указавший направление дальнейшего развития квантовой теории и одновременно установивший связь новых представлений с классической теорией" [216, с.513—514]. Этот принцип, в котором старое было соединено с новым, Бор и его ученики широко использовали при исследовании строения многоэлектронных атомов и их спектров. Принцип соответствия стал путеводной нитью для всех новых открытий Бора и его школы. По мнению М.Борна, "теоретическая физика жила этой идеей (принципа соответствия, — Ю.Х.) в течение последующих десяти лет", а по словам В.Гейзенберга, "принцип соответствия больше других достижений подготовил почву для действительного понимания квантовой теории, которое при всех внешних успехах теории все еще отсутствовало". Этим принципом завершилось развитие старой квантовой теории.

Широко используя свою модель и принцип соответствия, Н.Бор объяснил строение атомов, развил представления о ступенчатом образовании электронных конфигураций в атоме при возрастании атомного номера путем последовательного присоединения электронов, т.е. рассмотрел заполнение электронной оболочки атома (образование атомов), дал на этой основе интерпретацию химических свойств элементов, предсказал существование 72-го химического элемента, открытого в 1922 г. в его же институте Д.Хевеши и Д.Костером [352]. Тем самым Бор заложил основы физического истолкования периодического закона химических элементов и объяснил особенности периодической системы. В частности, он предложил расположение периодической системы, наглядно демонстрирующее связь между периодами и ступенчатым образованием электронных групп в атоме с увеличением атомного номера (боровская картина периодической системы элементов). Все это нашло отражение в его докладе "Строение атомов в связи с физическими и химическими свойствами элементов", прочитанном им 18 октября 1921 г. в Физическом обществе в Копенгагене [39, т.1, с.318—375]. Следует заметить, что полученные результаты в значительной мере были следствием удивительной интуиции Бора, его внутреннего видения атомных процессов, так как принцип Паули тогда еще не был открыт. Эти же проблемы и идеи были изложены Н.Бором в расширенном виде в цикле лекций "О теории строения атома", прочитанных им в июне 1922 г. в Гёттингене. Шесть лекций и одна дискуссия, или семь вечеров, названных "фестивалем Бора", оказали сильное влияние на становление многих физиков, в частности В.Гейзенберга.

В 1923 г. появилась статья Н.Бора и Д.Костера "Рентгеновские спектры и периодическая система элементов" [39, т.1, с.453—481], в которой теория периодической системы основывалась на экспериментальных исследованиях не оптических, как ранее, а рентгеновских спектров. Здесь же впервые была введена константа экранирования и использована схема энергетических уровней в атоме.

За заслуги в изучении строения атома Н.Бор в 1922 г. был удостоен Нобелевской премии по физике. Его теория знаменовала рождение современной теории атома, она явилась важным, но все-таки промежуточным этапом на пути построения квантовой механики. "Боровское объяснение свойств атомов было воспринято тогда, как своего рода апогей квантовой теории, — писал Ф.Хунд в своей "Истории квантовой теории". — И сегодня еще его можно рассматривать как высшую точку старой квантовой механики, могущество принципа соответствия. Однако вскоре после этого трудности старой квантовой теории становились

все более и более очевидными, так что в 1922 г. уже говорили о "кризисе" [298, с.87—88].

Недостатки существующей квантовой теории хорошо сознавал и сам Н.Бор. В своей нобелевской лекции он говорил: "Однако едва ли нужно подчеркивать, что теория в значительной степени находится еще в начальной стадии своего развития и что существует еще много фундаментальных вопросов, ожидающих своего решения" [39, т.1, с.452]. К тому же эта теория была внутренне противоречива. Она искусственно объединяла классические понятия и законы с чуждыми им квантовыми условиями, иными словами, ей был присущ двойственный характер идейных основ. Кроме того, она была недостаточно универсальной, так как не могла объяснить всего разнообразия атомных процессов. Вскоре стало ясно, что теория Бора — лишь промежуточное звено между классическими представлениями и какими-то новыми взглядами, которые позволят глубже проникать в суть квантовых процессов. Необходимость новой теории, в которой квантовые идеи лежали бы в основе, а не представляли собой какое-то спасательное приложение к классической теории, становилась все более очевидной.

И Н.Бор возглавил работу по созданию такой теории, которая впоследствии была названа квантовой механикой. Причем во времени она совпала с началом формирования им научной школы (1922—1930). С 1922 г. его Институт теоретической физики стал притягательным центром для физиков всех стран, наиболее талантливых молодых физиков — "квантовых теоретиков", развивавших под его руководством идеи и принципы квантовой теории. Этому, безусловно, способствовала яркая личность Бора: его исключительная гениальность, высокий научный авторитет, а также такие чисто человеческие качества, как необыкновенное обаяние, простота, скромность, искренность, человечность, общительность, доброжелательность, сочетавшаяся в то же время с твердостью и непреклонностью убеждений, сила воли. Кроме того, Бора отличали быстрота и глубина мышления, способность сразу же схватывать сущность, потрясающая физическая интуиция и проникаемость [311, 325, 348, 384, 418, 472, 554].

"Он больше не действовал в одиночку, — писал об этом периоде В.Вайскопф, — а трудился, объединившись с другими физиками. Он приобрел большую силу, собрав вокруг себя наиболее одаренных и самых перспективных физиков мира. В это время у Бора в его знаменитом Институте теоретической физики в Копенгагене работали такие люди, как Клейн, Крамерс, Паули, Гейзенберг, Эренфест, Гамов, Блох, Казимир, Л.Ландау и многие другие. Именно в это время и при участии этих людей были заложены основы квантовых представлений, постигнуто и рассмотрено соот-

ношение неопределенностей, впервые понят корпускулярно-волновой парадокс.

В оживленных дискуссиях с участием двух или большего числа собеседников проливался свет на глубочайшие проблемы строения вещества. Можно представить себе, какая атмосфера, какая жизнь, какая интеллектуальная активность царили в то время в Копенгагене. Здесь ощущалось влияние Бора в самых лучших его проявлениях. Именно здесь он создал свой стиль, копенгагенский дух, стиль весьма специфический, который он внедрил в физику. Мы видим его, величавого, действующего, говорящего, живущего как равный в группе молодых оптимистически настроенных, остроумных, полных энтузиазма людей, постигающих глубочайшие загадки природы, действующих в духе атаки, в духе свободы от привычных пут, в атмосфере шуток, которую с трудом можно описать" [50, с.55—56]. Это была эпоха рождения новой науки о строении материи, явившейся итогом бурных дискуссий и упорного труда, проходящих в условиях энтузиазма и хорошего настроения. Именно здесь доминировал особый, присущий только Бору стиль, оказавший такое глубокое влияние на всю атомную физику.

Н.Бор оказался замечательным и умелым руководителем неформального сообщества молодых исследователей, обладающим удивительной способностью подбирать людей, сплачивать их в дружный коллектив, передавать им свой метод работы, создавать такую обстановку, в которой быстро достигалось взаимопонимание, все быстро находили общий язык. И неудивительно, что многие физики с благодарностью и гордостью называют его своим учителем. Его учениками становились одаренные молодые теоретики, получившие подготовку по теоретической физике и особенно по применению математики к теоретическим проблемам в других физических центрах.

Создание вокруг себя научного окружения было внутренней потребностью Н.Бора, отвечающей его научному кредо. "...Бор всегда нуждался в присутствии человека, с которым он мог обсуждать проблемы, — писал в этой связи его ученик С.Розенталь.— Это своего рода живая дека была необходимой предпосылкой для работы, средством проверки силы аргументов. Он ощущал внутреннюю потребность в критике, чрезвычайно остро реагируя на любое критическое высказывание. Часто в ходе дискуссии ему удавалось сформулировать свою мысль наилучшим образом. Бор с жадностью ловил каждое справедливое замечание в отношении выбора слова и охотно вносил изменение в текст" [192, с.207]. Бор предпочитал работать, когда рядом был человек, в присутствии которого он свободно предавался своим размышлениям и на ком проверял формулировку своих мыслей.

В институте под руководством Н.Бора происходили горячие, но в то же время непринужденные, откровенные и свободные от давления с его стороны творческие дискуссии. Если к чтению курса лекций у Бора не было никакого природного дарования и склонности, то на семинарах он проявлял себя во всем блеске своего таланта. Именно здесь в полной мере раскрывались его выдающиеся способности. "Обсуждение какого-либо вопроса для Бора — это не просто обмен взглядами или информацией, — писал Л.Розенфельд. — К каждой проблеме он подходит так серьезно, а внутри его столь гармонично переплетаются все импульсы ума и сердца, что дискуссия затрагивает все его существо, включает в игру все его способности. Охваченный юношеским энтузиазмом, оживленный и вдохновленный, убеждающий и настойчивый, он захватывает аудиторию" [235, с.14].

В институте Н.Бор всячески утверждал свой стиль, так называемый копенгагенский дух, понимаемый как полную свободу мнений и дискуссий. Бор никогда не стремился навязать своим молодым сотрудникам свою точку зрения или свои методы и концепции. Каждая высказываемая мною мысль часто повторял он должна пониматься не как утверждение, а как вопрос. "Ум всегда настороженный, всегда открытый сомнению, возможному совершенствованию, внимательный к мельчайшим неувязкам, никогда не успокаивающийся до тех пор, пока предмет исследований полностью не исчерпан и не достигнуто понимания всех его аспектов, — это образ скрупулезного терпеливого неутомимого исследователя, и именно таким предстает перед своими учениками Бор", — писал Л.Розенфельд [235, с.6].

Благодаря личным качествам и потребности постоянного научного общения Н.Бор устанавливал контакты со многими физиками из разных стран, большинство из которых становились его сотрудниками и учениками. Он представлял собой образец идеального научного лидера, так как всегда был открыт для новых идей, и их принятия, обладал огромным научным авторитетом и исключительной добротой. Получая довольно большие средства от фонда Карлсберга, Бор имел возможность привлекать в институт для совместной работы самых одаренных молодых исследователей из всех стран мира и этой возможностью он пользовался очень умело. Многие из физиков в то время мечтали поработать у Бора. И покидая Копенгаген, они были необычайно обогащенными в научном плане, дискуссиями с Бором и контактами друг с другом, часто вскоре приходила и известность. Он был доступен, всегда готов помочь советами, тем, кто их искал и нуждался в них. Его терпимость, открытость и доступность сочетались одновременно с большой строгостью в выборе сотрудников и твердостью в методах руководства.

Вскоре после основания Институт теоретической физики стал центром притяжения для ученых, "столицей атомной физики", где в доброжелательной, непринужденной, научной атмосфере, обстановке подлинного творчества, свободного и активного обмена мнениями и идеями удивительно легко достигалось взаимопонимание и проникновение в суть проблемы. И очень показательно для оценки влияния, которое оказывал институт на молодых физиков, высказывание Н.Мотта, проработавшего в Копенгагене один семестр (осень 1928 г.). "Это был опыт прозрения", — писал он [472, с.163]. И этой фразой сказано все.

В Институте подолгу работали, входя в окружение Бора, так необходимое для него, П.Дирак, Р.Пайерлс, Э.Вильямс, Х.Кази-мир, Х.Краммерс, В.Гейзенберг, К.Вайцзеккер, Л.Розенфельд, В.Пау-ли, Дж.Гамов, О.Клейн, Й.Нишина, Дж.Слэтер, Л.Томас, Л.Д.Лан-дау, С.Росселанд, Р.Оппенгеймер и др. Здесь в беседах и семина-рах, число участников в которых, например, в 1934—1935 гг. сос-тавляло от 12 до 24 человек, происходило становление теорети-ков, для них диалог с Бором являлся хорошей школой научного воспитания. По словам Дж.Уилера, у Бора был "особый дар вести диалог, представлявший собой замечательное сочетание шутки, оптимизма и серьезности. Он извлекал самую сущность из диалога с тем, кто умел говорить по делу" [554, с.66].

В результате институт стал основой обширной интернациональ-ной теоретической школы во главе с Бором. "Как только моло-дой физик окажется во власти чар оживленной, но спокойной ат-мосферы института..., когда он начнет принимать участие во вдох-новенных дискуссиях, возникающих по самому неожиданному поводу и заставляющих забыть о ходе времени, когда он примк-нет к группе учеников, окружающих приветливо улыбающегося учителя, — отмечал Л.Розенфельд, — тогда он почувствует, что принят в духовное братство, тесно сплоченное под отеческой эги-дой Нильса Бора" [235, с.6].

Этот же этап формирования боровской школы описал и В.Вай копф: "Интернациональное содружество физиков объеди-нилось вокруг Бора в общем стремлении изучать тайны природы. До начала 30-х годов в этом кругу больше всего говорили о физи-ке, философии, искусстве и литературе. Тем не менее выработа-лась общая манера мыслить и чувствовать, заложившая основу для будущих человеческих сражений, более крупных и драмати-ческих, чем кто-либо мог предвидеть. Как-то сама собой образова-лась небольшая сплоченная группа, в которую входили представи-тели многих европейских стран, включая СССР, а также японцы, индусы и американцы... Ничто не могло поколебить единство груп-пы, члены которой всегда чувствовали себя пастырями одного прихода" [192, с.268—269].

С 1922 г. началось плодотворное сотрудничество копенгагенской группы Н.Бора с теоретическими группами А.Зоммерфельда (Мюнхен), М.Борна (Гёттинген), П.Эренфеста (Лейден) и Р.Фаулера (Кембридж), и для многих физиков из этих групп Бор стал вторым учителем. Применительно к В.Гейзенбергу об этом писал Ф.Хунд: "Влияния, под которыми находился Гейзенберг, заслуживают пристального внимания. Это влияние математически и прагматически мыслящего Зоммерфельда, систематически и математически мыслящего Борна, синтетически и философски мыслящего Бора, наверное, наиболее глубокого из этих исследователей" [298, с.107]. С этого же года в старой квантовой теории возникла кризисная ситуация, начавшаяся с неудач при расчете термов гелия. Попытка Х.Крамерса рассчитать (конец 1922 г.) его основное состояние привела к неправильному значению энергии ионизации, а расчет его возбужденных состояний, выполненный Борном и Гейзенбергом (весна 1923 г.), не согласовывался со спектроскопическими термами. Стала очевидной ограниченность существующей теории.

Дальнейшее ее развитие стимулировалось критическим отношением к использованию кинематико-механических представлений. (Следует заметить, что в отличие от других физиков Бор уже в 1922—1923 гг. очень осторожно пользовался классическими моделями.) Шагом вперед стала теория дисперсии света, внесшая новую точку зрения и проложившая дорогу к квантовой механике. Полезным оказалось и введенное в 1924 г. Дж.Слэтером представление о виртуальных осцилляторах как о связывающем звене между атомами и полями излучения [505], развитое в дальнейшем Н.Бором, Х.Крамерсом и Дж.Слэтером в работе "Квантовая теория излучения" (февраль 1924 г.) [39, т.1, с.526—541], которая также известна тем, что в ней авторы при рассмотрении индивидуальных атомных актов пришли к выводу о возможности нарушения закона сохранения энергии и импульса (экспериментальное доказательство сохранения энергии и импульса при рассеянии γ -квантов на электронах для каждого элементарного акта рассеяния дали в 1925 г. В.Боте и Х.Гейгер). Используя понятие виртуальных осцилляторов, Крамерс в июле того же года построил теорию дисперсии, установившую прямую связь с введенными в 1917 г. А.Эйнштейном вероятностями переходов для спонтанного и вынужденного испусканий и поглощений света [446]. Изменение показателя преломления, обусловленное вынужденным излучением, Крамерс назвал отрицательной дисперсией. При этом им было указано, что в теорию входят только наблюдаемые величины.

Дальнейший успех теории дисперсии обусловлен совместной работой Х.Крамерса и В.Гейзенберга в Копенгагене (январь 1925 г.) [447]. В ней были исследованы новые атомные реакции,

связанные с возмущениями поля излучения, получена полная формула дисперсии, включавшая комбинационное рассеяние (дисперсионная формула Крамерса — Гейзенберга). "Но изложение оставалось полуэмпирическим в том смысле, что для вывода спектральных термов, а также вероятности реакций, не было еще замкнутой в себе основы, — вспоминал в 1961 г. Бор. — Тогда существовала только слабая надежда, что упомянутую связь между дисперсионными и возмущающими эффектами можно будет использовать для постепенного преобразования теории, в которой шаг за шагом можно будет исключить любое неуместное применение классических представлений" [39, т.2, с.541].

Этим была подготовлена почва для решающего продвижения вперед. Им стала матричная теория Гейзенберга, представлявшая собой первую формулировку строгой квантовой механики (лето 1925 г.) [273]. "Под впечатлением тех трудностей, которые представляла такая программа, у нас всех вызвало восхищение то обстоятельство, что двадцатитрехлетний Гейзенберг нашел, как одним ударом можно достигнуть цели, — писал Н.Бор. — Благодаря предложенному им представлению кинематических и динамических величин с помощью незаменимых символов была фактически получена основа для дальнейшего развития" [39, т.2, с.541]. Формальное завершение новая механика (в матричной форме) получила в том же году в совместной работе М.Борна, В.Гейзенберга и П.Иордана [273].

В 1925—1926 гг. усилиями В.Гейзенберга, М.Борна, П.Дирака, Э.Шредингера и ряда других физиков была создана нерелятивистская квантовая механика в двух формах — матричной и волновой и разработан ее математический аппарат. И те, кто закладывал основы этой механики, приезжали в Копенгаген и напряженно подолгу работали под руководством Бора в своего рода "квантовой атмосфере", переваривая и осмысливая полученные результаты. При этом Бор по-прежнему оставался постоянным генератором идей, философски обобщая полученные данные. Выступая в роли научного лидера, Бор буквально "управлял" ходом мыслей своих молодых коллег. В результате длительных исследований и плодотворных дискуссий Бор вместе со своими учениками и сотрудниками пришел к стройной картине и четкому пониманию всей системы квантовой механики.

В 1927 г. он, исходя из соотношения неопределенностей Гейзенберга, сформулировал так называемый принцип дополнительности, отражающий невозможность точно описывать микрообъекты, используя понятия классической физики, и имеющий важное значение для понимания квантовой механики [39, т.2, с.30—53]. В результате Бором и названными выше физиками, а также

Х.Краммерсом, В.Паули и П.Иорданом была разработана законченная, логически непротиворечивая система идей, методов и принципов квантовой механики. В 1961 г. в статье "Возникновение квантовой механики" он напишет, "что именно близкое сотрудничество целого поколения физиков многих стран позволило шаг за шагом навести порядок в новой обширной области знания" [39, т.2, с.544].

В связи с невозможностью использования старых пространственно-временных представлений в квантовой механике по-новому решается задача описания микропроцессов. Ее законы являются вероятностными и не имеют уже наглядности, свойственной точным законам классической механики. А это и привело к значительным гносеологическим трудностям и постановке ряда философских проблем, связанных с квантовой механикой. Поэтому вскоре после ее разработки многие даже видные физики-теоретики такие, как А.Эйнштейн, М.Планк, Л. де Бройль, М.Лауэ, Э.Шредингер, воспитанные в традициях классической науки, основанной на полной детерминированности, не могли мыслить иными категориями и с большой неохотой восприняли квантовую механику в том виде, в каком она была создана.

А.Эйнштейн предлагал различные "мысленные эксперименты" и "парадоксы", чтобы продемонстрировать противоречия в статистической трактовке теории. Возникла длительная и плодотворная дискуссия между Эйнштейном и Бором по вопросу о принципах квантовой механики, которая существенно помогла уяснению основ теории, выработке более глубокого ее понимания, помогла убедиться в ее внутренней стройности [39, т.2, с.399—433].

Крутая ломка многих устоявшихся понятий и представлений, связанная с появлением новой механики, по ряду вопросов теории познания привела к острой борьбе материализма с идеализмом. В частности, велась эта борьба и вокруг взглядов Бора на некоторые методологические проблемы физики. В интерпретации новых идей и фактов, Бор иногда высказывал ошибочные философские утверждения, а отдельные его формулировки служили поводом для истолкования его высказываний в позитивистском духе [39, т.2, с.204—212; 391—398; 526—532]. Советские физики и философы многое сделали для материалистического осмысления положительного вклада Бора в физику [288].

Сразу же после создания квантовой механики ученики Бора применили ее к широкому кругу атомных явлений, получив ряд важных результатов. "В конце 1926 г. принципы квантовой механики с вероятностной интерпретацией и теорией преобразований были в целом установлены, — писал Ф. унд. — С весны 1926 г. уравнение Шредингера стали применять как удобный и соответст-

вующий математическим знаниям физиков того времени метод решения простейших задач. Эти обстоятельства вызвали около 1927 г. поток приложений и разработку практических методов расчета" [298, с.157]. В 1928 г. Дж.Гамовым и независимо Р.Герни и Э.Кондоном была построена теория α -распада ядер на основе квантово-механического туннельного эффекта [395, 404], В.Гейзенбергом независимо от Я.И.Френкеля [388] — квантовая теория ферромагнетизма (1928) [408], О.Клейном и Й.Нишиной — теория эффекта Комптона (1929) [445], Л.Д.Ландау — теория диамагнетизма [454], Р.Пайерлсом получен ряд важных результатов в физике твердого тела (1929—1933) [481], Ф.Блохом (независимо от Л.Бриллюэна) заложены основы зонной теории твердых тел (1928—1930) [324], П.Дираком, В.Гейзенбергом, П.Иорданом и В.Паули — основы квантовой электродинамики и квантовой теории поля (1927—1930) [365, 412, 417] и др.

В 30-е годы Н.Бор, его сотрудники и ученики, используя квантовые идеи при исследовании электромагнитных и ядерных полей, а также строения атомных ядер, получили фундаментальные результаты. Лично Бор много сделал для развития ядерной физики [553] и, по словам Дж.Уилера, полученные им здесь результаты помогли понять ядерную структуру и ядерные реакции. В 1936 г. он, исходя из представления о ядре как многочастичной системе, разработал концепцию составного (компаунд) ядра, образующегося при попадании налетающей частицы в ядро-мишень и представляющего собой относительно долгоживущее промежуточное полустабильное состояние из исходного ядра и падающей частицы. Эту концепцию Бор использовал для построения общей теории ядерных реакций [39, т.2, с.192—201]. Согласно Бору ядерная реакция протекает в две стадии: образование составного ядра путем захвата ядром-мишенью налетающей частицы (с распределением ее энергии между составляющими нуклонами) и его распад. "Возможный последующий распад этой промежуточной системы с вылетом материальной частицы или переход в конечное устойчивое состояние с испусканием кванта излучения следует рассматривать как самостоятельные процессы, не имеющие непосредственной связи с первой фазой соударения, — писал Бор. — Мы встречаемся здесь с существенной разницей, ранее ясно не распознанной, между собственно ядерными реакциями и обычными соударениями быстрых частиц и атомных систем..." [39, т.2, с.193].

Важным здесь было также то, что в противоположность общепринятой тогда точке зрения, согласно которой возбуждение ядра связывалось с возбужденным квантовым состоянием отдельной частицы в ядре, Н.Бор допустил, что принесенная частицей в яд-

ро энергия распределяется между составляющими ее нуклонами и возбуждение соответствует некоторому квантованному коллективному типу движения всех ядерных частиц. Кроме того, Бор впервые отметил, что существенной чертой ядерных реакций, происходящих в результате соударения частиц или поглощения излучения, является свободная конкуренция между возможными процессами освобождения частиц составной системы, находящейся в полустабильном состоянии, или переходов с излучением, т.е. конечный результат, или распад этого промежуточного состояния он рассматривал как статистический, являющийся итогом соперничества между различными возможными способами распада и излучения этой составной системы.

Теория ядерных реакций Бора дала возможность объяснить многие экспериментальные факты взаимодействия тепловых нейтронов с ядрами и ядерные реакции под действием заряженных частиц и γ -квантов. Она получила развитие (1937) в совместной работе Н.Бора и Ф.Калькара [39, т.2, с.213—238], в которой ими независимо от Я.И.Френкеля была использована также капельная модель ядра. Особенно плодотворным было применение модели составного ядра к процессу расщепления ядер тяжелых элементов, в частности урана. Деление ядра урана под действием нейтронов, открытое в декабре 1938 г. О.Ганом и Ф.Штрассманом [190, с.162—165], уже в статье О.Фриша и Л.Мейтнер "Расщепление урана нейтронами — новый тип ядерной реакции" [469], датированной 16 января 1939 г. (опубликована 11 февраля 1939 г.), интерпретировано как развал ядра на две примерно равные части. Тогда же, 16 января 1939 г., Фриш получил и экспериментальные доказательства процесса деления урана (его статья "Физическое доказательство деления тяжелых ядер при их бомбардировке нейтронами" была опубликована 18 февраля [392]). 25 февраля 1939 г. в заметке "Расщепление тяжелых ядер" Бор высказал ряд замечаний относительно механизма этого процесса на основе своей концепции составного ядра [39, т.2, с.289—290].

Глубокое исследование распада ядра на основе капельной модели Н.Бор выполнил совместно с Дж.Уилером. Их совместная статья "Механизм деления ядра" поступила в редакцию "Physical Review" уже 28 июня 1939 г. (опубликована 1 сентября) [39, т.2, с.299—345]. В ней была дана удовлетворительная картина ядерного деления, в частности, рассмотрена энергия, освобождающаяся при делении, стабильность ядра по отношению к деформациям, деление, вызываемое тепловыми и быстрыми нейтронами, а также дейтронами, протонами и γ -квантами. Теорию деления на основе капельной модели ядра впервые предложил Я.И.Френкель в статье "Электрокапиллярная теория расщепления тяжелых ядер медленными нейтронами" [290]. Бор и Уилер ввели также параметр де-

ления Z^2/A , определяющий вероятность этого процесса, и независимо от Френкеля предсказали спонтанное деление ядер урана (открыто в 1940 г. Г.Н.Флёровым и К.А.Петржаком [382]). установили, что под действием медленных нейтронов делится редкий изотоп урана — уран-235, так как энергия связи нейтрона в нем больше, чем в ядре урана-238. Поэтому составное ядро, образующееся путем захвата медленного нейтрона ураном-235, находится в состоянии большего возбуждения, чем составное ядро в случае с ураном-238. Затем последовал еще ряд работ Бора в области ядерной физики, получившей бурное развитие.

К сожалению, с появлением новых научных направлений, в частности физики элементарных частиц, он — создатель атомной физики и человек, оказавший сильное влияние на развитие физики ядра, — "превратился из актера в зрителя". Однако и в этот период вплоть до своей кончины 18 ноября 1962 г. Бор являлся непременным участником многих международных конференций, активно занимался общественной деятельностью.

В послевоенный период Н.Бор — признанный глава физиков мира. И это неудивительно, ибо с первых дней основания своего института он старался претворять в жизнь идею международного сотрудничества физиков и вскоре его институт стал одним из крупных международных научных центров. "Идея сотрудничества, — писал С.Розенталь, — являлась для Бора не только предпосылкой развития науки, но и определяющей чертой его мировоззрения, его отношения к человеческим проблемам" [192, с.232].

Свойство Бора объединять физиков также образно охарактеризовал В.Паули: "Подобно тому, — писал он, — как теория Бора объединила различные отрасли науки, сам Бор в своих выступлениях на международных конгрессах и тщательно подготовленных конференциях в Копенгагене объединял различные научные точки зрения и гносеологические подходы физиков и тем самым давал возможность участникам конференций чувствовать себя, несмотря на все разногласия, членами одной большой семьи" [209, с.239].

В результате Н.Бором была создана обширная теоретическая школа, в которую входят такие известные физики, как Ф.Блох, О.Бор, В.Вайскопф, К.Вайцеккер, М.Дельбрюк, П.Дирак, Дж.Гамов, Х.Йенсен, Х.Казимир, Ф.Калькар, О.Клейн, Д.Костер, Х.Крамерс, Э.Вильямс, Л.Д.Ландау, Й.Линдхард, К.Мёллер, Й.Нишина, В.Гейзенберг, Р.Пайерлс, А.Пайс, В.Паули, Г.Плачек, И.Раби, С.Розенталь, Л.Розенфельд, С.Росселанд, Дж.Слэтер, Дж.Уилер, Л.Томас, Н.Мотт, Г.Юри и др. Десять из них (Ф.Блох, О.Бор, В.Гейзенберг, П.Дирак, Х.Йенсен, Л.Д.Ландау, Н.Мотт, В.Паули, И.Раби, Г.Юри) стали Нобелевскими лауреатами, а В.Гейзенберг, Л.Д.Лан-

дау, Н.Мотт, Й.Нишина, И.Раби, Дж.Слэтер и Дж.Уилер — создателями собственных физических школ.

Н.Бор много сделал для создания Центра европейских ядерных исследований в Женеве (ЦЕРН) и Института теоретической атомной физики пяти северных стран в Копенгагене (НОРДИТА).

Н.Бор был великой личностью и в науке, и в жизни. Его всегда отличала высокая гражданская позиция. Он был непримиримым противником нацизма и в его институте нашли убежище многие преследуемые гитлеризмом физики, в частности, Дж.Франк, Г.Плачек, О.Фриш и др. Важнейшей проблемой для него всегда была связь науки с обществом и его глубоко волновали вопросы социальных, политических и общественных следствий открытий в физике. Еще во время разработки ядерного оружия Бор неоднократно пытался убедить политических деятелей Запада предпринять совместные шаги для предотвращения катастрофического использования силы атома, но безрезультатно.

"Вплоть до конца войны я всеми доступными ученому путями стремился подчеркнуть значение осознания в полной мере политических последствий этого проекта (создания атомной бомбы. — Ю.Х.), — писал Бор, — и отстаивал ту точку зрения, что прежде чем может возникнуть вопрос об использовании атомного оружия, должно быть положено начало международному сотрудничеству по устранению новой угрозы мировой безопасности" [274, с.362]. Лучше других понимая ту опасность, которую представляет для человечества атомная бомба, он предупреждал мир о последствиях ее появления, активно и страстно боролся с ядерной угрозой. Вскоре после атомной бомбардировки в августе 1945 г. японских городов Хиросимы и Нагасаки он откликнулся на этот бесчеловечный акт статьей "Вызов цивилизации", в которой со свойственной ему пронизательностью раскрыл многие аспекты проблемы, представляющиеся и сегодня необычайно актуальными и близкими всем тем, кто стремится к миру и борется за него. Слова этой статьи звучат призывом ко всем людям планеты, в частности к ученым, отстоять завоевания цивилизации и мир на Земле.

"Устрашающие средства разрушения, которые оказались во власти человека, очевидно, будут представлять смертельную угрозу цивилизации, если только с течением времени не будет достигнуто общее соглашение о соответствующих мерах предотвращения любого неоправданного использования нового источника энергии, — писал Бор. — Соответствующее соглашение потребует, конечно, упразднения барьеров, которые до настоящего времени считались необходимыми для поддержания национальных интересов, но ныне преграждают путь к достижению общей безопасности перед лицом беспрецедентной угрозы. В самом деле, только меж-

дународный контроль любого шага, который мог бы представлять угрозу для безопасности всего мира, позволит в будущем любой нации бороться за процветание и культурное развитие без постоянного страха перед катастрофой... Достижение этой цели, которая накладывает на наше поколение серьезнейшую ответственность перед будущим, конечно, зависит от позиции всех людей мира" [39, т.2, с.377—378].

12 июня 1950 г. Н.Бор направил Организации Объединенных Наций "Открытое письмо" [274, с.357—366], проникнутое глубокой тревогой за судьбы мира и человечества, в котором высказал некоторые свои соображения относительно урегулирования международных отношений, требуемых современным развитием науки и техники. "Открывая такие широкие перспективы для повышения благосостояния человека, это развитие в то же время отдает в его руки грозные средства разрушения, — писал Н.Бор, — и тем самым бросает всей нашей цивилизации весьма серьезный вызов" [274, с.357]. Предвидение Бора стало в наше время, к сожалению, мрачной реальностью. Развернувшаяся в мире гонка ядерных вооружений, сопровождаемая совершенствованием ядерного оружия, безудержное нагромождение его арсеналов, возникшая опасность его переноса в космос — это все ближе подталкивает человечество к краю пропасти. И все громче становятся голоса тех, кто сегодня выступает за безъядерный мир, за выживание человечества. И в авангарде этой борьбы за мир, за уничтожение ядерного оружия выступает Советский Союз — страна первого мирного атома.

Н.Бор был членом Датского королевского общества с 1917 г. и его бессменным президентом с 1939 г. Он состоял почетным членом многих академий наук, в частности с 1929 г. АН СССР, ему была присвоена степень доктора многих университетов мира. И все физики мира отдают этому выдающемуся ученому и мыслителю XX ст., внесшему огромный вклад в интеллектуальный климат эпохи, расширение международных связей ученых, в пропаганду идей мира и мирного сотрудничества всех государств, дань глубокой благодарности и безмерного уважения.

6. ШКОЛА НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ Э.ФЕРМИ

Об Э.Ферми мало сказать как о просто выдающемся физике XX ст., правильнее сказать как об уникальном, учитывая огромный вклад в теоретическую и экспериментальную физику, а также ту большую роль, которую он сыграл в воспитании молодых исследователей, создав итальянскую и американскую школы физиков [177,

243, 279]. "Ферми представлял собой уникальное явление среди выдающихся физиков XX в., будучи одним из самых великих физиков-экспериментаторов и в то же время являясь одним из величайших физиков-теоретиков, — говорил Х.Бете. — Он был необычен и по широте диапазона своих открытий. Он, может быть, был последним физиком, который знал почти все о физике..." [492, с. 249].

Этой оценке созвучны и высказывания других физиков, близко знавших Ферми. "Среди современных нам ученых великий итальянский физик Энрико Ферми занимает особое место, — пишет один из его первых учеников Б.Понтекорво. — В наше время, когда узкая специализация в научных исследованиях стала обычным явлением, трудно указать столь универсального физика, каким был Энрико Ферми. Он внес большой вклад в развитие теоретической, экспериментальной и даже технической физики" [219, с. 349].

"Ферми — это тот ученый, научные идеи которого лежат в основе представлений современной физики, — отмечает В.Вайскопф. — Неоценимо влияние, которое оказали на достижения современной физики его труды, инициатива, личный пример и, что самое главное, его ученики... Почти во всех областях физики можно обнаружить его идеи, влияние его образа мыслей" [550, с. 26].

Э.Ферми внес вклад в статистическую механику, атомную и ядерную физику, квантовую электродинамику и квантовую теорию поля, физику элементарных частиц и физику высоких энергий, астрофизику, техническую физику, положив начало ряду новых научных и технических направлений, в частности, нейтронной физике, физике и технике ядерных реакторов, нейтронной оптике, пионной физике и физике резонансов [280].

Что же сделало Ферми личностью в науке и в жизни? Какие особые черты характера, свойственные ему, сделали его выдающимся ученым и учителем?

Как человека его характеризовали большой талант, если не сказать гениальность, энергичность, работоспособность, целеустремленность, исключительная память, независимость и ясность мышления, здравый смысл во всем, простота, искренность, непосредственность, отвращение к претенциозности и фальши, честолюбие и стремление к лидерству в высоком смысле слова.

Из научных качеств следует отметить: любовь к физике и преданность ей; глубокие физические знания и абсолютное понимание физических законов, что давало ему возможность распространять их на любую проблему, отсюда и необычайная ясность и удивительная прозрачность изложения, непринужденный анализ не-

знакомых ситуаций в новых областях физики; широта интересов и огромная эрудиция; необыкновенная физическая интуиция; глубокое знание математики, сочетающееся с антипатией к математическим формальностям, отсутствием боязни математических трудностей и стремлением к простоте, прежде всего к физическому смыслу, к нахождению простого пути к истине; внутреннее видение проблемы, сочетание понимания теории с глубоким чувствованием реальности; высокий научный стандарт исследований, оригинальность, чувство нового, методичность, конкретность, выделение главного; объединение теоретического подхода с экспериментальным. Но этот набор качеств сам по себе еще не обеспечивал выдающихся результатов в физике и в воспитании творческой молодежи. Надо было быть еще Ферми.

Попытаемся, опираясь на высказывания его друзей, коллег и учеников, выделить главные качества Ферми как ученого и учителя. По мнению Х.Бете, В.Вайскопфа, Б.Понтекорво и других одной из основных черт Ферми была простота — простота его личности и простота в объяснении физических вопросов, какими бы сложными они не были. "Ему было свойственно браться за сложные проблемы, "разбирать" их на части, а затем он находил решения для каждой из частей и делал это очень элегантно, — говорил Х.Бете. — Часто многие из нас бились над проблемами, но они оказывались нам не под силу, и мы обращались к Ферми за помощью. Он всегда был готов дать нам ответ. Мы рассказывали ему о наших проблемах, и он, внимательно и сосредоточенно слушая нас, в течение нескольких минут представлял нашу проблему в совершенно ином виде. Он или давал нам решение, или, что более часто, делал ее настолько ясной, что мы могли решить ее самостоятельно, и в то же время у нас оставалось чувство, что мы до всего дошли самостоятельно" [492, с. 272].

В другом месте Х.Бете более детально описывает этот "метод простоты" Ферми, причем, сравнивая его с методом работы своего учителя А.Зоммерфельда. "Метод работы Ферми над теоретическими проблемами больше всего поражал меня своей простотой, — пишет Бете. — Он мог проникнуть в существо любой задачи, какой бы сложной она ни казалась. Он срывал с нее покров математических усложнений и ненужного формализма. При таком подходе он мог часто не более, чем за полчаса решить весьма сложную физическую задачу. Конечно, при этом не получалось математически полного решения, но когда вы расставались с Ферми после одного из таких обсуждений, уже было ясно, каким путем можно получить математическое решение. Этот метод произвел на меня особенно большое впечатление, потому что я вышел из мюнхенской школы Зоммерфельда, который во всей своей работе полностью исходил из математического решения. Зоммерфель-

довский путь был хорош для многих задач, где уже была понята физика, лежащая в их основе, но он был очень трудоемок. Обычно проходило не менее нескольких месяцев, прежде чем вы получали ответ. Когда вы видели, что Ферми обходится без всей этой работы, это производило огромное впечатление. Физика становилась ясной после анализа существа дела и нескольких оценок порядков величин... При таком стиле работы он очень сильно проявлял задачи, особенно для молодежи, которая не имела его колоссальных знаний" [243, с. 84—85].

Это же отмечал и Э.Сегре — один из первых учеников Ферми: "Я каждый раз удивлялся его способности всегда доходить до всего простым и верным путем, нащупывая в каждом вопросе самое существенное" [492, с. 262].

Следует также учесть, что это был период, когда для теоретической физики стали характерными усложнение изложения и формализация выражения идей. И в этой ситуации способность Ферми облекать сложные научные понятия и представления в простую и доходчивую форму была действительно уникальной и неоценимой. "Настоящая теория должна быть простой и понятной", — неоднократно подчеркивал Ферми. И это был его принцип. Эта простота Ферми была его жизненным и научным кредо.

"Он был гением, причем его гениальность в значительной степени связана с его любовью к научной простоте, — пишет Б.Понтекорво. — Вне области физики он был самым обыкновенным и, как ни странно, самым простым человеком. Эта простота в жизни выражалась в том, что у него были очень простые вкусы и требования, что он ненавидел усложнения (как в физике!), что он был лишен снобизма и фальши, что он был всегда совершенно искренен и не скрывал тех черт своего характера, которые многим могут казаться недостатками..." [280, т. 1, с. 24].

Другой отличительной чертой Ферми, к тому же тесно связанной с предыдущей, было внутреннее видение проблемы, что позволяло ему ясно и четко формулировать мысли, выделять главное в задаче. Выделение существенного было зачастую результатом упрощения задачи, которое достигалось в большинстве случаев грубым приближением, однако необходимым для выяснения физического смысла задачи и его соотношения с реальностью. Все это становилось возможным благодаря его гениальности и исключительной физической интуиции. "...Одна из сильных сторон Ферми — талант и интуиция, — отмечали Э.Бретчер и Дж.Кокрофт, — с помощью которых он получал приблизительные результаты там, где точное вычисление оказывалось недопустимо громоздким" [337, с. 69].

И получаемые результаты, как всегда оказывалось, были вполне достаточными для выяснения существа проблемы. Эта ра-

циональность и вела Ферми к успеху. "Никогда не терять времени — вот особенность метода Ферми, — пишут те же авторы. — Никогда не вмещиваться в простоту вещей ненужными усложнениями, не строить проектов, требующих сложных и громоздких исполнений, не проводить измерений с точностью, большей той, которая требуется существом задачи" [337, с. 72].

Образно эту же черту раскрывает ближайший ученик и сотрудник Ферми американского периода Г.Андерсон: "Ферми обладал способностью начинать работу именно в том направлении, которое гарантировало успех, отбрасывая при этом все несущественные детали, проникая в самую суть задачи, неуклонно двигаясь к сердцевине успеха. Весь процесс овладения секретами Природы был для Ферми спортивным состязанием Человека и Природы. И Ферми, представлявший в этом поединке Человечество, играл свою роль с величайшим достоинством и огромным азартом. Если он видел, что такая-то работа ускоряет его продвижение к цели, то воодушевленно набрасывался на ее выполнение..."

Подобно Г.Галилею, он никогда не погружался в частности настолько, чтобы перестать чувствовать более значительные вопросы и упустить из вида существо проблемы. Это был его стиль. При этом темп работы всегда задавался им самим и был достаточно высок.

Еще одной характерной чертой Э.Ферми было тесное сочетание теоретического подхода с экспериментальным, и наоборот, что было свойственно великим физикам прошлого. Благодаря ей Ферми всегда умел ставить самые существенные вопросы и быстро отвечать на них с помощью простых, но адекватных для решения поставленной задачи экспериментов. В той калейдоскопической смене физических представлений, характерной для его времени, Ферми проявлял удивительное сочетание понимания теории с глубоким чувствованием физической сущности проблемы и это сочетание давало ему возможность широко привлекать экспериментальные результаты для улучшения теории, повышения точности ее выводов. В то же время он никогда не воспринимал экспериментальный результат до тех пор, пока сам не выяснял во всех деталях процесс, с помощью которого он был получен. Не раз Ферми подавал примеры блестящей интерпретации получаемых экспериментальных данных. "Работы Ферми в области атомной энергии ясно показывают громадную роль исследователя, хорошо владеющего как теорией, так и экспериментом, — вспоминал В.Зинн. — Ферми был непревзойденным исследователем такого типа. Пройдет очень много времени, прежде чем мы сможем увидеть равного ему человека" [492, с. 268]. Эту сторону Ферми подтверждает конкретным примером и Б.Понтекорво (хотя их можно привести множество). "Работы, выполненные Ферми сов-

местно с Андерсоном по замедлению и диффузии нейтронов в графите, — пишет он, — являются примером экспериментального и теоретического мастерства" [219, с. 356].

До 1934 г. Ферми был чистым теоретиком (если не считать двух его "вылазок" в эксперимент), но затем пришел к выводу, что должен стать физиком-экспериментатором, чтобы обеспечивать себя опытным материалом для теоретических обобщений. После коллективного обсуждения вопроса с ближайшими учениками, какие области экспериментальной физики выглядят наиболее многообещающими, им и было принято решение направить усилия группы на ядерную физику. Выбор оказался удачным. В выигрыше оказались и физика, и Ферми с учениками.

И наконец, нельзя не отметить у Э.Ферми то, что характеризует первопроходца и пионера в науке: его интуитивное чувство нового, постоянное пребывание на переднем крае физики, в ее "горячих точках", инициирование и создание таких точек. "Его работы находились на переднем крае физической мысли, — писал В.Вайскопф. — Он всегда брался за то, где были новые феномены, таились скрытые идеи. Всем перечисленным выше исследованиям Ферми (наиболее фундаментальным. — Ю.Х.) присуще это качество" [550, с. 26]. Действительно, как только был открыт нейтрон, Э.Ферми сразу же осознал его значение для ядерных реакций и его нейтронные исследования привели к созданию основ нейтронной физики. Открытие деления урана побудило его начать работы по изучению выхода нейтронов в этом процессе, завершившиеся получением управляемой цепной ядерной реакции в ядерном реакторе, построенном им для этой цели. Когда стало ясно, что разгадка ядерных сил, возможно, таится в мезонах, он обратился к экспериментам с искусственными мезонами; а затем физика высоких энергий и элементарных частиц, астрофизика, проблема космического излучения и др. Образно об этом качестве первооткрывателя сказал Б.Фейд: "И для него, и для Галилея процесс открытия и прослеживания обещающих "жил" в науке был таким же естественным и необходимым, как дыхание" [220, с. 93].

Однако поиск новых путей развития физики, получение новых результатов, стремление к открытиям не приобрели у Э.Ферми и его сотрудников уродливой формы "охоты за открытиями", он понимал, что физика не делается "погоней" за ними. Это отнюдь не означало, что Ферми придерживался консервативной точки зрения в данном вопросе. Скорее это был все тот же характерный для него фундаментальный подход к физическим проблемам, основанный на глубоком знании и понимании физических законов, вере в их еще неисчерпаемые возможности. Эта мысль хорошо

иллюстрируется высказываниями Б.Понтекорво. "Несмотря на его оригинальность и интуитивное чувство нового, — пишет он, — Ферми был того мнения, что в науке новые законы надо принимать только в том случае, когда нет иного выхода. Ему очень не нравилось стремление некоторых физиков найти "сверхновое", не исчерпав всех возможностей в рамках уже существующих принципов и законов" [280, т. 1, с. 29].

Э.Ферми глубоко претили авантюризм в науке и стремление получать те результаты, которые априори хочется получить. Он считал пагубной для физики поспешность в опубликовании результатов с целью завоевать, "застолбить" приоритет, а привычку при опубликовании экспериментальных работ приводить "между прочим" ненадежные данные недостойной, презирал саморекламу в науке. Полное отсутствие у Ферми научного догматизма, присущее ему органическое соединение важности старых принципов и законов с рациональным использованием новых фактов Понтекорво называет требованием "золотой середины", или необходимостью "борьбы на два фронта".

Изложенное выше свидетельствует, что для Э.Ферми поиск и прокладывание новых путей в физике, жажда открытий не были средством простого самоутверждения, результатом неумеренного честолюбия или преходящим азартом спортсмена. Скорее для него это был жаркий спор с Природой в борьбе за истину, постоянный интеллектуальный поединок с ней, положительный исход которого был большим удовлетворением и наградой. "Как только где-либо открывался новый важный фронт физики, — говорил Бете, — Ферми тотчас же появлялся на поле боя Человека с Природой и как главнокомандующий увлекал нас по пути, ведущему к победе" [492, с. 249].

Однако к своим выдающимся результатам физика, перечисленным выше научным качествам и установкам Ферми непосредственно "шел" из детства и юности (родился 29 сентября 1901 г. в Риме). И надо сказать, что ему повезло. Природа изначально одарила его большим талантом, но неизвестно, как бы этот талант развился и как бы сложилась его судьба, если бы на его пути не встретился инженер А.Амидей — друг семьи Ферми, который, заметив необычайную одаренность тринадцатилетнего мальчика, помог ему найти дорогу к науке. Благодаря Амидею юноша увлекся математикой и физикой и в последующие годы познакомился с проективной геометрией, тригонометрией, аналитической геометрией, дифференциальным исчислением, теоретической механикой, прочел все наиболее известные книги по физике, в частности, многотомный "Курс физики" О.Д.Хвольсона. Кроме поразительной способности к наукам, Ферми обладал также феноменальной памятью: ему достаточно было прочесть книгу раз, что-

бы знать ее содержание в совершенстве. Внимательное отношение к юноше со стороны взрослого человека, понимание его запросов, вовремя поданный разумный совет, своего рода наставничество и создали необходимые предпосылки для глубокого развития его дарований и способностей прирожденного физика. "...Можно уверенно утверждать, — пишут Б.Понтекорво и В.Покровский, — что Энрико стал великим Ферми именно потому, что его интересы определились и его интеллектуальные запросы уже удовлетворялись, когда он был еще мальчиком" [220, с.11].

Осенью 1918 г. по рекомендации А.Амидея Э.Ферми поступил одновременно в Высшую нормальную школу в Пизе и на физико-математический факультет Пизанского университета. К этому времени он хорошо знал классическую физику, поэтому, будучи студентом, в основном занимался самообразованием. Уже в 1920 г. в результате напряженного изучения физики он завоевал некоторый авторитет в университете и в 1921 г. появились его первые теоретические работы в области электродинамики и теории относительности [280, т. 1, с. 46—63]. В 1922 г., окончив оба заведения и получив дипломы "с похвалой", Ферми возвратился в Рим, где стал преподавателем университета. В январе — августе 1923 г. Ферми стажировался в Гёттингене у М.Борна, однако, как свидетельствует сам, это ему мало что дало. Биографы Ферми объясняют этот факт тем, что Ферми привык в Италии работать без научного окружения, полагаясь только на самого себя, используя лишь книги "для консультаций", а потому не обладал еще той уверенностью в себе, которая, по словам Понтекорво, так необходима для творческой работы. Эту уверенность в него вселил П.Эренфест, у которого в Лейдене Ферми проработал с сентября по декабрь 1924 г. Обнаружив у Ферми большой талант физика, Эренфест не преминул ему об этом сказать. Поддержка такого замечательного и известного педагога, воспитавшего большое количество крупных физиков, много значила для Ферми. С этого момента, как он сам говорил, его неуверенность в своих силах исчезла. Однако и Эренфеста нельзя считать учителем Ферми, так как прямое влияние лейденского периода, по словам самого Ферми, было невелико.

Таким образом, Э.Ферми — "самоучка" в физике. И несмотря на это он вскоре стал блестящим учителем, хотя, как отмечал Понтекорво, никогда не проходил через психологическую стадию ученика. Это еще один парадокс в физике. На примере такого выдающегося физика как Ферми, мы видим, какую важную роль в научной судьбе молодого человека может сыграть своевременное вмешательство опытного преподавателя и мудрого наставника. В отношении Ферми это случалось дважды.

В 1924 г. появилась научная статья Э.Ферми "К теории столкновений атомов с заряженными частицами" [280, т. 1, с. 166—177], которая характеризовала его уже как зрелого теоретика. В ней в довольно ясной форме содержалась идея, использованная в дальнейшем К.Вайцеккером и Э.Вильямсом в их методе эквивалентных фотонов. Таким образом, период становления Ферми как ученого оказался очень коротким. Хотя это и было время драматических событий в физике, когда претерпевали коренную ломку многие устоявшиеся физические принципы, он в этой ситуации оказался "на высоте".

С января 1925 г. по осень 1926 г. Э.Ферми — временный профессор Флорентийского университета. Здесь в Институте физики университета в феврале 1926 г. он завершил свою знаменитую работу "О квантовании идеального одноатомного газа", содержащую новую статистику [280, т. 1, с. 203—213]. К своей статистике Ферми пришел независимо от П.Дирака, разработав на основе принципа Паули метод квантования идеального газа, в значительной мере свободный от произвольных предположений о статистическом поведении газовых молекул. Используя его, Ферми получил уравнение состояния и значения внутренней энергии идеального газа и его энтропии. Этой работой были заложены основы новой статистики — квантовой. Через несколько месяцев после выхода в свет этой работы Ферми, исходя из принципов квантовой механики, П.Дирак открыл эту же статистику [363], отсюда и ее название "статистика Ферми — Дирака". Следует заметить, что, по словам самого Ферми, он близко подошел к принципу Паули и очень переживал, что не сформулировал его. Этот принцип сразу же привел в порядок мысли Ферми об энтропии идеального газа и заставил его по-новому взглянуть на проблему, он явился как бы ключом к квантованию газа, т.е. газа частиц, подчиняющихся принципу Паули. Ферми-статистика оказала огромное влияние на различные разделы физики, вскоре она была успешно применена к твердому телу, атомной структуре и др.

В 1927 г. и сам Э.Ферми применил свою статистику к исследованию электронной структуры атома, считая электроны в атоме электронным газом, окружающим ядро и находящимся в условиях полного вырождения. Это позволило ему статистически вычислить распределение электронов вокруг ядра, рассчитать энергию, необходимую для полной ионизации атома, определить ход электрического потенциала внутри атома в зависимости от расстояния до ядра [280, т. 1, с. 279—283]. К подобным же выводам раньше (1926) пришел Л.Томас, однако Ферми об этом ничего не знал [520]. Поэтому развитую статистическую модель атома стали называть моделью Томаса—Ферми. В ряде последую-

ших работ 1927—1928 гг. Ферми применил свой статистический метод расчета свойств атома для решения различных задач, в частности, для приближенного определения энергии связи отдельных электронов с ядром, вычисления термов, исследования некоторых вопросов структуры периодической системы элементов и др. [280, т. 1, с. 284—301].

В конце 1926 г. Э. Ферми занял кафедру теоретической физики Римского университета, специально созданную для него, и начал работу по оживлению, а скорее, возрождению итальянской физики и созданию первой итальянской физической школы. Ядро этой школы сформировалось вокруг Ферми уже в следующем 1927 г. в составе ассистента университета Ф. Разетти, студентов Э. Сегре, Э. Амальди и Э. Майораны. Ферми регулярно читал лекции, но более действенной формой приобщения студентов к физике были семинары, которые он проводил.

Характер семинаров и лекций описывает Б. Понтекорво: "Семинары Ферми проходили в непринужденной обстановке и всегда много давали их участникам. Ферми был прирожденным учителем. Он не только мастерски проводил семинары и неофициальные лекции в узком кругу..., но также блестяще читал курсы лекций студентам. Его лекции в университете по квантовой механике, атомной физике, математической физике, термодинамике и его любимый курс по геофизике отличались большой ясностью и стройностью изложения; это, однако, не было результатом особо тщательной подготовки в лекциях (Ферми почти никогда не готовился к ним), а объяснялось глубокими знаниями и исключительной ясностью его ума... В физике, по мнению Ферми, нет места для путаных мыслей, и физическая сущность любого действительно понимаемого вопроса может быть объяснена без помощи сложных формул. Правильность такого мнения иллюстрировалась замечательной способностью Ферми быть понятным слушателям самого различного уровня... Ферми всегда подчеркивал огромную важность для студентов хорошей подготовки по классической физике, и он сам любил читать лекции по элементарной физике" [280, т. 1, с. 27—28].

Несколько конкретнее обстановку на семинарах раскрывает Сегре: "Семинары Ферми были совершенно импровизированными и неофициальными. В конце дня мы собирались в кабинете Ферми, и часто предмет разговора становился темой лекции. Например, мы спрашивали: "Что известно о капиллярности?", и Ферми экспромтом читал великолепную лекцию о теории капиллярности. При этом создавалось впечатление, что он занимался изучением капиллярности именно сейчас и тщательно готовился к лекции... Но иногда уровень становился более высоким, и Ферми объяснял нам статью, которую сам только что прочел; так мы позна-

комились с некоторыми из знаменитых работ Шредингера и Дирака. Эти лекции никогда не составляли систематического курса" [243, с. 74—75].

Коллектив молодых физиков во главе с Э.Ферми жил в основном физикой, жил одной жизнью, тесно сплоченной группой, всех участников которой к тому же связывала крепкая дружба. Вскоре о деятельности римской группы Ферми узнали молодые физики не только Рима, но и других городов и стали присоединяться к ней (Дж. Джентиле, Б.Росси, Дж. Бернардини, Дж.Рака, Дж. Вик, У.Фано и др.). Так возникла школа Ферми, получившая в последующие годы бурное развитие.

Э.Ферми учил собственным примером, пробуждая в учениках любовь к физике, объясняя непонятное, показывая, как создается новое знание, был непосредственным участником всех проводимых в лаборатории работ. Отношения его с учениками и сотрудниками всегда были простыми, равными, дружескими. "Часто просто беседуя с ним, мы видели, как появляется красивое и простое объяснение загадочного явления, — вспоминал Э.Сегре. — В то время много раз нам представлялся случай быть свидетелями того, как в аналогичном стиле создается новое исследование. Мы присутствовали при развитии теории, которое происходило не слишком быстро, но практически без ошибок, неправильных начинаний или изменения направления мысли. Ферми как будто читал лекцию, только медленнее обычного, и к концу ее статья (или по крайней мере соответствующие уравнения) была готова для опубликования почти без переделок... Конечно, невозможно сказать, какая предварительная работа уже была выполнена Ферми сознательно или подсознательно" [220, с. 33—34]. В институте Ферми получил прозвище "папы" за свою непогрешимость в решении физических вопросов.

Э.Ферми не любил давать студентам темы для дипломных работ и вообще для исследований. Он считал, что они их сами должны найти или, в крайнем случае, получить от своих старших товарищей. Это развивало инициативу молодого физика, позволяло выявить его творческие способности, развить самостоятельность.

Все это способствовало довольно быстрому росту научной молодежи в окружении Ферми. "Скорость, с которой мог сформироваться молодой физик в "школе Ферми", была невероятной, — пишет Э.Сегре. — Конечно, в значительной мере это было обусловлено огромным энтузиазмом, который Ферми пробуждал в молодежи — отнюдь не поучениями или "проповедями", а красноречивым примером. Проводя некоторое время в институте на виа Панисперна (Институте физики Римского университета. — Ю.Х.), вы превращались в человека, полностью по-

глощенного физикой... и я не преувеличиваю, когда говорю полностью" [243, с. 81].

Этому способствовал и его характерный метод научной деятельности. "Любопытной особенностью стиля работы Ферми было то, — пишет Э.Сегре, — что он продвигался вперед с постоянной скоростью. Даже если переходы были легкими, он все равно продвигался медленно, и простодушный наблюдатель мог бы поинтересоваться, зачем он теряет так много времени на простую алгебру. Но зато, когда возникали такие трудности, которые поставили бы в тупик человека меньших способностей, Ферми преодолевал их с той же скоростью. Создавалось впечатление, что Ферми — как ток, движущийся медленно, но не знающий препятствий. Окончательные результаты были всегда ясными, и мы часто невольно спрашивали себя, почему же это не было найдено давным-давно, раз все так просто и естественно" [243, с. 80].

Стиль работы Ферми, его научные и личные качества позволили ему воспитать многих учеников, ставших впоследствии известными учеными, и создать крупную физическую школу в Италии. Ее представляют *Ф.Разетти, Э.Сегре, Э.Амальди, Э.Майорана, Б.Понтекорво, Б.Росси, Дж.Оккалини, Дж.Бернардини, Дж.Рака, Дж.Джентиле, Дж.Вик, Э.Фубини, У.Фано, Л.Пинкерле, М.Конверси, О.Пиччиони* и др.

Благодаря Ферми к возникшему центру итальянской физики потянулись и многие зарубежные ученые, которые принимали участие в семинарах Института физики. Среди них *Х.Бете, Ф.Блох, Ф.Лондон, Р.Пайерлс, Г.Плачек, Дж.Уленбек* и др.

В конце 20-х — начале 30-х годов Ферми выполнил ряд теоретических работ по структуре атомов и молекул, тесно связанных со спектроскопическими исследованиями, проводимыми в институте под руководством *Ф.Разетти*, имеющих важное значение. В частности, в двух работах 1930 г. и 1933 г. (совместно с *Э.Сегре*) он разработал количественную теорию сверхтонкой структуры спектральных линий, они же явились переходным звеном Ферми и его группы от проблем атомной физики к ядерной [280, т.1, с. 485—509].

Желание переключиться в новую, многообещающую область, какой представлялась им физика ядра, зрело давно. Но это можно было сделать после концентрации научных сил вокруг Ферми, формирования его школы и создания определенной экспериментальной базы. В начале 30-х годов в лаборатории уже было необходимое спектроскопическое оборудование, знание спектроскопических методик, и вполне естественно возник вопрос о переходе в ядерную физику. После посещения и ознакомления участников группы с рядом зарубежных лабораторий и обсуждения на семинаре классической книги *Э.Резерфорда* по радиоактивности во-

прос был решен в пользу такого перехода. В 1934 г. Ферми стал экспериментатором, отпочковавшись со своей группой в экспериментальную ядерную физику.

Однако до этого Э.Ферми выполнил еще две теоретические работы, еще больше укрепившие его авторитет как физика-теоретика. Первая — "Квантовая теория излучения" (1932) — основывалась на его лекциях, прочитанных летом 1930 г. в Мичиганском университете на симпозиуме по теоретической физике, и содержала новую формулировку квантовой электродинамики [280, т. 1, с. 375—427]. Созданная в 1927—1929 гг. П.Дираком, В.Гейзенбергом, В.Паули и П.Иорданом квантовая электродинамика представляла собой малопонятную широкому кругу физиков теорию [365, 412, 417]. Ферми вывел основные формулы теории излучения Дирака и на ряде характерных примеров показал ее применение, рассмотрел связь этой теории с релятивистским волновым уравнением для электрона и общие проблемы квантовой электродинамики, а также ее трудности. Своего рода переформулировка Ферми квантовой электродинамики была как нельзя кстати, ибо давала ясную интерпретацию трудного физического вопроса по теории поля. "Я считаю, что эта статья, — говорил Х.Бете, — представляет непревзойденный пример наиболее лаконичного описания природы, сделанного когда-либо человеком. Она появилась после ряда очень сложных статей по теории поля и перед рядом еще более сложных и, я думаю, без озабоченной фермиевской простоты многие из нас никогда не были бы в состоянии ступить хоть шаг в дебри теории поля и я один из таких людей. Я могу сказать, что был образован Ферми. Никто меня не обучил стольким вещам, как он" [492, с. 253].

В 1934 г. появляется вторая знаменитая статья Э.Ферми, посвященная теории β -распада, "К теории β -лучей" [280, т. 1, с. 525—541]. Это была последняя работа Ферми как чистого теоретика, в то же время она была как бы своеобразным его дебютом в новой для него области — физике ядра. На основе использования гипотезы нейтрино, высказанной в 1930—1931 гг. В.Паули [209], в статье была предложена количественная теория β -распада — загадочного тогда явления. При этом Ферми рассмотрел испускание электрона и нейтрино по аналогии с испусканием фотона возбужденным атомом. "Бета-распад представляет собой процесс, при котором нейтрон ядра превращается в протон и одновременно, в соответствии с описанным механизмом, испускается электрон, который наблюдается в виде β -частицы, и нейтрино", — писал Э.Ферми [280, т. 1, с. 531—532]. На языке ядерной физики это записывается так: $n \rightarrow p + e^- + \nu$.

Предложенный механизм взаимодействия между нуклонным полем и полем пары электрон—нейтрино впервые вводил в рас-

смотрение новый тип взаимодействия — слабое, которое, как это ясно сейчас, является частным случаем более общего взаимодействия между четырьмя различными фермионами, так называемого универсального фермиевского взаимодействия (теория этого взаимодействия была создана в 1957 г. [381, 467, 498], она описывала все процессы слабого взаимодействия и одним из авторов ее был ученик Ферми американского периода М.Гелл-Манн). "После того, как Ферми ввел и описал соответствующим гамилтонианом новый тип сил, "слабое взаимодействие", — писал Э.Сегре, — ему удалось вычислить связь между максимальной энергией и средним временем жизни при бета-распаде, рассчитать энергетический спектр электронов и многие другие характеристики. Роль, которую в электромагнитных взаимодействиях играет заряд электрона, в слабом взаимодействии играет новая фундаментальная константа, ныне называемая константой Ферми; Ферми нашел ее величину из имеющихся экспериментальных данных. В статье содержатся все основные идеи физики слабых взаимодействий" [243, с. 100].

Теория β -распада была создана Э.Ферми в декабре 1933 г. и доложена в кругу друзей. Кроме того, в статье независимо от Ф.Перрена [483] сделан вывод, что масса покоя нейтрино либо равна нулю, либо мала по сравнению с массой электрона. Теория β -распада Ферми объяснила многие известные факты и предсказала новые, основные ее положения выдержали испытание временем и сегодня остались практически без изменений.

Переход Э.Ферми и его группы в экспериментальную ядерную физику произошел в начале 1934 г. Хотя решение о переходе зрело давно, непосредственным поводом послужило открытие в январе 1934 г. Ирен и Фредериком Жолио-Кюри искусственной радиоактивности. Облучив алюминий α -частицами от полониевого источника, ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + n$, они получили радиоактивный изотоп фосфора, который, имея период полураспада 3 мин 15 с, испускал позитроны согласно реакции ${}_{15}^{30}\text{P} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + e^+$ [89, с. 279–281]. В открытом явлении Э.Ферми увидел широкие возможности, если только для бомбардировки в целях получения радиоактивных изотопов использовать не α -частицы, а нейтроны как более эффективные частицы. Лаборатория спектроскопии института им спешно была переориентирована на ядерную тематику, были приготовлены радон-бериллиевые источники, построены счетчики Гейгера — Мюллера и уже в марте 1934 г. в ней начались широкие и систематические опыты с нейтронами. Будучи человеком методичным, Ферми последовательно облучал нейтронами все химические элементы, начиная с водорода. И 25 марта 1934 г. получил наведенную радиоактивность нейтронной бомбардировкой

фтора ${}^9_4\text{F} + n \rightarrow {}^{10}_7\text{N} + {}^4_2\text{He}$. Здесь ${}^{10}_7\text{N}$ — ядро радиоактивного азота, которое, испустив электрон e^- , превращается в ядро кислорода ${}^{10}_8\text{O}$ [280, т.1, с. 601—602].

Продолжая регулярные облучения нейтронами всех элементов периодической системы вплоть до урана, Ферми со своими ближайшими сотрудниками добился выдающихся результатов. Было обнаружено (1934—1935) образование нескольких десятков радиоактивных изотопов, объясненных своим происхождением нейтронной бомбардировке (Э.Ферми, Э.Амальди, О.Д'Агостино, Б.Понтекорво, Ф.Разетти, Э.Серге) [280, т. 1, с. 620—636; 643—671], идентифицированы реакции (n, p) и (n, α) (Э.Ферми, 1934 [280, т. 1, с.601—604]), найдено, что во многих случаях нейтроны могут создавать радиоактивные изотопы самого вещества мишени [280, т.1, с. 620—636], открыто (22 октября 1934 г.) явление замедления нейтронов в водородсодержащих веществах, в частности, парафине (Э.Ферми, Э.Амальди, Б.Понтекорво, Ф.Разетти, Э.Серге) [280, т. 1, с. 639—640].

Э.Ферми тут же была дана ясная физическая интерпретация открытого эффекта. "...Нейтроны быстро теряют энергию в ряде повторных столкновений с ядрами водорода, — отмечал он. — Сечение столкновения нейтрон — протон, вероятно, увеличивается с уменьшением энергии и можно ожидать, что после нескольких соударений нейтроны будут двигаться подобно молекулам диффундирующего газа, достигая в конечном счете энергий, соответствующих тепловому движению" [280; т. 1, с. 640]. Открытие медленных нейтронов явилось результатом как случайных обстоятельств, так глубины ума и интуиции Э.Ферми. "Как глупо, что мы открыли явление случайно и не сумели его предсказать", — совершенно искренне признался он вскоре после опыта [280, т. 1, с. 597]. Вслед за Ф.Муном и Дж.Тильманом группа экспериментально установила (1935) влияние температуры на наведенную активность, вызванную нейтронами, замедленными в парафине, температура которого уменьшалась (при этом активность возрастала) и получила тепловые нейтроны [280, т. 1, с. 679—683].

Открытие замедления нейтронов заставило Э.Ферми исследовать свойства самих медленных нейтронов — их замедление, рассеяние, поглощение, диффузию в различных средах. Необычайная эффективность медленных нейтронов в активации разных веществ приводила к мысли и об их возможном сильном поглощении. Экспериментально уже в начале ноября Ферми и Разетти обнаружили большие сечения поглощения медленных нейтронов рядом элементов, в частности, бором [280, т. 1, с. 641—642] и кадмием (примерно в тысячу раз больше геометрических сечений ядер $\sim 10^{-21}$ см²).

В декабре 1935 г. Э.Ферми и Э.Амальди открыли в общей со-

вокупности медленных нейтронов группы, примерно однородные по свойствам поглощения (группы нейтронов), а в апреле 1936 г. — нейтронные резонансы и количественно установили связь пространственного распределения резонансных нейтронов с их энергиями [280, т. 1, с. 691—740]. Было также обнаружено γ -излучение от захвата медленных нейтронов — реакция (n, γ), явление замедления нейтронов в неупругих соударениях со свинцом и в упругих соударениях с углеродом, исследовано пространственное распределение медленных нейтронов в парафине и воде вокруг источника быстрых нейтронов [280, т. 1, с. 643—674], предсказано селективное поглощение медленных нейтронов, изучена диффузия тепловых нейтронов, их захват протонами, введены понятия длины рассеяния нейтронов и длины диффузии, альбеда, разработана теория диффузии медленных нейтронов, установлен закон $1/v$ для поглощения нейтронов и др. В частности, Ферми был выполнен ряд вычислений, связанных с поведением нейтронов в водородсодержащих средах с использованием подхода в духе метода Монте-Карло.

Отдельно следует сказать об экспериментах облучения урана нейтронами. Получив активные продукты, Ферми и его коллеги предположили, что ими открыты трансурановые элементы. Это был единственный случай, когда он ошибся и всегда болезненно переживал эту ошибку. Для Ферми всегда характерным было стремление к получению только чистых результатов. "Для Ферми ответственность ученого за опубликование работы была очень высока, — отмечал в этой связи Б.Понтекорво, — и он очень нетерпимо относился к скороспелым заявлениям и субъективизму в науке" [280, т. 1, с. 678]. На самом же деле фиксированные ими активные продукты были фрагментами расщепления ядра урана. Однако Ферми этого не знал, он просто проигнорировал предположение о возможности деления ядра урана, хотя на это специально внимание их группы обратила И.Ноддак. Сказалось гордое чувство первооткрывателей, а может быть, и высокий заданный Ферми темп проведения исследований. Иными словами, Ферми был первым, кто вызвал и "наблюдал" деление ядер урана за четыре года до открытия этого явления в декабре 1938 г. О.Ганом и Ф.Штрассманом [190].

Таким образом, уже в 1935—1936 гг. Э.Ферми с сотрудниками заложил основные идеи физики медленных нейтронов [313]. Исследования Ферми по физике нейтронов зарекомендовали его как первоклассного экспериментатора и в 1938 г. он был удостоен Нобелевской премии. "Уже в открытии Ферми искусственной радиоактивности, возникающей при облучении нейтронами, эффективности и основных свойств медленных нейтронов проявились все наиболее замечательные качества великого физика-эк-

спериментатора, — писал Ю.Вигнер. — Это открытие явилось первым значительным экскурсом Ферми в экспериментальную физику, и выбор предмета и времени экскурсии свидетельствует о глубокой интуиции. Успешному и быстрому проведению экспериментов немало способствовали необыкновенное умение Ферми использовать любое подручное оборудование лаборатории, отнюдь не предназначенной для проведения подобных исследований, и тот энтузиазм, которым он заражал своих сотрудников" [55, с. 202—203].

Однако в конце 1938 г. римская школа Ферми практически распалась. Разгул гитлеризма в Западной Европе, установление фашистского режима Муссолини в Италии, развернувшаяся в стране антисемитская кампания, разрушение элементарных человеческих ценностей — все это заставило Ферми задуматься над происходящим. И хотя он был полностью поглощен своей работой, но как человек честный и искренний, ясно понял пагубность проводимой правительством Муссолини политики. "Сознавая вредоносность фашистского правительства, Ферми не поддерживал его активно, — писал Э.Сегре, — но и никогда не был воинствующим антифашистом. До тех пор, пока он мог сохранить свою личную честность и беспрестанно вести научную работу, он пытался игнорировать капризы правительства, под властью которого он оказался. Он не любил ни вовлекаться в политические споры, ни тратить энергию на вещи, бывшие не в его власти" [243, с. 128]. В сложившейся ситуации Ферми принял решение эмигрировать с семьей в США, хотя ряд его друзей и учеников не одобряли этого шага. Покинув в декабре 1938 г. Италию, Ферми отправился в Швецию, где в Стокгольме ему была вручена Нобелевская премия. Оттуда он уехал в США и прибыл в Нью-Йорк 2 января 1939 г. Здесь он стал профессором Колумбийского университета.

В Америке начался второй период его научной деятельности, который характеризовался новыми взлетами творчества и оказал сильное воздействие на американскую физику. Ферми сразу же активно включился в нейтронные исследования, чему способствовало известие об открытии О.Ганом и Ф.Штрассманом деления ядер урана, которое он упустил несколько лет назад. Ферми понял, что реакция деления ядер урана открывает новые широкие экспериментальные возможности, в частности, осуществление цепной ядерной реакции с выделением огромной энергии. Уже 25 января 1939 г. он с сотрудниками воспроизвел эффект деления урана, наблюдая сильную ионизацию, производимую осколками деления (взрывной характер реакции) [1, т. 2, с. 8—10]. Это произошло вскоре после подобных экспериментов Ф.Жолио-Кюри в Париже [89, с. 353—361] и О.Фриша в Копенгагене [392]. В этой же работе были выполнены измерения сечения процесса

деления урана под действием нейтронов различных энергий. Для тепловых нейтронов оно составило $2 \cdot 10^{-24}$ см², для быстрых — около $0,1 \cdot 10^{-24}$ см², было высказано также предположение, что эффективность медленных нейтронов для процесса деления следует закону $1/v$ [280, т. 2, с. 8—10].

Затем независимо от других (Ф.Жолио-Кюри, Х.Халбана и Л.Коварского [89]; Л.Сциларда и В.Зинна [518]) последовало экспериментальное доказательство образования при делении урана вторичных нейтронов (с Г.Андерсоном и Г.Ханштейном, март 1939 г.) [280, т. 2, с. 11—12], определение совместно с Л.Сцилардом и Г.Андерсоном числа их — 1,5 нейтрона на один поглощенный ураном тепловой нейтрон и уверенный вывод о возможности протекания в системе с ураном цепной ядерной реакции (июль 1939) [280, т. 2, с. 17—20]. "Из этого результата мы можем заключить, — писали они, — что цепная ядерная реакция могла бы поддерживаться в системе, где нейтроны замедляются без заметного поглощения до тепловых энергий и далее поглощаются в основном ураном, а не другими элементами" [280, т. 2, с. 19]. Для числа нейтронов, освобождающихся в одном акте деления, Ф.Жолио-Кюри с Х.Халбаном и Л.Коварским получили (апрель 1939) значение $3,5 \pm 0,7$ и до сентября 1939 г. они выполнили опыты, доказывающие возможность цепной ядерной реакции в среде, содержащей уран (в конверте, запечатанном ими 30 октября 1939 г., имелись данные о получении неуправляемых цепных ядерных реакций в уране) [89, с. 362—380].

Таким образом, три группы физиков, работая независимо и различными методами, пришли к одному и тому же выводу — в реакции деления урана имеет место обильное выделение нейтронов и возможна цепная реакция, хотя количественные оценки были еще очень неточны и ненадежны.

На этом этапе важным оказалось также теоретическое предсказание Н.Бором и Дж.Уилером, что делению тепловыми нейтронами наиболее подвержен редкий изотоп уран-235, присутствующий в природном в количестве всего 0,7 %, а не распространенный уран-238 [39, т. 2, с. 299—349]. (Экспериментально это было доказано в 1940 г. Ю.Бутом, Дж. Данингом, А.Гроссе и А.Ниром [476].) Ядра же урана-238, как показано ранее (Л.Мейтнер, О.Ган, Ф.Штрассман, 1937), резонансным образом могут захватывать тепловые нейтроны, приводя к образованию радиоактивного урана-239, испускающего β -лучи с периодом полураспада 23 мин [470]. Ферми с Андерсоном даже попытались выяснить вклад этого процесса в сечение захвата тепловых нейтронов [280, т. 2, с. 13—15]. В 1939 г. Э.Ферми создал количественную теорию ионизационных потерь энергии заряженными частицами, учитывающую поляризацию среды, через которую они проходят [280, т. 1, с. 22—34].

Таким образом, в конце 1939 г. наметилось два подхода на пути осуществления цепной ядерной реакции в уране. Первый заключался в необходимости выделения из природного урана редкого изотопа уран-235, ответственного за процесс деления урана медленными нейтронами, что исключало паразитное поглощение нейтронов ураном-238. Получение достаточного количества урана-235 высокой чистоты, а к тому времени уже была рассчитана для него критическая масса (Ф.Перрен, Р.Пайерлс, Я.Б.Зельдович, Ю.Б.Харитон и др.), думали, легко приведет к осуществлению цепной реакции деления. Второй подход предусматривал использование природного урана. Однако при этом его надо было разместить таким образом, чтобы несмотря на большое паразитное поглощение нейтронов ураном-238, все же добиться положительного баланса нейтронов деления, т.е. положительного баланса между полезными поглощениями нейтронов в природном уране и паразитными, а значит, сделать возможным цепную ядерную реакцию в природном уране.

Э.Ферми и его группа в Колумбийском университете были сторонниками второго подхода. При его реализации Ферми получил ряд результатов, имевших решающее значение. Еще в работе "Образование и поглощение нейтронов в уране" (июль 1939) им был указан путь к уменьшению потерь на резонансное поглощение — блочное расположение урана — и показано, что вода не может быть использована в качестве замедлителя в схеме получения цепной ядерной реакции, так как поглощение тепловых нейтронов водородом слишком велико. Поэтому вскоре в том же 1939 г. Э.Ферми, Л.Сцилард, Дж.Пеграм и Г.Плачек одновременно предложили использовать в качестве замедлителя не водород, а графит. Весной 1940 г. Ферми начал экспериментальные исследования свойств графита. В этой связи большое значение имела его и Андерсона работа (отчет, 25 сентября 1940 г.) "Образование и поглощение медленных нейтронов в углероде" [280, т. 2, с.38—46], в которой приведены результаты исследований процессов замедления (диффузии) нейтронов, поглощения тепловых нейтронов в графите, найдены константы диффузии, сечение захвата нейтронов в графите ($3 \cdot 10^{-27}$ см²), показано влияние примесей.

Поскольку важнейшей характеристикой для цепной реакции деления урана является среднее число вторичных нейтронов η , образующихся в уране при поглощении одного теплового нейтрона, а предыдущие (1939) определения η были не вполне удовлетворительны, Ферми попытался уточнить эту величину [280, т. 2, с. 57—78]. Используя графитовую колонну для замедления нейтронов, он нашел $\eta = 1,73$ (отчет, 17 января 1941 г.), что говорило в пользу реального осуществления цепной реакции (летом 1942 г. эксперимент был повторен с лучшей точностью и дал $\eta = 1,29$).

В итоге к весне 1941 г. было накоплено достаточно сведений о деталях ядерного цепного процесса, о важности различных факторов, способах сведения к минимуму нежелательных эффектов. "Частично работая в одиночку, а частично консультируясь и сотрудничая со Спиллардом, Вигнером и другими, он (Ферми. — Ю.Х.) создал теорию цепной реакции в решетке из урана и графита", — писал В.Зинн [220, с. 80]. Более того, по воспоминаниям Зинна, а также Сегре, уже весной 1941 г. Ферми излагал группе своих сотрудников основы теории цепной реакции в известном сейчас виде, в том числе формулу для коэффициента размножения.

Результаты экспериментов на уране и графите свидетельствовали о реальности цепной ядерной реакции в системе из природного урана и графита, однако при условии принятия мер против нежелательных потерь нейтронов. В частности, в системе конечных размеров некоторое количество нейтронов, диффундируя через граничные поверхности, покидает систему. Такую утечку можно свести к минимуму и даже к нулю увеличением размеров уран-графитовой системы-решетки. Для проверки работы решетки большого объема с помощью малой решетки как модели Ферми предложил осуществить так называемые экспоненциальные (промежуточные) эксперименты.

Первые серии этих модельных экспериментов были проведены им летом и осенью 1941 г. совместно с Г.Андерсоном, Дж.Вейлем, В.Зинном и Б.Фелдом. Для этого создана решетчатая структура, состоящая из банок с окисью урана, распределенных среди ~ 30 т графита (экспоненциальный котел). Снизу к ней подвешен первичный нейтронный источник и исследовалось распределение нейтронов по объему структуры [280, т. 2, с. 113—122]. Целью первых двух серий экспоненциальных экспериментов было определение коэффициента размножения k , описывающего основные свойства решетки данного типа, и исследование деталей механизма процесса размножения нейтронов. Было определено значение $k=0,87$, и хотя оно оказалось меньшим 1, было ясно, что в дальнейшем необходимо добиться лучшей чистоты, плотности и геометрии урана и это вселяло надежду на успех. "Но зато у нас появилась твердо установленная точка начала поисков, — говорил Э.Ферми. — Нам по существу надо было установить, можно ли выжать дополнительные 0,13 или, еще лучше, чуть-чуть побольше. Было ясно, что можно сделать несколько очевидных вещей" [280, т. 2, с. 671].

Таким образом, в 1939—1941 гг., на начальном этапе работ по овладению ядерной энергией, Э.Ферми оказался главным действующим лицом. Именно им в Колумбийском университете была выдвинута большая часть идей, связанных с осуществлением

управляемой цепной ядерной реакции деления. В связи с этим Э.Сегре писал: "Из речи Ферми 1954 г. явствует, почему, по крайней мере в начальной стадии, он оказался в центре работы над реактором. Вне всякого сомнения, он был самым крупным специалистом по нейтронам и обладал редкостным сочетанием талантов экспериментатора и теоретика, которое как нельзя лучше подходило для предстоящей работы. Далее, его личные качества привлекали способных сотрудников; наконец, он обладал неисчерпаемым запасом энергии и физических сил. Поведение нейтронов Ферми понимал интуитивно: для предсказания результатов опыта по диффузии нейтронов ему не требовалось проводить длительных вычислений, его догадки почти всегда были очень близки к истине" [243, с. 146—147].

Над решением проблемы осуществления управляемой цепной реакции, кроме фермиевской, работали и другие группы физиков в различных университетах. Так, начатые Ферми опыты по изучению поглощения нейтронов в интервале тепловых энергий (от нескольких кэВ до долей эВ) уже в феврале 1941 г. были продолжены в Принстонском университете Р.Вильсоном и Э.Крейтцем, там же Ю.Вигнер разработал (1941) их теорию (теория резонансного поглощения). В дальнейшем принстонские данные были использованы в планировании экспериментов с полупромышленными и промышленными котлами. В Чикагском университете в том же году С.Аллисон выполнил ряд измерений по замедлению нейтронов и поглощению их графитом, представляющих своего рода контрольные измерения в аналогичных опытах Ферми. После получения необходимого количества бериллия Аллисон показал, что последний подобно графиту может служить замедлителем нейтронов. Наряду с Ферми и Вигнером вклад в общую теорию котла и смежных проблем внесли также Дж.Уилер (Принстон), Г.Брейт (Висконсин) и К.Эккарт (Чикаго).

В начале 1942 г. все группы, работающие над получением цепной ядерной реакции, в том числе и группа Ферми (Г.Андерсон, В.Зинн, Дж.Вейль, Дж.Маршалл, Б.Фелд и др.), были объединены в Металлургическую лабораторию Чикагского университета, которую возглавил А.Комптон, и чуть позже она вошла в созданный в августе 1942 г. "Манхэттенский проект" [249]. К маю 1942 г. Ферми переселился в Чикаго, где активно продолжал работу в качестве руководителя отдела экспериментальной ядерной физики Металлургической лаборатории по созданию уранового котла.

В марте 1942 г. им был подготовлен отчет "Образование нейтронов в уран-графитовой решетке. Теоретическая часть" [280, т. 2, с. 102—111]. Достаточно посмотреть на его структуру, чтобы убедиться в том, что он содержал все основные идеи по цепной реакции деления с неразделенными изотопами урана: 1) коэф-

фициент размножения для бесконечной решетки; 2) поглощение тепловых нейтронов в ячейке; 3) сравнение кубической и сферической ячеек; 4) резонансное поглощение; 5) свойства уран-графитовой системы конечных размеров; 6) теория экспоненциального эксперимента. Здесь же содержалась формула для коэффициента размножения $k = \eta pf$, где η — среднее число быстрых нейтронов, испускаемых при поглощении теплового нейтрона; p — доля нейтронов, не поглощенных в резонансе; f — вероятность поглощения в уране теплового нейтрона, а также четкая формулировка цели экспоненциальных опытов.

"Так называемые промежуточные эксперименты с уран-графитовыми системами, — писал Ферми, — заключаются в проведении измерений на решетках с довольно большим количеством ячеек, однако при этом размеры системы существенно меньше ожидаемых критических размеров. Основная цель таких "промежуточных экспериментов" состоит в действительности в том, чтобы определить, будет ли значение k для данного типа решетки больше или меньше 1, и оценить критические размеры (если k окажется больше 1), не прибегая к использованию больших количеств материала, необходимых для достижения критических размеров на самом деле" [280, т. 2, с. 108].

Следует заметить, что в Чикаго для все более разрастающегося коллектива физиков Э. Ферми прочел два цикла лекций (весной и в сентябре 1942 г.) по физике нейтронов, в которых в доступной форме изложил теоретические и экспериментальные основы цепной реакции. Эти лекции также дали возможность Ферми "обкатать" свои идеи и планы и в то же время они показывали, что им достигнуто хорошее понимание кинетики котла. В Чикаго Ферми на качественно новом уровне и в большем масштабе продолжил экспоненциальные эксперименты, которых было проведено около 30. Улучшения предполагали совершенствование размеров уран-графитовой решетки и использование графита и урана более высокого качества. К осени 1942 г. производство материалов требуемого качества постепенно наладилось, соответственно изменились и результаты экспоненциальных экспериментов, которые уже свидетельствовали, что, применяя материалы высшего качества, можно построить установку, в которой "пошла" бы цепная реакция.

В июне 1942 г. из экспоненциальных экспериментов был получен $k > 1$, в это время и начались разработки конструкции атомного котла. В месячном отчете от 15 августа 1942 г. Ферми, основываясь на экспериментах с очень чистой окисью урана, впервые пишет о $k > 1$, показывая, что в системе "графит — окись урана" можно получить $k \sim 1,04$ [280, т. 2, с. 133—136]. Иными словами, это означало, что при избытке в 4 % можно построить установку

приемлемых размеров для получения цепной реакции, оставив при этом некоторый запас на возможные незначительные загрязнения. А в отчете от 26 ноября 1942 г. "Осуществимость цепной реакции" он даже пишет, что использование урана в виде металла может поднять k до 1,07 и делает однозначный вывод о реальности получения самоподдерживающейся цепной реакции деления урана [280, т. 2, с. 144—149]. Здесь же идет речь о важности разработки методов управления реакцией, способных поддерживать работу системы на любом требуемом уровне выделения энергии, и о целесообразности, кроме управляющих стержней, иметь еще несколько аварийных, срабатывающих при возрастании интенсивности выше установленного предела вследствие неисправности механизма, а в случае котлов с большим энерговыделением предусмотреть также устройство для заполнения системы жидкостью или газом, сильно поглощающими нейтроны, и срабатывающее при отказе аварийных механизмов.

Таким образом, создание решетки с $k = 1,04$ фактически решило успех дела, что дало основание Э.Сегре написать: "Но, вероятно, с точки зрения Ферми реальная победа в деле создания реактора на природном уране произошла несколькими месяцами раньше (до эксперимента 2 декабря. — Ю.Х.), когда удалось построить решетку с $k > 1$, что было равносильно достижению критичности" [243, с. 173]. Он также очень образно охарактеризовал состояние проблемы, с которым его познакомил Ферми в октябре 1942 г.: "Ферми завел меня в комнату и оставил наедине с несколькими отчетами о его работе ...Вернувшись через час или два, он обнаружил, что я почти лишился дара речи. Конечно, я знал о попытках получить цепную реакцию на природном уране, но не представлял себе, насколько далеко продвинулась работа... Отчеты, которые я прочитал, произвели на меня такое впечатление, будто я увидел критический котел своими глазами" [243, с.173].

14 ноября 1942 г. было принято решение строить урановый котел под трибунами стадиона университетского городка в центре Чикаго. Началась непосредственная сборка котла, хотя подготовительные работы развернулись под руководством Андерсона и Зинна при общем надзоре Ферми еще в октябре. "Перед началом сборки котла у нас существовал хорошо продуманный, но довольно общий его план, — вспоминал Андерсон. — Детали определялись уже в ходе сборки, во время встреч в кабинете Ферми. Одной из таких важных деталей было расположение управляющих полос кадмия. Они были необходимы для того, чтобы предотвратить разгон котла при достижении критических размеров" [280, т. 2, с. 151].

Сооружение котла заняло несколько более месяца. Когда уложили 57-й слой, было установлено, что котел, если убрать послед-

ний кадмиевый стержень, достигнет критичности. Этот стержень был полностью выдвинут 2 декабря 1942 г. и котел достиг критичности — самоподдерживающаяся цепная реакция была получена [280, т. 2, с. 153—181]. Испытание котла продолжалось 28 мин, при этом его мощность составила $\sim 0,5$ Вт, что обусловило незначительное радиоактивное излучение котла, который не имел радиационной защиты. С помощью первого котла (ядерного реактора) было четко доказано, что в системе из природного урана и графита цепная ядерная реакция деления ядер урана осуществима и легко контролируется. А Ферми еще при жизни снискал славу человека, который "открыл дверь в атомный век".

Кроме Э.Ферми, активное участие в создании реактора приняли и другие физики. Так, экспоненциальные эксперименты Ферми проводил совместно с В.Зином и М.Уайтекером, В.Вильсон руководил группой по изготовлению электронных блоков и управляющих устройств, теоретиками руководил Ю.Вигнер. И хотя в строительстве котла принимало участие много физиков, среди всех Ферми особо выделил Зинна, Андерсона и Вильсона.

И здесь, в Америке (Нью-Йорк, Чикаго), на всех этапах подготовки и реализации плана сооружения котла и осуществления в нем управляемой цепной реакции Э.Ферми выступал как бесспорный научный лидер возглавляемых им формальных и неформальных коллективов. Причем его деятельность как руководителя проходила в качественно новых условиях, отличающихся от римских и требующих координации усилий огромного количества групп ученых различных специальностей для выполнения большой исследовательской программы. Это было началом нового подхода в организации и проведении широкомасштабных научно-исследовательских работ. И здесь Ферми оказался на месте, никогда не переставая быть учителем.

"Ферми проявил выдающиеся способности в координации подобного рода совместных усилий, — пишет У.Овербек. — Его дар четкого объяснения основных принципов и задач позволял остальным понимать, что от них требуется, и отдавать свой талант именно тем задачам, для решения которых они были лучше всего подготовлены" [280, т. 2, с. 153]. На роль Ферми как организатора и учителя в этот период указывает и Ю.Вигнер. "Осуществленная Ферми первая цепная реакция служит неоспоримым свидетельством не только глубоких познаний и силы его научного предвидения, но его качеств как руководителя, — пишет он. — Членам руководимой им группы не приходилось задавать своему руководителю каких-либо вопросов. Ферми всегда подробно разъяснял следующий этап решения проблемы и, если было нужно, не колеблясь, повторял свои объяснения" [55, с. 203]. В процессе реализации программы разработки и строительства первого

ядерного реактора вокруг Э.Ферми образовалась группа физиков, положившая начало его американской научной школе в области ядерной физики и физики высоких энергий — Г.Андерсон, А.Ваттенберг, Дж.Вейль, В.Зинн, Дж.Маршалл, Л.Маршалл, Б.Фелд, У.Овербек, Г.Агню и др.

Первый урановый котел CP-1 сразу же был использован Э.Ферми для изучения его характеристик, эксплуатации, проведения физических исследований, в частности, измерения сечений поглощения нейтронов (А.Ваттенберг, Г.Лихтенберг). После трехмесячной работы котла ученые и конструкторы располагали достаточным количеством данных, показывающих, в каком направлении и как вести его перестройку в целях усовершенствования. Построенный вскоре с их учетом в Чикаго на Аргоннском участке второй урановый котел CP-2 уже в середине марта 1943 г. достиг критичности. Здесь первоочередной задачей Ферми и его сотрудников было проведение исследований, связанных с разработкой и испытанием защиты от радиации для мощных промышленных реакторов — производителей больших количеств плутония, которые должны были строиться в Ханфорде. В мае 1943 г. им и Зинном были получены данные в виде таблицы коэффициентов ослабления потоков нейтронов и γ -излучения для различного состава защиты [280, т. 2, с. 188—189]. Они также взяли патент "защита нейтронного реактора". Полученные результаты позволили предложить достаточно удовлетворительные рекомендации защиты будущих ханфордских промышленных реакторов. Дальнейшие усилия Ферми и его группы были направлены на их конструирование.

Следует заметить, что эти исследования Э.Ферми к тому же положили начало использованию нейтронов в физике твердого тела. Реактор CP-2 в первую очередь предназначался для работ, связанных с конструированием мощных ханфордских установок. По реактивности котла измерялось поглощение нейтронов в образцах, введенных в реактор, что позволило проверить чистоту всех партий урана и графита, предназначенных для промышленных реакторов (Ферми, Андерсон, Ваттенберг, Вейль, Зинн) [280, т. 2, с. 205—219]. Однако Ферми смог использовать (1943—1944) его и для научных целей. Летом 1943 г. им и его группой сверху на реактор был установлен фильтр из графита ("тепловая колонна"), пропускающий лишь медленные нейтроны. В дальнейшем "тепловая колонна" стала неотъемлемой частью экспериментальных ядерных реакторов, снабжающая экспериментаторов достаточным количеством тепловых нейтронов. Опыты с ней привели Ферми к ряду открытий. В частности, при пропускании пучка тепловых нейтронов через блок графита длиной 23 см были получены нейтроны с энергией, значительно меньшей тепловой — так назы-

ваемые холодные нейтроны (1943), которым соответствовала температура 18 К (Э.Ферми, Г.Андерсон, Л.Маршалл) [280, т.2, с. 191—195]. Кроме того, эти исследования показали, что волновые свойства нейтрона приводят к интересным следствиям. В начале 1944 г. Э.Ферми, Дж.Маршаллом и Л.Маршалл был построен механический селектор скоростей для изучения монохроматических нейтронов [280, т. 2, с. 197—202] и позже Ферми и Зинн обнаружили их преломление и отражение [280, т. 2, с. 226—230]. В частности, в июле 1944 г. они наблюдали полное внутреннее отражение нейтронов и определили для них показатель преломления, используя для этого только что введенный в строй новый более мощный реактор на тяжелой воде СР-3 (первый тяжеловодный). Эти исследования Ферми и Зинна положили начало нейтронной оптике.

Следует заметить, что после войны в 1946—1947 гг. в Аргоннской национальной лаборатории Э.Ферми вернулся к работам в этой области, используя интерференцию нейтронов для изучения структуры жидких и твердых тел, а их рассеяние — для исследования фазовых сдвигов (Э.Ферми, Л.Маршалл) [280, т. 2, с. 369—389]. В этих работах участвовали также А.Ваттенберг, Р.Сакс, Дж. Чу и др.

Манеру работы Ферми в этот период описывает Л.Маршалл, одна из ближайших тогда его сотрудниц. "В совместной работе над экспериментом Ферми проявлял гибкость и готовность выслушать предложения, — вспоминала Л.Маршалл. — Он говорил, что у него меньше технического опыта, чем у экспериментаторов, и поэтому при подготовке оборудования он оказывал экспериментаторам лестную для них помощь, а не они ему. Но на следующих стадиях эксперимента он играл ведущую роль в кристаллизации представлений о том, какие величины измеримы и значимы. Особенно внушительно Ферми выглядел в анализе данных" [280, т.2, с. 191]. Блестящая интерпретация экспериментальных данных была характерной особенностью стиля работы Ферми и в американский период его деятельности, которую отмечают многие его сотрудники и ученики. Кроме того, если Ферми участвовал в экспериментальной работе, то всегда действенно и непосредственно, а не номинально. Он не только руководил (причем его руководство как таковое всегда было ненавязчивым), но и работал собственными руками и очень огорчался, когда мало времени мог проводить в лаборатории, часто поручая выполнять измерения своим сотрудникам, хотя всегда оставлял за собой анализ данных.

В сентябре 1944 г. Э.Ферми участвовал в запуске первого большого хандфордского реактора. Попытка вывести реактор на заданную мощность оказалась неудачно — из-за его "отравления" ксеноном-135 — продуктом деления, жадно поглощающим, как

оказалось, тепловые нейтроны. Физика "отравления" была понята в течение нескольких дней благодаря Ферми и Уилеру, и кризисная ситуация удачно разрешилась.

Еще до получения на ханфордских реакторах плутония Э.Ферми начал его исследования весной 1944 г., когда в Аргоннской лаборатории появились его образцы с Клинтонского полупромышленного реактора. Используя образцы плутония, Ферми измерял поглощение в нем нейтронов, а пробеги нейтронов, испускаемых при делении, определяли его молодые помощники Г.Хескетт и Д.Нэгл.

Интерес к плутонию у Э.Ферми возник еще в 1939 г., когда о его существовании было высказано только предположение. В декабре того же года Э.Ферми обсуждал с Э.Сегре возможность получения плутония, а позже с Э.Лоуренсом, Дж.Пеграмом и Э.Сегре уже выяснял вопрос о возможности деления последнего. Летом 1940 г. Э.Мак-Миллан и Ф.Абельсон в Беркли идентифицировали первый трансурановый элемент нептуний-239, который, имея период полураспада 2—3 дня, испуская β -частицы, превращался в новый элемент — именно плутоний. Эти превращения можно записать так: ${}_{92}^{238}\text{U} + n \rightarrow {}_{92}^{239}\text{U}$, ${}_{92}^{239}\text{U} \rightarrow {}_{93}^{239}\text{Np} + e^{-}$, ${}_{93}^{239}\text{Np} \rightarrow {}_{94}^{239}\text{Pu} + e^{-}$. В феврале 1941 г. Г.Сиборг, Э.Сегре, Дж.Кеннеди и А.Валь с помощью циклотрона в Беркли впервые получили микрограммовые количества ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ и в марте показали, что он делится медленными нейтронами, а несколько месяцев спустя доказали его деление и быстрыми. Иными словами, было показано, что плутоний-239 может служить ядерной взрывчаткой. В результате рассмотрения суммарного баланса цепной ядерной реакции с ураном, осуществляемой в реакторе, стало ясно, что в ходе этой реакции уран-235 расходуется на ее поддержание, а уран-238 медленно превращается в плутоний-239.

Последнее обстоятельство имело важное значение для проблемы воспроизводства ядерного топлива. И не случайно уже на ранней стадии развития реакторной техники Ферми и ряд других сотрудников Металлургической лаборатории обратили на это внимание, предположив, что в ядерном реакторе на природном уране воспроизводство ядерного топлива будет иметь место, если в результате выгорания урана-235 будет образовываться плутоний-239, причем в количествах, больших, чем выгоревший уран. Идея создания таких реакторов-размножителей на быстрых нейтронах, или брідерных реакторов, горячо поддерживалась Ферми, он активно участвовал в ее обсуждении в Металлургической лаборатории и инициировал уже после войны их разработку [280, т. 2, с. 220—224]. Первый экспериментальный брідерный реактор впервые был построен В.Зинном в 1951 г. в Аргоннской нацио-

нальной лаборатории, начавшим проектировать его совместно с Ферми еще в 1944 г.

В сентябре 1944 г. Э.Ферми перешел в Лос-Аламосскую лабораторию в качестве руководителя отдела и заместителя директора лаборатории Р.Оппенгеймера и активно включился в работу по созданию атомной бомбы.

Как известно, идея создания атомного оружия (атомной бомбы) родилась вскоре после открытия деления урана, когда уже в начале 1939 г. стало ясно, что процесс деления ядер урана является физической основой цепной ядерной реакции. Это означало возможность использования урана в качестве взрывчатого вещества, выделяющего энергии значительно больше на 1 кг массы, чем любой известный тип взрывчатки. Уже в марте 1939 г. на встрече в Министерстве военно-морских сил с небольшим числом экспертов и ученых ведомства Ферми рассказал о возможности осуществления управляемой ядерной реакции на медленных нейтронах и реакции неконтролируемой, взрывного характера на быстрых нейтронах, подчеркнув, правда, что имеющихся данных явно недостаточно для уверенных заключений.

В августе 1939 г. идея атомной бомбы нашла свое выражение в письме А.Эйнштейна президенту США Ф.Рузвельту, инициированному и составленному Л.Сцилардом и Ю.Вигнером. "Недавние работы Э.Ферми и Л.Сциларда, с которыми меня ознакомили в рукописи, заставляют думать, что в ближайшем будущем элемент уран может стать новым и важным источником энергии, — писал Эйнштейн. — ...В течение последних четырех месяцев появились основания считать — это было показано как работами Жолио во Франции, так и работами Ферми и Сциларда в Америке, — что в большом количестве урана можно вызвать ядерную цепную реакцию, посредством которой удастся получить огромную энергию и большие количества новых аналогичных радио элементов. Сейчас кажется почти бесспорным, что этого можно достичь в ближайшем будущем. Это новое явление может привести также к разработке бомб, и допустимо предположить, хотя и с гораздо меньшей уверенностью, что можно создать исключительно мощную бомбу нового типа" [243, с. 152]. В письме обращалось также внимание на то, что, возможно, в Германии ведутся аналогичные работы в этом направлении.

В конце 1939 г. Ф.Рузвельт создал Урановый комитет для изучения вопросов по урану. И хотя тогда еще нельзя было дать ответ на конкретные вопросы, связанные с созданием бомбы, и вообще ответить, когда будет осуществлена цепная реакция, тем не менее летом 1940 г. появилась возможность ясно сформулировать задачу. В 1940 г. уже можно было определить критические размеры, хотя оценки, полученные разными учеными, очень отличались. В том же году также казалось вероятным, что, применяя различные вещества — поглотители нейтронов, можно добиться управления ядерным цепным процессом. Однако при этом существовал большой технологический разрыв между получением контролируемой цепной реакцией деления и использованием цепной реакции для атомного взрыва, эффективность которого требовала чрезвычайно быстрого протекания этой реакции. Хотя понималось, что получение управляемой реакции на медленных нейтронах является предварительным, но необходимым этапом на пути к созданию атомной бомбы и, естественно, развития наших знаний о ядерном цепном процессе вообще.

Как писал в 1945 г. в отчете о разработке атомной бомбы Г.Смит, "общая теория цепной реакции для медленных нейтронов к концу 1941 г. была вполне ясна. Оставались неопределенными лишь числовые константы и технологические возможности. Была также значительно развита теория реакции на быстрых нейтронах в уране-235. В частности, были произведены новые оценки критических размеров и было предсказано, что, возможно, 10 % полной энергии освободится в виде взрыва. Исходя из этой оценки, 1 кг U-235 должен быть эквивалентен 2000 тонн тринитротолуола" [249, с. 75].

Следует отметить, что на другом пути исследования ученых были сосредоточены на альтернативном урану-235 расщепляющем элементе — плуто-

нии-239. Выводы теории деления, установленные некоторые эмпирические соотношения подсказывали, что ядро $^{239}_{94}\text{Pu}$ должно быть довольно устойчивым, испускать α -частицы и делиться тепловыми нейтронами. В начале 1941 г., как отмечалось выше, $^{239}_{94}\text{Pu}$ был получен в Калифорнийском университете в Беркли, правда, в микроскопических количествах и доказано, что он делится тепловыми нейтронами, а следовательно, должен вести себя подобно $^{235}_{92}\text{U}$.

В результате в начале 1941 г. уже четко вырисовывались два направления, ведущие к созданию атомной бомбы: разделение изотопов урана, т.е. выделение из природного редкого изотопа урана-235, и получение с помощью ядерного реактора плутония-239. Причем их требовалось иметь в больших количествах. Поэтому в майском и июльском 1941 г. докладах специального Комитета Национальной академии наук США, организованного для рассмотрения военных аспектов работ по урану, соответственно излагались вопросы создания бомбы из урана-235 и плутония-239. В сентябре 1941 г. председатель этого комитета А.Комптон посетил Ферми в Колумбийском университете и имел с ним беседу о возможности создания бомбы из урана-235. В процессе беседы Ферми, как вспоминает Комптон, "простым и непосредственным образом вывел уравнение, из которого могла быть вычислена критическая масса цепной реакции" [280, т. 2, с. 92]. Тогда же данные о быстрых нейтронных реакциях для атомной бомбы Ферми представил и Г.Брейту по его просьбе, но в кратком виде и без вывода использованных формул. Все это нашло отражение в его отчете от 6 октября 1941 г. "О реакциях на быстрых нейтронах" [280, т. 2, с. 93—94], дающем общую картину процесса, так как точные сведения о сечениях на уране-235 отсутствовали.

В третьем ноябрьском докладе Комитета уже прямо шла речь о возможности создания и критической массе бомбы из урана-235. В мае 1941 г. Э.Лоуренс в докладе Национальной академии наук изложил возможность использования в бомбе плутония. Таким образом, хотя к концу 1941 г. ценная реакция не была получена, уран-235 не был выделен в заметных количествах, а плутоний-239 получен только в микроскопических дозах, тем не менее рассматривались технические вопросы их промышленного производства. К тому же существовала большая степень уверенности, чем прежде, что практически возможно осуществить критическую массу бомбы. Поэтому было решено резко активизировать все работы, связанные с ее созданием. В декабре 1941 г. произошла реорганизация Уранового комитета, а летом 1942 г. для решения атомной проблемы в ведении армии был создан Манхэттенский инженерный округ, командующим которым в сентябре назначен генерал Л.Гровс. Впервые в действие были приведены огромные материальные, научно-технические, промышленные и людские ресурсы.

По сути проект создания атомной бомбы представлял собой первую комплексную многоцелевую научно-техническую программу ("Манхэттенский проект"). Еще до проекта в начале 1942 г. была организована Металлургическая лаборатория в Чикаго во главе с А.Комптоном. Первоочередными задачами ее были: создание ядерного реактора на природном уране и графите и осуществление в нем управляемой цепной ядерной реакции; химическое выделение плутония, образующегося в реакторе в результате реакции; получение теоретических и экспериментальных данных для реализации взрывной цепной ядерной реакции с ураном-235 или плутонием-239. Конечной целью лаборатории была разработка технологии промышленного производства плутония-239 для его использования в атомных бомбах.

Вопросами цепной реакции занимались экспериментальная группа физиков-ядерщиков во главе с Ферми, химией плутония и методами разделения — химическая группа, возглавляемая Ф.Спиддингем (в дальнейшем С.Аллисоном и др.), проектированием промышленных реакторов — теоретическая группа под руководством Ю.Вигнера. В дальнейшем были созданы отделы технический и охраны здоровья. К концу 1942 г. был построен ядерный реактор и осуществлена в нем самоподдерживающаяся цепная ядерная реакция (Э.Ферми) и хорошо изучена химия плутония-239 (Г.Сиборг), что указывало на возможность его выделения в относительно больших масштабах. И дей-

ствительно, в январе 1943 г. было принято решение о строительстве мощного реактора (в тысячи кВт) для получения плутония.

Кроме основных задач, в лаборатории проводились широкие исследования смежных вопросов, казалось бы второстепенных, однако без их положительного разрешения был бы невозможен пуск ядерного реактора. В частности, это разработка метода производства металлического урана и защитного покрытия для него (Э.Крейтц), улучшение работы различных приборов, изучение коррозии урана, продуктов деления, биологических эффектов излучений и т.д.

Огромное значение имела также разработка проблемы разделения изотопов урана, т.е. выделение редкого изотопа ^{235}U из природного различными методами: электромагнитным, газовой и термодиффузии, центрифугированием. Эту задачу решали группы Э.Лоуренса и Г.Юри. Работы по электромагнитному разделению изотопов урана начались еще в 1941 г. в Калифорнийском университете в Беркли под руководством Лоуренса и в декабре 1941 г. были достигнуты первые успехи, вскоре было решено использовать этот метод в промышленном масштабе. В 1942 г. был предложен калотронный разделитель, который затем интенсивно совершенствовался и к концу 1943 г. в Клинтоне стала в строй первая серия заводских электромагнитных установок, готовых к испытанию, а в течение зимы 1944—1945 гг. Клинтонский завод уже начал производство урана-235 достаточной чистоты для использования его в атомных бомбах.

Исследование отделения урана-235 от урана-238 методами газовой диффузии и с помощью центрифуг началось в Колумбийском университете под руководством Г.Юри летом 1940 г. К концу 1941 г. применимость этих методов была доказана на опыте — обогащение урана-235 было осуществлено в лабораторных масштабах, а к концу 1942 г. были точно сформулированы проблемы разделения изотопов урана методом газовой диффузии (Г.Юри, Дж.Данинг). Промышленная диффузионная установка заработала успешно весной 1945 г. С 1940 г. проводились работы по разделению изотопов урана и методом термодиффузии (Ф.Абельсон, Морская исследовательская лаборатория). Весной 1943 г. им была построена опытная установка, производящая заметное разделение, летом 1944 г. в Клинтоне был построен термодиффузионный завод, который должен был вырабатывать обогащенное сырье для электромагнитных разделителей и тем самым повысить их производительность. В феврале 1941 г. Г.Юри начал работу над промышленными методами получения тяжелой воды.

Одной из основных задач Металлургической лаборатории являлось накопление данных по реакции на быстрых нейтронах, которая должна развиться в бомбе. Вначале эта работа велась под руководством Г.Брейта, который координировал подобные исследования в тех университетах и институтах, где имелось соответствующее оборудование. Изучались поперечные сечения рассеяния, поглощения и деления, спектр энергий нейтронов деления, западающие нейтроны и др. Летом 1942 г. была организована группа во главе с Р.Оппенгеймером для изучения теоретических вопросов. Вскоре было решено значительно расширить работу группы и создать отдельную лабораторию, выделив ее из состава Металлургической. Такая лаборатория для исследования, конструирования и постройки атомной бомбы была создана в начале 1943 г. в Лос-Аламосе и директором ее стал Р.Оппенгеймер. Строительство лаборатории и ее оснащение необходимым оборудованием и аппаратурой происходили очень быстро, так что летом в ней уже проводились первые эксперименты.

Для работы в лаборатории Р.Оппенгеймер привлек крупных физиков и к концу 1944 г. в ней собрались многие выдающиеся, главным образом европейские, ученые, вынужденные в разное время эмигрировать в США — Х.Бете, Э.Ферми, В.Вайскопф, Дж. фон Нейман, С.Улам, Э.Теллер, Э.Серге, Б.Росси и др. Существенную помощь лаборатории оказали также Н.Бор и Дж.Чэдвик. В результате в Лос-Аламосской лаборатории были исследованы теоретические вопросы конструкции бомбы и методов ее изготовления, уточнены и расширены измерения ряда ядерных констант, разработаны методы получения высококишлестых материалов, спроектированы и созданы (лето 1945) первые атомные бомбы [249, 309].

Вначале Э.Ферми посещал Лос-Аламосскую лабораторию как консультант, принимая участие в совещаниях, на которых разрабатывалась конкретная программа исследований. При этом некоторые его чикагские работы оказывались как-то связанными с этими исследованиями. Окончательно Ферми переселился в Лос-Аламос в сентябре 1944 г. и находился там по декабрь 1945 г. Здесь он особенно заинтересовался первым гомогенным кипящим реактором на обогащенном уране, введенным в строй весной 1944 г. однако, перестраиваемым для работы на большую мощность (5 кВт) для использования в экспериментах, связанных с конструированием бомбы. В декабре, когда реактор был закончен, Ферми участвовал в его запуске и калибровке.

Позже Э.Ферми непосредственно участвовал в подготовке испытания первой атомной бомбы (точнее, атомного устройства) в пустыне Аламогордо, присутствовал при первом атомном взрыве 16 июля 1945 г. и вычислил его мощность. Направившись примерно через час в специально оборудованном танке к месту взрыва, он собрал для анализа на продукты деления и исследовал образовавшийся огромный кратер.

Как известно, тогда же летом в лаборатории были созданы еще две атомные бомбы, которые США решили использовать для бомбардировки мирных городов Японии, с которой они находились в состоянии войны, хотя ни у кого не вызывало сомнения, что ее конец близок и фактически уже был обеспечен победой над фашистской Германией — союзницей Японии. Однако американское правительство во главе с Г.Трумэном приняло безумное решение — подвергнуть японские города Хиросиму и Нагасаки атомной бомбардировке в целях устрашения других государств и народов. Перед этим была создана комиссия из ученых для выработки рекомендаций по техническим вопросам, в том числе и относительно применения атомного оружия в войне против Японии. К сожалению, члены комиссии Комптон, Опенгеймер, Лоуренс и Ферми высказывались за такое применение (хотя решение фактически было уже predetermined политикой), и 6 августа 1945 г. атомная бомба была сброшена на Хиросиму, а 9 августа — на Нагасаки. Это был акт американской атомной дипломатии, совершенный вопреки требованиям военной ситуации, положивший начало политике "брюдания" атомным оружием. Однако монополия США на атомную бомбу просуществовала недолго. Уже в 1949 г. Советский Союз провел испытания собственной атомной бомбы, созданной в необычайно сжатые сроки, после тяжелой и изнурительной войны с фашистской Германией в условиях восстановления разрушенного войной народного хозяйства и экономики.

Следует сказать, что ряд ученых в США, в том числе участво-

вавших в разработке и создании атомной бомбы, понимая, какую опасность для человечества она таит в себе, начали резкие выступления против ее применения, за международные соглашения о запрещении атомного оружия. Широкую известность приобрел так называемый доклад Франка, составленный и подписанный Дж. Франком, Г.Сиборгом, Л.Сцилардом, Д.Юзом, Ю.Рабиновичем и др., обращавший внимание именно на опасные последствия создания атомной бомбы для человечества. Время подтвердило самые худшие опасения ученых и людей здравого смысла, мир был ввергнут в опасную гонку ядерных вооружений, чреватую возможностью ядерных конфликтов. Еще раз ученым был преподан недалекими политиками горький урок. К сожалению, весь трагизм положения стал многим ясен значительно позже.

В Лос-Аламосе Э.Ферми читал лекции на различные темы, а осенью 1945 г. прочел полный курс по нейтронной физике [280, т. 2, с. 236—338]. К нему тянулась молодежь и после его возвращения 31 декабря 1945 г. в Чикаго, где он стал профессором и сотрудником созданного при университете для ведения поисковых физических работ Института ядерных исследований, за ним из Лос-Аламоса последовал ряд молодых физиков для завершения образования.

Здесь в новом институте и университете продолжалось активное развитие его школы. С.Аллисон, ставший директором института по настоятельной просьбе Э.Ферми (сам Ферми с самого начала отказался от этого поста, так как никогда не испытывал склонности к административной работе, хотя лидером был всегда), так описывает значение Ферми для Института ядерных исследований: "Наш институт — это по существу его институт, так как Ферми был выдающимся интеллектуальным стимулятором в нем. Именно Ферми приходил на все семинары и с невероятным блеском критически оценивал каждую новую идею или открытие. Именно Энрико первым приходил в институт и последним покидал его, наполняя каждый день бьющим из него потоком духовной и физической энергии. Именно благодаря присутствию Энрико, хладнокровию его суждений и огромному авторитету было невозможно не только раздувать те мелкие разногласия между нами, которые могут возникать в любой тесно связанной группе, но даже упоминать о них. Можно с полной объективностью сказать..., что каждый, кто был хотя бы немного знаком с Ферми, сразу же понимал, что перед ним человек, в необычайной степени наделенный высшими человеческими качествами. Мы могли встретить раньше такую физическую энергию, или такую уравновешенность, простоту и искренность в жизни, или даже такой блестящий интеллект, но кто из нас когда-нибудь видел все такие качества у одного человека?" [486, с. 9].

В Чикаго Э.Ферми не изменил своему стилю работы с молодежью, который и здесь во многом напоминал его римскую манеру обучения. Огромное количество студентов и аспирантов привлекало в Чикаго даже просто имя легендарного Ферми. Здесь в университете Ферми читал курсы лекций по термодинамике, статистической физике, ядерной физике, квантовой механике, физике твердого тела, постоянно совершенствуя эти курсы. "Известно, что лекции Ферми были удивительно прозрачны и понятны, — вспоминает один из слушателей Ч.Янг. — Характерно, что Ферми начинал обсуждать любую тему с самого начала, рассматривал простые примеры и всячески избегал "формализмов"... Крайняя простота его рассуждений порождала впечатление полнейшей легкости задачи. Но это впечатление было обманчиво: простота была следствием тщательной подготовки и многократного взвешивания различных способов изложения" [220, с.130].

Кроме конспектов лекций, Э.Ферми скрупулезно составлял задания для широкопрофильного, довольно трудного экзамена, который должны были сдавать аспиранты-физики. По этому поводу он даже говорил, что является единственным профессором, который может ответить на все вопросы этого экзамена. Ферми активно и регулярно участвовал в двух еженедельных семинарах — неофициальном общепринятом и формальном теоретическом с заранее готовящейся повесткой заседания. У него также был обычай один-два раза в неделю читать экспромтом неофициальные лекции небольшой группе аспирантов, причем тему задавал или он сам, или один из слушателей и надо сказать, что темы охватывали необычайно широкий круг вопросов. "Обсуждение проходило на элементарном уровне, — вспоминает Ч.Янг. — Ударение всегда делалось на наиболее существенные и практически важные детали вопроса; подход почти всегда был интуитивным и геометрическим, а не аналитическим" [220, с. 131]. При этом Ферми пользовался одним из своих классифицированных блокнотов, в котором содержались заметки по рассматриваемому вопросу. "То, что Ферми годами хранил подробные заметки по самым разнообразным физическим вопросам — от чисто теоретических до чисто экспериментальных.., — продолжает Янг, — послужило всем нам важным уроком. Мы поняли, что физика не должна быть уделным владением специалиста, физика должна строиться с нуля, кирпичик за кирпичиком, слой за слоем. Мы поняли, что абстракции появляются после того, как детальные исследования заложат фундамент, а не до этого. Ну и, кроме того, мы поняли из этих лекций, что Ферми не только не питает отвращения к простым численным расчетам с помощью настольной машинки, а наслаждается ими" [220, с. 131].

Работа с аспирантами протекала не только в форме официаль-

ных и неофициальных лекций, но и во встречах в обеденный перерыв, на которых затрагивались самые различные вопросы, иногда Ферми давал советы общего характера по проведению исследований. Постоянные научные контакты Ферми с друзьями, коллегами, учениками были необходимы и ему. Ведь эти беседы были для него основным источником научной информации, избавляющей его от чтения специальных журналов.

Э.Ферми был убежден, что начинающих физиков с физикой должны знакомить активно работающие ученые, а не профессиональные преподаватели, и мечтал о том, чтобы читать всю физику небольшой группе студентов от начала их учебы в университете и до конца. Поэтому он не хотел ограничивать себя только работой с уже подготовленными студентами и с большим энтузиазмом и успехом читал стандартные физические курсы большим аудиториям. Он мечтал написать книгу, посвященную рассмотрению трудных физических вопросов.

Активная преподавательская деятельность Э.Ферми в Чикаго, специальные занятия с молодежью занимали значительную часть его времени и прямо или косвенно влияли на научное воспитание огромного числа физиков, которые с большим удовольствием стали считать себя учениками Ферми. Это Г.Агню, Г.Арго, Л.Вольфенштейн, Р.Гарвин, М.Гелл-Манн, М.Гликсман, М.Гольдбергер, Г.Йодх, Д.Лазарус, Т.Ли, Р.Мартин, А.Морриш, Д.Нэгл, Дж.Опир, Дж.Рейтц, М.Розенблют, А.Розенфельд, У.Селов, Х.Тафт, С.Уорсо, Дж.Фаруэлл, О.Чемберлен, Дж.Чу, Р.Шлутер, Дж.Штейнбергер, Р.Штернхаймер, Ч.Янг и др.

В Чикаго на реакторах Аргоннской лаборатории Ферми с Л.Маршалл выполнил (1946—1948) исследования в новой, созданной им области — нейтронной оптике. Однако вскоре он кардинально меняет направление своих исследований, и как это уже было в Риме, переходит в экспериментальную физику высоких энергий, тонко чувствуя ее перспективность. Период 1949—1950 гг. был для Ферми и его учеников периодом подготовки к развертыванию работ в этом новом направлении — к экспериментам с только что открытыми пионами.

Как известно, предсказанный в 1935 г. Х.Юкавой мезон как носитель ядерных взаимодействий после экспериментального открытия в 1936—1937 гг. в космических лучах К.Андерсеном и С.Неддермейером мю-мезона (мюона) стали отождествлять именно с этой частицей. В течение десяти лет это положение было своего рода догмой, отказаться от которой позволили, с одной стороны, опыт, проведенный в 1947 г. М.Конверси, Э.Ланчини и О.Пиччиони, доказывающий, что мюон не является сильновзаимодействующей частицей, а с другой стороны, две теоретические работы Ферми (1947 г.) — одна совместная с Э.Теллером и В.Вайскопфом

[280, т. 2, с. 397—399], другая — с Э.Теллером [280, т. 2, с. 400—416], в которых было показано, что время захвата μ^- -мезона в веществе очень мало по сравнению с естественным временем его жизни — около $2 \cdot 10^{-6}$ с.

И действительно, уже в 1947 г. С.Пауэлл, Дж.Оккиалини и Ч.Латтес обнаружили в космических лучах ядерноактивную частицу, которая с полным правом могла претендовать на роль мезона Юкавы [455]. Ее назвали пи-мезоном, или пионом (π). А мюон Андерсона, как выяснилось, является результатом спонтанного распада этой новой заряженной частицы ($\pi - \mu$ -распад). Можно сказать и в этом случае Ферми угадал ту большую роль, которую должны были сыграть пионы в физике ядра и элементарных частиц, в частности, разглядел "горячую точку" в области физики элементарных частиц — физику пионов. Исследования процессов взаимодействия пионов с частицами и ядрами оказались существенными для выяснения природы как самих элементарных частиц, так и их взаимодействий, а также для определения структуры ядер.

Однако прежде чем в институте была создана надлежащая экспериментальная база (циклотрон, фазотрон) для проведения исследований в новой области Э.Ферми в плане подготовки к ним внес существенный вклад в теорию. В ноябре 1948 г. он выдвинул идею галактического происхождения космических лучей и предложил механизм ускорения космических частиц магнитными полями в межзвездном пространстве, где они, по его мнению, в большинстве своем рождаются (фермиевский механизм ускорения) [280, т. 2, с. 439—450]. "Согласно этой гипотезе (о происхождении космических лучей. — Ю.Х), космические лучи образуются и ускоряются главным образом в межзвездном пространстве, причем предполагается, что магнитные поля не позволяют им выйти за пределы Галактики, — писал Ферми. — Основной процесс ускорения обусловлен взаимодействием космических частиц с блуждающими магнитными полями, которыми, согласно Альфвену, заполнено межзвездное пространство... Согласно предлагаемой теории частица, попавшая в межзвездную среду с энергией выше некоторого порога, будет постепенно увеличивать свою энергию при соударениях с движущимися неоднородностями межзвездного магнитного поля" [280, т. 2, с. 439—440]. И хотя, как отмечал сам Ферми, теория была неполной, поскольку не предлагала удовлетворительного механизма инжекции частиц, тем не менее она имела большое значение не только для физики космических лучей, но и для физики плазмы и космофизики, в ней в явном виде содержалась идея магнитных ловушек.

В 1949 г. увидела свет основополагающая работа Э.Ферми и Ч.Янга "Являются ли мезоны элементарными частицами?" —

первое теоретическое исследование о составных моделях элементарных частиц [280, т. 2, с. 454—463]. В ней предложена гипотеза, согласно которой π -мезоны могут быть сложными частицами, состоящими из нуклона и антинуклона. "...Положительный мезон представляет ассоциацию протона и антинейтрона, — писали они, — а отрицательный мезон — антипротона и нейтрона. Моделью нейтрального мезона может являться как пара нейтрон — антинейтрон, так и пара протон — антипротон" [280, т. 2, с. 454—463]. В духе этой работы последовали многие другие модельные схемы, в частности, модель элементарных частиц Сакаты (1956) [497].

Большое значение для физики высоких энергий имела построенная Э.Ферми в 1950 г. теория множественного образования частиц (пионов и антинуклонов) в pp -столкновениях при высоких энергиях, в частности, предложенный в ней статистический метод расчета сечений процессов множественного рождения частиц [280, т. 2, с. 465—480]. Здесь также рассматривались процессы образования нуклон-антинуклонных пар, показывалось, что эти процессы возможны, когда полная энергия сталкивающихся нуклонов в системе центра тяжести превышает 4 МэВ , и по мере возрастания энергии выше этого порогового значения наряду с рождением пары ($N\bar{N}$) образуется несколько пионов. В 1951 г. на конференции по ядерной физике и физике фундаментальных частиц Ферми уже убежденно говорил о существовании антинуклонов.

Весной 1951 г. в институте заработал построенный под руководством Г.Андерсона и Дж.Маршалла большой синхrocиклотрон, ускоряющий протоны до 450 МэВ , на котором Ферми с Г.Андерсоном, Р.Мartiном, Д.Нэглom, Г.Йодхом, А.Лундби и другими начал систематические исследования взаимодействия пионов с протонами. Работы по пион-протонному рассеянию (1951—1954) [492, с. 269—272] открыли новый раздел в экспериментальной и теоретической физике. В этих исследованиях еще раз особенно ярко проявил себя Ферми как выдающийся теоретик и экспериментатор.

В первых экспериментах из этой серии были проведены (1952) измерения полных сечений упругого рассеяния отрицательных пионов на протонах в интервале энергий от 80 до 230 МэВ : $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + p$ [280, т. 2, с. 508—509] и обнаружено, что наряду с упругим рассеянием π^- на p имеет место их перезарядка: $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$. Аналогичные эксперименты были выполнены и с положительными пионами [280, т. 2, с. 510—512], которые показали, что в диапазоне энергий 80 — 150 МэВ сечения рассеяния π^+ на водороде значительно больше, чем у π^- (выше максимальных значений для π^-). Первоначально это выглядело странно, так как π^+ испытывает только упругое рассеяние на p в отличие от π^- , для которого имеет место также изменение знака заряда. Однако

после теоретических предсказаний К.Бракнера о роли изоспина в πN -взаимодействиях (буквально в те дни) стало ясно, что "загадку" опыта легко объяснить, если предположить согласно К.Бракнеру существование в системе ($\pi + N$) широкого резонансного уровня с изоспином $3/2$ и спином (полным моментом импульса) $3/2$. Иными словами, Ферми, Андерсеном, Лонгом и Нэглom был открыт первый так называемый пион-нуклонный резонанс — короткоживущее возбужденное состояние, в которое переходит протон в процессе π^+p -рассеяния, поглощая пион. В современных обозначениях он записывается так: Δ_{33} (1232), где цифры индекса обозначают удвоенные значения соответственно изоспина $I = 3/2$ и спина $J = 3/2$, а число в скобках — массу резонанса, или полную энергию системы ($\pi + N$) в МэВ. Это открытие положило начало новому направлению в физике элементарных частиц — физике резонансов, массовое обнаружение которых пришлось уже на 60-е годы (Л.Альварес с сотр.).

Эксперименты по рассеянию π^+ на водороде интерпретировались Э.Ферми с помощью фазовых сдвигов s - и p -волн и вызвали большой интерес у теоретиков, которые предполагали, что они прольют свет на понимание ядерных сил. Эти эксперименты также подтвердили справедливость закона сохранения изоспина в πN -взаимодействиях. В этом же 1952 г. Ферми с Андерсеном, Нэглom и Йодхом были измерены полные сечения взаимодействия π^+ с дейтерием, чтобы исследовать роль нейтронов в процессах рассеяния π^+ [280, т. 2, с. 516—519].

Прервав эксперименты по πN -рассеянию, Э.Ферми летом 1952 г. отправился в Лос-Аламос, чтобы с помощью ЭВМ проанализировать полученные данные (роль ЭВМ в физических экспериментах Ферми осознал сразу же после их появления и легко освоил программирование на них). Там совместно с Н.Метрополисом он разработал метод, ставший общепринятым при фазовом анализе πN -взаимодействий [280, т. 2, с. 523—531].

В 1953 г. Э.Ферми совместно с Г.Андерсеном, Р.Мartiном и Д.Нэглom исследовал угловое распределение пионов, рассеянных на водороде [280, т. 2, с. 534—564], открыл поляризацию протонов отдачи при πN -рассеянии и дал простые формулы для вычисления поляризации как функции угла рассеяния через фазовые сдвиги, нашел, что протоны отдачи поляризованы в направлении, перпендикулярном плоскости рассеяния [280, т. 2, с. 565—568]; с М.Гликсманом, Р.Мartiном и Д.Нэглom изучил рассеяние π^- жидким водородом при более высоких энергиях, чем раньше, и обнаружил ряд интересных особенностей [280, т. 2, с. 569—575]. На основании идеи о спин-орбитальной связи дал расчет эффекта поляризации протонов в рассеянии при высоких энергиях [280, т. 2, с. 657—661].

Следует также отметить интерес Э.Ферми в эти годы к астрофизике, магнитодинамике, гидродинамической турбулентности, поведению нелинейных физических систем. Так, в совместной работе "Исследование нелинейных задач" с Дж.Пастой и С.Уламом на ЭВМ "Маниак" была изучена одномерная динамическая система из 64-х частиц, когда действующие между соседними частицами силы содержат нелинейные члены [280, т. 2, с. 647—656]. Интерес Ферми к последней теме связан еще и с тем, что он считал, что будущие фундаментальные физические теории могут включать в себя нелинейные операторы и уравнения, а потому, как отмечал С.Улам, "следует попрактиковаться в математике, необходимой для понимания нелинейных систем" [280, т. 2, с. 645]. Время подтвердило и этот прогноз Ферми, и в современных теоретических расчетах широкое распространение получили сверхбыстродействующие ЭВМ. Но все последующие планы Ферми были нарушены его неизлечимой болезнью. И хотя до самого последнего момента он сохранял присутствие духа, ясность мысли и спокойствие, фатальный исход произошел 28 ноября 1954 г.

В некрологе о Ферми О.Фриш писал: "Сила Ферми была не только в остроте ума и влетах фантазии, а и в здравом смысле, сочетающемся с превосходным знанием своего предмета. Ясность была сущностью его работы... Это был человек скромный, но властный, легко возбудимый, но всегда терпимый, сильный и добродушный. Таким он останется в памяти тех, кто его знал. Его жизнерадостность была заразной, и его смерть является большой потерей как для мировой науки, так и для его многочисленных друзей во всем мире" [393, с. 19].

И памятником этому выдающемуся физико-универсалу является бурный прогресс тех отраслей физики, основы которых закладывались им и его многочисленными учениками. Особенно значительный вклад учениками Э.Ферми внесен в физику элементарных частиц, в частности в предсказание и открытие ряда новых частиц, предсказание и доказательство несохранения четности в слабых взаимодействиях, в разработку кварковой модели и квантовой хромодинамики [196]. Пять его учеников (Э.Сегре, О.Чемберлен, Т.Ли, Ч.Янг, М.Гелл-Манн) стали Нобелевскими лауреатами по физике. Сам Ферми был членом 18 академий наук мира, в том числе АН СССР (1929), почетным доктором многих университетов, лауреатом ряда премий и медалей. В его честь назван 100-й химический элемент — фермий, в США учреждена премия имени Э.Ферми, его имя присвоено Институту ядерных исследований в Чикаго и Национальной физической лаборатории в Батавии (ФНАЛ).

ВЕДУЩИЕ СОВЕТСКИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ШКОЛЫ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XX ст. И ИХ ВКЛАД В СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ В СССР

1. ФИЗИКА В РОССИИ ДО ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

До Великого Октября научная работа по физике в России была тесно связана с высшей школой, прежде всего с университетами, и носила несистематический, фрагментарный характер. Физическая мысль развивалась благодаря усилиям отдельных ученых-одиночек, которые внесли существенный вклад в мировую науку. Достаточно вспомнить имена М.В.Ломоносова, В.В.Петрова, Э.Х.Ленца, Б.С.Якоби, А.Г.Столетова, Н.А.Умова, А.С.Попова и др. [228]. Исключение, правда, составила деятельность выдающегося физика-экспериментатора П.Н.Лебедева, создавшего в Москве первую отечественную физическую школу. Невелико было и количество самих физиков в России. Достаточно сказать, что, например, в 1906 г. их насчитывалось около 100 человек.

Деятельность большинства университетских профессоров в основном сводилась к преподаванию. Лишь единицы из них (Э.Х.Ленц, М.П.Авенариус, А.Г.Столетов, П.Н.Лебедев) старались сами проводить оригинальные физические исследования и приобщать к научной работе творческую молодежь. И созданные в начале нашего столетия первые физические институты при Петербургском, Московском и Новороссийском университетах в основном занимались учебной работой, а научная находилась на низком уровне. Состояние и характер проводимых в Петербурге в начале XX ст. физических работ описал А.Ф.Иоффе и данную им характеристику вполне можно было бы отнести также к другим университетским центрам России.

«В 1906 г., когда я начинал работать в Петербурге, — писал он, — в физике еще были сильны традиции XIX в., скорее, его середины — школы Ф.Ф.Петрушевского. Преподавание физики в высшей школе шло по линии так называемой измерительной физики — методов измерения как основы точного знания.

Во всех высших школах С.-Петербурга первый курс отводился описанию измерительных приборов, и только со второго курса

излагались законы из области теплоты, электричества, магнетизма, оптики, акустики. Теоретическая, или вернее, математическая, физика в университете сводилась к феноменологической формулировке законов и решению уравнений в частных производных из области теплопроводности и электростатики.

Профессора и преподаватели физики высших школ обладали обширной эрудицией, но мало внимания уделяли творческой деятельности. Научные работы оставленных при университете часто сводились к повторению опубликованных работ... Научная работа в Физическом институте Петербургского университета находилась на невысоком уровне" [111, с. 158].

По-настоящему научные исследования в области физики в нашей стране начались лишь после Великой Октябрьской социалистической революции, открывшей широкие перспективы для прогресса отечественной науки и техники, создавшей условия для формирования и развития научных школ [195]. С первых дней Советской власти наука в нашей стране стала общегосударственным делом, предметом постоянной заботы партии и народа. Новая миссия культуры, науки и техники, заключающаяся в служении интересам трудящихся, получила свое адекватное отражение в ленинском "Наброске плана научно-технических работ" (1918), во всей научной и технической политике Советской власти [2]. КПСС и советское правительство сразу же начали проводить в жизнь конкретные мероприятия по государственной организации и планомерному развитию науки в стране.

В результате бывшая фрагментарность сменилась сплошным фронтом науки с широким спектром научных направлений, а деятельность ученых-одиночек — работой больших коллективов исследователей и научных школ, широкой сетью научных институтов самого разнообразного профиля. Созданный мощный научный потенциал, экспериментальная база дали возможность вести фундаментальные и прикладные исследования по магистральным направлениям науки и научно-технического прогресса, решать комплексные научные проблемы, объединять фундаментальные и прикладные разработки с проектно-конструкторскими и с производством [229, 252]. И яркой иллюстрацией расцвета и бурного развития науки в нашей стране может служить советская физика, которая прошла славный путь развития и занимает сегодня передовые позиции в мире по многим научным направлениям. Созданная работоспособная структура *фундаментальная физика — прикладные физико-технические разработки — отраслевая наука — промышленность* обеспечивает рациональное и планомерное использование фундаментальных исследований в физике для получения практически важных народно-хозяйственных результатов.

В СССР родилась не только новая физика, а и сформиро-

вался новый тип ученого — организатора науки, руководителя и воспитателя творческой молодежи, созданы широко известные в мире физические школы, в частности школы С.И.Вавилова, А.Ф.Иоффе, И.В.Курчатова, Л.Д.Ландау, Л.И.Мандельштама, Д.С.Рожественского, Е.Тамма и др. Расширилась и география физики, получившей широкое развитие во всех республиках нашей многонациональной страны. Ниже рассматриваются ведущие советские школы первой половины XX ст. и их вклад в становление и развитие физики в СССР.

2. ШКОЛА А.Ф.ИОФФЕ

Имя А.Ф.Иоффе связывается прежде всего с той огромной ролью, которую он сыграл в становлении физики в нашей стране, в подготовке первых советских кадров физиков и организации многих физических институтов [4, 110, 222, 291]. "Абрам Федорович Иоффе... стал одним из выдающихся руководителей фронта физического образования и науки, — писал Б.П.Константинов. — Огромный талант ученого, педагога, организатора, а также доброжелательное отношение к людям, личное обаяние, преданность общественным интересам — все это определило неоценимый вклад А.Ф.Иоффе в развитие советской физики. Многие мои товарищи-физики, как и я сам, считают и называют академика Иоффе отцом советской физики..." [59, с. 11].

Эту же мысль в биографическом очерке об Иоффе проводит и один из первых его учеников, близко знавший и сотрудничавший с ним в течение 40 лет, Я.И.Френкель: "А.Ф.Иоффе является признанным отцом советской физики: его неутомимой работе, его юношескому энтузиазму, не знающему препятствий, она обязана большей частью своих молодых кадров; его смелым идеям и стимулирующему влиянию — большей частью новых фактов, установленных в области физики за последние 30 лет в различных научно-исследовательских институтах, возникших из ЛФТИ при помощи его бывших сотрудников" [291, с. 26].

А.Ф.Иоффе оказал огромное влияние на научную судьбу и деятельность целых поколений советских физиков, многим помог найти свое место в науке. Многие обязаны ему первыми успехами в физике, поддержкой и помощью в трудных ситуациях. Но Иоффе не просто имел учеников, большинство из которых стали видными учеными и организаторами науки в стране, не просто являлся учителем и воспитателем ряда поколений советских физиков, а был одним из тех немногих ученых, которому удалось объединить своих учеников в широко разветвленную, исключительно продуктивную научную школу, долгие годы задававшую тон в физике, и влияние которой через многие годы, через несколько

поколений учеников ощущается и в настоящее время. Иоффовская школа была наиболее представительной, интенсивно развивающейся и новаторской. У нее был свой стиль, специфические черты, отличающие ее от других первых советских школ — Д.С.Рождественского и Л.И.Мандельштама.

Попытаемся выяснить причины, приведшие к созданию А.Ф.Иоффе такой крупной научной школы. Просуммировав высказывания об Иоффе как ученом и человеке его учеников, коллег и друзей, выделим те его наиболее характерные черты, которые привлекали к нему физиков, сплачивали их в единый, дружный, работоспособный коллектив, способствовали максимальному раскрытию их творческих дарований и получению крупных научных результатов.

Как человека А.Ф.Иоффе характеризует яркая индивидуальность, принципиальность, демократичность, колоссальная эрудиция, личное обаяние, большая культура, простота и скромность, доброжелательность, жизнерадостность. Он обладал быстрой реакцией, был интересным и остроумным собеседником. "Всякий, кто общался с Абрамом Федоровичем, сразу же попадал под обаяние его личности, его высочайшей культуры, удивительной ясности ума и глубочайшей эрудиции, — вспоминал А.С.Ахматов. — Этот большой в прямом и переносном смысле человек был доступен и прост со всеми без различия рангов и положений. Он был удивительным рассказчиком и щедро делился всеми богатствами своего ума, знаний, таланта и опыта" [59, с. 136]. Именно эта щедрость в сочетании с его индивидуальностью, неординарностью и делала Иоффе притягательным центром для творческой молодежи.

"При воспоминании об Абраме Федоровиче невольно возникает образ человека исключительно большой эмоциональной силы, — отмечал А.Г.Самойлович. — Личная жизнь его тесным образом была связана прежде всего с наукой, а также литературой, музыкой, живописью. Одной из характерных черт Абрама Федоровича было то, что он не мог что-либо делать бесстрастно — все, по какому бы поводу ни высказывался Абрам Федорович и что бы в этих областях он ни делал, все было пронизано его индивидуальностью и доброжелательностью к людям. При этом яркое проявление индивидуальности Абрама Федоровича во всех областях жизни вовсе не носило черт субъективности. Его отношение к разным проблемам науки, искусства, вообще к людям исходило из глубокого изучения многообразных явлений жизни, из тщательного продумывания окружающей действительности, из твердых, выработанных с годами убеждений. Большая убежденность, а не субъективность, являлась основой индивидуальности Абрама Федоровича и ее проявлений" [59, с. 222]. Емкую и эмоцио-

нальную характеристику Иоффе дает Е.Ф.Гросс "как выдающегося человека и ученого, глубоко образованного, тонко понимающего физику и любящего науку, человека с интересами в жизни, науке и искусстве огромного диапазона, человека с глубоким, проникновенным и ясным умом, свободного от какого-либо формализма и догматизма, всегда быстро схватывающего суть вопроса, человека доброжелательного и доброго" [59, с. 143].

Несмотря на обилие достоинств Иоффе был человеком, не лишенным недостатков, слабостей и противоречий. Мы же выделим те сильные качества его личности, которые в сочетании с научными достоинствами сыграли определяющую роль в становлении его как научного лидера и создателя блестящей физической школы. Иоффе-ученого отличали яркий талант физика-экспериментатора и организатора исследований, увлеченность наукой и энтузиазм, широкий кругозор, глубокая физическая интуиция и научное предвидение, чувство нового, энергия и целеустремленность, ясность физических представлений, научная фантазия, тесная связь с практикой. Детализировать эти качества помогают те же иоффовские ученики и сотрудники.

"Характерной чертой А.Ф.Иоффе была широта интересов, быстрая ориентация во всех новых направлениях теории и эксперимента, живой, всеохватывающий и творческий подход к любому вопросу, — отмечает Александров. — Именно он, с его удивительным умением находить доступные подходы к сложным явлениям, играл огромную роль в приобщении наших ученых к идеям новой физики. Необычайная простота в общении, внимание к людям, полное отсутствие какого-либо высокомерия по отношению к собеседнику дополняли его обаятельный образ" [222, с. 5].

Эта разносторонность интересов вызывала у него обилие мыслей по разным физическим вопросам, которыми он охотно делился со всеми. "Абрам Федорович отличался огромным богатством научных идей, — писал Я.Г.Дорфман. — Он был тонким экспериментатором и мог осуществить любое задуманное им исследование. При этом он обладал замечательной способностью делать далекие научные и технические выводы из результатов физических исследований. Этот дар экстраполяции был развит у него в столь огромной степени, что он легко мог себе представить только что возникшие технические замыслы в виде уже осуществленных машин и устройств" [59, с. 97].

Однако многие наряду с большим идейным потенциалом, в котором усматривают всеобщее признание Иоффе как ученого, не меньшее значение отводят и другим его качествам. "Мне кажется, что научную деятельность Абрама Федоровича можно определить двумя характерными чертами, которые придают его творчеству яркую индивидуальность, — писал А.Г.Самойлович. — Это

необычайная интуиция в физике и всесторонний глубокий анализ изучаемых явлений. Абрам Федорович был тонким и искусным экспериментатором. Экспериментальное изучение явлений, измерение были для него основным методом познания, и вместе с тем измерения никогда не имели для него самодовлеющего значения, он никогда не проводил их "впрок". Измерения ему были нужны для физического толкования явления. Проникновение в сущность явления — вот что было главным для Абрама Федоровича" [59, с. 223].

Пожалуй, наиболее четко и довольно аргументированно на вопрос, чем объяснить, что Иоффе вырастил такую "блестящую плеяду ученых", какие качества человека и ученого ему в этом помогли, отвечают А.Р.Регель и Л.С.Стильбанс: "Во-первых, чувство нового. Необычайный кругозор и дар предвидения позволяли Абраму Федоровичу "предугадывать" пути развития науки и будущие запросы техники. Поэтому маленькие группы, организованные им в ЛФТИ, со временем превращались в лаборатории, а затем и в институты с новыми направлениями науки и техники...

Во-вторых, Абрам Федорович не только умел намного раньше других предвидеть важность нового направления в физике, но умел "переключаться" сам, увлечь и "переключить" других...

Третьей особенностью Абрама Федоровича является исключительная энергия и упорство. Одновременно развивая несколько научных направлений, он каждое доводил до логического конца. Над некоторыми из них он работал многие годы, стараясь добиться успеха, приходящего иногда через десятки лет!..." [59, с. 206—207]. И далее они подчеркивают также его способность с исключительной ясностью излагать суть вопроса: "Абрам Федорович испытывал буквально физическое отвращение к наукообразию... Исключительно четко и ясно излагая физическую суть дела, он старался научить этому и других... Абрам Федорович принадлежал к небольшому числу ученых, обладающих очень быстрым и в то же время объемным мышлением... Умел мгновенно охватить сложную ситуацию и принять правильное решение, найти главную трудность и всю свою энергию обратить на ее преодоление; к любому мероприятию он умел подойти нестандартно, найти в нем рациональное зерно и сделать его интересным и полезным" [59, с. 208].

А.Ф.Иоффе был свойствен государственный подход в определении перспективных направлений физики, интерес к проблемам на стыках наук, как наиболее сулящим успех, связь проводимых физических исследований с промышленностью и техникой как отражение задач, стоящих перед институтом такого профиля, каким был именно его физико-технический институт.

Где же истоки научных интересов Иоффе? Как и почему возникла его школа? Ответы на эти вопросы частично дает его биография. Родился Абрам Федорович Иоффе 29 октября 1880 г. в Ромнах. Окончив в 1897 г. реальное училище, поступил в Петербургский технологический институт, где заинтересовался вопросами биофизики, точнее, использованием физических методов в биологии. Однако вскоре пришел к заключению, что инженерная деятельность как таковая его не привлекает. Поэтому, окончив в 1902 г. Технологический институт, он отправился в Мюнхенский университет к В.Рентгену, у которого овладевал техникой физического эксперимента, работая сначала практикантом, а с 1903 г. — ассистентом. Дав Иоффе темы для исследований, Рентген предоставил ему полную самостоятельность и ограничивался лишь критикой методики измерений и трактовки получаемых результатов. Уже с первых шагов Иоффе выработал уважение к опытным фактам и точности измерений. После того, как он оригинальным способом измерил количество тепла, выделяемое радиом за 1 с, Рентген признал в нем физика-экспериментатора и предложил ему в качестве докторской диссертации работу об упругом последствии в кристаллах кварца. Вначале Иоффе постарался разобраться в сути явления теоретически и, исходя из общих представлений о строении кристаллов, пришел к выводу, что в совершенных монокристаллах: упругого последствия не должно быть и наблюдаемые в кварце явления, принимаемые за последствие, являются побочными, обусловленными мелкокристаллической структурой кварца и образованием зарядов внутри образца при его деформации за счет пьезоэлектрического эффекта. Облучая образец лучами от солей радия, рентгеновскими и ультрафиолетовыми, т.е. устраняя возможность образования зарядов, Иоффе ликвидировал и последствие.

От этих опытов А.Ф.Иоффе пришел к исследованию влияния излучений на прохождение тока через различные кристаллы. Он обнаружил под действием освещения видимым светом резкое возрастание электрической проводимости кристаллов каменной соли, предварительно облученной рентгеновскими лучами. Это было первое наблюдение внутреннего фотоэффекта в гетероплярных кристаллах. Последний факт очень заинтересовал и самого Рентгена, который до этого не усматривал в опытах молодого ассистента ничего особенного. В дальнейшем (1904—1914) электрические свойства кристаллов они стали изучать совместно.

Уже в этой первой научной работе проявились характерные черты Иоффе как физика-исследователя — его индивидуальность, инициативность, творческий подход к изучаемому явлению, высокое экспериментальное мастерство, настойчивость. Вопреки методике Рентгена Иоффе не пошел по пути простого накопления

опытных фактов, а ставя эксперимент, "организовывал" его так, чтобы проверить выработанные до этого теоретические представления, т.е. старался экспериментальную работу предварять построением микроскопической картины явления и прогнозированием ожидаемого результата. Расхождения с В.Рентгеном выявились также в методах изложения получаемых результатов. Все это привело к тому, что полученный ими огромный опытный материал долгое время был законсервирован, а в 1923 г. после смерти Рентгена согласно его завещанию сожжен. В 1921 г. было опубликовано только описание значительной части опытов с каменной солью под авторством Рентгена, а в 1923 г. появилась работа Иоффе в извлечении, написанная им еще в 1908 г. [110, т. 1, с. 153—182].

Результаты исследования причины электризации кристаллов кварца при сжатии и растяжении были оформлены А.Ф.Иоффе в качестве диссертации на степень доктора философии, которая была им успешно защищена в 1905 г. Она послужила основой его русской диссертации об упругих и электрических свойствах кварца на соискание степени доктора физики, защищенной в апреле 1915 г. в Петроградском университете [110, т. 1, с. 32—124].

Общение и длительное сотрудничество с Рентгеном оказали значительное влияние на последующие работы Иоффе, относящиеся к физике твердого тела и физике полупроводников. Безусловно, интерес к этим направлениям физики у Иоффе зародился в лаборатории Рентгена и не ослабевал никогда. "Именно в лаборатории Рентгена, в тех нескольких десятках стандартных лабораторных работ студенческого практикума, а затем и первых самостоятельных исследованиях А.Ф.Иоффе усвоил основные принципы экспериментального исследования: выбор и постановка интересной и значительной задачи, тщательность и внимание к деталям (в частности, к точности производимых измерений) в процессе ее решения, — пишет В.Я.Френкель. — Основным направлением работ А.Ф.Иоффе стало исследование механических, электрических и фотоэлектрических свойств твердых тел" [222, с. 46].

А названные выше направления, в которых Иоффе активно работал, являлись, как правило, или актуальными, или становились ими благодаря его вмешательству. Так было в 10-е годы с зарождавшейся физикой твердого тела, физикой диэлектриков — в 20-е, так стало с физикой полупроводников, основы которой в 30-е годы были заложены А.Ф.Иоффе и Я.И.Френкелем, А.Вильсоном и Н.Моттом, В.Шоттки и К.Вагнером. Об этой характерной черте Иоффе писал в 1940 г. И.К.Киокин: "А.Ф.всегда находился и находится в центре "физических событий", занимаясь и ставя наиболее актуальные в данный момент физические проблемы, а порою превращая ту или иную пробле. у в одну из актуальнейших в физике" [127, с. 6].

В 1906 г. А.Ф.Иоффе отклонил предложение В.Рентгена остаться работать в Мюнхенском университете и возвратился в Россию, где был принят на должность лаборанта на кафедру физики Петербургского политехнического института, с которым на долгие годы связал свою научную деятельность. Выбор этого института не случаен. Последний был открыт в 1902 г. и не был ещеотягощен рутинными традициями, присущими большинству высших учебных заведений России. Более того, он представлял собой, по словам самого Иоффе, единственный живой центр научно-технической мысли. Поэтому научные начинания молодого ученого встретили поддержку заведующего кафедрой физики В.В.Скобелы и других коллег.

Большое влияние в эти годы на развитие А.Ф.Иоффе и вообще теоретической физики в России оказал П.С.Эренфест, живший в Петербурге в 1907—1912 гг., вместе с которым Иоффе вел "борьбу с застоявшимися нравами Петербургского университета" и "с допотопной системой магистерских экзаменов". Иоффе сумел внести новое не только в характер научных исследований, но и в преподавание физики, которое в большинстве высших школ начиналось с изучения в течение довольно длительного времени измерительных приборов. Он сразу же рассказывал студентам то, чем живет современная физика. Этот новый подход Иоффе к преподаванию физики в высшей школе, дающий возможность слушателям почувствовать подлинную науку, дух современной физики, привлекали к нему творческую молодежь, желающую посвятить себя науке. Образно влияние лекций Иоффе описал Н.Н.Семенов: "Я стал регулярно посещать лекции Иоффе, и он очаровал меня. Я впервые почувствовал научный дух новой физики XX в., увидел подлинные пути раскрытия новых явлений — и прежде всего начало становления теории квантов, — понял, какой упорный труд, знание и вдохновение требуются для раскрытия новых принципов строения вещества, понял, что ничего в сущности об этом не знаю; и меня с огромной силой потянуло к этому увлекательному труду. Я не знаю никого, кто бы с такой ясностью, без всякой аффектации умел показать глубину науки в ее исключительной четкости и простоте. И я решил, что только у него хочу учиться и работать" [59, с. 5].

В результате уже в 1912 г. у А.Ф.Иоффе в политехническом институте появляются первые ученики, в частности П.Л.Капица, а с 1913 г. — и в университете, где он стал доцентом, — П.И.Лукирский, Н.Н.Семенов, Я.И.Френкель, К.Ф.Нестурх и др. По-новому поставил А.Ф.Иоффе и дело подготовки кадров физиков-исследователей. Бытовавшим тогда в высшей школе традициям, согласно которым научные работы оставленных для подготовки к профессорскому званию сводились зачастую к простому повто-

рению зарубежных исследований и не предусматривали проявление творческого подхода, Иоффе противопоставил свой метод воспитания молодых физиков, в основе которого лежало всемерное развитие творческого начала молодого исследователя и его научной самостоятельности. "А.Ф. смело стал на новый путь, который он сам прошел — путь новаторства, самостоятельной научно-исследовательской работы, которая заключалась бы в открытии и изучении новых явлений, а не в повторении заграничных азов, — писал Я.И.Френкель. — При этом он не только не препятствовал инициативе своих молодых учеников и сотрудников, подобно Рентгену, но всячески ее поддерживал и развивал, следуя Рентгену лишь в исключительно строгой и придирчивой критике экспериментальных методов и результатов" [291, с. 10—11].

Воспитанию и становлению молодых ученых способствовал также семинар по новой физике, организованный Иоффе весной 1916 г. при политехническом институте. В нем участвовали Н.Н.Семенов, Я.И. Френкель, П.Л. Капица, П.И. Лукирский, Н.И. Добролюбов, Я.Г. Дорфман, К.Ф. Нестурх, М.В. Кирпичева, Я.Р. Шмидт и др. Как писал сам Иоффе, семинар впоследствии "составил ядро Физико-технического института" и был "первым опытом коллективной проработки одной большой темы. Этот же опыт был положен "в основу работы Физико-технического института" [111, с. 239].

Авторитет А.Ф.Иоффе зиждился прежде всего на его личных научных результатах. В первый послерентгеновский период (1906—1917) исследования Иоффе относились к изучению электрических свойств кристаллов и атомной физике, они продолжали и развивали те исследования по прохождению тока через кристаллы, которые были начаты им в Физическом институте Мюнхенского университета. Все полученные Иоффе материалы пересылались Рентгену в Мюнхен, к тому же до 1914 г. Иоффе каждое лето приезжал работать в его лаборатории. Однако, как уже упоминалось, практически все эти материалы, в том числе и 1904—1906 гг., содержащие крупные научные результаты, не были опубликованы и погибли. А в этих материалах, по словам Я.И.Френкеля, содержалось открытие "внутреннего фотоэффекта в рентгенизованных кристаллах", а также изучение "всего комплекса явлений, связанных с этим эффектом, в частности явления окраски кристаллов, спектров поглощения света в них, перехода F -центров в U -центры и обратно и т.д." [291, с. 8], т.е. то, что только через много лет было переоткрыто и подробно изучено (1919—1920) Р.Полем с учениками в Гёттингене, тогда как результаты Иоффе были задержаны публикацией до 1923 г. Можно с полным правом считать, что Иоффе является одним из основоположников экспериментальной физики твердого тела.

В 1913 г. в "Анналах физики" появляется его совместная с В.Рентгеном статья "Об электропроводности некоторых кристаллов и влияния на нее облучения" [110, т. 1, с. 90—129]. В ней они предложили новый метод определения постоянной Кюри для кварца и получили новое ее значение, оказавшееся важным для исследований по электропроводности. В дальнейшем Иоффе высказал мнение, что электропроводность диэлектрических кристаллов должна рассматриваться в тесной связи с их строением, и предположил тепловую диссоциацию ионов в кристаллах в результате флуктуаций и их перемещение. Последовательно эта идея была проведена Иоффе в работе, где дано систематическое исследование электропроводности кристаллов кварца. Она же стала основой уже упоминавшейся его докторской диссертации 1915 г.

Еще Дж.Максвелл высказал мысль, что неоднородности в строении тел могут быть одной из причин, объясняющих электрические явления в диэлектриках, а также упругое последействие. Упомянутой выше работой "Упругие и электрические свойства кварца" Иоффе стремился показать, что неоднородность является главной, если не единственной, причиной аномалий, наблюдаемых в области упругих и электрических явлений. Здесь же впервые отмечалось влияние примесей на электропроводность кристаллов кварца. Все эти отдельные мысли и положения нашли завершение в работе "Электропроводность чистых кристаллов", выполненной в 1916 г. совместно с М.В.Кирпичевой [110, т. 1, с. 125—149]. В ней изложены результаты изучения ионной проводимости кристаллов (миграцию чужеродных ионов через чистый кристалл кварца наблюдали в 1888 г. Варбург и Тебетмайер). По мнению авторов, электропроводность диэлектрических кристаллов обуславливается лишь теми ионами, которые в результате случайностей теплового движения или недостаточно прочного положения в кристаллической решетке оказываются выведенными из положения равновесия в междузлия, причем диссоциация кристалла вызывается не только внешними воздействиями, но и собственным тепловым движением кристалла. Они впервые экспериментально доказали факт перемещения ионов самой решетки по пространству в междузлиях (электролиз кристаллов AgNO_3), т.е. установили собственную (ионную) проводимость в кристаллах. Были выяснены условия перемещения ионов в кристаллах кварца и кальцита и образование в них объемных зарядов. Следует заметить, что для этих опытов авторами были выращены химически чистые и физически однородные кристаллы и изучены их свойства. Последовательной кристаллизацией они получили кристаллы, обладающие в пределах ошибок опыта одинаковой электропроводностью, или, как они сами называли, электрически чистые

кристаллы со строго постоянной проводимостью, что и дало им возможность наблюдать и изучать ионную проводимость кристаллов. Показано также, что примеси, введенные в кристалл, сильно повышают его электропроводность (примесная проводимость). Таким образом, в этой работе впервые четко разграничены примесная и собственная проводимости диэлектрических кристаллов. В дальнейшем вопросам электропроводности кристаллов были посвящены статья Иоффе "Прохождение электричества через кристалл" (совместно с В.Рентгеном) [110, т. 1, с. 153—182] и его обзорный доклад "Электропроводность кристаллов", сделанный им на 4-м Сольвеевском конгрессе в Брюсселе в апреле 1924 г. [110, т. 1, с. 209—232].

Другой цикл работ А.Ф.Иоффе дореволюционного периода был посвящен также актуальным тогда физическим проблемам — выяснению природы света и обоснованию дискретного строения электричества и, как писал он сам, "главное мое внимание было направлено на прочное установление атомного строения электричества и света, на разъяснение всех накопившихся в литературе противоречий" [111, с. 239]. В фундаментальной и обобщающей работе "Элементарный фотоэлектрический эффект. Магнитное поле катодных лучей" [110, т. 2, с. 26—89], вышедшей в 1913 г. отдельной книгой, представлявшей его магистерскую диссертацию, Иоффе изложил свои ставшие классическими экспериментальные исследования элементарного фотоэффекта с микроскопической висмутовой пылинкой, в частности, прецизионные измерения заряда электрона и прямое доказательство квантовой природы света. Используя для измерения элементарного электрического заряда методику, представляющую развитие методики Р.Милликена и Ф.Эренгафта, Иоффе показал, что электричество обладает дискретным строением.

"Изложенные в этой главе опыты показывают, — писал Иоффе, — что металлы под влиянием света теряют отрицательный заряд не непрерывно, а скачками, отделенными друг от друга значительными промежутками времени. Величины зарядов, теряемых одной и той же частичкой, точно равны между собой... В тех случаях, когда форма и плотность частички позволяют определить ее размеры по скорости падения, абсолютная величина элементарного заряда может быть вычислена и оказывается равной заряду электрона, определенному Миллиkenом и Планком. Показано, в частности, что обладающая одним электроном отрицательно заряженная частица теряет его целиком, оставаясь незаряженной, или затем, потеряв еще один электрон, сразу получает положительный заряд, точно равный ее прежнему отрицательному заряду. Доказано, что заряды, теряемые под влиянием ультрафиолетового света, точно равны зарядам, приобретаемым частичкой в иони-

зированной радиом газе, а следовательно, и тем зарядам, которые измерял Милликен. Если присоединить к этим опытным данным факты, установленные уже с несомненностью предыдущими исследованиями, то опытное доказательство существования электрона можно считать законченным" [110, т. 2, с. 58—59]. И далее Иоффе заключает: "Недоставало лишь доказательства того, что поток отрицательного электричества, обладающий всеми указанными свойствами (выше он перечислил эти свойства. — Ю.Х.), обладает также прерывным строением и состоит из строго определенных элементарных зарядов, равных зарядам газовых ионов. Это доказательство дано в настоящей главе..." [110, т. 2, с. 59].

В этой же работе, кроме наблюдения элементарного фотоэлектрического акта — освобождения одного электрона, Иоффе доказывает статистический характер фотоэффекта (табл. 6 и 8), показывая, что при непрерывном действии практически однородного света потеря электронов происходит через самые различные промежутки времени. Здесь же он предложил новый метод изучения фотоэффекта, основанный на измерении времени запаздывания. Иоффе также делает вывод, что статистический характер фотоэффекта естественным образом следует из фотонной теории света Эйнштейна (1905), полное согласие которой с основными свойствами суммарного фотоэффекта он показал еще в 1907—1912 гг. и справедливость которой была доказана также настоящим исследованием. Во второй его части он остроумными и тонкими опытами непосредственно доказал существование магнитного поля катодных лучей.

Пионерские исследования А.Ф.Иоффе в области физики кристаллов, природы света и электричества создали ему авторитет искусного физика-экспериментатора, одного из ярких представителей новой физики, выдвинув в число известных физиков мира. Неудивительно, что в 1915 г. Иоффе избирают председателем физического отделения Русского физико-химического общества.

Однако наибольший размах научные исследования Иоффе получили после Великой Октябрьской социалистической революции. Как и многие русские интеллигенты, Иоффе не сразу понял значение революции. Но его высокие моральные принципы, критический анализ ситуации в стране, наблюдение во время поездки в Крым летом 1918 г. "звериной", как писал он, ненависти "крымских либералов к пролетариату, покушение на Ленина в Москве" окончательно определили его позицию. "Возвратившись в сентябре 1918 г. в Петроград, — вспоминал Иоффе, — я твердо решил навсегда связать свою судьбу со страной Советов и внести свою долю в будущее строительство" [111, с. 240]. Так начался качественно новый, необычайно плодотворный период в научном творчестве и жизни А.Ф.Иоффе — период, который принес ему имя осно-

воположника советской физики, создателя первой советской физической школы, организатора более десятка научных институтов, фундактора физики и техники полупроводников в нашей стране.

В сентябре 1918 г. в Петрограде был создан Государственный рентгенологический и радиологический институт (ГРРИ), в котором один из отделов — физико-технический — возглавил Иоффе. В 1921 г. этот отдел выделился в самостоятельный институт — Государственный физико-технический рентгеновский институт (ГФТРИ), получивший в 1931 г. современное название — Физико-технический институт, директором которого Иоффе был до 1951 г. Однако принято летоисчисление ЛФТИ вести от сентября 1918 г. (с 1939 г. он в системе АН СССР). Именно здесь формировался основной кадровый потенциал рождавшейся советской физики, именно здесь научная работа была поставлена на новую основу и физика стала научной базой будущей техники [108, 171, 284, 289].

Для работы в физико-техническом отделе ГРРИ, а затем в ГФТРИ А.Ф.Иоффе привлек своих первых учеников — П.Л.Капицу, П.И.Лукирского, Н.Н.Семенова, Я.И.Френкеля, Н.И.Добролюбова, Я.Г.Дорфмана, М.В.Кирпичеву, Я.Р.Шмидт, а также ученых в области технических наук, профессоров политехнического института А.А.Чернышева, М.А.Шателена, В.Ф.Миткевича, М.В.Кирпичева, А.А.Радцига и других, стремясь тем самым с самого начала установить в физико-техническом отделе (институте) тесную связь физики с техникой.

"Основной установкой нового института была такая организация физического исследования, которая могла бы сделать физику научной базой будущей социалистической техники, — писал Иоффе в своей автобиографии. — ...Новую установку — физика как основа будущей техники — я постарался обеспечить не только в Петрограде... Основная линия на тесную связь физики с техникой с тех пор не менялась. Другой задачей было обеспечение института и советской физики кадрами" [111, с. 240].

Эти две основные задачи, стоящие перед институтом, были успешно выполнены Иоффе. Поставив цель организовать научные исследования по-новому, так чтобы они оказали решающее воздействие на технику, он предусмотрел и источник пополнения кадров физиков, знакомых с техникой. Им стал организованный по его инициативе осенью 1919 г. специальный физико-механический факультет политехнического института, который должен был готовить физиков нового типа — инженеров-физиков, способных вести не только физические, но и физико-технические исследования, и на деле осуществить связь физики с техникой. Мечта об организации факультета, который готовил бы физиков, использующих широко физику в технике, а технику для прогресса

физики, зародилась у Иоффе еще в 1917 г. Осуществиться же она реально смогла только после Великого Октября. И физико-механический факультет стал тем связывающим звеном, который соединил науку с техникой, выпуская и физиков-исследователей, и хорошо подготовленных в научно-техническом смысле инженеров.

В 1919—1948 гг. (с перерывами) А.Ф.Иоффе был деканом этого факультета — первенца советского инженерно-физического образования — и много труда и энергии вложил в подготовку выпускников нового профиля. Успешная впоследствии их работа на производстве и в научно-исследовательских институтах полностью подтвердила целесообразность создания этого факультета. "Благотворное влияние глубокой теоретической проработки еще на студенческой скамье основных курсов, особенно математики, теоретической физики и электромагнитных колебаний я постоянно ощущал в своей исследовательской, инженерной и педагогической работе, — вспоминал выпускник факультета М.С.Нейман. — Научно-технический багаж, полученный в студенческие годы, умения и навыки к глубокой и обобщенной постановке вопросов, выдвигаемых жизнью, позволили мне, как я уверен, и многим другим инженерам и физикам, успешно вести исследовательскую работу... Основная идея физико-механического факультета — подведение широкой и глубокой теоретической базы под инженерное образование. — оказалась необычайно плодотворной и блестяще на практике подтверждена многолетней повседневной деятельностью большинства инженеров-физиков..." [82, с. 51].

Подобные аргументы приводят и другие выпускники. "Любовь и интерес к физике, разнообразная эрудиция в физических и технических дисциплинах, навыки к самостоятельной работе — вот с каким багажом я ушел из стен Физмеха", — отмечал А.К.Вальтер [82, с. 53].

С первых лет между ЛФТИ и физико-механическим факультетом установилась тесная связь. Она выражалась как в привлечении к преподаванию на факультете ведущих ученых института, которые знакомили будущих инженеров-физиков с последними событиями в физической науке и с собственными исследованиями, раскрывая содержание физики в ее развитии, так и в работе многих студентов уже со второго курса в лабораториях института. В результате, как писал И.К.Кикоин, "четыре-пять лет учебы на физико-механическом факультете, тесно увязанной с научной работой, превращали беспомощных студентов-первокурсников в зрелых, самостоятельных научных работников" [82, с. 47]. И говоря о себе, Кикоин отмечает: "Физико-математическая подготовка, даваемая на Физмехе, и привычка к самостоятельной работе, прививавшаяся студенту с первых же дней его обучения, обеспечили мне сравнительно быстрое и успешное освоение

специфики научной работы" [82, с. 46]. И следует заметить, что многие дипломные студенческие работы представляли собой законченные научные исследования.

Студенты на факультете специализировались в области технической электроники, физики диэлектриков, физического металловедения, радиофизики, химической физики, теплофизики, механики. Физмех пользовался огромной популярностью у поступающей в вуз молодежи, что давало возможность производить набор самых способных. В свою очередь с факультета во ЛФТИ для непосредственно научной работы отбирали самых лучших и талантливых, которые изначально проявляли самостоятельность в исследованиях, творчество, работоспособность. Правда, количество выпускников факультета в первые годы его существования было невелико. Например, до 1928 г. их было всего 24, в 1928 г. — 10, 1929 г. — 31, а в 1930 г. — уже 80. Среди выпускников этих лет мы встречаем тех, кто впоследствии стали известными физиками, работающими в Ленинградском физтехе или в его дочерних институтах: Г.А.Гринберг (окончил в 1923 г.), А.Ф.Вальтер, В.Н.Кондратьев (1924), Я.Г.Дорфман, Ю.Б.Харитон (1925), Б.Я.Пинес, Б.Н.Финкельштейн, М.И.Корсунский, Г.В.Курдюмов, А.К.Вальтер, А.И.Лейпунский, Л.В.Шубников (1926), Ю.П.Маслаковец, Б.М.Гохберг (1927), А.И.Шальников (1928), Г.Д.Латышев (1929), А.Ф.Прихотько, Ф.Ф.Витман, Б.И.Давыдов, М.В.Якутович, Л.А.Сена, И.К.Кикоин, А.И.Алиханов, В.А.Иоффе (1930) и др. За 20 лет своего существования физмех выпустил более 1150 человек, из которых 40 % работало в научно-исследовательских институтах, более 21 % — в заводских лабораториях, 12 % — во втузах [82]. Некоторые выпускники, став сотрудниками ЛФТИ, совмещали научную работу с преподаванием на факультете — А.Ф.Вальтер, Г.А.Гринберг, В.Н.Кондратьев, Л.А.Сена, Д.Н.Наследов и др., продолжая вместе с коллегами и старшими учениками Иоффе (Н.Н.Семеновым, Я.И.Френкелем и др.) поиск одаренных студентов и вовлечение их в научную работу. В результате уже к 1923 г. в ЛФТИ было создано достаточно сильное ядро физиков.

В физическом отделе института функционировали (1923) лаборатории: электронных явлений (руководитель Н.Н.Семенов), молекулярной физики (И.В.Обреимов), теплотехники (М.В.Кирпичев) и кабинет теоретической физики (В.Р.Бурсиан); в техническом отделе — лаборатория электрических колебаний (Л.С.Термен), рентгеновских лучей (Н.Я.Селяков), рентгенографического анализа (М.М.Глаголев), электровакуумная лаборатория (Я.Р.Шмидт). Директором института и заведующим физическим отделом был А.Ф.Иоффе, его заместителем по институту и заведующим техническим отделом — А.А.Чернышев, ученым секретарем института — В.Р.Бурсиан, помощником по хозяйственной части и руководителем работ — Н.Н.Семенов. Другими руководителями работ были М.М.Глаголев, П.И.Лукирский, Н.Я.Селяков, Л.С.Термен, Я.И.Френкель, Я.Р.Шмидт. Кроме того, в структуре инсти-

туда значились физиками М.В.Кирпичев, И.В.Обреимов, К.Ф.Нестурх, Ю.А.Крутков, Л.В.Мысовский и др., ассистентами — Н.И.Доброуравов, М.А.Левитская, А.Ф.Вальтер, Г.А.Гринберг, Я.Г.Дорфман, П.Г.Стрелков, В.Н.Кондратьев, Ю.Б.Харитон, Ю.П.Маслаковец и др. В институте имелись также механическая и стекольная мастерские. В конце 1923 г. в институт пришли Д.А.Рожанский, Л.В.Шубников, А.П.Константинов, В.К.Фредерикс, а в 1924 г. — А.К.Вальтер, Е.В.Цехновицер, В.А.Фок, Д.В.Скобелыцын, Б.М.Гохберг, А.И.Шальников и др. (В 1921—1922 гг. Иоффе находился в заграничной командировке и закупил для института необходимое оборудование и научную литературу.)

Институт живет уже полнокровной настоящей научной жизнью, заявляя о себе оригинальными и новыми результатами и быстро завоевывая славу лучшего физического института страны. В него стремятся попасть молодые ученые из самых разных городов. Это был второй канал пополнения его талантливой молодежью. Так, пришли в него К.Д.Синельников и И.В.Курчатов из Баку, А.П.Александров, В.Е.Лашкарев, Д.Н.Наследов, В.М.Тучкевич и П.В.Шаравский из Киева, Л.А.Арцимович из Минска, С.Н.Журков из Воронежа, П.П.Кобеко из Горок (Смоленская обл.) и др. И если в 1923 г. в институте работало 65 человек, в том числе 33 научных сотрудника, то к концу 20-х годов численность научных сотрудников (физиков, химиков, техников) составила более 500 человек.

Решающую роль в этом процессе приобщения творческой молодежи к науке, ее воспитания играл лично А.Ф.Иоффе. Его влияние ощущалось в читаемых лекциях, руководимых им семинарах, в проводимых совместных с учениками и сотрудниками научных исследованиях. В политехническом институте Иоффе читал лекции по молекулярной физике студентам первых курсов всех факультетов. "Лекции А.Ф.Иоффе в Политехническом институте привлекали (при обязательном в то время их посещении) огромное число студентов всех отделений (нынешних факультетов), в том числе и экономического, на котором физика не преподавалась, — писал Б.Н.Финкельштейн. — Большая физическая аудитория заполнялась до предела. Не прибегая к ораторским украшениям, экономно применяя математический аппарат, лектор буквально брал в плен ум слушателей и приводил его к конечным выводам, вытекавшим из железной последовательности физических фактов и рассуждений. Лекции А.Ф.Иоффе являлись образцом педагогического мастерства. Как правило, они сопровождались интересными, удачно подобранными демонстрациями" [285, с. 49].

Как вспоминал В.Н.Кондратьев, из этих лекций студенты "не только черпали знания, но и благодаря им приобщались к современной, самой передовой науке, приучались научно мыслить" [59, с. 101]. Нельзя не привести слова другого их слушателя Ф.Ф.Волькенштейна, необычайно точно определившего их значе-

ние: "Не очень было ясно, что к чему. Но было интересно. Мы расходились после этих лекций взбудораженные, влюбленные в физику, с желанием читать, читать, читать. А не это ли самое главное" [59, с. 167].

Большую роль в приобщении к новой физике играл и студенческий физический семинар-кружок, которым вначале руководил Иоффе. Но особая роль уже в физическом образовании молодежи принадлежала, безусловно, знаменитым еженедельным физтеховским семинарам, проводившимся под руководством Иоффе. На них обсуждались наиболее важные и свежие статьи из текущей физической литературы, а также собственные работы участников семинара. На заседаниях семинаров царила творческая атмосфера, обстановка острых, но доброжелательных дискуссий, сомнений и озарений, научного стремления к истине. Иоффе очень умело руководил ходом семинаров, умело организовывал и направлял дискуссию, придавая ей всегда творческий характер, в результате чего рождались новые аспекты понимания обсуждаемого вопроса, способствующие даже продвижению вперед.

"А.Ф.Иоффе и Я.И.Френкель были теми центрами, вокруг которых все вращалось, — писал Ф.Ф.Волькенштейн об иоффовских семинарах. — В Абраме Федоровиче поражало, прежде всего, полное отсутствие какой бы то ни было самоуверенности. Более того, даже уверенности. Он говорил стесняющимся голосом... Только потом я понял, что самоуверенность несовместима с обликом настоящего ученого.

Мы мало что понимали на этих заседаниях, но прилежно посещали их. Нас заражала господствовавшая на них творческая атмосфера. Это было прикосновение к науке... Когда докладывалась какая-нибудь новая работа, Абрам Федорович сразу отличал правильное от ошибочного. Здесь срабатывала в первую очередь интуиция... Абрам Федорович обладал замечательной физической интуицией, которая никогда его не подводила" [59, с. 168].

Второй центральной фигурой на семинарах был старший ученик Иоффе теоретик Я.И.Френкель, который, по словам того же Волькенштейна, "более чем кто-либо другой, наполнял эти заседания фейерверком мыслей, неожиданными ассоциациями, блестящими выдумками" [59, с. 168]. Воспитательную роль для молодежи играли также заседания ученых советов института, где страстно обсуждались результаты работ, которые велись в лабораториях. Хорошей школой было и участие в съездах физиков, проводившихся тогда каждые два года. Таким образом, Иоффе довольно быстро сумел создать в ЛФТИ особую научную атмосферу, способствующую научному росту молодых ученых.

"Трудно точно сформулировать, чем эта научная атмосфера

характеризуется, — отмечал Кикоин. — По-видимому, она определяется целым рядом мелких на первый взгляд черточек, комбинация которых и создает исключительную обстановку, способствующую плодотворной интенсивной научной работе. Большинство физиков непосредственно на себе ощущает особенность научной обстановки, царящей в Физико-техническом институте. Этому способствует в значительной степени то обстоятельство, что А.Ф.Иоффе всегда уделял исключительное внимание повышению научной квалификации сотрудников, настойчиво требуя, чтобы каждый сотрудник был полностью в курсе современной физики, следил за литературой, активно участвовал в научных семинарах, которые существуют в Институте с самого основания, и т.п.” [127, с. 7].

Особая научная, творческая атмосфера института, особые принципы, выработанные Иоффе в руководстве молодежью, ставшие со временем институтскими традициями, создавали такие условия, которые давали возможность молодым ученым самым оптимальным образом проявлять свою индивидуальность и развивать творческие способности. Огромное значение во всем этом играл также сам стиль руководства Иоффе молодыми сотрудниками. Это иоффовское искусство руководить молодежью хорошо и подробно раскрыл один из его старших учеников Н.Н.Семенов. Оно сводится к нескольким простым требованиям.

”Подбирай по возможности только способных, талантливых учеников, притом таких, в которых видно стремление к научному исследованию. В общении с учениками будь прост, демократичен и принципиален. Радуйся и поддерживай их, если они правы, сумей убедить их, если они неправы, научными аргументами. Если ты хочешь, чтобы ученик занялся разработкой какой-либо новой твоей идеи или нового направления, сделай это незаметно, максимально стараясь, чтобы он как бы сам пришел к этой идее, приняв ее за собственную, пришедшую ему самому в голову под влиянием разговоров с тобой.

Никогда не приписывай своей фамилии к статьям учеников, если не принимал как ученый прямого участия в работе. Если интересы дела требуют от тебя, как от руководителя, переключения группы сотрудников на новую тематику, объясни, почему эта новая область интересна, почему она нужна государству. Объясни, почему ты заинтересован в том, чтобы именно данный сотрудник был на новой работе, никогда не заставляй что-либо делать, пользуясь своей силой и положением.

Не увлекайся чрезмерным руководством учениками, давай им возможность максимально проявлять свою инициативу, самим справляться с трудностями. Только таким образом ты вырастишь не лаборанта, а настоящего ученого. Давай возможность ученикам идти их собственным путем” [59, с. 10].

И это привлекало к Иоффе творческую молодежь. Его ученики и сотрудники всегда безбоязненно шли к нему за советом по любому научному вопросу и в любое время. Его доступность, постоянное общение с ним также способствовали быстрому творческому росту молодежи. А это в свою очередь и привело к формированию в 20-х годах в институте коллектива, ставшего основой

его сильной и большой научной школы, которую отличали, по словам Семенова, "свободный и принципиальный научный дух, научная сплоченность ... стремление к пониманию внутренних причин явлений, наблюдаемых в природе" [59, с. 9—10].

В 1918—1923 гг. исследования в институте главным образом велись по физике твердого тела и определялись преимущественно научными интересами самого Иоффе, которые сформировались в этой области (механические и электрические свойства кристаллов) еще в период работы в лаборатории Рентгена. В 1918 г. он вновь обратился к изучению механических свойств твердых тел. Используя метод рентгеноструктурного анализа, А.Ф.Иоффе совместно с М.В.Кирпичевой исследовал (1919—1920) кинетику деформации монокристаллов каменной соли и на основании наблюдаемой на рентгенограмме картины пришел к выводу (1920) о распаде всего монокристалла под действием постоянной нагрузки на отдельные кристаллические блоки, повернутые друг относительно друга на малые углы. Результаты работы были опубликованы в статье "Рентгенограммы напряженных кристаллов" [110, т. 1, с. 150—152], в которой описывалось открытие нового явления, названного астеризмом, и давалась его интерпретация. Используемый метод имел то преимущество, что по двум фотографиям можно было получить сведения о деформациях во всех направлениях, причем все упругие константы определялись на одном маленьком образце кристалла.

Впоследствии изложенные выше наблюдения и их трактовка были подтверждены многими авторами, что в свою очередь привело к развитию в институте исследований, связанных с холодной обработкой металлов (Н.Н.Давиденков, Ф.Ф.Витман). В дальнейшем в институте М.В.Классен-Неклюдова подробно изучила распад монокристалла на блоки под действием постоянной нагрузки, подтвердив скачкообразный характер процесса распада, обнаруженный в 1924 г. Иоффе и П.Эренфестом (скачкообразная деформация кристаллов), и установила, что сдвиги блоков следуют один за другим через равные промежутки времени [131].

В дальнейшем А.Ф.Иоффе совместно с сотрудниками обнаружил, что процесс сдвигов изменяет все свойства кристалла, делает его более жестким и прочным, иными словами, внутренняя ориентация кристалла сопровождается его значительным упрочнением. В совместной статье с М.В.Кирпичевой и М.А.Афанасьевой "Предел упругости и прочность кристаллов" (1924), продолжающей и развивающей его предыдущее исследование, Иоффе писал по этому поводу: "По мере изменения структуры сильно возрастает прочность каменной соли; вместо 450 г/мм^2 предел прочности при растяжении поднимается до 5000 г/мм^2 . Исследование изменений, сопровождающих это явление, по методу рентге-

новского анализа показало, что отдельные маленькие кристаллики принимают иное расположение, что приводит к их упрочнению... Действительная прочность каменной соли, вероятно, в сотни раз превосходит обычно наблюдаемую" [110, т. 1, с. 184—185].

Последнее и инициировало количественное измерение предела упругости кристаллов и выяснение величины расхождения между экспериментально наблюдаемым значением прочности кристаллов и теоретическим. Работу Иоффе завершил в 1924 г. уже только с М.А.Левитской (М.В.Кирпичева в 1923 г. умерла) [110, т. 1, с. 186—200]. Было установлено, что в процессе деформации предел упругости понижается с возрастанием температуры, падая до нуля в точке плавления; прочность на разрыв практически не зависит от температуры в широком температурном интервале; пластическая деформация увеличивает прочность каменной соли на разрыв до 12 раз.

И именно исследование упрочнения под влиянием пластической деформации привело А.Ф.Иоффе с сотрудниками к изучению прочности кристаллов на разрыв. Уже в названной выше работе "Деформация и прочность кристаллов" они сделали вывод о справедливости оценок теоретической прочности, данных М.Борном; согласно этим оценкам она составляет 200 кг/мм^2 и является предельной для кристалла, тогда как обычно наблюдаемое значение ($0,45 \text{ кг/мм}^2$) характеризует реальный кристалл. Причину такого большого расхождения (в 500 раз) они объяснили наличием на поверхности испытываемых образцов кристаллов микроскопических трещин, с которых и начинается процесс хрупкого разрушения кристалла. "Кристалл разрывается преждевременно вследствие поверхностных дефектов (вероятно, тонких трещин), — писали они. — Если во время опыта непрерывно возобновлять поверхность растворением в воде, то кристалл не разрывается при 450 г/мм^2 , но достигает предела упругости при 700 г/мм^2 и течет. Напряжение на поверхности разрыва может при этом стать близким к теоретической величине" [110, т. 1, с. 200]. Обнаруженное явление повышения прочности кристаллов за счет удаления поверхностных дефектов при растворении стали называть эффектом Иоффе.

В работе "Прочность и предел упругости естественной каменной соли" (1925) Иоффе и Левитская четко подтвердили этот факт, показав, что "независимо от упрочнения вследствие пластической деформации прочность на разрыв каменной соли под водой гораздо больше, чем в сухом состоянии" [110, т. 1, с. 208]. Эти опыты с повышением прочности каменной соли в воде указывали на большую роль поверхности и привели к новым представлениям о механической прочности и механизме разрыва. Они инициировали целый цикл новых исследований в области физики

прочности (А.П.Александров, С.Н.Журков, А.К.Вальтер, Б.Я.Пинес, А.В.Степанов, Ф.Ф.Витман и др.), активно продолжавшихся в последующие годы. Продолжение нашли и идеи Иоффе о хрупком и пластическом разрушении применительно к металлам в работах Н.Н.Давиденкова и Ф.Ф.Витмана.

В 1928 г. вышла в свет обобщающая статья А.Ф.Иоффе "Механические свойства кристаллов", в которой последовательно изложены результаты, полученные им с учениками и сотрудниками в этой области [110, т. 1, с. 233—262], она же стала первой частью его книги "Физика кристаллов", опубликованной в следующем году [107]. Совместно с С.Н.Журковым и А.Ф.Вальтером Иоффе выполнил (1925—1932) цикл исследований по прочности тонких нитей и пластин, на основе которых было выяснено влияние масштабного фактора на механическую прочность твердых тел и построена статистическая теория хрупкой прочности [110, т. 1, с. 279; 280—283; 284—286]. Следует заметить, что исследования природы прочности и деформирования твердых тел стали традиционными для ЛФТИ на многие годы. Так, в 30-х годах А.П.Александров и С.Н.Журков, экспериментируя со стеклянными и кварцевыми нитями, получили для них значение прочности, близкое к теоретическому; в 50-х годах сверхпрочное состояние нитевидных кристаллов ("усов") исследовал А.В.Степанов; в 50—60-х годах Ф.Ф.Витман с сотрудниками получил огромное упрочнение промышленного листового стекла, а в 60-х годах С.Н.Журков — ориентированные полимерные волокна рекордной прочности. И в настоящее время это направление, связанное с упрочнением твердых тел, продолжает интенсивно развиваться уже на новой основе, с привлечением композиционных материалов [283].

Вторым фундаментальным направлением в физике твердого тела института было изучение физической природы тех элементарных актов, которые лежат в основе процессов деформирования и разрушения. Важным в этом была разработка в 20-х годах оригинального, так называемого кинетического подхода к изучению материалов, основанного на учете теплового движения атомов, и ответственного за явления переноса в твердом теле и заряд его электрических и механических свойств. Исследования в области физики прочности всегда были и остаются ключевыми в ЛФТИ. В настоящее время физико-механические свойства твердых тел изучаются в ЛФТИ в лабораториях физики прочности твердых тел, физики высокопрочного состояния и динамики материалов [283]. В ЛФТИ велись исследования также в области молекулярной физики, физической электроники, рентгеновских лучей, теоретической физики, выпускались рентгеновские трубки и радиолампы.

Во второй период (1924—1930) названные выше исследования получили дальнейшее развитие, однако возникли и новые направ-

ления — химическая физика, физика диэлектриков, радиофизика, магнетизм и др. Примерно в 1924 г. Иоффе возобновил исследования электрических свойств диэлектрических кристаллов, начатые им в лаборатории у Рентгена в Мюнхене и продолженные затем в Петроградском политехническом институте. В них приняли участие П.И.Лукирский, К.Д.Синельников, А.Ф.Вальтер, А.К.Вальтер, И.В.Курчатов, П.П.Кобеко, А.Н.Арсеньева, Б.М.Гохберг, О.Н.Трапезникова и др. Усилия были направлены на изучение внутреннего механизма электропроводности диэлектриков. Иоффе обнаружил при прохождении тока через кристаллы кальцита в очень тонком приэлектродном слое (менее 0,01 мм) образование объемного заряда (высоковольтная поляризация диэлектрика) [110, т. 1, с. 209—232]. Был исследован (1924—1926) этот поляризационный заряд, его распределение в тонких слоях диэлектрика, накопление, зависимость от температуры, тока, свойств кристалла и т.д., измерена толщина поляризационного слоя (Иоффе, Лукирский, Синельников, Гохберг). В частности, показано, что его толщина составляет несколько микрон, а напряженность электрического поля в нем — порядка 10^7 В/см [113].

Совместно с сотрудниками А.Ф.Иоффе попытался выяснить это загадочное явление и использовать его для концентрации электрической энергии. Казалось, что тонкие слои диэлектрика должны иметь большую электрическую прочность, чем толстые (эффект электрического упрочнения), иными словами, в достаточно тонких слоях пробой не наступает так легко, как в толстых. На этой основе возникла идея создания так называемой тонкослойной изоляции — комбинации из наложенных друг на друга тонких слоев, перспективной, на первый взгляд, для электротехники. Однако последующие исследования тонких диэлектрических пленок показали независимость (практически) пробивной прочности от толщины диэлектрика (Иоффе, Александров) и, следовательно, иллюзорность эффекта упрочнения в таких слоях, т.е. привели к крушению надежд, возлагавшихся на тонкослойную изоляцию. Тем не менее в ходе работ по тонкослойной изоляции были созданы и изучены новые изоляционные материалы, в частности стирол, и усовершенствована техника изоляции [110, т. 1, с. 287—295].

Н.Н.Семеновым и А.Ф.Вальтером экспериментально был изучен тепловой пробой твердых диэлектриков при сравнительно высоких температурах, а В.А.Фоком дана (1927) его теория [51]. В 1925 г. Вальтер и его сотрудники начали широкие экспериментальные исследования электрического пробоя твердых диэлектриков и их электропроводности. В частности, им и Л.Д.Инге в 1926 г. для стекла было показано нарушение закона Ома в сильных электрических полях и установлена экспоненциальная зависимость проводимости от напряженности поля, в 1929 г. они

исследовали пробой жидкостей [52]. Пробой твердых диэлектриков изучали также И.В.Курчатов, П.П.Кобеко и К.Д.Синельников [133]. В конце 20-х годов первые двое начали работы в области сегнетоэлектричества, что впоследствии привело к оформлению ее в цельное научное направление [144]. С 1926 г. начинается свой знаменитый цикл работ по химическим цепным реакциям Н.Н.Семенов, который в 1956 г. за исследование механизма химических реакций был удостоен Нобелевской премии по химии [244]. В 1920 г. он совместно с П.Л.Капицей предложил схему опыта по воздействию магнитного поля на пучок парамагнитных частиц, известный в дальнейшем как опыт Штерна — Герлаха (1921—1922), доказывающий квантование момента количества движения атома [119].

В рассматриваемый период А.К.Вальтером и К.Д.Синельниковым проведены исследования диэлектрических потерь в различных диэлектриках, П.И.Лукирским, П.С.Тартаковским и Я.Г.Дорфманом — фотоэлектрического эффекта. Итог исследований электрических свойств диэлектриков Иоффе, его учеников и сотрудников был подведен во второй части уже упоминавшейся монографии "Физика кристаллов" [107], эти же работы заложили основы физики диэлектриков в СССР.

Ряд фундаментальных результатов в те годы был получен и другими учениками А.Ф.Иоффе. Так, Я.Г.Дорфман в 1923 г. предсказал парамагнитный и ферромагнитный резонансы [368], в 1927 г. экспериментально доказал, что существующее в ферромагнетиках внутреннее магнитное поле имеет немагнитное происхождение [369], в 1930 г. совместно с Я.И.Френкелем построил теорию доменной структуры [390], с И.К.Кикоиным предсказал изменение контактного потенциала ферромагнетика в магнитном поле.

Работами Я.И.Френкеля 1924—1926 гг. были заложены основы представлений о реальных кристаллах. Развивая идеи Иоффе об ионной проводимости кристаллов, Френкель ввел (1926) понятие "дырки" как пустого узла решетки [386]. Совокупность дырки и атома в междузлии решетки стала называться "дефектом по Френкелю". В 1928 г. Френкель независимо от А.Зоммерфельда сформулировал основы квантовой теории электропроводности металлов [389]; независимо от В.Гейзенберга разработал первую квантовую теорию ферромагнетизма, основанную на обменном взаимодействии электронами (коллективизированная модель) [388].

Таким образом, к концу 30-х годов ЛФТИ представлял собой мощный широкопрофильный исследовательский центр с солидным кадровым потенциалом и серьезным научным заделом, многие работы которого внесли значительный вклад в отечественную и мировую науку. Это стало возможным благодаря созданию

в нем — уже в начале 20-х годов достаточно сильного ядра физиков, что и позволило широко развернуть как фундаментальные, так и прикладные научные исследования.

В 1924 г. Иоффе организовал Центральную физико-техническую лабораторию ВСНХ, которая вскоре была переименована в ЛФТИ и присоединена к институту. Именно в рамках этой лаборатории и велись работы по внедрению институтских исследований в промышленность. Вскоре она, правда, была слита с институтом, однако линия на внедрение оставалась всегда неизменной и последовательной. Для тесной связи науки с производством решающей оказалась и организация в Ленинграде по инициативе Иоффе более 100 заводских лабораторий, ставших важным звеном в практическом осуществлении такой связи. Это начинание было реализовано затем в масштабах всей страны.

К концу 20-х годов ЛФТИ насчитывал более 500 только одних научных сотрудников, объединенных в 15 профильных отделов: магнитный, физико-химический, теоретический, физико-механический, рентгенотехнический, металлографический, радиотехнических измерений, технической акустики, электрических колебаний, научной радиотехники, электроизоляционный, электромеханический, газовый, тепловой, лабораторных и заводских испытаний.

А.Ф.Иоффе понимал, что тенденция концентрации научных сил в одном центре в дальнейшем может оказаться глубоко негативной, что необходима целая сеть специализированных научных институтов в разных регионах страны. Поэтому в конце 20-х — начале 30-х годов на базе ряда отделов ЛФТИ начали создаваться самостоятельные научные институты, ядро которых составляли, как правило, сотрудники ЛФТИ — в большинстве своем ученики Иоффе. Так, в 1927 г. в Ленинграде был создан Теплотехнический институт, в 1928 г. в Харькове Украинский физико-технический и в Томске Сибирский физико-технический институты, в 1931 г. Ленинградские электрофизический и химической физики институты и Среднеазиатский геолитофизический институт в Самарканде, в 1932 г. Уральский физико-технический институт в Свердловске и в 1933 г. Днепропетровский физико-технический институт, в 1934 г. Ленинградский физико-агрономический институт.

В них продолжались традиции Ленинградского физико-технического института, царил иоффовский стиль, иоффовский подход, атмосфера творчества и новаторства. Так рождалась большая физика в нашей стране. Иными словами, начала осуществляться основная задача, которую поставил перед собой Иоффе и его ученики-единомышленники, — создание отечественной физики. "С именем академика А.Ф.Иоффе всегда остается связанным в истории нашей науки дело создания и организации современной физики в Советском Союзе, — писали И.В.Курчатов и П.П.Кобеко. — Он определил основные направления советской физики, ее проблематику, порвал традиции чистого академизма и твердо стал на путь объединения теории и практики" [146, с. 36].

Для работы в новых институтах выехали И.В.Обреимов, А.И.Лейпунский, К.Д.Синельников, А.К.Вальтер, Л.В.Шубников, А.Ф.Прихотько и др. в Харьков; Г.В.Курдюмов и Б.Н.Финкельштейн в Днепропетровск; И.К.Киконд, Я.Г.Дорфман, М.В.Якутович, Б.Г.Лазарев, М.Н.Михеев в Свердловск; П.С.Тартаковский и М.И.Корсунский в Томск. Институт химической физики возглавил Н.Н.Семенов, электрофизический — А.А.Чернышев.

Создание сети физических институтов на базе ЛФТИ стало возможным в результате завершившегося формирования А.Ф.Иоффе первой своей научной школы — школы организаторов советской физики. Именно иоффовские ученики определяли лицо новых институтов, формировали в них новые научные направления, воспитывали молодежь, а оставшиеся в ЛФТИ задавали тон и выступали хранителями того климата, того стиля, которые создал их любимый учитель. И это было более чем естественно, так как уже

к 1926 г. в институте и на физмехе сложилась своеобразная система подготовки и обучения кадров — так называемая каскадная. "А.Ф.Иоффе имел учеников и ближайших сотрудников, у которых, в свою очередь, также появились свои ученики, а сами они становились самостоятельными учеными, — писал И.В.Обреимов. — Это и была каскадная система. В связи с этим лаборатории росли. Наиболее крупные из них отпочковывались и переезжали в новые здания" [59, с. 49].

Об этих годах вспоминает и сам Иоффе. "Я не только вел свою индивидуальную работу, но и руководил научной работой быстро растущего института, — писал он. — Первые 7—8 лет я фактически участвовал в постановке и разработке почти всех работ института, и только постепенно начали выделяться в пределах института группы, самостоятельно идущие вперед, вплоть до образования самостоятельных институтов... С другой стороны, и мою научную работу я проводил не один, а вместе с коллективом в 10—15 человек" [111, с. 244].

А.Ф.Иоффе больше всего ценил в учениках творческое начало, инициативу и самостоятельность. По словам Обреимова, "он давал общее направление, "первый толчок", а дальше во всем доверял". Поэтому работать у него было легко в моральном отношении, но не в физическом, так как предоставляемая инициатива требовала напряженного труда.

Для одних физиков (И.В.Курчатов, К.Д.Синельников, П.П.Кобеко, С.Н.Журков, А.И.Алиханов и др.) А.Ф.Иоффе, подобно Н.Бору, был вторым, но основным учителем, сыгравшим решающую роль в завершении их становления как исследователей, для других "проходил" как директор института, декан факультета, руководитель семинаров, законодатель определенных традиций, стиля работы и поведения, атмосферы творчества и оптимизма, пример, достойный всяческого подражания. В этом втором случае в роли основных учителей выступали его старшие ученики (П.И.Лукирский, Я.И.Френкель, Н.Н.Семенов, А.Ф.Вальтер и др.), воспитывавшие студентов и молодых сотрудников ФТИ в его духе, его методами. Их первые ученики — это представители единой ленинградской школы физиков 20-х годов.

Характерно в этом плане высказывание Г.В.Курдюмова. "Я не был прямым учеником А.Ф.Иоффе, — пишет Курдюмов, — но со студенческой скамьи моя жизнь оказалась тесно с ним связанной. Я учился на созданном им замечательном физико-механическом факультете Ленинградского политехнического института. Будучи студентом третьего курса, начал работать в Ленинградском физико-техническом институте, вся история которого неразрывно связана с именем его основателя — Абрама Яедоровича. Здесь, на советах и семинарах, которыми Иоффе руководил, во время его

обходов институтских лабораторий, сопровождающихся глубокими по содержанию, но необычайно простыми по форме, демократичными по духу беседами с сотрудниками, формировались научные биографии многих советских физиков, в том числе и моя. За те восемь лет, что я проработал в физико-техническом институте в Ленинграде, я впитал в себя атмосферу этого замечательного научного учреждения...

Атмосферу Физико-технического института дней моей научной молодости, выработанные А.Ф.Иоффе принципы руководства, стиль отношения его к сотрудникам я всегда стремился воплотить в жизнь, в частности в своей практической деятельности по руководству новыми институтами, которое в разное время было возложено на меня" [112, с. 3—4].

Назовем тех прямых или ближайших учеников Иоффе, которые, в свою очередь, сами воспитывали новые поколения ученых "в духе Иоффе", увеличивая тем самым количественный состав его школы. Именно существование второго и третьего поколений физиков уже тогда создавало впечатление огромной армии учеников Иоффе, воспитанных в духе единых традиций, стиля работы, мышления, подхода. Это и дает повод иногда отождествлять школу Иоффе с Ленинградским физико-техническим институтом и физико-механическим факультетом политехнического института. Наверное, правильнее будет сказать о широкопрофильной ленинградской школе физиков, основанной Иоффе в 20-е годы, и ее дочерних, существующих в ее рамках, школах, возглавляемых его первыми учениками — фундаторами новых научных направлений, руководителями лабораторий, отделов и институтов. Школу Иоффе 20-х годов представляют *П.Л.Капица, П.И.Лукирский, Н.Н.Семенов, Я.И.Френкель, Я.Г.Дорфман, И.К.Кикоин, И.В.Курчатов, К.Д.Синельников, А.Ф.Вальтер, А.К.Вальтер, Г.В.Курдюмов, П.П.Кобеко, А.П.Александров, А.И.Алиханов, С.Н.Журков, А.И.Шальников* и др. [294]. И хотя в период становления школы основным направлением работ в ней была физика твердого тела и физика диэлектриков, в дальнейшем сфера научных интересов ее представителей значительно расширилась, охватив совершенно новые, не существовавшие в те годы, области. Все названные физики стали широко известными организаторами научных исследований, основателями новых направлений, а ряд из них — создателями собственных научных школ: *П.И.Лукирский, Н.Н.Семенов, И.В.Курчатов, К.Д.Синельников, Г.В.Курдюмов, А.И.Алиханов и С.Н.Журков*. Многих теоретиков воспитал *Я.И.Френкель*.

Большое значение для развития советской физики имела также деятельность А.Ф.Иоффе по организации всесоюзных физических съездов и конференций, объединявших в те далекие 20-е годы всех советских физиков, деятельность как автора многих

книг и учебников, организатора и редактора ряда физических журналов.

Обладая глубокой физической интуицией и потрясающей способностью быстро улавливать и понимать новое, А.Ф.Иоффе легко переключался на новые направления и оперативно мог переориентировать большие группы сотрудников и учеников на исследования в совершенно новых для них областях физики. Этим и объясняется широта их научных интересов.

В 30-х годах основными направлениями исследований в институте становятся физика полупроводников, ядерная физика и физика полимеров. Полупроводниковая тематика начала активно развиваться с 1930 г. под руководством А.Ф.Иоффе, который полностью переключился на эту область физики, оценив ее огромное научное и техническое значение. Инициаторами этих исследований выступили еще в конце 20-х годов И.В.Курчатов и К.Д.Синельников. "С 1930 г. вопрос об электронных полупроводниках и их применениях в технике и промышленности стал одной из ведущих тем в работе всего коллектива ЛФТИ, — писал Я.И.Френкель. — Этому коллективу и прежде всего самому А.Ф. принадлежит высокая честь наиболее полного и глубокого изучения этой области, а также широкого внедрения полученных результатов в нашу отечественную промышленность" [291, с. 14].

В 1931 г. в группу по изучению полупроводников входили А.Н.Арсеньева, А.К.Вальтер, Б.М.Гохберг, В.П.Жузе, Б.В.Курчатов, И.В.Курчатов, Д.Н.Наследов, К.Д.Синельников и др. В 1932 г. в структуре института была энергетическая группа, возглавляемая Иоффе, в составе семи бригад, четыре из которых занимались вопросами физики полупроводников, в частности, фотоэлектрическая (Д.Н.Наследов), термоэлектрическая (Н.И.Доброправов), лучистой энергии (В.П.Жузе) и полупроводниковая (А.Н.Арсеньева). А примерно через год, в результате проведенной Иоффе реорганизации, в его отделе физики твердого тела уже три лаборатории исследовали вопросы физики полупроводников — лаборатория фотоэлектрических свойств полупроводников (Д.Н.Наследов), электропроводности полупроводников (А.Н.Арсеньева) и термоэлектрических свойств полупроводников (Б.М.Гохберг). К исследованиям по физике полупроводников присоединились и теоретики — Я.И.Френкель, М.П.Бронштейн, Б.И.Давыдов, И.М.Шмушкевич и др. До 1940 г. Иоффе к полупроводниковой тематике были привлечены, кроме уже названных физиков, Ю.П.Маслаковец, Б.Т.Коломиец, Л.М.Неменов, В.М.Тучкевич, П.В.Шаравский, А.В.Иоффе, Ю.А.Дунаев, А.Л.Левинзон, А.Р.Регель и ряд других. В 1940 г. из 24 лабораторий пять занимались полупроводниками: лаборатория полупроводников (А.Ф.Иоффе), фотоэлементов (Ю.П.Маслаковец), новых выпря-

мителей (Б.В.Курчатов), меднозакисных выпрямителей (П.В.Шаравский), селеновых выпрямителей (А.Л.Левинзон).

В сентябре 1931 г. в Ленинграде была проведена первая в нашей стране конференция по полупроводникам, на которой сотрудники института выступили с обзорными докладами и сообщениями о результатах своих работ в этой новой области, а всего до войны было проведено шесть таких конференций. С начала 30-х годов Иоффе организовал и полупроводниковый семинар, которым бессленно руководил более 20 лет. Активная работа семинара, проведенные полупроводниковые конференции, выпущенные обзоры и книги по полупроводниковой тематике значительно расширили и углубили фронт исследований, способствовали выработке терминологии и языка в этой новой области физики. Изучались электронная структура полупроводников и роль примесей, фотоэлектрические свойства полупроводников, кинетические явления в них, вентильный эффект, термоэлектричество.

Во всех этих направлениях был получен ряд основополагающих результатов. В 1932 г. Иоффе и Френкель построили теорию выпрямления на границе металл — полупроводник, развивая идею Френкеля (1930) о туннельном механизме перехода электронов через потенциальный барьер, образующийся на контакте двух металлов [110, т. 2, с. 133—155]. Правда, предложенная теория не объяснила полностью выпрямляющих свойств контакта металл — полупроводник и деталей униполярной проводимости для случая меднозакисных выпрямителей, однако сама идея туннельного выпрямления оказалась справедливой, и развитые в статье представления были использованы в дальнейшем для описания принципов работы туннельных диодов, изобретенных в 1957 г. Л.Эсаки.

Экспериментальное исследование эффекта выпрямления в полупроводниках и ряда фотоэлектрических явлений А.Ф.Иоффе выполнил в 1935—1937 гг. совместно с А.В.Иоффе [110, т. 2, с. 156—175; 175—191; 192—194]. В 1936 г. они впервые показали, что фотопроводимость полупроводника строго пропорциональна числу поглощенных квантов света, а форма спектральных кривых и положение максимума зависят от толщины образца. Ими же в 1937 г. проведено одно из первых исследований влияния сильного электрического поля на электропроводность однородных полупроводников [110, т. 2, с. 195—200], а также подробно изучен механизм электропроводности [110, т. 2, с. 201—232]. На основе этих работ Б.И.Давыдовым и другими были заложены (1938—1939) основы диффузионной теории выпрямления в полупроводниках. При этом Давыдов предсказал (1938) p - n -переход [79], обнаруженный в 1941 г. в закиси меди также представителем ленинградской школы физиков В.Е.Лашкаревым [163]. Все-

сторонне был изучен А.Ф.Иоффе и отрицательный фотоэффект.

На основе собственных исследований по фотоэффекту он пришел к выводу о безусловной перспективности полупроводников в качестве реальных и практически выгодных преобразователей энергии излучения, в частности, солнечной энергии в электрическую. Принципиальное значение в этом плане имело создание в 1938 г. Б.Т.Коломийцем и Ю.П.Маслаковцем серно-галлиевого фотоэлемента с КПД 1,1 %, что явилось крупным достижением в использовании замечательных свойств полупроводников и продвижении по пути повышению КПД фотоэлементов [135].

Фундаментальное значение для понимания механизма электропроводности полупроводников имела (1932) работа В.П.Жузе и Б.В.Курчатова [90], в которой впервые показано, что проводимость такого классического полупроводника, как закись меди, является примесной и пропорциональна количеству имеющейся в ней примеси. При этом была четко разграничена примесная и собственная проводимости. В следующем году эти выводы были подтверждены для случая пятиокиси ванадия и молибденового ангидрида (А.Н.Арсеньева, Б.В.Курчатова), а в дальнейшем выяснилось, что они распространяются на все полупроводники, причем проводимость реального полупроводника при сравнительно невысоких температурах в основном примесная, при высоких — собственная.

Установлено также, что примеси в широких пределах изменяют значение и знак электропроводности и в зависимости от рода примесей проводимость полупроводников может быть электронной, дырочной или электронно-дырочной. В 1937 г. Б.М.Гохбергом обнаружено, что сернистый галлий при избытке в нем галлия обладает электронной проводимостью, а при избытке серы — дырочной. Этот результат привел к созданию новых эффективных фотоэлементов. Несколько позднее подобное же свойство установлено для сернистого свинца (Ю.П.Маслаковец, Е.Д.Девяткова, Ю.А.Дунаев) и использовано Маслаковцем для создания термоэлемента с большой термоЭДС. В 1934 г. П.В.Шаравский при изучении температурной зависимости проводимости селена в области низких температур обнаружил явление электрической памяти, которое только в 60-х годах привлекло внимание исследователей [301].

В ряде институтских работ исследовались кинетические явления в полупроводниках. В 1933 г. И.К.Киконным и М.М.Носковым на закиси меди был открыт новый эффект — фотоэлектромагнитный, широко используемый для определения некоторых важных параметров полупроводников [130].

Было положено начало исследованиям термоэлектрических свойств полупроводников и их технических приложений. Еще

в 1929—1930 гг. Иоффе предсказал возможность осуществления термобатарей с КПД до 4 %. В развитие этой идеи в 1939 г. Ю.П.Маслаковец впервые создал термоэлектрический полупроводниковый генератор с термоэлементами из сернистого свинца с КПД около 3 %, который давал ток в десятки ампер. На основе разработанных в институте приборов и технологий (Ю.А.Дунаев, Б.Т.Коломиец, Б.В.Курчатов, А.Л.Левинзон, В.М.Тучкевич, П.В.Шаравский) было налажено промышленное производство выпрямителей, фотоэлементов и фотосопротивлений.

Работами М.П.Бронштейна, Б.И.Давыдова, Н.Л.Писаренко и И.М.Шмушкевича были заложены основы теории кинетических явлений в полупроводниках. Отталкиваясь от экспериментальных исследований фотопроводимости в записи меди, осуществленных Л.М.Неменовым и Д.Н.Наследовым, Я.И.Френкель построил (1933—1935) теории эффектов Дембера и Кикоина — Носкова. В 1938 г. он дал теоретическую интерпретацию зависимости проводимости электронных полупроводников от поля, установленной в опытах А.Ф. и А.В.Иоффе, а несколько ранее (1931) ввел понятие экситона, положив тем самым начало новому направлению — физике экситонов [391]. Обширные и систематические экспериментальные и теоретические исследования, осуществленные Иоффе и его учениками в физике полупроводников в 30-е годы, дали повод сказать Дж.Бардину, что основы ее были заложены Вильсоном и Моттом в Англии, Шоттки и Вагнером в Германии и Иоффе и Френкелем в Советском Союзе. В процессе этих исследований начала формироваться и вторая научная школа Иоффе — полупроводниковая [109, 218].

В годы войны усилия сотрудников полупроводниковых лабораторий были направлены на оборону страны, в частности, Ю.П.Маслаковец разработал термоэлектродгенераторы для питания партизанских радиостанций, Б.Т.Коломиец выполнил исследования, связанные с созданием новой технологии производства термисторов, болометров и других приборов.

Исследования по физике полупроводников возобновились в ЛФТИ после войны. Особенно бурное развитие они получили с начала 50-х годов в результате переворота, совершенного в этой области изобретением в 1948 г. Дж.Бардиным и У.Браттейном транзистора, а также созданием $p-n$ -переходов в монокристаллах германия и разработкой в 1949 г. У.Шокли их теории. Это резко стимулировало работы по физике и технологии германия и кремния как элементарных полупроводников и вызвало к жизни новое направление — полупроводниковую электронику, революционизирующую многие традиционные отрасли техники.

Работы по физике и технике полупроводников в институте начали интенсивно развиваться и по ряду новых направлений.

Изучались физические процессы в p - n -переходах, неравновесные электронные процессы и явления переноса в полупроводниках, полупроводниковые материалы, термоэлектрические явления [17]. В 1950 г. были начаты работы по созданию и изучению p - n -переходов в германии (Д.Н.Наследов, В.М.Тучкевич и др.) и в 1950—1951 гг. построены первые точечные диоды и транзисторы. В 1952—1953 гг. в результате проведения В.М.Тучкевичем с сотрудниками широких электрофизических и технологических исследований получены первые монокристаллы чистого германия и созданы первые советские транзисторы на p - n -переходах. В 1954 г. создаются первые советские плоскостные фотодиоды с высокой чувствительностью и значительной активной поверхностью (В.М.Тучкевич, Ж.И.Алфёров, С.М.Рывкин и др.) и мощные германиевые вентили (Ж.И.Алфёров, В.М.Тучкевич), начинаются работы по получению и изучению монокристаллов полупроводниковых соединений A^3B^5 и p - n -переходов на их основе (Д.Н.Наследов с сотрудниками). В результате в институте учениками Иоффе и учениками его учеников были заложены основные направления советской полупроводниковой электроники, а совместно с коллективами Б.М.Вула и С.Г.Калашникова — и основы полупроводниковой промышленности.

Широкое развитие получили в институте работы по поиску новых полупроводниковых материалов. По предложению А.Ф.Иоффе были начаты исследования физических свойств многих интерметаллических соединений и сплавов, завершившиеся открытием ряда важных классов полупроводников. В 1950 г. А.Р.Регель впервые экспериментально доказал, что антимонид индия как типичный представитель соединений типа A^3B^5 является полупроводником, подтвердив тем самым предположение Н.А.Горюновой о его полупроводниковых свойствах [35]. Эта работа Регеля положила начало целому циклу исследований Д.Н.Наследова с сотрудниками группы соединений A^3B^5 и более сложных, синтезированных в институте. Им же на их основе разработано целое семейство полупроводниковых приборов.

Другая важная группа полупроводниковых материалов — халькогенидные стеклообразные полупроводники, получившие широкое применение в технике, — была открыта в институте в 1955 г. Б.Т.Коломийцем и Н.А.Горюновой [75]. Проведенное Коломийцем с сотрудниками их комплексное исследование вылилось в новое научное направление. Для объяснения основных свойств халькогенидных стекол важной оказалась идея Иоффе о том, что электрические свойства полупроводников определяются главным образом ближним порядком. Экспериментально это предположение подтвердил А.Р.Регель. На значительном количестве примеров он показал (1952—1957), что энергетический спектр вещества

мало изменяется при переходе из твердого в жидкое состояние, если при плавлении не изменяется одновременно и ближний порядок (координационное число), иными словами, многие типичные для полупроводников свойства сохраняются в них и после плавления.

В 1948 г. А.Ф.Иоффе, исходя из своей концепции о роли химической связи и ближнего порядка для понимания электрофизических свойств вещества, предсказал возможность существования жидких и аморфных полупроводников [110, т. 2, 360—375], а в 1960 г. совместно с Регелем заложил основы классификации и первые модельные представления жидких полупроводников, дав первый обзор экспериментальных исследований электрофизических свойств материалов с неупорядоченной структурой и анализ применимости к ним идеи ближнего порядка [110, т. 2, с. 411—468]. Иоффе первый обратил (1959) внимание на то, что в аморфных и жидких полупроводниках длина свободного пробега носителей тока порядка межатомного расстояния, и высказал ряд принципиальных соображений относительно особенностей механизма подвижности электронов в неупорядоченных системах [110, т. 2, с. 396—399].

В лаборатории Наследова были получены монокристаллы арсенида галлия и разработаны методы получения в нем $p-n$ -переходов (Б.В.Царенков), что позволило создать (1958—1959) высокотемпературные арсенид-галлиевые диоды. На основе арсенида галлия Д.Н.Наследовым и Б.В.Царенковым созданы (1957) фотоэлементы и преобразователи солнечной энергии. В 1962 г. обнаружено стимулированное рекомбинационное излучение из $p-n$ -перехода в арсениде галлия, положившее начало работам по полупроводниковым лазерам (Д.Н.Наследов, А.А.Рогачев, С.М.Рывкин, Б.В.Царенков) [187].

Огромное значение для прогресса полупроводниковой электроники имело создание гетеропереходов и изучение происходящих в них физических процессов. Пионерские исследования в этом направлении в середине 60-х годов провели Ж.И.Алферов с сотрудниками в лаборатории Тучкевича, которые завершились разработкой методов получения высокосовершенных гетеропереходов, определяемых соответствующим подбором комплекса физических характеристик различных по химическому составу полупроводниковых кристаллов, составляющих единую гетеропару, и нахождением такой гетеропары (арсенид галлия — арсенид алюминия). Осуществленные во второй половине 60-х годов детальные исследования электрических, оптических, фотоэлектрических и рекомбинационных свойств гетеропереходов привели к открытию эффекта сверхинжекции. На его основе были созданы инжекционные лазеры на невырожденных гетеропереходах в ин-

фракрасной и видимой областях спектра, работающие в непрерывном режиме при комнатной температуре, и другие приборы (Ж.И.Алфёров с сотрудниками) [16].

Научные интересы самого А.Ф.Иоффе в послевоенный период концентрировались на исследовании новых полупроводниковых материалов и термоэлектрических явлений, в частности теплопроводности полупроводников. Истоки его работ по термоэлектрическому преобразованию энергии относятся к 30-м годам, когда он с Б.М.Гохбергом, Ю.П.Маслаковцем и другими начал исследования в этом новом направлении. В конце 40-х годов усилия его и ряда сотрудников (А.Н.Воронин, Е.Д.Девяткова, Ю.А.Дунаев, И.В.Мочан, Л.С.Стильбанс) были сосредоточены на исследовании и разработке материалов для термоэлектрического преобразования и создании термоэлектрических генераторов. В 1952—1955 гг. они проходили в организованной им Лаборатории полупроводников АН СССР, а с 1955 г. — в Институте полупроводников АН СССР, созданном на ее базе, директором которого А.Ф.Иоффе был до самой смерти, последовавшей 14 октября 1960 г. В лабораторию, а позже — в институт вместе с Иоффе перешла группа его ближайших учеников и сотрудников: А.И.Ансельм, Б.И.Болтакс, Е.Д.Девяткова, В.П.Жузе, А.В.Иоффе, Ю.П.Маслаковец, А.Р.Регель, Л.С.Стильбанс и др.

Эти годы прошли у А.Ф.Иоффе под знаком возросшей творческой активности, повышенной работоспособности, увеличения количества новых идей и публикаций. В институте получила дальнейшее развитие его полупроводниковая школа, с которой связано создание термоэлектрической энергетики. "Здесь школе А.Ф.Иоффе удалось получить многогранные и разносторонние результаты в теоретическом, экспериментальном, методическом и прикладном направлениях, — писал А.Ф.Чудновский. — ...Будучи основателем и признанным главой целого направления исследований полупроводникового термоэлектричества, Абрам Федорович усматривал перспективы использования этого эффекта в области малой энергетики и холодильного дела. Он многократно обращал внимание на самые разносторонние практические применения термоэлектрических преобразователей в промышленности и народном хозяйстве" [222, с. 199].

Еще в 1949 г. А.Ф.Иоффе завершил создание теории термоэлектрического преобразования энергии, которую изложил в работе "Энергетические основы термоэлектрических батарей из полупроводников", вышедшей в свет в 1950 г. отдельной брошюрой [110, т. 2, с. 271—303]. В ней показана возможность создания термоэлектрических устройств с высокими техническими параметрами, сформулированы требования к характеристикам полупроводника, обеспечивающим получение оптимально воз-

мощного КПД термоэлектрического преобразователя или холодильника (выведена формула для оптимального КПД). Этой работой, по словам В.Я.Френкеля, "была проложена дорога к широкому практическому применению термоэлементов в "малой энергетике" и впервые доказана теоретическая перспективность полупроводниковых термоэлектрических холодильников" [222, с. 66]. Буквально вслед за этой работой Иоффе Л.С.Стильбанс разработал целую серию термоэлектрических холодильников различного назначения, в частности, первый в мире полупроводниковый холодильник (1951), положив начало новой области техники, связанной с термоэлектрическим охлаждением [114]. В 1956 г. Иоффе также впервые предложил два новых применения теплоты Пельтье — для управления процессом кристаллизации и для генерации колебаний [110, т. 2, с. 314—318].

Большое значение имели исследования Иоффе и его учеников по проблеме теплопроводности полупроводников. В 1952 г. А.Ф.Иоффе и А.В.Иоффе предложили простой и удобный метод измерения коэффициента теплопроводности, дающий точные и устойчивые результаты и рассчитанный на достаточно широкий интервал определяемой величины. Развернулись широкие исследования связи теплопроводности со структурой решетки, применением составов, атомным весом, механическими модулями, внешними факторами, действующими на полупроводник. На теплопроводность изучались не только германий и кремний, но и более сложные полупроводники, интерметаллические соединения, растворы, жидкости (А.Ф.Иоффе, Е.Д.Девяткова, В.П.Жузе, А.В.Иоффе, Ю.П.Маслаковец, А.Р.Регель, Л.С.Стильбанс, А.Ф.Чудновский и др.) [110, т. 2, с. 320—359]. В частности, А.Ф.Иоффе связал теплопроводность полупроводников с механизмами электронной и фононной проводимости и с их оптическими и электрическими свойствами, установил зависимости между теплопроводностью и структурой кристаллов, а также характером химических связей в них. Идеи, выдвинутые Иоффе по проблеме теплопроводности полупроводников, привели к широкому размаху теоретических и экспериментальных работ в этой области и долгое время питали многие исследования.

Таким образом, благодаря А.Ф.Иоффе и его школе, а также ряду других советских ученых и их учеников (Б.М.Вулу, С.Г.Калашникову, Л.Д.Ландау, В.Е.Лашкареву, С.И.Пекару и др.) в СССР была создана физика и техника полупроводников и исследования в этой области со временем приобрели бурное развитие.

Отдавая дань той огромной роли, которую сыграл Иоффе в физике полупроводников, его ученики В.П.Жузе и А.И.Ансельм пишут: "В течение тридцати лет А.Ф. неизменно стоял во главе

изучения этого раздела физики в СССР, умело направляя его развитие, всемерно и неустанно содействуя этому развитию своими и своих учеников научными работами, многочисленными идеями, организационной и общественной деятельностью. Можно без всякого преувеличения сказать, что физика полупроводников в СССР почти всецело обязана своими успехами А.Ф.Иоффе" [4, с. 27—28].

Полупроводниковую школу Иоффе, созданную им в 30—50-х годах, представляют *Х.И.Амирханов, А.И.Ансельм, А.Н.Арсеньев, Б.И.Болтакс, Б.М.Гохберг, Е.Д.Девяткова, Ю.А.Дунаев, В.П.Жузе, Е.К.Иорданишвили, А.В.Иоффе, Б.Т.Коломиец, А.Л.Левинзон, Ю.П.Маслаковец, Д.Н.Наследов, Ю.К.Пожела, А.Р.Регель, Л.С.Стильбанс, В.М.Тучкевич, П.В.Шаравский* и др.

Для нее характерен высокий стандарт научных результатов, проведение исследований на переднем крае науки и их тесная связь с практикой, дух взаимной доброжелательности и товарищеской поддержки, непрерывного научного поиска. Иоффе учил своих учеников работать, соединяя научный подход с энтузиазмом и фантазией, внедряя в руководимых им коллективах определенные принципы работы, со временем становившиеся традициями. Эти традиции, по словам Тучкевича — его ученика и директора Ленинградского физтеха, — "...работа над крупными, важнейшими задачами, стоящими на переднем крае науки, энтузиазм, тесная спайка между старшими, более опытными сотрудниками и молодежью, нетерпимость к искажению научной истины, свободные и страстные дискуссии, поощрение инициативы, дружная товарищеская атмосфера, семинары и многое, многое другое..." [222, с. 34—35].

А фундамент всего этого закладывал А.Ф.Иоффе — выдающийся ученый и организатор советской физики, замечательный учитель многих поколений молодых исследователей. Теперь, спустя много лет, можно по достоинству оценить научную принципиальность и удивительную прозорливость этого большого человека. Деятельность его была высоко оценена еще при жизни. В 1920 г. он был избран академиком, в 1942 г. ему присуждена Государственная премия СССР, а в 1955 г. присвоено звание Героя Социалистического Труда, он был почетным членом ряда зарубежных академий и научных обществ. В 1961 г. ему уже посмертно была присуждена Ленинская премия. В 1960 г. имя Иоффе присвоено Ленинградскому физико-техническому институту АН СССР, а в 1973 г. президиум АН СССР учредил премию его имени, присуждаемую за лучшие научные работы в области физики.

Выдающийся советский физик Д.С.Рожественский внес огромный вклад не только в теоретическую и прикладную оптику, но и в организацию научных исследований, создав один из первых в нашей стране научно-исследовательских институтов — Государственный оптический институт (ГОИ) и одну из первых советских физических школ — оптическую [77, 234]. "Имя Д.С.Рожественского навсегда связано со становлением советской оптики, ее бурным развитием, ее удивительными успехами и достижениями, — пишет Б.И.Степанов. — С этим именем связано формирование советской научной оптической школы, воспитание многочисленных кадров. Дмитрий Сергеевич организатор и руководитель начального, быть может, самого трудного периода в развитии советской оптики, да и вообще всей советской физики. Вместе с тем влияние его идей, методов и стиля работы, его научных воззрений сохранилось и до настоящего времени" [258, с. 90].

По воспоминаниям и свидетельствам учеников и сотрудников, Д.С.Рожественского отличали блестящий организаторский талант, научный энтузиазм, способность увлекать других и отдаваться полностью делу, целеустремленность, бескомпромиссность, эрудиция, интуиция и феноменальное умение видеть проблему, обилие новых и оригинальных идей, научная добросовестность и самостоятельность, порядочность, исключительная требовательность к своим работам и работам учеников.

"Отличительными чертами Рожественского, — вспоминал И.В.Обреимов, — были честность, принципиальность, щедрость, немелочность. Мне не приходилось видеть, чтобы он когда-нибудь кривил душой. Он делился своими идеями, не требуя процентов" [194, с.30].

"Всех, кому посчастливилось работать с ним вместе, — писал В.П.Линник, — всегда поражала широта его взглядов и глубина суждений, настойчивость и мужество в достижении поставленной цели. В частной жизни, так же как в научной и общественной работе, он отличался предельной честностью и добросовестностью. Это был не только настоящий ученый, но и настоящий человек" [57, с.56].

"Дмитрий Сергеевич был человеком выдающимся по своему уму, принципиальности и целеустремленности, — отмечал К.К.Баумгарт. — Это был человек большого темперамента, большой нравственной силы, с большим чувством ответственности за свои поступки, настоящий руководитель, организатор, глава.

В отношениях к людям Дмитрий Сергеевич был прям и несколько резок, в суждениях подчас парадоксален, упрям и мог проявлять властность, вообще он имел ряд человеческих недостатков. Но все эти недостатки с избытком искупались высоким стро-

ем его души, его большой честностью и мужеством. Всегда можно было верить, что он думает так, как он говорит. Его ум, широкая образованность и оригинальность делали беседу с ним всегда интересной. Добросовестность, с какой он относился к научной и общественной работе, отличала его и в частной жизни. Другьям своим он был верный друг. Если он считал возможным помочь кому-либо, то делал это в полную меру и был активно добрый человек. К ученикам относился очень внимательно, с большой нежностью. Словом, он был не только настоящий ученый, но и настоящий человек..." [225, с.585].

"С именем Дмитрия Сергеевича, — писал В.А.Фок, — у меня соединяется образ энтузиаста науки, прямого, искреннего человека, с большой заботой относящегося к окружающим, особенно к молодежи" [57, с.60].

"Нас, научную молодежь 30-х годов, всегда поражала удивительная научная честность Д.С.Рожественского, его требовательность к себе, последовательность и логичность его научных взглядов, изящество выводов, его умение найти главное, выделить ближайшие и отдаленные перспективы развития оптической науки, его глубокая уверенность в необходимости тесной связи науки и промышленности, его исключительное внимание к нам, тогда еще начинающим ученым", — отмечает Б.И.Степанов [258, с.91]. И далее продолжает: "Дмитрий Сергеевич был чрезвычайно благожелателен к людям. Вместе с тем он был очень требователен, особенно к своим ученикам, был против мелочной опеки, добивался проявления творческой инициативы, самостоятельности, щедро делился своими мыслями и научными идеями, учил молодежь на личном примере" [258, с.97—98].

Научные результаты Д.С.Рожественского, полученные им в оптике и спектроскопии, общеизвестны. Он осуществил фундаментальные исследования по аномальной дисперсии света, разработав (1909) оригинальный и эффективный метод ее экспериментального изучения, так называемый метод крюков [233, с.1—144]; по теории строения атомов, где обобщил (1919—1920) теорию водородного атома Бора на более сложные атомы [233, с.5—65], предсказал (1921) магнитное происхождение спектральных дублетов и триплетов, используя общие принципы происхождения спектров, дал (1922) полный анализ спектра иона магния, послуживший образцом для проведенных позже анализов спектров ионов [234, с.103—110], а также по теории спектральных приборов [234, с.144—166], микроскопии [234, с.170—229], оптическому стеклу. Его работы по теории спектров (1919—1921) показали, что, несмотря на блокаду и изоляцию от мировой науки, советская спектроскопия имела в своем активе ряд результатов мирового значения. В области микроскопии Д.С.Рожественский

построил (1940) детальную картину процессов, происходящих во всей системе микроскопа. Он также явился одним из создателей советской оптической промышленности, в частности производства оптического стекла.

Крупные научные достижения Д.С.Рожественского в сочетании с личными моральными качествами и сделали его в полном смысле слова научным лидером, воспитателем большого отряда ученых, создателем крупной научной школы.

Родился Дмитрий Сергеевич Рожественский 7 апреля 1876 г. в Петербурге, где в 1900 г. окончил университет и был оставлен в нем для подготовки к профессорскому званию.

Всей своей последующей деятельностью в университете он смело ломал устоявшиеся старые, рутинные традиции. После кратковременных стажировок у О.Винера в Лейпциге (1901—1902) и у П.Друде в Гиссене (1903) Д.С.Рожественский возвратился в Петербург и стал лаборантом в Физическом институте университета, начав первым из молодых русских ученых самостоятельные исследования. Для научной работы он избрал тему по аномальной дисперсии в парах натрия и в 1909 г. разработал изящный и эффективный метод ее изучения, так называемый метод крюков, принесший ему широкую известность и научное признание. Этот метод стал классическим и позволил поставить и решить большое количество физических задач.

В 1912 г. после защиты магистерской диссертации Д.С.Рожественский был утвержден в должности приват-доцента университета и получил право читать специальные курсы и руководить дипломными работами выпускников. Он резко изменил тематику дипломных работ, которая стала предусматривать экспериментальные разработки неисследованных или малоисследованных вопросов оптики. В 1913 г. Д.С.Рожественский руководил 18 темами студентов, дипломников, ассистентов и оставленных в университете для подготовки к профессорскому званию. Его первыми учениками в 1913—1915 гг. были Л.Д.Исаков, В.М.Чулановский, Г.Перлитц, И.В.Обреимов, А.А.Архангельский, Э.Бадарзу, М.М.Глаголев, А.П.Афанасьев, А.А.Лебедев, В.М.Туроверов, Н.А.Нарышкин, Д.В.Скобельцын и др.

В 1915 г. Д.С.Рожественский защитил докторскую диссертацию, был избран профессором и назначен директором Физического института при университете. Это дало ему возможность осуществлять подготовку физиков-исследователей. Естественно, что, сменив умершего профессора И.И.Боргмана в 1915 г. в должности директора Физического института, — вспоминает А.И.Стожаров, — Д.С.Рожественский поставил перед собой задачу воспитания полноценных ученых. Так возникла школа физиков Петроградского университета. Мировая война, а затем и блокада, кото-

рой капиталистический мир окружил молодое советское государство, помогли Д.С.Рожественскому преодолеть сложившиеся в дореволюционном университете традиции и быстро создать свою научную школу без обязательного доучивания молодых ученых у заграничных светил науки. В основу этой школы вошел ряд студентов, окончивших университет во время первой мировой войны и встретивших Великую Октябрьскую социалистическую революцию на старших курсах университета. Д.С.Рожественский повлиял на их мировоззрение как директор Физического института, прогрессивный деятель того времени, источник новых взглядов на роль науки и задачи университета, руководитель дипломных работ некоторых из них. К их числу принадлежали А.А.Лебедев, И.В.Обреимов, Л.Н.Гассовский, Е.Ф.Юдин, И.А.Шошин, А.Н.Захарьевский, Н.А.Нарышкин, В.М.Чулановский, Ю.А.Крутков, А.А.Архангельский, Л.Д.Исаков, Е.Г.Яхонтов и другие" [57, с.89].

В институте Д.С.Рожественский организовал семинар, который пользовался широкой популярностью в Петрограде. На нем заслушивались рефераты обзорного характера по актуальным тогда вопросам физики, а с 1916 г. — также результаты выполненных в институте работ.

Д.С.Рожественский горячо приветствовал Великую Октябрьскую социалистическую революцию. Он сразу отчетливо понял, что она открывает широкие возможности для развития науки в стране, и сам всячески способствовал этому. В декабре 1918 г. по его инициативе создается Государственный оптический институт, директором которого он был до 1932 г., возглавляя в нем в 1918—1938 гг. также научный отдел. Перед институтом были поставлены две основные, взаимосвязанные задачи: проведение широких научных исследований в области теоретической, экспериментальной и прикладной оптики и активное содействие развитию отечественной оптической промышленности. Эти цели обусловили комплексный многоцелевой характер института, в котором широко были представлены все разделы собственно оптики, а также оптотехника, светотехника, прикладная оптика, химия и физико-химия оптического стекла, физиологическая оптика и др. "На одном из первых заседаний ученого совета в конце заседания, — вспоминал И.В.Обреимов, — Дмитрий Сергеевич развил свой план создания исследовательского комплекса с тремя направлениями: исследовательским, промышленным и учебным..." [194, с.19]. В результате в структуре института органически соединились научный отдел, лаборатории технического профиля, вычислительное бюро, мастерские, завод оптического стекла, т.е. то, что сегодня является характерным для многих современных научных институтов — научно-технических комплексов.

Выступая в 1919 г. на первом отчетном собрании в институте,

Д.С.Рожественский говорил: "Тесное сотрудничество технических и чисто научных отделов института открывает как для техники, так и для самого отвлеченного научного эксперимента такие возможности, о которых нам, университетским работникам, не приходилось и мечтать. Учреждение подобного типа ..., по моему глубокому убеждению, в ближайшем будущем должно привести к невиданному еще расцвету науки и техники" [225, с.9].

Принцип синтеза науки и техники оставался для Д.С.Рожественского руководящим принципом во всей его научной деятельности. "С первых же месяцев революции, — писал С.И.Вавилов, — работы Д.С.Рожественского стали ... центром, вокруг которого вырос большой Государственный оптический институт, объединивший в своих стенах исследования по всем главнейшим вопросам технической оптики и вместе с тем теории света. Деятельность этого института способствовала быстрому развитию нашей оптико-механической промышленности... Правильное чутье подлинного ученого, получившего от молодой Советской власти новые задания, позволило Д.С.Рожественскому должным образом соединить теоретическую мысль с практикой и дать хороший пример настоящей, широкой, советской научной работы, имеющей теоретическую вершину и технические корни" [47, с.40—41].

В результате уже в 1927 г. молодое Советское государство отказалось от импорта оптического стекла из-за рубежа, так как полностью обеспечивало себя собственным оптическим стеклом высшего качества и всех сортов. Союз науки и промышленности наглядно продемонстрировал свою жизнеспособность и эффективность. "Я считаю, что наука не только бросает новые идеи, — говорил Д.С.Рожественский на мартовской сессии Академии наук СССР в 1936 г., — но все время в тесном и плотном контакте ведет промышленность и в малом, и в крупном, и в бросании идей, и в разработке этих идей, и сама базируется и растет на растущей технике промышленности" [105, с.63].

Тесную связь науки и техники, науки и производства Д.С.Рожественский последовательно и неуклонно проводил в жизнь и постоянно подчеркивал в своих статьях и выступлениях. "Мы должны поставить в ГОИ работу так, — писал он в 1931 г. в статье "Научно-исследовательская работа в оптической промышленности", — чтобы она обнимала всю полноту техники и всю полноту науки — оптику во всей ее целостности" [234, с.293]. И действительно, в ГОИ получили широкое развитие многие направления оптики как технические, так и чисто научные, что нашло адекватное отражение и в самой структуре института. "Поэтому, — продолжает Д.С.Рожественский, — он заслужил в системе институтов НИС ВСНХ место и звание головного института. Это значит, что он должен играть ведущую роль во всех отделах оптики..." [234,

с.295]. В то же время, отмечал Рождественский, ГОИ в системе оптико-механической промышленности должен взять на себя обязанности отраслевого института, выполняя исследовательские работы, необходимые заводам, и "проникать" в производство главным образом через заводские лаборатории. Организация заводских лабораторий, укомплектование их соответствующим персоналом также является одной из обязанностей ГОИ. Эти его интересные мысли об организации научно-технических исследований не утратили своего значения и сегодня.

Для Д.С.Рождественского вопросы организации научных исследований были тесно связаны с планированием в науке. У него всегда был план работы для себя и своих сотрудников. В ГОИ им был создан большой плановый отдел. "Я помню, как он собрал нас — своих ближайших сотрудников и развил идею о планировании научной работы, — вспоминал С.Э.Фриш. — Он говорил, что план должен включать и общее развитие теоретической работы, и ее связь с практикой. Он должен включать в себя расстановку сил, финансирование, отчет. Отчету Дмитрий Сергеевич придавал большое значение, считал, что он будет подводить итог проделанной работе, способствовать внедрению в народное хозяйство ее результатов" [57, с.74].

Одной из центральных задач, ставших перед ГОИ, было обеспечение его кадрами физиков-оптиков, причем необходимо было не только собрать в институте малочисленных тогда физиков, но и обеспечить подготовку новых молодых специалистов для работы в институте. Д.С.Рождественский решил привлечь для работы в ГОИ "лаборантами при мастерских" наиболее талантливых студентов-физиков первых курсов Петроградского университета. Так, в 1919—1920 гг. лаборантами ГОИ стали Е.Ф.Гросс, В.К.Прокофьев, А.Н.Теренин, В.А.Фок, С.Э.Фриш, К.В.Бутков, А.И.Стойков, И.А.Шошин, Л.Н.Гассовский, Л.С.Сазонов, М.В.Волкова, Т.Н.Крылова, Ф.Л.Бурмистров, А.А.Гершун, Е.Ф.Юдин, К.А.Кракау, А.В.Лермантов и др. Для них был составлен рабочий план, предусматривающий занятия по усиленной университетской программе и работу в лабораториях. "План обучения для всех этих лаборантов был очень напряженным, — вспоминает С.Э.Фриш. — Надо было самостоятельно проработать большое число монографий по физике и прикладной оптике и, кроме экзаменов, обязательных для всех студентов, сдать еще зачеты по этому дополнительному материалу. Начиная со второго года обучения лаборантам раздавались поручения, связанные с работами ГОИ... Позже каждому из лаборантов была намечена тема самостоятельного научного исследования" [225, с.60].

Это был смелый педагогический эксперимент с целью за 1,5 — 2 года подготовить научных сотрудников, способных вести само-

стоятельные исследовательские работы. "Организация нашей научной работы, — писал А.И.Стожаров, — была первым опытом новой организации подготовки научных кадров, выполненной по идеям Д.С.Рожественского, по существу, вопреки всем традициям того времени. Дмитрий Сергеевич своей системой в полтора года привил нам мировоззрение, направляющее ученых на творческий поиск, и сделал способными вести настоящую научную работу... К 1924 г. мы, лаборанты, стали научными сотрудниками и имели законченные работы. Таковы истоки ныне такой разветвленной физической школы Д.С.Рожественского" [57, с.92].

Первый опыт подготовки научных кадров в нашей стране по методам А.Ф.Иоффе и Д.С.Рожественского, соединяющим обучение с исследовательской работой, впоследствии нашел широкое использование. Костяк научных сотрудников ГОИ в значительной мере составили эти лаборанты. В числе первого набора лаборантов были будущие академики В.А.Фок и А.Н.Теренин, члены-корреспонденты АН СССР Е.Ф.Гросс и С.Э.Фриш, профессора В.К.Прокофьев, А.И.Стожаров, К.В.Бутков и др.

В результате уже на первом этапе работы института (1918—1925) — этапе его становления как научного организма и подготовки его кадров с помощью такого нового и оригинального метода, как привлечение для работы в институт студентов университета, — были получены фундаментальные результаты в области изучения строения атома, вычислительной оптики и оптического стекла. В 1922 г. институт насчитывал уже 86 сотрудников, из которых 11 человек состояли в научном отделе, 12 — в техническом, 15 — в вычислительном бюро, 5 — в химическом отделе, по 9 — в механической, оптической мастерских и др.

Несколько позже об этом времени Д.С.Рожественский скажет в докладе на собрании института 12 апреля 1934 г., посвященном 15-летию ГОИ: "... начинающая молодежь скоро приступила к самостоятельным работам, и года через три уже начали определяться результаты. А через несколько лет, по мере того как молодое поколение выросло, начинающие ученые в свою очередь становились мастерами и руководителями молодежи и в Физическом, и в Оптическом институтах. Назовем здесь А.А.Лебедева, И.В.Обреимова, А.Н.Теренина, В.А.Фока, В.К.Прокофьева, С.Э.Фриша, В.М.Чулановского, Е.Ф.Гросса, А.Н.Филиппова, К.В.Буткова, покойного А.А.Мазинга. Так быстро летело дело в Научном отделе и привело к сильной организации, к большим циклам работ по фотохимии, по аномальной дисперсии, по сверхтонкому строению спектров, по законам рассеяния света, по молекулярным спектрам" [234, с.318].

Существенную роль в воспитании молодых сотрудников института как исследователей играл научный семинар, руководи-

мый Д.С.Рожественским. Значение семинаров в ГОИ ярко описал С.Э.Фриш: "Сейчас, когда я вспоминаю мои студенческие годы, я склонен думать, что нигде не научился так много физике, как на этих семинарах. На них я услышал, как "говорят" между собой настоящие ученые, чему они придают значение, как ведут дискуссию. На семинарах царил не учебный, а действительно исследовательский, творческий подход к разбираемым темам" [57, с.72-73].

Весной 1919 г. Д.С.Рожественский возглавил реорганизацию преподавания физики на физико-математическом факультете Петроградского университета. Дело в том, что уровень преподавания на факультете резко отставал от жизни и состояния физики. Университетская программа по физике была перегружена математикой и на собственно физику оставалось мало времени. Например, о теории относительности и квантовой теории выпускники университета могли ничего и не знать или иметь очень смутное представление. По предложению Д.С.Рожественского было создано физическое отделение и новые учебные планы для него, введен ряд спецкурсов по физике, сокращены и модернизированы курсы математики, вернее, создан единый курс математики для физиков, введены обязательные для студентов семинарские занятия. И все это осуществлено впервые.

Проводимая реформа предполагала активное участие в учебном процессе молодых ученых. Без этого не была бы достигнута одна из основных целей — чтение специальных физических курсов, в том числе по актуальным вопросам современной физики, что могло осуществить только молодое поколение преподавателей. Все это способствовало повышению уровня подготовки выпускников-физиков, что было важно для ГОИ, черпающего кадры из Петроградского университета.

Организационные мероприятия, проводимые Д.С.Рожественским в ГОИ и университете, преследовали одну цель — подготовить и воспитать исследователей, способных вести самостоятельные научные работы, создать высококвалифицированный коллектив, на базе которого со временем могла бы сформироваться научная школа. Необходимость работать в современной науке коллективно неоднократно высказывалась Д.С.Рожественским, и вся его практическая активная научно-организационная деятельность была ярким тому подтверждением и привела к созданию им большой оптической школы. Университет — ГОИ — семинар — это те звенья единого комплекса, в котором училась и становилась физиками-исследователями, воспринимала стиль и методы работы Рожественского отобранная им творческая молодежь, многие представители которой и составили основу его широко известной научной школы.

"... В научном отделе ГОИ, — отмечал К.К.Баумгарт, — получила широкое развитие научная школа Дмитрия Сергеевича, начавшая образовываться еще в Физическом институте университета. В Оптическом институте эта школа стала самой большой научной школой оптиков в Союзе ССР. Из нее вышли не менее 10 ученых с европейским именем, среди них 3 академика и более 40 ведущих научных работников, причем все они непосредственно учились у Дмитрия Сергеевича. К ним надо прибавить многочисленных научных "внуков" Дмитрия Сергеевича, так как многие из учеников Дмитрия Сергеевича имеют свои научные школы. Не многие профессора у нас и за границей могут похвалиться таким научным потомством. Дмитрий Сергеевич уделял большое внимание выявлению талантливых студентов и всячески их поддерживал" [57, с.30—31].

Школу Д.С.Рожественского представляют А.А.Лебедев, И.В.Обрешинов, А.Н.Теренин, В.А.Фок, Е.Ф.Гросс, С.Э.Фриш, В.М.Чулановский, К.В.Бутков, М.А.Вейнгероф, Г.С.Квагер, Н.П.Пенкин, В.К.Прокофьев, А.И.Стожаров, А.Н.Филиппов, Ф.Л.Бурмистров, А.А.Гершун, Л.И.Демкина, М.М.Гуревич, Л.Н.Гассовский, М.М.Глаголев, А.Н.Захарьевский, Г.Н.Раутиан, М.В.Севастьянова, Е.Н.Царевский, И.А.Шошин, Е.Ф.Юдин, Е.Г.Яхонтов и др.

Школой разработан ряд направлений оптики и спектроскопии [225, 286, 287]. В большинстве своем генетически они связаны с темами, которые Д.С.Рожественский предлагал разрабатывать своим ученикам, о чем С.Э.Фриш сказал: "...сейчас, через много лет, вспоминая темы, розданные Дмитрием Сергеевичем сотрудникам Оптического института, можно только удивляться их широте и разнообразию. И при всем своем разнообразии эти темы не носили случайного характера, они были связаны общей идеей, общим стремлением выяснить оптическими методами строение атомов. Это было настоящее "наступление" на атом сплошным, широким фронтом. Физика в нашем столетии развивается необычайно быстро, в корне меняются представления, методы исследования, вся техника эксперимента. Но темы, розданные Дмитрием Сергеевичем Рожественским пятьдесят с лишним лет тому назад, сохранили свою актуальность и свой интерес, в них удивительным образом проявились его изобретательность, самобытность и научная прозрачность" [57, с.71—72].

К числу достижений школы принадлежат широкие исследования аномальной дисперсии и определения сил осцилляторов методом крюков (Д.С.Рожественский, А.Н.Филиппов, В.К.Прокофьев, Н.П.Пенкин и др.); обобщение теории водородного атома Бора на более сложные атомы и формулировка основных положений спектральной систематики (Д.С.Рожественский, 1919); идея о магнитной природе спектральных дублетов и триплетов

(Д.С.Рожественский, 1921); разработка методики обнаружения свилей и введение их классификации (Д.С.Рожественский, Г.Н.Раутиан); создание первых советских электронных микроскопов, новых источников света, оптики и схем многих электронно-оптических приборов (А.А.Лебедев); доказательство (1928) дискретной структуры спектров молекулярных кристаллов при низких температурах, разработка методов измерения показателей преломления и определения дисперсии в широком спектральном интервале (И.В.Обреимов); открытие (независимо от Г.Шюлера) сверхтонкой структуры спектральных линий атомных спектров (А.Н.Теренин, Л.Н.Добрецов, 1928); обнаружение тонкой структуры линии рэлеевского рассеяния в кристаллах и жидкостях (Е.Ф.Гросс, 1933) и др.

С.Э.Фриш один из первых указал на возможность исследования газоразрядной плазмы спектроскопическими методами. В.А.Фоком получены фундаментальные результаты в квантовой теории поля, квантовой механике и квантовой электродинамике, теории относительности, математической физике (релятивистское волновое уравнение Клейна — Фока — Гордона, развитие метода вторичного квантования, разработка метода самосогласованного поля и многовременного формализма, построение строгой теории распространения радиоволн над земной поверхностью без учета атмосферы). А.А.Гершун разработал (1936) общую теорию светового поля и заложил основы советской гидрооптики. Большой вклад в развитие оптического приборостроения внесен А.А.Лебедевым, В.К.Прокофьевым, В.М.Чулановским, И.А.Шошиным и др., в разработку методов изготовления оптического стекла — А.А.Лебедевым, И.В.Обреимовым, А.И.Стожаровым и др. В ГОИ возникла первая советская школа оптиков-вычислителей (А.И.Тудоровский, Г.Г.Слюсарев, Е.Г.Яхонтов и др.) и были заложены основы отечественной оптической промышленности.

Высокий авторитет школы Д.С.Рожественского определялся строжайшей требовательностью к результатам исследований, чистотой эксперимента, отвращением ко всяким проявлениям саморекламы, показной шумихи и авантюризма в науке. Многие ученики Д.С.Рожественского создали собственные научные школы и его научные идеи продолжают свое развитие не только в его учениках, но и в учениках его учеников. Так, широко известны школы А.А.Лебедева, И.В.Обреимова, А.Н.Теренина, Е.Ф.Гросса, В.К.Прокофьева, С.Э.Фриша и В.М.Чулановского.

Все изложенное дает основание считать Д.С.Рожественского наряду с А.Ф.Иоффе и Л.И.Мандельштамом основоположником советской физики. Президиумом АН СССР учреждена премия имени Д.С.Рожественского, присуждаемая за лучшие работы в области оптики.

Л.И.Мандельштам занимает особое место в истории советской физики, являясь не только одним из ее основателей, но и выдающимся педагогом и большим авторитетом в сфере нравственности и морали. Это был, по словам Н.Д.Папалекси, "замечательный ученый, глубокий мыслитель и талантливейший учитель, человек исключительных духовных качеств, в высшей степени скромный, высоко принципиальный и высоко гуманный" [14, с.5]. Именно эта уникальность, исключительность в соединении в одном лице названных личных качеств, отмеченных высшими мерками на шкале человеческих ценностей, подчеркивается всеми близко знавшими его. "Он воплощал в себе идеал профессора и большого ученого, — писал Н.Д.Зелинский, — в котором гармонически, без разрыва, соединены были высокая научная мысль, сердце и душа человека, что редко встречается среди даже выдающихся ученых" [14, с.305].

Эти черты Л.И.Мандельштама подробнее раскрывает его ученик Г.С.Горелик. "Для многих из его учеников, — писал он в 1944 г., — Л.И.Мандельштам был не только учителем, который укрепил в них любовь к науке, помог им овладеть своими творческими возможностями, щедро раскрыл перед ними неповторимое богатство своих идей и оказал решающее влияние на их научное мировоззрение. Для многих из нас он еще был высоким олицетворением всей человеческой культуры — ее как интеллектуальной, так и моральной стороны. Он был для многих из нас таким человеком, мысль о котором помогает переносить жизненные невзгоды... Он был одним из блестящих молодых деятелей нарождавшейся радиотехники и одним из виднейших представителей технической физики последних десятилетий. Вместе с тем он мастерски владел физической теорией и математическим аппаратом современной теоретической физики" [14, с.304].

Л.И.Мандельштам внес огромный непреходящий творческий вклад в физику и технику, оказав сильное влияние на их развитие, в частности в СССР. Широко известны его исследования в области радиофизики и радиотехники, оптики и молекулярной физики, теории колебаний и радиоинтерферометрии, теории относительности и квантовой механики [180]. Он обладал большим педагогическим дарованием и много труда отдавал преподавательской деятельности, которая была у него неотделима от научной, представляя по сути ее существенную и неотъемлемую часть, что и привело его к созданию известной физической школы.

"... С именем Мандельштама связано создание блестящей школы советских физиков..., — пишет С.М.Рытов. — Л.И. не принадлежал к тем, кто любит поучать и морализировать. Вместе с

тем я не знаю лучшего воспитателя молодежи. Он воспитывал просто своим личным примером. Для каждого, кто имел с ним сколько-нибудь длительное общение, невозможно было не стараться следовать такому высокому образцу принципиальности и честности во всем, что касается науки, отношений с людьми, и в частности с теми, для кого наука стала главным делом жизни. С приходом Л.И. в МГУ там (а в дальнейшем в связанных с Л.И. лабораториях ФИАН) возникла и долгое время существовала после его смерти особая атмосфера, полная взаимной доброжелательности и чуждая малейших компромиссов в требованиях, предъявляемых к ученому. Без такой атмосферы, вероятно, вообще нельзя говорить о научной школе" [14, с.231].

Это же отмечает и А.А.Андронов: "Вокруг Л.И.Мандельштама существовала атмосфера подлинной научной школы. Во-первых, он любил учить — в самом прямом значении этого слова — молодых физиков, любил задавать и растолковывать им разные трудные и каверзные задачи, разные "парадоксы". Во-вторых, он непрерывно делился с сотрудниками и учениками своими соображениями и планами будущих работ, ставя перед ними вопросы, из которых вырастали научные исследования. При этом Л.И.Мандельштам искренне радовался, если его ученик проявлял работоспособность и особенно творческую инициативу в научной работе. Он был готов незаметным и деликатным образом отказаться от авторства в пользу своего ученика или сотрудника и умел придать его работе известный блеск и остроту, переакцентировав две-три формулировки и указав на новые следствия. Одновременно он никогда не забывал отмечать, если его ученик делал что-нибудь существенное самостоятельно" [14, с. 105].

Мандельштамом была создана сильная и продуктивная школа в Москве в 20—30-х годах — одна из первых советских физических школ, получившая широкую известность благодаря крупным результатам в области оптики, теории колебаний и теоретической физики. Ученики у Мандельштама были и раньше, но школы как таковой не было. Она начала формироваться вокруг него, когда ему было 46 лет, т.е. в возрасте, когда у многих физиков его ранга школы уже существовали. Как возникла школа Мандельштама? На этот вопрос следует искать ответы в его биографии.

Леонид Исаакович Мандельштам родился 4 мая 1879 г. в Могилеве в интеллигентной семье: отец — врач, мать — прекрасная пианистка, к тому же хорошо владеющая несколькими иностранными языками. Она оказала на сына большое влияние. Его развитие и обучение протекало своеобразно: только в 12 лет он поступил в третий класс гимназии, до этого занимался дома, обращая особое внимание на изучение языков. По словам близких, он долго сохранял детские черты. "Однако несомненно, что в нем рано

началась внутренняя работа, — писал Н.Д.Палалекси, — направленная на разрешение возникавших у него различных умственных затруднений в связи с вопросами механики, физики, математики. Стремление Л.И. к углублению и логическому анализу особенно ярко проявилось в последних классах гимназии, когда он заинтересовался различными вопросами математики, в частности геометрии, быть может даже несколько в ущерб общеобразовательным предметам. Здесь уже начали проявляться математические способности и острота ума Л.И." [14, с.6]. Окончив с медалью в 1897 г. гимназию, Мандельштам поступил на математическое отделение физико-математического факультета Новороссийского университета в Одессе, однако в 1899 г. был исключен из университета в связи со студенческими волнениями. Продолжал образование в Страсбургском университете, где были еще сильны традиции кундтовской школы, представляемой тогда К.Брауном и Э.Коном. Первый возглавлял кафедру экспериментальной физики и Физический институт, был замечательным педагогом и человеком, второй руководил кафедрой теоретической физики и был автором одного из первых курсов максвелловской электродинамики. В университете и институте существовала атмосфера подлинной научной школы, оказавшая благотворное воздействие на научное формирование молодого Мандельштама. Под влиянием Брауна, который заметил способности Мандельштама, последний вскоре начал исследования в области электромагнитных колебаний.

Первая его научная работа "Определение периода колебательного разряда конденсатора" (1902), она же докторская диссертация, была посвящена разработке косвенного метода изучения электромагнитных колебаний [180, т.1, с.67—90]. Работа представляла собой вполне зрелое оригинальное научное исследование в теоретическом и экспериментальном планах, в ней просматривались уже основные черты научного творчества, присущие позднему Мандельштаму. В 1902 г. Мандельштам был удостоен степени доктора философии Страсбургского университета и остался там работать в качестве ассистента у своего учителя Брауна, а в 1913 г. стал профессором.

Первое время Л.И.Мандельштам участвовал в лабораторных исследованиях и испытаниях новых приемно-передающих устройств, разработанных Брауном, руководил работами докторантов и приезжих стажеров, много работал над повышением своего научного уровня, в частности, глубоко изучал труды Г.Гельмгольца, Г.Герца, Л.Больцмана, Х.Лоренца и особенно классический труд Дж.Рэлея "Теория звука", совершенствовал свою математическую подготовку, проявлял живой интерес к истории физики и философии науки. Особенно сильное духовное влияние на Ман-

дельштама оказал Рэлей, "все качества творений" которого, как отмечал Н.Д.Папалекси, "отвечали стремлениям и особенностям ума Л.И. и вызывали в нем особый резонанс, были ему конгениальны" [14, с.10].

В 1904 г. появилась вторая работа Мандельштама "К теории передатчика Брауна" [180, т.1, с.91—100], а в 1906 г. — первое в длинном ряду исследование, выполненное с Н.Д.Папалекси, в котором они предложили новый метод получения электромагнитных колебаний, сдвинутых по фазе [180, т.1, с.101—108]. В результате в 1903—1906 гг. в основном завершилось становление Мандельштама-исследователя. На этом пути его учителями были непосредственно Браун и заочно Рэлей. "Время до 1907 г. ..., — писал Папалекси, — было для него годами расширения знаний, научного роста и созревания его таланта. В это время окончательно сформировались все основные черты его как ученого... Не подлежит никакому сомнению, что "атмосфера" электромагнитных колебаний, в которую попал Л.И., вступая в научную жизнь, сыграла очень большую роль в формировании основных направлений его научной деятельности и определила тот "колебательный" подход, который так характерен для его творчества" [14, с.10].

Период учебы Л.И.Мандельштама в университете и первых шагов в науке совпал во времени с завершающим этапом в развитии классической физики, являющимся переходным к современной физике. Этот этап был характерен ломкой многих устоявшихся теоретических положений и принципов и открытием новых фактов и явлений, объяснение которым классика была дать бессильна. 1895 г. — год открытия рентгеновских лучей и изобретения радио. В последующие годы началось интенсивное развитие этого нового направления использования электромагнитных волн как средства связи. И одним из пионеров родившейся радиотелеграфии наряду с А.С.Поповым, Г.Маркони, О.Лоджем, Дж.Флемингом, М.Вином и другими был К.Браун — создатель первой электронно-лучевой трубки (трубка Брауна), нового типа колебательного контура и многих типов антенн. Неудивительно, что Мандельштам стал активным последователем Брауна в области радиотехники, полностью отдавшись на начальном этапе исследованиям электромагнитных процессов.

Правда, уже с 1907 г. центр научных интересов Л.И.Мандельштама начал смещаться к изучению взаимодействия электромагнитных волн в широком диапазоне с веществом, в частности к исследованию распространения света в различных средах, т.е. оптике. Это в большей мере отвечало складу его разностороннего ума. "Однако глубокая, пытливая натура Л.И., стремившаяся к широкому обобщению, к охвату различных областей физики и выяснению их взаимной связи, по мере его научного роста не могла

длительно удовлетворяться изучением этой одной, хотя и весьма увлекательной, но все же сравнительно узкой области физики, — писал Папалекси. — Хотя интерес к вопросам колебаний и их разнообразным научным и практическим применениям, особенно радио, оставался живым всю жизнь, круг научных интересов Л.И. непрерывно расширялся и углублялся" [14, с.12].

И это расширение тематического диапазона его исследований было более чем естественно. Просто в разрабатываемой им радиотехнической области он разглядел такие идеи и представления, которые смог успешно экстраполировать на другие физические направления, анализируя их с колебательной точки зрения, или, как говорил сам, применяя к ним "интернациональный язык" теории колебаний. "Но именно потому, что Л.И. сумел в этой, казалось бы, специальной области (электромагнитных колебаний. — Ю.Х.) усмотреть широкие идеи и перспективы, — отмечал Г.С.Ландсберг, — он до конца дней своих продолжал неустанно работать в ней, развивая и углубляя ее и в то же время черпая там запас представлений и мыслей, которыми оплодотворялись другие области его работ, в первую очередь оптические исследования" [14, с.88].

Первые оптические работы Л.И.Мандельштама "Об оптически однородных и мутных средах" [180, т.1, с.109—124] и "К теории дисперсии" [180, т.1, с.125—130] относятся к 1907 г. В первой он показал некорректность теории молекулярного рассеяния света Рэлея, во второй — несостоятельность теории дисперсии Планка в объяснении ослабления света его рассеянием при прохождении через однородную среду и рэлеевского вывода по этому же вопросу, показав, что оптически однородная среда не рассеивает проходящий через нее свет.

В следующем году в двух статьях с одинаковым названием "К теории дисперсии" [180, т.1, с.162—169; 170—172] Мандельштам, полемизируя с Планком, убедительно доказал справедливость своей точки зрения в вопросе рассеяния света и указал на ошибку, допущенную им при вычислениях. "... Двумя различными путями я пришел к тому результату, что в оптически однородной среде такое рассеяние не может иметь места, — писал он. — Другими словами, я пришел к заключению, что планковская модель вообще не может дать никакого представления об ослаблении проходящей волны" [180, т.1, с.162]. Последующие исследования рассеяния света, проведенные А.Эйнштейном [307, т.3, с.216—236], М.Смолуховским [507] и Мандельштамом, показали, что причиной нарушения оптической однородности среды, через которую проходит свет, являются случайные флуктуации показателя преломления среды.

В идейном плане к этой концепции примыкает важная работа

Л.И.Мандельштама "О шероховатости свободной поверхности жидкости" (1913), в которой впервые рассмотрено отражение света от поверхности жидкости с учетом нерегулярного теплового движения молекул [180, т.1, с.246—260]. Согласно Мандельштаму поверхность жидкости не является идеально плоской вследствие теплового движения, а деформируется, что и приводит к возникновению наряду с регулярным отражением света при его падении на поверхность также диффузного (подобное явление на основе статистических представлений предсказал в 1908 г. также М.Смолуховский). Причем Мандельштам не только дал теоретический расчет шероховатости поверхности жидкости и диффузного отражения, но и выполнил некоторые опыты, качественно подтверждающие его статистическую теорию поверхностного рассеяния.

Оригинальны также работы Л.И.Мандельштама "О затухании собственных колебаний в светящихся парах натрия" [180, т.1, с.199—202] и "Излучение источника света, находящегося очень близко от границы раздела двух прозрачных сред" [180, т.1, с.261—272], основанные на идеях, перенесенных им в оптику из радиотелеграфии. В частности, сформулированный во второй работе (1914) принцип взаимности в дальнейшем нашел в школе Мандельштама широкое применение.

Из работ по оптике этого периода важны еще две, посвященные теории микроскопа. Как известно, классическую теорию образования изображений несамосветящихся объектов в микроскопе разработал в 1872 г. Э.Аббе. Мандельштам же показал, что в общем случае не слишком тонких структур самосветящийся объект ведет себя подобно равномерно освещенному со всех сторон несамосветящемуся объекту, что позволяет в определенных случаях применять к нему теорию Аббе [180, т.1, с.211—225]. В результате он впервые построил теорию изображения самосветящихся объектов (1911). В следующей работе Мандельштам развил (1912) математическую теорию оптических изображений, впервые используя в физической задаче интегральные уравнения [180, т.1, с.229—241].

В 1907—1914 гг. Л.И.Мандельштам проявил себя не только замечательным экспериментатором и теоретиком, завоевавшим авторитет среди радиоспециалистов и физиков вообще, но и талантливым лектором, прочитавшим ряд курсов по различным разделам физики. Он вел также занятия со студентами и докторантами. В результате у Мандельштама появилось много учеников. В этот же период окончательно завершилось становление Мандельштама как физика и, как писал Папалекси, "выявились все характерные черты его как ученого — глубокого теоретика и тонкого экспериментатора" [14, с.13]. Уже тогда, по словам Папалекси, Мандель-

штам "отличался особой остротой ума, глубиной и логичностью мысли, а также ясностью своих теоретических познаний" [14, с.18—19]. Завершению формирования Мандельштама как ученого способствовала не только его работа над собой и необычайно эффективная преподавательская деятельность, к которой он относился очень добросовестно и с большой ответственностью, но и общение (беседы, дискуссии) со своими старшими коллегами, выдающимися учеными и прекрасными людьми — физиками К.Брауном и Э.Коном, математиками Г.Вебером и Р.Мизесом, радиофизиком И.Ценнеком и др.

Летом 1914 г. Л.И.Мандельштам возвратился в Россию. Период 1915—1925 гг. был малоэффективным в его научном творчестве (об этом свидетельствует отсутствие публикаций), хотя некоторые идеи его последующих основополагающих работ зарождались именно в это время, в процессе его научных размышлений. К ним относится идея перенесения в оптику представления о модуляции колебаний (1918). В 1915 г. Мандельштам — приват-доцент Новороссийского университета, затем консультант радиотелеграфного завода в Петрограде, в 1917—1918 гг. — профессор Тифлисского политехнического института.

С осени 1918 г. Л.И.Мандельштам снова в Одессе, где принимал активное участие в создании политехнического института. В качестве заведующего кафедрой физ. ки он привлек для работы в институте Н.Д.Папалекси, И.Е.Тамма, М.А.Аганина, Б.Ф.Цомакиона, К.Б.Романюка и других и с ними организовал физическую лабораторию, поставил на должный уровень также лекционную работу и практические занятия. В тяжелых условиях гражданской войны и разрухи Мандельштам регулярно читал обязательные лекции, а для небольшой группы студентов прочитал курс теории колебаний. Ему удалось организовать и группу талантливых молодых ученых и студентов, ставших его первыми русскими учениками (И.Е.Тамм, К.Б.Романюк, Е.Я.Щёголев и др.).

В конце 1922 г. Л.И.Мандельштам переехал в Москву консультантом Радиолaborатории треста заводов слабого тока, а в начале 1924 г. — в Ленинград в связи с переводом и преобразованием ее в Центральную радиолaborаторию (ЦРЛ). Здесь совместно с Папалекси им были предложены новые способы радиотелефонной и радиотелеграфной модуляции, изучены вопросы стабилизации частоты, высокоселективные приемники и др. (еще в 1916 г. Мандельштам разработал абсолютный метод градуировки волномера, получивший широкое распространение). Однако все это время Мандельштама постоянно влекло к физическим исследованиям и преподавательской деятельности. Поэтому он с большим удовлетворением принял в 1925 г. предложение о переходе в Московский университет, где возглавил кафедру теоретической физики, а так-

же стал сотрудником Научно-исследовательского института физики, оставаясь до 1935 г. консультантом в ЦРЛ. Так начался самый продуктивный период в научной и педагогической деятельности Мандельштама, отмеченный необычайным взлетом его творчества и успехами в подготовке молодых физиков и создании чрезвычайно плодотворной научной школы.

В университете Л.И.Мандельштам довольно скоро стал ведущим ученым физического факультета, где на возглавляемой им кафедре и в институте развернул широкие теоретические и экспериментальные исследования в области рассеяния света, молекулярной физики, ультразвуки, теории колебаний, радиофизики. Широкую известность получили также блестящие лекции и семинары Мандельштама по фундаментальным физическим проблемам, влияние которых выходило далеко за рамки физического факультета. "В очень короткое время научный авторитет Леонида Исааковича и его исключительное личное обаяние, — писал Папалекси, — объединили в Научно-исследовательском институте физики при МГУ талантливых молодых ученых (Г.С.Ландсберг, И.Е.Тамм и др.), а его выдающиеся по содержанию и форме лекции и исключительно содержательные семинары, к которым Леонид Исаакович всегда очень тщательно готовился, привлекли к нему много талантливой молодежи — студентов и аспирантов. Под руководством Леонида Исааковича вдохновленные его научными идеями молодые ученые начали проводить исследования в различных областях физики — оптике, учении о колебаниях, молекулярной физике и др. и образовали большую научную школу..." [180, т.1, с.27—28].

В эти же годы к Л.И.Мандельштаму пришло и официальное признание его многочисленных научных заслуг. В 1928 г. он избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1929 г. — академиком, в 1931 г. ему присуждена премия имени В.И.Ленина. С 1934 г. Мандельштам — также научный сотрудник Физического института АН СССР, где активно участвовал в работе лабораторий колебаний и оптики, руководимых его ближайшими друзьями Н.Д.Папалекси и Г.С.Ландсбергом. Последнее вполне отвечало желаниям и складу характера Мандельштама, так как избавляло его от административных обязанностей.

Таким образом, с 1925 г. в научном творчестве и педагогической деятельности Л.И.Мандельштама начался качественно новый этап, с которым связаны его наиболее выдающиеся результаты в оптике и теории колебаний. Однако их истоки содержатся в более ранних его работах и идеях. Например, проблема рассеяния света, постоянно находившаяся в центре внимания Мандельштама, генетически восходит к его первым результатам в этой области, полученным еще в 1907 г. Затем внимание Мандельштама было при-

влечено теорией молекулярного рассеяния света Эйнштейна (1910) и теорией твердого тела Дебая (1912).

Согласно П.Дебаю твердое тело представляет собой изотропную упругую среду, которая может совершать колебания в широком диапазоне частот, иначе говоря, движение атомов в твердом теле можно представить совокупностью стоячих упругих волн, соответствующих различным нормальным колебаниям твердого тела, и тогда упрощенно энергия теплового движения есть энергия этих упругих (дебаевских) волн. С другой стороны, А.Эйнштейн рассматривал рассеяние света как результат дифракции на пространственных гармонических решетках, на которые можно разложить по Фурье неоднородности показателя преломления. Основная идея Мандельштама состояла именно в том, чтобы считать формальные решетки Эйнштейна дебаевскими волнами*. Но в дебаевских волнах в среде происходит временное изменение плотности, т.е. на языке радиофизики модуляция первичного света этими волнами.

Именно Л.И.Мандельштам, восприняв в полной мере радиофизическую идеологию в школе Брауна, перенес в оптику идею модуляции, в частности наличие модуляции рассеянного света собственными упругими (дебаевскими) волнами среды, рассеивающей падающий свет. На основе этих соображений Мандельштам в 1920—1921 гг. пришел к выводу (опубликовал лишь в 1926 г.), что рассеяние монохроматического света в среднем оптически однородной средой должно сопровождаться изменением его длины волны (частоты) и вычислил это изменение [180, т.1, с.280—285]. "Рассеянный в каком-нибудь отличном от направления падающей монохроматической волны свет состоит из дублета, — писал Мандельштам. — Частота (циклическая) каждой компоненты отличается от частоты падающей волны на величину $\delta\nu$, где $\frac{\delta\nu}{\nu} = \pm 2\frac{a}{c} \sin \frac{\theta}{2}$ " [180, т.1, с.283]. Здесь a — скорость звука в данной среде; θ — угол, образованный направлениями падающего (возбуждающего) и рассеянного света. Изменение спектрального распределения света при его рассеянии в кристаллах предсказал также Л.Бриллюэн, рассматривая вопрос о рассеянии света упругими волнами, опубликовавший свои результаты в 1922 г. [338]. Отсюда название явления — эффект Мандельштама — Бриллюэна.

Развернув на кафедре МГУ не только теоретические, но и экспериментальные исследования, Л.И.Мандельштам совместно с Г.С.Ландсбергом задался целью обнаружить на опыте предполагаемое и вычисленное им изменение длины волны рассеянного света, т.е. экспериментально обнаружить в спектре рассеянного света компоненты, смещенные относительно линии возбуждающего све-

* Как сообщил автору С.М.Рытов, про этот решающий шаг Мандельштам позднее сказал: "Сделать это было нелегко".

та и обусловленные модуляцией рассеянного света дебаевскими упругими волнами. Поиски этого эффекта (в плавленом кварце) привели Мандельштама и Ландсберга к открытию в 1928 г. принципиально нового явления — комбинационного рассеяния света [180, т.1, с.293—296].

"При изучении молекулярного рассеяния света в твердых телах, предпринятого нами для выяснения вопроса, имеет ли при этом место изменение длины волны, предполагать которое позволяет дебаевская теория теплоемкости, — писали они, — нами было открыто явление, представляющее значительный теоретический интерес. Явление это заключается в изменении длины волны рассеянного света, однако значительно большем, имеющем иной характер и иное происхождение, чем то, которое мы искали" [180, т.1, с.293]. Таким образом, авторы правильно поняли и природу открытого эффекта. "Было бы преждевременно пытаться дать окончательное теоретическое истолкование наблюдаемому явлению, — отмечали они в одной из первых своих публикаций. — Аналогия с комптоновским смещением (в красную сторону) бросается в глаза. Но механизм изменения длины волны должен быть по всей вероятности иной. Одно из возможных толкований могло бы быть следующим. При рассеянии света могут возбуждаться естественные инфракрасные колебания кварца за счет энергии рассеиваемого кванта. При этом энергия, а следовательно, и частота рассеиваемого кванта, должна уменьшаться на величину инфракрасного кванта, соответствующего собственным колебаниям кристалла" [180, т.1, с.295—296].

Первая публикация Л.И.Мандельштама и Г.С.Ландсберга об открытии ими названного выше эффекта появилась в немецком журнале "Naturwissenschaften" 13 июля 1928 г. и датировалась 6 мая 1928 г., вторая — в "Журнале Российского физико-химического общества" 10 мая 1928 г., хотя впервые линии нового эффекта они наблюдали еще осенью 1927 г. Однако на спектрограмме от 23—24 февраля 1928 г. линии нового эффекта были видны уже достаточно ясно. Только окончательно убедившись в результате разнообразных контрольных проверок в том, что ими открыто совершенно новое явление, и дав соответствующее предварительное и, как оказалось, в общем-то правильное его объяснение, Мандельштам и Ландсберг решились на официальную публикацию [275]. Индийские физики Ч.Раман и К.Кришнан, открывшие независимо этот же эффект в некоторых парах и жидкостях, наблюдали линии спектра нового излучения 28 февраля 1928 г., т.е. на несколько дней позже советских физиков, но сообщили в печати о своем открытии раньше — 31 марта 1928 г. [489], что и явилось формальным поводом для при-уждения Ч.Раману Нобелевской премии по физике за 1930 г.

В связи с этим следует отметить, что особая научная скрупулезность Л.И.Мандельштама, повышенная требовательность к достоверности получаемых им результатов и исключительная щепетильность были в высшей степени характерны для него как ученого и в то же время являлись адекватным выражением его общего морального статуса. Отвращение к скороспелости научных выводов и утверждений, отсутствие стремления к быстрым публикациям отмечались многими, знавшими его. "Исследования Г.С.Ландсберга и Л.И.Мандельштама всегда характеризовались особой тщательностью, обстоятельностью, глубоким пониманием изучаемого предмета и неторопливостью публикаций полученных результатов, — пишет И.Л.Фабелинский. — Более того, когда их работа была выполнена и даже написана для публикации, она не посылалась тут же в журнал, а убиралась на некоторое время в ящик письменного стола. А вдруг в голову придет еще какое-нибудь соображение или нужно будет что-нибудь уточнить или изменить оттенок какого-либо высказывания. И вообще нужно, чтобы все улеглось, установилось, после этого можно послать статью в печать. То, что делается теперь — поспешная публикация, чтобы "застолбить" наблюдаемое или только возможное открытие, — было противно стилю их работы. Точнее сказать, это было для них физиологически непереносимо" [275, с.6].

В 1928—1929 гг. Л.И.Мандельштам и Г.С.Ландсберг осуществили дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования открытого явления [180, т.1, с.305—317; 318—321; 322—323; 336—348]. В декабре 1929 г. они совместно с М.А.Леонтовичем разработали теорию молекулярного рассеяния света в кристаллах (классическую, с привлечением механизма модуляции), в которой рассеяние света в кристалле трактовалось как дифракция на упругих колебаниях кристалла и на этой основе рассматривались два случая рассеяния: первый, связанный с модуляцией рассеянного света частотами, принадлежащими к акустическому (дебаевскому) спектру кристалла, второй — с модуляцией частотами из области оптического (инфракрасного, или борновского спектра) [180, т.1, с.324—335]. В первом случае имеет место рассеяние Мандельштама—Бриллюэна, приводящее к наличию тонкой структуры спектральной линии рассеянного спектра, т.е. тот эффект, который первоначально искали Мандельштам с Ландсбергом, во втором случае — комбинационное рассеяние. Квантовую теорию комбинационного рассеяния света построил в 1930 г. И.Е.Тамм (независимо от Г.Плачека) [260]. Следует заметить, что это явление впервые было предсказано именно исходя из квантовых соображений А.Смекалем в 1923 г. [506] и подробно рассмотрено в 1925 г. Х.Крамерсом и В.Гейзенбергом в их теории дисперсии [447].

Возобновив эксперименты по поиску рассеяния света на акустических волнах, Мандельштам и Ландсберг получили в 1930 г. качественные доказательства изменения длины волны рассеянного света. Детальное исследование тонкой структуры линий рассеянного света с лучшей аппаратурой осуществил Е.Ф.Гросс (1930). Он подтвердил теоретическое предсказание Мандельштама и обнаружил существование резкого дублета Мандельштама—Бриллюэна при рассеянии в жидкостях [24]. Естественно, Мандельштам и Ландсберг осуществили ряд работ по изучению абсорбции ультраакустических волн в среде (П.А.Бажулин, М.А.Исакович), что, в свою очередь, указывало на необходимость увязки ультраакустических исследований с оптическими.

В 1936 г. Мандельштам совместно с Леонтовичем разработал релаксационную теорию затухания ультраакустических волн в жидкостях [180, т.2, с.170—175; 176—191]. В 1931 г. Мандельштам и Ландсберг открыли селективное рассеяние света [180, т.1, с.349—350], которое детально исследовали в 1935 г. [180, т.2, с.150—169], тогда же они обнаружили и резонансное рассеяние света. Работы Мандельштама с его сотрудниками и учениками по рассеянию света стимулировали многие оптические исследования и привели к возникновению ряда новых направлений.

Большое место в научном творчестве Мандельштама всегда занимали исследования в области теории колебаний. Начатые еще в Страсбурге, они первоначально относились к линейным колебательным системам. Это было связано с тем, что Мандельштам, следуя фундаментальному труду Дж.Рэлея "Теория звука", глубоко овладел классической теорией колебаний и, как писали впоследствии его ученики, "полностью унаследовал ту линейную колебательную культуру, энциклопедия которой содержится в сочинениях Рэлея, и старался передать ее следующему поколению" [14, с.32]. Интерес к проблемам линейной теории колебаний сохранялся у Мандельштама и в последующие годы.

Однако с использованием в радиоприемных и радиопередающих устройствах электронных ламп — нелинейных колебательных систем, свойства которых зависят от происходящих в них процессов, — в радиотехнике начинают интенсивно изучаться явления генерации незатухающих колебаний, которые линейная теория описать уже не могла. Это привело к возникновению учения о нелинейных колебаниях, т.е. таких, которые описываются уже нелинейными дифференциальными уравнениями. Именно широкое внедрение в радиотехнику в 1915—1925 гг. электронных ламп для генерации, усиления и преобразования колебаний привело к необходимости создания новых подходов и методов для анализа и описания колебательных процессов в н.линейных системах, существенно и принципиально отличающихся от линейных.

До начала 20-х годов работы в этой новой области велись главным образом в Германии под руководством Г.Баркгаузена, в 20-х годах основные работы были выполнены в Голландии Б.Ван дер Полем и в Англии Э.Эпплтоном. Однако эти исследования, дав ряд плодотворных идей, не привели к общей теории нелинейных колебаний.

С начала 30-х годов центр исследований по нелинейным колебаниям переместился в СССР, что явилось заслугой Л.И.Мандельштама и его школы. Первые его исследования в этой области (совместные с Н.Д.Папалекси), начатые еще в 1918—1920 гг. в Одессе, касались самовозбуждения и автоколебаний лампового генератора. Особенно они интенсифицировались в конце 20-х годов, когда Мандельштам в 1927 г. начал разворачивать эти работы в МГУ. В 1931 г. Мандельштам выступил на Всесоюзной конференции по колебаниям с докладом, в котором изложил широкий спектр вопросов нового нелинейного направления в теории колебаний. "Острее, чем кто-либо до него, Л.И. видит пропасть, отделяющую нелинейные задачи от привычных линейных, — отмечали его ученики. — Он подчеркивает необходимость не только решения отдельных задач, но и создания наряду с линейной колебательной культурой новой, нелинейной колебательной культуры, включающей надежный математический аппарат и физические представления, адекватные новым задачам, выработку нелинейной интуиции, годной там, где оказывается непригодной интуиция, выработанная на линейных задачах" [14, с.35].

Л.И.Мандельштам очень остро ощущал необходимость выработки нелинейного мышления, руководящих нелинейных теоретических концепций, которые дали бы возможность разобраться в широком круге сложных нелинейных процессов, необходимость строгого математического рассмотрения задач теории нелинейных колебаний. И эти цели, эта программа легли в основу его деятельности в области нелинейных колебаний. "Идеи выработки нелинейного мышления, опирающегося на твердую математическую базу, идея создания наглядных физических представлений и понятий, имеющих в своей основе адекватные нелинейным физическим объектам математические представления и понятия, является..., — писал А.А.Андронов, — основной идеей научного творчества Л.И.Мандельштама в области теории нелинейных колебаний" [14, с.107]. Разработка Мандельштамом новой, нелинейной идеологии, полученные им с Н.Д.Папалекси и их учениками конкретные результаты в этом направлении привели к созданию основ теории нелинейных колебаний, созданию или обоснованию основных методов этой теории, позволивших дать последовательную интерпретацию многим уже известным нелинейным процессам, а также предсказать и открыть ряд новых.

Как уже отмечалось, работы по нелинейным колебаниям Л.И.Мандельштам начал со своими аспирантами в МГУ в 1927 г. А.А.Андронов, решая поставленную Мандельштамом задачу создания для идеализированной модели лампового генератора строгой теории, которая описывала бы характерные процессы самовозбуждения и установления автономных колебаний в ней, не зависящих от начальных условий, нашел (1928) в работах А.Пуанкаре и А.М.Ляпунова основы математического аппарата, адекватного не только отдельным задачам, а всему циклу проблем нелинейных колебаний [20, с.32—33; 41—43]. Иными словами, А.А.Андроновым была найдена общая качественная теория нелинейных, в том числе сильнонелинейных систем, положившая начало выработке нелинейного мышления. Отталкиваясь от нее, он развил методы рассмотрения незатухающих колебаний в нелинейных автономных системах, построив строгую теорию автоколебаний [20, с.85—124].

Однако Л.И.Мандельштам не только разработал новый взгляд и новый подход на исследования нелинейных процессов, создав при этом новые понятия, терминологию, расчетные методы, но не меньшее значение имели и полученные им совместно с Папалекси конкретные результаты в этом направлении. В 1932 г. ими был открыт резонанс λ -рода и создана его теория [180, т.2, 13—62], обнаружено явление асинхронного возбуждения и дана его теория (1933) [180, т.2, с.70—84], построен (1931) генератор переменного тока, существенно отличный от предыдущих — так называемая параметрическая машина (теоретическое и экспериментальное изучение вопросов параметрического возбуждения электрических колебаний было начато ими с сотрудниками в ЦРЛ и НИИФ в 1927 г.) [180, т.2, с.85—116]. Важную роль сыграл предложенный Мандельштамом прием рассмотрения сильнонелинейных систем — так называемые условия скачка, лежащие в основе теории разрывных колебаний, который дал возможность А.А.Андронову, А.А.Витту и С.Э.Хайкину провести последовательный анализ процессов в мультивибраторе и иных релаксационных системах.

Из других методов, развитых и успешно используемых окружением Мандельштама при исследовании нелинейных систем, следует выделить метод припасовывания (впервые применен Папалекси в 1911 г.), метод малого параметра Пуанкаре ("открыт" Андроновым и затем развит им и Виттом), метод Ван дер Поля, или метод медленно меняющихся амплитуд (получил однозначную рецептуру применения благодаря Мандельштаму и Папалекси), Большое значение для формирования колебательной культуры, появления новых идей имели лекции и семинары Мандельштама по теории колебаний [180, т.4].

Вскоре благодаря усилиям Л.И.Мандельштама, Н.Д.Папалекси и их учеников теория нелинейных колебаний оформилась в самостоятельное направление и стала бурно развиваться. Был получен ряд фундаментальных результатов в этой области: построена строгая теория захватывания (А.А.Андронов, А.А.Витт и др.); дан анализ поведения систем для случая медленного изменения параметров (Л.И.Мандельштам, А.А.Андронов, М.А.Леонтович); выяснены условия, при которых периодическое изменение реактивных параметров системы приводит к возбуждению в ней колебаний с частотой, близкой к собственной частоте системы и жестко связанной с частотой изменения параметра (А.А.Андронов, М.А.Леонтович); разработана общая теория резонанса в линейных системах с периодически меняющимися параметрами (Г.С.Горелик); открыты и исследованы комбинационный резонанс и комбинационная синхронизация (В.В.Мигулин); резонанс 2-го рода в системах с несколькими степенями свободы (С.М.Рытов) и др. [241].

Исследования по нелинейным колебаниям конца 20-х — начала 30-х годов велись под общим методологическим и практическим руководством Мандельштама в НИИФе МГУ и ФИАНе в Москве, ЦРЛ, ЛЭФИ и Индустриальном институте в Ленинграде, Горьковском физико-техническом институте и были тесно связаны между собой, составляя по сути одно направление. Краткий обзор работ, выполненных в этих центрах, представлен в виде доклада конгрессу Международного радиофизического союза, состоявшемуся в сентябре 1934 г. в Лондоне, а в 1936 г. выпущен отдельной книгой "Новые исследования нелинейных колебаний" [180, т.3, с.89—177]. Она служила своеобразным отчетом о работах сформированной Мандельштамом в эти годы школы в области нелинейных колебаний. Ценным вкладом в литературу по колебаниям стала и книга А.А.Андропова, А.А.Витта и С.Э.Хайкина "Теория колебаний", сыгравшая большую роль в подготовке специалистов по рассматриваемому предмету, по ней не одно поколение физиков и инженеров изучало теорию нелинейных колебаний [21].

Все перечисленные выше результаты, а также многие другие, полученные Мандельштамом и его учениками, стали возможными, как отмечает В.В.Мигулин, "благодаря тому общему подходу к колебательным явлениям, который был развит Л.И.Мандельштамом. Эти идеи послужили фундаментом для всего дальнейшего развития работ созданной им школы теории колебаний, заслужившей мировое признание своими исследованиями нелинейных колебательных систем не только в радиотехнике, но и в механике, акустике и теории регулирования" [185, с.52].

Следует заметить, что на другом пути, начиная с 1932 г., Н.М.Крыловым и Н.Н.Боголюбовым и их учениками стала раз-

рабатываться асимптотическая теория нелинейных колебаний [140].

Таким образом, если в конце 20-х годов благодаря усилиям Л.И.Мандельштама, Н.Д.Папалекси, А.А.Андропова и А.А.Витта, теория нелинейных колебаний заявила о себе как самостоятельное научное направление, то в 30-х годах в школе Мандельштама она получила бурное развитие, и наша страна стала общепризнанным центром исследований в этой области. "Овладение строгими математическими методами и создание нового физического языка, совершенно отличного от линейно-спектрального языка классической теории колебаний, но способного точно и наглядно описывать свойства нелинейных систем, — отмечает С.М.Рытов, — это неразрывно связанные стороны развития физической теории, и обе они являются достижением советской научной мысли в области нелинейных колебаний" [241, с.1437].

Подход к трактовке колебательных процессов в различных системах, развитый в работах Мандельштама и его учеников, стал надежной основой для успешного построения теории и методов расчета современных устройств. Дальнейшее развитие теории нелинейных колебаний и ее приложений уже не только учениками Мандельштама, а и учениками его учеников открыло новые возможности для ее применения в различных областях науки и техники. Обзор исследований, проведенных в области нелинейных колебаний после 1935 г., содержится в работе [207].

Выдающимся достижением Л.И.Мандельштама и Н.Д.Папалекси является также разработка ими совместно с учениками радиоинтерферометрии — радиоинтерференционного метода исследования распространения радиоволн [180, т. 3, с.184—202]. В 1930 г. для измерения расстояний они предложили использовать фазовые методы, хотя сама идея применения для этой цели интерференции немодулированных радиоволн возникла намного раньше. В 1937 г. они совместно с Е.Я.Щёголевым создали интерференционные дальномеры, к этому же году относится и первая публикация результатов их радиоинтерференционных исследований [180, т.2, с.192—218]. В результате с высокой точностью измерены скорость распространения радиоволн вдоль земной поверхности и расстояния между различными точками [305]. На основе метода возникли и новые технические дисциплины — радиогодезия и радионавигация. В 1942 г. Мандельштам совместно с Папалекси обосновал возможность радиолокации Луны. В этом же году за цикл работ по радиоинтерферометрии они были удостоены Государственной премии СССР.

Все сказанное свидетельствует, что Л.И.Мандельштам органически соединял в себе наиболее характерные черты физика-теоретика, физика-экспериментатора и физика-прикладника. В области

чисто теоретической физики он исследовал принципиальные вопросы квантовой механики и теории относительности. Совместно с М.А.Леонтовичем он разработал (декабрь 1927 г.) теорию прохождения частицы через потенциальный барьер [180, т.1, с.286—292], в начале 40-х годов с И.Е.Таммом дал более общую трактовку соотношению неопределенностей "энергия — время" [180, т.2, с.306—315]. В идеях Мандельштама содержалась также матрица рассеяния (S -матрица), которая в квантовую теорию была введена в 1943 г. В.Гейзенбергом. Важное значение имела и его интерпретация (1939) косвенных измерений. Мандельштам сразу же понял физическое значение теории относительности и многое сделал для ее разъяснения и утверждения.

Если во многих вопросах радиофизики, оптики и теории колебаний Л.И.Мандельштам был пионером, то в квантовой механике он стремился внести максимальную ясность в ее основные понятия и положения. По словам Тамма, "Л.И. любил подчеркивать, что для развития науки важна не только работа пионеров, создающих новые концепции, в свете которых становится различным скрывающееся во мраке неизвестное, но и последующий критический анализ этих новых концепций, очищающий их от случайного и неверного и вносящий в них стройность, ясность и прозрачность, без которых невозможно дальнейшее продвижение" [14, с.133]. И этот, по Тамму, "чисто мандельштамовский по тонкости, глубине и ясности анализ основ квантовой механики", по-новому освещающий ряд фундаментальных проблем и дающий решение ряда спорных вопросов, был дан (1939) им в его лекциях по основам квантовой механики, посвященных ее ключевым, принципиальным вопросам — теории косвенных измерений [180, т.5, с.347—415].

Последний круг проблем связан с особым интересом Л.И.Мандельштама к вопросам теории познания. Правда, он избегал касаться их в своих лекциях и выступлениях, ссылаясь на то, что не является специалистом. Тем не менее этот интерес у него был и происходил из особенностей склада его ума и его истинно учительской натуры, натуры, остро интересующейся изучением, разбором и выяснением противоречий во взглядах на те или иные вопросы физики, парадоксов, разрешение которых двигает науку вперед. Полное понимание физической теории, как считал Мандельштам, достигается только тогда, когда в ней не остается места для неразрешенных парадоксов. К такому пониманию Мандельштам стремился всегда. Как отмечал Тамм, "его мастерский анализ кажущихся противоречий теории был всегда необычайно поучителен и плодотворен". Поэтому эти его лекции, содержащие в большинстве своем исторические обзоры, раскрывают также логику развития физических идей. "В истории развития науки боль-

шую роль играли противоречия взглядов — парадоксы, — писал Мандельштам. — Два рода взглядов вступают в конфликт, и он вызывает дальнейшее движение науки вперед, дающее разрешение этого конфликта” [180, т.5, с.9]. А парадоксы Мандельштам любил ставить и разбирать, они придавали его лекциям своеобразный, особый колорит, заставляли слушателей думать, а значит и формировали их физическое мышление.

“Лекции Л.И., — писал в этой связи Н.Д.Папалекси, — привлекали обширную аудиторию, состоявшую не только из студентов, аспирантов, молодых ученых, но также и крупных физиков. Секрет успеха лекций Л.И. был прежде всего в том, что он умел, как, быть может, никто другой, учить физически мыслить. Л.И. не просто сообщал факты и не просто размазывал некую цепь определений, постулатов и силлогизмов. Его лекции были полной противоположностью обычному, пусть даже совершенному в своем роде, формальному “гладкому” изложению. Л.И. никогда не обходил и не затушевывал трудностей. Наоборот, он всегда их подчеркивал — делал их “выпуклыми”, как он любил говорить, — и уже после этого с ними расправлялся, устраняя их без остатка силой своей изощренной и прозрачной мысли.

Лекции Л.И. были яркой и откровенной демонстрацией самого процесса физического мышления. В них видно было, как физик спотыкается о трудности, как на его пути накапливаются парадоксы и противоречия и как ему удается — иногда ценой умственного подвига, отказа от самых укоренившихся в человеческом мышлении привычек — высвободиться из противоречий и подняться на недоступную ранее высоту, откуда открываются новые горизонты. Ни одна деталь в лекциях Л.И. не была пресной, безжизненной, в каждом вопросе он умел находить и доводить до аудитории какую-то особую остроту и прелесть. Он не только приносил посредством безупречной логики соглашаться со своими утверждениями, но старался — и умел — найти общий язык со слушателями, убедить их “изнутри”, устраняя те трудно формулируемые психологические протесты, которые так часто в физике мешают пониманию. Все это вместе взятое создавало какую-то необыкновенную эмоциональную насыщенность, благодаря которой все услышанное от Л.И. доходило до самых глубин сознания” [14, с.51—52].

Преподавательская деятельность Л.И.Мандельштама представляла собой важную составляющую его научного творчества. Более того, как отмечают его ученики, у него нельзя было провести резкую черту между исследовательским процессом и преподаванием. Об этой характерной мандельштамовской особенности они писали: “... Его преподавание было насыщено теми идеями, теми характерными постановками вопросов, которые лежали в основе

его исследований. Часть попутных замечаний и отступлений, которых так много в его лекциях московского периода, была реминисценциями его работ. Другая часть этих замечаний и отступлений — это мысли, сложившиеся у него во время тех коренных изменений и ломок физического мировоззрения, современником которых он был и которые он так остро, активно и плодотворно переживал... Лекции и семинары Л.И. содержали также постановки вопросов, из которых возникали новые исследования; многие высказывания в этих лекциях и семинарах были по существу новыми научными результатами" [14, с.50].

Лекции и семинары Л.И.Мандельштама охватывали широкий спектр физических вопросов и составили в его полном собрании сочинений два последних тома и были переизданы в 1972 г. [181]. Они оказали большое влияние на повышение уровня преподавания физики в вузах нашей страны, способствовали формированию многих известных ученых. Мандельштам любил преподавание и оно, как уже отмечалось, органически воплощалось в его научном потенциале. Поэтому Мандельштам-учитель и Мандельштам-исследователь органично и естественно соединились в одном лице, вместе определяя наиболее характерные черты Мандельштама-ученого. Он удивительным образом знал, понимал и чувствовал классическую физику, ее большие возможности и в то же время ограниченность в объяснении многих явлений, что давало ему возможность на этом фундаменте видеть и понимать новое и быстро осуществлять необходимый переход к новым обоснованиям, новому мышлению. Эту точку зрения хорошо иллюстрируют слова самого Мандельштама, сказанные им во вступительной лекции к семинару по отдельным физическим проблемам (1938—1939).

"... Каково же соотношение между новыми воззрениями и классической физикой, — говорил он. — Конечно, здесь нет двух соперничающих физических систем. Положение не таково. Новые теории претендуют на то, что именно они правильно описывают явления. Однако это не значит, что классика потеряла свое значение... Классическая физика выросла из фактов, и если она долгое время нас удовлетворяла, то это не могло быть случайностью... Классика выступает сегодня как предельный случай новых, более общих теорий. Но когда, где и как происходит переход? Хотя предельные переходы известны и ясны, но не всегда достигается и чувство необходимости новых воззрений. Между тем знать и овладеть — это разные вещи. Поэтому мне казалось желательным выбрать несколько по возможности фундаментальных вопросов и на них показать, как и почему с необходимостью происходит переход к новым воззрениям..." [180, т. 5, с.337—338].

В этой связи вполне понятен его интерес и внимание к логи-

ческой структуре основных физических теорий, возникновению и трансформации физических понятий, взаимодействию старых и новых понятий, анализу и обоснованию теоретических схем, разрабатываемых для описания различных физических закономерностей. Иными словами, этот его последовательный интерес к общезначимым вопросам, к вопросам теории познания и истории науки является одной из основных черт его научного облика. Мандельштам прекрасно владел всей физикой, ощущая ее как единую, цельную, развивающуюся науку, легко и непринужденно переходил от обсуждения вопросов в одной ее области к другой. Как писал Андронов, "... в громадном здании физической науки для него не было закрытых комнат" [14, с. 102]. Более того, по словам того же Андропова, Мандельштам "ощущал все точное естествознание, включая математику и технику как единое развивающееся целое и не только подчеркивал взаимное влияние математики и физики, физики и техники и т.д., но хотел каждую новую вещь... понять и усвоить прочно как необходимую составную часть всей физики, всего точного естествознания". И дальше Андронов продолжает: "... Эта несравненная способность к далеко идущим сопоставлениям сочеталась у Л.И.Мандельштама с большой силой и остротой при конкретном исследовании, с умением преодолевать или обходить экспериментальные или вычислительные трудности" [14, с.102].

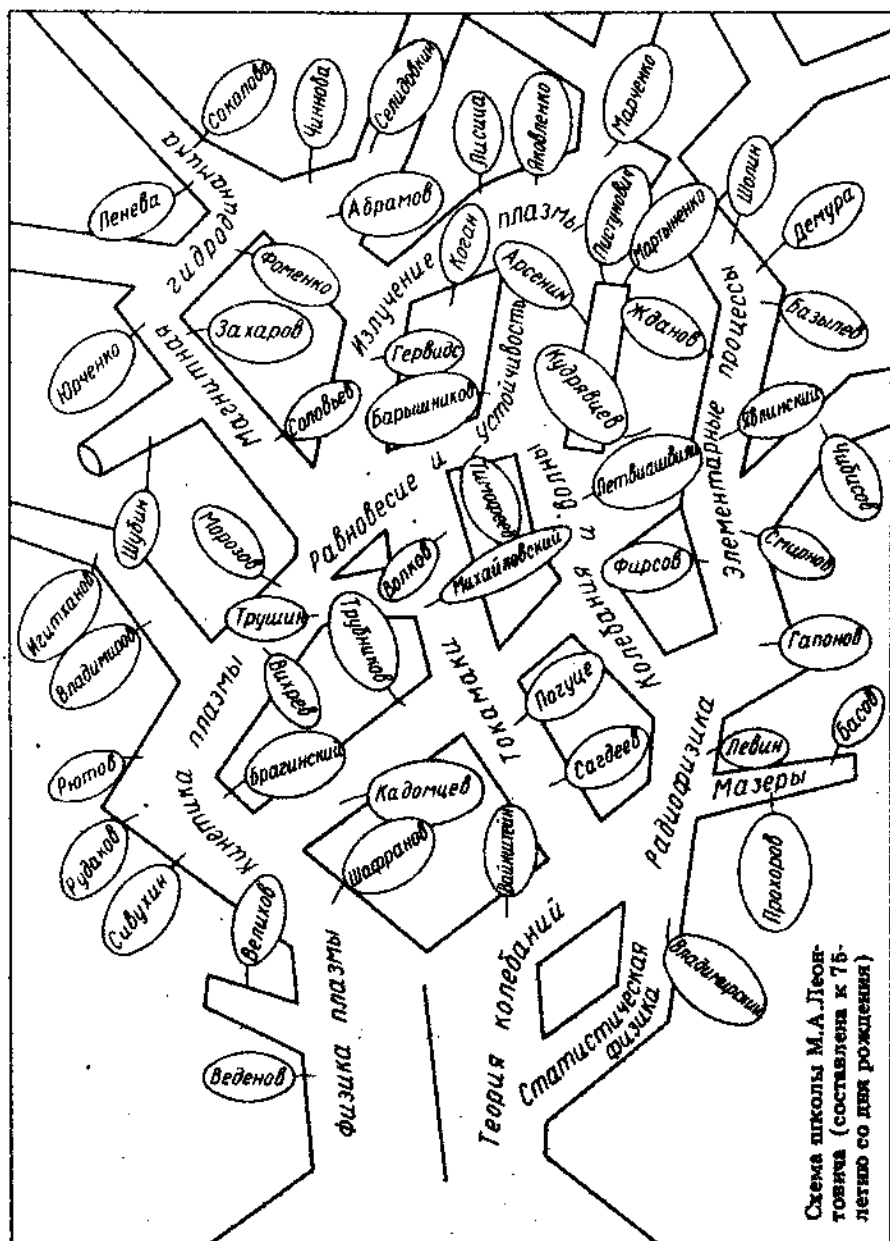
Исключительная разносторонность, многогранность Л.И.Мандельштама позволяли ему с каждым сотрудником или учеником вести свой, особый, специфический диалог, отвечающий научным интересам собеседника. А их у Мандельштама было довольно много и научные интересы их были довольно разнообразны.

Всеми круги исследуемых Л.И.Мандельштамом или рассматриваемых на лекциях и семинарах вопросов, в том числе новых, трудных для понимания и дискуссионных, присуща была особая ясность и прозрачность, достигаемая безупречной логикой изложения материала, простотой соображений, четкой аргументацией, правильностью формулировок, выделением главного. В качестве примера можно сослаться на новое, оригинальное изложение Мандельштамом основ квантовой механики (1939), проведенное им с большим блеском, логически непротиворечиво, на высоком уровне и внесшее ясность в принципиальные вопросы этой теории. "У Л.И.Мандельштама и в научной работе, и в преподавании было стремление устранять даже не совсем отчетливо сознаваемые трудности умозаключений, те психологические препятствия, которые часто мешают нам полностью принять те или другие выводы, как бы ни была неумолима логика, приводящая к этим выводам, — писал Андронов. — Он умел в этих случаях быстро понять, что именно затрудняет его собеседника..., а поняв, двумя-

тремя фразами "снять" все трудности, точно так же он всегда знал, какие выводы будут шокировать аудиторию, и заранее в соответствии с этим строил аргументацию... Аргументация самого Л.И.Мандельштама была неотразима. Он почти не был способен ошибаться в вопросах физики" [14, с.104].

Еще одной характерной чертой Л.И.Мандельштама было его редкое сочетание разнородных складов ума. О ней писал И.Е.Тамм, считая, что наиболее ярко она проявлялась в теоретических работах Мандельштама. "Одна из основных особенностей научного дарования Л.И., сообщавшая ему особую силу, заключалась, как мне кажется, — отмечал Тамм, — в редчайшем сочетании в одном человеке ума конкретного, геометрически пластичного и ума абстрактного, логически аналитического. С одной стороны, способность единым взглядом охватить сложное многообразие разнородных явлений, с предельной четкостью усмотреть в них черты сходства и различия и воссоздать все существенное в простой и наглядной модели, с другой стороны, острый интерес к конкретной индивидуальности физического явления. В этом истоки и необычайного искусства Л.И. в постановке экспериментов, и его исключительно плодотворной деятельности в области технической физики. И вот с этими свойствами ума "широкого" и "английского", по терминологии Дюгема, в Л.И.сочеталась необычайная сила и тонкость абстрактной логической мысли и необычайная глубина анализа принципиальных основ физической теории, восходящая к основным категориям мышления" [14, с.131—132]. И это редкое сочетание обычно взаимно исключających качеств стало одной из сильных сторон научного творчества Мандельштама, в котором, как писал Папалекси, "поражает гармоническое сочетание изумительного по глубине и тонкости логического анализа с поразительной силой интуитивного проникновения и редким экспериментальным чутьем" [206, с.19].

Талант крупного ученого и педагога, богатство мыслей и идей, личные качества привлекали к Л.И.Мандельштаму творческую молодежь и привели к созданию им в московский период большой научной школы, формирование которой осуществлялось им на лекциях и семинарах, беседах, при проведении совместных исследований со своими учениками, а также работ, выполняемых под его непосредственным научным руководством или им инициированных, в процессе обсуждения их результатов. "Л.И. принадлежал к тем ученым, которые в подлинном смысле сами горели страстью к науке и заражали ею других, — писал Н.Д.Папалекси. — Вокруг Л.И. создавалась многочисленная школа талантливейшей молодежи. Вдохновленные его идеями эти молодые ученые продолжают творчески развивать созданные Л.И. новые направления в науке и технике" [206, с. 19].



Эти талантливые молодые ученые, аспиранты и студенты, группировавшиеся в основном в Москве вокруг Мандельштама, и составили его научную школу. Ее представляют А.А.Андронов, А.А.Витт, Г.С.Горелик, М.А.Дивильковский, Г.Д.Малюжинец, В.В.Мизгулин, С.М.Рытов, П.А.Рязин, С.П.Стрелков, К.Ф.Теодорчик, М.И.Филиппов, С.Э.Хайкин (теория колебаний), Г.С.Ландсберг, П.А.Бажулин (оптика), М.А.Леонтович, И.Е.Тамм, С.П.Шубин (теоретическая физика), И.М.Борушко, К.Э.Виллер, В.П.Гуляев, Э.М.Рубчинский, Е.Я.Щёголев (радиофизика), М.А.Исакович (молекулярная физика) и др. Ряд из них стали учениками Мандельштама еще в домосковский период (Одесса, Ленинград), а некоторые, специализирующиеся в теории колебаний и радиофизике, являются общими учениками с Папалекси. Следует заметить, что поэтому можно говорить и о радиофизической школе Мандельштама — Папалекси.

Школу Л.И.Мандельштама отличало глубокое проникновение в физическую сущность рассматриваемых явлений, умение четко сформулировать проблему, чрезвычайная требовательность к достоверности получаемых результатов.

Одну из характерных особенностей мандельштамовской школы отмечает И.М.Франк. "В молодости мне посчастливилось в том отношении, что уже в студенческие годы я попал в среду, в которой истинно научное влияние воспринималось особенно интенсивно и разносторонне..., — пишет он. — Была, однако, особенность, характерная для всей этой школы — это непрерывное научное общение. Вопросы теории и результаты эксперимента неизменно и постоянно обсуждались, и эти разговоры (они происходили и вне научных семинаров), частые и длительные, никто не считал потерей времени. Первое время мне казалось удивительным, что столь выдающиеся люди часы своего драгоценного времени, в которые могли бы сделать нечто замечательное, тратят на разговоры, в которых немалое внимание уделяется тому, что не получилось или оказалось ерундой. В то время я не понимал и того, что в этих беседах часто излагались новые идеи задолго до их опубликования и, разумеется, без опасения, что их опубликует кто-то другой. Притом никто не жалел усилий, чтобы помочь формированию нового в понимании, совершенно не думая о соавторстве. В той моральной атмосфере, которая была свойственна школе Л.И.Мандельштама, это было более чем естественно" [60, с.248].

Вдохновляемая идеями Л.И.Мандельштама школа творчески развила созданные им направления в физике и технике и инициировала новые [229], а его ученики И.Е.Тамм [78], А.А.Андронов [38] и М.А.Леонтович [444] создали собственные широко известные научные школы.

Выдающийся советский физик и организатор науки в нашей стране С.И. Вавилов известен и как крупный воспитатель научных кадров-физиков, создатель большой школы в области люминесценции [48, 126, 168, 278]. "Являясь выдающимся ученым, С.И. понимал, что силами одного человека наука не может успешно развиваться, что в науке, как и в других областях человеческой деятельности, исключительное значение имеет коллективный труд; он всегда уделял исключительное внимание созданию новых научных кадров, — писал ближайший сотрудник Вавилова В.Л. Лёвшин. — С.И. сплачивал вокруг себя научных работников, создавал из них большие научные коллективы и особенно много потрудился над созданием советской школы физиков, работающих в области люминесценции" [166, с. 513].

Где бы Вавилов ни работал, вокруг него быстро формировались научные коллективы из молодых ученых, он удивительно легко привлекал к себе многочисленных учеников и последователей. Причем эта его постоянная работа по воспитанию кадров была необычайно многогранна: она осуществлялась им в роли непосредственно научного руководителя аспиранта или докторанта, лектора перед широкой студенческой аудиторией, старшего коллеги в лаборатории. Наконец, в конце 40-х годов уже в ранге президента АН СССР, он улучшал дело подготовки научных кадров в стране через аспирантуру и докторантуру, осуществив, в частности, реорганизацию последней.

"С.И. Вавилов был человек большой силы, редкой энергии, твердый и непреклонный, неутомимый ученый-исследователь, замечательный организатор, умевший разрешать труднейшие задачи", — писал И.П. Бардин [106, с. 153].

В воспоминаниях друзей, коллег и учеников С.И. Вавилов предстает человеком неординарным, необычайно увлеченным наукой, человеком исключительной одаренности и эрудиции, широких научных интересов, большого организаторского таланта и научного предвидения, высокой душевной культуры, личного обаяния и скромности, огромной работоспособности, внутренне дисциплинированным, ответственным и целеустремленным, человеком слова и долга, искренним, внимательным и доброжелательным, простым и доступным.

"Каждая встреча, каждый разговор с Сергеем Ивановичем всегда оставляли впечатление чего-то значительного и необыкновенно интересного, — вспоминал Г.П. Фаерман. — Этому способствовали, конечно, его глубокий ум, высокая культура, разносторонняя эрудиция и исключительные мягкость и деликатность в общении с людьми. Пытаясь как-то систематизировать и обоб-

щать свои воспоминания о С.И.Вавилове, я обнаруживаю, что особое впечатление на меня всегда производили его работоспособность, стиль научного руководства и отношение к людям" [246, с. 215].

Это же отмечал и Н.А.Толстой. "Общение с Сергеем Ивановичем Вавиловым производило впечатление на каждого, кому приходилось встречаться с ним в деловой обстановке или в домашнем кругу, — писал он. — Трудно решить, что именно составляло секрет его обаяния — ясность ли и глубина его ума, опирающегося на феноменальную память, чуткость ли к малейшему зародышу плодотворной научной мысли, высказанной собеседником, поразительная ли энциклопедичность его знаний или угадываемая за несколько суровыми манерами глубокая доброта к людям. Пожалуй, секрет был в сочетании этих черт" [267, с. 5].

Как правило, на тех, кто впервые сталкивался с С.И.Вавиловым, сильное впечатление производили его необыкновенная скромность, простота и доброжелательность. "Впечатление удивительной простоты Сергея Ивановича осталось у меня на всю жизнь, — вспоминал В.И.Векслер. — Впоследствии я много раз убеждался, что простота в обращении со всеми людьми независимо от их рангов, ученых званий и возраста, постоянная доброжелательность к людям были наиболее привлекательными чертами Сергея Ивановича как человека" [246, с. 186].

Однако это отнюдь не означало, что С.И.Вавилов был эдаким добреньким и деликатным интеллигентом. Человек высоких интеллектуальных и моральных устоев, он умело сочетал доброжелательность с большой требовательностью, общительность со сдержанностью, умение искренне радоваться научным успехам других со здоровым честолюбием, чувство самоуважения и собственного достоинства с исключительной скромностью и простотой в обращении с людьми разных званий и положений, отзывчивость с твердостью в принципиальных вопросах, организованность с нетерпимостью к внутренней недисциплинированности и лени ума, конкретность и содержательность с неприязнью к словесной шелухе. "...Исключительная обаятельность, отзывчивость и сердечность... у него гармонически сочетались с твердостью и принципиальностью...", — отмечал Б.А.Введенский [53, с. 326]. Это же подчеркивает и Н.А.Добротин: "Прежде всего Сергей Иванович замечательным образом умел сочетать доброжелательность, готовность всегда прийти на помощь и просто огромную человеческую доброту с большой требовательностью и нетерпимостью по отношению к отлынивающим от работы. Главное, что воспитывал в своих учениках Сергей Иванович, — это любовь к выполняемому делу, чувство долга и желание работать, работать и работать, не щадя своих сил" [246, с. 227].

Эта идея сочетания вызывает еще большее удивления и восхищение, если вспомнить, что С.И.Вавилов очень удачно соединял в себе ученого и учителя, руководителя и организатора науки, историка науки и научного публициста, государственного и общественного деятеля.

Сергей Иванович Вавилов родился 24 марта 1891 г. в Москве в купеческой семье. "Обе семьи, и отцовская и материнская, были талантливыми и незаурядными (по общему русскому масштабу), — писал Вавилов в своих воспоминаниях. — Деловитость, организационные таланты, склонность к искусству — все это было у предков и родственников в большой дозе" [246, с. 81]. Именно от этих корней берут истоки и многие черты его характера, в частности, умение организовать свою работу и направлять работу других.

Интерес к физике у С.И.Вавилова появился еще в школе, здесь же проявилась и другая его страсть — любовь к книге, которой как и первой, он не изменял до конца жизни, особенно к книге редкой, оригинальной. Это была не просто любовь книголюба к редкой или хорошо изданной книге: книга была для него инструментом познания мира, овладения духовным наследием многих эпох. Отсюда и его удивительно огромная эрудиция, профессиональное знание истории науки и культуры, свободное владение многими языками. Большое влияние на С.И.Вавилова оказал его брат Н.И.Вавилов впоследствии выдающийся советский генетик.

В 1909 г. С.И.Вавилов поступил на физико-математический факультет Московского университета, который окончил в июне 1914 г. Однако уже осенью 1911 г. еще студентом второго курса он начал работу в лебедевской лаборатории университета им. А.Л.Шанявского, куда тот перешел после ухода из Московского университета. Именно здесь Вавилов выполнил свою первую научную работу по изучению фотохимических процессов (тепловое выцветание красителей) и участвовал в коллоквиумах.

"Среди молодежи быстро выдвинулся Вавилов, — писал об этом времени его коллега-студент Э.В.Шпольский. — Блестящие способности, позволившие ему легко и быстро ориентироваться в сложных научных вопросах, прекрасное знание иностранных языков, горячий интерес к науке и бьющая через край энергия — все это делало его активнейшим участником коллоквиумов. Его частые выступления в качестве докладчика всегда были интересны и вместе с тем ярко обнаруживали его быстрый рост" [246, с. 22].

Этот же период жизни С.И.Вавилова описал его товарищ С.Н.Ржевский: "В стенах этой лаборатории Сергей Иванович сделал

первый опыт организации самостоятельного физического коллоквиума, в котором охотно приняли участие многие молодые физики... И вот сейчас я почти не верю своим воспоминаниям о первых научных докладах Сергея Ивановича в студенческие годы. Он совершенно не умел владеть речью, произносимые слова неразборчивы, смысл выступления с трудом воспринимался слушателями. Но всех нас пленила его эрудиция, умение подсказать пути исследования и литературные данные в самых разнообразных вопросах, желание создать атмосферу коллективной научной работы. В дальнейшем путем практики и сознательных усилий Сергей Иванович достиг совершенных форм лекторского и ораторского мастерства" [246, с. 140--141].

С.И.Вавилов осознанно готовил себя к научной деятельности, упорно и много работал над собой, развивая все грани своего разностороннего таланта и богато одаренной натуры. Он активно включился в работу лебедевской лаборатории, страстно воспринимая под руководством своего наставника П.П.Лазарева стиль, дух, методы работы и традиции школы Лебедева. Именно отсюда берут свое начало истоки его оптических интересов.

После окончания университета в июне 1914 г. С.И.Вавилов отклонил предложение остаться для подготовки к профессорскому званию. Он был призван в армию и направлен на фронт, где находился в действующей армии в течение всей войны. В 1918—1929 гг. Вавилов — заведующий отделом физической оптики Института физики и биофизики, возглавляемого П.П.Лазаревым, с 1919 г. преподавал в ряде московских вузов, в частности с 1919 г. — приват-доцент Московского университета, с 1929 г. — заведующий организованной им кафедрой общей физики. В институте Вавилов выделялся своей эрудицией, разносторонностью знаний, склонностью к научным дискуссиям, он организовал и оптический семинар.

В течение последующих нескольких лет его научная и педагогическая деятельность проходила в Московском университете, где он со свойственной ему энергией и увлеченностью занимался вопросами постановки преподавания физики, организацией специального практикума, активизировал научные исследования. У него появилась возможность привлекать для работы в лаборатории научную молодежь из числа окончивших физический факультет и студентов старших курсов. Вокруг Вавилова быстро сложился коллектив молодых физиков — И.М.Франк, Е.М.Брумберг, В.В.Антонов-Романовский, А.А.Шишловский и др.

Этот период описал товарищ Вавилова по лебедевской лаборатории Т.П.Кравец. "Важным этапом роста С.И. как педагога-руководителя было сосредоточение им своей работы в Московском государственном университете, — пишет он. — Ответственная

работа в университете, по-видимому, давала большое удовлетворение С.И., который развернул здесь во всю ширь свои творческие способности. Приемы привлечения к работе учеников, приемы руководства ими были ему хорошо знакомы с его собственных юношеских шагов: коллоквиумы, беседы с учениками, близость с ними, чтение специальных курсов — все это было им использовано в полной мере. При его прирожденном таланте успех, которого он достиг в короткое время, можно считать и понятным и естественным. Здесь выросли первые ученики С.И., создалась его школа, представители которой нам хорошо известны; они дружной семьей окружали С.И. до последнего дня его жизни" [139, с. 11].

В 1931 г. С.И.Вавилова избрали членом-корреспондентом АН СССР, в следующем году — академиком. Именно 1932 г. оказался для него переломным. В этом году он, по предложению Д.С.Рожественского, становится научным руководителем Государственного оптического института, а также был назначен руководителем физического отдела Физико-математического института им. В.А.Стеклова АН СССР. Эти назначения заставили Вавилова переехать в Ленинград, хотя связь с МГУ он и в этот период не прерывал, продолжая ежемесячно на несколько дней приезжать в Москву для работы с аспирантами и молодыми сотрудниками. В Ленинграде учениками Вавилова стали П.А.Черенков, С.Н.Вернов, Н.А.Добротин, И.А.Хвостиков, Л.В.Грошев, А.Н.Севченко и другие, несколько позднее к ним присоединились П.П.Феофилов, Н.А.Толстой, А.М.Бонч-Бруевич и др.

Осенью 1934 г. после переезда Академии наук СССР из Ленинграда в Москву физический отдел преобразовался в Физический институт АН СССР, которому, по предложению С.И.Вавилова, было присвоено имя П.Н.Лебедева. Директором был утвержден С.И.Вавилов, под руководством которого институт превратился во всемирно известный ФИАН. Здесь проявилась широта подхода С.И.Вавилова к организации научной работы, его дальновидность, ясное видение тенденций развития науки, ее отдельных направлений. Он не сосредоточил работы института на близких ему вопросах физической оптики, в частности, люминесценции, а сделал его учреждением широкого профиля, в котором фундаментальные работы по основным физическим направлениям тесно увязывались с прикладными. По инициативе Вавилова широкое развитие в ФИАНе получили исследования по ядерной физике (И.М.Франк, П.А.Черенков, Л.В.Грошев и др.). В институт Вавилов привлек многих ведущих физиков — Н.Н.Андреева, Г.С.Ландсберга, М.А.Леонтовича, Л.И.Мандельштама, Н.Д.Папалекси, Д.В.Скобелевну, И.Е.Тамма, Г.И.Блохинцева, В.Л.Лёвшина, С.Н.Ржевкина и др., а также талантливую молодежь —

В.И.Векслера, С.Л.Мандельштама, В.В.Антонова-Романовского, М.Д.Галанина, М.А.Константинову-Шлезингер, М.Н.Аленцева и др. Сам Вавилов руководил работой многих аспирантов и докторантов.

Работа С.И.Вавилова на посту руководителя ГОИ (1932—1945) и ФИАна (1932—1951) была необычайно плодотворна. Кроме общего научного руководства институтами, решения научных и практических задач, он создал в них лаборатории люминесценции, в которых и проходила его дальнейшая неослабевающая научная деятельность и работа по воспитанию молодых физиков. В 1932 г., оставив преподавание, шедшее у него с таким успехом, он методом своей работы с молодежью избрал научное руководство ею в лабораториях, которые и стали основой дальнейшего пополнения и развития его школы в области люминесценции.

Трудами С.И.Вавилова и его учеников был достигнут существенный прогресс в учении о люминесценции. Правда, исследованием этого явления занимались задолго до Вавилова, но преимущественно в описательном плане. Люминесценция в форме флуоресценции впервые была открыта в 1675 г. испанским ботаником и физиологом Н.Монардезом, хотя данные свидетельствовали и о том, что люминесценция минералов была известна в Китае еще в X ст. В 1603 г. итальянец В.Каскариолло обнаружил фосфоресценцию. Примерно в конце XVI — начале XVII ст. зародилось лабораторное изучение люминесценции. В дальнейшем ее исследовали Г.Галилей, Р.Бойль, И.Ньютон, Л.Эйлер, М.В.Ломоносов, И.Бошкович, В.В.Петров, Д.Брюстер и др. Однако эти исследования были спорадическими, имевшими целью решение задач, не связанных с существом явления. К тому же отсутствие технических приложений этого явления также задерживало ее изучение. Первые систематические исследования люминесценции были начаты в середине XIX ст. А.Э.Беккерелем и Дж. Стоксом и продолжены Э.Ломмелем, Э.Видеманом, Ф.Ленардом и др. Беккерель выполнил широкий цикл исследований: разработал научную классификацию явлений фосфоресценции, установил некоторые закономерности затухания ее излучения, независимость его спектра от спектра облучения, зависимость интенсивности фосфоресценции от температуры. Стокс в 1852 г. сформулировал правило, согласно которому длина волны света люминесценции всегда больше длины волны возбуждающего света (правило Стокса), т.е. максимум спектра люминесценции сдвинут в сторону длинных волн по отношению к спектру поглощения. Однако оно оказалось справедливым лишь для некоторых веществ и в 1879 г. было уточнено Э.Ломмелем. Правилу Ломмеля подчинялось значительно большее количество веществ. Кроме того, оно предусматривало возможность возникновения свечения с меньшей длиной волны, чем длина волны возбуждающего излучения (антистоксовская люминесценция). В 1888—1889 гг. Э.Видеман дал первое заслуживающее внимания определение (феноменологическое) люминесценции и ввел термины для неравновесных процессов излучения. Согласно Видеману люминесценция есть превышение излучательной способности тела в данном спектральном интервале над излучательной способностью равновесного процесса. Однако несмотря на отдельные систематические исследования Петрова, Беккереля, Стокса, Ломмеля, Видемана, Ленарда, открытие ряда закономерностей люминесценции последняя, по словам Вавилова, "оставалась изолированным островом физики, без органической связи не только с другими ее разделами, но даже и с прочими главами оптики" [48, т. 2, с. 335].

Попытки объяснения люминесценции берут свое начало от Галилея, Ломоносова, Эйлера, Бошковича и др. Но характерная черта всех теоретических построений до XX ст. состояла в том, как отмечал Вавилов, "что

их авторы волей-неволей ограничивались произвольно избранным кругом явлений, закрывая глаза на остальное. Изолированное от остальной физики, учение о люминесценции само, внутри себя, распадалось на отдельные, почти не связанные части... Внутреннему упорядочению и слиянию отдельных частей мешало отсутствие совершенно необходимых "не классических" представлений квантовой физики и учения о строении вещества. С другой стороны, полная оторванность люминесценции от практических запросов и техники лишила эту область знаний могучего настоящего влияния практического фактора" [48, т. 2, с. 336]. Лишь в начале XX ст. учение о люминесценции стало оформляться в самостоятельный раздел физической оптики.

Таким образом, до С.И.Вавилова учение о люминесценции представляло просто некоторую совокупность разрозненных опытных фактов и наблюдений, эмпирических или полуэмпирических выводов и правил. Вавилову был чужд описательный подход к изучению явлений. Его всегда интересовало не наблюдение и описание процесса, а его сущность, механизм, разработка количественных методов исследования явления. "Отличительная особенность научной работы Вавилова и созданной им школы состоит в том, — отмечает П.А.Черенков, — что центр внимания в изучении люминесценции был перенесен на выяснение природы и закономерностей элементарных актов, и тем самым был создан более глубокий фундамент этой науки" [246, с. 194—195].

Вообще для научной деятельности С.И.Вавилова характерно умение выделять главное, ставить и решать основные, принципиально новые, важные и перспективные физические проблемы, глубокое проникновение в сущность исследуемых явлений, их всесторонний анализ, позволяющий связывать многие разрозненные и, казалось бы, противоречивые факты, в единую стройную систему, неразрывное единство теории и практики, широта научных интересов и живость мысли, умение соединять историю физики с современными идеями и вопросами. "В своих теоретических и экспериментальных исследованиях С.И. обращал внимание на решение важнейших, ключевых вопросов исследуемой области, — писал В.Л.Лёвшин. — Темы, служившие для накопления научного материала, не привлекали его внимания. В работах практического значения он требовал широкой постановки вопроса и тесной, непосредственной связи проводившихся исследований с промышленностью; он требовал доведения этих работ до возможности их внедрения в практику и не жалел энергии для проведения этого внедрения" [166, с. 513].

Эти особенности научного творчества С.И.Вавилова подчеркивал и Э.И.Адирович: "Две черты наиболее характерны для научного творчества С.И.Вавилова: умение ставить и решать основные, принципиальные и новые вопросы в науке и неразрывная связь науки с практикой. Очень многие научные результаты С.И.Вавилова нашли широкий выход в практику. В технических задачах, в явлениях обывденной жизни Сергей Иванович умел

видеть глубокое физическое содержание, умел раскрывать фундаментальные научные проблемы" [11, с. 12]. Все вавиловские работы отличаются глубиной постановки вопросов, тонким проведением эксперимента, умелым теоретическим построением. В каждой из них всегда была поставлена ясная и четкая задача. Характерное для многих работ по люминесценции изучение зависимостей тех или иных параметров излучения от различных факторов не доминировало в работах Вавилова, а всегда подчинялось определенной, четко сформулированной идее и, как правило, было призвано дать ответ на конкретно поставленный вопрос. В связи с этим, как отмечал П.П.Феофилов, у С.И.Вавилова выработался экономный стиль работы, заключающийся в выборе наиболее принципиальных вопросов современной ему физики, в стремлении к простым по своей постановке опытам, и глубокому анализу получаемых данных.

Исследования С.И.Вавилова относились к физической оптике, главным образом люминесценции, где они, по словам Лёвшина, "составили целую эпоху". Он открыл ряд важнейших закономерностей. "И если в настоящее время область люминесценции в конденсированных системах принадлежит к числу хорошо изученных и относящиеся к ней явления в основных чертах выяснены, — писал Э.В.Шпольский, — то весьма значительная заслуга в этом принадлежит С.И.Вавилову и его ученикам" [246, с. 28—29]. Работы Вавилова были посвящены определению выхода свечения фотолюминесценции, поляризованной люминесценции, длительности возбужденных состояний молекул, теории люминесценции растворов, практическому применению люминесценции. Он достаточно четко сформулировал проблему о законах преобразования света при взаимодействии его с атомами и молекулами вещества и занимался ее изучением до последних дней своей жизни. Его интересовала принципиальная сущность явлений, лежащих в основе люминесценции.

Как уже упоминалось, интерес С.И.Вавилова к оптике возник еще в лебедевской лаборатории, где под руководством Лазарева выполнил первую экспериментальную работу "К кинетике теплового выцветания красителей", доказавшую существование изменения красителей под влиянием тепла и света, установив константы теплового выцветания различных красителей (опубликована в 1914 г.) [48, т. 1, с. 51—64]. Первое же исследование в области люминесценции "Зависимость интенсивности флуоресценции красителей от длины волны возбуждающего света" Вавилов завершил осенью 1921 г. [48, т. 1, с. 105—117]. Оно было посвящено изучению энергетики процесса люминесценции и положило начало обширному циклу его работ в этом направлении. В ней впервые введено понятие выхода люминесценции как от-

ношения энергии люминесценции к поглощенной, возбуждающей энергии (под названием "удельная флуоресценция", в последующих работах заменено на термин "выход люминесценции"), являющееся характеристикой наиболее важного свойства люминесцирующих тел — способности к спектральному преобразованию света, эффективности трансформации возбуждающего излучения в свет люминесценции.

В 1923—1924 гг. С.И.Вавилов осуществил исследование по определению абсолютной величины выхода люминесценции [48, т. 1, с. 150—156]. С помощью разработанного спектрофотометрического метода он показал, что для типичных люминесцентных веществ, например растворов флуоресцеина, выход люминесценции достигал 0,78, т.е. 78 % поглощаемой раствором энергии превращалась в энергию света люминесценции. Этими измерениями Вавилова была доказана ошибочность бытовавшего в то время мнения, что люминесценция является малозффективным процессом, побочным к основному — превращению поглощаемой световой энергии в тепло. Напротив, работа Вавилова ясно доказывала, что для разбавленных растворов некоторых красителей выход люминесценции может достигать очень больших абсолютных значений и люминесценция является основным процессом, использующим большую часть энергии возбуждающего излучения для превращения ее в световую энергию иного спектрального состава. В результате эта работа Вавилова заставила не только пересмотреть точки зрения на процесс люминесценции, но и имела большое значение для развития учения о люминесценции как важного раздела физической оптики.

В дальнейшем С.И.Вавилов в дополнение к энергетическому выходу ввел вторую фундаментальную характеристику процесса люминесценции — квантовый выход — как величину, равную отношению числа испущенных квантов света люминесценции к числу поглощенных квантов возбуждающего света. Понятия выхода люминесценции, впервые введенные Вавиловым, оказались весьма эффективными в теории люминесценции, а дальнейшие его экспериментальные исследования с учениками заложили основы энергетики этого явления.

Естественно, что, введя понятие выхода люминесценции, С.И.Вавилов попытался выяснить его зависимость от различных факторов. В 1925 г. он исследовал влияние концентрации люминесцентного вещества на выход свечения (концентрационное тушение) и на растворах ряда люминесцентных соединений (флуоресцеин, зозин, родамин) выяснил кинетику этого процесса [48, т. 1, с. 165—178]. Установил, что концентрационное тушение начинается не сразу по мере увеличения концентрации люминесцентного вещества, а существует некоторый интервал концентра-

ций, при которых выход свечения остается практически постоянным и тушение отсутствует. Резкий спад люминесценции, т.е. тушение, начинается с некоторой пороговой концентрации (порог тушения) и при дальнейшем увеличении концентрации уменьшение выхода свечения следует по экспоненциальному закону. Одновременно к экспоненциальному закону тушения пришел Ф.Перрен, однако он не учитывал наличия порога тушения [482]. Существование же резкой границы области концентрационного тушения необычайно интересно и важно как в теоретическом, так и в экспериментальном аспектах.

С.И.Вавилов исследовал и влияние посторонних примесей на интенсивность свечения люминесценции, дав объяснение кинетики тушения примесями-тушителями. Связав величину тушения с длительностью возбужденного состояния люминесцентного вещества, он разработал метод ее определения. Используя в качестве критерия длительность возбужденного состояния, он разделил явления тушения на два вида: тушение первого и второго рода. Под первым подразумевался процесс, приводящий к потере молекулами растворенного вещества люминесцентной способности, т.е. процесс, происходящий с невозбужденными молекулами; под вторым — процесс воздействия среды, в частности молекул растворителя или других молекул растворенных веществ, на возбужденные молекулы люминофора [48, т. 1, с. 438—448]. По мере получения новых экспериментальных данных, Вавилов уточнял понимание природы процессов тушения, совершенствуя свою теорию тушения. Многолетние его работы и его учеников привели к совершенно новым представлениям о передаче энергии в люминесцирующих средах. Построенная Вавиловым теория тушения люминесценции была усовершенствована его учеником Б.Я.Свешниковым [242].

В 1927 г. С.И.Вавилов выполнил одну из фундаментальных работ, в которой в достаточно широком спектральном интервале исследовал влияние длины волны возбуждающего света на выход люминесценции [48, т. 1, с. 222—229]. Им было показано, что сначала, с увеличением длины волны возбуждающего света, энергетический выход люминесценции возрастает пропорционально этой длине волны, затем в некотором волновом интервале остается постоянным, после чего начинает резко уменьшаться (закон Вавилова). На языке квантов установленная закономерность (ход кривой выхода) интерпретируется следующим образом. На всем первом интервале (в довольно большой области длин волн возбуждающего света, или в стоксовской области) вне зависимости от "величины" поглощенного кванта число образующихся квантов света люминесценции пропорционально числу поглощенных. Иными словами, квантовый выход люмине-

сценции в данном спектральном интервале остается неизменным. На втором интервале квантовый выход медленно уменьшается, на третьем, где длина волны света люминесценции меньше длины волны возбуждающего света (в антистоксовской области), резко падает. В последнем случае энергия квантов света люминесценции больше энергии квантов поглощенного света. Эта дополнительная энергия света антистоксовской люминесценции черпается из тепловой энергии люминесцентной среды.

Все это позволило С.И.Вавилову показать ограниченность закона Стокса. В 1942 г. в докладе "О принципах спектрального преобразования света" [48, т. 2, с. 131—151] он скажет: "... В реальных условиях спектральный закон Стокса осуществим только в отдельных, даже исключительных случаях; наоборот, много чаще он должен нарушаться вследствие соучастия тепловой энергии в среде, в которой происходит спектральное преобразование света. Поэтому такой невыполняющийся предельный закон правильнее заменить другим... Ясно, конечно, что чисто спектральный закон Стокса будет только крайним случаем этого более общего закона, пригодным для тех случаев, когда выход в антистоксовой области равен нулю" [48, т. 2, с. 139]. И здесь же Вавилов предложил другой "вполне общий закон: трансформация может происходить с большим выходом, или КПД, если волна преобразуется в среднем в более длинную, чем она сама, и, наоборот, трансформация протекает всегда с уменьшенным выходом при обратном превращении длинных волн в короткие" [48, т. 2, с. 135].

К этим вопросам С.И.Вавилов возвратился в 1945 г. в статье "Некоторые замечания о законе Стокса" [48, т. 2, с. 238—245], в которой говорил о предельном характере стоксовского закона и его справедливости лишь в отдельных случаях благодаря особой структуре люминесцирующей среды, дал формулировку общего закона, опираясь на квантовые представления и термодинамический запрет выхода, превышающего единицу: "Выход люминесценции, увеличиваясь с уменьшением частоты возбуждающего света, должен неизбежно падать при частотах $\nu' > \bar{\nu}$ " [48, т. 2, с. 243—244]. Здесь ν' — частота возбуждающего монохроматического света: $\bar{\nu}$ — среднее значение излучаемых частот.

До работ С.И.Вавилова не ясна была и характерная особенность люминесценции. Глубоко проанализировав суть этого процесса, различные его случаи, Вавилов пришел к выводу, что основным, отличительным свойством люминесценции является длительность возбужденного состояния. В люминесценции поглощение и испускание света происходит в двух отдельных актах, разделенных во времени промежуточными возбужденными состояниями. Наименьшая длительность τ , соответствующая такому состоянию

люминесцентного вещества, составляет 10^{-8} — 10^{-9} с, что значительно больше периода светового колебания 10^{-15} с. Поэтому в отличие от всех других видов излучения, люминесценция обладает последствием, длящимся значительно больше, чем 10^{-15} с. Вавилов сформулировал макроскопический признак длительности: $\tau \sim 10^{-10}$ с, который является общим и необходимым критерием люминесценции, позволяющим выделять ее из всего многообразия различных видов излучений. В 1944 г. в своем вступительном слове на совещании по вопросам люминесценции он скажет, что "конечная длительность послесвечения естественно отделяет класс явлений, который мы фактически привыкли называть люминесценцией, от других случаев нетемпературного излучения" [48, т. 2, с. 188].

Совместно со своими сотрудниками и учениками Вавилов исследовал τ различных веществ. В частности, с В.Л.Лёвшиным для изучения фосфоресценции малой длительности он построил (1925) фосфороскоп с вращающимся зеркалом, дающий возможность измерять τ от 10^{-6} до 10^{-4} с и изучать законы затухания свечения. Изменение длительности возбужденного состояния молекул люминесцентного вещества явилось для Вавилова простым критерием разделения всех процессов тушения на два класса. Вавиловым был выполнен большой цикл работ по изучению затухания люминесценции, определению длительностей возбужденных состояний, выяснению связи между кратковременным и длительным свечением органических люминофоров. Вместе с В.Л.Лёвшиным он установил (1925) существование у органических люминофоров двух существенно различных процессов (флуоресценции и фосфоресценции), отличающихся своим механизмом и имеющих иногда одинаковый спектральный состав: кратковременного свечения с $\tau < 10^{-5}$ с и длительного с $\tau \sim 1$ с [48, т. 1, с. 195—207]. Этими опытами Вавилова и Лёвшина была доказана несостоятельность теории Видемана, которая требовала существования непрерывного перехода от кратковременного затухающего свечения к длительному послесвечению, связанному с увеличением вязкости растворителя.

К тому же работа явилась началом большого цикла исследований длительного свечения, проводимого в дальнейшем советскими оптиками. Исходя из механизма свечения, закономерностей затухания свечения и длительности возбужденных состояний, Вавилов (1934) классифицировал процессы люминесценции, различая спонтанное свечение, вынужденное и рекомбинационное, и установил признаки, позволяющие идентифицировать эти виды [48, т. 1, с. 391—398]. А используя свой критерий длительности и энергетические соотношения в процессах люминесценции, Вавилов уточнил (1944) и само это понятие, дав полное

и строгое определение явления люминесценции, понимая под ним "избыток над температурным излучением тела в том случае, если это избыточное излучение обладает конечной длительностью примерно 10^{-10} с и больше" [48, т. 2, с. 188]. В результате стало возможным легко отличать люминесценцию от других видов излучений, в частности, рассеянного и отраженного света, тормозного и черенковского излучений.

Большой цикл исследований С.И.Вавилова посвящен изучению поляризации люминесценции. Первые работы в этой области им выполнены совместно с В.Л.Лёвшиным в 1922—1923 гг. [48, т. 1, с. 129—149]. Были установлены количественная связь между степенью поляризации свечения растворов и вязкостью растворителя, существование двух видов вязкости — истинной, определяемой силами межмолекулярного взаимодействия, и кажущейся, присущей коллоидным растворам и определяемой взаимодействием частиц, образующих эти растворы, а также другие факты и закономерности. В 1925 г. Вавилов, используя спектрофотометр Кёнига — Мартенса как поляризационный прибор, более точно изучил изменение поляризации в зависимости от концентрации раствора [48, т. 1, с. 157—164].

В 1929 г., отталкиваясь от работы В.Л.Лёвшина, в которой было установлено (1925) существование зависимости степени поляризации люминесценции от длины волны возбуждающего света [463], Вавилов исследовал эту зависимость в более широком спектральном интервале. Он обнаружил существенно новые черты явления: резкие и характерные изменения степени поляризации, иногда менявшей даже знак [48, т. 1, с. 272—274]. В ряде случаев излучение люминесценции оказывалось поляризованным в плоскости, перпендикулярной к плоскости поляризации возбуждающего света, что соответствует отрицательным значениям степени поляризации. При этом соответствующие кривые, изображающие зависимость степени поляризации от длины волны возбуждающего света (поляризационные кривые), имеют характерный ход, различный у разных веществ. Вследствии они были названы поляризационными спектрами, являющимися новыми характеристиками люминесцентного вещества. Детальное изучение поляризационных спектров для различных красителей в широком спектральном диапазоне осуществил П.П.Феофилов, который показал, что они связаны с анизотропией строения молекул и позволяют определять относительную ориентацию элементарных молекулярных осцилляторов, ответственных за поглощение света в различных спектральных интервалах [277]. Открытые Вавиловым поляризационные спектры представляли собой новый метод исследования строения молекул.

К проблеме поляризации люминесценции тесно примыкал

вопрос о природе элементарных излучателей, который многие годы интересовал Вавилова. Он предложил (1940) несколько критериев для установления природы элементарных излучателей у различных люминесцентных веществ, в частности так называемые поляризационные диаграммы, являющиеся специфическими характеристиками мультипольности системы и позволяющие одновременно определять природу поглощающей и излучающей систем [48, т. 2, с. 58—70]. Исследования в этом направлении в дальнейшем продолжил Теофилов.

На основе многочисленных исследований свечения люминесцирующих растворов Вавилов в 1924 г. разработал их общую теорию, которая с единой точки зрения объяснила различные явления, наблюдаемые при люминесценции растворов, в частности, концентрационное тушение люминесценции, концентрационную деполаризацию люминесценции, изменение длительности возбужденного состояния [48, т. 2, с. 122—130]. В своей теории Вавилов исходил из идей так называемого индуктивного (молекулярного) резонанса и как следствие его — резонансной миграции энергии возбуждения от одной молекулы к другой. При этом важную роль играли сферы взаимодействия молекул люминофора и молекул тушителя, определяемые расстояниями, на которых последние могут забирать энергию от возбужденной молекулы. Такой переход-миграция энергии являлся результатом той резонансной индуктивной связи, которая существует между молекулами. Именно передача энергии от молекулы к молекуле и ведет к деполаризации люминесценции и ее тушению. Эта теория, а также идеи об индуктивном резонансе и миграции энергии и предсказанные в ней новые эффекты экспериментально были подтверждены в работах его учеников А.Н.Севченко, М.Д.Галанина и Ф.М.Пекерман, выполненных под его руководством. Дальнейшее развитие теории осуществил Галанин [62]. От работ Вавилова по индуктивному резонансу и миграции энергии в люминесцентных средах берет начало новый раздел физической оптики — микрооптика, исследующая процессы взаимодействия света и вещества на расстояниях, меньших длины световой волны.

Как упоминалось выше, для С.И.Вавилова было характерно стремление исследовать фундаментальные проблемы физической оптики, в частности познать природу света, изучить его "рождение", распространение и поглощение в среде. В течение всей научной деятельности с помощью различных подходов он пытался решить все эти вопросы. Так, в 1919 г. Вавилов начал исследование пределов применимости закона Бугера — Ламберта — Бэра, используя большую плотность падающего света. Теоретически, основываясь на квантовой теории, он пришел к выводу об уменьшении коэффициента поглощения в формуле закона Бугера —

Ламберта — Бэра при больших интенсивностях светового пучка. Экспериментально он не смог установить (1920) нарушение этого закона, хотя яркость падающего света в опытах менялась в 10^{15} раз [48, т. 1, с. 80—83]. Однако в опытах 1926 г., проведенных Вавиловым и Лёвшиным с ураниловыми соединениями, длительность возбужденных состояний у которых составляла $5 \cdot 10^{-4}$ с или 10^5 раз больше, чем у молекул флуоресцина, он наблюдал изменение коэффициента поглощения этого вещества под действием мощной электрической искры, т.е. обнаружил отступления от закона Бугера — Ламберта — Бэра [48, т. 1, с. 195—207]. Это было открытие первого нелинейного эффекта в оптике.

В 1933 г. С.И.Вавилов совместно с Е.М.Брумбергом, исходя из большой чувствительности глаза, адаптированного к темноте, и существования резкого порога зрительного раздражения, разработал метод количественного наблюдения квантовых флуктуаций светового потока, или метод визуальных измерений статистических световых флуктуаций, дающий возможность определять число фотонов, вызывающих зрительное ощущение на пороге зрения [48, т. 2, с. 345—364]. В дальнейшем, значительно усовершенствовав методику наблюдений, Вавилов с Е.М.Брумбергом, К.Б.Паншиным, Т.В.Тимофеевой и З.М.Свердловым продолжил (1934—1941) исследования световых потоков исчезающе малых интенсивностей, осуществив большой цикл работ по изучению квантовой природы света посредством визуального наблюдения статистических флуктуаций светового потока очень малой интенсивности [48, т. 1, с. 385—390; т. 2, с. 391—404].

Благодаря высокой чувствительности глаза, позволяющей после определенной адаптации реагировать на свет интенсивностью всего несколько десятков квантов в секунду, Вавилов с учениками наглядно доказал дискретную структуру света. Опыты потребовали большого экспериментального искусства и устранения значительных трудностей, в том числе физиологических эффектов. В процессе их проведения визуально определялось число фотонов, соответствующее пороговому значению чувствительности сетчатки глаза, в среднем равное 20. Результаты экспериментов не только прямо установили наличие в световом потоке флуктуаций, обусловленных его квантовой структурой, но и обосновали новый тонкий метод изучения свойств самого глаза.

Этот визуальный метод измерений квантовых флуктуаций С.И.Вавилов совместно с Е.М.Брумбергом использовал (1934) и для исследований микроструктуры интерференционного поля — типично волнового процесса. В результате и здесь, в случае малых интенсивностей световых пучков, ими были обнаружены квантовые черты [48, т. 1, с. 380—384].

В 1933 г. С.И.Вавилов предложил своему аспиранту П.А.Черенкову методом гашения исследовать действие γ -лучей на растворы ураниловых солей. В ходе измерений Черенков обнаружил их слабое свечение, которое можно было наблюдать лишь в условиях полной темновой адаптации глаза. Оказалось, что под действием γ -лучей подобное свечение дают самые разнообразные чистые жидкости (вода, спирты, глицерин, серная кислота и др.). Причем его спектральный состав не зависел от облучаемого вещества, а интенсивность почти не изменялась при переходе от одного вещества к другому. Своеобразным было определенное пространственное распределение излучения — в виде направленного вперед конуса. Свечение не могло быть загашено никакими тушащими примесями и деполяризовано нагреванием [300]. Как впоследствии выяснилось, это излучение наблюдали уже Пьер и Мария Кюри, однако посчитали его обычной слабой люминесценцией.

Всесторонний анализ имеющихся фактов, глубокое проникновение в суть процессов люминесценции, знание ее характерных черт и закономерностей, наконец, удивительная интуиция привели Вавилова к выводу, что наблюдаемое универсальное свечение — не люминесценция, а совершенно новый, неизвестный еще вид излучения. "Не останавливаясь на деталях этого открытия, я хотел бы сказать, что оно могло осуществиться только в такой научной школе, как школа С.И.Вавилова, где были изучены и определены основные признаки люминесценции и где были разработаны строгие критерии различения люминесценции от других видов излучения, — отмечает автор открытия П.А.Черенков. — Не случайно поэтому, что даже в такой крупной школе физиков, как парижская, прошли мимо этого явления, приняв его за обычную люминесценцию" [246, с. 195].

Обнаруженный эффект по праву получил в литературе название эффекта Вавилова — Черенкова. Вавилов попытался раскрыть и природу этого эффекта, связав его с торможением электронов, вырывааемых из атомов γ -лучами [48, т. 1, с. 377—379]. Теория этого удивительного явления была дана учеником Вавилова, работавшим тогда в ФИАНе, И.М.Франком совместно с И.Е.Таммом [260]. Оказалось, что излучение Вавилова — Черенкова вызывается электронами, движущимися со скоростью, превышающей скорость света в данной среде. Это исследование к тому же характеризовало Вавилова как умелого учителя и мудрого наставника, показывало, как нужно осуществлять научное руководство учениками.

У С.И.Вавилова как теоретические, так и экспериментальные фундаментальные исследования всегда тесно были связаны с прикладными. Это был его стиль. Его работы и работы его учени-

ков в области люминесценции стали основой для широких практических приложений. Наиболее важными из них были: создание (1940) новых люминесцентных источников света — люминесцентных ламп, или ламп дневного света (впервые идея превращения ультрафиолетового излучения в видимый свет была высказана Вавиловым еще в 20-х годах, в 1925—1927 гг. им проведены первые опыты по применению люминесцентных веществ в источниках света) (С.И.Вавилов, В.Л.Лёвшин, В.А.Фабрикант, М.А.Константинова-Шлезингер и др.); разработка (1942) метода количественного люминесцентного анализа (М.А.Константинова-Шлезингер); использование в светотехнике метода визуального наблюдения квантовых флуктуаций для правильного понимания зрительного процесса; постановка и развитие работ по ультрафиолетовой и люминесцентной микроскопии (Е.М.Брумберг); создание новых типов кристаллофосфоров (В.Л.Лёвшин, В.В.Антонов-Романовский и др.); разработка и создание новой оптической и спектроскопической аппаратуры.

Для творчества С.И.Вавилова характерным было не только стремление решать основные новые проблемы физики, но и необычайная широта физических интересов, поразительная способность к обобщению конкретных результатов, удивительное умение находить в них глубокий общенаучный смысл. Отсюда и его концепция, согласно которой исследование свойств света лучше всего проводить при граничных условиях протекания явления, когда они проявляются наиболее ярко, например при предельно слабых световых потоках, в сверхбыстрых процессах, протекающих в миллиардные доли секунды, при взаимодействии молекул на предельно малых расстояниях.

По мнению С.И.Вавилова, названные выше условия выявляют истинный ход протекания элементарных процессов, суммирующихся в обычных условиях опыта, позволяя тем самым глубже проникнуть в их суть. Последовательно эта концепция была проведена Вавиловым в его книге "Микроструктура света" (1950) [48, т. 2, с. 381—544], обобщившей его работы и работы его учеников в области люминесценции и природы света. Направление исследований оптических явлений, связанных с взаимодействием света и вещества в этих граничных условиях, на новом уровне, точнее микроуровне, Вавилов назвал микрооптикой, предвосхищая тем самым тенденцию современной физики к все более глубокому проникновению в мир микроявлений. "С.И.Вавилов принадлежал к плеяде тех русских физиков, труды которых признаются классическими как по глубине замысла и по тонкости экспериментального осуществления, так и по значению их результатов", — писали его сотрудники по ГОИ А.Н.Теренин и П.П.Феофилов [264, с. 121].

Будучи человеком большой и разносторонней культуры, Вавилов уделял много внимания общим вопросам истории и методологии науки. Большой цикл его исследований относится к истории и философии физики. Широко известны его философско-методологические работы "В.И. Ленин и физика" (1934), "Новая физика и диалектический материализм" (1939), "Ленин и современная физика" (1944, 1947), "Ленин и философские проблемы современной физики" (1949, 1950), в которых он последовательно проводил линию диалектического осмысления новых явлений и фактов в физике, показывая несостоятельность идеалистических взглядов на развитие физики, активно выступая против различных идеалистических концепций и теорий [48, т. 3]. Прекрасно зная историю физики, Вавилов написал замечательные очерки о Лукреции, И. Ньютоне, Г. Галилее, М. В. Ломоносове, В. В. Петрове, П. Н. Лебедеве, Л. Эйлере и др., а также многие исторические обзоры по физике [48]. Он проявил себя как непревзойденный мастер научной публицистики, активный популяризатор физики. Его книга "Глаз и солнце" представляет собой яркий образец популяризаторского искусства [49].

Все сказанное о С. И. Вавилове характеризует его как выдающегося физика и яркую личность, сильно влияющую на окружающих. "Влияние, которое оказывал этот человек на научную жизнь нашей страны, чувствуется и поныне и атмосфера созданная силой и обаянием его личности и масштабом организованных им дел, не исчезла", — писал о Вавилове его ученик Н. А. Толстой [267, с. 2]. И далее он продолжает: "... К Сергею Ивановичу как к магниту тянулись талантливые люди, а он сам со своей стороны никогда не колебался окружать себя учеными не меньшей научной силы, чем он сам. Авторитет руководителя был им не завоеван, он был органически присущ ему" [267, с. 4].

Притягательную силу Вавилова, позволившую ему стать крупным ученым-руководителем и воспитателем научной молодежи, отмечал и Л. В. Лёвшин. "Сергей Иванович обладал ярким талантом ученого-организатора, — пишет Лёвшин в научной биографии о Вавилове. — Глубокие и разносторонние знания, безграничная любовь и преданность науке, высочайшая научная культура, чуткое, доброжелательное отношение к людям и большое личное обаяние неизменно влекли к нему молодежь. Где бы он ни работал, вокруг него всегда сколачивался дружный молодой коллектив, который с увлечением трудился над разрешением проблем, поставленных руководителем" [168, с. 249].

Работа С. И. Вавилова по воспитанию молодых физиков была одной из ярких граней его многосторонней деятельности. Основными воспитательными методами служили его беседы и еженедельные семинары. Их подробно описывал В. Л. Лёвшин: "С. И. ис-

пользовал разные методы передачи своих богатых знаний ученикам и сотрудникам. Одним из важных методов во второй период деятельности С.И. были регулярные коллоквиумы, посвященные теперь уже не общим вопросам физики, а специальным вопросам люминесценции. Коллоквиумы по люминесценции как в Москве, так и в Ленинграде, проводились С.И. с большим блеском, на большой теоретической высоте. Особенное значение имели подробные заключения, которые делал С.И. по окончании докладов. Эти заключения выясняли для слушателей, а иногда и для самого докладчика достоверность и ценность сообщаемых результатов. Нередко значение доложенного представлялось после выступления С.И. в совершенно ином свете. Особенно следует отметить теплоту и благожелательность, с которой С.И. относился к сообщениям молодых начинающих работников... Однако С.И. не довольствовался общением с научными сотрудниками на коллоквиумах. Личные беседы с сотрудниками, непосредственный контакт с ними в лабораторной обстановке составляли важнейшую сторону его руководства. Предметом беседы были и темы новых работ и соображения о методике проведения эксперимента, и длинные, подробные и всесторонние обсуждения проведенных исследований. В результате этих бесед мысли С.И. претворялись в жизнь в работах его учеников" [205, с. 9—10].

Эти беседы чаще всего происходили в лабораториях по утрам. Значение утренних вавиловских "обходов" в ФИАНе образно раскрыл В.И.Векслер: "В этих утренних беседах мы, по существу, отчитывались перед Сергеем Ивановичем о проделанной работе; они происходили с каждым из сотрудников лаборатории. В этих беседах, помимо прекрасной памяти и эрудиции Сергея Ивановича в самых различных областях науки, очень отчетливо проявлялась еще одна характерная его особенность — исключительная заинтересованность любым, хотя бы самым малым успехом в работе каждого из нас. Это свойство Сергея Ивановича быть искренне заинтересованным и радоваться успеху в работе, даже очень далекой от его собственных научных интересов, делало личность Сергея Ивановича необычайно притягательной для всех людей, работающих с ним" [246, с. 186].

Обход, как правило, сопровождался вопросом — "что у вас нового?" И обсуждение сделанного, всегда доброжелательное по форме, было очень требовательным, так как приходилось давать ответ по существу, что сделано сегодня или вчера, а не говорить о работе вообще или о будущих планах. И если учесть, что вопрос при встречах традиционно повторялся, и что память у Вавилова была феноменальная, отделаться общими фразами или повторять уже сказанное при предыдущей встрече было просто невозможно. Это сочетание доброжелательности с высокой требо-

вательностью, особенно к начинающему сотруднику, Вавилов вынес еще из лебедевской лаборатории и строго его придерживался.

Беседы, проходившие в непринужденной, раскованной, но взыскательной обстановке, когда Вавилов говорил со всеми, даже студентами, как с равными, рассказывая о новинках физики, волновавших его проблемах, делясь сведениями из истории физики и о физиках, приносили огромную пользу его молодым коллегам. В каждом обсуждении работы намечался конкретный план ее дальнейшего продолжения. Внимательно относился Вавилов и к идеям работающего. Если они были "завиравальные", то решительно отвергал, хотя делал это в очень мягкой форме, здоровые же идеи всемерно поддерживал. Поэтому все его советы, возникающие в результате обсуждения, сотрудник, аспирант воспринимал естественно и с благодарностью, так как чувствовал себя при этом участником исследования, а не простым исполнителем чужих указаний.

"Смелость и свежесть мысли, смелость и настойчивость в проведении эксперимента — вот те черты, которые Вавилов особенно ценил в научном работнике, которыми в высокой степени обладал сам", — отмечал В.Л.Лёвшин [205, с. 95]. Именно научную инициативу или, как он говорил, научную фантазию, научное воображение Вавилов особенно ценил в ученом. "Вспоминая теперь работу С.И.Вавилова в лаборатории, поражаешься одной его удивительной способности, — писали В.Л.Лёвшин, А.Н.Теренин и И.М.Франк. — При всей своей огромной занятости он никогда не торопился и находил возможность уделить, казалось бы, неограниченное время каждому, кто к нему обращался. В беседах он подробно рассказывал о новинках литературы, делился соображениями по самым разнообразным вопросам и каждому охотно помогал и советом, и делом. Для всех, кому приходилось близко работать вместе с Сергеем Ивановичем, его личный пример имел огромное значение. Трудно представить себе лучшего научного руководителя" [246, с. 63].

Особенно большое значение придавал С.И.Вавилов семинарам как наиболее действенной форме воспитания и становления начинающего физика. По воспоминаниям П.П.Феофилова, семинары, которыми руководил Вавилов в ГОИ и ФИАНе и на которых нередко выступал с сообщениями, "были прекрасной школой для научной молодежи. Его выступления по поводу докладываемых работ, будь-то реферат или оригинальное сообщение, были всегда интересными, острыми и зачастую резко критическими. Эрудиция и память С.И.Вавилова всегда заставляли удивляться. По поводу каждой докладываемой работы он вспоминал всю историю вопроса, охватывающую иногда десятилетия,

поражая точностью знания дат, имен и подробностей работ" [246, с. 208].

Большое значение С.И.Вавилов придавал укреплению связи научных учреждений с вузами, считая последние местом подготовки научных кадров. В частности, он старался крепить связь ФИАН с физическим факультетом МГУ, организовав совместный семинар для научных сотрудников, преподавателей различных Московских вузов и студенческой молодежи. Это способствовало притоку талантливых молодых физиков в науку.

С.И.Вавилов был хорошо известен научной принципиальностью. Он никогда не соглашался с результатами и выводами, содержащими хотя бы намек на их некорректность. Отсюда и его осторожность при определении результатов, получаемых его сотрудниками или аспирантами. Он часто настаивал на проведении контрольных экспериментов, причем различными методами, и только после такой перекрестной проверки признавал их правдивость. Иногда он и сам перепроверял получаемые результаты, в ответственных же случаях выполнял серию измерений. Не любил Вавилов и частых публикаций, считая, что научный сотрудник может выполнить в год одну работу, но высокого качества. В то же время он требовал быстроты и напряженности в работе, но делал это, по словам Н.А.Толстого, "в такой сердечной форме", что это подстегивало значительно сильнее других тривиальных слов.

Обладая широким научным кругозором и громадной эрудицией, С.И.Вавилов постоянно работал с научной литературой и охотно делился физическими новинками со своими коллегами, часто поражая их, в том числе и специалистов в других областях, сообщениями о новых работах, ими не замеченными. Возникающими при этом новыми идеями он щедро делился с окружающими, эти идеи нередко инициировали постановку или развитие новых исследований в лаборатории. Богатство идей, огромная эрудиция создавали Вавилову большой авторитет в кругу научных сотрудников и сплачивали их вокруг него. К тому же Вавилов замечательным образом умел связывать проводимые исследования с историей развития физики. "Беседы с Сергеем Ивановичем давали с особенной силой почувствовать, на каком большом культурном фундаменте было основано все его научное мировоззрение, как полно он понимал великие традиции науки, — писал Н.А.Толстой. — В этом, быть может, и лежит причина огромной осведомленности Сергея Ивановича в вопросах науки в целом, той осведомленности, которая поражала всех, кто был знаком с его деятельностью" [267, с. 5]. По этой же причине он легко отличал существенное и достоверное от случайного и ошибочного.

С.И.Вавилову в высшей степени было присуще чувство нового. Поэтому вполне оправдан его интерес ко многим новым направлениям физики, значение которых он очень быстро оценивал, хотя они и лежали в большинстве своем в стороне от его научных интересов. Чувство нового, перспективного основывалось у него на его даре научного и технического предвидения и глубокой физической интуиции.

Таким образом, высокие личные качества С.И.Вавилова как человека, редкие качества руководителя и воспитателя творческой молодежи, личный пример и выдающиеся научные результаты, огромная работоспособность и активная многогранная деятельность привели к созданию им большой, продуктивной и авторитетной научной школы, основным направлением которой являлись исследования широкого круга явлений люминесценции. Причем создавать ее пришлось буквально "с нуля", так как физиков, работающих в этой области в стране фактически не было. Люминесцентная школа Вавилова начала формироваться в конце 20-х годов в Москве в Институте физики и биофизики и Московском университете. Однако с начала 30-х годов ядром школы стали лаборатории люминесценции в ГОИ и ФИАНе где и проходило ее активное развитие. Школу Вавилова представляют В.И.Векслер, С.Н.Вернов, И.М.Франк, П.А.Черенков, В.А.Фабрикант, А.М.Бонч-Бруевич, М.Д.Галанин, Н.П.Феофилов, Э.И.Адиорович, Н.А.Добротин, А.Н.Севченко, М.Н.Аленцев, В.В.Антонов-Романовский, Е.М.Брумберг, Л.В.Грошев, М.А.Константинов-Шлезингер, В.Л.Лёвшин, Б.Я.Свешников, Н.А.Толстой, В.С.Фурсов, И.А.Хвостиков, А.А.Шишловский и др. Созданная школа плодотворно развивалась его учениками и последователями. Многие исследования, начатые Вавиловым, существенно были расширены и углублены, возникли новые научные направления. Наряду с ее старыми центрами ГОИ (Б.Я.Свешников, П.П.Феофилов) и ФИАН (В.Л.Левшин, М.Д.Галанин) появились и определили свои направления научные группы в Минске (А.Н.Севченко), Ташкенте (Э.И.Адиорович), Киеве (А.А.Шишловский) и др. Большинство вавиловских учеников оставались верными люминесцентному направлению с учетом поправок на время, некоторые (изначально или несколько позже) переключились на ядерную тематику, где достигли выдающихся результатов (В.И.Векслер, С.Н.Вернов, П.А.Черенков, И.М.Франк, Л.В.Грошев, Н.А.Добротин, В.С.Фурсов).

В июле 1945 г. С.И.Вавилов был избран президентом Академии наук СССР. Глубокая эрудиция, большая разносторонность знаний, исключительно высокая общая культура, сочетающиеся с огромной работоспособностью и энергией, организаторским талантом, прекрасным знанием истории науки и культуры, пони-

манием общественной роли науки сделали его подлинным руководителем Академии на новом этапе. Под руководством Вавилова Академия выросла количественно, укрепились организационно, расширилась ее экспериментальная база, в академии были созданы новые научные институты, развились новые научные направления, организованы научные центры в союзных республиках, а в ряде республик академии наук, разработаны принципы планирования научных исследований и их координация, усовершенствована система подготовки научных кадров, укрепились связи науки с производством.

Нельзя не отметить и огромную общественную деятельность С.И.Вавилова. Он в течение ряда лет был председателем Редакционно-издательского совета АН СССР (с 1945 г.) и много сделал для развития академического книгоиздания, положив начало ряду серий, получивших со временем у широкой научной общественности большое признание: "Классики науки", "Литературные памятники", "Мемуары", "Научные биографии ученых", "Итоги и проблемы современной науки". По его инициативе изданы труды многих отечественных и зарубежных ученых. Вавилов был также председателем Комиссии АН СССР по изданию научно-популярной литературы (с 1943), главным редактором "Докладов Академии наук СССР" (с 1945) и ответственным редактором "Журнала экспериментальной и теоретической физики" (с 1939), а также Главным редактором второго издания Большой Советской Энциклопедии (с 1949 г.) и 10-томного собрания сочинений М.В.Ломоносова, возглавлял Комиссию по истории Академии наук СССР (с 1938) и др.

Научные заслуги С.И.Вавилова отмечены двумя Государственными премиями СССР при жизни (1943, 1946) и двумя посмертно (1951, 1952). Он был почетным членом ряда зарубежных академий наук. Его имя присвоено Государственному оптическому институту и Институту физических проблем АН СССР. Президиумом АН СССР учреждена золотая медаль им. С.И.Вавилова, присуждаемая за выдающиеся работы в области физики. И памятником ему служат также его научная школа, продолжающая его дело и свято хранящая созданные им традиции, и всемирно известный ФИАН — его детище и его гордость, ставший одним из главных физических учреждений страны.

Л.Д.Ландау вошел в историю физики как выдающийся ученый и талантливый педагог, воспитатель научных кадров, создавший крупную и авторитетную школу теоретиков. Человек огромного творческого потенциала, он был теоретиком широкого профиля, одним из немногих ученых, получивших существенные результаты в квантовой механике, физике твердого тела; физической кинетике, магнетизме, теории ядра, физике космических лучей, теории плазмы, теории элементарных частиц, гидродинамике [7, 31, 153, 173]. «... Ландау был физиком "сверх экстра" класса, — отмечает В.Л.Гинзбург. — Это был совершенно уникальный физик... И если я выделяю Ландау из всех, то потому что оценка его "класса" складывается из многих ингредиентов. Во-первых, это научные достижения. Научные достижения Ландау перво-классны — это квантовая теория жидкостей (в частности, теория сверхтекучести гелия), теория фазовых переходов и ряд других прекрасных работ. Во-вторых, это редкая универсальность знаний, знание всей физики. И, в-третьих, он был учителем с большой буквы, учителем по призванию. Произведение трех таких "множителей" исключительно велико» [54, с. 117—118].

Этой оценке близка и характеристика, данная Л.Д.Ландау его учеником В.Б.Берестецким. "Л.Д. Ландау занимает в современной теоретической физике одно из наиболее выдающихся мест, — писал он. — Его работы, охватывающие все области теоретической физики от гидродинамики до теории элементарных частиц и от астрофизики до физики низких температур, дали начало ряду направлений и вызвали сотни теоретических и экспериментальных исследований. Необыкновенная широта научных интересов и научного творчества является одним из характернейших свойств Ландау... Ландау является одной из немногих фигур в мировой науке, олицетворяющих собой теоретическую физику в целом, ее методы и ее единство... Широта Ландау проявляется и в его подходе к каждой задаче, в непредубежденности мысли, позволяющей ему рассматривать каждый вопрос только по существу, только "методом теорфизики", игнорируя давление сложившихся мнений и способов подхода, максимально упростить, "тривиализировать" его. И с поразительной безынерционностью оставить свою точку зрения, если она оказалась неверной или устарела в свете новых фактов...

Ландау создал большую научную школу, представители которой успешно работают в различных областях теоретической физики... Руководящая роль Ландау не ограничивается сферой его непосредственных учеников. Его советы и критика играют существенную роль для значительно более широкого круга совет-

ских теоретиков. И высокий уровень советской теоретической физики в целом в значительной степени является заслугой Ландау" [32, с. 615—616].

Л.Д.Ландау характеризовали яркий талант, выдающийся критический ум, научная принципиальность и бескомпромиссность, доброжелательность и справедливость, самодисциплина, демократичность, общительность и доступность, научный энтузиазм, научная этика. Отличительные черты Ландау как физика приводят его ученики А.А.Абрикосов и И.М.Халатников: "Необычайная широта научных интересов и научного творчества Л.Д.Ландау, ясность и непредубежденность его мысли, выдающаяся способность всегда правильно выделить из нагромождения теорий и фактов существо рассматриваемого вопроса, умение четко поставить задачу исследования и максимально упростить ее, а затем, наконец, изящно разрешить поставленную проблему — вот характернейшие качества этого выдающегося ученого" [10, с. 21].

Несколько строк из биографии Льва Давидовича Ландау. Родился 22 января 1908 г. в Баку, в семье инженера. Еще учась в школе, интересовался математикой: в 12 лет уже умел дифференцировать, в 13 — интегрировать. Окончив школу, в 14 лет поступил в Бакинский университет, где одновременно учился на двух факультетах — физико-математическом и химическом. В 1924 г. перевелся на физическое отделение Ленинградского университета, который окончил в 1927 г., став аспирантом Ленинградского физико-технического института. Самостоятельно занимался очень много. В 1926 г. появилась его первая работа "К теории спектров двухатомных молекул" [153, т. 1, с. 11—18], где он проявил себя уже как зрелый теоретик, а в 1927 г. — вторая — "Проблема затухания в волновой механике" [153, т. 1, с. 18—31], в которой для описания состояния систем им впервые было введено понятие матрицы плотности. В 1929—1931 гг. находился в научной командировке в Германии, Швейцарии, Голландии, Дании, Англии, что имело для него огромное значение. Особенно важным в воспитательном плане для Ландау было пребывание в Институте Нильса Бора, где в глубоко квантовой атмосфере, создаваемой и поддерживаемой Бором, окончательно сформировалось его физическое мировоззрение. "Своим учителем считаю датского физика Нильса Бора, — скажет потом Ландау. — он научил меня понимать принцип неопределенности квантовой механики" [54, с. 121].

В Цюрихском политехникуме Л.Д.Ландау совместно с Р.Пайерлсом выполнил две работы "Квантовая электродинамика в конфигурационном пространстве" [153, т. 1, с. 32—46] и "Распространение принципа неопределенности на релятивистскую квантовую теорию" [153, т. 1, с. 56—70], в которых рассмотрел

весьма тонкие вопросы квантовой механики и электродинамики. В Кавендишской лаборатории Ландау выполнил работу по теории металлов "Диамагнетизм металлов" [153, т. 1, с. 47—55], в которой построил теорию электронного диамагнетизма, показав, что в квантовой теории свободные электроны обладают, помимо спинowego парамагнетизма, отличным от нуля орбитальным диамагнетизмом, связанным с квантованием траекторий электронов в магнитном поле (диамагнетизм Ландау). Эта работа заложила основу современных исследований по определению электронных энергетических спектров металлов и полупроводников, которыми впоследствии активно занимались ученик Ландау — И.М.Лифшиц и его школа.

Возвратившись в Ленинград, Л.Д.Ландау работал короткое время в ЛФТИ и в августе 1932 г. переехал в Харьков, где возглавил теоретический отдел Украинского физико-технического института, одновременно став заведующим кафедрой теоретической физики Харьковского механико-машиностроительного института (ныне политехнический институт), а с 1935 г. — кафедрой общей физики Харьковского университета.

Харьковский период (1932—1937) был для Л.Д.Ландау плодотворным в научном отношении и знаменательным также тем, что здесь началась его деятельность как учителя, началась реализация его идей по обучению теоретической физике, здесь же им было положено начало теоретической школе. Как отмечает А.И.Ахиезер*, уже изначально в 1932 г. цели Л.Д.Ландау были четко определены: создание теоретического отдела, выявление творческой молодежи и работа с ней, научная деятельность в теоретической физике, педагогическая работа в харьковских вузах, написание книг и обзоров по теоретической и общей физике, взаимодействие с экспериментаторами института.

Сама личность Л.Д.Ландау вызывала восхищение и притяжение творческой молодежи. Его общительность, доступность, постоянная готовность обсуждать физические проблемы сразу же привели к тому, что вокруг него образовался небольшой круг лиц, интересующихся физикой и желающих с ним работать. Однако Ландау отчетливо понимал, что многие из них не имеют достаточной профессиональной физической подготовки, чтобы работать в теоретической физике "на уровне". Поэтому он начал (1933) создавать программы того минимума знаний из области теоретической физики и также ряда разделов математики, овладение которым является обязательным для молодых физиков-теоретиков (теорминимум Ландау).

* Частное сообщение автору.

"Вопросы обучения теоретической физике, как и физике в целом, заинтересовали его еще совсем молодым, — вспоминал Е.М.Лифшиц. — Именно здесь, в Харькове, он впервые стал разрабатывать программы "теоретического минимума" — основных знаний по теоретической физике, необходимых для физиков-экспериментаторов и, отдельно, для тех, кто хочет посвятить себя профессиональной исследовательской работе по теоретической физике" [153, т. 2, с. 431].

Большое значение придавал Л.Д.Ландау овладению физиком-теоретиком математической техникой, т.е. его умению решать конкретные математические задачи. Он считал, что без свободного владения математическим аппаратом в теоретической физике делать нечего. Причем степень этого владения должна была быть такой, чтобы возникающие математические затруднения не отвлекали внимания и не уводили в сторону от физического содержания задачи. Искусство же владения техникой вычислений могло быть достигнуто только достаточными тренировками. И первое, что требовалось от "претендентов в теоретики", — это выдержать испытание по математике в ее практических аспектах. И кто успешно проходил через это испытание, мог приступить к сдаче экзаменов по физической части программы теорминимума, включающей в себя основные знания по таким разделам теоретической физики: классической механике и электродинамике, специальной и общей теории относительности, статистической физике, нерелятивистской и релятивистской квантовой механике, квантовой статистике. По мнению Ландау, этими знаниями должны обладать все теоретики вне зависимости от своей будущей специальности.

Небезынтересно высказывание о теорминимуме самого Л.Д.Ландау в беседе на встрече со студентами МФТИ в феврале 1961 г. "Несколько слов о минимуме теоретических знаний для начинающего специалиста, — говорил Ландау. — Это, в общем-то, дело вкуса руководителя студента. Без руководства же войти в науку очень трудно, хотя и не невозможно. Самый простой способ попасть в науку — вузовское образование. Вузовские требования, к сожалению, очень низкие. Я изобрел некий теоретический минимум, который больше вузовского примерно процентов на 30. Делать науку — трудная вещь. Освоение существующей теоретической физики для способного человека более легкая задача, чем собственная научная работа. Желающему сдать теоретический минимум... предлагается сдать девять экзаменов: два по математике, один из них вступительный, и семь по теоретической физике. Меня интересует, например, чтобы человек сумел проинтегрировать дифференциальное уравнение. Математическая же лирика для нас мало интересна... Хорошо работавшим в вузе

нужно для сдачи всех экзаменов примерно месяца три. Для незнающего физики (был и такой случай в моей практике) потребуется год при условии, если сдающий эти экзамены ничем, кроме этого, заниматься не будет... Если я замечу способного юношу, то считаю своим долгом помочь ему войти в науку" [54, с. 122].

Л.Д.Ландау многим помог войти в большую науку, вовлек их своим энтузиазмом, трудом, советами, своим примером. Овладение его теорминимумом явилось одним из наиболее прямых способов вхождения в постоянный научный контакт с ним. Можно сказать, что теорминимум явился той основой, на которой возникла его научная школа. Практически все его ученики и сотрудники, образовавшие эту школу, прошли через теорминимум. Это дало основание И.М.Халатникову написать: "Школа Ландау возникла не стихийно, она была задумана, запрограммирована, как теперь говорят, и теорминимум стал механизмом, позволявшим производить в течение многих лет селекционную работу — собирание талантов" [54, с. 111]. Можно сказать, что теорминимум — это своего рода неофициальный физический университет, "окончив" который, молодой теоретик в большинстве случаев входил в круг учеников Ландау и становился членом его школы. Трудность в овладении теорминимумом на начальном его этапе заключалась также в том, что тогда не было учебников, по которым можно было бы подготовиться и сдать экзамены Ландау. Многие вопросы приходилось изучать по статьям в зарубежных журналах. Это имело то преимущество, что приучало к изучению оригинальных материалов.

Первое время Л.Д.Ландау сам принимал все экзамены по теорминимуму. Но когда количество желающих экзаменоваться стало большим, он привлек к приему экзаменов своих ближайших сотрудников, оставляя при этом за собой первое знакомство с "поступающим в школу". Всего за период с 1933 по 1961 гг. испытание теорминимумом выдержали более 40 человек и им Ландау щедро отдавал свое время и предоставлял большую свободу в выборе тематики.

Список полностью сдавших теорминимум
(в 1961 г. составлен Л.Д.Ландау) *

Компанец (1933)
Лифшиц Е.М. (1934)
Ахиезер (1935)
Померанчук (1935)
Тисса (1935)
Берестяцкий (1939)

Сморodinский (1940)
Халатников (1941)
Хуцишвили
Тер-Мартirosян (1947)
Абрикосов (1947)
Иоффе (1949)

* Список любезно предоставлен автору Л.П.Питаевским. В скобках указана дата окончания сдачи теорминимума.

Жарков (1950)
 Лапидус (1950)
 Судаков (1951)
 Каган (1951)
 Герштейн (1952)
 Горьков (1953)
 Дзялошинский (1953)
 Архипов (1954)
 Балашов (1954)
 Веденов (1955)
 Максимов (1955)
 Пятавский (1955)
 Сагдеев (1955)
 Бекаревич (1955)
 Иванчик (1956)

Бычков (1957)
 Шаповал (1958)
 Фальковский (1959)
 Андреев (1959)
 Кондратенко (1959)
 Руссинов (1959)
 Маринов (1960)
 Берков (1960)
 Мелик-Бархударов (1960)
 Москаленко (1961)
 Игнатович (1961)
 Будько (1961)
 Манько (1961)
 Малкин (1961)
 Колыбасов (1961)

Л.Д.Ландау требовал от своих учеников знания основ всех методов современной теоретической физики и только после овладения ими они могли заниматься конкретными физическими задачами, обязательно сочетая научную работу с преподавательской, причем читаемые ими курсы каждый раз менялись, так что молодые теоретики становились специалистами широкого профиля. Л.Д.Ландау считал, что теоретик должен "вчерне" знать всю теоретическую физику и преподавательская деятельность должна ему в этом помочь.

Органически связанным с теорминимумом был и многотомный курс теоретической физики, написанный Ландау со своим ближайшим учеником Е.М.Лифшицем и представляющий собою серию книг, в которых дано современное изложение всех основных разделов теоретической физики. Идея курса родилась в Харькове, там же началась и ее реализация. Уже в те далекие годы, хорошо представляя себе теоретическую физику как единую и цельную дисциплину со своей логикой и общими принципами, Ландау решил воспроизвести ее в виде полного курса, тесно увязанного с его программой теорминимума. Многотомный курс теоретической физики, практически законченный еще при его жизни, представлял по сути энциклопедию теоретической физики и в то же время своего рода систематическое руководство для специализирующейся в ней молодежи и методическое пособие для научных работников, аспирантов и студентов. Книги курса стали в прямом смысле слова настольными, они неоднократно переиздавались в нашей стране и переводились во многих странах мира [156—162]. В 1962 г. за создание "Курса теоретической физики" Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшицу была присуждена Ленинская премия. Наряду с теорминимумом Ландау курс сыграл большую роль в подготовке кадров физиков-теоретиков в нашей стране.

Таким образом Л.Д.Ландау разработал строго продуманную систему научного воспитания, в рамках которой и теорминимум,

и курс теоретической физики преследовали одну цель — подготовку квалифицированных физиков-теоретиков. Насколько это удалось Ландау — общеизвестно. Он воспитал большое число учеников самой высокой квалификации, из его школы вышло много известных теоретиков, некоторые из которых уже создали свои собственные научные школы, передавая тем самым эстафету знания новым поколениям учеников — научным детям и внукам своего великого Учителя.

Современной теоретической физике свойственны специфический словесный лаконизм, широкое применение математики, а сегодня и вычислительной техники, рационализм в вычислениях и еще ряд других характерных приемов. Все это можно назвать одним емким словом — стиль современной теоретической физики. Только владея этим стилем, а именно он в значительной степени утвердился в работах Ландау и его курсе, найдя в них яркое и адекватное воплощение, можно оставаться, по словам В.Л. Гинзбурга, "хозяйном положения практически во всей теоретической физике". Таким хозяином положения и был Ландау, "и он же помог следовать по этому пути своим очным и заочным ученикам" [68, с. 182].

Л.Д. Ландау был в полном смысле научным лидером, старался привить своим ученикам широту взглядов, умение связывать различные проблемы физики. В харьковский период его учениками были Е.М. Лифшиц, А.С. Компанец, А.И. Ахиезер, И.Я. Померанчук, И.М. Лифшиц и др., ставшие впоследствии известными учеными и положившие начало школе Ландау. Тематика ее была актуальной и включала широкий круг проблем, относящихся к физике твердого тела, ядерной физике, квантовой электродинамике, физике плазмы, общей термодинамике, астрофизике. В эти годы Л.Д. Ландау и его ученики выполнили ряд важных и фундаментальных исследований.

Так, в 1935 г. в статье "К теории дисперсии магнитной проницаемости ферромагнитных тел" им совместно с Е.М. Лифшицем была развита последовательная и строгая термодинамическая теория доменной структуры ферромагнетиков и теория дисперсии магнитной проницаемости ферромагнетиков в переменном магнитном поле, установлено уравнение движения магнитного момента домена в переменном поле (уравнение Ландау — Лифшица), построена теория ферромагнитного резонанса [153, т. 1, с. 128—143]. Эта работа положила начало современной физике ферромагнетиков. Ландау одним из первых ввел (1933) понятие об антиферромагнетизме как особой фазе магнетиков [153, т. 1, с. 97—101] и после обнаружения этого явления Л.В. Шубниковым дал его теорию. В 1937 г. он разработал теорию промежуточного состояния сверхпроводников, показав, что в этом состоя-

нии сверхпроводник состоит из последовательных слоев нормальной и сверхпроводящей фаз. Интересную работу выполнил Л.Д.Ландау в 1937 г. совместно с И.Я.Померанчуком "О свойствах металлов при очень низких температурах" [153, т. 1, с. 208—221].

В 1934 г. Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшиц создали теорию образования электронно-позитронных пар при столкновении быстрых заряженных частиц (до этого исследовался лишь механизм образования пар фотонами) [153, т. 1, с. 110—122].

После создания П.Дираком релятивистской теории движения электрона (1928) [366] и предсказания позитрона (1931), [367], а также эффекта поляризации вакуума (1933), теорию которого в 1935 г. дал Ю.Юлинг, стали считать, что в электродинамике вакуума должны иметь место новые, нелинейные эффекты, например рассеяние света светом, рассеяние света статическим полем. В 1936 г. Л.Д.Ландау, А.И.Ахиезер и И.Я.Померанчук решили задачу рассеяния света светом в области высоких частот, когда построение функции Лагранжа электромагнитного поля невозможно [153, т. 1, с. 222—223]. В том же году Ахиезером и Померанчуком была развита первая количественная теория рассеяния фотонов полем ядра [29].

Огромное значение имела работа Л.Д.Ландау "Кинетическое уравнение в случае кулоновского взаимодействия" (1936), в которой выведено кинетическое уравнение для плазмы в случае кулоновского взаимодействия и установлен вид интеграла столкновений для заряженных частиц [153, т. 1, с. 199—207]. Это уравнение стало основой построения теории релаксационных процессов в плазме.

Большое значение придавал Л.Д.Ландау связям с экспериментаторами, которые не прерывались никогда. Наиболее тесными были его контакты с Л.В.Шубниковым, руководившим в те годы в УФИИ криогенной лабораторией. Не было ни одной интересной работы в этой лаборатории, которая бы не обсуждалась с Л.Д.Ландау. "Все экспериментаторы могли всегда обращаться к Дау, — вспоминает О.Н.Трапезникова, жена Л.В.Шубникова, — он все понимал и мог посоветовать как никто другой. Его можно было решительно обо всем спрашивать — о любых результатах эксперимента, что может получиться и почему. Мы к нему непрерывно обращались. Больше такого теоретика я не встречала" [173, с. 25].

Весной 1937 г. Л.Д.Ландау переехал в Москву, где возглавил теоретический отдел Института физических проблем АН СССР. Однако связи с харьковскими теоретиками он не порывал. Созданная им школа плодотворно развивалась под руководством его учеников А.И.Ахиезера и И.М.Лифшица, которые со временем стали основателями в Харькове своих теоретических школ [28, 297].

В Москве продолжалась активная преподавательская деятельность Л.Д.Ландау (в 1943—1947 гг. и с 1955 г. он был профессором Московского университета и в 1947—1950 гг. — Московского физико-технического института) и работа над курсом теоретической физики. Здесь же проходило и интенсивное формирование и развитие его школы, чему в значительной степени способствовал организованный им теоретический семинар, который он проводил еженедельно в институте. Характер семинаров и царившую на них атмосферу подробно описал ученик Ландау того периода И.М.Халатников.

Семинар Л.Д.Ландау собирался каждый четверг в конференц-зале института. На нем в обязательном порядке должны были присутствовать все его ученики, работающие как в теоретическом отделе института, так и в других институтах. На семинаре докладывались оригинальные работы и реферировались статьи из наиболее авторитетных физических журналов. Докладывающий на семинаре должен был квалифицированно изложить содержание прореферированной статьи и ответить на возникающие по ходу вопросы. Подготовка реферата требовала большого труда и эрудиции. Никто не имел права сослаться на некомпетентность в каком-либо вопросе и отказаться от реферирования той или иной статьи. Именно здесь и сказывалась та универсальная подготовка, которую давал теорминимум. Докладчик имел право покинуть "поле боя" только тогда, когда иссякали вопросы. После этого Ландау оценивал результаты, содержащиеся в прореферированной статье. Выдающиеся заносили в так называемую "Золотую книгу", возникающие интересные вопросы, требовавшие дальнейшего исследования, — в тетрадь проблем. Как известно, физические журналы Ландау не читал, поэтому семинар как бы содействовал "образованию" самого Ландау, быстро превращаясь в творческую лабораторию, в которой ученики Ландау, питая его научной информацией, учились у него глубокому критическому анализу и пониманию физики.

По воспоминаниям А.И.Ахиезера, семинар был своеобразным явлением. Это не было "постное" собрание, на котором предоставляют слово докладчику, выслушивают его, не перебивая, а затем вежливо благодарят. Это была скорее "запорожская сечь", на которой на докладчика, олицетворяющего собой автора, "набрасывался" Ландау со своими вопросами. Происходила своеобразная борьба между ним и Ландау, отличающимся острейшим умом и колоссальной степенью критицизма, которая была очень интересна для всех участников семинара*.

На семинарах заслушивались также доклады об оригиналь-

* Частное сообщение автору.

ных исследованиях, что называлось "пропускать их через Ландау". Докладчиками выступали как ландауские ученики, так и физики из других институтов и городов, желавшие обсудить полученные результаты. Как правило, предварительно с работой знакомили Ландау, и если она интересовывала его, то допускалась на семинар.

Сделать доклад на семинаре было трудно, но почетно. Докладчик подвергался как бы допросу с пристрастием. Участникам разрешалось перебивать его. Скорее это был не доклад, а диалог между докладчиком и аудиторией во главе с Ландау. Нередко в ходе доклада выяснялись различные ошибки и пробелы в логике. Ландау обладал выдающимся критическим умом, поэтому его критика всегда помогала выяснить истину. Если автор работы справлялся с докладом, то считалось, что его работа действительно логически непротиворечива и содержит новые результаты. Поэтому так велико было среди теоретиков желание доложить свою работу на семинаре у Ландау.

Все свои работы Л.Д.Ландау докладывал на этих же семинарах. Его доклады, в отличие от докладов большинства других теоретиков, были короткими, четкого изложения, большой концентрации мысли. Каждое заседание семинара было событием, его участники расходились обогащенными и еще долго обсуждали услышанное. "Семинары в ИФП, благодаря своему творческому активному характеру, — замечает И.М.Халатников, — безусловно содействовали формированию школы Ландау" [54, с. 114].

Характерной особенностью Л.Д.Ландау был его постоянный научный контакт, общение со своими учениками и коллегами. Он был доступен для всех, кто хотел обсудить с ним какой-либо вопрос или обратиться за советом. Единственным условием при этом было, чтобы спрашивающий продумал вопрос до конца, был на должном научном уровне, готов к встречным вопросам Ландау, к его острой, но принципиальной критике. В результате возникшее творческое обсуждение вопроса оказывалось для собеседника необычайно полезным. "В дискуссиях он бывал горяч и резок, но не груб; остроумен и ироничен, но не едок, — отмечал Е.М.Лифшиц. — ... С годами его характер и манеры становились несколько мягче, но его энтузиазм к науке, бескомпромиссная научная принципиальность оставались неизменными. И, во всяком случае, за его внешней резкостью всегда скрывалась научная беспристрастность, большое человеческое сердце и человеческая доброта. Насколько резкой и беспощадной была его критика, настолько же искренне было его желание содействовать своим советом чужому успеху и столь же гор.чо было его одобрение" [153, т. 2, с. 434].

Л.Д.Ландау приучал своих учеников к самостоятельности, никогда не ставил перед ними задач и не давал тем, они должны были сами находить их. Ландау также никогда не делал того, что должны были делать сами ученики. Но когда ученик, найдя задачу и сделав предварительные расчеты, останавливался на самом трудном этапе, здесь на помощь приходил Ландау, давая дельный совет, а иногда проводя и серьезный расчет. И это было естественно и оправданно.

Доступность Л.Д.Ландау основывалась на его глубокой демократичности, ему всегда были совершенно чужды напыщенность, чванство и чинопочитание. Любой студент мог к нему обратиться с вопросом и получить полный ответ. А давать ответы на любые задаваемые физические вопросы, быстро, порой резко, эмоционально — было отличительной особенностью Ландау. При этом быстрота реакции сочеталась с глубиной понимания вопроса. Критические суждения Ландау иногда оказывались неверными, он не раз ошибался в оценках некоторых идей, результатов и предложений, но в целом они были очень полезными, а его ошибки, как правило, интересны и поучительны. И, как отмечал В.Л.Гинзбург, эта критика была необходимым элементом в процессе создания школы.

Научному стилю Л.Д.Ландау была свойственна ясность и четкость постановки вопросов, наиболее прямой путь их решения, стремление сложные вещи сделать простыми, или, как он сам говорил, "тривиализировать" их. Все признаки этого стиля несут на себе и его работы. Им свойственна та же четкость и простота. "Все работы Ландау отличаются ясностью постановки задачи, изяществом и краткостью решения, четкостью описания результатов", — пишут А.А.Абрикосов и И.М.Халатников [10, с. 22]. Ландау тщательно обдумывал каждую фразу, и только после нахождения наиболее удачной формулировки один из учеников, с кем он в данный момент работал, записывал ее (как известно, сам Ландау научных статей не писал, а привлекал к этому своих ближайших сотрудников, чаще всего Е.М.Лифшица). Именно таким способом оттачивался стиль изложения, а также попутно разрешались некоторые вопросы. Это роднило Ландау с его учителем Н.Бором.

Л.Д.Ландау всегда был тесно связан с экспериментаторами. Эта его связь проявилась уже в Харькове, где он активно сотрудничал с Л.В.Шубниковым, обсуждал результаты его криогенных экспериментов, приведших к важным открытиям в области сверхпроводимости и антиферромагнетизма. Продолжалась она и в Москве. Не случайно его рабочий день в Институте физических проблем часто начинался с посещения экспериментальных лабораторий. Ландау считал, что ответы на вопросы экспериментато-

ров должны иметь предпочтение в режиме дня теоретика, и всегда охотно выслушивал экспериментаторов. Многие важные его работы возникли именно из взаимодействия с экспериментаторами. Особенно тесное сотрудничество было у Ландау с П.Л.Капицей, который обсуждал с ним свои эксперименты. При этом теория и эксперимент стимулировали друг друга. В результате такого взаимодействия возникла ландауская теория жидкого гелия II, которая в свою очередь описала все факты, обнаруженные Капицей. Подобное взаимодействие характерно и для многих ландауских учеников.

В Москве многогранная научная деятельность Л.Д.Ландау достигла полного расцвета. Заметное место в творчестве Ландау как по своему значению, так и по количеству инициированных ею работ занимает разработанная им теория фазовых переходов II рода, изложенная в двух статьях, опубликованных им в 1937 г. [153, т. 1, с. 234—261]. До этого существовало лишь формальное определение перехода II рода, данное в 1933 г. П.Эренфестом [372]. Ландау установил глубокую связь таких переходов с изменением симметрии тел и разработал термодинамическую теорию поведения тел вблизи точки перехода. Отталкиваясь от этой теории, Е.М.Лифшиц подробно исследовал структурные переходы в кристаллах, установив (1941) критерий, позволивший дать полную классификацию возможных переходов II рода (критерий Лифшица) [174]; В.Л.Гинзбург построил (1945) термодинамическую теорию сегнетоэлектрических явлений [67]; И.Е.Дзялошинский — теорию антиферромагнетизма и слабого ферромагнетизма (1957) [84] и предсказал (1957) пьезомагнитный эффект [85].

В духе идей названной выше теории Л.Д.Ландау совместно с В.Л.Гинзбургом разработал в 1950 г. феноменологическую теорию сверхпроводимости (теория Гинзбурга — Ландау) [153, т. 2, с. 126—152], которая явилась основой для построения А.А.Абрикосовым теории сверхпроводящих сплавов (1957) [6] и введения понятия о двух родах сверхпроводников (1952) [5]. В 1959 г. другой ландауский ученик Л.П.Горьков на основе уравнения Гинзбурга — Ландау сформулировал микроскопическую теорию сверхпроводимости с помощью функций Грина [74]. В 1958 г. А.А.Абрикосов, Л.П.Горьков и И.М.Халатников разработали теорию поведения сверхпроводников в высокочастотном поле [9], а в 1960 г. Абрикосов и Горьков — теорию сверхпроводников с примесью магнитных атомов и предсказали явление бесщелевой сверхпроводимости [8].

Однако одним из наиболее значительных и замечательных результатов Л.Д.Ландау является созданная им в 1940—1941 гг. теория сверхтекучести гелия II — явления, незадолго открытого

перед этим в институте (1938) П.Л.Капицей [117] и стимулировавшего огромное количество теоретических и экспериментальных исследований в этой новой области. В классической статье "Теория сверхтекучести гелия II" Ландау была построена довольно полная картина известных свойств гелия II и предсказан ряд новых [153, т. 1, с. 352—386]. В частности, определен характер распределения энергетических уровней в спектре гелия II как квантовой жидкости, исследована температурная зависимость теплоемкости гелия II, предсказано одновременное существование в гелии II при температурах, отличных от абсолютного нуля, двух движений — сверхтекучего и нормального, выведены уравнения макроскопической гидродинамики гелия II, предсказан второй звук в нем и др. (некоторые качественные представления двухкомпонентного описания гелия II были выдвинуты в 1938 г. Л.Тиссой [519]). Предсказания теории Ландау были подтверждены многими экспериментами. В частности, в 1944 г. В.П.Пешков в институте обнаружил второй звук в сверхтекучем жидком гелии [215].

Исследования сверхтекучести гелия II были продолжены Ландау в 1944 г. в статье "К гидродинамике гелия II", где был развит метод решения задач о гидродинамическом движении гелия II [153, т. 1, с. 453—457], и в 1949 г., когда им с И.М.Халатниковым в двух статьях были заложены основы теории вязкости гелия II [153, т. 2, с. 66—109], а также в 1948 г. в совместной с И.Я.Померанчуком статье было рассмотрено поведение посторонних атомов в гелии II [153, т. 2, с. 35—37].

В последующие годы теория сверхтекучести интенсивно развивалась. Особенно большой вклад был внесен Е.М.Лифшицем, И.Я.Померанчуком, И.М.Халатниковым и Л.П.Питаевским. Важное значение имела и работа Н.Н.Боголюбова о свойствах почти идеального бозе-газа, в которой им была предложена микроскопическая теория сверхтекучести [36]; теоретические работы Ландау по теории сверхтекучести наряду с экспериментальными Капицы положили начало физике квантовых жидкостей. В 1956—1957 гг. Ландау была построена общая теория ферми-жидкостей, основанная на представлении энергии возбуждений как функционала от функции распределения [153, т. 2, с. 328—348]. В частности, установлен характер энергетического спектра ферми-жидкости, рассмотрены ее термодинамические свойства, сформулировано кинетическое уравнение для релаксационных процессов в ней, получены выражения для потока импульса и энергии, изучены различные типы волн в ферми-жидкости, предсказан так называемый нулевой звук в жидком гелии He^3 вблизи абсолютного нуля. За пионерские исследования по теории конденсированных сред и особенно жидкого гелия Ландау в 1962 г. была присуждена Нобелевская премия по физике.

Л.Д.Ландау и его ученики всегда очень живо откликались на актуальные вопросы физики и различные события в ней, развивая дальше идеи других и предлагая свои. Характерны в этом смысле исследования Ландау по ядерной физике, квантовой электродинамике, квантовой теории поля, теории элементарных частиц. Так, отталкиваясь от идей Н.Бора и Я.И.Френкеля, что ядра с достаточно большими атомными массами можно рассматривать методами статистики, и анализируя полученные Х.Бете, использующего эти идеи, формулы для распределения ядерных уровней по энергиям, Ландау получил (1937) ряд важных соотношений, характеризующих тяжелые ядра [153, т. 1, с. 272—279]. При этом Ландау рассматривал ядро как квантовую жидкость, а не как идеальный газ, подобно Бете. Именно отсюда и берет свое начало ландауская генетическая линия квантовых жидкостей, нашедшая свое завершение в его последующих фундаментальных работах. Уже здесь проявилось характерное впоследствии качество Ландау — смело переносить методы одной области физики на другие. В 1937 г. Ландау независимо от Р.Оппенгеймера и Дж. Волкова (1938) [479] дал первый расчет модели нейтронной звезды [153, т. 1, с. 224—226].

В 1937 г. Х.Баба и В.Гайтлером, а также Ч.Карлсоном и Р.Оппенгеймером были заложены основы каскадной теории ливней в космических лучах [321, 339]. В развитие этой теории Ландау совместно с Ю.Б.Румером дал более строгую трактовку идеи о каскадном происхождении ливней, разработав (1938) исключительно удобный и изящный метод решения уравнений каскадной теории, ставший важным в исследовании космических лучей [153, т. 1, с. 302—316]. Математический аппарат, предложенный Ландау и Румером, широко стал использоваться в последующих работах в этой области. Не менее виртуозна и работа Ландау "О множественном образовании частиц при столкновениях быстрых частиц" [153, т. 2, с. 153—171]. Используя идею Ферми о статистическом характере множественной генерации частиц космических лучей (1950) и ее развитие И.Я.Померанчуком (1951), Ландау путем остроумного решения уравнений релятивистской гидродинамики получил распределение образующихся частиц по направлениям и энергиям, а также значение полного числа частиц. Эта работа Ландау явилась крупным вкладом в физику космических лучей. В ней особенно ярко проявилось умение Ландау переносить методы одного научного направления, в данном случае гидродинамические, на другое направление.

Важное значение для экспериментаторов имела работа Ландау "О потерях энергии быстрыми частицами на ионизацию" (1944), в которой была определена функция χ распределения по энергии для быстрых частиц, прошедших через слой вещества заданной

толщины и растрачивающих энергию в результате ионизационных столкновений, и дана кривая распределения потерь [153, т. 1, с. 482—490]. В 1949 г. Ландау совместно с В.Б.Берестецким был определен гамильтониан взаимодействия электрона с позитроном с точностью до v^2/c^2 [153, т. 2, с. 110—118], в 1953 г. с И.Я.Померанчуком найдены пределы применимости теории тормозного излучения электронов и рождения пар в среде в области больших энергий [153, т. 2, с. 172—174] и рассмотрено излучение фотонов при столкновении быстрых пионов с нуклонами [153, т. 2, с. 181—194]. Важные результаты были получены Ландау в 1954—1955 гг. с А.А.Абрикосовым, И.Я.Померанчуком и И.М.Халатниковым в квантовой теории поля, в частности в квантовой электродинамике [153, т. 2, с. 195—258].

После установления (1956—1957) несохранения четности в слабых взаимодействиях [314, 396, 458], т.е. нарушения пространственной четности (Р-инвариантности) и зарядового сопряжения (С-инвариантности), Ландау независимо от Ю.Вигнера и А.Салама выдвинул (1957) гипотезу сохранения так называемой комбинированной четности (СР-инвариантности) в слабых взаимодействиях — произведения пространственной и зарядовой четностей [153, т. 2, с. 349—351]. Хотя в 1964 г. экспериментально было обнаружено нарушение этого принципа сохранения комбинированной четности в слабых процессах [344], последний сыграл свою позитивную роль в физике элементарных частиц. В том же 1957 г. Ландау независимо от Т. Ли, Ч. Янга и А. Салама на основе отказа от закона сохранения четности в слабых взаимодействиях постулировал возможность существования новых свойств у нейтрино (теория двухкомпонентного нейтрино), т.е. предположил, что ν и $\bar{\nu}$ — различные, нетождественные частицы [153, т. 2, с. 352—355]. Эта идея была экспериментально доказана М.Гольдхабером в 1957 г. в опыте по определению спиральности нейтрино, показавшего, что ν_e является левовинтовым [401].

Нельзя не сказать и о работах Л.Д.Ландау в области гидродинамики и физической кинетики. Особенно важными являются исследования ударных волн на больших расстояниях от источника (1945) [153, т. 1, с. 504—512] и колебаний электронной плазмы (1946) [153, т. 2, с. 7—25]. Предсказанный в последней работе эффект бесстолкновительного затухания волн в плазме (эффект затухания Ландау) лежит в основе теории коллективных процессов в разреженной плазме (экспериментально подтвержден в 1966 г.).

Многие работы Л.Д.Ландау являются совместными с его учениками, другие несут на себе печать его полезных обсуждений с ними, способствующих выяснению вопроса, причем в них участвовали не только его прямые ученики, но и ученики уже его

учеников, например И.Я.Померанчука, или ученики И.Е.Тамма. Следует сказать, что между школами Л.Д.Ландау и И.Е.Тамма существовало тесное сотрудничество, нашедшее отражение в совместных работах, взаимном посещении семинаров, взаимных обсуждениях и т.п. Поэтому не случайно ряд таммовских учеников (В.Л.Гинзбург, Е.Л.Фейнберг, С.И.Пекар и др.) отмечают большое научное влияние, которое на них оказал Л.Д.Ландау.

Взаимодействие с учениками и сотрудниками было для Л.Д.Ландау жизненной потребностью, предпосылкой его активной творческой деятельности. "Основное его свойство заключалось в том, — отмечал П.Л.Капица, — что его личные работы трудно отделить от научной работы с его учениками. Я себе не представляю, как Ландау мог бы так успешно работать в таком количестве областей физики без своих учеников. Эта работа осуществлялась в непрерывных беседах и регулярных семинарах, где сам Ландау был наиболее активным членом, часто выступал и делал доклады" [118, с. 213].

В Москве в школу Л.Д.Ландау, кроме харьковских учеников А.С.Компанейца, Е.М.Лифшица и И.Я.Померанчука, которые переехали в Москву за своим учителем, входили А.Б.Мигдал, В.Б.Берестецкий, Я.А.Сморodinский, И.М.Халатников, К.А.Тер-Мартirosян, А.А.Абрикосов, Ю.М.Каган, С.С.Герштейн, Л.П.Горьков, В.Н.Грибов, И.Е.Дзялошинский, Л.П.Питаевский, А.А.Веденов, А.Ф.Андреев, И.М.Шмушкевич и др. Эта школа интенсивно развивалась и играла видную роль в советской и мировой теоретической физике [7, 229]. Однако в 1962 г. произошло непоправимое — автомобильная катастрофа остановила научную жизнь бесспорного научного лидера и руководителя этой школы, и, хотя жизнь Ландау была чудом спасена, он уже не мог вернуться к творческой деятельности вплоть до своей физической смерти, которая наступила 1 апреля 1968 г.

Потеря оказалась поистине невосполнимой. Ведь Л.Д.Ландау был совершенно уникальной, исключительной личностью. "... Говоря об исключительности Ландау, — пишет В.Л.Гинзбург, — мы имеем в виду его талант физика. Существование таких людей, как Ландау, побуждает ставить вопрос о пределах человеческих возможностей, об огромных резервах, таящихся в человеческом мозге... Способности и возможности Ландау-физика также свидетельствовали о том, сколько еще скрыто в человеке такого, что проявляется или выявляется лишь в редких случаях" [54, с. 118]. Но Ландау к тому же был и уникальным учителем, воспитателем, лидером. И уже в другом месте В.Л.Гинзбург очень образно пишет по этому поводу: "Л.Д.Ландау выдающийся физик, который одновременно является учителем по призванию. Еще совсем молодым он наряду с напряженной и захватывающей

исследовательской работой увлекся идеями воспитания молодежи и обучения теоретической физике и физике в целом. Редко встречаются поистине значительные ученые, еще реже можно встретить Учителей с большой буквы. Соединение же обеих сторон в одном лице, подобно произведению вероятностей двух редких событий, еще несравненно более редкое явление. Думаю, что именно здесь лежит ключ для оценки места Л.Д.Ландау в теоретической физике" [68, с. 182].

Но школа Ландау не распалась. Более того, она обрела новую жизнь и по-прежнему играет видную роль в современной теоретической физике и традиции ее живут в его многочисленных учениках и научных внуках. "Когда в 1962 г., после автомобильной катастрофы, стало ясно, что Ландау уже не вернется к занятиям теоретической физикой, — вспоминает И.М.Халатников, — перед его ближайшими сотрудниками встала серьезная задача — сохранить школу Ландау с ее традициями. Хотя среди учеников Ландау были уже зрелые и крупные ученые, никто из них не смел и думать о том, чтобы заменить его в качестве лидера. Важнейшая и труднейшая задача состояла в сохранении высокого научного стандарта, присущего школе, в сохранении научного коллектива, который обеспечивал такой стандарт. Постепенно мы пришли к естественному заключению, что только коллективный ум может заменить могучий критический ум нашего учителя. Таким коллективным умом мог стать специальный институт теоретической физики. Эта идея получила поддержку руководства Академии наук СССР, и осенью 1964 г. Институт теоретической физики (ИТФ) был организован...

В таком институте широкого профиля главной проблемой было обеспечить взаимопонимание специалистов в различных областях физики... Но в этом случае обязательно наличие у членов коллектива общего языка... Конечно, общий язык может быть достигнут лишь в небольшом коллективе тщательно подобранных специалистов. О том, что это нам удалось достигнуть, говорят многие примеры... Успехами мы обязаны уже новому поколению теоретиков, выросших в стенах ИТФ. Появление этого нового поколения, так сказать, учеников учеников Ландау, является залогом того, что дело, которому он себя посвятил, живет" [54, с. 116—117]. Следует добавить, что этот институт по праву носит имя Л.Д.Ландау и возглавляет его И.М.Халатников.

Стиль школы Л.Д.Ландау, ее дух, высокий исследовательский класс продолжают существовать еще и потому, что отдельные ее представители (И.М.Лифшиц, А.Б.Мигдал, И.Я.Померанчук, А.И.Ахиезер), ставшие основателями собственных теоретических школ, отпочковавшихся от школы Ландау еще при его жизни, бережно хранят и проводят в жизнь унаследованные тра-

диции, демонстрируя тем самым наглядно ее эволюцию, жизненность и эффективность ее методов подготовки молодых теоретиков. "... Методы, применяемые им, а теперь и его учениками, — пишет А.А.Абрикосов, — все больше подтверждают свои исключительные достоинства в воспитании научной молодежи" [7, с. 47].

Наряду с другими советскими теоретическими школами Л.И.Мандельштама, И.Е.Тамма и Н.Н.Боголюбова школа Ландау оказала и продолжает оказывать сильное влияние на общий уровень развития физических исследований в нашей стране.

Л.Д.Ландау был избран членом АН СССР (1946), а также многих зарубежных академий наук, удостоен звания Героя Социалистического Труда (1954), ему были присуждены Нобелевская премия по физике (1962), Ленинская премия (1962) и три Государственные премии СССР (1946, 1949, 1953), а также премия Ф.Лондона (1959). Имя Л.Д.Ландау носит Институт теоретической физики АН СССР. Президиумом АН СССР учреждена премия имени Л.Д.Ландау.

"Великий талант, огромная результативность научных работ, всемирная известность и авторитет, создание большой школы активно работающих учеников, замечательный курс теоретической физики, охватывающий почти все ее разделы, критический ум, бескомпромиссная оценка своих и чужих работ, демократизм в обращении с людьми, независимо от их званий и регалий, — все это еще при жизни создало легенду о Ландау". Этим высказыванием А.И.Ахиезера автору хотелось бы завершить своеобразный краткий очерк о Ландау и его школе.

7. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ШКОЛА И.Е.ТАММА

И.Е.Тамм вошел в историю физики не только как выдающийся ученый, с деятельностью которого связан ряд ярких и крупных результатов в классической электродинамике, электронной теории, квантовой теории твердых тел, ядерной физике, теории элементарных частиц, термоядерном синтезе, но и как замечательный педагог, воспитатель творческой молодежи, создатель крупной теоретической школы физиков [104, 223, 260]. Его имя было известно и в кругу физиков, и широкой научной аудитории благодаря той активной, принципиальной и бескомпромиссной позиции, которую он всегда занимал в науке и общественной жизни.

Слова некролога, строгие и лаконичные, адекватно воссоздали его образ ученого, учителя и человека: "Умер ученый, который олицетворял связи с эпохой Эйнштейна и Бора. Умер че-

ловека, который был эталоном порядочности в науке и общественной жизни. Человек физически и духовно смелый; мощный и тонкий физик-теоретик; ненавязчивый, тактичный учитель, который учил примером и доброжелательной критикой, а не детальным "руководством" и поучениями старшего; верный друг; человек веселый и серьезный, обаятельный и упорный. Человек, вызывавший любовь и радостное уважение очень многих и сам широко раздававший свою дружбу. Непреклонный в достижении трудной цели — будь-то сложнейшая из научных проблем или горная вершина" [204, с. 163].

Более полное представление об И.Е.Тамме, о его вкладе в науку и воспитание новых поколений физиков дают достаточно подробные и эмоционально-теплые характеристики, содержащиеся в сборнике воспоминаний о нем его коллег, друзей и учеников [60]. В них авторы независимо и единодушно отмечают такие качества, как честность, принципиальность, порядочность, искренность, доброту, увлеченность, независимость мышления, мужество, целеустремленность, обаяние, простоту, научную добросовестность и другие, совокупность которых и делает человека личностью.

Таммовский сплав научных и чисто человеческих качеств создавал то мощное интеллектуальное и нравственное поле, в сфере влияния которого росли и становились теоретиками высокого класса многие молодые физики, получая научную и нравственную закалку, а уже сложившиеся исследователи глубже проникали в проблему, приобретая новое ее видение. Под обаяние его личности подпадали и те, кто просто сталкивался с ним в различных жизненных ситуациях, иногда по вопросам, далеким от физики. Общение с Таммом всегда напоминало о существовании высших стандартов в шкале человеческих ценностей. В этом, пожалуй, и заключается секрет его сильного воздействия на окружающих.

Немногим выпало счастье быть учеником Игоря Евгеньевича и в полной мере испытать на себе силу его таланта и обаяния. Уважение, восхищение и любовь — это то, что определяло отношение учеников к Тамму и объединяло их вокруг него. Как правило, к нему стремились физики с творческими задатками и он встречал их доброжелательно, всячески стараясь поддерживать их инициативу, искренне радовался их успехам, руководствуясь принципом, что "ученик — не сосуд, который надо наполнить, а факел, который необходимо зажечь". Эту запись нашли в бумагах Тамма, уже после его смерти и она, как нельзя лучше, отражает его кредо на процесс воспитания творческой молодежи, которую он не обучал "секретам" физики, а воспитывал личным примером. Поэтому его научное влияние на нее глубоко и нестандартно.

Биография И.Е.Тамма такая же нетривиальная, как и его личность. Родился Игорь Евгеньевич 8 июля 1895 г. во Владивостоке в семье инженера. Гимназию окончил в 1913 г. в Елисаветграде (ныне Кировоград), куда в 1898 г. переехала семья. В 1913—1914 гг. учился в Эдинбургском университете в Шотландии, с 1914 г. продолжал учебу на физико-математическом факультете Московского университета, который окончил в 1918 г. Однако занятия в университете Тамм неоднократно прерывал — был братом милосердия на фронте, активно участвовал в общественно-политической жизни, в частности, в 1917 г. был членом бюро Исполкома Елисаветграда и делегатом I съезда Советов. В 1919—1920 гг. преподавал физику в университете в Симферополе, где познакомился с Я.И.Френкелем, в 1921—1922 гг. — в политехническом институте в Одессе, где сблизился с Л.И.Мандельштамом, заведовавшим кафедрой физики, который оказал на его научное развитие огромное влияние. Все последующие годы Тамм сохранял с ним тесное научное общение и теплую дружбу.

С 1922 г. деятельность И.Е.Тамма, не считая двух кратких перерывов, проходила в Москве: в 1924—1941 и 1954—1957 гг. — в Московском университете, где он с 1930 г. был профессором и заведующим кафедрой теоретической физики, и с 1934 г. — в Физическом институте им. П.Н.Лебедева АН СССР, где в основном и была сосредоточена его работа как руководителя теоретического отдела. В 1945 г. Тамм организовал и ряд лет был заведующим кафедрой Московского инженерно-физического института.

Научные работы И.Е.Тамма посвящены широкому кругу проблем теоретической и частично прикладной физики. И хотя его первая научная публикация появилась в 1924 г., когда ему было 29 лет, в последующие годы произошел буквально "взрыв" его научного творчества. Так, в 1930—1939 гг. увидели свет наиболее значительные работы Тамма, выдвинувшие его в число ведущих теоретиков мира.

В 1930 г. была опубликована его работа "О квантовой теории молекулярного рассеяния света в твердых телах", в которой изложена довольно полная теория рассеяния света в кристаллах, включая комбинационное рассеяние [260, т. 1, с. 168—185]. Здесь же содержалась эффективная концепция квантов звука, названных в 1932 г. Я.И.Френкелем фононами. "Если по аналогии с понятием световых квантов, — писал И.Е.Тамм, — ввести понятие "упругих квантов", то основные результаты квантово-механического расчета допускают наглядное объяснение... По нашему мнению, представление о квантах упругости окажется полезным и при рассмотрении других проблем, например проблемы теплопроводности диэлектрических кристаллов..." [260, с. 169—170].

И действительно, уже в 1931 г. Р.Пайерлс, используя идею фононов, развил квантовую теорию теплопроводности неметаллических кристаллов. В дальнейшем таммовская идея фононов оказалась необычайно плодотворной, положив совместно с экситоном Френкеля (1931) [391] начало концепции квазичастиц.

В этом же году появились еще две работы И.Е.Тамма "О взаимодействии свободных электронов с излучением по дираковской теории электрона и квантовой электродинамике" [260, т. 2, с. 24—45] и "Замечания к дираковской теории рассеяния света и дисперсии" [260, т. 2, с. 46—49], имевшие важное значение для утверждения теории Дирака.

В 1931 г. И.Е.Тамм совместно со своим учеником С.П.Шубиным заложил основы квантовой теории фотоэффекта в металлах [260, т. 1, с. 196—211]. В следующем году в работе "О возможных связанных состояниях электронов на поверхности кристалла" [260, т. 1, с. 216—226] он предсказал существование в кристаллах уровней особого типа ("уровни Тамма"), понятие о которых сыграло большую роль в физике поверхности твердых тел.

В начале 30-х годов, после открытия нейтрона и появления протонно-нейтронной модели ядра, возникла проблема объяснения нового типа взаимодействий (сильных) между частицами ядра — нуклонами. В 1934 г. И.Е.Тамм, используя идею В.Гейзенберга об обменном характере ядерных сил, действующих между нейтроном и протоном, и теорию β -распада Ферми, выдвинул предположение, что взаимодействие между ядерными частицами обусловлено виртуальным обменом парами частиц — электроном и нейтрино [260, т. 1, с. 287—288]. К сожалению, развитая им количественная теория показала, что такие силы значительно слабее "наблюдаемых" ядерных. Вследствие малой массы электрона теория Тамма не объяснила основную особенность ядерных взаимодействий — их малый радиус действия ($\sim 10^{-13}$ см).

"Наш отрицательный результат, — писал в этой связи И.Е.Тамм, — указывает, что либо теория Ферми нуждается в существенных изменениях..., либо природа сил между нейтронами и протонами не лежит, как могло бы показаться из первоначального предположения Гейзенберга, в тех превращениях, которые детально рассмотрел Ферми" [260, т. 1, с. 288]. Иными словами, Тамм предположил, что никакие известные в то время частицы не могут обуславливать ядерные силы. Подобные результаты независимо и одновременно получил также Д.Д.Иваненко [103]. Более детально вопросы взаимодействия нуклонов Тамм рассмотрел в работе "Бета-радиоактивность и ядерные силы" [260, т. 1, с. 290—319].

Несмотря на неудачу предложенной теории идея о переносе взаимодействий промежуточными частицами стала основной для всех дальнейших исследований в этой области и прообразом последующих теорий взаимодействия между ядерными частицами. Используя идею Тамма — Иваненко о переносе взаимодействия промежуточными частицами, Х.Юкава качественно объяснил малый радиус действия ядерных сил, предположив, что они обусловлены виртуальным переносом особой, ранее не известной частицы — мезона, обладающей массой, значительно превышающей массу электрона, т.е. предсказал переносчика сильных взаимодействий как новую частицу материи [560].

В 1934 г. И.Е.Тамм со своим учеником С.А.Альтшулером выполнил интересную работу также из области ядерной физики [260, с. 283—286]. В ней, казалось бы, вопреки здравому смыслу предсказывался магнитный момент у нейтрона, в общем-то нейтральной частицы. Выдвинутая авторами идея в то время была необычайно смелой и более того парадоксальной и неудивительно, что встретила массу возражений, в том числе и самого Н.Бора. Однако, как показало время, предположение оказалось верным: знак магнитного момента нейтрона и порядок его величины были определены правильно.

В 1937 г. И.Е.Таммом совместно с И.М.Франком была построена теория эффекта Вавилова — Черенкова [260, т. 1, с. 68—74], явления, открытого в 1934 г. П.А.Черенковым [300] и в дальнейшем детально исследованного самим Черенковым и С.И.Вавиловым и заключающегося в испускании слабого видимого свечения жидкостями и твердыми телами при прохождении через них быстрых электронов. И.Е.Таммом и И.М.Франком была раскрыта физическая природа наблюдаемого свечения. "... Это излучение не может быть вызвано ни рассеянием электронов на атомных ядрах, ни взаимодействием с отдельными атомами, — писали они, — Это явление может быть, однако, объяснено как качественно, так и количественно, если принять во внимание, что электрон, движущийся в среде, излучает свет даже при равномерном движении, если только его скорость превышает скорость света в этой среде" [260, т. 1, с. 68]. И здесь авторам в теоретической интерпретации явления потребовалась нетривиальность, независимость мышления и смелость, чтобы предположить, что равномерно движущийся быстрый электрон, правда, в среде, может стать источником когерентного излучения (в отличие от движения в пустоте, когда, как известно, излучение отсутствует). За открытие и объяснение этого эффекта И.Е.Тамм, И.М.Франк и П.А.Черенков были удостоены Нобелевской премии по физике за 1958 г.

Большой цикл исследований И.Е.Тамма относится к теории эле-

ментарных частиц. В 1945 г. в работе "Релятивистское взаимодействие элементарных частиц" он разработал приближенный метод решения уравнений для сильно взаимодействующих частиц, не основанный на теории возмущений [260, т. 2, с. 100—115]. Этот метод получил широкое признание и многочисленные применения после аналогичной работы С.Данкова (1950) [358] и стал называться методом Тамма — Данкова.

И.Е.Тамм ввел представление об изобарных состояниях нуклона как короткоживущей возбужденной системы нуклон — мезон и положил его в основу полуфеноменологической теории взаимодействия пионов с нуклонами, построенной (1954) им совместно с Ю.А.Гольфандом и В.Я.Файнбергом [260, т. 2, с. 136—157]. В 1953 г. с В.П.Силиным и В.Я.Файнбергом в работе "К релятивистской теории взаимодействия нуклонов" [260, т. 2, с. 124—135] рассмотрел взаимодействие нуклонов, обусловленное псевдоскалярными пионами, и впервые в теории πN -рассеяния для описания резонансного состояния нуклона-изобары $\Delta(1236)$ использовал релятивистское уравнение со спином $3/2$. С начала 60-х годов Тамм все больше сосредоточивался на фундаментальных проблемах физики элементарных частиц, в частности построении теории, включающей элементарную длину [260, т. 2, с. 226—253].

В 1950 г. И.Е.Тамм и А.Д.Сахаров выдвинули необычайно плодотворную идею термоизоляции горячей плазмы сильным магнитным полем, имеющую важное значение для осуществления управляемого термоядерного синтеза, и в 1951 г. выполнили важные исследования по теории магнитного термоядерного реактора [282]. Тамм также участвовал в создании советского термоядерного оружия, был первым заместителем И.В.Курчатова по испытаниям водородной бомбы на полигоне в августе 1953 г. Он внес значительный вклад и в решение других прикладных проблем.

И.Е.Тамм — автор ряда обзоров и исследований по истории физики. В частности, с большим мастерством им написаны очерки о М.Фарадее, Н.Боре, Л.И.Мандельштаме. Широко известен и таммовский курс "Основы теории электричества", выдержавший много переизданий.

Нельзя не сказать о внимании И.Е.Тамма к сложным, порой дискуссионным вопросам современной физики. В частности, в 30-е годы он особенно активно выступал против тех рутинеров и горе-философов, которые, не понимая тенденций развития физики, ее новых идей и теорий, революционных сдвигов в ней, подчас проявляя полнейшее невежество и безграмотность в знании основ физики, обрушивались с грубыми нападками на теорию относительности и квантовую механику. Тамм давал им резкий

отпор, аргументированно показывая, что их антинаучная позиция и кустарный, самодеятельный подход ничего общего не имеют с философией и методологией диалектического материализма. А в послевоенный период он так же бескомпромиссно и темпераментно боролся за молекулярную биологию и генетику, смело встав на защиту работ в этих областях. Активная гражданская позиция И.Е.Тамма в этих вопросах восхищала и привлекала. Это дало повод И.М.Франку сказать: "Игорь Евгеньевич никогда и ни к чему не был равнодушен... Он был борцом и в жизни и в науке... Если он обнаруживал несправедливость, если он встречался с лженаукой или ущемлением подлинной науки, он бросался в бой бескомпромиссно, со всей энергией и всей силой своего авторитета. Это снискало к нему глубокое уважение очень многих..." [13, с. 35].

И чисто человеческие качества И.Е.Тамма наряду с выдающимися научными заслугами сделали его основателем и руководителем крупной научной школы. "Не только талант ученого, не только исключительная живость ума и острый интерес ко всему новому, — говорил И.М.Франк, — сделали Игоря Евгеньевича главой большой теоретической школы, но в неменьшей степени огромный моральный авторитет и личное обаяние" [13, с. 35].

Школа И.Е.Тамма начала формироваться в 30-х годах в ФИАНе, где в теоретическом отделе сосредоточилась его деятельность как ученого и учителя [200]. Из группы в 4—5 человек отдел превратился в коллектив, насчитывающий несколько десятков физиков высокой квалификации. Как отмечал его ученик В.Л.Гинзбург, "созданный И.Е.Таммом теоретический отдел Физического института — лучшее воплощение творческого духа Игоря Евгеньевича, его отношения к молодежи, его взглядов на многие вопросы науки и общественной жизни" [13, с. 31].

Что отличало И.Е.Тамма как научного руководителя? "Он был очень добрым, внимательным и доброжелательным руководителем, — писал Б.М.Болотовский. — В вопросах поведения он был для своих учеников живым примером. Многие из знавших его даже и теперь, спустя годы после его смерти, в трудных жизненных ситуациях задают себе вопрос, как бы он поступил в подобном случае. Тамм не стриг учеников под одну гребенку, а, наоборот, способствовал полному раскрытию индивидуальности каждого. Он неизменно радовался каждой новой идее, возникавшей у его молодого коллеги, любому успеху, и эта радость всегда была бескорыстной. Критика его была бескомпромиссной, но, удивительное дело, она не только не вызывала обиды, не убивала веры в свои силы, но, наоборот, пробуждала желание работать и преодолевать трудности. Он видел в своих учениках такие ценные качества, каких они сами в себе не видели... Так создавалось

окрыляющее чувство уверенности в силах, столь важное для формирования научного работника. Конечно, он и знал много, и работал на переднем крае науки, а это тоже необычайно важно для научной молодежи — получать знания из первых рук. Но все же, мне кажется, тот факт, что столько известных ученых являются его учениками, объясняется не только научными, но просто человеческими качествами Тамма" [60, с. 55].

Действительно, многие ученики и сотрудники, жизнь и работа которых тесно переплелась с И.Е.Таммом, неизменно отмечали именно эту его сторону, которая так привлекала и притягивала к нему людей. Он для них был не только научным, но и нравственным руководителем. Как учитель Тамм очень много давал своим ученикам. Все, что он знал, он умел сделать понятным и для них. Порой они становились свидетелями самого процесса его научного творчества, что давало им очень многое.

Огромную роль в научном воспитании молодежи играл и еженедельный семинар, руководимый И.Е.Таммом, на котором царила атмосфера интересных творческих дискуссий, острой, но доброжелательной критики, полной свободы взглядов и мнений и в то же время взаимного уважения. Творческая атмосфера не только семинара, но вообще в отделе создавалась Игорем Евгеньевичем, который умело продолжал традиции своего учителя Л.И.Мандельштама. Так, доклад самого Тамма на семинаре довольно быстро превращался в беседу, в деловой спор, обсуждение. Любое высказывание по теме доклада для Тамма было не менее важно, так как доклад для него был не только итогом его труда, но и своего рода его продолжением. Для него, как работающего теоретика, важно было сделать доклад, чтобы неясное для него самого сформулировалось более отчетливо, уложилось в процессе обсуждения. "Мысли вслух" способствовали лучшему усвоению существа вопроса.

Следует заметить, что подобное характерно для многих выдающихся ученых, для которых научное общение, сотрудничество с другими являлось неотъемлемой чертой их творчества. Тамм не стеснялся и спрашивать, если ему было что-то неясно. В результате возникали интересные дискуссии. Вполне понятно, что польза от таких семинаров была огромной, особенно для молодых теоретиков, которые быстро входили в круг проблем и начинали активно работать.

Оказывая огромное влияние на научную молодежь, И.Е.Тамм приобщал ее к науке, увлекал на путь пытливого исследования. "Плодотворность воспитательной и педагогической деятельности И.Е.Тамма в значительной мере объясняется характерным для него стилем отношений с молодежью, — писали В.Л.Гинзбург и Е.Л.Фейнберг. — Его руководство никогда не было нравуче-

нием, детальным инструктированием. Игорь Евгеньевич прежде всего учил примером и критикой, примером своего поразительного трудолюбия, примером честного отношения к науке, к своим достижениям и ошибкам, уважения к мнению коллеги, будь это мировой ученый или молодой дипломник. Его критика всегда была бескомпромиссной. Однако она никогда не оскорбляла, не ранила пришедшего к нему молодого человека. Эта критика была прямой, но доброжелательной, если речь шла о недостатках честных научных попыток. Научная инициатива, самостоятельность мышления горячо поощрялись, хотя требовательность критики при этом не снижалась. Вероятно, этим можно объяснить удивительное разнообразие научных интересов и даже научных стилей его учеников" [260, с. 17].

Деловое взаимодействие И.Е.Тамма с учениками так же ярко и подробно описал Е.Л.Фейнберг. "В чем же, можно спросить, заключалось руководство Игоря Евгеньевича и почему можно говорить о существовании "школы"? — пишет он в своих воспоминаниях об Игоре Евгеньевиче в статье "Эпоха и личность". — Главными здесь были: внимательность и доброжелательность и в то же время совершенно бескомпромиссная критика; пример собственной неустанной работы, собственной огромной эрудиции; пример умения сочетать физический подход, физическое понимание сути с убедительной математической трактовкой; культивирование широкого использования сходных элементов в далеких друг от друга областях физики; культивирование внимания к наиболее актуальным проблемам в каждой области; воспитание такого отношения к чужим работам, когда уважение к авторитетному автору (в том числе к самому руководителю) сочетается с острым критицизмом, а осторожность при появлении нового, неизвестного ранее имени — с серьезным разбором его работы, заранее допускающим возможность появления нового таланта; наконец, создание такой атмосферы, в которой работа на "прикладную" тему, существенно использующая и хорошую физику, и высокую профессиональную квалификацию, ценится отнюдь не меньше, чем исследование по "высокой" физической тематике...

При такой широте взгляда на возможные подходы к проблемам, на оценку перспективности разных направлений, когда убежденность в правильности своего выбора сочеталась с предельной ненавязчивостью и уважением к чужой позиции, вполне естественно, что доброжелательная поддержка своих учеников и сотрудников никогда... не могла привести к высокомерию по отношению к работам, взглядам, стилю других школ, других, "сторонних теоретиков"... [60, с. 233- 234].

Работа и учеба под руководством И.Е.Тамма оставили глубоко-

кий след в жизни его учеников и сотрудников, оказали огромное влияние на их профессиональное развитие и отношение к науке и жизни. В совершенстве владея математическим аппаратом, Тамм как физик-теоретик всегда следовал установке Л.И.Мандельштама, считавшего, что целью теоретического исследования является познание природы, а средством его — прежде всего глубокое понимание физической сути явления, а не математический аппарат, который выступает на втором плане. Это роднит его с другими великими физиками, такими, как Н.Бор, М.Борн, Э.Ферми. "Он учил нас, что главное для физика — не уравнения и формулы, которые нужны для количественного сравнения теоретических идей с экспериментом, — вспоминает И.Н.Головин. — Главное — понимание физической сути явлений, понимание механизма. Тот не физик, учил он, кто не умеет делать оценок. Прежде чем приняться за составление уравнений и решение строгих математических задач, надо оценить порядок величин, надо качественно посмотреть явления... Он всегда требовал, чтобы на всем протяжении вычислений мы находили физические критерии проверки правильности вычисления".

В результате И.Е.Таммом была создана большая научная школа с широким тематическим диапазоном, насчитывающая значительное число видных физиков-теоретиков. Ее представляют академики В.Л.Гинзбург, Л.В.Келдыш, М.А.Г'арков и А.Д.Сахаров, члены-корреспонденты С.А.Альтшулер, Д.И.Блохинцев, Е.Л.Фейнберг и Е.С.Фрадкин, академики АН УССР А.С.Давыдов и С.И.Пекар, доктора наук С.З.Беленький, А.А.Власов, А.Д.Галанин, И.Н.Головин, Д.А.Киржниц, В.И.Ритус, В.П.Силин, В.Я.Файнберг, В.С.Фурсов, С.П.Шубин и др. Школой получены крупные результаты в физике твердого тела, ядерной физике и физике элементарных частиц, физике плазмы и других областях.

К основным достижениям школы, кроме уже упоминавшихся, относятся: разработка В.Л.Гинзбургом квантовой теории эффекта Вавилова — Черенкова (1940), полуприкладной теории сверхпроводимости (теория Гинзбурга — Ландау) (1950) и теории сверхтекучести (теория Гинзбурга — Питаевского) (1958), теории происхождения космических лучей; построение Л.В.Келдышем систематической теории туннельных явлений в полупроводниках (1957—1958), предсказание непрямого туннельного эффекта (1957), эффекта сдвига полос поглощения в полупроводниковых кристаллах под влиянием электрического поля (эффект Франца — Келдыша) (1958) и конденсации экситонов с образованием электронно-дырочных капель (1968); предсказание (1957) резонансов и двух типов нейтрино-электронного и мюонного (М.А.Марков); разработка (1952—1965) нового метода получения мгновенных сверхсильных магнитных

полей (А.Д.Сахаров); открытие сверхтонкой структуры резонансной линии ЭПР (1948), предсказание и построение (1952) теории спин-акустического резонанса в парамагнетиках (С.А.Альтшулер); участие в создании (1954) первой атомной электростанции и импульсного быстрого реактора (1960), предсказание "лэмбовского сдвига" (1938) и унитарного предела (Д.И.Блохинцев); предсказание дифракционной генерации частиц (1953) и дифракционной диссоциации дейтрона (1954), разработка метода нейтронной спектроскопии по времени пролета (1955) (Е.Л.Фейнберг); формулировка Е.С.Фрадким евклидовой квантовой теории поля (1958), построение матрицы рассеяния для супергравитации (1977) и единых асимптотически свободных моделей слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий; создание А.С.Давыдовым теории поглощения света молекулярными кристаллами и открытие явления расщепления невырожденных молекулярных термов ("давыдовское расщепление") (1948), построение теории неаксиальных ядер (1958—1960); введение понятия поляронов (1946) и разработка теории поляронов в пределе сильной связи (1946—1949), построение новой кристаллооптики (1957—1960) (С.И.Пекар); создание теории электронно-фотонных ливней в космических лучах, обобщение статистической теории Ферми множественного рождения частиц (С.З.Беленький); создание (1955) первого токамака (И.Н.Головин); развитие В.П.Силиным метода Тамма — Данкова, формулировка кинетического уравнения Ферми-жидкости (уравнение Ландау — Силина), получение кинетических уравнений для быстропеременных процессов в сильном поле, построение общей кинетической теории нелинейной электродинамики плазмы; работы Д.А.Киржница по фазовым переходам в системах частиц со спонтанно нарушенной симметрией и др. [200, 229].

Нельзя не сказать и о любви И.Е.Тамма к спорту. Он был страстным альпинистом, и покорение горных вершин, равно как и достижение вершин науки, было для него одинаково радостным. Последние годы жизни потребовали от Тамма особенно огромного мужества и стойкости духа. В 1967 г. он заболел амиотрофическим склерозом и с начала 1968 г. из-за паралича диафрагмы был прикован к дыхательной машине. Однако, несмотря на трагизм положения и нечеловеческие физические страдания, он не был сломлен, а продолжал работать, стойко перенося выпадавшие испытания, вплоть до 12 апреля 1971 г., когда оборвалась его жизнь.

И.Е.Тамм был избран членом АН СССР (1953), ряда зарубежных академий наук, удостоен звания Героя Социалистического Труда (1953), ему присуждены Нобелевская премия по физике (1958), две Государственные премии СССР (1946, 1953)

и высшая награда АН СССР — золотая медаль им. М.В.Ломоносова (1968). Его имя носит теоретический отдел ФИАНа — его детище и гордость. Президиумом АН СССР учреждена премия имени И.Е.Тамма.

8. ШКОЛА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И.В.КУРЧАТОВА

Писать о школе ядерной физики и ядерной техники И.В.Курчатова, с одной стороны, легко, а с другой — трудно. Легко, потому что выдающийся советский физик, крупный организатор атомной науки и техники в нашей стране, научный руководитель атомной программы воспитал в процессе ее успешной реализации многочисленные кадры ученых и инженеров [25, 70, 145].

"И.В.Курчатов обладал выдающимся организаторским талантом, — писал И.К.Кикоин. — Он прекрасно понимал, что любая крупная научная проблема может быть успешно решена в результате правильной организации работы. И нужно сказать, что очень мало крупных ученых с таким блеском умели сочетать научную и организационную работу. Именно эти качества позволили ему в течение кратчайшего срока организовать огромную армию ученых и инженеров самых различных специальностей и направить их усилия на решение проблемы атомной энергии в СССР" [128, с. 7].

Научная школа И.В.Курчатова — это, безусловно, не "огромная армия ученых и инженеров", не все советские физики-ядерщики 40–50-х годов, это нечто иное, ограниченное количественно и в полной мере впитавшее в себя основные черты его стиля. Вот почему писать о школе Курчатова в то же время и трудно, так как важно не впасть в крайность и не идентифицировать с научной школой его многочисленных соратников и последователей, а только те коллективы его ближайших учеников и сотрудников, которые в течение длительного времени работали под его научным руководством над одними и теми же проблемами, воспринимая его стиль, методы работы, научную идеологию и порой отдельные черты характера.

Многие, даже тесно сотрудничавшие с И.В.Курчатовым, не дают четкого и однозначного ответа на вопрос о создании им школы, хотя достаточно образно и полно раскрывают его научно-организационную деятельность. Детальный анализ научного творчества Курчатова, его стиля работы, воспоминания его сотрудников и учеников дают все же основания для положительного ответа на поставленный вопрос. Подтверждают это и его ученики И.Н.Головин и В.П.Джелепов. "Игорь Васильевич Курчатов создал советскую школу экспериментаторов, развивших нейтрон-

ную физику и физику атомного ядра" [12, с. 55]. "На каждом из нас, кто имел счастье работать с Курчатовым, осталась печать его школы, его стиля работы, его отношения к порученному делу. И мы, его ученики... стараемся передать новым поколениям ученых эти замечательные качества курчатовской школы" [58, с. 71].

Характерная черта стиля И.В.Курчатова работать в коллективе ярко проявилась и утвердилась еще в период его деятельности в Ленинградском физико-техническом институте. "Игорь Васильевич не признавал работы в одиночку, — писал его брат Б.В.Курчатов. — Все эксперименты выполнялись им с коллективом или по крайней мере вдвоем. Труд плечом к плечу с товарищем был для него, можно сказать, естественным состоянием. Постоянный обмен мнениями и новыми идеями, общие заботы — все это создавало в его лаборатории атмосферу напряженного поиска" [58, с. 16].

В И.В.Курчатове удачно соединились черты ученого и руководителя с высокими моральными качествами человека. "Игорь Васильевич Курчатов самым редким и счастливым образом сочетал в себе талант крупного ученого, способности выдающегося организатора, ум подлинного государственного деятеля и качества обаятельного человека", — отмечал К.И.Щелкин [12, с. 36].

В научном плане И.В.Курчатова отличали огромный талант физика-экспериментатора, цепкий и быстрый ум, необычайная широта интересов, глубокая эрудиция, дар научного и технического предвидения, умение выделять главное, исключительная работоспособность и энергия, целеустремленность, уверенность в успехе, энтузиазм, личное участие в экспериментах, ответственность и большая требовательность к себе и другим, быстрое переключение с одной тематики на другую, смелость.

Свое впечатление об И.В.Курчатове ярко передает В.П.Джелепов после первой встречи с ним в 1939 г. в лаборатории Радиевого института. "И здесь я впервые для себя увидел Игоря Васильевича в действии, — пишет он. — Быстрота ума, эрудиция, ясность и глубина мысли, увлеченность делом, за которое взялся, общее обаяние покорили меня, и, как у многих, вместе с глубочайшим уважением к крупному ученому Курчатову у меня на всю жизнь возникло чувство искренней любви к нему как замечательному человеку. Мы все видели в Игоре Васильевиче человека огромной энергии и большого таланта" [58, 58].

И.В.Курчатов умел безошибочно прогнозировать развитие науки и техники и в соответствии с этим выбирать правильные направления своей научной деятельности, а широта кругозора позволяла ему решительно и быстро переходить в новую, незнакомую область и сразу же становиться в ней научным лидером.

Так было в начале 30-х годов, когда он оставил, казалось бы, многообещающее сегнетоэлектрическое направление, где получил ряд фундаментальных результатов, и перешел в ядерную физику, так было, когда он в начале 40-х стал руководителем атомной проблемы или в начале 50-х, когда возглавил термоядерные исследования в стране. Курчатов очень тонко умел отличать талантливое и прогрессивное от псевдонаучного и устаревшего, всегда энергично поддерживал дельные предложения, от кого бы они ни исходили.

И.В.Курчатова отличал не только научный, но и организаторский талант, проявившийся еще в 30-х годах в ЛФТИ, но особенно широко раскрывшийся с начала 40-х, когда он возглавил атомную программу. "Если до войны расцвел талант Курчатова-экспериментатора, то в годы войны вырос Курчатов — организатор науки большого масштаба, невиданного в довоенное время, — пишет И.Н.Головин. — К Курчатову идут за помощью и советом. Он в это время полон неистощимой энергии. Сверкающий взгляд его одинаково быстр и ясен утром и глубокой ночью. Окружающие изнемогают от "курчатовского" темпа работы. Он не проявляет признаков утомления. Он доступен для всех. Его реакция мгновенна. Он привлекает всех, кто в состоянии работать, но достигает решающих результатов удивительно малочисленными силами. Создает вокруг себя атмосферу восторженного труда, в который каждый вносит свою лепту... Обаятельный и жизнерадостный, он быстро приобретает друзей в новых для него кругах среди руководителей промышленности и армии. У них он проходит школу организации больших исследовательских коллективов..." [12, с. 58—59].

Талант организатора, умение работать в коллективе и налаживать контакты с самыми разными людьми, вдохновлять их и увлекать на решение поставленных задач отмечают многие соратники Курчатова. "Привлекать людей к проводимой им работе — это было и осталось на всю жизнь сильнейшей способностью Игоря Васильевича", — писал А.И.Алиханов [12, с. 41]. Подробнее об организаторской одаренности Курчатова высказывается А.П.Александров: "Он был удивительный человек: как только он брался за какое-то дело, у него возникал не только научный, но и организационный азарт, он старался как можно больше народа привлечь к этим работам, заинтересовать ими... Таким образом, вокруг Игоря Васильевича создавалось что-то наподобие "улья". Мы называли Игоря Васильевича "генералом". Это было его шуточное прозвище. И называли его так именно потому, что он сумел сколотить большой коллектив, которым потом руководил, командовал, управлял" [12, с. 22].

И.В.Курчатов общался с большим кругом людей. С ним можно было спорить и он внимательно выслушивал собеседника,

всячески поддерживал разумную инициативу. "Игорь Васильевич был исключительно организованным человеком, полностью использовал каждый час и каждую минуту, — отмечает В.В.Гончаров. — При проведении совещаний, заседаний давал возможность высказать свое мнение всем желающим, а потом единолично принимал решения, беря полностью на себя ответственность, после чего строго следил за их выполнением" [58, с. 102]. Постоянный его интерес к делу удивительно сочетался с быстротой мышления и способностью быстро вырабатывать решение. Он всегда создавал в руководимых им коллективах атмосферу деловитости и доброжелательности, которая так необходима для успешного решения больших и ответственных задач. "Всякое общение с Игорем Васильевичем было не только конкретно полезным и поучительным, но и несло заряд бодрости, хорошо знакомый всем, кто с ним встречался", — вспоминал Е.И.Забабахин [58, с. 78].

Однако умению сплачивать и возглавлять коллективы людей, нацеливать их на решение важнейших задач, увлекать за собой и добиваться успеха помогали и такие его душевные качества, как личное обаяние, необыкновенная доброжелательность, неиссякаемый оптимизм, энергия, юмор, внимательность, честность, скромность. "Он был волевым, целенаправленным, требовательным человеком и вместе с тем скромным и очень деликатным, душевным и чутким, с обаятельной улыбкой, присущей только ему, — пишет В.В.Гончаров. — Доброжелательно и внимательно относился ко всем окружающим, независимо от занимаемого положения" [58, с. 102—103].

Многие в своих воспоминаниях отмечают курчатовскую доброту как одну из его основных отличительных черт, которая притягивала к нему людей, особенно талантливую молодежь, для решения задач по атомной проблеме. "Поразительны энергия и умение, с которыми Игорь Васильевич стал сплачивать огромный коллектив, который должен был решать все задачи, стоявшие на ближайшие годы перед советской физикой, — пишет Ю.Б.Харитон. — Одним из важнейших качеств, которые помогли это ему сделать, была исключительная доброжелательность. Она привлекала к нему не только умы, но и сердца людей. Для большого и тяжелого дела это необычайно важно" [292, с. 395]. Несмотря на огромные напряжения и трудности в работе Курчатова никогда не проявлял раздражительности и грубости, всегда умел сдерживать себя. В жизненных ситуациях ему всегда сопутствовали дружеский юмор и оптимизм. Простые житейские нужды людей он не считал мелочами и относился к ним внимательно, всегда решая возникающие затруднения. А огромное личное обаяние, подобно магниту, влекло к нему людей разного психологического склада, разных характеров, с разными методами работы.

Свои впечатления об И.В.Курчатове 40-х годов передает А.М.Петросьянц: "И.В.Курчатов был человеком дела, всегда настойчивым и требовательным. Я не помню случая, чтобы ему в чем-то отказывали. Да и отказывать ему было трудно: все, что он просил, действительно было нужно для дела. Он был расположен к людям, и люди шли к нему. Они шли за поддержкой и находили ее. Они ждали от него совета и получали его. Он мог часами работать не поднимаясь, тут же его можно было увидеть где-то в другом конце города, за решением очень срочных и очень нужных дел. Он не занимался мелочами. Точнее, для него не существовало мелочей. Все было важно и не выполнить чего-то было просто невозможно. Голос у него был энергичный, речь решительная, вид внушительный. Длинные речи, доклады он не признавал. Сам говорил коротко и четко, однако умел слушать, лишь бы доклады были по существу. Он был в полном смысле слова обязательным человеком, человеком действия" [213, с. 28—29].

Все те качества, о которых говорилось выше, и позволили И.В.Курчатову выработать свой особый, "курчатовский" стиль работы, представляющий яркий образец плодотворного сочетания научной и организационной деятельности. Довольно подробно его раскрывает В.П.Джелепов:

"Мне лично наиболее яркими чертами стиля его работы представляются следующие:

1. Большая масштабность новых научных проблем, за решение которых он брался.

2. Особо острая целеустремленность, умение на каждом этапе работы целиком сосредоточиться на решении главной задачи и не распылять силы на рассмотрение побочных мелких вопросов.

3. Четкий план работы и определение того, что должно быть получено в конце работы.

4. Высокая личная ответственность и интенсивность работы с отдачей делу всех своих сил.

5. Высокая требовательность к подчиненным, строгий контроль и постоянная осведомленность об истинном состоянии дел.

6. Оптимизм.

7. Очень высокая организованность, обеспечивающая при огромной занятости доступность его людям; большое уважение к людям и исключительная обязательность.

8. Доброжелательность по отношению к людям в сочетании с умением вовремя похвалить и строго немедленно взыскать за необдуманную ошибку или неряшливость" [58, с. 70].

Из названных особенностей стиля И.В.Курчатова многие считают наиболее характерной необычайную доброжелательность к молодежи, так широко привлекаемой им к работам в новой области, которая в ответ за это доверие уважала и любила его. Многие молодые физики, привлеченные к работе И.В.Курчатовым, вскоре становились авторитетами в рождающихся новых направлениях физики и техники, получали широкое общественное признание.

Среди факторов, сформировавших Курчатова-ученого и

Курчатова-организатора, решающую роль сыграла его работа в ЛФТИ в 1925—1942 гг., где он прошел блестящую школу А.Ф.Иоффе, став одним из выдающихся его учеников [76].

А до этого... Начало биографии И.В.Курчатова такое же, как и у многих известных советских ученых, родившихся в России в начале века как будто для того, чтобы создавать науку нового общества. Родился Игорь Васильевич 12 января 1903 г. в селе Сим Уфимской губернии (ныне Челябинская обл.) в семье землемера. С 1912 г. жил с родителями в Симферополе, где в 1923 г. окончил университет. Затем кратковременная работа в Магнитно-метеорологической обсерватории в Пазловске и политехническом институте в Баку. Осенью 1925 г. Курчатов стал физиком в ЛФТИ. Здесь он в 1930 г. назначен заведующим лабораторией сегнетоэлектриков, а в 1933 г. — начальником отдела ядерной физики. Исследования Курчатова в ЛФТИ относились к физике диэлектриков и полупроводников, ядерной физике, в частности нейтронной. Первые его работы были посвящены изучению электропроводности твердых тел, механизма пробоя твердых диэлектриков, электрической прочности диэлектриков. Полученные в них результаты стали заметным вкладом в учение об электрических свойствах кристаллов.

Исследования электрической прочности диэлектрических кристаллов привели в конце 1929 г. И.В.Курчатова и его товарища П.П.Кобеко к работам в области сегнетоэлектричества. Как известно, аномальную диэлектрическую проницаемость сегнетовой соли открыл в 1918 г. Дж.А.Андерсон [316], в 1920—1922 гг. некоторые закономерности явления и различные свойства сегнетовой соли экспериментально довольно подробно изучил Дж.Валашек [547]. Выполнив ряд опытов с сегнетовой солью, Кобеко и Курчатов в 1930 г. пришли к выводу, что последняя является электрическим аналогом ферромагнетиков, т.е. ее кристаллы состоят из областей спонтанной электризации. Ими было установлено, что электрические особенности кристаллов сегнетовой соли представляют собой особый класс явлений, который они называли сегнетоэлектрическим. Дальнейшие исследования сегнетоэлектриков Курчатов проводил совместно с М.А.Еремеевым, Б.В.Курчатовым, Г.Я.Щепкиным и В.И.Бернашевским [145, т. 1]. Этот цикл работ, заложивший основы учения о сегнетоэлектричестве, завершился изданием Курчатовым монографии "Сегнетоэлектричество" (1933) [145, т. 1, с. 281—344]. За исследования в области физики диэлектриков Курчатову в 1934 г. присуждена ученая степень доктора физико-математических наук без защиты диссертации.

В 1927—1929 гг. И.В.Курчатов читал специальный курс по физике диэлектриков на физико-механическом факультете Ленин-

градского политехнического института, где раскрылось его педагогическое дарование (в 1935—1941 гг. он преподавал также в педагогическом институте, где с 1937 г. заведовал кафедрой). "Блестящий лектор, он в полной мере владел искусством передавать физический смысл каждого излагаемого вопроса и пользовался большой любовью и авторитетом среди учащейся молодежи, — вспоминал Б.В.Курчатов. — Он зачастую с увлечением рассказывал тут же на лекциях о новых результатах своих исследований, пробуждая у молодежи серьезный интерес к науке" [12, с. 9]. Это лекторское мастерство часто помогало Курчатову в дальнейшем, когда необходимо было докладывать важные вопросы перед авторитетной аудиторией.

В 1931—1932 гг. совместно с К.Д.Синельниковым И.В.Курчатов провел исследования фотоэлементов с запирающим слоем, установив связь их действия с внутренним фотоэффектом [145, т. 1, с. 197—220]. Под его руководством Л.И.Русиновым и др. была выполнена работа по изучению карборундовых саморегулирующихся сопротивлений [145, т. 1, с. 235—260].

В 1932 г. И.В.Курчатов перешел к исследованиям в области ядерной физики и вновь оказался в русле актуальных проблем современной науки. Освоение "ядерной" литературы длилось недолго, в ноябре 1932 г. начал работать ядерный семинар, в декабре создана особая группа по ядру во главе с А.Ф.Иоффе и его заместителем Курчатовым, в мае следующего года в результате реорганизации группы Курчатов стал начальником отдела ядерной физики и приступил к экспериментальным исследованиям в новой для него и его группы области. В эту группу вошли Г.Я.Щепкин, М.А.Еремеев, А.И.Вибе, В.И.Бернашевский, позднее — Л.И.Русинов и А.Юзefович. С Д.Д.Иваненко Курчатов организовал и провел I Всесоюзную конференцию по атомному ядру, состоявшуюся в сентябре 1933 г. в Ленинграде и сыгравшую большую роль в развертывании ядерных исследований в СССР [27].

И.В.Курчатов поддерживал тесную связь с Харьковским физико-техническим институтом, часто и подолгу бывал там. Совместно с К.Д.Синельниковым, А.К.Вальтером и Г.Я.Щепкиным он разработал высоковольтную ускорительную установку с прямой разрядной трубкой, на которой выполнил ряд работ. Исследования Курчатова резко интенсифицировались после открытия Ферми искусственной радиоактивности под влиянием нейтронов (1934). Определилось четко и их направление: изучение ядерных превращений под действием нейтронов, свойств самих нейтронов, создание экспериментальной базы для этих работ (строительство циклотрона).

Вскоре И.В.Курчатов с сотрудниками получил первые существ-

венные результаты. В 1934 г. он совместно с Л.В.Мысовским, Г.Я.Щепкиным и А.И.Вибе независимо от Ирен и Фредерика Жолио-Кюри и П.Прейсверка [355] открыл явление разветвления ядерных реакций при бомбардировке ядра фосфора нейтронами, установив, что фосфор после облучения дает β -радиоактивность еще с одним периодом в 3 мин в дополнении к уже обнаруженному Ферми 3 ч [145, т. 2, с. 26–28]. Подобный эффект был ими обнаружен и для алюминия, облученного нейтронами [145, т. 2, с. 29–33]. Весной 1935 г. И.В.Курчатов совместно с Б.В.Курчатовым, Л.В.Мысовским и Л.И.Русиновым открыл при облучении брома нейтронами новый, третий радиоактивный изотоп брома с периодом полураспада 36 ч в дополнение к двум открытым Ферми $^{80}_{35}\text{Br}$ и $^{82}_{35}\text{Br}$ с периодами полураспада 18 мин и 4,4 ч [145, т. 2, с. 240–241]. Этот результат не укладывался в существующую тогда схему реакции радиационного захвата нейтрона. Предложенное Курчатовым теоретическое объяснение (1936), что одно из ядер $^{80}_{35}\text{Br}$ или $^{82}_{35}\text{Br}$ следует считать изомером и ему необходимо приписать два из трех имеющихся значений периодов полураспада радиоактивного брома, оказалось правильным. "Из опытов с искусственной радиоактивностью, возбуждаемой нейтронами в бrome, следует, по-видимому, допустить существование ядер изомеров, — писал он. — Это два изотопа с одним и тем же массовым числом, но разной структуры" [145, т. 2, с. 277]. В 1937 г. предположение Курчатова получило экспериментальное доказательство в опытах В.Боте и В.Гентнера и независимо А.Снелла, показавших, что периоды полураспада 18 мин и 4,4 ч относятся к ядру $^{80}_{35}\text{Br}$, являющемуся, следовательно, изомерным, а период в 36 ч — к ядру $^{82}_{35}\text{Br}$.

В дальнейшем Л.И.Русиновым и А.Юзefовичем под руководством И.В.Курчатова был проведен цикл исследований изомерии радиоброма. Отталкиваясь от них, Курчатов первый пришел к выводу, что наиболее вероятным процессом разрядки метастабильного состояния ядра брома (метастабильными уровнями ядра К.Вайцзеккер объяснял изомерию) является внутренняя электронная конверсия.

В 1935 г. И.В.Курчатов исследует эффект Ферми в различных средах [145, т. 2, с. 73–80], ищет и изучает сильные поглотители нейтронов. Совместно с Л.А.Арцимовичем, Л.В.Мысовским и П.Палибиным наблюдает селективное поглощение нейтронов [145, т. 2, с. 93–105]. Попытка объяснить это явление привела к выводу о его резонансном характере. "Поглощение медленных нейтронов имеет резонансный характер, — писали они, — т.е. $\sigma(E)$ имеет резко выраженный максимум в определенном интервале энергий" [145, т. 2, с. 100]. Работы Курчатова с сотрудниками, Ферми и Амальди, а также Сциларда (1935) по селек-

тивному поглощению медленных нейтронов инициировали (1936) теорию резонансного поглощения нейтронов Брейта — Вигнера, играющую важную роль при анализе взаимодействия нейтронов с ядрами [336].

Исследовав поглощение нейтронов в водородсодержащих средах (воде, парафине и углероде), И.В.Курчатов совместно с Л.А.Арцимовичем, Г.Д.Латышевым и В.Храмовым установил сильное поглощение медленных нейтронов в воде и парафине и впервые четко доказал (1935) захват нейтрона протоном, определил эффективное сечение захвата $\sigma \approx 10^{-25}$ см² [145, т. 2, с. 247—257]. Работа эта имела существенное значение для теории дейтрона.

В исследованиях по рассеянию медленных нейтронов в различных веществах И.В.Курчатов с сотрудниками получил также ряд интересных закономерностей и фактов. В частности, ими был предложен метод определения длины свободного пробега тепловых нейтронов в воде и определен радиус их столкновения с протонами (И.В.Курчатов, М.А.Еремеев, Г.Я.Щепкин, 1935) [145, т. 2, с. 59—64]; установлен общий вид спектра нейтронов при фильтрации их слоями воды и свинца (И.В.Курчатов, М.Дейзенрат-Мысовская, Г.Д.Латышев, Л.В.Мысовский, 1935) [145, т. 2, с. 81—89]; определена длина свободного пути замедленных нейтронов в углероде, железе, меди и свинце (И.В.Курчатов, Д.З.Будницкий, 1935) [145, т. 2, с. 106—114]. В то время правильное понимание механизма взаимодействия нейтронов с ядрами во многом зависело от знания соотношений величин сечений их резонансного поглощения и резонансного рассеяния ядрами. В одном из опытов Курчатов показал, что эффективное сечение резонансного рассеяния нейтронов в случае серебра по крайней мере в 20 раз меньше сечения захвата. Результаты Курчатова по нейтронам, а также аналогичные зарубежные опыты способствовали появлению теории составного ядра Бора (1936) [39, т. 2, с. 192—201].

В конце 1932 г. И.В.Курчатов с М.А.Еремеевым начал в ЛФТИ разработку циклотрона, однако вскоре эти работы были свернуты в связи с сооружением в Радиевом институте более мощной установки. Правда, ее строительство шло крайне медленно и лишь в феврале 1937 г. на ней удалось получить пучок протонов, ускоренных до энергии $\sim 0,5$, а в июле — до $\sim 3,2$ МэВ. Курчатов рассчитывал использовать этот циклотрон для некоторых своих исследований, однако последний работал очень неустойчиво. С весны 1937 г. он участвовал в его наладке, затем стал руководителем работ, а в августе возглавил циклотронную лабораторию Радиевского института. Практически использование им циклотрона для научных работ началось в 1939 г. [145, т. 2, с. 315—323].

Исследования на циклотроне Курчатов проводил совместно с Д.Г.Алхазовым, М.Г.Мещеряковым, В.Н.Рукавишниковым, И.И.Гуревичем, В.П.Джелеповым, А.Н.Муриным и др.

В 1937 г. было принято решение о строительстве большого циклотрона в ЛФТИ на энергию 10 МэВ (подготовительные работы велись Курчатовым уже в 1936 г.). К лету 1939 г. были готовы проекты установки и здания и достигнута договоренность об изготовлении соответствующего оборудования. В октябре 1940 г. Курчатов отказался от заведования физическим отделом Радиевого института и полностью переключился на руководство строительством циклотрона ЛФТИ. Здесь из сотрудников его лаборатории циклотроном активно занимались Л.М.Неменов, Я.Л.Хургин, а из Радиевого института — Д.Г.Алхазов, А.Н.Мурин и др. Определен был срок запуска — 1 января 1942 г., однако война нарушила все планы и циклотрону суждено было стать в строй только в ноябре 1946 г., завершением его строительства руководил Д.Г.Алхазов.

После открытия деления урана в лаборатории И.В.Курчатова сразу же развернулись исследования этого процесса, изучались возможности осуществления цепной ядерной реакции, результаты докладывались на нейтронном семинаре, руководителем которого в ЛФТИ был Курчатов. В частности, им и его учениками Л.И.Русиновым и Г.Н.Флеровым независимо от зарубежных физиков в 1939 г. были открыты вторичные нейтроны и определено их среднее число на один акт деления (2 ± 1) [239], а несколько позже (1940) Г.Н.Флеров и К.А.Петржак обнаружили спонтанное деление ядер урана [212].

Благодаря энергии и общительности И.В.Курчатов вовлек в сферу ядерных интересов многих ученых, принимая личное активное участие в опытах по делению. Он стал ведущим специалистом в новом направлении, стимулировал подобные исследования в других научных центрах страны, поддерживал тесную связь с ХФТИ. "Уже на этом этапе развития советской ядерной физики впервые выявляются исключительные способности Игоря Васильевича как организатора и вдохновителя работ больших научных коллективов, — писал Б.В.Курчатов. — Постоянно бодрый, веселый, оптимистически настроенный, он умел увлечь коллектив на решение поставленной задачи, показывая своей личной работой пример самоотверженного служения науке и Родине" [12, с. 10].

В этот период начала формироваться и его школа ядерной физики, которую представляют не только сотрудники его лаборатории в ЛФТИ Г.Я.Шенкин, М.А.Еремеев, А.И.Вибе, Л.И.Русинов, Г.Н.Флёров, Л.М.Неменов, Я.Л.Хургин и др., но и работники других лабораторий, в частности Радиевого института, для кото-

рых он стал первым или вторым учителем, Д.Г.Алхазов, М.Г.Мещеряков, В.П.Джелепов, И.И.Гуревич, А.Н.Мурич, К.А.Петржак, Ю.А.Немилов, В.Н.Рукавишников, Г.Д.Латышев и др.

В это же время в лаборатории И.В.Курчатова были осуществлены первые эксперименты по изучению возможности осуществления ядерного цепного процесса деления урана быстрыми нейтронами. Следует заметить, что параллельно с некоторыми зарубежными учеными Я.Б.Зельдович и Ю.Б.Харитон в 1939 г. провели первый серьезный расчет цепной реакции деления урана [91], построив в последующие годы (1941—1942) теорию ядерного цепного процесса [92]. Возможность развития цепной ядерной реакции в уране исследовал также А.И.Лейпунский [170].

В ноябре 1940 г. И.В.Курчатов выступил с докладом "Деление тяжелых ядер" на Всесоюзном совещании по физике атомного ядра, в котором охарактеризовал состояние проблемы деления и цепной ядерной реакции на тот период, включая результаты работ советских физиков [145, т. 2, с. 324—335]. В докладе приводилась формула, описывающая ядерный цепной процесс, и излагались условия, при которых он осуществим. "Для того чтобы была возможной цепная реакция, — говорил Курчатов, — необходимо, чтобы $\nu\varphi > 1$. Нетрудно видеть, что наиболее благоприятные условия для осуществления цепной реакции будут иметь место для вполне определенного соотношения числа атомов водорода и урана в смеси" [145, т. 2, с. 331]. И хотя вывод Курчатова о возможности реализации ядерной цепной реакции был утвержден, тем не менее он видел и большие трудности на этом пути.

Уже тогда И.В.Курчатов четко представлял себе исследования в этой области, которые необходимо осуществить в ближайшее время: выяснить условия развития цепной реакции в массе металлического урана, в системе уран — тяжелая вода; влияние нейтронов от расщепления урана-238 на ход цепного процесса в системе уран — вода; определить величины эффективных поперечных сечений захвата медленных нейтронов дейтерием, гелием, углеродом, кислородом и другими легкими элементами; решить вопросы получения тяжелой воды в больших количествах и обогащение природного урана изотопом уран-235. Этот план работ по цепной ядерной реакции, изложенный Курчатовым в письме президиуму АН СССР в августе 1940 г., характеризовал четкое видение им урановой проблемы в целом, его взгляд на комплексное решение этой проблемы и ближайшую цель — получение теоретических и экспериментальных данных, необходимых для создания установки, где протекала бы контролируемая цепная ядерная реакция деления. Все сказанное свидетельствует о том, что непосредственно в предвоенный период лаборатория

Курчатов в ЛФТИ была одним из ведущих центров мира, и высокий стандарт проводимых в ней ядерных исследований обеспечивался ее руководителем — бесспорным научным лидером по ядру в нашей стране И.В.Курчатовым. Однако начавшаяся война нарушила все планы развития работ по ядерной физике, приостановив их почти на два года.

С начала Великой Отечественной войны И.В.Курчатов все свои силы, знания и опыт отдавал обороне страны. В составе группы А.П.Александрова он активно включился в работы по защите советских кораблей от магнитных мин противника. Но в конце 1942 г. было решено возобновить исследования в области ядерной энергии и 11 февраля 1943 г. Государственный комитет обороны назначил Курчатова по предложению А.Ф.Иоффе научным руководителем урановой проблемы, целью которой являлось создание атомного оружия. Выбор оказался очень правильным. "И я считаю большой удачей, что во главе этой работы стоял такой человек, как Игорь Васильевич, — пишет А.П.Александров. — Были в то время талантливые ученые и, может быть, с большим опытом, но никто из них не мог так самоотверженно заниматься работой такого масштаба, так увлечь собственным интересом, так зажечь тот огромный коллектив людей, который был привлечен к этой работе. Игорь Васильевич умел наладить прекрасные связи и организовать четкую работу огромного коллектива ученых, инженеров, рабочих. Он умел от каждого получить то, что тот мог сделать. Меня всегда поражала его способность работать с людьми самых разнообразных качеств. Я считаю, что выбор в качестве научного руководителя "урановой проблемы" именно Игоря Васильевича стал основным моментом, который позволил в исключительно короткие сроки решить насущную для нашей страны задачу" [58, с. 6].

Для решения урановой проблемы постановлением президиума АН СССР в апреле 1943 г. была создана Лаборатория № 2 АН СССР во главе с И.В.Курчатовым, в которой развернулись широко-масштабные комплексные работы по цепной ядерной реакции. Урановая программа — первая советская многоцелевая комплексная программа для получения цепной ядерной реакции взрывного характера, аналогичная американскому "манхэттенскому проекту". Вместе с Курчатовым к руководству работами на первом этапе были привлечены также А.И.Алиханов и И.К.Киоин. Приказом директора ЛФТИ А.Ф.Иоффе от 14 августа 1943 г. в лабораторию были переведены такие сотрудники института, кроме уже названных Курчатова и Алиханова: М.О.Корнфельд, Л.М.Неменов, П.Я.Глазунов, С.Я.Никитин, Г.Я.Щепкин, Г.Н.Флёров, П.Е.Стивак, М.С.Козодаев, В.П.Джелелепов [56].

К работе в лаборатории И.В.Курчатов привлек и ряд теоре-

тиков — И.В.Зельдовича, Ю.Б.Харитона, И.Я.Померанчука, И.И.Гуревича, позже А.Б.Мигдала и В.С.Фурсова, а также экспериментаторов А.П.Александрова, Л.А.Арцимовича, Б.В.Курчатова, И.С.Панасюка, В.А.Давиденко, М.Г.Мещерякова, В.И.Мостового и др. В работах по атомной программе участвовали многие институты АН СССР, специализированные отраслевые научные и промышленные организации, крупные руководители промышленности, ученые, инженеры. В этот напряженный и ответственный период блестяще проявились лучшие качества Курчатова — ученого, организатора, человека: глубокие знания ядерной физики, широкая эрудиция, экспериментальное мастерство, целеустремленность, умение сплотить и возглавить большие научно-технические коллективы вокруг крупной научно-технической проблемы, огромное личное обаяние. И кроме того, как отмечает И.Н.Головин, нужно было иметь "огромное мужество...", чтобы стать во главе этого грандиозного дела в момент, когда едва стабилизирован фронт, когда все усилия народа направлены на отражение врага. Нужны были могучий оптимизм и проницательность Курчатова, чтобы в тяжелых условиях войны доказать правительству необходимость отвлечения части сил и средств от фронта на дело, успех которого еще не доказан, по которому еще нет единодушия даже среди ближайших коллег" [12, с. 57—58].

Уже 25 апреля 1943 г. Курчатов представил правительству доклад "Проблема урана", в котором, в частности, изложил состояние вопроса по цепной ядерной реакции в СССР [145, т. 3, с. 20—57]. В нем рассматривались конкретные схемы использования цепного распада урана: цепная реакция в обычном металлическом уране и металлическом уране-235; в смесях из природного урана и воды (или тяжелой воды); в системе из природного урана и графита. Здесь же давался опирающийся на теоретические расчеты Зельдовича и Харитона краткий анализ возможности осуществления цепной реакции или ее подавления в данной системе. Так, взрыв металлического блока как угодно больших размеров из обычного урана (урана-238) невозможен, тогда как в аналогичном блоке из урана-235 достаточно больших размеров цепной процесс бурно разовьется и может завершиться взрывом огромной силы. И тут же Курчатов замечает: "Сейчас еще не вполне ясно, закончится ли развитие нейтронной лавины в уране-235 взрывом или процесс ограничится сравнительно спокойным и регулируемым выделением энергии. Все будет определяться промежутком времени, который необходим для того, чтобы в массе урана-235 образовалось достаточно большое число вторичных нейтронов" [145, т. 3, с. 52].

И.В.Курчатов показал, что со временем их число резко возрастет и, например, через $2 \cdot 10^{-7}$ с после попадания в ядро урана

первого нейтрона достигнет 10^{24} . Иными словами, за $1 \cdot 10^{-7}$ с в блоке урана-235 (взятого больше критической массы) выделится столько же энергии, сколько от сгорания почти 1000 т угля. За это время масса урана не успеет заметно деформироваться, и развитие нейтронной лавины приводит к очень сильному взрыву. Правда, реализация цепной ядерной реакции в чистом уране-235 связана с решением очень сложной технологической задачи — выделением этого изотопа из смеси природного урана в промышленных количествах. "Даже при самых благоприятных оценках, — писал Курчатов, — нужно для развития лавинного процесса иметь несколько килограммов чистого урана-235, а пока удалось во всех лабораториях мира выделить только $1 \cdot 10^{-6}$ г этого вещества" [145, т. 3, с. 53].

И.В.Курчатов рассмотрел и три другие схемы. Большая вероятность деления урана-235 медленными нейтронами позволяет наметить схемы развития цепной ядерной реакции в смесях обычного урана и легкого вещества, замедляющего образующиеся при делении нейтроны. Простейшей такой системой является смесь из природного урана и обычной воды. Сложные расчеты, выполненные Зельдовичем и Харитоном, показали, что в смеси с оптимальной концентрацией урана в воде коэффициент размножения нейтронов $k = \nu\phi\vartheta$ равен 0,74, а это делает ядерный цепной процесс в ней невозможным (условием развития лавины является выполнение неравенства $k = \nu\phi\vartheta > 1$). Здесь ν — число быстрых нейтронов, возникающих в уране в результате деления при поглощении одного теплового нейтрона; ϕ — доля быстрых нейтронов, превращающихся в тепловые (учитывает потери на поглощение при замедлении); ϑ — доля поглощаемых в уране тепловых нейтронов. Если несколько обогатить смесь природного урана его изотопом ураном-235, то можно добиться $k > 1$. Необходимое количество частично обогащенного этим изотопом урана составит 300 кг.

При замене обычной воды тяжелой развитие цепного процесса будет возможно, если количество урана и тяжелой воды в системе достаточно велико — соответственно 2 и 15 т (общий мировой запас тяжелой воды в 1940 г. составлял ~ 200 кг). Таким образом, на пути реализации и этой системы возникают большие технические трудности.

И.В.Курчатов рассмотрел и вопрос о цепной реакции в системе из обычного урана и графита. Эта система должна иметь еще большие параметры — содержать 500—1000 т графита (углерода) и 50—100 т природного урана, так как в углеводе нейтроны замедляются хуже, чем в тяжелой воде. Чтобы в такой системе могла развиваться нейтронная лавина, длина свободного пути нейтрона должна составлять 1 км. "Экспериментально показано, что этот

путь не меньше 60 м, — отмечал Курчатов в докладе. — Более точных определений еще не выполнено. Таким образом, остается неясной возможность осуществления цепной реакции в смеси уран — углерод" [145, т. 3, с. 54]. Большое значение для рассматриваемой системы приобретает также чистота графита, так как даже незначительные примеси (например, бора или кадмия) в количестве всего лишь 0,01 % могут сделать невозможным лавинообразный процесс в системе. Тем не менее в свойственной оптимистической манере Курчатов завершил доклад словами: "На пути технического решения вопроса стоят большие трудности, но нет сомнения в том, что они рано или поздно будут преодолены и человечество получит в свое распоряжение новый мощный источник энергии" [145, т. 3, с. 57].

Таким образом, представленный правительству доклад четко фиксировал состояние вопроса с осуществлением цепной ядерной реакции в ядерном реакторе и атомной бомбе, те трудности, которые следует преодолеть на этом пути, владение Курчатовым всеми аспектами урановой проблемы, его веру в успешное разрешение поставленной задачи.

В принципе путь к получению взрывной ядерной реакции в атомной бомбе лежал через получение в необходимых количествах урана-235 или плутония-239. Однако в самом начале работ Курчатов и его ближайшие помощники поняли, что кратчайший путь лежит не через разделение изотопов урана с выделением урана-235, а через получение плутония в ядерном реакторе и накопление его в достаточном количестве. Поэтому ближайшей целью становилось создание ядерного реактора на природном уране с замедлителем (тяжелая вода или графит).

В июле 1943 г. И.В.Курчатов пришел к выводу, что система из урана и графита по коэффициенту размножения может оказаться лучше уран-водяной. Появившиеся к тому времени данные давали для графита малое значение эффективного сечения захвата им нейтронов, хотя было также ясно, что в уран-графитовой системе паразитный резонансный захват нейтронов будет более сильным, чем в системе с тяжелой водой в качестве замедлителя. "Таким образом, никаких гарантий того, что в уран-графитовой системе k_{∞} будет больше единицы, у нас не было, — писал Курчатов. — Однако в связи с тем, что уран-водяная система имела еще меньше шансов на то, что в ней k_{∞} можно сделать больше единицы, а тяжелая вода как замедлитель могла быть получена нашей промышленностью в весьма отдаленные времена, мы решили приступить к экспериментированию и теоретическим расчетам на уран-графитовой системе" [145, т. 3, с. 74]. Таким образом, из этих двух вариантов реакторов Курчатов выбирает уран-графитовый, более трудный, но технически более перспек-

тивный для скорейшей реализации. "Когда та или иная новая научная проблема получала в его глазах ясные очертания и вырисовывалась необходимость ее решения, тогда этой цели подчинялось все, привлекались все возможные, а порой и невозможные для обычного человека средства", — вспоминал И.К.Кириин [128, с. 5].

Разработка и создание уран-графитового реактора требовали одновременного развертывания работ по построению теории реактора, экспериментальной проверке теоретических данных на уран-графитовых решетках, измерению основных ядерных констант урана и графита, в частности сечений деления и поглощения нейтронов, сечений захвата тепловых нейтронов в графите, получению урана и графита высокой чистоты в промышленных масштабах. "Курчатов разворачивает непостижимо разностороннюю деятельность, вовлекая других в вихрь идей, расчетов, экспериментов, — пишет А.П.Александров. — На основании тончайших измерений, лежавших на грани возможностей науки того времени, он делает далеко идущие (и всегда правильные!) экстраполяции и прогнозы. Темп и напряженность поисков — на пределе человеческих возможностей" [15]. Курчатов был не только вдохновителем и организатором всех этих работ, но и их активным участником. Он полностью был захвачен делом, непосредственно руководя проектными, конструкторскими и научными разработками.

К концу 1943 г. Я.Б.Зельдовичем, И.Я.Померанчуком и И.И.Гуревичем была построена теория замедления и диффузии нейтронов в графите. На ее основе Курчатов с сотрудниками разработал метод измерения сечения захвата медленных нейтронов графитом, длин замедления и диффузии и начал экспериментальные исследования процессов замедления и диффузии нейтронов в графите. Были развернуты также физические испытания поглощения нейтронов в призмах массой по 5 т, собранных из обычного графита. Первые результаты оказались в 100 раз хуже ожидаемых. Опыты с лучшими партиями графита также свидетельствовали о его непригодности — графит слишком много поглощал нейтронов, что сделало бы невозможным развитие цепной ядерной реакции в данной системе. Было установлено, что ответственными за такое сильное поглощение нейтронов в графите являлись примеси, в частности бор, содержание которых достигало в графите 1 %. На основании выполненных теоретических расчетов, данных экспериментов и химических анализов Курчатовым с сотрудниками были сформулированы физические, химические и технологические требования к графитовым блокам. В результате к августу 1945 г. был разработан специальный технологический процесс изготовления графитовых блоков необходимой

чистоты, а с октября начался их промышленный выпуск. Большая заслуга в этом принадлежала В.В.Гончарову и Н.Ф.Правдюку.

Наряду с исследованиями графита И.В.Курчатов проводил также изучение физических характеристик урана, которое показало, что необходим только чистый уран с ничтожным содержанием примесей. Для урана также были сформулированы определенные физико-технические требования по чистоте, плотности и пр. Благодаря энергичным мерам, предпринятым Курчатовым, были решены сложные вопросы химии и металлургии урана, разработаны тончайшие аналитические методики определения в нем примесей и, наконец, налажено производство соответствующих металлических урановых блоков для реактора. Уже в январе 1946 г. промышленность освоила получение литого металлического урана необходимого качества и изготовление из него цилиндрических блоков. Когда в Лабораторию № 2 начали поступать графитовые и урановые блоки, отвечающие реакторным требованиям, в ней значительно расширилось проведение физических экспериментов.

Однако создание летом 1945 г. первых атомных бомб в США, атомная бомбардировка ими мирных японских городов Хиросимы и Нагасаки и как следствие этого попытка проводить в отношении СССР политику атомного диктата заставили СССР резко форсировать урановую программу с тем, чтобы в кратчайшие сроки, несмотря на тяжелые условия послевоенного восстановления экономики и народного хозяйства, создать ядерное оружие и тем самым противопоставить его угрозам со стороны США и их союзников, развязавших к тому же "холодную" войну против нашей страны. Для руководства работами в этом направлении был создан новый специальный правительственный орган, который возглавили Б.Л.Ванников, А.П.Завенягин, В.А.Мальшев, М.Г.Первухин, Е.П.Славский. Для обсуждения научно-технических вопросов был учрежден научно-технический совет во главе с Б.Л.Ванниковым и его заместителем И.В.Курчатовым. Самоотверженная работа ученых различных специальностей, работников промышленности, действенная постоянная помощь Центрального Комитета КПСС в необычайно сжатые сроки решили огромный комплекс разнообразных задач атомной программы.

В 1946 г. у И.В.Курчатова с сотрудниками появилась возможность осуществить экспоненциальные опыты с уран-графитовой решеткой, теорию которых построил И.Я.Померанчук в январе 1944 г. Был разработан метод сравнительной оценки эффективного сечения захвата медленных нейтронов графитом, с помощью которого проведены измерения чистоты основной массы графита (600 т), показавшие, что промышленность освоила выпуск графита для уран-графитовых реакторов. Таким обра-

зом, в августе 1946 г. у нас появилась полная уверенность в том, — писали И.В.Курчатов и И.С.Панасюк, — что имевшийся в нашем распоряжении графит обладает почти предельным эффективным сечением захвата тепловых нейтронов (почти равным сечению захвата ядер углеродом)" [145, т. 3, с. 80]. Велись также нейтронно-физические исследования качества поступающих блоков урана методом испытания их в поясе графитовой призмы, теорию которого разработал В.С.Фурсов (метод браковки малых порций урана).

По мере поступления партий урановых и графитовых блоков, оценки их пригодности последовательно были собраны, изучены и разобраны четыре подкритические модели реактора (с 1 августа по 15 октября 1946 г.). Исследования и расчеты дали возможность оценить радиус активной зоны реактора (3 м) и необходимое количество урановых (до 50 т) и графитовых (~ 500 т) блоков для его сооружения, которое началось 15 ноября 1946 г. Были также отработаны вопросы конструкции реактора и здания для него, управления им, защиты от излучения и др. "... К началу строительства котла у нас были ясные представления о необходимых конструктивных элементах для управления цепной реакцией в котле и о реальных взрывных опасностях при строительстве, — отмечали Курчатов и Панасюк. — ... Проектируемый котел представлялся нам как некоторое рационально собранное сооружение из уран-графитовой решетки, графита, регулирующих стержней, приводимых в действие дистанционно, экспериментальных каналов и колодцев, помещенное, например, в яму в земле для защиты от радиации" [145, т. 3, с. 78].

Уран-графитовая решетка была кубической с элементарной ячейкой 200x200x200 мм, в узлах и центре которой находились цилиндрические блоки урана диаметром 32—35 мм. Осуществлена она в виде шара, вмонтированного в графитовый, если можно сказать, цилиндр для устойчивости и создания отражателя. Управление развитием цепной реакции осуществлялось двумя кадмиевыми стержнями диаметром 50 мм. По данным В.С.Фурсова, реактор должен был "пойти" на 55-м слое решетки. 25 декабря в 14 часов был собран 54-й слой и начался подъем кадмиевых стержней, в 18 часов в реакторе была получена саморазвивающаяся цепная ядерная реакция (управление реактором осуществлял лично Курчатов). При полностью извлеченных стержнях эффективный коэффициент размножения составил 1,00075. "В результате большой и напряженной работы, проведенной коллективом в течение июля 1943 — декабря 1946 гг., — писали Курчатов и Панасюк, — удалось 25 декабря 1946 г. в 18 часов впервые наблюдать цепную саморазвив. ощуюся реакцию в осуществленном надкритическом уран-графитовом котле с практи-

чески полным и, по-видимому, самым рациональным использованием всех изготовленных к этому времени урановых и графитовых блоков" [145, т. 3, с. 73]. Создание реактора Ф-1 под непосредственным руководством и при участии Курчатова явилось выдающимся достижением советской науки и техники, знаменовавшей рождение в СССР ядерной техники, в то же время это было завершение только первого этапа решения атомной проблемы [248, с. 15—36].

Вступление в строй первого советского ядерного реактора и проведенные на нем исследования позволили получить ряд важных экспериментальных, теоретических и методических результатов, в частности измерить основные ядерные константы, разработать метод количественного контроля физических качеств графита, урана и уран-графитовых решеток, определить оптимальную решетку для первого промышленного ядерного реактора и уточнить его расчетные характеристики, изучить вопросы управления реактором, радиационной безопасности и, наконец, получить плутоний-239, изучить его химические свойства и разработать технологию его извлечения из облученного урана. Опыт, полученный на этом первом реакторе Ф-1, и осуществленные на нем исследования дали возможность приступить к проектированию и сооружению других советских реакторов и, в первую очередь, промышленного (плутониевого) реактора, который был построен и введен в строй уже в июне 1948 г. также под руководством Курчатова. В качестве мощного источника нейтронного излучения Ф-1 дал возможность осуществить ряд важнейших физических, химических, биологических и технических экспериментов. После пуска промышленного реактора И.В.Курчатов первый обратил внимание на вопросы радиационной стойкости реакторных материалов. В условиях нейтронного облучения было обнаружено накопление в графите скрытой энергии, выделяющейся при его отжиге (независимо от Ю.Вигнера), сильное изменение его свойств, в частности объема (увеличение) и механической прочности, уменьшение тепло- и электропроводности, обнаружено также изменение формы и размеров металлического урана. Этим было положено начало новым научным направлениям в СССР — радиационной физике твердого тела и радиационному материаловедению. В результате была выяснена физическая природа изменений в графите, обусловленных нарушением его кристаллической решетки под действием интенсивных излучений, и решен ряд практических вопросов, связанных с реакторами, использующими графит в качестве замедлителя, проверены и откорректированы в реальных условиях геометрические и технические параметры проектируемых промышленных реакторов.

Были детально изучены температурные эффекты реактора,

доказано, что нагревание графита приводит к уменьшению реактивности безводного уран-графитового реактора, определен его температурный коэффициент реактивности (И.С.Панасюк) [145, т. 3, с. 95—109]. П.Е.Спиваком и Б.Г.Ерозолиским проведены тщательные измерения значения среднего числа нейтронов на один акт деления: $\nu = 1,337 \pm 0,010$ [247, с. 28] и определения значения $\nu_{эф}$ для различных энергетических областей [248, с. 369—370]. М.Б.Егизаров в целях уточнения φ провел измерения резонансного захвата нейтронов в урановых блоках различного диаметра [248, с. 53—66]. Исследование величин сечений деления урана и их изменений с энергией нейтронов осуществили на первом промышленном реакторе М.И.Певзнер и В.И.Мостовой [247, с. 30]. Б.В.Курчатовым и Г.Н.Яковлевым из образцов облученного в реакторе Ф-1 урана был выделен (1947) плутоний и изучены его основные химические свойства.

Широкие исследования, связанные с созданием следующих за Ф-1 реакторов, осуществили также А.П.Александров, А.И.Алиханов, А.Д.Галанин, Л.В.Грошев, А.И.Лейпунский, С.Я.Никитин, С.М.Фейнберг, И.М.Франк, Ф.Л.Шапиро и др. [247]. Так, Алиханов был руководителем тяжеловодного направления в ядерных реакторах, в 1949 г. им с сотрудниками осуществлен пуск первого советского исследовательского реактора на тяжелой воде. В 1946—1948 гг. Лейпунский выдвинул идею реактора на быстрых нейтронах и в последующие годы с О.Д.Казачковским, И.И.Бондаренко, А.М.Усачевым и другими выполнил широкие исследования по физике быстрых реакторов, завершившиеся созданием методов расчета и постройкой ряда экспериментальных реакторов на быстрых нейтронах, в частности уже в 1955 г. первого быстрого реактора БР-1 [228, 229].

В короткий срок в курчатовском темпе было осуществлено промышленное производство плутония и получен в необходимом количестве расщепляющийся материал для первой советской атомной бомбы, успешное испытание которой проведено 29 августа 1949 г. Итак, была решена задача, поставленная перед Курчатовым и коллективом, она же положила конец монопольному владению США атомным оружием.

В успешном достижении этой цели большую роль сыграли и другие видные советские ученые и возглавляемые ими коллективы. Так, технологический процесс отделения плутония-239 от урана и радиоактивных осколков был разработан под руководством В.Г.Хлопина, в результате чего химический завод и промышленный уран-графитовый реактор были введены в строй в 1948 г. практически одновременно и начали в едином комплексе производство плутония. Этим было положено начало атомной промышленности в СССР. Тогда же завершилось и строительство завода

по получению урана-235 из природного методом газовой диффузии, разработанным под научным руководством И.К.Кикоина. Электромагнитное разделение изотопов урана выполнил коллектив, возглавляемый Л.А.Арцимовичем. Усилиями А.П.Виноградова и А.А.Бочвара с сотрудниками в короткие сроки успешно были решены соответственно вопросы химии и металлургии урана и плутония высокой частоты. Но научное руководство всеми научно-техническими работами по атомной проблеме осуществлял И.В.Курчатов. Под его руководством были продолжены и завершены работы по созданию водородной бомбы. Первая водородная бомба в СССР и в мире была успешно испытана 12 августа 1953 г. В результате был создан советский атомный щит, обеспечивающий надежную обороноспособность нашей страны. И несмотря на обладание уже термоядерным оружием Советский Союз продолжал по-прежнему бороться за полное запрещение и ликвидацию этого средства массового уничтожения [214].

После создания ядерного оружия И.В.Курчатов уже больше внимания уделял мирным аспектам атомной проблемы, а также созданию и расширению экспериментальной базы лаборатории для испытаний опытных тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), конструкционных материалов и теплоносителей, без чего немалым был дальнейший прогресс в реакторостроении [73]. Такая база, состоящая из реактора для физических и технических исследований (РФТ), экспериментальных петель и горячей лаборатории, вскоре была создана. Реактор РФТ должен был стать источником нейтронов, используемым для физических экспериментов и изучения конструкций ТВЭЛов для новых энергетических ядерных реакторов [145, т. 3, с. 110—140]. Тепловая мощность реактора составляла 10 тыс. кВт, активным веществом служил обогащенный 5%-ный уран, замедлителем — графит и вода. Горячая лаборатория давала возможность выполнять металловедческие и химические исследования облученных в реакторе блоков и материалов высокой радиоактивности.

РФТ был введен в эксплуатацию в апреле 1952 г. и работал на мощности 10—30 % проектной с проведением только физических экспериментов. В декабре 1952 г. он был выведен на полную проектную мощность, в дальнейшем в эксплуатацию введены две петли для изучения конструктивных узлов реакторов с водяным охлаждением под высоким давлением и с жидкометаллическим охлаждением и две петли для изучения в рабочих условиях ТВЭЛов энергетических реакторов с газовым и водяным охлаждением [145, т. 3, с. 149—165]. На основе идеи диспергирования делящегося вещества в разбавителе была успешно решена сложная задача создания для реактора 1-й атомной электростанции нераспухающих и недеформирующихся ТВЭЛов с максималь-

ным сроком службы. Испытания на РФТ большого числа опытных твэлов позволили отработать и выбрать наиболее надежную и работоспособную конструкцию твэла для реакторов ряда будущих атомных электростанций. Совместно с Н.А.Доллежалем, С.М.Фейнбергом и др. Курчатов разработал уран-графитовый реактор с водяным охлаждением для энергетических целей [145, т. 3, с. 141—148] и принял активное участие в создании первой в мире атомной электростанции — Обнинской АЭС электрической мощностью 5000 кВт (идея конструкции активной зоны реактора станции принадлежала Курчатову и Фейнбергу), успешный пуск которой состоялся 27 июня 1954 г. (Д.И.Блохинцев, Н.А.Доллежал, А.К.Красин, В.А.Малых), положивший начало ядерной энергетике.

В дальнейшем И.В.Курчатов принимал энергичные меры по развитию этой новой отрасли, основные направления которой освещены в лекции в английском атомном научном центре в Харуэлле, с которой он выступил в апреле 1956 г. [145, т. 3, с. 172—181]. Под руководством и по инициативе Курчатова разрабатывались и создавались исследовательские ядерные реакторы различных типов, в частности водо-водяные энергетические реакторы ВВЭР, исследовательский реактор СМ-2 с самым высоким тогда потоком тепловых нейтронов ($2,5 \cdot 10^{15}$ нейтр/см²·с), импульсный реактор ИГР с нейтронным потоком до 10^{18} нейтр/см²·с и др. Так, в Институте атомной энергии (ИАЭ), созданном в 1955 г. на базе Лаборатории № 2 АН СССР, был сооружен первый водо-водяной исследовательский реактор ВВР-2 на обогащенном уране с бесканальной активной зоной, послуживший прототипом для реактора ВВР-С. Первый же реактор ВВЭР электрической мощностью 210 МВт был введен в эксплуатацию на Нововоронежской АЭС в 1964 г., проектирование которой велось под руководством Курчатова. В 1957 г. в ИАЭ стал в строй первый водо-водяной реактор бассейного типа ИРТ. Непосредственно разработкой реакторов ВВР и СМ руководил С.М.Фейнберг. В 1960 г. за создание комплекса исследовательских водо-водяных реакторов ВВР-2, ВВР-С и ИРТ С.М.Фейнбергу, В.В.Гончарову и ряду сотрудников института была присуждена Ленинская премия. В 1959 г. вступило в строй первое в мире промышленное судно с ядерной энергетической установкой — атомоход "Ленин", научным руководителем создания которого был А.П.Александров.

С начала 50-х годов в ИАЭ под руководством Курчатова развернулись работы по управляемому термоядерному синтезу (Л.А.Арцимович, М.А.Леонтович), которым он с 1957 г. уделял особенно много внимания, считая их главным направлением деятельности института. С 1958 г. в ИАЭ Курчатов регулярно, вплоть

до своей внезапной кончины 7 февраля 1960 г., проводил термоядерный семинар. В институте практическую реализацию созданием в 1955 г. первого советского токамака (И.Н.Головин, Н.А.Явлинский) нашла идея И.Е.Тамма и А.Д.Сахарова об удержании высокотемпературной плазмы сильным тороидальным магнитным полем (1950). В 1952 г. курчатовский ученик Г.И.Будкер (независимо от Р.Поста и Г.Йорка) выдвинул идею открытой магнитной ловушки с магнитными пробками, реализованную в установке "Огра-1" (И.Н.Головин, 1958), сооружение которой было инициировано Курчатовым.

Большую роль сыграл И.В.Курчатов в создании ядерных центров в нашей стране, в частности, в Ташкенте, Тбилиси, Киеве, а также в оказании помощи социалистическим странам в проектировании и сооружении ядерных реакторов, был одним из инициаторов организации Объединенного института ядерных исследований в Дубне. По его инициативе и под его руководством была подготовлена и проведена в июле 1955 г. сессия Академии наук СССР по мирному использованию атомной энергии, на которой впервые было сообщено о советских ядерных исследованиях [247, 249]. В 1956 г. при посещении английского атомного центра в Харуэлле он выступил с лекцией "О возможности создания термоядерных реакций в газовом разряде" [145, т. 3, с. 182—195], рассказав о проводимых в СССР исследованиях в этой области, что способствовало снятию того покрова секретности, которым были окутаны термоядерные работы. Тем самым был открыт путь для широкого сотрудничества ученых разных стран по этой проблеме. Курчатов возглавлял подготовку докладов на 1-ю Женевскую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (1955).

Эта его деятельность была адекватным выражением его активной гражданской позиции — позиции страстного борца за мир, за полное запрещение атомного и водородного оружия, за использование атомной энергии только в мирных целях. Его темпераментные выступления созвучны выступлениям многих других выдающихся физиков — Н.Бора, Ф.Жолио-Кюри, Дж.Бернала, С.Пауэлла и других о необходимости скорейшего запрещения ядерного оружия.

В процессе реализации атомной программы в московский период получила интенсивное развитие школа И.В.Курчатова. Как уже подчеркивалось, в новом деле Курчатов быстро становился не только организатором и вдохновителем исследований, но и непосредственным и активным участником этих начинаний, работая непосредственно с ближайшим, как правило, небольшим кругом людей, становившихся его учениками или соратниками на пути к скорейшему получению результата. Особенно смело

Курчатов привлекал молодых талантливых физиков, поручая им ответственные работы, и вместе с ними преодолевал возникающие трудности. На талантливую молодежь у него был особый нюх. Привлечение, отбор и поддержка способных физиков всегда оставались сильной чертой Курчатова.

В Москве, сначала в Лаборатории № 2 АН СССР, а с 1955 г. — в Институте атомной энергии, формировалась и развивалась курчатовская школа физиков-ядерщиков. На различных этапах решения конкретных задач атомной проблемы — разработка, строительство и пуск первого ядерного реактора, создание многих последующих реакторов различных типов, атомного и термоядерного оружия, основ атомной промышленности и ядерной энергетики, а также в процессе разветвления термоядерных исследований — Курчатов постоянно был окружен учениками, единомышленниками и энтузиастами, такими же, как и он сам. Их всех объединяла одна великая, грандиозная цель, необходимость решения крупной научно-технической проблемы, а также большой авторитет ученого и огромное личное обаяние руководителя этой проблемы И.В.Курчатова.

К московской школе И.В.Курчатова, кроме ряда его учеников еще ленинградского периода *Г.Н.Флёрова, В.П.Джелепова, И.И.Гуревича, М.Г.Мещерякова, Б.В.Курчатова, Л.М.Неменова, И.С.Панасюка, Г.Я.Щепкина* и некоторых других, принадлежат *И.Н.Головин, В.В.Гончаров, С.М.Фейнберг, Г.И.Будкер, Е.Н.Бабулевич, А.С.Баранов, Н.А.Власов, Б.Г.Дубовский, В.И.Мостовой, М.И.Певзнер, С.А.Скворцов* и др. Школой Курчатова заложены основы советской физики и техники ядерных реакторов, ядерного реакторостроения, ядерной энергетики [26]. Она дала уже не одно поколение ученых, так как многие ее представители создали собственные физические школы или группы учеников. Широко известны школы *Г.И.Будкера* в области физики высоких энергий и физики плазмы, *Г.Н.Флёрова* — по физике тяжелых ионов и синтезу новых трансурановых элементов, *С.М.Фейнберга* — в области физики реакторов.

И.В.Курчатов уже при жизни получил широкое официальное и неформальное признание. Он академик (1943), трижды Герой Социалистического Труда (1949, 1951, 1954), лауреат Ленинской (1957) и четырех Государственных (1942, 1949, 1951, 1954) премий, награжден золотой медалью *Ф.Жюлио-Кюри* (1959). Его имя присвоено созданному им и руководимому до последнего дня жизни Институту атомной энергии. Президиумом АН СССР учреждена золотая медаль и премия его имени, присуждаемая советским ученым за лучшие работы в области ядерной физики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перевернута последняя страница книги о первых физических и ведущих современных школах первой половины XX ст. и их создателях. Насколько исследование удалось, судить выскателю читателю — физику, продолжающему традиции той или иной из рассмотренных школ и поэтому имеющему больше прав высказать свое профессиональное суждение, или историку науки и науковеду, или просто интересующемуся историей науки.

Автору хотелось бы резюмировать сказанное выше на многих страницах, сделав некоторые краткие выводы. Предложенная им рабочая модель научной школы верно служила ему на протяжении всей книги, выдержав испытания по всем физическим школам. Это же относится и к тем предложенным структурам, в которых рождаются и функционируют научные школы. "Синтезированы" научные и человеческие портреты основателей и руководителей физических школ. Установлено время возникновения школ в физике — последние четверть XIX ст. Раскрыты персональные составы приведенных школ, показан вклад этих школ в физику, в формирование ряда ее разделов. А неформальные научные коллективы, возглавляемые Х.Камерлинг-Оннесом и И.В.Курчатовым, впервые идентифицированы с научными школами.

В научный оборот введен ряд новых или малоизвестных фактов, по некоторым восстановлены приоритеты. По сути история рассмотренных физических школ — это история ряда научных направлений современной физики сквозь призму этих школ, т.е. еще один метод исследования движения идей в процессе реализации научных программ школ.

Обилие и широта материала заставили автора ограничиться рассмотрением только некоторых крупных неформальных объединений физиков. Поэтому "за кадром" остались школы Н.Н.Андреева, В.К.Аркадьева, В.Гей-

зенберга, П.П.Лазарева, П.Ланжевена, М.А.Леонтовича, Э.Лоуренса, Р.Оппенгеймера, Р.Поля, П.Шеррера, А.В.Шубникова, П.Эренфеста. Их создатели также оставили богатое научное наследие — учеников, которые и сегодня успешно продолжают дело своих учителей.

И в настоящее время ряд физических школ определяет облик многих научных направлений. В частности, к ним относятся школы, возглавляемые видными современными физиками Н.Г.Басовым, Н.Н.Боголюбовым, Н.Моттом, И.Пригожиным, А.М.Прохоровым, Ч.Таунсом, Дж.Уилером и др.

Однако у читателя не должно сложиться впечатление, что современная физика — это физика школ. Сегодня физика "делается" школами, отдельными видными учеными, тяготеющими к кабинетной работе, однако отнюдь не запирающимися в "башню из слоновой кости" и большими объединениями физиков, словом, коллективно. И в этом залог ее дальнейших успехов.

Особое значение приобретают вопросы, связанные с формированием и успешным функционированием научных школ, их вкладом в науку, научно-технический и социальный прогресс в связи с перестройкой в нашей стране системы науки, в которой научные школы являются своеобразными "точками опоры". Перенять накопленный в школах опыт — методы и стиль руководства научными коллективами и создание в них здорового микроклимата, высокий стандарт исследований, нравственных устоев и критериев — значит принять эстафету поколений в науке. Это тем более необходимо, что сегодня перестройка и нравственность неразрывны. Перестройка в духовной, научной сфере так же необходима, как и в экономической. Науке нужна не междоусобная борьба людей, их самолюбий и амбиций, а борьба идей, не атмосфера застоя, бюрократизма, пассивности и дискредитации, а нового мышления, творческих исканий, широких, свободных и доброжелательных дискуссий, самореализации личности, демократичности, не групповщина, отмеченная печатью серости, посредственности и недоброжелательности к подлинно талантливому, а научные школы, истинно духовный союз высокоинтеллектуальных и высоконравственных, одаренных людей, служащих только одной правде и одной научной истине. Обращение к богатому наследию прошлого, лучшим духовным традициям, следование высоким образцам человеческой морали и нравственности, высоким примерам служения делу науки и воспитания, как нельзя лучше отвечает настоятельным требованиям того глубокого социально-нравственного перелома, который происходит в жизни нашего общества.

М. Фарадей

Дж. Максвелл

А. Кундт

Физический институт Страсбургского университета

А. Кундт (в центре справа) с учениками. Крайний справа П. Н. Лебедев

Масс-спектрограф Астона

Дж. Дж. Томсон

П. Н. Лебедев

Параболы Томсона

Дж. Дж. Томсон с группой исследователей-студентов (1898). Сидят: Дж. Мак-Клелланд, Ч. Чайлд, П. Ланжевен, Дж. Дж. Томсон, Дж. Зелени, Р. Уилловс, Г. Вильсон, Дж. Таунсенд. Стоят: Э. Уэйд, Дж. Шекспир, Ч. Вильсон, Э. Резерфорд, У. Гендерсон, Дж. Винцент, Дж. Брайян (1-й ряд), С. Ричардсон, Дж. Генри (2-й ряд)

М. Планк

Схема установки Лебедева для измерения давления света на твердые тела

Приборы Лебедева для опытов по измерению давления света на газы

А. Эйнштейн

Э. Резерфорд

Х. Камерлинг-Оннес

Э. Резерфорд с группой исследователей-студентов (Манчестер, 1913). Сидят: Г. Робинсон, Д. Флоранс, М. Уайт, Дж. Принг, Э. Резерфорд, У. Маковер, Э. Эванс, Ч. Дарвин. Стоят: А. Вуд, Э. Грин, Р. Вильсон, С. Оба, Э. Марсден, Дж. Геррард, Дж. Чэдвик, Ф. Уэйлей, Г. Мозли (1-й ряд), Г. Ричардсон, Дж. Нэттол, Б. Вильямс, У. Кзай (2-й ряд), Т. С. Тейлор, А. Рассел (3-й ряд)

Участники Сольвесского конгресса (Брюссель, 1933). С н д я т: Э. Шредингер, И. Кюри, Н. Бор, А. Ф. Иоффе, М. Склодовская-Кюри, П. Ланжевен, О. Ричардсон, Э. Резерфорд, Т. Дондер, М. де Бройль, Л. де Бройль, Л. Мейтнер, Дж. Чэдвик. С т о я т: Ф. Перрен (2-й слева), Ф. Жолио (3-й), В. Гейзенберг (4-й), Х. Крамерс (5-й), Э. Ферми (7-й), П. Дирак (9-й), П. Дебай (10-й), П. Блэккетт (15-й), В. Паули (19-й), О. Пикар (26-й), Э. Лоуренс (27-й)

Кавендишская лаборатория

**Установка для получения жидкого
гелия**

Лейденская криогенная лаборатория (1922)

Участники семинара в Институте Н. Бора (1932). С и д я т:
Н. Бор (3-й), Л. Розенфельд (4-й)

Л. Бриллюэн, Л. Мейтнер, П. Эренфест, Х. Крамерс. С т о я т: В. Гейзенберг,

Институт Н. Бора

Э. Ферми

Римская группа: О. Д'Аго-
стино, Э. Сегре, Э. Амаль-
ди, Ф. Разетти, Э. Ферми

Один из слоев первого ре-
актора Э. Ферми

А. Ф. Иоффе

Д. С. Рождественский

Л. И. Мандельштам

Главное здание Ленинградского политехнического института, в котором в 1918—1923 гг. располагались лаборатории Физико-технического института

Картина дисперсии в парах натрия вблизи дублета

Участники семинара А. Ф. Иоффе (1916). Сидят: П. И. Лукирский, А. Ф. Иоффе, Н. Н. Семенов.
Стоят: Я. Г. Дорфман, Я. Р. Шмидт, К. Ф. Нестурх, Н. И. Добронравов, М. В. Кирпичева, Я. И. Френкель,
А. Ющенко, И. К. Бобр, П. Л. Капица

Участники полупроводникового (твердотельного) семинара А. Ф. Иоффе (30-е годы). Сидят: (?), П. С. Тартаковский, А. Ф. Иоффе, М. В. Класен, А. В. Иоффе, М. И. Корсунский, И. В. Курчатов. Стоят: Г. А. Гринберг (1-й), А. Н. Арсеньева (4-я), Я. И. Френкель (5-й), Б. В. Курчагов (6-й), П. П. Кобеко (8-й)

Участники кружка П. Эренфеста (Петербург, 1908). Сидят: П. Эренфест, А. Ф. Иоффе, Д. С. Рождественский, Т. А. Афанасьева-Эренфест. Стоят: В. М. Чулановский, Г. Г. Вейхардт, Л. Д. Исаков, Г. Перлицц, В. Р. Бурсиан, Я. Р. Шмидт

Сотрудники научного отдела ГОИ (середина 20-х годов). Сидят: А. А. Мазинг, К. К. Баумгарт, Н. А. Нарышкин, А. Н. Теренин. Стоят: И. А. Шошин, В. М. Чулановский, М. А. Юрьев, С. Э. Фриш, В. К. Прокофьев, В. И. Пясецкий, Е. Ф. Гросс, А. А. Лебедев

С. И. Вавилов

Л. Д. Ландау

И. Е. Тамм

И. В. Курчатов

Кладка первого со-
ветского реактора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ленин В.И. Материализм и эмпириокритицизм // Полн. собр. соч. - Т. 18. - С. 7-384.
2. Ленин В.И. Набросок плана научно-технических работ // Полн. собр. соч. - Т. 36. - С. 228-231.
3. Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. - М.: Политиздат, 1986.
4. Абрам Федорович Иоффе. - М.: Наука, 1981.
5. Абрикосов А.А. // ДАН СССР. - 1952. - 86. - С. 489.
6. Абрикосов А.А. // ЖЭТФ. - 1957. - 32. - С. 1442.
7. Абрикосов А.А. Академик Л.Д. Ландау. - М.: Наука, 1965.
8. Абрикосов А.А., Горьков Л.П. // ЖЭТФ. - 1960. - 39. - С. 1781.
9. Абрикосов А.А., Горьков Л.П., Халатников И.М. // ЖЭТФ. - 1958. - 35. - С. 265.
10. Абрикосов А.А., Халатников И.М. Академик Лев Давидович Ландау // Физика в шк. - 1962. - № 1. - С. 21-27.
11. Адирович Э.И. Новая глава современной физики // Природа. - 1951. - № 3. - С. 3-12.
12. Академик Игорь Васильевич Курчатов. - М.: Знание, 1981.
13. Академик Игорь Евгеньевич Тамм. - М.: Знание, 1973.
14. Академик Л.И. Мандельштам. - М.: Наука, 1979.
15. Александров А.П. Пример Курчатова // Правда. - 1983. - 12 янв. - С. 3.
16. Алфёров Ж.И. и др. // ФТП. - 1970. - 4. - С. 1826.
17. Алфёров Ж.И., Иванов-Омский В.И., Парицкий Л.Г., Френкель В.Я. Исследование полупроводников в физико-техническом институте // ФТП. - 1968. - 2. - С. 1397-1424.
18. Альтберг В.Я. // ЖРФХО. Часть физ. - 1903. - 35, вып. 4. - С. 459.
19. Альтберг В.Я. // ЖРФХО. Часть физ. - 1907. - 39, вып. 3. - С. 53.
20. Андронов А.А. Собрание сочинений. - М.: Изд-во АН СССР, 1956.
21. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. - М.: Гостехиздат, 1937.
22. Анохин П.К. Верю таланту // Наука сегодня. - М.: Мол. гвардия, 1969.
23. Аркадьев В.К. // ЖРФХО. Часть физ. - 1913. - 45, вып. 3. - С. 103.
24. Академик Игорь Евгеньевич Тамм. - М.: Знание, 1982.
25. Астащенко Л.Т. Академик И.В. Курчатов. - М. Восиздат, 1971.
26. Атомная наука и техника в СССР. - М.: Атомиздат, 1977.
27. Атомное ядро. - Л.; М.: Гостехиздат, 1934.
28. Ахиезер А.И. Харьковская школа теоретической физики // УФЖ. - 1985. - 30. - С. 645-661.
29. Ахиезер А.И., Померанчук И.Я. // ЖЭТФ. - 1937. - 7. - С. 567.
30. Баумгарт К.К. Дмитрий Сергеевич Рождественский // УФН. - 1941. - 25. - С. 230-240.
31. Бесараб М. Ландау. - М.: Моск. рабочий, 1978.
32. Берестецкий В.Б. Лев Давидович Ландау // УФН. - 1958. - 64. - С. 615-621.
33. Бете Г., Зоммерфельд А. Электронная теория металлов. - М.: Гостехиздат, 1938.
34. Бикар П. Фредерик Жолио-Кюри и атомная энергия. - М.: Госатомиздат, 1962.
35. Блаум А.И., Мокровский Н.П., Регель А.Р. // Изв. АН СССР. Сер. физ. - 1952. - 16. - С. 139.
36. Боголюбов Н.Н. // Изв. АН СССР. Сер. физ. - 1947. - 11. - С. 77.
37. Богомолов А.А. Избранные труды. - Киев: Изд-во АН УССР, 1958. - Т. 3.
38. Бойко Е.С. Школа академика А.А. Андропова. - М.: Наука, 1983.
39. Бор Н. Избранные научные труды. - М.: Наука, 1970-1971. - 2 т.
40. Борн М. Физика в жизни моего поколения. - М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
41. Борн М. Эйнштейновская теория относительности. - 2-е изд. - М.: Мир, 1972.
42. Борн М. Моя жизнь и взгляды. - М.: Прогресс, 1973.
43. Борн М. Размышления и воспоминания физика. - М.: Наука, 1977.
44. Борн М., Хуан Куи. Динамическая теория кристаллических решеток. - М.: Изд-во иностр. лит., 1958.
45. Бройль Л. де. Революция в физике. - 2-е изд. - М.: Атомиздат, 1965.
46. Вавилов С.И. Памяти П.Н. Лебедева // Природа. - 1937. - № 5. - С. 94-96.
47. Вавилов С.И. Советская наука на новом этапе. - М.: Изд-во АН СССР, 1946.
48. Вавилов С.И. Собрание сочинений. - М.: Изд-во АН СССР, 1954-1956. - 4 т.

49. Вавилов С.И. Глаз и солнце. — М.: Наука, 1981.
50. Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. — М.: Атомиздат, 1977.
51. Вальтер А.Ф. Пробой твердых диэлектриков. — Л.; М.: Гостехиздат, 1933.
52. Вальтер А.Ф., Инге Л.Д. // ЖЭФ. — 1929. — 6, вып. 6. — С. 49.
53. Введенский Б.А. Памяти Сергея Ивановича Вавилова... // Изв. АН СССР. Отд. техн. наук. — 1951. — № 3. — С. 324–326.
54. Вестн. АН СССР. — 1980. — № 7. — С. 117–123.
55. Вигнер Э. Этюды о симметрии. — М.: Мир, 1971.
56. Вклад академика А.Ф.Иоффе в становление ядерной физики в СССР. — Л.: Наука, 1980.
57. Воспоминания об академике Д.С.Рожественском. — Л.: Наука, 1976.
58. Воспоминания об академике И.В.Курчатове. — М.: Наука, 1983.
59. Воспоминания об А.Ф.Иоффе. — Л.: Наука, 1973.
60. Воспоминания об И.Е.Тамме. — М.: Наука, 1981.
61. Вальцев А.Н. Открытие элементарных частиц. Электрон β . Фотоны γ . — М.: Наука, 1981.
62. Галаган М.Д. // Тр. Физ. ин-та АН СССР. — 1960. — 12. — С. 3.
63. Гейзенберг В. Памяти Макса Борна // УФН. — 1970. — 102, вып. 1. — С. 149–152.
64. Гельфанд Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. — 2-е изд. — М.: Высш. шк., 1981.
65. Гернек Ф. Пионеры атомного века. — М.: Прогресс, 1974.
66. Гиббс Дж. Основные принципы статистической механики. — М.; Л.: Гостехиздат, 1946.
67. Гинзбург В.Л. // ЖЭФ. — 1945. — 15. — С. 739.
68. Гинзбург В.Л. Лев Давидович Ландау // УФН. — 1968. — 94. — С. 181–184.
69. Гинзбург В.Л. К истории открытия и изучения сверхпроводимости // Вопр. истории естествознания и техники. — 1980. — № 1. — С. 44–56.
70. Головин И.Н. И.В.Курчатова. — М.: Атомиздат, 1967.
71. Голоушкин В.Н. Э.Х.Ленц — создатель и руководитель русской школы физиков середины XIX ст. // Учен. зап. Ленингр. пед. ин-та. — 1955. — 103. — С. 311–318.
72. Гольдман А.Г. Михаил Петрович Аверариус и киевская школа экспериментальной физики // УФН. — 1951. — 44, вып. 4.
73. Гончаров В.В. И.В.Курчатова и ядерные реакторы // Атом. энергия. — 1963. — 14, вып. 1. — С. 10–17.
74. Горьков Л.П. // ЖЭФ. — 1959. — 36. — С. 833; 36. — С. 1918.
75. Горюнова Н.А., Коломиец Б.Т. // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1956. — 20. — С. 1496.
76. Гринберг А.П., Френкель В.Я. Игорь Васильевич Курчатова в Физико-техническом институте (1925–1943 гг.). — Л.: Наука, 1984.
77. Гуло Д.Д., Осиковский А.Н. Дмитрий Сергеевич Рожественский. — М.: Наука, 1980.
78. Давыдов А.С., Храмов Ю.А. Игорь Евгеньевич Тамм — ученый и учитель // УФЖ. — 1985. — 30, № 11. — С. 1749–1754.
79. Давыдов Б.И. // ЦАН СССР. — 1938. — 20. — С. 279, 283.
80. Данин Д.С. Резерфорд. — М.: Мол. гвардия, 1966.
81. Данин Д. Нильс Бор. — М.: Мол. гвардия, 1978.
82. Двадцать лет инженерно-физического факультета ЛПИ. — Л., 1939.
83. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики. — М.: Наука, 1985.
84. Дзялошинский И.Е. // ЖЭФ. — 1957. — 32. — С. 1547.
85. Дзялошинский И.Е. // ЖЭФ. — 1957. — 33. — С. 807.
86. Добров Г.М. Наука о науке. — К.: Наук. думка, 1970.
87. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX в. — М.: Наука, 1979.
88. Дуков В.М. Электрон. — М.: Просвещение, 1966.
89. Жолито-Кюри Ф. Избранные труды. — М.: Изд-во АН СССР, 1957.
90. Жузе В.П., Курчатова Б.В. // ЖЭФ. — 1932. — 2. — С. 310.
91. Зельдович Я.Б., Харитон Ю.Б. // ЖЭФ. — 1939. — 9. — С. 1425–1427; 1940. — 10. — С. 29–36.
92. Зельдович Я.Б., Харитон Ю.Б. // УФН. — 1941. — 25. — С. 381–405; 1983. — 139. — С. 501–527.
93. Зернов В.Д. // ЖРФХО. Часть физ. — 1906. — 38, вып. 7. — С. 410–419.
94. Зернов В.Д. Петр Николаевич Лебедев // Учен. зап. Моск. ун-та. — 1940. — Вып. 52: Физика. — С. 125–150.

95. Зоммерфельд А. Механика. — М.: Изд-во иностр. лит., 1947.
96. Зоммерфельд А. Оптика. — М.: Изд-во иностр. лит., 1953.
97. Зоммерфельд А. Термодинамика и статистика физики. — М.: Изд-во иностр. лит., 1955.
98. Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика. — М.: Изд-во иностр. лит., 1955.
99. Зоммерфельд А. Строение атома и спектры. — М.: Гостехтеориздат, 1956. — 2 т.
100. Зоммерфельд А. Электродинамика. — М.: Изд-во иностр. лит., 1958.
101. Зоммерфельд А. Пути познания в физике. — М.: Наука, 1973.
102. Зоммерфельд А. // Гидродинамическая теория смазки. — М.; Л., 1934. — С. 361–476.
103. Иваницко Д.Д. Модель атомного ядра и ядерные силы // 50 лет современной ядерной физики. — М.: Энергоатомиздат, 1982. — С. 18–61.
104. Игорь Евгеньевич Тамм. — 2-е изд. — М.: Наука, 1974.
105. Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1936. — № 112.
106. Из воспоминаний о Сергее Ивановиче Вавилове // Тр. Ин-та истории естествознания и техники. — 1957. — 17. — С. 137–153.
107. Иоффе А.Ф. Физика кристаллов. — М.; Л.: Госиздат, 1929.
108. Иоффе А.Ф. Ленинградский физико-технический институт // Научно-исследовательские институты тяжелой промышленности. — М.; Л., 1935. — С. 1–13.
109. Иоффе А.Ф. Физика полупроводников. — 2-е изд. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957.
110. Иоффе А.Ф. Избранные труды. — М.: Наука, 1974–1975. — 2 т.
111. Иоффе А.Ф. О физике и физиках. — Л.: Наука, 1977.
112. Иоффе А.Ф. Встречи с физиками. — Л.: Наука, 1981.
113. Иоффе А.Ф., Синельников К.Д., Гохберг Б.М. // ЖРФХО. Часть физ. — 1926. — 58, вып. 2. — С. 105.
114. Иоффе А.Ф., Стильбанс Л.С., Нордманшвили Е.К., Ставицкая Т.С. Термоэлектрическое охлаждение. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956.
115. Камерлинг-Оннес Г. Исследования свойств тел при низких температурах, приведшие, между прочим, к приготовлению жидкого гелия: (Нобелевская речь...) // Вопр. физики. — 1914. — Вып. 7. — С. 219.
116. Камерлинг-Оннес Г. О наинизшей температуре, достигнутой до настоящего времени // УФН. — 1924. — 4. — С. 240.
117. Капица П.Л. // ДАН СССР. — 1938. — 18. — С. 21; Nature. — 1938. — 141. — Р. 74.
118. Капица П.Л. Эксперимент. Теория. Практика. — М.: Наука, 1974.
119. Капица П.Л., Семенов Н.Н. // ЖРФХО. Часть физ. — 1922. — 50, вып. 4/6 А. — С. 159.
120. Капцов Н.А. // ЖРФХО. Часть физ. — 1905. — 37, вып. 6. — С. 187.
121. Капцов Н.А. Воспоминания о Петре Николаевиче Лебедеве // УФН. — 1952. — 46, вып. 3. — С. 325–328.
122. Кара-Мурза С.Г. Проблемы организации научных исследований. — М.: Наука, 1981.
123. Карцев В.П. Социальная психология науки и проблемы историко-научных исследований. — М.: Наука, 1984.
124. Кедров Б.М. Ленин и революция в естествознании XX века. — М.: Наука, 1969.
125. Кеззом В. Гелий. — М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
126. Келер В. Сергей Вавилов. — М.: Мол. гвардия, 1975.
127. Кикоин И.К. А.Ф. Иоффе // УФН. — 1940. — 24. — С. 3–10.
128. Кикоин И.К. Игорь Васильевич Курчатов // АЭ. — 1963. — 14, вып. 1. — С. 5–9.
129. Кикоин И.К. Он прожил счастливую жизнь // Природа. — 1974. — № 1. — С. 102–107.
130. Кикоин И.К., Носков М.М. // ЖЭТФ. — 1934. — 4. — С. 123.
131. Клаусен-Неклюдова М.В. Пластические свойства и прочность кристаллов. — М.: Гостехиздат, 1933.
132. Кляуз Е.М., Франкфурт У.Н., Френк А.М. Нильс Бор. — М.: Наука, 1977.
133. Кобко П.П., Курчатов И.В., Синельников К.Д. // Тр. Ленингр. физ.-техн. лаб. — 1928. — Вып. 5. — С. 5.
134. Колли А.Р. // ЖРФХО. Часть физ. — 1907. — 39, вып. 8. — С. 210.
135. Коломиец Б.Т. // ДАН СССР. — 1938. — 19. — С. 383.
136. Кравец Т.П. П.Н. Лебедев и созданная им физическая школа // Природа. — 1913. — № 3. — С. 284–292.
137. Кравец Т.П. Памяти П.Н. Лебедева // Природа. — 1937. — № 5. — С. 97–103.
138. Кравец Т.П. П.Н. Лебедев и световое давление // УФН. — 1952. — 46. — С. 306–320.
139. Кравец Т.П. Сергей Иванович Вавилов // УФН. — 1952. — 46. — С. 3–22.

140. Крылов Н.М., Боголюбов Н.Н. Новые методы нелинейной механики в их применении к изучению работы электронных генераторов. — М., Л.: ОНТИ, 1934. — Ч. 1.
141. Кудрявцев П.С. История физики. — М.: Учпедгиз, 1956. — Т. 3.
142. Кудрявцев П.С. Физические лаборатории высшей школы второй половины 19 в. // История и методология естеств. наук. — 1979. — Вып. 21. — С. 118–126.
143. Кун Т. Структура научных революций. — М.: Прогресс, 1975.
144. Курчатов И.В. Семгетозлектрики. — Л.; М.: Гостехиздат, 1933.
145. Курчатов И.В. Избранные труды. — М.: Наука, 1982–1984. — 3 т.
146. Курчатов И.В., Кобеко П.П. Академик Абрам Федорович Иоффе // Электричество. — 1940. — № 10. — С. 34–36.
147. Лазарев П.П. // ЖРФХО. Часть физ. — 1911. — 43, вып. 3. — С. 69.
148. Лазарев П.П. А.Г.Столетов, Н.А.Умов, П.Н.Лебедев, Б.Б.Голицын. — Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1927.
149. Лазарев П.П. К двадцатипятилетию со дня смерти П.Н.Лебедева // УФН. — 1937. — 17. — С. 405–420.
150. Лазарев П.П. Воспоминания о П.Н.Лебедеве // УФН. — 1962. — 77. — С. 571.
151. Лакатос И. История науки и ее рациональные реконструкции // Структура и развитие науки. — М.: Прогресс, 1978. — С. 203–269.
152. Ланге К.А. Организация управления научными исследованиями. — Л., 1971.
153. Ландау Л.Д. Собрание трудов. — М.: Наука, 1969. — 2 т.
154. Лауэ М. История физики. — М.: Гостехиздат, 1956.
155. Лауэ М. Статьи и речи. — М.: Наука, 1969.
156. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Статистическая физика. — 1938.
157. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Пятагорский Л. Теоретическая физика. Механика. — М.; Л. — Гостехтеоретиздат, 1940.
158. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Теория поля. — М.: Гостехтеоретиздат, 1941.
159. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Механика сплошных сред. — М.: Гостехтеоретиздат, 1944.
160. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Квантовая механика. — М.: Гостехтеоретиздат, 1948.
161. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред. — М.: Физматгиз, 1959.
162. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Теория упругости. — М.: Наука, 1965.
163. Лашкарев В.Е. // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1941. — 5. — С. 442.
164. Лебедев П.Н. Собрание сочинений. — М., 1913.
165. Лебедев П.Н. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.
166. Левшин Л.В. С.И.Вавилов — создатель и глава советской школы люминесценции // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1951. — 15. — С. 513–522.
167. Левшин Л.В. Сергей Иванович Вавилов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960.
168. Левшин Л.В. Сергей Иванович Вавилов. — М.: Наука, 1977.
169. Лейберг П.Б. // ЖРФХО. Часть физ. — 1896. — 18. — С. 93.
170. Лейпунский А.И. // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1940. — 4. — С. 291.
171. Ленинградский физико-технический институт Академии наук СССР // ЖЭТФ. — 1940. — 10. — С. 576.
172. Ленинское философское наследие и современная физика. — М.: Наука, 1981.
173. Ливанова А. Л.Д.Ландау. — М.: Знание, 1978.
174. Лифшиц Е.М. // ЖЭТФ. — 1941. — 11. — С. 255, 269.
175. Лоренц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. — 2-е изд. — М.: Гостехиздат, 1953.
176. Льюис М. История физики. — М.: Мир, 1970.
177. Ляуль П. Энрико Ферми. — М.: Атомиздат, 1965.
178. Максвелл Дж.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. — М.: Гостехиздат, 1954.
179. Максвелл и развитие физики XIX–XX веков. — М.: Наука, 1985.
180. Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов. — Л.; М.: Изд-во АН СССР, 1948–1955. — 5 т.
181. Мандельштам Л.И. Лекции по теории колебаний; Лекции по оптике, теории относительности, квантовой механике. — М.: Наука, 1. 72.
182. Менделеев Д.И. Периодический закон. — М.: Изд-во АН СССР, 1958.

183. Менделеев К. Физика низких температур. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.
184. Менделеев К. На пути к абсолютному нулю. — М.: Атомиздат, 1971.
185. Мигулин В.В., Л.И.Мандельштам и становление советской физики // Природа. — 1979. — № 5. — С. 44—54.
186. Мур Р. Нильс Бор — человек и ученый. — М.: Мир, 1969.
187. Наследов Д.Н., Рогачев А.А., Рыакин С.М., Царенков Б.В. // ФТТ. — 1962. — 4. — С. 1062.
188. Научное наследие. — М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — Т. 1.
189. Нейман Дж. фон. Математические основы квантовой механики. — М.: Наука, 1964.
190. Нейтрон. — М.: Наука, 1975.
191. Неклепаев Н.П. // ЖРФХО. Часть физ. — 1911. — 43, вып. 3. — С. 101.
192. Нильс Бор: Жизнь и творчество. — М.: Наука, 1967.
193. Нильс Бор и развитие физики. — М.: Изд-во иностр. лит., 1961.
194. Обремов И.В. Дмитрий Сергеевич Рождественский // Тр. Гос. опт. ин-та. — 1974. — 42, вып. 175. — С. 3—30.
195. Октябрь и наука. — М.: Наука, 1977.
196. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. — М.: Наука, 1981.
197. Основатели кинетической теории материи. — М.; Л.: ОНТИ, 1937.
198. Оствальд В. Великие люди. — СПб., 1910.
199. Оствальд В. Насущная потребность. — М., 1912.
200. Отдел теоретической физики им. И.Е.Тамма Физического института им. П.Н.Лебедева АН СССР. — М., 1985. — (Препр. / АН СССР. Физ. ин-т им. П.Н.Лебедева; № 34).
201. Отчет о состоянии и действиях императорского Московского университета за 1910 г. — М., 1911.
202. Очерки истории и теории развития науки. — М.: Наука, 1969.
203. Очерки по истории развития ядерной физики в СССР. — Киев: Наук. думка, 1982.
204. Памяти Игоря Евгеньевича Тамма // УФН. — 1971. — 105. — С. 163—164.
205. Памяти Сергея Ивановича Вавилова. — М.: Изд-во АН СССР, 1952.
206. Палалекси Н.Д. Краткий очерк жизни и научной деятельности Леонида Исааковича Мандельштама // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1945. — 9, № 1/2. — С. 8—20.
207. Палалекси Н.Д., Андронов А.А., Горелик Г.С., Рытов С.М. Некоторые исследования в области нелинейных колебаний, проведенные в СССР, начиная с 1935 г. // Палалекси Н.Д. Собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР, 1948.
208. Паули В. Труды по квантовой теории. — М.: Наука, 1975.
209. Паули В. Физические очерки. — М.: Наука, 1975.
210. Переписка А.Эйнштейна и М.Борна // Эйнштейновский сборник. — М.: Наука, 1972. — С. 7—54.
211. Перспективы квантовой физики. — Киев: Наук. думка, 1982.
212. Петряк К.А., Флеров Г.Н. // ДАН СССР. — 1940. — 28. — С. 500.
213. Петросьяни А.М. От научного поиска к атомной промышленности. — М.: Атомиздат, 1970.
214. Петросьяни А.М. Атом не должен служить войне. — М.: Политиздат, 1986.
215. Пешков В.П. // ДАН СССР. — 1944. — 45. — С. 385.
216. Планк М. Единство физической картины мира. — М.: Наука, 1966.
217. Планк М. Избранные труды. — М.: Наука, 1975.
218. Полупроводники. — Л.: Наука, 1979.
219. Понтекорво Б. Энрико Ферми // УФН. — 1955. — 57. — С. 348—359.
220. Понтекорво Б., Покровский В. Энрико Ферми в воспоминаниях ученых и друзей. — М.: Наука, 1972.
221. Проблемы деятельности ученого и научных коллективов. — М.; Л.: Наука, 1969—1979. — Вып. 1—7.
222. Проблемы современной физики: Сб. ст. к 100-летию со дня рождения А.Ф.Иоффе. — Л.: Наука, 1980.
223. Проблемы теоретической физики. Памяти И.Е.Тамма. — М.: Наука, 1972.
224. Пуанкаре А. Эволюция современной физики. — СПб., 1910.
225. 50 лет Государственного оптического института им. С.И.Вавилова. — Л.: Машиностроение, 1968.
226. 50 лет современной ядерной физики. — М.: Энергоатомиздат, 1982.
227. Развитие оптики и спектроскопии в трудах Д.С.Рождественского // Развитие физики в России. — М.: Просвещение, 1970. — Т. 2. — С. 25—33.

228. Развитие физики в России. — М.: Просвещение, 1970. — 2 т.
229. Развитие физики в СССР. — М.: Наука, 1967. — 2 кн.
230. Резерфорд Э. Избранные научные труды. Радиоактивность. — М.: Наука, 1971.
231. Резерфорд Э. Избранные научные труды. Строение атома и искусственное превращение элементов. — М.: Наука, 1972.
232. Резерфорд Э. Ученый и учитель. — М.: Наука, 1973.
233. Рождественский Д.С. Работы по аномальной дисперсии в парах металлов. — М.: Изд-во АН СССР, 1951.
234. Рождественский Д.С. Избранные труды. — М.; Л.: Наука, 1964.
235. Розенфельд Л. Нильс Бор // Вопр. истории естествознания и техники. — 1964. — Вып. 17. — С. 6—15.
236. Роль дискуссий в развитии естествознания. — М.: Наука, 1986.
237. Романов В.И. // ЖРФХО. Часть физ. — 1912. — 44, вып. 7. — С. 377—389.
238. Румер Ю.Б. Макс Борн // УФН. — 1962. — 78. — С. 695—699.
239. Русинов Л.И., Флеров Г.Н. // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1940. — 4. — С. 305.
240. Рус. ведомости. — 1911. — 4 марта (№ 51).
241. Рывтов С.М. Развитие теории нелинейных колебаний в СССР // Радиотехника и электрон. — 1957. — № 11. — С. 1435—1450.
242. Свешников Б.Я. // УФН. — 1961. — 75. — С. 287.
243. Сегре Э. Энрико Ферми — физик. — М.: Мир, 1973.
244. Семенов Н.Н. Цепные реакции. — М.: Госхимтехиздат, 1934.
245. Семенов Н.Н. Наука и общество. — М.: Наука, 1973.
246. Сергей Иванович Вавилов: Очерки и воспоминания. — М.: Наука, 1981.
247. Сессия Академии наук СССР по мирному использованию атомной энергии, 1—5 июля 1955 г.; Заседания отд-ния физ.-мат. наук. — М.: Изд-во АН СССР, 1955.
248. Сессия Академии наук по мирному использованию атомной энергии, 1—5 июля 1955 г.; Пленар. заседание. — М.: Изд-во АН СССР, 1955.
249. Смит Г. Атомная энергия для военных целей. — М.: Трансжелдориздат, 1946.
250. Смородинский Я.А. Памяти Макса Борна // Вести. АН СССР. — 1970. — № 3. — С. 83—84.
251. Содди Ф. История атомной энергии. — М.: Атомиздат, 1979.
252. Советская наука: Итоги и перспективы. — М.: Наука, 1982.
253. Сохин А.С. Франц Нейман. — М.: Наука, 1986.
254. Социально-психологические проблемы науки. — М.: Наука, 1973.
255. Социологические проблемы науки. — М.: Наука, 1974.
256. Спасский Б.И. История физики. — 2-е изд. — М.: Высш. шк., 1977. — Ч. 1—2.
257. Старосельская-Никитина О.А. Эрнест Резерфорд. — М.: Наука, 1967.
258. Степанов Б.И. Очерки по истории оптической науки. — Минск: Наука и техника, 1978.
259. Тамм И.Е. Нильс Бор — великий физик XX века // УФН. — 1963. — 80. — С. 191—195.
260. Тамм И.Е. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1975. — 2 т.
261. Теоретическая физика XX в. — М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
262. Теория твердого тела. — Л.; М.: ОНТИ, 1938. — Содерж.: Борн М. Динамика кристаллической решетки (1915); Борн М., Гейперт-Майер М. Динамическая теория кристаллической решетки.
263. Теляков М. А.Г. Столетов — основатель московской школы физиков // Учен. зап. Тамбов. пед. ин-та. — 1955. — Вып. 8. — С. 42—62.
264. Теренин А.Н., Феофилов П.П. Крупнейший советский ученый — оптик // Вести. АН СССР. — 1951. — № 3. — С. 111—121.
265. Техника низких температур. — М.: Энергия, 1975.
266. Тимирязев А.К. // Временник. — 1914. — № 5, прил. — С. 1.
267. Толстой Н.А. Сергей Иванович Вавилов // Опт.-мех. пром-сть. — 1961. — № 3. — С. 2—7.
268. Томсон Дж. Дж. Начала математической теории электричества и магнетизма. — СПб., 1901.
269. Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. — СПб., 1909.
270. Томсон Дж. Дж. Корпускулярная теория вещества. — Одесса, 1910.
271. Томсон Дж. Дж. Электрон в химии. — М.; Л.: Госиздат, 1927.
272. Томсон Дж. Дж. // УФН. — 1928. — 8. — С. 570.

273. Успехи физических наук, 1977. — Т. 122, вып. 4: К 50-летию становления квантовой механики.
274. Успехи физических наук. 1985. — Т. 147, вып. 2: (К 100-летию со дня рождения Н.Бора).
275. *Фабелинский И.Л.* К истории открытия комбинационного рассеяния. — М.: Знание, 1982.
276. *Фарадей М.* Экспериментальные исследования по электричеству. — М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1947—1959. — 3 т.
277. *Феофилов П.П.* Поляризованная люминесценция атомов, молекул и кристаллов. — М.: Физматгиз, 1959.
278. *Феофилов П.П.* Сергей Иванович Вавилов // 50 лет Государственного оптического института им. С.И.Вавилова. — Л.: Машиностроение, 1968. — С. 587—626.
279. *Ферми Л.* Атомы у нас дома. — Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963.
280. *Ферми Э.* Научные труды. — М.: Наука, 1971—1972. — 2 т.
281. Физика низких температур. — М.: Изд-во иностр. лит., 1959.
282. Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — Т. 1.
283. Физика твердого тела. — Л.: Наука, 1978.
284. Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе (1918—1978). — Л.: Наука, 1978.
285. *Финкельштейн Б.Н.* Единство научного творчества и педагогического мастерства // Вестн. высш. шк. — 1960. — № 10. — С. 47—52.
286. *Фриш С.Э.* Научное наследие Д.С.Рожественского // УФН. — 1976. — 118. — С. 565—582.
287. *Фриш С.Э., Баумгарт К.К.* Академик Д.С.Рожественский и ленинградская школа оптиков // Вестн. Ленингр. ун-та. — 1946. — № 2. — С. 116—122.
288. *Фок В.А.* Критика взглядов Бора на квантовую механику // УФН. — 1951. — 45. — С. 3—14.
289. *Френкель В.Я.* Физико-техническому институту им. А.Ф.Иоффе — пятьдесят лет // УФН. — 1968. — 96. — С. 529.
290. *Френкель Я.И.* // ЖЭТФ. — 1939. — 56. — С. 641.
291. *Френкель Я.И.* Абрам Федорович Иоффе. — Л.: Наука, 1968.
292. *Харитон Ю.Б.* А.Ф.Иоффе и И.В.Курчатов // УФН. — 1983. — 139. — С. 385—397.
293. *Храмов Ю.А.* Школы в науке // Вопр. истории естествознания и техники. — 1982. — № 3. — С. 54—67.
294. *Храмов Ю.А.* Физики: Биограф. справ. — 2-е изд. — М.: Наука, 1983.
295. *Храмов Ю.А.* Биография физики: Хронол. справ. — Киев: Техніка, 1983.
296. *Храмов Ю.А.* Научный лидер и его характерные черты // Наукоедение и информатика. — 1986. — Вып. 27. — С. 81—91.
297. *Храмов Ю.А.* Эволюция школы Ландау // Проблемы теоретической физики. — Киев: Наук. думка, 1986. — С. 5—22.
298. *Хунд Ф.* История квантовой теории. — Киев: Наук. думка, 1980.
299. Человек науки. — М.: Наука, 1974.
300. *Черенков П.А.* // ДАН СССР. — 1934. — 2. — С. 451.
301. *Шаравский П.В.* // ЖЭТФ. — 1934. — 4. — С. 156.
302. Школы в науке. — М.: Наука, 1977.
303. *Шпальский Э.В.* Сергей Иванович Вавилов // УФН. — 1951. — 43. — С. 327—346.
304. *Шредингер Э.* Избранные труды по квантовой механике. — М.: Наука, 1976.
305. *Цезелев Е.Я.* Радионтерференционные дальномеры и опыт их практического применения. — Л.: М.: Изд-во Главсевморпути, 1941.
306. *Шодро Н.К.* // ЖРФХО. Часть физ. — 1908. — 40, вып. 6. — С. 303—306.
307. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов : В 4 т. — М.: Наука, 1965—1967.
308. *Эренфест П.* Относительность. Кванты. Статистика. — М.: Наука, 1972.
309. *Юнг Р.* Ярче тысячи солнц. — М.: Госатомиздат, 1961.
310. *Яковлев К.П.* // ЖРФХО. — 1916. — 47, вып. 9. — С. 566.
311. *Algrain P.* Niels Bohr, physicien et chef d'école // Impact. — 1985. — 35. — P. 63—68.
312. *Allen J., Misener A.* // Nature. — 1938. — 141. — P. 75.
313. *Amaldi E.* From the discovery of the neutron to the discovery of nuclear fission // Phys. Reports. — 1984. — 3. — P. 3—331.
314. *Ambler E., Hayward R., Hoppes D., Hudson R., Wu C.S.* // Phys. Rev. — 1957. — 105. — P. 1413.
315. Amer. J. Phys. — 1949. — 17, N 5. — P. 312—314.

316. *Anderson J.* // Rept. Nat. Res. Council. - 1918. - Apr.
317. *Bartoli A.* // Nuovo Cimento. - 1883. - 15. - P. 195.
318. *Bequerel J., Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1908. - N 103.
319. *Benz U.* Arnold Sommerfeld. - Stuttgart, 1975.
320. *Bezold W.* August Kundt. - Leipzig, 1894.
321. *Bhabha H., Heitler W.* // Nature. - 1936. - 138. - P. 401.
322. *Blackett P.* // Proc. Roy. Soc. - 1925. - A 107. - P. 349.
323. *Blackett P., Occhialini G.* // Proc. Roy. Soc. - 1933. - 139. - P. 699.
324. *Bloch F.* // Phys. Z. - 1928. - 52. - S. 555; 1929. - 57. - S. 545; 1930. - 61. - S. 206.
325. *Bloch F.* Reminiscences of Niels Bohr // Phys. Today. - 1963. - N 10. - P. 32-34.
326. *Born M.* Atomtheorie des festen Zustandes. (Dynamik der Kristallgitter). - Leipzig, 1923.
327. *Born M.* Probleme der Atomdynamik. - Berlin, 1926.
328. *Born M.* Ausgewählte Abhandlungen. - Göttingen, 1963. - Bd. 1-2.
329. *Born M., Green H.* // Proc. Roy. Soc. - 1946. - A188. - P. 10; 1947. - A190. - P. 455; 1948. - A192. - P. 166.
330. *Born M., Heisenberg W., Jordan P.* // Phys. Z. - 1926. - 35. - S. 557.
331. *Born M., Infeld L.* // Proc. Roy. Soc. - 1934. - A144. - P. 425; A146. - P. 935; A147. - P. 522.
332. *Born M., Jordan P.* // Phys. Z. - 1925. - 33. - S. 479.
333. *Born M., Karman Th.* // Phys. Z. - 1912. - 13. - S. 297.
334. *Born M., Wiener N.* // Phys. Z. - 1926. - 36. - S. 174.
335. *Bragg W., Kleeman* // Phil. Mag. - 1904. - Dec.
336. *Breit G., Wigner E.* // Phys. Rev. - 1936. - 49. - P. 519.
337. *Bretscher E., Cockcroft J., Enrico Fermi* // Biographical Memoirs of Fellows Roy. Soc. - 1955. - 1. - P. 69-78.
338. *Brillouin L.* // Ann. Phys. - 1922. - 17. - P. 88.
339. *Carlson J., Oppenheimer R.* // Phys. Rev. - 1936. - 51. - P. 220.
340. *Castmír H.* Haphazard reality. - New York; London, 1983.
341. *Cath P., Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1922. - N 156a.
342. *Chadwick J.* // Phil. Mag. - 1920. - 40. - P. 734.
343. *Chadwick J., Goldhaber M.* // Nature. - 1934. - 134. - P. 237.
344. *Christenson J., Cronin J., Fitch V., Turlay R.* // Phys. Rev. Lett. - 1964. - 13. - P. 138.
345. *Commun.* - 1921. - N 155.
346. *Commun.* - 1925. - N 177.
347. *Commun.* - 1925. - N 183.
348. *Cockcroft J., Niels Henrik David Bohr* // Biographical Memoirs of the Fellows Roy. Soc. - 1963. - 9. - P. 37-53.
349. *Cockcroft J., Gilbert L., Walton E.* // Nature. - 1934. - 133. - P. 328.
350. *Cockcroft J., Walton E.* // Proc. Roy. Soc. - 1932. - A137. - P. 229.
351. *Cockcroft J., Walton E.* // Nature. - 1933. - 131. - P. 23.
352. *Coster D., Hevesy Z.* // Nature. - 1922. - 111. - P. 252.
353. *Crommelin C.A.* Rapport sur l'ensemble des recherches de feu M. le professeur H. Kamerlingh Onnes, aux températures de l'hélium liquide // Commun. - Suppl. N 63b. - P. 16-40.
354. *Crookes W.* // Phil. Trans. - 1874. - 164. - P. 501.
355. *Curie I., Joliot F., Preiswerk P.* // C.R. - 1934. - 198. - P. 2089.
356. *Curie P., Laborde H.* // C.R. - 1903. - 136. - P. 673.
357. *Dana L., Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1926. - N 179 c.
358. *Dancoff S.* // Phys. Rev. - 1950. - 78. - P. 382.
359. *Darwin Ch.* // Phil. Mag. - 1914. - 27. - P. 499.
360. *Debye P.* // Ann. Phys. - 1912. - 39. - S. 789.
361. *Debye P.* // Phys. Z. - 1916. - 17. - S. 507.
362. *Devons S.* Recollections of Rutherford and the Cavendish // Phys. Today. - 1971. - N 12. - P. 39-45.
363. *Dirac P.* // Proc. Roy. Soc. - 1926. - 112. - P. 661.
364. *Dirac P.* // Proc. Roy. Soc. - 1927. - 113. - P. 621.
365. *Dirac P.* // Proc. Roy. Soc. - 1927. - A114. - P. 243.
366. *Dirac P.* // Proc. Roy. Soc. - 1928. - 117. - P. 610.
367. *Dirac P.* // Proc. Roy. Soc. - 1931. - A133. - P. 60.
368. *Dorfman J.* // Phys. Z. - 1923. - 17. - S. 98.
369. *Dorfman J.* // Nature. - 1927. - 119. - P. 353.

370. Du Bois H. August Kundt // Nature. - 1894. - 50. - P. 152-153.
371. Eckart C. // Phys. Rev. - 1926. - 28. - P. 711.
372. Ehrenfest P. // Commun. Suppl. - 1933. - N 75b.
373. Ellis Ch., Wooster W. // Proc. Roy. Soc. - 1927. - A117. - P. 109.
374. Epstein P. // Phys. Z. - 1916. - 17. - S. 148.
375. Eve A. Rutherford. Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford. - Cambridge, 1939.
376. Eve A., Chadwick J. Lord Rutherford // Obituary Notices of Fellows of the Roy. Soc. - 1938. - 2. - P. 395-423.
377. Ewald P. Erinnerungen an die Anfänge des Münchener Physikalischen Kolloquiums // Phys. Bl. - 1968. - 24. - S. 538-542.
378. Ewald P. Prof. A. Sommerfeld // Nature. - 1951. - 168. - P. 364-366.
379. Feather N. // Proc. Roy. Soc. - 1932. - A136. - P. 709; Nature. - 1932. - 130. - P. 237.
380. Feather N. Lord Rutherford. - London; Glasgow, 1940.
381. Feynman R., Gell-Mann M. // Phys. Rev. - 1958. - 109. - P. 193.
382. Fierov G.N., Petriak K.A. // Phys. Rev. - 1940. - 58. - P. 89.
383. Franck J. Ein Geburtstagsgruss von Max Born // Phys. Bl. - 1962. - 12. - S. 544.
384. Franck J. Niels Bohrs Persönlichkeit // Naturwiss. - 1963. - 50. - N 9.
385. Franck J., Hertz G. // Verh. Dtsch. Phys. Ges. - 1914. - 16. - S. 457, 512.
386. Frenkel J. // Phys. Z. - 1926. - 35. - S. 652.
387. Frenkel J. // Phys. Z. - 1928. - 49. - S. 31.
388. Frenkel J. // Phys. Z. - 1928. - 49. - S. 31.
389. Frenkel J. // Phys. Z. - 1928. - 47. - S. 819.
390. Frenkel J., Dorfman J. // Nature. - 1930. - 126. - P. 274.
391. Frenkel J. // Phys. Rev. - 1931. - 37. - P. 17.
392. Frisch O. // Nature. - 1939. - 143. - P. 276.
393. Frisch O. Prof. Enrico Fermi (Obituary) // Nature. - 1955. - 175. - P. 18-19.
394. Fues E. Zum 80. Geburtstag von Max Born // Phys. Bl. - 1962. - N 2. - S. 545-551.
395. Gamow G. // Phys. Z. - 1928. - 51. - S. 204.
396. Garwin R., Lederman L., Weinrich M. // Phys. Rev. - 1957. - 105. - P. 1415.
397. Geiger H. // Proc. Roy. Soc. - 1910. - A83. - P. 492.
398. Geiger H., Marsden E. // Proc. Roy. Soc. - 1909. - A82. - P. 495.
399. Geiger H., Marsden E. // Phil. Mag. - 1913. - 25. - P. 604.
400. Geiger H., Nuttal J. // Phil. Mag. - 1911. - 22. - P. 613.
401. Goldhaber M., Grodzins L., Sunyer A. // Phys. Rev. - 1958. - 109. - P. 1015.
402. Gorter C., Taconis K. The Kamerlingh Onnes Laboratory // Cryogenica. - 1964. - 4. - P. 345-353.
403. Gross E. // Phys. Z. - 1930. - 63. - S. 685; Nature. - 1930. - 26. - P. 201, 400, 603.
404. Gurney R., Condon E. // Nature. - 1928. - 122. - P. 439.
405. Haas-Lorentz G.L. de // Naturwiss. - 1926. - 20. - S. 441-445.
406. Harkins W. // Science. - 1920. - 51. - P. 291.
407. Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926): Obituary Notices of Fellows Deceased // Proc. Roy. Soc. - 113, N 765. - P. 1-VI.
408. Heisenberg W. // Phys. Z. - 1928. - 49. - S. 619.
409. Heisenberg W. Arnold Sommerfeld // Naturwiss. - 1951. - 38. - S. 337-338.
410. Heisenberg W. Ausstrahlung von Sommerfelds Werk in der Gegenwart // Phys. Bl. - 1968. - 24. - S. 530-537.
411. Heisenberg W. Max Born zum Gedächtnis // Phys. Bl. - 1970. - 26, N 2. - S. 49-54.
412. Heisenberg W., Pauli W. // Phys. Z. - 1929. - 56. - S. 1-61; 1930. - 59. - S. 168.
413. Helmholtz H. Gedächtnisrede auf Gustav Magnus (1802-1870) // Physiker über Physiker II. - Berlin Akad. - Verl., 1979.
414. Hund F. Max Born, Göttingen and Quantenmechanik // Phys. Bl. - 1982. - 38, N 11. - S. 341-351.
415. Infeld L. Quest. The Evolution of a Scientist. - New York, 1941.
416. Jordan P. // Phys. Z. - 1926. - 37. - S. 383; 38. - S. 513; 40. - S. 809.
417. Jordan P., Pauli W. // Phys. Z. - 1928. - 47. - S. 151.
418. Kalekar J. Niels Bohr // Impact. - 1985. - 35. - P. 5-14.
419. Kamerlingh Onnes H. // Commun. - 1901. - N 71.
420. Kamerlingh Onnes H. // Commun. - 1908. - N 108.

421. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1911. - N 119.
422. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1911. - N 124 c.
423. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1913. - N 133b; N 133d.
424. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1913. - N 34, Suppl.
425. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1914. - N 139f.
426. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1914. - N 140b; N 140c.
427. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1914. - N 140d.
428. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1922. - N 159.
429. *Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1922. - N 159.
430. *Kamerlingh Onnes, Boks J.* // Commun. - 1924. - N 170b.
431. *Kamerlingh Onnes H., Tuyn W.* // Commun. - 1922. - N 160b.
432. *Kamerlingh Onnes H., Tuyn W.* // Commun. - 1926. - N 181.
433. *Kamerlingh Onnes H., Van Gulik W.* // Commun. - 1926. - N 184a.
434. *Kamerlingh Onnes, Weber S.* // Commun. - 1915. - N 147b.
435. *Keesom W.H. Prof. Dr. H. Kamerlingh Onnes. His life-work, the founding of the Cryogenic Laboratory* // Commun. Suppl. N 57. - P. 1-21.
436. *Keesom W.H. Prof. Dr. Kamerlingh Onnes* // Physica. - 1926. - 6a. - N 3, P. 81-98.
437. *Keesom W.* // Commun. - 1926. - N 184b.
438. *Keesom W.* // Commun. - 1932. - N 219a.
439. *Keesom W., Clusius K.* // Commun. - 1932. - N 219e.
440. *Keesom W., Kamerlingh Onnes H.* // Commun. - 1924. - N 174b.
441. *Keesom W., Keesom A., miss* // Commun. - 1932. - N 221d; 1935. - N 235d; Physica. - 1935. - 2. - P. 557.
442. *Keesom W., Keesom A., miss* // Physica. - 1936. - 3. - P. 359.
443. *Keesom W., Wolfke M.* // Commun. - 1928. - N 190b.
444. *Khrumov Yu.A. Role of M.A. Leontovich's school in the development of plasma physics* // Proc. Contrib. papers of the Intern. conf. of plasma physics. - Kiev: Naukova Dumka, 1987. - Vol. 4. - P. 336-340.
445. *Klein O., Nishina Y.* // Phys. Z. - 1929. - 52. - S. 322.
446. *Kramers H.* // Nature. - 1924. - 114. - P. 310.
447. *Kramers H., Heisenberg W.* // Phys. Z. - 1925. - 31. - S. 681.
448. *Kundt A.* // Pogg. Ann. Phys. - 1866. - 127. - S. 27.
449. *Kundt A.* // Pogg. Ann. Phys. - 1871. - 142.
450. *Kundt A. Vorlesungen über Experimental physik.* - Braunschweig, 1903.
451. *Kundt A., Roentgen W.* // Pogg. Ann. Phys. - 1879. - 9. - S. 24.
452. *Kundt A., Warburg E.* // Pogg. Ann. Phys. - 1875. - 155. - S. 89.
453. *Kundt A., Warburg E.* // Pogg. Ann. Phys. - 1876. - 157. - S. 17.
454. *Landau L.* // Phys. Z. - 1930. - 64. - S. 629.
455. *Lattes G., Muirhead H., Occhialini G., Powell C.* // Nature. - 1947. - 159. - P. 694.
456. *Laue M. Sommerfelds Lebenswerk* // Naturwiss. - 1951. - 38. - S. 513-518.
457. *Lee D.* // Nature. - 1934. - 133. - P. 24.
458. *Lee T.D., Yang C.N.* // Phys. Rev. - 1956. - 104. - P. 254.
459. *Lenard Ph.* // Ann. Phys. - 1903. - 12. - S. 714.
460. *Le Roux F.* // Pogg. Ann. Phys. - 1862. - 117. - S. 659.
461. *Lodge O. Sir J.J. Thomson* // Nature. - 1926. - 118, Suppl. - P. 49-51.
462. *London F.* // Phys. Z. - 1926. - 37. - S. 917.
463. *Lovschin W.L.* // Phys. Z. - 1925. - 26. - S. 274.
464. *Marsden E.* // Phil. Mag. - 1914. - 27. - P. 824.
465. *Marsden E.* // Phil. Mag. - 1915. - 30. - P. 240.
466. *Marsden E. Rutherford - his life and work, 1871-1937* // Proc. Roy. Soc. - 1954. - A226. - P. 283-305.
467. *Marshak R., Sudarshan E.* // Phys. Rev. - 1959. - 109. - P. 1860.
468. *Mathias E., Crommelin C., Kamerlingh Onnes H., Swallow J.* // Commun. - 1925. - N 172b.
469. *Meitner L., Frisch O.* // Nature. - 1939. - 143. - P. 239.
470. *Meitner L., Hahn O., Strassmann F.* // Phys. Z. - 1937. - 106. - P. 249.
471. *Moseley H.* // Phil. Mag. - 1913. - 26. - P. 1024; 1914. - 27. - P. 703.
472. *Mott N., Niels Bohr* // Phys. Bull. - 1985. - 36, N 4. - P. 163-164.
473. *Nagaoka H.* // Phil. Mag. - 1904. - 7. - P. 445.
474. *Nature.* - 1937. - 140. - P. 746-754.
475. *Nature.* - 1937. - 140, Suppl. - P. 1047-1054.

476. *Nier A., Booth E., Dunning J., Grosse A.* // *Phys. Rev.* - 1940. - 57. - P. 546.
477. *Oliphant M.* Rutherford: Recollections of the Cambridge Days. - Amsterdam, 1972.
478. On the cryogenic laboratory at Leiden and on the production of very low temperatures // *Commun.* - 1894. - N 14.
479. *Oppenheimer R., Volkoff G.* // *Phys. Rev.* - 1938. - 55. - P. 374.
480. *Pauli W.* // *Phys. Z.* - 1926. - 36. - S. 336.
481. *Peierls R.* // *Phys. Z.* - 1929. - 53. - S. 255; 1933. - 80. - S. 763; 81. - S. 186.
482. *Perrin F.* // *C.R.* - 1924. - 178. - P. 1978, 2252.
483. *Perrin F.* // *C.R.* - 1933. - 197. - P. 1625.
484. *Perrin J.* // *Rev. Scientific.* - 1901. - 15. - P. 449.
485. *Phillips M.* Laboratories and the rise of the physics profession on the nineteenth century // *Amer. J. Phys.* - 1983. - N 6. - P. 497-503.
486. *Phys. Today.* - 1955. - 8, N 1. - P. 9-13.
487. *Physics of one and two-electron atoms.* - Amsterdam; New York, 1969.
488. *Physiker über Physiker II.* - Berlin: Akad. Verl., 1979.
489. *Raman C., Krishnan K.* // *Nature.* - 1928. - 31, march.
490. *Rayleigh R.* Joseph John Thomson // *Obituary Notices Fellows Roy. Soc.* - 1941. - 3, N 10. - P. 587-609.
491. *Rayleigh R.* The life of sir J.J. Thomson. - Cambridge, 1943.
492. *Rev. Mod. Phys.* - 1955. - 27, N 3. - P. 249-272.
493. *Rutherford at Manchester.* - London, 1962.
494. *Rutherford E., Chadwick J.* // *Proc. Cambridge Phil. Soc.* - 1929. - 25. - P. 186.
495. *Rutherford E., Nuttall J.* // *Phil. Mag.* - 1913. - 24. - P. 702.
496. *Rutherford E., Oliphant M., Harteck P.* // *Nature.* - 1934. - 133. - P. 413.
497. *Sakata S.* // *Progr. Theor. Phys.* - 1956. - 16. - P. 686.
498. *Sakuraj J.* // *Nuovo Cimento.* - 1958. - 7. - P. 649.
499. *Schwarzchild K.* // *Berl. Ber.* - 1916. - 548.
500. *Simonyi Karoly.* A fizika Kulturtörténete. - Budapest: Gondolat Kiado, 1986.
501. *Sinelnikov C., Leipunsky A., Walter A., Latishev G.* // *Phys. Z. Sow.* - 1932. - 2. - S. 285.
502. *Sir J.J. Thomson* // *Nature.* - 1940. - 146. - P. 351-357.
503. *Sir J.J. Thomson's seventieth birthday* // *Nature.* - 1926. - 118. - P. 879-884.
504. *Sizoo G., Kamerlingh Onnes H.* // *Commun.* - 1925. - N 180b.
505. *Slater J.* // *Nature.* - 1924. - March 1st. - P. 327.
506. *Smekal A.* // *Naturwiss.* - 1923. - 11. - S. 873.
507. *Smoluchowski M.* // *Ann. Phys.* - 1908. - 25. - S. 225.
508. *Sommerfelds A.* // *Clebsch. Math. Ann.* - 1896. - 47. - S. 58.
509. *Sommerfelds A.* // *Götting. Nachricht.* - 1904. - 363; 1905. - 201.
510. *Sommerfeld A.* // *Phys. Z.* - 1916. - 17. - S. 491.
511. *Sommerfeld A.* // *Munch. Ber.* - 1916. - 131.
512. *Sommerfeld A.* // *Ann. Phys.* - 1916. - 51. - S. 125.
513. *Sommerfeld A.* // *Ann. Phys.* - 1920. - 63. - S. 221.
514. *Sommerfeld A., Hönl H.* // *Ber. phys.-math.* - Kl. - 1925. - 141.
515. *Sommerfeld A., Kossel W.* // *Verh. Dtsch. Phys. Ges.* - 1919. - 21. - S. 240.
516. *Sommerfeld A.* *Gesammelte Schriften.* - Braunschweig: Vieweg, 1968. - Bd. 1-4.
517. *Stoney G.* // *Phil. Mag.* - 1881. - 11. - P. 381.
518. *Stilard L., Zinn W.* // *Phys. Rev.* - 1939. - 55. - P. 799.
519. *Tizsa L.* // *Nature.* - 1938. - 141. - P. 913.
520. *Thomas L.* // *Proc. Cambridge Philos. Soc.* - 1927. - 23. - P. 542.
521. *Thomson G. J.J. Thomson* // *Nature.* - 1956. - 178. - P. 1317-1319.
522. *Thomson G.* Centenary of J.J. Thomson // *Science.* - 1956. - 124. - P. 1191-1195.
523. *Thomson G.P.* J.J. Thomson and the discovery of the electron // *Phys. Today.* - 1956. - 9, N 8. - P. 19-23.
524. *Thomson G.P.* J.J. Thomson and the Cavendish Laboratory in his day. - London, 1964.
525. *Thomson J.J.* // *Phil. Mag.* - 1881. - 11. - P. 229.
526. *Thomson J.J.* *Treatise on the Motion of Vortex Rings*, 1883.
527. *Thomson J.J.* (with R. Threlfall) // *Proc. Roy. Soc.* - 1886. - 40. - P. 329.
528. *Thomson J.J.* // *Phil. Mag.* - 1891. - 31. - P. 149.
529. *Thomson J.J.* (with E. Rutherford) // *Phil. Mag.* - 1896. - 42. - P. 392.
530. *Thomson J.J.* *Recent researches in electricity and magnetism.* - Oxford, 1893.
531. *Thomson J.J.* // *Electrician.* - 1897. - 39. - P. 104.

532. Thomson J.J. // Phil. Mag. - 1897. - 44. - P. 293.
533. Thomson J.J. The discharge of electricity through gases, 1898; Conduction of electricity through gases. - London, 1903; 1933 (with G.P. Thomson).
534. Thomson J.J. // Phil. Mag. - 1899. - 48. - P. 547.
535. Thomson J.J. // Rep. Int. Congr. Phys. (Paris, 1900). - 1900. - 3. - P. 138.
536. Thomson J.J. // Phil. Mag. - 1903. - 6. - P. 673.
537. Thomson J.J. // Phil. Mag. - 1904. - 7. - P. 237.
538. Thomson J.J. // Phil. Mag. - 1906. - 11. - P. 769.
539. Thomson J.J. // Phil. Mag. - 1907. - 14. - P. 295, 359.
540. Thomson J.J. // Cambridge Liter. and Phil. Soc. - 1910. - 25. - P. 5.
541. Thomson J.J. // Proc. Cambridge Phil. Soc. - 1911. - 16. - P. 455.
542. Thomson J.J. // Rays of positive electricity and their application to chemical analysis, 1913.
543. Thomson J.J. // Recollections and reflections. - London, 1936.
544. Treder H. Große Physiker und ihre Probleme. - Berlin : Akad.-Verl., 1983.
545. Tuyn W., Kamerlingh Onnes H. // Commun. - 1925. - N 174a.
546. Tuyn W., Kamerlingh Onnes H. // Commun. - 1926. - N 174a.
547. Valasek J. // Phys. Rev. - 1921. - 17. - P. 475; 1922. - 19. - P. 478; 20. - P. 644; 1924. - 24. - P. 560.
548. Van den Broek A. // Phys. Z. - 1913. - 14. - S. 32.
549. Van Urk A., Keesom W., Kamerlingh Onnes H. // Commun. - 1925. - N 179a.
550. Weisskopf V. Enrico Fermi // Naturwiss. - 1955. - 12. - S. 26.
551. Weizsäcker C. Rede zur Eröffnung der Sommerfeld Ausstellung // Kult. und Techn. - 1986. - S. 40-43.
552. Wentzel G. // Phys. Z. - 1926. - 40. - S. 590.
553. Wheeler J. Niels Bohr and nuclear physics // Phys. Today. - 1963. - N 10. - P. 36-45.
554. Wheeler J. Niels Bohr, the man // Phys. Today. - 1985. - N 10. - P. 66-72.
555. Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe. - Leipzig, 1985. - 34. Jg. H. 1; Sektion Physik der Karl-Marx-Universität. 150 Jahre nach der Gründung des Physikalischen Institutes in Leipzig. - 86 S.
556. Wolf E. Recollections of Max Born // Opt. News. - 1986. - N 11/12. - P. 10-16.
557. Wolfke M., Kamerlingh Onnes H. // Commun. - 1924. - N 171a.
558. Wolfjer H., Kamerlingh Onnes H. // Commun. - 1923. - N 167c.
559. Wolfjer H., Kamerlingh Onnes H. // Commun. - 1925. - N 173c.
560. Yukawa H. // Proc. Phys.-Math. Soc. Japan. - 1935. - 17. - P. 48.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аббе Э. (Abbe E.) 20, 258
 Абальсон Ф. (Abelson Ph.) 196, 198
 Абрагам М. (Abraham M.) 18
 Абрамов 274
 Абрикосов А.А. 300, 303, 309, 310, 313, 314, 316
 Авенариус М.П. 22, 23, 207
 Аганин М.А. 259
 Агасси Дж. (Agassi J.) 7
 Агню Г. (Agnew H.) 193, 202
 Адирович Э.И. 282, 297
 Александров А.П. 223, 228, 229, 233, 329, 338, 339, 342, 346, 348
 Аленцев М.Н. 281, 297
 Алиханов А.И. 222, 232, 233, 329, 338, 346
 Аллен Г. (Allen H.) 45
 Аллен Дж. (Allen J.) 98
 Аллен С. (Allen S.) 76
 Аллибон Т. (Allibon T.) 88, 96
 Аллисон С. (Allison S.) 189, 197, 200
 Алфёров Ж.И. 238, 239
 Алхазов Д.Г. 336, 337
 Альварес Л. (Alvarez L.) 205
 Альтберг В.Я. 50, 54—56, 61
 Альтшулер С.А. 320, 325, 326
 Альфвен Х. (Alfven H.) 203
 Амальди Э. (Amaldi E.) 178, 180, 183, 334, 362
 Амидей А. (Amidei A.) 175, 176
 Амирханов Х.И. 242
 Ампер А. (Ampere A.) 16
 Андерсон Г. (Anderson H.) 173, 174, 186—189, 191—194, 204, 205
 Андерсон Дж.А. (Anderson J.A.) 332
 Андерсон К. (Anderson C.) 202
 Андраде Э. (Andrade E.) 77, 82
 Андреев А.Ф. 59, 304, 314
 Андреев Н.Н. 61, 280, 353
 Андронов А.А. 254, 265, 266—268, 272, 275
 Анохин П.К. 10
 Ансельм А.И. 240—242
 Антонов-Романовский В.В. 279, 281, 292, 297
 Арго Г. (Argo H.) 202
 Аркадьев В.К. 55, 57, 59, 61, 352
 Аронс Л. (Arons L.) 32
 Арсенин 274
 Арсеньева А.Н. 229, 234—236, 242, 365
 Архангельский А.А. 245, 246
 Архипов 304
 Арцимович Л.А. 223, 334, 335, 339, 346, 348
 Астон Ф. (Aston F.) 39, 40, 43, 45, 46, 354
 Афанасьев А.П. 245
 Афанасьева М.А. 226
 Афанасьева-Эренфест Т.А. 366
 Ахмезер А.И. 4, 301, 303, 305—307, 315, 316
 Ахматов А.С. 210
 Баба Х. (Bhabha H.) 88, 312
 Бабулевич Е.Н. 350
 Бадарэу Э. (Badareu E.) 245
 Баев А.А. 10
 Бажулин П.А. 264, 275
 Базылев 274
 Балашов 304
 Бальмер И. (Balmer J.) 19

- Баранов А.С. 350
 Бардин Дж. (Bardeen J.) 130, 237
 Бардин И.П. 276
 Баркгаузен Г. (Barkhausen H.) 265
 Баркла Ч. (Barkla Ch.) 40, 45, 46
 Барнс Г. (Barnes H.) 76
 Барсов А.А. 23
 Бартоли А. (Bartholi A.) 51, 52
 Барышников 274
 Баряхтар В.Г. 1, 4
 Басов Н.Г. 274, 352
 Баумгарт К.К. 251, 366
 Безольд В. (Bezold W.) 28, 30, 31
 Бекаревич 304
 Бекер Г. (Becker H.) 93
 Беккерель А. (Becquerel A.) 62, 72, 106
 Беккерель А.Э. (Becquerel A.E.) 281
 Беккерель Ж. (Becquerel J.) 106, 108, 113, 116
 Бекман А. (Beckman A.) 106
 Бекман Б. (Beckman B.) 106, 116
 Беленький С.З. 325, 326
 Белл А. (Bell A.) 20
 Берестецкий В.Б. 299, 303, 313, 314
 Берков 304
 Бернал Дж. (Bernal J.) 349
 Бернардини Дж. (Bernardini G.) 179, 180
 Бернашевский В.И. 332, 333
 Бете Х. (Bethe H.) 124, 128—130, 170, 171, 175, 180, 181, 198, 312
 Бехерт К. (Bechert K.) 128
 Билер Э. (Bieler E.) 86, 88
 Биркеланд Р. (Birkeland R.) 32
 Блазиус Э. (Blasius E.) 32
 Блом Х. (Blom H.) 105
 Блондель А. (Blondel A.) 20
 Блох Ф. (Bloch F.) 158, 165, 167, 180
 Блохинцев Д.И. 280, 325, 326, 348
 Блэккетт П. (Blackett P.) 86—88, 93, 97, 358
 Блэкман М. (Blackman M.) 149
 Бобр И.К. 364
 Боголюбов Н.Н. 149, 267, 311, 316, 352
 Богомолец А.А. 7, 10
 Богословский Е.В. 55, 61
 Богуславский С.А. 143
 Боден (Boden) 105
 Бойко Е.С. 7
 Бойль Р. (Boyle R.) 281
 Бокс Дж. (Boks J.) 108, 109, 114
 Болтакс Б.И. 240, 242
 Болотовский Б.М. 322
 Больцман Л. (Boltzmann L.) 19, 255
 Бондаренко И.И. 346
 Бонч-Бруевич А.М. 280, 297
 Болл Ф. (Borr F.) 129
 Бор Н. (Bohr N.) 4, 6, 12, 35, 65, 66, 68, 69, 77, 81, 82, 89, 93, 121, 122, 127, 131, 144—147, 151—169, 186, 198, 232, 300, 309, 312, 316, 321, 325, 349, 358, 360
 Бор О. (Bohr A.) 167
 Бор Х. (Bohr H.) 152
 Боргман И.И. 245
 Борелли Дж. (Borelli G.) 22
 Борман Э. (Borman E.) 149
 Борн М. (Born M.) 4, 6, 7, 11, 12, 44, 64, 68, 117, 118, 123—125, 127, 130—151, 156, 162, 163, 178, 227, 325, 360
 Борушко И.М. 275
 Боте В. (Bothe W.) 93, 162, 334
 Бочвар А.А. 347
 Бошкович И. (Bošković) 281
 Браак К. (Braak C.) 106
 Брагинский С.И. 274
 Бракнер К. (Brueckner K.) 205
 Браттейн У. (Brattain W.) 237
 Браун К. (Braun C.) 24, 255, 256, 259—261
 Брайан Дж. (Bryan G.) 355
 Брейт (Breit) 107
 Брейт Г. (Breit G.) 189, 197, 198
 Брестер К. (Brester K.) 134, 149
 Бретчер Э. (Bretscher E.) 172
 Бриллюэн Л. (Brillouin L.) 128, 130, 165, 361
 Броди Э. (Brody E.) 134, 149
 Бройль Л. де (de Broglie L.) 140, 141, 164, 358
 Бронштейн М.П. 234, 237
 Брукс Г. (Brooks H.) 76
 Брумберг Е.М. 279, 290, 292, 297
 Брэгг Г. (Bragg G.) 75, 91
 Брэгг Л. (Bragg L.) 45, 46
 Брэдберн М. (Bradburn M.) 149
 Брюстер Д. (Brewster D.) 281
 Будкер Г.И. 349, 350
 Будницкий Д.З. 335
 Бুদ্ধо 304
 Бумстед Г. (Bumstead H.) 40, 45
 Бунзен Р. (Bunsen R.) 20, 101
 Бурмистров Ф.Л. 248, 251
 Бурснан В.Р. 222, 366

Бут Ю. (Booth E.) 186
 Бутков К.В. 248, 249, 251
 Бычков 304
 Бюргерс (Burgers) 106
 Вавилов Н.И. 59, 278
 Вавилов С.И. 4, 7, 53, 59, 60, 61, 68,
 209, 276—298, 320, 367
 Вагнер К. (Wagner C.) 214, 237
 Вайнштейн Л.А. 274
 Вайскопф В. (Weiskopf V.) 65, 144,
 149, 158, 161, 167, 170, 171, 174,
 198, 202
 Вайзеккер К. (Weizsäcker C.) 119,
 127, 161, 167, 177, 334
 Валашек Дж. (Valasek J.) 332
 Валдман Л. (Waldmann L.) 128
 Валькер И. (Walker I.) 128
 Валь А. (Wahl A.) 195
 Вальтер А.К. 96, 221—223, 229—231,
 233, 234, 333
 Вальтер А.Ф. 222, 223, 228, 229, 232
 Ван Агт Ф. (Van Agt F.) 107, 114
 Ван Гулик В. (Van Gulik W.) 114, 116
 Ван ден Брук А. (Van den Broek A.) 81
 Ван дер Ваальс Х. (Van der Waals J.)
 101
 Ван дер Поль Б. (Van der Pol B.) 265,
 266
 Ваников Б.Л. 343
 Ван Эвердинген Э. (Van Everdingen E.)
 105
 Ван Урк А. (Van Urk A.) 108, 109,
 116
 Варбург Э. (Warburg E.) 24, 27, 32,
 217
 Ваттенберг А. (Wattenberg A.) 193,
 194
 Введенский Б.А. 59, 277
 Вебер В. (Weber W.) 16, 37, 131
 Вебер Г. (Weber H.) 259
 Вебер С. (Weber S.) 106, 108, 109, 116
 Вебстер Г. (Webster H.) 88, 93
 Вегард Л. (Vegard L.) 107, 108, 113,
 114, 116
 Веденов А.А. 274, 304, 314
 Вейль Дж. (Weil G.) 188, 193
 Вейнгероу М.А. 251
 Вейс П. (Weiss P.) 106, 116
 Вейхард Г.Г. 366
 Векслер В.И. 276, 281, 294, 297
 Велкер Г. (Welker H.) 128
 Велихов Е.П. 274
 Вентцель Г. (Wentzel G.) 125, 128,
 130, 142

Вернов С.Н. 280, 297
 Вершаффелт Ж. (Verschaffelt J.) 105,
 106, 116
 Вибе А.И. 333, 334, 336
 Вивиани В. (Viviani V.) 22
 Вигнер Ю. (Wigner E.) 144, 148, 185,
 188, 189, 192, 196, 197, 313, 345
 Виддингтон Р. (Whiddington R.) 45
 Видеман Г. (Wiedemann G.) 22
 Видеман Э. (Wiedemann E.) 281, 287
 Виск Дж. (Wick G.) 179, 180
 Виллер К.Э. 275
 Вильборг М.В. 55
 Вильсон А. (Wilson A.) 214, 237
 Вильсон В. (Wilson W.) 192
 Вильсон Г.А. (Wilson H.A.) 40, 45, 357
 Вильсон Р.Г. (Wilson R.H.) 369
 Вильсон Р.Р. (Wilson R.R.) 189, 357
 Вильсон У. (Wilson W.) 123
 Вильсон Ч. (Wilson Ch.) 40, 45, 46,
 86, 355
 Вильямс Б. (Williams B.) 357
 Вильямс Э. (Williams E.) 161, 167, 177
 Вин В. (Wien W.) 118
 Вин М. (Wien M.) 118, 256
 Винер Н. (Wiener N.) 140, 144, 149
 Винер О. (Wiener O.) 24, 32, 245
 Винн-Вильямс Ч. (Wynn-Williams Ch.)
 88, 97
 Виноградов А.П. 347
 Винцент Дж. (Vincent J.) 355
 Витман Ф.Ф. 222, 226, 228
 Витт А.А. 266—268, 275
 Вихерт Э. (Wiechert E.) 37
 Вихрев 274
 Владимиров В.В. 274
 Владимирский В.В. 274
 Власов А.А. 325
 Власов Н.А. 350
 Волков Дж. (Volkoff G.) 312
 Волков М.В. 248
 Воронин А.Н. 240
 Волькенштейн Ф.Ф. 8, 223, 224
 Вольте А. (Woltjer A.) 106, 108, 113
 Вольф Э. (Wolf E.) 149
 Вольфенштейн Л. (Wolfenstein L.)
 202
 Вольфке М. (Wolfke M.) 107, 108,
 110, 114, 116
 Вуд А. (Wood A.) 77, 82, 355
 Вул Б.М. 238, 241
 Вустер У. (Wooster W.) 88, 98
 Гайтлер В. (Heitler W.) 128, 130,
 144, 147, 149, 312

- Галанин А.Д. 325, 346
 Галанин Д.Д. 61
 Галанин М.Д. 281, 289, 297
 Галилей Г. (Galilei G.) 22, 152, 173, 281, 293
 Гальвакс В. (Hallwachs W.) 24, 32
 Гамильтон У. (Hamilton W.) 140
 Гамов Дж. (Gamov G.) 96, 158, 161, 165, 167
 Ган О. (Hahn O.) 76, 77, 93, 95, 166, 184—186
 Гапонов А.В. 274
 Гарвин Р. (Garwin R.) 202
 Гасилов В.Б. 10
 Гассовский Л.Н. 248, 251
 Гаусс К. (Gauss C.) 131
 Гейгер Х. (Geiger H.) 76—79, 82, 83, 92, 162
 Гейзенберг В. (Heisenberg W.) 95, 120, 124, 127—131, 135—140, 142—146, 148, 149, 156—158, 161—163, 165, 167, 181, 230, 263, 269, 319, 352, 358, 361
 Гелл-Манн М. (Gell-Mann M.) 202, 206
 Гельмгольц Г. (Helmholtz G.) 21, 22, 26, 27, 35, 37, 255
 Гендерсон Дж. (Henderson G.) 88, 97
 Гендерсон У. (Henderson W.) 45, 355
 Генри Дж. (Henry J.) 355
 Гентнер В. (Gentner W.) 334
 Гёпперт-Майер М. (Goepfert-Mayer M.) 135, 144, 148, 149
 Гервандс 274
 Гернек Ф. (Herneck F.) 7
 Гёрни Р. (Gurney R.) 96, 165
 Герц Г. (Hertz H.) 18, 19, 32, 36, 49, 255
 Герцфельд К. (Herzfeld K.) 128
 Герштейн С.С. 304, 314
 Гершун А.А. 248, 251, 252
 Гиббс Дж. (Gibbs J.) 9, 19, 22
 Гильберт Д. (Hilbert D.) 118, 126, 131, 132, 143
 Гинзбург В.Л. 5, 299, 305, 309, 310, 314, 322, 323, 326
 Глаголев М.М. 222, 245, 251
 Глаголева-Аркадьева А.А. 49
 Глазунов П.Я. 338
 Гликсман М. (Glicksman M.) 202, 205
 Голд Э. (Gold E.) 45
 Голицын Б.Б. 32
 Головин И.Н. 4, 325—327, 329, 339, 349, 350
 Гольдбергер М. (Goldberger M.) 202
 Гольдхаммер Д.А. 32
 Гольдхабер М. (Goldhaber M.) 95, 97, 313
 Гольфанд Ю.А. 321
 Гончаров В.В. 330, 343, 348, 350
 Горелик Г.С. 253, 267, 275
 Горьков Л.П. 304, 310, 314
 Горюнова Н.А. 238
 Гохберг Б.М. 222, 223, 229, 234, 240, 242
 Грей Дж. (Gray J.) 77, 82
 Гретц Л. (Graetz L.) 82
 Грибов В.Н. 314
 Григорьян А.Т. 4
 Гримм Х. (Grimm H.) 128
 Грин Г. (Green H.) 149
 Грин Э. (Green E.) 365
 Гринберг Г.А. 222, 223, 365
 Гровс Л. (Groves L.) 197
 Гросс Е.Ф. 211, 248, 249, 251, 252, 366
 Гроссе А. (Grosse A.) 186
 Грошев Л.В. 280, 297, 346
 Гуляев В.П. 275
 Гурвич А. (Hurwitz A.) 118, 132
 Гуревич И.И. 336, 337, 339, 342, 350
 Гуревич М.М. 251
 Гуссерль Э. (Husserl E.) 132
 Давиденко В.А. 339
 Давиденков Н.Н. 226, 228
 Давыдов А.С. 4, 325, 326
 Давыдов Б.И. 222, 234, 235, 237
 Д'Агостино О. (D'Agostino O.) 183, 362
 Дайзенрат-Мьковская М. 335
 Дана Л. (Dana L.) 108, 109, 116
 Данков С. (Dancoff S.) 321
 Данинг Дж. (Dunning J.) 186, 198
 Дарвин Ч. (Darwin Ch.) 77, 79, 82, 357
 Дебай П. (Debye P.) 120, 123, 126, 127, 129, 130, 133, 134, 261, 358
 Девонс С. (Devons S.) 88, 90—92
 Девяткова Е.Д. 236, 240—242
 Дельбрюк М. (Delbrück M.) 135, 149, 167
 Демкина Л.И. 251
 Демпьер У. (Dampier W.) 45
 Демура 274
 Де Фриз (De Vries) 105
 Джексон Л. (Jackson L.) 106, 116
 Джелепов В.П. 327, 328, 331, 336—338, 350

- Джеммер М. (Jammer M.) 137
 Джентиле Дж. (Gentile G.) 179, 180
 Джеррард Г. (Gerrard H.) 357
 Дзялошинский И.Е. 304, 310, 314
 Ди Ф. (Dee Ph.) 88, 95
 Дивильковский М.А. 275
 Дирак П. (Dirac P.) 9, 140, 143, 144, 161, 163, 165, 167, 177, 179, 181, 306, 358
 Добрецов Л.Н. 252
 Добров Г.М. 4, 7
 Добронравов Н.И. 216, 220, 223, 234, 364
 Добротин Н.А. 277, 280, 297
 Доливо-Добровольский М.И. 20
 Доллежалъ Н.А. 348
 Дондер Т. (Donder T.) 358
 Дорн Ф. (Dorn F.) 22
 Дорсман (Dorsman) 106
 Дорфман Я.Г. 211, 216, 220, 222, 223, 230, 231, 233, 364
 Друде П. (Drude P.) 37, 245
 Дубовский Б.Г. 350
 Дунаев Ю.А. 234, 236, 237, 240, 242
 Дуэн У. (Duane W.) 45, 46
 Дьюар Дж. (Dewar J.) 103, 104, 111
 Дьюба Г. (Du Bois H.) 24, 82
 Дюгем П. (Duhem P.) 273
 Дюфе Ш. (Du Fay Ch.) 51

 Егилзаров М.Б. 346
 Еремеев М.А. 332, 333, 335, 336
 Ерозолимский Б.Г. 346

 Жамен Ж. (Jamin J.) 20
 Жансен П. (Janssen P.) 104
 Жарков Г.Ф. 304
 Жданов 274
 Жолио-Кюри И. (Joliot-Curie I.) 93—95, 334
 Жолио-Кюри Ф. (Joliot-Curie F.) 12, 93—95, 186, 334, 349
 Жолли Ф. (Jolly Ph.) 20
 Жузе В.П. 234, 236, 240—242
 Журков С.Н. 223, 228, 232, 233

 Забабахин Е.И. 330
 Завенягин А.П. 343
 Закржевский К. (Zakrzewski C.) 105
 Заутер Ф. (Sauter F.) 128
 Захаров В.Е. 274
 Захарьевский А.Н. 251
 Зеeman П. (Zeeman P.) 37, 63, 105, 116, 155

 Зелени Дж. (Zeleny J.) 33, 40, 45, 366
 Зелинский Н.Д. 253
 Зельдович Я.Б. 187, 337, 339, 340, 342
 Зернов В.Д. 50, 54—56, 58, 61
 Зинн В. (Zinn W.) 173, 186, 188, 189, 191—194
 Зоммерфельд А. (Sommerfeld A.) 4, 6, 11, 65, 68, 117—131, 138, 146, 149, 162, 171, 230, 360
 Зонке Л. (Sohncke L.) 22

 Из А. (Eve A.) 76, 79, 99
 Иваненко Д.Д. 4, 95, 319, 320, 333
 Иванчик 304
 Игитханов 274
 Игнатович 304
 Ильин Б.В. 61
 Инге Л.Д. 229
 Инфельд Л. (Infeld L.) 145, 148
 Иордан П. (Jordan P.) 135, 137, 139, 141, 143, 144, 146, 148—160, 163—165, 181
 Иорданишвили Е.К. 242
 Иоффе А.В. 222, 234, 235, 237, 240—242, 365
 Иоффе А.Ф. 4, 6, 8, 11, 68, 207, 209—242, 249, 332, 333, 337, 338, 358, 363—366
 Иоффе Б.Л. 303
 Исаков Л.Д. 245, 246, 366
 Исакович М.А. 264, 275
 Ишиwара Дж. (Ishiwara J.) 123

 Йенсен Х. (Jensen H.) 167
 Йодх Г. (Yodh G.) 202, 204
 Йорк Г. (York H.) 349

 Кавендиш Г. (Cavendish H.) 86
 Кagan Ю.М. 304, 314
 Кадоmцев Б.Б. 274
 Казачковский О.Д. 346
 Казимир Х. (Casimir H.) 100, 102, 106, 168, 169, 167
 Калашников С.Г. 238, 241
 Каллендар Х. (Callendar H.) 45, 46
 Кальете Л. (Cailletet L.) 19
 Калькар Ф. (Kalkar F.) 166, 167
 Камерлинг-Оннес (Оннес) Х. (Kamerlingh Onnes H.) 4, 68, 99—116, 352, 357
 Калинда П.Л. 7, 8, 69—71, 88, 89, 92, 93, 98, 216, 220, 230, 233, 310, 311, 314, 364
 Капцов Н.А. 47, 50, 54, 55, 57, 59, 61

- Кара-Мурза С.Г. 7
 Карлсон Ч. (Carlson Ch.) 312
 Карман Т. (Karman T.) 133, 134
 Карнаухов В.А. 80
 Карцев В.П. 7
 Каскариолло В. (Cascariollo V.) 281
 Кастелли В. (Castelli B.) 22
 Кассо Л.А. 60
 Кат П. (Cath P.) 106, 114
 Каталан М. (Catalan M.) 128
 Кауфман В. (Kauffman W.) 37, 62
 Кватер Г.С. 251
 Квинке Г. (Quincke G.) 22
 Кедров Б.М. 7, 10
 Кеезом А. (Keesom A.) 110
 Кеезом В. (Keesom W.) 105—110,
 113—116
 Келдыш Л.В. 325
 Кембл Э. (Kemble E.) 128
 Кеммер Н. (Kemmer N.) 136
 Кемпбелл Н. (Campbell N.) 45
 Кеннеди Дж. (Kennedy J.) 195
 Кеплер И. (Kepler J.) 51
 Керр Дж. (Kerr J.) 19
 Кессельринг О. (Kesselring O.) 107
 Кеттелер Э. (Ketteler E.) 27
 Кзай У. (Kzy W.) 357
 Кикоин И.К. 214, 221, 222, 225, 230,
 231, 233, 236, 327, 338, 342, 347
 Кинси Б. (Kinsey B.) 97
 Киржниц Д.А. 325, 326
 Киргичев М.В. 222, 223
 Киргичева М.В. 216, 217, 220, 226,
 227, 364
 Кирхгоф Г. (Kirchhoff G.) 20—22, 101
 Классен М.В. 365
 Клаузиус Р. (Clausius R.) 19, 22
 Клей Я. (Clay J.) 106, 116
 Клейн О. (Klein O.) 148, 158, 161,
 165, 167
 Клейн Ф. (Klein F.) 118—120, 124,
 126, 131, 132
 Клузиус К. (Cluizius K.) 110
 Книппинг П. (Knipping P.) 122, 133
 Кобеко П.П. 223, 229, 230—233, 365
 Ковальский (Kowalski) 107
 Коварик А. (Kovarik A.) 45
 Коварский Л. (Kowarski L.) 186
 Коган 274
 Козодаев М.С. 338
 Кокрофт Дж. (Cockcroft J.) 88, 92,
 93, 96, 172
 Колли А.Р. 50, 61
 Коломиец Б.Т. 234, 236—238, 242
 Колыбасов 304
 Кольрауш Ф. (Kohlrausch R.) 48
 Компанеи А.С. 303, 305, 314
 Комптон А. (Compton A.) 189, 197, 199
 Комсток Д. (Comstock D.) 45
 Кон Э. (Cohn E.) 32, 255, 259
 Кондон Э. (Condon E.) 96, 128, 144,
 165, 180, 202
 Кондратенко 304
 Кондратьев В.Н. 222, 223
 Константинов А.А. 23
 Константинов А.П. 223
 Константинов Б.П. 209
 Константинова-Шлезингер М.А. 281,
 292, 297
 Корнфельд М.О. 338
 Корсунийский М.И. 222, 231, 365
 Коссель В. (Kosmel W.) 123, 128
 Костер Д. (Coster D.) 157, 167
 Котович В.И. 55
 Кравец Т.П. 46, 50—55, 57—59, 61,
 279
 Кракау К.А. 248
 Крамерс Х. (Kramers H.) 130, 136,
 137, 162, 164, 167, 263, 358, 361
 Красин А.К. 348
 Крейтц Э. (Creutz E.) 189, 198
 Крёниг А. (Krönig A.) 22
 Кристьянсен К. (Christiansen Ch.) 27
 Кришнан К. (Kriahnan K.) 262
 Кроммелин К. (Crommelin C.) 106,
 108, 109, 116
 Крониг Р. (Kronig R.) 144, 148, 149
 Кроузер Дж. (Crowther J.) 33, 45
 Крукс У. (Crookes W.) 20, 37, 51
 Крутков Ю.А. 143, 223, 246
 Крылов Н.М. 267
 Крылова Т.Н. 248
 Кудрявцев 274
 Кук Г. (Cooke H.) 76
 Кун Т. (Kuhn T.) 7
 Кундт А. (Kundt A.) 3, 4, 21—32,
 47, 53, 57, 58, 353, 354
 Курдюмов Г.В. 222, 231—233
 Курчатова Б.В. 234—237, 332, 333,
 336, 339, 346, 350, 365
 Курчатова И.В. 4, 68, 209, 223, 229—
 234, 321, 327—352, 365, 367
 Кэй У. (Kaye W.) 76
 Кюйперс (Kuypers) 106
 Кюнен Й. (Kuenen J.) 106, 116
 Кюри Ж. (Curie J.) 19
 Кюри И. (Curie I.) 358
 Кюри М. (Curie M.) 106, 291
 Кюри П. (Curie P.) 19, 62, 63, 73, 75,
 291

- Лаборд А. (Laborde A.) 62, 75
 Лазарев Б.Г. 231
 Лазарев П.П. 24, 47, 52, 54, 55, 57, 60, 61, 68, 279, 283, 352
 Лазарус Д. (Lazarus D.) 202
 Лайман Т. (Lyman T.) 40, 45, 46
 Лакатос И. (Lakatos I.) 7
 Ланге К.А. 7, 10
 Ландау Л.Д. 4, 6, 68, 158, 161, 165, 167, 168, 209, 241, 299—316, 367
 Ланде А. (Landé A.) 128, 130
 Ландсберг Г.С. 257, 260—264, 275, 280
 Ланжевен П. (Langevin P.) 40, 45, 46, 68, 352, 355, 358
 Лапидус Л.И. 304
 Лапорт О. (Laporte O.) 128
 Лармор Дж. (Larmor J.) 18, 132
 Латтес Ч. (Lattes G.) 203
 Латышев Г.Д. 96, 222, 335, 337
 Лауэ М. (Laue M.) 9, 118, 122, 126, 133, 164
 Лашкарев В.Е. 223, 235, 241
 Лебедев А.А. 245, 246, 249, 251, 252, 366
 Лебедев П.Н. 3, 4, 7, 18, 21—26, 28, 31, 32, 46—60, 61, 63, 207, 279, 280, 293, 354—356
 Лебедева В.А. 60
 Лебеденко Н.Н. 55
 Лебре (Lebret) 105
 Левин 274
 Левинзон А.Л. 234, 235, 237, 242
 Левитская М.А. 223, 227
 Лёвшин В.Л. 276, 280, 282, 287, 288, 292, 293, 295, 297
 Лёвшин Л.В. 4, 293
 Лейберг П.Б. 50, 61
 Лейлунский А.И. 88, 96, 222, 231, 346
 Леман О. (Lehmann O.) 32
 Ленард Ф. (Lenard Ph.) 37, 78, 106, 281
 Лэнгли С. (Langley S.) 20
 Ленёва 274
 Ленин В.И. 63, 64, 219, 293
 Ленц В. (Lenz W.) 128
 Лени Э.Х. 22, 23, 207
 Леонтович М.А. 264, 267, 269, 275, 280, 348, 352
 Лермантов А.В. 248
 Леру Ф. (Le-Roux F.) 27
 Ли Д. (Lee D.E.) 95
 Ли Тэундао (Lee T.) 202, 206, 313
 Линде К. (Linde C.) 104
 Линдемман К. (Lindemann C.) 118
 Линдхард Й. (Lindhard J.) 167
 Линник В.П. 243
 Лисица М.П. 4, 274
 Лисицын Л.И. 55
 Лифшиц Е.М. 302—306, 308—311, 314
 Лифшиц И.М. 305, 306, 315
 Лихтенберг Г. (Lichtenberg H.) 193
 Лодж О. (Lodge O.) 34, 256
 Лодыгин А.Н. 20
 Локьер Дж. (Lockyer J.) 104
 Ломмель Э. (Lommel E.) 27, 281
 Ломоносов М.В. 22, 23, 207, 281, 293, 298
 Лонг Э. (Long E.) 205
 Лондон Ф. (London F.) 128, 130, 143, 144, 147, 180
 Лондон Х. (London H.) 130
 Лоренц Х. (Lorentz H.) 18, 34, 37, 60, 63, 255
 Лоуренс Э. (Lawrence E.) 68, 195, 198, 199, 353, 358
 Лузин Н.Н. 15
 Лукирский П.И. 216, 220, 222, 229, 230, 232, 233, 364
 Лукреций 293
 Лундбю А. (Lundby A.) 204
 Льюис У. (Lewis W.) 88
 Людвиг В. (Ludwig W.) 149
 Ляпунов А.М. 266
 Магнус Г. (Magnus H.) 20—23, 25, 26
 Мазинг А.А. 249, 366
 Майер Дж. (Mayer J.) 144, 149
 Майзнер А. (Meissner A.) 98
 Майкельсон А. (Michelson A.) 19
 Майорана Э. (Majorana E.) 178, 180
 Мак-Клелланд Дж. (Mc Clelland J.) 40, 45, 355
 Мак-Леннан Дж. (McLennan J.) 45, 115
 Мак-Миллан Э. (McMillan E.) 195
 Маковер У. (Makower W.) 77, 82, 83, 357
 Максвелл Дж. (Maxwell J.) 16—20, 22, 34, 35, 37, 52, 53, 70, 217, 353
 Максимов 304
 Малкин 304
 Малых В.А. 348
 Малышев В.А. 343
 Малюжинец Г.Д. 275
 Мандельштам Л.И. 4, 6, 68, 209, 210, 253—273, 275, 280, 316, 321, 323, 325, 363

- Мандельштам С.Л. 281
 Манько 304
 Маринов 304
 Марков М.А. 325
 Маркони Г. (Marconi G.) 256
 Марсден Э. (Marsden E.) 77—80, 82, 83, 357
 Мартин Р. (Martin R.) 202, 204, 205
 Мартыненко 274
 Марченко 274
 Маршалл Дж. (Marshall J.) 189, 193, 194, 204
 Маршалл Л. (Marshall L.) 193, 194, 202
 Маслаковец Ю.П. 222, 223, 234, 236, 237, 240—242
 Матнас Э. (Mathias E.) 106, 108, 109, 116
 Мейер Дж. (Meyer J.) 148
 Мейер Л. (Meyer L.) 22
 Мейкснер Й. (Meixner J.) 128
 Мейлинк (Meilink) 105
 Мейсснер В. (Meissner W.) 115
 Мейтнер Л. (Meitner L.) 95, 98, 166, 186, 358, 361
 Мелик-Бархударов 304
 Мёллер К. (Moeller Ch.) 167
 Менделеев Д.И. 19
 Мендельсон К. (Mendelssohn K.) 103, 116
 Меран Ж. де (Meran J. de) 51
 Месси Г. (Massey H.) 88, 98
 Метрополис Н. (Metropolis N.) 205
 Мещеряков М.Г. 336, 337, 339, 350
 Мигдал А.Б. 314, 315, 339
 Мигулин В.В. 267, 275
 Мизес Р. (Mises R.) 259
 Микулинский С.Р. 7
 Милликен Р. (Millikan R.) 218, 219
 Минковский Г. (Minkowski H.) 118, 132, 133
 Мит.севич В.Ф. 220
 Михайловский А.Б. 274
 Михеев М.Н. 231
 Михельсон В.А. 32
 Млодзевский А.Б. 55, 61
 Мозли Г. (Moseley H.) 77, 81, 83, 357
 Молодой Т.К. 60
 Монардес Н. (Monardes N.) 281
 Морозов 274
 Морриш А. (Morriah A.) 202
 Морс Ф. (Morse Ph.) 128
 Москаленко 304
 Мостовой В.И. 338, 346, 350
 Мотт Н. (Mott N.) 144, 161, 167, 168, 214, 237, 352
 Мочан И.В. 240
 Мун Ф. (Moon Ph.) 183
 Мушин А.Н. 336, 337
 Муссолини Б. (Mussolini B.) 185
 Мысовский Л.В. 223, 334, 335
 Нагаока Х. (Nagaoka H.) 63, 78
 Нарышкин Н.А. 245, 246, 366
 Наследов Д.Н. 222, 223, 234, 237—239, 242
 Натансон В. (Natanson W.) 45
 Неддермейер С. (Neddermeyer S.) 202
 Нейман Дж. фон (Neumann J. von) 143, 198
 Нейман К. (Neumann C.) 22
 Нейман М.С. 221
 Нейман Ф. (Neumann F.) 16, 20—23
 Неклепаев Н.П. 50, 56, 61
 Неменов Л.М. 336, 338, 350
 Немиллов Ю.А. 336, 337
 Нернст В. (Nernst W.) 154
 Нестурх К.Ф. 215, 216, 223, 364
 Никитин С.Я. 338, 346
 Никольсон Дж. (Nicholson J.) 45
 Никайсе (Nicaise) 106
 Нир А. (Nier A.) 186
 Нишина Я. (Nishina Y.) 161, 165, 187, 168
 Ноддак И. (Noddack I.) 184
 Нордгейм Л. (Nordheim L.) 143, 144, 148, 149
 Носков М.М. 236
 Ньютон И. (Newton I.) 16, 18, 64, 70, 152, 281, 293
 Нэгл Д. (Nagle D.) 195, 202, 204, 205
 Нэттолл Дж. (Nuttall J.) 77, 80, 82, 357
 Оба С. (Oba S.) 357
 Обреимов И.В. 115, 222, 223, 231, 232, 243, 245, 246, 249, 251, 252
 Овербек У. (Overbeck W.) 192, 193
 Оккиалини Дж. (Occhialini G.) 97, 180, 203
 Олифант М. (Oliphant M.) 69, 88, 91, 92, 96, 97, 103, 104
 Ольшевский К. (Olziewski K.) 103
 Остерхейс Э. (Oosterhuis E.) 106, 118, 116
 Оппенгеймер Р. (Oppenheimer R.) 144, 147, 149, 161, 196, 198, 199, 312, 352

Орир Дж. (Orear J.) 202
Оствальд В. (Ostwald W.) 7, 15
Отт Г. (Ott H.) 128

Павлов И.П. 15
Пайерлс Р. (Peierls R.) 161, 165, 167,
180, 300, 319
Пайс А. (Pais A.) 167
Паласиос Дж. (Palacios J.) 106, 114,
116
Палибин П. 334
Панасюк И.С. 339, 344, 350
Панет Ф. (Paneth F.) 82
Панчини Э. (Pancini E.) 202
Панишин К.Б. 290
Паталексис Н.Д. 253—260, 265—
269, 273, 280
Паста Дж. (Pasta J.) 206
Пастер Л. (Paster L.) 15
Паули В. (Pauli W.) 98, 106, 117, 124,
128, 129, 135, 136, 140, 141, 144,
146, 147, 149, 152, 158, 161, 164,
165, 167, 181, 358
Паули (Pauli) 106
Пауэлл С. (Powell S.) 88, 93, 203, 349
Пачинотти А. (Pacinotti A.) 20
Пашен Ф. (Paschen F.) 25, 32, 51, 52
Певзнер М.И. 346, 350
Пеграм Дж. (Pegram G.) 187, 195
Пекер С.И. 241, 314, 325, 326
Пеккерман Ф.М. 289
Пенг Г. (Peng H.) 149
Пенкин Н.П. 251, 252
Пеннинг Ф. (Penning F.) 106, 114,
116
Пеньковский С. (Pienkowski S.) 68
Первухин М.Г. 343
Перлитц Г. 245, 358
Перрен Ф. (Perrin F.) 63, 78, 182, 187,
285, 366
Перье А. (Perrier A.) 106, 113, 118
Петвиашвили 274
Петржак К.А. 167, 336, 337
Петров В.В. 207, 281, 293
Петросьянц А.М. 331
Петрушевский Ф.Ф. 22, 23, 207
Пешков В.П. 311
Пижар О. (Piccard A.) 358
Пикте Р. (Pictet R.) 19
Пинкерле Л. (Pincherle L.) 180
Пинес Б.Я. 222, 228
Писаренко Н.Л. 237
Пистунович 274
Питаевский Л.П. 304, 311, 314
Пиччиони О. (Piccioni O.) 180, 202

Планк М. (Planck M.) 6, 25, 62, 63,
65, 66, 135, 140, 146, 150, 153,
154, 164, 218, 257, 356
Планте Г. (Plante G.) 20
Платон 22
Плачек Г. (Placzek G.) 167, 168, 180,
187, 263
Погуче О.П. 274
Пожеда Ю.К. 242
Пойнтинг Дж. (Poyniting J.) 46
Покровский В. 176
Полинг Л. (Pauling L.) 126, 128—130,
144
Поль Р. (Pohl R.) 68, 353
Померанчук И.Я. 303, 306, 306, 311—
315, 339, 342, 343
Понтекорво Б.М. 170—173, 175, 176,
178, 180, 183, 184
Попов А.С. 63, 207, 256
Поповский Н.Н. 23
Пост Р. (Post R.) 349
Правдюк Н.Ф. 343
Прейсверк П. (Preiswerk P.) 334
Пригожин И. (Prigogine I.) 352
Принг Дж. (Pring J.) 357
Прихотько А.Ф. 222, 231
Прокофьев В.К. 248, 249, 251, 252,
303
Прохоров А.М. 274, 352
Пуанкаре А. (Poincare H.) 18
Пясецкий В.И. 366
Раби И. (Rabi I.) 128—130, 167, 168
Рабинович Ю. (Rabinowitch E.) 200
Радиг А.А. 220
Разетти Ф. (Rasetti F.) 178, 180, 183,
374
Рака Дж. (Racah G.) 179, 180
Раман Ч. (Raman Ch.) 262
Рамзай У. (Ramsay W.) 62, 104
Рассел А. (Russell H.) 77, 82, 357
Раутиан Г.Н. 251, 252
Регель А.Р. 11, 212, 234, 238—242
Резерфорд Э. (Rutherford E.) 4, 6, 9,
15, 35, 40, 45, 46, 62, 63, 68—99,
152—154, 180, 355, 357, 358
Рейнганум М. (Reinganum M.) 106
Рейтц Дж. (Reitz J.) 202
Рентген В. (Roentgen W.) 22, 24, 28,
32, 62, 121, 213—218, 226, 229
Ржевский С.Н. 60, 278, 280
Риги А. (Righi A.) 20, 32, 51
Рикке Э. (Riecke E.) 37
Риман Б. (Riemann B.) 131
Риттер И. (Ritter J.) 37

- Ритус В.И. 325
 Ричардсон Г. (Richardson H.) 77, 357
 Ричардсон Л. (Richardson L.) 45
 Ричардсон О. (Richardson O.) 33, 40, 45, 46, 155, 358
 Ричардсон С. (Richardson S.) 355
 Робб А. (Robb A.) 45
 Робертсон Д. (Robertson D.) 45
 Робинсон Г. (Robinson H.) 77, 82, 97, 357
 Рогачев А.А. 239
 Родный Н.И. 7, 10
 Рожанский Д.А. 223
 Рождественский Д.С. 4, 68, 153, 209, 210, 243—252, 280, 363, 366
 Розанес Я. (Rosanes J.) 132, 139
 Розенблюм М. (Rosenbluth M.) 202
 Розенталь С. (Rosenthal S.) 159, 167
 Розенфельд А. (Rosenfeld A.) 202
 Розенфельд Л. (Rosenfeld L.) 155, 160, 161, 167, 360
 Розенхайн У. (Rosenhain W.) 45
 Ройдс Т. (Royds T.) 77, 78
 Романов В.И. 50, 55, 57, 61
 Романюк К.В. 259
 Росселанд С. (Rosseland S.) 161, 167
 Росси Б. (Rossi B.) 179, 180, 198
 Роулинсон У. (Rawlinson W.) 77, 82, 97
 Рубенс Г. (Rubens H.) 24, 32, 49
 Рубинович В. (Rubinowicz W.) 128
 Рубчинский Э.М. 275
 Рудаков Л.И. 274
 Рузвельт Ф. (Roosevelt F.-D.) 196
 Рукавишников В.Н. 336, 337
 Румер Ю.Б. 143—145, 312
 Рунге К. (Runge C.) 132
 Русинов Л.И. 304, 333, 334, 336
 Рывкин С.М. 238, 239
 Рытов С.М. 4, 253, 261, 267, 268, 275
 Рэлей Дж. (Rayleigh J.) 34, 155, 256, 257, 264
 Рэлей Р. (Rayleigh R.) 32, 40, 45
 Рютге Д.Д. 274
 Рязин П.А. 275

 Сагдеев Р.З. 274, 304
 Сазонов Л.С. 248
 Сакс Р. (Sachs R.) 194
 Салам А. (Salam A.) 313
 Самойлович А.Г. 210, 211
 Сахаров А.Д. 321, 325, 326, 349
 Свердлов З.М. 290
 Свешников Б.Я. 285, 297
 Свэллоу (Swallow) 107—109
 Севастьянова М.В. 251
 Севченко А.Н. 59, 280, 289, 297
 Сегре Э. (Segre E.) 172, 178—180, 182, 183, 185, 189, 191, 196, 198, 206, 362
 Селидовкин 274
 Селов У. (Selove W.) 202
 Селяков Н.Я. 222
 Семенов Н.Н. 7, 10, 215, 216, 220, 222, 225, 226, 229—233, 364
 Сена Л.А. 222
 Сиборг Г. (Seaborg G.) 195, 197, 200
 Сивухин 274
 Сизо Г. (Sizoo G.) 108, 113, 114, 116
 Силин В.П. 321, 325, 326
 Сименс Э. (Siemens E.) 22, 104
 Синельников К.Д. 88, 96, 223, 229—234
 Сирль Дж. (Searle G.) 45, 132
 Ситенко А.Г. 4
 Скворцов С.А. 350
 Склодовская-Кюри М. (Skłodowska-Curie M.) 62, 63, 358
 Скобельцын Д.В. 223, 245, 280
 Славский Е.П. 343
 Слэтер Дж. (Slater J.) 161, 162, 167, 168
 Слюсарев Г.Г. 252
 Смекал А. (Smekal A.) 263
 Смирнов 274
 Смит Г. (Smyth H.) 196
 Смит С. (Smith S.) 45
 Смолюховский М. (Smoluchowski M.) 45, 257, 258
 Смородинский Я.А. 130, 303, 314
 Снелл А. (Snell A.) 334
 Содди Ф. (Soddy F.) 62, 73—75
 Соколова 274
 Соловьев 274
 Спеддинг Ф. (Spedding F.) 197
 Спивак П.Е. 59, 338, 346
 Степанов А.В. 228, 243, 244
 Стефан Й. (Stefan J.) 22, 23
 Стильбанс Л.С. 11, 212, 240—242
 Стожаров А.И. 245, 248, 249, 251, 252
 Стокс Дж. (Stokes G.) 281
 Столетов А.Г. 20—23, 207
 Стоней Дж. (Stoney G.) 37
 Стрелков П.Г. 223, 275
 Судсков В.В. 304
 Сциллард Л. (Szilard L.) 186—188, 196, 200, 334

- Тамм И.Е. 4, 68, 120, 152, 209, 259,
 260, 269, 273, 275, 280, 291, 314,
 316—326, 349, 367
 Тартаковский П.С. 230, 231, 365
 Таунс Ч. (Townes Ch.) 353
 Таунсенд Дж. (Townsend J.) 40, 45,
 46, 355
 Тафт Х. (Taft H.) 202
 Тегетмайер (Tegetmayer) 217
 Тейлор Дж. (Taylor G.) 45
 Тейлор Т. (Taylor T.) 357
 Теллер Э. (Teller E.) 144, 149, 150,
 198, 202, 203
 Теодорчик К.Ф. 275
 Тейплер А. (Toepler A.) 20
 Теренин А.Н. 248, 249, 251, 252, 292,
 295, 366
 Тер-Мартirosян К.А. 303, 314
 Термен Л.С. 222
 Тильманн Дж. (Tillmann J.) 183
 Тимирязев А.К. 55, 57, 61
 Тимофеев 274
 Тимофеева Т.В. 290
 Тиндаль Дж. (Tyndall J.) 22
 Тисса Л. (Tisza L.) 303, 311
 Толстой Н.А. 277, 280, 293, 296, 297
 Томас Л. (Thomas L.) 161, 167, 177
 Томсон Дж. Дж. (Thomson J.) 3, 4,
 18, 21, 22, 32—46, 63, 72, 76, 78,
 81, 85, 132, 152, 155, 355
 Томсон Дж. П. (Thomson G.) 32, 39—
 42, 44—46
 Томсон У. (Thomson W.) 18, 20, 35, 52
 Торричелли Э. (Torricelli E.) 22
 Траверс М. (Travers M.) 104
 Трапезникова О.Н. 115, 229, 306
 Трелфолл Р. (Threlfall R.) 45
 Трубников Б.А. 274
 Трумэн Г. (Trumen G.) 199
 Трушин 274
 Тудоровский А.И. 252
 Туоровер В.М. 245
 Тучкевич В.М. 223, 234, 237, 238,
 239, 242
 Туйн В. (Tuyn W.) 106, 108, 112, 116
 Уайт М. (White M.) 357
 Уайткер М. (Whitaker M.) 192
 Уилер Дж. (Wheeler J.) 161, 165—168,
 186, 189, 195, 353
 Уилловс Р. (Willows R.) 355
 Улам С. (Ulam S.) 198, 206
 Уленбек Дж. (Uhlenbeck G.) 180
 Умов Н.А. 207
 Унсольд А. (Unsold A.) 128
 Уолтон Э. (Walton E.) 88, 93, 96
 Уорсо С. (Warshaw S.) 202
 Усачев А.М. 346
 Успенский Н.Е. 61
 Уэйд Э. (Wade E.) 355
 Уэйлей Ф. (Whaley F.) 357
 Фабелинский И.Л. 263
 Фабрикант В.А. 292, 297
 Фаерман Г.П. 276
 Файнберг В.Я. 321, 325
 Фальковский 304
 Фано У. (Fano U.) 179, 180
 Фарадей М. (Faraday M.) 16—18,
 28, 36, 37, 70, 321, 353
 Фаруэлл Дж. (Farwell G.) 202
 Фаулер Р. (Fowler R.) 148, 162
 Фаянс К. (Fayans K.) 77
 Фезер Н. (Feather N.) 88, 95
 Фейнберг Е.Л. 314, 323—326
 Фейнберг С.М. 346, 348, 350
 Фелд Б. (Feld B.) 174, 188, 189,
 193
 Феофилов П.П. 280, 283, 288, 292,
 295, 297
 Ферми Э. (Fermi E.) 4, 6, 68, 135,
 144, 169—206, 312, 319, 325,
 334, 358, 362
 Филиппов А.Н. 249, 251, 252
 Филиппов М.И. 275
 Финкельштейн Б.Н. 222, 223, 231
 Фирсов 274
 Флеминг Дж. (Fleming J.) 256
 Флёров Г.Н. 167, 336, 338, 350
 Флим Г. (Flin G.) 107
 Флоранс Д. (Florance D.) 77, 82, 357
 Фойгт В. (Voigt W.) 22, 27, 122, 132
 Фок В.А. 143, 223, 229, 244, 248,
 249, 251, 252
 Фоменко 274
 Фрадкин Е.С. 325, 326
 Франк Дж. (Frank J.) 130, 131, 135,
 141, 168, 200
 Франк И.М. 120, 275, 279, 280, 291,
 295, 320, 322, 346
 Франк Н. (Frank N.) 128
 Франклин Б. (Franklin B.) 37
 Франц В. (Franz W.) 128
 Фредерикс В.К. 223
 Фрелих Г. (Fröhlich H.) 128, 130
 Френель О. (Fresnel A.) 51
 Френкель В.Я. 4, 214, 241
 Френкель Я.И. 143, 165, 166, 209,
 214—216, 220, 222, 224, 230,
 232—235, 237, 312, 318, 364, 365

Фридрих В. (Friedrich W.) 122, 133
Фриш О. (Frisch O.) 166, 168, 185,
206

Фриш С.Э. 248, 249, 250, 251, 366
Фрэнк И.Ф. 23

Фубини Э. (Fubini E.) 180

Фукс К. (Fuchs K.) 149

Фурсов В.С. 297, 325, 339, 344

Фурье Ж. (Fourier J.) 261

Фюрт Р. (Fürth R.) 149

Фюс Э. (Fues E.) 128, 148

Хаас А. (Haas A.) 154

Хаас В. де (Haas W. de) 106, 108,
113—116

Хаас М. де (Haas M.) 116

Хаас-Лоренц Г. де (Haas-Lorentz G.de)
100

Хадфильд Р. (Hadfield R.) 106, 108,
113, 116

Хазенорль (Hazenoehl) 105

Хайкин С.Э. 266, 267, 275

Халатников И.М. 300, 303, 307—311,
313—315

Халбан Х. (Halban H.) 186

Ханштейн Г. (Hanstein H.) 186

Харитон Ю.Б. 88, 187, 222, 223, 330,
337, 339, 340

Харкинс У. (Harkins W.) 88

Хартек П. (Harteck P.) 97

Хартман Ш. (Hartman Ch.) 105, 116

Хаустон У. (Houston W.) 125, 128

Хвольсон О.Д. 175

Хвостиков И.А. 280, 297

Хевеши Д. (Hevesy G.) 77, 82, 93, 157

Хевисайд О. (Heaviside O.) 182

Хейндман Х. (Hyndman H.) 105

Хемпсон У. (Hampson W.) 104

Хёниль Х. (Hönl H.) 124, 128

Хеусе В. (Heuse W.) 105

Хиллерос Э. (Hylleraas E.) 144,
148, 149

Хлопин В.Г. 346

Холст Г. (Holst G.) 106, 108, 112,
114, 116

Хондрос Д. (Hondros D.) 119, 128

Хопф Л. (Hoopf L.) 128

Хортон Ф. (Horton F.) 45

Храмов В. 335

Хуан Кунь (Huang Kun) 149

Хунд Ф. (Hund F.) 129, 135, 144, 146,
149, 157, 158

Хургин Я.Л. 336

Хутон Д. (Hooton D.) 149

Хуцишвили Г.Р. 303

Хюккель Э. (Hückel E.) 144, 149

Царетский Е.Н. 251

Царенков В.В. 239

Цёльнер И. (Zöllner J.) 51

Ценнек И. (Zenneck J.) 259

Цехновицер Е.В. 223

Цомакион Б.Ф. 259

Чайлд Ч. (Child Ch.) 355

Чемберлен О. (Chamberlain O.)
202, 206

Черенков П.А. 280, 282, 291, 297,
320

Чернышев А.А. 220, 222, 231

Чибисов 274

Чиннова 274

Чу Дж. (Chew G.) 194, 202

Чудновский А.Ф. 240, 241

Чулановский В.М. 245, 246, 249,
251, 252, 366

Чэдвик Дж. (Chadwick J.) 76, 77, 79,
82, 85—87, 90, 92—95, 97, 99,
187, 198, 357, 358

Шалквейк (Schalkwijk) 105

Шальников А.И. 222, 223, 233

Шапиро Ф.Л. 346

Шаловал 304

Шаравский П.В. 223, 234—236, 242

Шателен М.А. 220

Шафранов В.Д. 274

Шварцшильд К. (Schwarzschild C.)
123

Шекспир Дж. (Shakespeare G.) 355

Шеррер П. (Scherrer P.) 68, 352

Шерцер О. (Scherzer O.) 128

Шимидзу Т. (Shimizu T.) 88

Шинловский А.А. 279, 297

Шлапп Р. (Schlapp R.) 136, 149

Шлютер Р. (Schluter R.) 202

Шмидт Я.Р. 216, 220, 222, 364, 366

Шмушкевич И.М. 234, 237, 314

Шокли У. (Shockly W.) 237

Шолин 274

Шотт Дж. (Schott G.) 45, 46

Шоттки В. (Schottky W.) 214, 337

Шошми И.А. 248, 251, 252, 366

Шпольский Э.В. 278, 283

Шредингер Э. (Schrödinger E.) 140,
141, 144, 146, 163, 164, 179, 358

Штарк И. (Stark J.) 154

Штейнбергер Дж. (Steinberger J.) 202

Штенгер Ф. (Stenger F.) 32

Штернхаймер Р. (Sternheimer R.) 202
Штрассман Ф. (Strassmann F.) 96, 166,
184—186
Штукельберг Э. (Stueckelberg E.) 128,
130
Шуберт Г. (Schubert H.) 128
Шубин С.П. 274, 276, 319, 325
Шубников А.В. 353
Шубников Л.В. 116, 222, 223, 231,
306, 306, 309
Шуман В. (Schumann V.) 20
Шустер А. (Schuster A.) 37, 76,
Шюлер Г. (Schüler H.) 252

Шеголев Е.Я. 269, 268, 275
Щёлкин К.И. 328
Шепкин Г.Я. 332—336, 338, 350
Шопро Н.К. 55, 57, 61

Эвальд П. (Ewald P.) 82, 121, 122,
127, 128, 130
Эванс Э. (Evans E.) 82, 357
Эдисон Т. (Edison T.) 19, 20
Эйлер Л. (Euler L.) 51, 281, 293
Эйнштейн А. (Einstein A.) 9, 16, 18,
35, 38, 64, 66, 117, 121, 124,
133, 140, 141, 144, 147, 152—
154, 162, 164, 196, 219, 257,
261, 316, 357
Экснер Ф. (Exner F.) 32
Эккарт К. (Eckart C.) 128, 141, 189
Эллис Ч. (Ellis Ch.) 88, 92, 97, 98
Эльзассер В. (Elaasser V.) 144, 149

Эпплтон Э. (Appleton E.) 45, 46, 266
Эпштейн П.С. 56, 123, 128
Эренгафт Ф. (Ehrenhaft F.) 218
Эренфест П. (Ehrenfest P.) 68, 101,
111, 146, 158, 162, 176, 215, 226,
310, 352, 361, 366
Эсмарх В.И. 55
Этвеш Р. (Eötvös R.) 22

Юды Е.Ф. 248, 251
Юз А. (Hughes A.) 45
Юз Д. (Hughes D.) 20, 200
Юзефович А. 333, 334
Юкава Х. (Yukawa H.) 202, 320
Юлинг Ю. (Jüllingh J.) 306
Юри Г. (Urey H.) 167, 198
Юрченко 274
Юрьев М.А. 366
Ющенко А. 364

Яблочков П.Н. 20
Явлинский Н.А. 274, 349
Якоби Б.С. 207
Якоби К. (Jacobi C.) 21
Яковлев Г.Н. 346
Яковлев К.П. 57, 61
Яковленко 274
Якутович М.В. 222, 231
Янг Ч. (Yang Ch.) 201—203, 206,
313
Яремский Ф.А. 23
Ярошевский М.Г. 7, 10
Яхонтов Е.Г. 246, 251, 252

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА I. ВОЗНИКНОВЕНИЕ НАУЧНЫХ ШКОЛ В ФИЗИКЕ	16
1. Физика и формы организации физических исследований во второй половине XIX ст.	16
2. Идентификация ряда неформальных коллективов физиков второй половины XIX ст. с научными школами	21
ГЛАВА II. ПЕРВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ШКОЛЫ	24
1. Страсбургская школа А.Кундта	24
2. Кавендишская школа Дж. Дж. Томсона	32
3. Московская школа П.Н.Лебедева	46
ГЛАВА III. ФИЗИЧЕСКИЕ ШКОЛЫ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XX ст.	62
1. Переход от классической физики к современной	62
2. Идентификация ряда крупных неформальных коллективов физиков первой половины XX ст. с научными школами	66
ГЛАВА IV. ВЕДУЩИЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ШКОЛЫ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XX ст.	69
1. Школа ядерной физики Э.Резерфорда	69
2. Лейденская школа Х.Камерлинг-Оннеса	99
3. Мюнхенская школа А.Зоммерфельда — первая теоретическая школа	117
4. Гёттингенская теоретическая школа М.Борна	130
5. Копенгагенская теоретическая школа Н.Бора	151
6. Школа нейтронной физики и физики высоких энергий Э.Ферми	169
ГЛАВА V. ВЕДУЩИЕ СОВЕТСКИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ШКОЛЫ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XX ст. И ИХ ВКЛАД В СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ В СССР	207
1. Физика в России до Великой Октябрьской социалистической революции	207
2. Школа А.Ф.Иоффе	209

3. Оптическая школа Д.С.Рожественского	243
4. Школа Л.И.Мандельштама	253
5. Оптическая школа С.И.Вавилова	276
6. Теоретическая школа Л.Д.Ландау	299
7. Теоретическая школа И.Е.Тамма	316
8. Школа ядерной физики И.В.Курчатова	327
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	351
ИЛЛЮСТРАЦИИ	353
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	369
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	381

In these days of ever increasing knowledge differentiation the advance of science and its successes are determined not by the activity of lone scientists whose time has gone never to return, but by the work of scientific groups, including scientific schools, a peculiar nonformal creative societies of scientists within the frames of certain scientific directions. These schools have been especially widely distributed beginning from the early years of this century influencing greatly the development of modern science. That is why the study of problems related to scientific schools, physical ones in particular, proves to be not only interesting, but also important for developing scientifically grounded recommendations to manage science and large-size research bodies, to intensify the scientific labour, to make higher its results.

The monograph is the first attempt made to study formation of physical schools, their peculiar features and significance in the development of physics. Coming from the analysis of data from history of physics related to the activity of prominent physicists and tutors of the creative youth and resting on statements of some scientists, peculiar features of the scientific school are substantiated and those properties which are inherent in the leader as a head of the school are determined. A working model of the scientific school which may be of use for finding creative groups of scientists (in science in general and in physics in particular) with their subsequent identification with scientific schools is constructed. As a result of studies it has been determined that the first physical schools appeared in the later part of the 19th cent.: the schools of A.Kundt, J.J.Thomson and P.N.Lebedev. Premises which have promoted appearance of schools in physics as well as a complex of conditions favouring successful functioning of nonformal communities of scientists and their transfer to the rank of school are elucidated. The first physical schools, their leaders and their contribution to science are characterized in the introduction to the monograph and in its first two chapters.

The third chapter is concerned with a transition from classical physics to the modern one which sharply increased the role of the collective labour and intensified the activity of scientific schools. The use of the developed model of the scientific school has permitted determining the leading physical schools of the early 19th cent. Significance of these schools in creation of grounds of modern physics and its certain directions, their distinctive features and personnel, the results obtained and creative portraits of leaders of these schools are described in the 4th and 5th chapters. Description of the activities of some schools is, in fact, a peculiar historical cut of certain scientific trends, genesis and evolution of their ideological potential, realization of their research program.

The scientific schools under consideration (schools of N.Bohr, M.Born, S.I.Vavilov, A.Sommerfeld, A.F.Ioffe, H.Kamerlingh-Onnes, A.Kundt, I.V.Kurchatov, L.D.Landau, P.N.Lebedev, L.I.Mandelstam, E.Rutherford, D.S.Rozhdestvensky, I.E.Tamm, J.J.Thomson and E.Fermi) won general scientific and public recognition in the lifetime of their leaders. Being created in different time and in different countries they contributed much to the world physics and scientific progress. However the activity of these leading figures as founders of physical schools is far from being completely elucidated, though scientific biographies, popular essays and papers have been written almost about all of them. So it takes many efforts to bring together all grains of data concerning the scientific school as is done in the monograph.

Profound study of foreign and home data on history of physics, in particular data from archives, memorial, jubilee, original publications of the scientific leaders and their disciples has underlain reconstruction of the activity of the above nonformal groups (some of them being mentioned for the first time), their typical properties, their role in the development of physics, interrelation of ideas and sometimes interaction of certain schools. The activity of Soviet scientific schools at the initial stage of physics development in the USSR and their contribution to the creation of its foundations are widely elucidated.

CONTENTS

FOREWORD	3
INTRODUCTION	5
 CHAPTER I. APPEARANCE OF SCIENTIFIC SCHOOLS IN PHYSICS	 16
1. Physics and Forms of Physical Research Organization in the Later Part of the 19th cent.	16
2. Identification of Some Nonformal Groups of Physicists of the Later Part of the 19th cent. with Scientific Schools	21
 CHAPTER II. THE FIRST PHYSICAL SCHOOLS	 24
1. The Strasbourg School of A.Kundt	24
2. The Cavendish School of J.J.Thomson	32
3. The Moscow School of P.N.Lebedev	46
 CHAPTER III. PHYSICAL SCHOOLS OF THE EARLY PART OF THE 20th CENT.	 62
1. Transition from Classical Physics to the Modern One	62
2. Identification of a Series of Large Nonformal Groups of Physicists of the Early Part of the 20th cent. with Scientific Schools	66
 CHAPTER IV. LEADING FOREIGN PHYSICAL SCHOOLS OF THE EARLY PART OF THE 20th CENT.	 69
1. Nuclear Physics School of E.Rutherford	69
2. The Leiden School of Low-Temperature Physics of H.Kamerlingh-Onnes	99
3. The Munich School of A.Sommerfeld — the First Theoretical School	117
4. The Goettingen Theoretical School of M.Born	130
5. The Copenhagen Theoretical School of N.Bohr	151
6. Neutron Physics and High-Energy Physics School of E.Fermi	169

**CHAPTER V. LEADING SOVIET PHYSICAL
SCHOOLS OF THE EARLY PART OF THE
20th CENT. and THEIR CONTRIBUTION TO THE
FORMATION AND DEVELOPMENT OF PHYSICS
IN THE USSR 207**

- 1. Physics in Russia before the Great October Socialist Revolution 207**
- 2. School of A.F.Ioffe 209**
- 3. Optical School of D.S.Rozhdestvenaky 243**
- 4. School of L.I.Mandelstam 253**
- 5. Optical School of S.I.Vavilov 276**
- 6. Theoretical School of L.D.Landau 299**
- 7. Theoretical School of I.E.Tamm 316**
- 8. Nuclear Physics School of I.V.Kurchatov 327**

CONCLUSION 351

ILLUSTRATION 353

BIBLIOGRAPHY 369

NAMES' INDEX 381

МОНОГРАФИЯ

ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ХРАМОВ

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ В ФИЗИКЕ

Утверждено к печати учеными советами
Института теоретической физики АН УССР,
Центра исследований научно-технического потенциала
и истории науки АН УССР

Редактор Б.В.Хитровская
Оформление художника Г.М.Балюна
Художественный редактор И.Е.Писарева
Технические редакторы Л.Н.Мурзашева, Т.М.Зубрицкая
Корректоры Н.В.Кудрявцева, Н.А.Стрелец

ИБ № 8844

Подп. в печ. 05.08.87. БФ 24299. Формат 60x84/16.
Бум. офс. № 1. Гарн. Сентури. Офс. печ. Усл. печ. л.
23,25. Усл. кр.-отт. 23,25. Уч.-изд. л. 25,70+вкл.1,04=
=26,74. Тираж 4000 экз. Заказ 7-~~544~~ Цена 2 р. 50 к.

Оригинал-макет подготовлен в издательстве "Наукова
думка". 252601 Киев 4, ул.Регина, 3.
Киевская книжная типография научной книги
252004 Киев 4, ул. Регина, 4.

