ВОСПОМИНАНИЯ *)

Макс Борн

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для прогресса науки преемственность и традиции столь же важны, как и понимание неизбежности специализации и необходимости взаимодействия разных ее областей. Исключительные успехи физики — с момента открытия Планком дискретности энергии — характерны для всего

*) Recollections of Max Born, Bull. of the Atomic Scientists, № 9, 3; № 10, 9 (1967). Перевод и подстрочная библиография подготовлены В. Я. Френкелем. Первая и вторая части «Воспоминаний» печатаются с небольшими сокращениями; перевод третьей части статьи («Размышления») опубликован в «Литературной газете» от 11/III-1970 г. (№ 11). Публикации в оригинале предпослано предисловие Р. Куранта. *Прим. ред.*)

XX века. Начальные фазы этого развития сейчас отчетливо помнит лишь небольшая группа его активных участников, которые в то же время оценивают с философской точки зрения значение науки в жизни общества. Очень отрадно, что Макс Борн, который был одним из пионеров новой физики и к тому же является прекрасным писателем и глубоким мыслителем, согласился опубликовать свои воспоминания о разных аспектах развития физики, с которой он был так тесно связан. Мне кажется, что для молодого поколения ученых особенно ценным будет то, что на страницах воспоминаний Борна дана картина безвозвратно ушедшей, но исключительно плодотворной атмосферы научного творчества в университетах старого Геттингена и других городов Европы.

Рихард Курант

I. КАК Я СТАЛ ФИЗИКОМ

Я родился в 1882 г. в Бреслау (Вроцлаве.— *Ред.*), столице прусской провинции Силезии. Мой отец преподавал анатомию в университете, но основные его интересы были направлены на исследования по эмбриологии и механике развития (Entwicklungsmechanik). Я вырос в культурной семье, в нашем доме царила научная атмосфера. С ранних лет я и моя сестра приходили к отцу в его лабораторию, полную микроскопов, микротомов и других инструментов и приборов. Позднее я получил возможность присутствовать на его дискуссиях с коллегами; некоторые из них стали знаменитыми: Пауль Эрлих, открывший сальварсан и основавший хемотерапию, Альберт Найсер, дерматолог, который открыл гонококки и другие микроорганизмы. Я был маленьким мальчиком, когда умерла моя мать; отец скончался незадолго до того, как я окончил школу. В последние два года жизни он был очень болен, но не прекращал работы. Последние его достижения относятся к исследованию желтого тела (corpus luteum) яичников, и мой сын-биолог Густав (получивший имя моего отца) говорил мне, что они предвосхитили важные современные исследования о половых гормонах.

Я учился в обычной немецкой гимназии, в которой основными предметами были латынь, греческий и математика. Я не был особенно увлечен ни одним из них, но вспоминаю, что наслаждался, читая Гомера, и до сих пор помню наизусть первые строки «Одиссеи». Машке, преподававший математику в старших классах, был не только блестящим учителем, но также вдумчивым экспериментатором и очень добрым человеком. Он преподавал также физику и химию, и я был заражен его энтузиазмом. В то время стали известны опыты Маркони по беспроволочному телеграфированию, и Машке повторил их в своей маленькой лаборатории; я и еще один мальчик были его ассистентами. Когда нам удалось наладить передачу сигнала из одной комнаты в другую, Машке попросил меня позвать нашего директора, доктора Эккарда, чтобы продемонстрировать ему это чудо, и я до сих пор помню наше разочарование, когда этот ученый гуманитар остался совершенно индеферентен и спокоен.

Незадолго до смерти отец посоветовал мне не спешить с выбором специальности, а посещать в университете лекции по различным предметам и лишь после этого, через год, принять решение. Поэтому я прослушал не только курсы математики и других точных наук, но также и философии, истории искусств и по другим предметам. Поначалу я был увлечен астрономией (о своих астрономических занятиях я более подробно рассказал в «Vistas in Astronomy»; эта статья помещена также в моей книге «Физика в жизни моего поколения»[1]). Но обсерватория была оборудована бедно, мы ничего не слышали об астрофизике, звездах и туманно-

стях, а занимались бесконечными расчетами эфемерид планет. Скоро все это мне надоело. Тогда я сосредоточился на математике и получил вполне основательную подготовку. Я признателен профессору Розанесу, который познакомил меня с линейной алгеброй; при этом я приобрел опыт пользования матричным исчислением, сыгравшим позднее большую роль в моих собственных исследованиях.

В те времена немецкие студенты кочевали по университетским городам, проводя лето в каком-либо маленьком университете, чтобы насладиться природой и спортом, а зиму — в больших городах с их театрами, концертами и приемами. Так, я провел одно лето в Гейдельберге, чудесном и веселом городе, расположенном на реке Неккар, а другое — в Цюрихе, вблизи Альп. Гейдельберг мало что дал мне в научном отношении, но там я встретил Джемса Франка, который стал моим ближайшим другом, а в последующие годы коллегой по физическому факультету в Геттингене. В Цюрихе я впервые соприкоснулся с первоклассным математиком Гурвицем, чьи лекции по эллиптическим функциям открыли мне дух современного анализа.

Зимние семестры я всегда проводил в Бреслау, в те годы (1910—1914) оживленном городе с бурной социальной и культурной жизнью. Из бесчисленных знакомств, установившихся у меня в тот период, я хочу отметить свою дружбу с Рудольфом Ладенбургом; многие годы мы были с ним неразлучны и прекрасно проводили время отпусков в Италии и Швейцарии. Он эмигрировал в США еще до прихода к власти нацистов и получил профессуру в Принстонском университете. Двое моих однокурсников стали моими друзьями: это — Отто Теплиц и Эрнст Хеллингер. Они знали математику и математиков гораздо лучше меня. От них я услышал, что Меккой немецких математиков был Геттинген и что там проживает три пророка: Феликс Клейн, Давид Гильберт и Герман Минковский. Тогда я решил совершить паломничество в Геттинген. Вскоре Теплиц и Хеллингер последовали за мною; наша «бреслауская группа» пополнилась четвертым членом — Рихардом Курантом, который позднее стал выдающимся представителем американской математики и возглавил блестящую школу в нью-йоркском университете.

В Геттингене я посещал, главным образом, лекции Гильберта и Минковского. Они были друзьями — еще со школьных лет в Кенигсберге,— людьми замечательными и не только в плане их специальности, но и во всем. Гильберт вскоре предложил мне несколько неопределенную должность приватного ассистента — неоплачиваемую, но для меня бесценную, поскольку она предоставляла мне возможность видеть и слышать его ежедневно. Часто Гильберт и Минковский приглашали меня присоединиться к ним во время их длительных прогулок по лесам. Хотя я и привык к свободным и живым дискуссиям между биологами — друзьями моего отца, на меня произвело глубокое впечатление мировоззрение этих двух великих математиков. Я учился у них не только самой современной математике, но и более важным вещам: критическому отношению к традиционным государственным и общественным институтам, которое я сохранил на всю жизнь.

Вот два примера из бесчисленных «гильбертовских историй», сохраняемых в памяти его учеников и друзей. Однажды разговор коснулся астрологии; некоторые из собеседников склонялись к мысли, что «в ней что-то есть». Когда у Гильберта спросили об его отношении к этому предмету, он сказал после некоторого раздумья: «Когда Вы соберете 10 мудрейших людей мира и попросите их назвать глупейшую из существующих вещей, они не смогут найти ничего бессмысленнее астрологии». В другой раз, когда обсуждался суд над Галилеем и кто-то упрекнул его за недо-

статочную твердость в отстаивании своих убеждений, Гильберт гневно возразил: «Но он не был идиотом! Только идиот может считать, что научная истина нуждается в мученичестве; оно, возможно, необходимо в религии, но научные результаты в свое время сами доказывают свою истинность». Такого рода высказывания направляли мой путь в жизни и науке.

В те годы предмет математики включал в себя также и математическую физику. Так, например, существовал семинар, руководимый Гильбертом и Минковским, по электродинамике движущихся тел, на котором обсуждались проблемы, в наши дни подходящие под рубрику теории относительности. Это было в 1905 г., когда знаменитая статья Эйнштейна была уже опубликована, но имя его еще не было известно в Геттингене.

Мои отношения с Клейном складывались не так удачно. Мне не нравились его лекции, они были слишком безукоризненны на мой вкус. Он заметил, что я часто отсутствую, и высказал мне свое неодобрение. На семинаре по теории упругости, которым он руководил вместе с Карлом Рунге, профессором прикладной математики, я был вынужден, в связи с болезнью однокурсника, сделать краткий доклад по одной из задач теории упругости, и, поскольку я не имел времени для того, чтобы проштудировать литературу, я изложил свои собственные идеи. Это произвело такое впечатление на Клейна, что он представил мою задачу на ежегодный университетский конкурс и написал мне, что он надеется, что я представлю статью. Поначалу я довольно легкомысленно отказался, однако, поскольку «великий Феликс» был всесилен в математике, я, конечно, уступил: я решил задачу и получил премию. Но так или иначе, я надолго попал в немилость у Клейна. Поэтому я не рискнул экзаменоваться у него по геометрии и заменил ее на экзамен по астрономии. Профессором астрономии был Карл Шварцшильд — знаменитый отец знаменитого сына — Мартина Шварцшильда из Принстонской обсерватории. Он помог мне изучить современную астрономию, и, таким образом, в 1907 г. я получил свою докторскую степень.

Неприятный инцидент с Клейном в конце концов обернулся к лучшему. Поскольку по правилам статья для конкурсной комиссии должна была представляться анонимно, я не мог советоваться с профессорами. Так я обнаружил, что способен к самостоятельной научной работе, и впервые почувствовал радость от сознания, что теория находится в соответствии с данными опыта — одно из самых прекрасных ощущений, которое я знаю

Обучение физике также было стимулирующим. Теоретическую физику читал Вольдемар Фохт. Я посещал его лекции по оптике и факультативный курс экспериментальной оптики. Они были превосходны и явились прочной основой моих знаний в этой области. Много лет спустя (в 1912 г.), когда я был приглашен Альбертом Майкельсоном для чтения курса лекций по теории относительности в Чикагском университете, я все свое свободное время тратил на работы по спектроскопии — с изумительными дифракционными решетками Майкельсона.

Еще несколькими годами позднее, вооруженный этими знаниями, я написал удачный учебник по оптике (по-немецки [2]), а через много лет еще один (на этот раз по-английски, совместно с Э. Вольфом [3]). На этом примере видно, что, для того чтобы написать учебник, нет необходимости быть специалистом по соответствующему предмету, но достаточно овладеть его существом и просто много работать.

Мне никогда не нравилась узкая специализация, и я всегда оставался дилетантом — даже и в том, что считалось моим собственным предметом. Я не смог бы приноровиться к науке сегодняшнего дня, которая делается коллективами специалистов. Философская сторона науки

интересовала меня больше, чем специальные результаты. Я слушал лекции по философии — например, Эдмунда Гуссерля в Геттингене, но не примыкал ни к его, ни к какой-либо иной школе.

Из многих молодых коллег-студентов, с которыми я встречался, я хочу отметить только двух. Константин Каратеодори, грек по национальности, был блестящим математиком. Мы с ним обсуждали, среди прочих, тот странный факт, что такая довольно абстрактная наука, как термодинамика, была построена на столь технической основе, каковой является тепловая машина,— словно иначе нельзя было обойтись. Несколькими годами позднее Каратеодори развил новый, строгий и прямой подход к термодинамике; он опубликовал эту свою работу в «Mathematische Annalen» *) в исключительно общей и абстрактной форме, но его статья осталась почти незамеченной. Спустя еще 12 лет я предпринял попытку популяризовать его теорию, представив более простое изложение ее для «Physikalische Zeitschrift» **) — однако без особого успеха. Только теперь, по прошествии 50 лет, появляются учебники, в которых использовано это простое и ясное изложение.

Вторым человеком, оказавшим влияние на мою научную жизнь, хотя это влияние и носило отрицательный характер, был Иоганн Штарк, получивший позднее Нобелевскую премию за открытие допплер-эффекта в каналовых лучах и расщепление спектральных линий в электрическом поле. Он читал тогда лекции по физике, а также курс по радиоактивности. Я попытался посещать его лекции, но изложение предмета не удовлетворяло меня, как математика, и я перестал на них ходить. В результате я никогда не изучал собственно ядерной физики и не мог принять участия в ее развитии. Я опубликовал только одну (не плохую) работу об α-распаде (1929 г.). С другой стороны, следствием этого было и то, что я не был привлечен к работам по расщеплению ядра и его применению в атомной бомбе. Это позволило мне рассматривать этические и политические вопросы, связанные с этой проблемой, с объективной точки зрения.

После получения докторской степени я в течение года пробыл на военной службе и был приписан к кавалерийским войскам в Берлине. Здесь нет места для дискуссий в том, как этот жизненный опыт повлиял на мое и без того уже очень отрицательное отношение ко всему тому, что связано с военщиной. Я вспоминаю, что правил корректуру своей удостоенной премии диссертации во время ночных дежурств в конюшне, причем использовал блестящую спину своей лошади вместо стола. После тяжелого приступа астмы, которой я страдал с детства, я был отправлен в военный госпиталь и через некоторое время демобилизован. Годом позднее я был снова призван в кавалерийский полк в Бреслау и был страшно рад, узнав, что начальник госпиталя оказался студентом отца, который знал о моей астме. Таким образом, через несколько недель я был вновь демобилизован.

Чтобы глубже изучить фундаментальные проблемы физики, я направился в Англию, в Кембридж. Там я в качестве аспиранта посещал экспериментальные занятия и лекции в колледже Гонвилля и Кайуса (Gonville and Caius College). Я обнаружил, что лекции Лармора по электромагнитной теории практически ничего не добавили к тому, чему я научился от Минковского. Но лекционные демонстрации Дж. Дж. Томсона были великолепны и впечатляющи. Однако наиболее ценным для меня в то время

---

*) C. Caratheodory, Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik, Mathem. Ann. **61**, 355 (1909).

) M. Born, Kinetische Betrachtungen zur traditionellen Darstellung der Thermodynamik, Phys. Zs. **22, 218, 249, 282 (1921).

было, несомненно, общение с людьми: доброта и гостеприимство англичан, жизнь среди студентов, великолепие колледжей и страны.

Через шесть месяцев я вернулся домой в Бреслау и попытался усовершенствоваться как экспериментатор. В Бреслау были два профессора физики — Люммер и Принсгейм, хорошо известные своими работами по излучению черного тела. Однако от них я немногому научился и вскоре вновь обратился к теории. Я обнаружил статью Эйнштейна по теории относительности (1905 г.) и был сразу же увлечен ею. Комбинируя его идеи с математическими методами Минковского, я нашел новый, строгий путь для вычисления собственной электромагнитной энергии (массы) электрона, и рукопись работы послал Минковскому.

Большим сюрпризом для меня был его ответ, содержавший приглашение вернуться в Геттинген и ассистировать ему в его работе по теории относительности.

Я приехал в Геттинген в декабре 1908 г. и счастливо работал с Минковским в течение нескольких недель. Но в январе 1909 г. он умер после операции по поводу аппендицита. Все мои надежды рухнули, и я думал, что сел на мель. Но лекция в математическом обществе по моей работе о релятивистском электроне имела такой успех, что профессор Фохт предложил мне приват-доцентуру.

Так я вторично стал жителем Геттингена. Из очень многих людей, с которыми я встречался в течение последующих лет, я отмечу лишь нескольких. Среди моих коллег-лекторов были Отто Теплиц, Рихард Курант. Всем им я очень многим обязан, но более всего — венгру Теодору фон Ка́рману. В течение нескольких лет мы жили с ним в одном доме — до моей женитьбы (в 1913 г.); мы ежедневно обсуждали физические вопросы и, в частности, эйнштейновскую квантовую теорию теплоемкости твердых тел.

Впервые я встретил Эйнштейна в 1909 г. на научном конгрессе в Зальцбурге (о котором также вспоминает Лизе Мейтнер в своей статье «Оглядываясь назад» *)), и я переписывался с ним в основном по поводу теории относительности. Он принял квантовую гипотезу Планка и уже в 1905 г., т. е. в том же году, когда была опубликована его первая статья по теории относительности, в другой статье ввел идею о световых квантах или фотонах и дал объяснение фотоэлектрического эффекта и других явлений, носившее революционный характер. В новом его приложении квантовой теории к тепловым свойствам твердых тел Эйнштейн использовал модель единичных осцилляторов для описания колебаний в кристаллах. Его модель приводила к небольшому расхождению между теорией и экспериментом. Карман и я попытались устранить это расхождение, принимая во внимание весь спектр колебаний решетки. Это было за год до экспериментов Лауэ (совместных с Фридрихом и Книппингом), которые показали как волновую природу рентгеновских лучей, так и решетчатую структуру кристаллов. Карман и я основывались на теоретико-групповом рассмотрении Федорова и Шенфлиса, которое показалось нам настолько убедительным, что в нашей второй статье, опубликованной после открытия Лауэ, мы даже не упомянули о нем. Это было, конечно, ошибочным решением. Хорошо известно, что Дебай предвосхитил наши результаты на несколько недель, применив приближенный метод, в котором не были в явном виде использованы представления о структуре решетки. С годами простой метод Дебая завоевал бо́льшую популярность, чем наш.

Вскоре после окончания этой работы Карман и я разделились. Он специализировался в области гидродинамики и аэродинамики, в которых

*) L. Meitner, Looking back, Bull. of the Atomic Scientists, № 11, 2 (1964).

достиг широкой известности, и после своей эмиграции (в 1933 г.) стал ведущей фигурой в США и оказал большое влияние на развитие воздушных сил.

Я остался в физике. Работа по теплоемкости твердых тел определила два основных направления моих последующих исследований: динамика решетки и квантовая теория.

С этого момента я стал физиком.

II. ЧТО Я СДЕЛАЛ КАК ФИЗИК

В 1912 г. я начал работать по большой программе: вывести все свойства кристаллов на основе представления о кристаллической решетке, частицы которой могут быть смещены под воздействием внешних сил. Эта работа заняла несколько лет. Основными ее результатами было объяснение отклонения от соотношений Коши между упругими постоянными, доказательство того, что спектр колебаний состоит из полос двух типов — оптической и акустической, и приложение к динамике решетки превосходной теории П. Эвальда об электромагнитных волнах в кристаллах.

Объем полученных результатов был так велик, что только некоторые из них могли быть опубликованы в виде отдельных статей; я принял решение систематизировать все в виде монографии. Как раз к тому моменту, когда разразилась война 1914 г., я получил профессуру в Берлине, чтобы облегчить Планку бремя его преподавательской деятельности. Мы прибыли в Берлин весной 1915 г. Я начал читать лекции, но очень скоро должен был прервать их, так как был призван в армию. После непродолжительной службы в авиации (по радиосвязи) я был по просьбе моего друга Ладенбурга переведен в артиллерийское исследовательское ведомство. Там я был прикреплен к отделу, который занимался определением местоположения орудий по измерению моментов регистрации звуковых сигналов в разных местах наблюдения. В комнате вместе со мной работало несколько физиков, и вскоре мы, когда это позволяло время, начали заниматься настоящей наукой. Ланде и я пытались определить внутреннюю энергию ионных кристаллов, и достигли успеха с помощью Маделунга, который разработал метод расчета энергии кулоновых сил в решетках (константа Маделунга). С помощью этих результатов я получил выражение для теплоты образования простых гетерополярных молекул — первый пример определения химической теплоты реакции на основе чисто физических данных. В этой работе мне посчастливилось сотрудничать с химиком Фрицем Габером, и работа наша обычно известна как теория Борна — Габера.

В течение мрачных военных дней (когда было трудно добыть необходимое семье пропитание) меня особенно поддерживала дружба с Эйнштейном. Мы очень часто виделись, иногда вместе играли скрипичные сонаты и обсуждали не только научные вопросы, но — при живом участии моей жены — также и военную и политическую ситуацию. Мы резко осуждали политические цели германского правительства и были убеждены, что они приведут к несчастьям. В течение этих лет Эйнштейн закончил разработку своей общей теории относительности и обсуждал ее вместе со мною. Я находился под таким впечатлением от величия его идей, что решил никогда не работать в этой области. Но я защищал эйнштейновскую теорию от нападок и вскоре попытался популяризировать ее — написал книгу, которая недавно была издана в переработанном виде в США [4, 5].

Вместе мы пережили военное поражение, революцию в Берлине и провозглашение Германской Республики. Поскольку она управлялась из Веймара, а не из Потсдама, мы надеялись на мирное будущее.

В это время Макс фон Лауэ (франкфуртский профессор) написал Планку, что мечтает жить в Берлине, рядом со своим любимым учителем. Он предложил мне поменяться с ним местами, и, поскольку оба университета были согласны с этим, я был переведен во Франкфурт. Там я получил в свое распоряжение небольшой институт, имевший оборудование; кроме того, в помощь мне был предоставлен механик. Отто Штерн стал моим первым ассистентом и незамедлительно — и с большой пользой — реализовал наши экспериментальные возможности. Он разработал методику молекулярных пучков для изучения свойств атомов и использовал ее прежде всего для экспериментальной проверки закона максвелловского распределения молекул газа по скоростям, а затем, с помощью Герлаха (ассистента экспериментального отдела, возглавлявшегося Вахсмутом),— для исследования странного результата квантовой теории, известного под названием «пространственного квантования». Эксперимент Штерна и Герлаха справедливо считается одним из фундаментальных доказательств того, что классическая механика неприменима к атомным размерам и что она должна быть заменена новой квантовой механикой.

Я тоже попытался приобщиться к экспериментальной работе. Со своим вторым ассистентом, госпожой Борманн, я разработал метод определения длины свободного пробега пучка атомов серебра в воздухе. Эта работа была позднее продолжена моим учеником (Ф. Бильцем) в Геттингене с более отработанной методикой и недавно была усовершенствована в нескольких лабораториях для определения сил взаимодействия между атомами и молекулами (например, К. Г. Бенневитцем и Д. П. Теннисом в Бонне).

А. Ланде́, позднее профессор в Колумбусе, Огайо, работал в моем отделе в качестве гостя. Именно здесь он с помощью искусных численных расчетов нашел свои знаменитые формулы для тонкой структуры мультиплетов в линейчатых спектрах и так называемого аномального эффекта Зеемана, которые стали одним из краеугольных камней квантовой механики.

Сам я продолжал работу по энергии решетки и ее химическим приложениям. Профессор физической химии Р. Лоренц обратил мое внимание на аномалии подвижностей одновалентных ионов (ионы, бо́льшие по размерам, оказываются более подвижными, чем меньшие). Я дал объяснение этому явлению в рамках более общего исследования, которое можно было бы назвать электрогидродинамическим — по аналогии с современной магнитной гидродинамикой. Наличие механического эффекта молекулярных электрических диполей было затем экспериментально подтверждено мною в сотрудничестве с П. Лерте: было показано, что стеклянная колба, наполненная непроводящей жидкостью, приводится во вращательное движение с помощью быстро вращающегося электрического поля.

После двух лет пребывания во Франкфурте я был приглашен на должность директора физического отделения (как теоретического, так и экспериментального) в Геттингене — в качестве преемника Питера Дебая. Несмотря на несколько моих попыток заниматься экспериментом, я не чувствовал себя в праве руководить большой лабораторией, которая в мои студенческие годы состояла из двух независимых отделов. Мне удалось убедить министра образования вновь разделить институт и пригласить в Геттинген моего старого друга — Джемса Франка. В результате образовалось три института. Их возглавили трое профессоров: Роберт Поль (который к тому времени уже был экстраординарным профессором) и Джемс Франк (по экспериментальной физике) и я сам — по теоретической физике. Такая перестройка оказалась очень удачной. Мы имели объединенный коллоквиум, на котором по очереди председательствовали.

Вскоре подтвердилась правильность моего предложения о приглашении в Геттинген Франка: он и Густав Герц были удостоены Нобелевской премии за работу по возбуждению спектров, подтвердившую боровскую квантовую теорию атома (1925 г.).

Итак, третий период моего пребывания в Геттингене (в 1921 г.) начался при добрых предзнаменованиях. В течение первых нескольких лет я продолжал работать вместе с моими учениками по динамике решетки. При этом было начато исследование в новом направлении — по термодинамике кристаллов, которое я проводил в сотрудничестве с молодым, исключительно способным венгром — Э. Брода (позднее погибшим в фашистском концентрационном лагере). Зоммерфельд, редактор физической части «Математической энциклопедии», предложил мне написать статью об атомной теории твердых тел. Работа над ней заняла у меня много времени; статья появилась позднее также и в виде книги «Атомная теория твердого состояния» [6]. Мой учитель Фохт для вывода свойств кристаллов использовал представления о симметрии, которые были эквивалентны теории групп. У меня возникла идея приложить эту теорию к молекулам, и такая работа была проведена моим голландским учеником К. Д. Брестером и опубликована им в качестве докторской диссертации в Утрехте. Эта статья явилась предтечей вигнеровского приложения теории групп к электронной структуре атомов.

Мои основные интересы вскоре обратились к квантовой теории. В лице своих первых двух ассистентов — Вольфганга Паули и Вернера Гейзенберга — я имел энергичнейших и исключительно квалифицированных сотрудников, которых только можно себе представить. Мы начали, конечно, с теории электронных орбит Бора, но сконцентрировали внимание на слабых сторонах этой теории, когда она не давала согласия с экспериментальными данными. Так мы начали исследования новой «квантовой механики». Прежде всего мы попытались заменить дифференциальные операции конечно-разностными, содержащими постоянную Планка; мой ученик П. Иордан и я получили весьма обнадеживающие результаты, относящиеся к радиационной формуле и др. вопросам. Затем в 1925 г. Гейзенберг порадовал нас новой идеей: исходя из того принципа, что нельзя пользоваться ненаблюдаемыми величинами (такими, как размеры и частоты электронных орбит), он ввел некое символическое исчисление и получил ряд многообещающих результатов, относящихся к простым системам (линейный и нелинейный осцилляторы). После представления его работы к печати я думал о гейзенберговском формализме и обнаружил, что он идентичен матричному исчислению, хорошо известному математикам. В сотрудничестве с П. Иорданом нами были установлены простейшие свойства «матричной механики» *); затем мы трое систематически развили эту теорию. Ее результаты были настолько удовлетворительными, что не оставалось сомнений в ее правильности **).

Спустя короткое время Дирак (Кембридж), также стимулируемый первой работой Гейзенберга, независимо разработал подобную же теорию, используя более общее исчисление некоммутирующих величин.

Затем начали появляться работы Шредингера по волновой механике (1926 г.). Казалось, что теперь имеются две совершенно независимые теории, но вскоре сам Шредингер продемонстрировал их математическую эквивалентность. Он думал, однако, что осуществил возврат к классическому мышлению. Он рассматривал электрон не как частицу, но как некоторое распределение плотности, которое давалось квадратом его волновой

*) M. Born, P. Jordan, Zur Quantenmechanik, Zs. Phys. 34, 858 (1925).

**) M. Born, W. Heisenberg, P. Jordan, Zur Quantenmechanik, II, Zs. Phys. 35, 557 (1926).

функции $|\psi|^2$. Он считал, что следует полностью отказаться от идеи частиц и квантовых скачков, и никогда не сомневался в правильности этого убеждения.

Я, напротив, имел возможность каждодневно убеждаться в плодотворности концепции частиц, наблюдая за блестящими опытами Франка по атомным и молекулярным столкновениям, и был убежден, что частицы не могут быть просто упразднены. Следовало найти путь к объединению частиц и волн. Я видел связующее звено в идее вероятности. В нашей статье, написанной втроем, был раздел (гл. III, § 2), принадлежащий одному мне *). В нем фигурировал вектор x с компонентами x_1, x_2, x_3, . . ., на который действуют матричные операторы. Ему не придавалось какого-либо смысла; я думал, что он имеет отношение к распределению вероятности. Но лишь после того, как стала известна шредингеровская работа, я смог показать, что эта догадка была правильной и что вектор x есть непрерывное представление волновой функции ψ, так что $|\psi|^2$ — плотность вероятности в конфигурационном пространстве. Эта гипотеза была подтверждена описанием процессов соударений в терминах рассеяния волн и другими методами. В несколько иной форме теория столкновений была независимо разработана Дираком.

Все эти работы были прерваны во время визита в Америку (зимой 1925/26 г.), где я читал лекции в Массачузетском технологическом институте (MIT) по теории кристаллов и квантовой механике. Маленькая книга, вышедшая под названием «Проблемы атомной механики» [7] (был издан и немецкий ее вариант [8]), написанная на основе этих лекций, была, насколько я знаю, первой книгой по квантовой механике. В сотрудничестве с Норбертом Винером (прославившимся в связи с его кибернетикой) я пытался распространить матричную теорию непрерывного энергетического спектра на случай более общих систем (свободные частицы) с прерывным спектром; мы развили операторное исчисление, которое очень близко примыкало к шредингеровскому методу, в то время нам неизвестному. Моя статистическая интерпретация ψ-функции была только первым шагом в нашем понимании взаимоотношений частицы-волны в атомной физике. Наиболее важным вкладом в уяснение этой идеи были соотношения неопределенностей Гейзенберга и принцип дополнительности Бора. Хотя подавляющее большинство физиков присоединилось к этому толкованию, некоторые его отклонили, причем среди них были такие крупнейшие ученые, как Планк, Эйнштейн, де Бройль и Шредингер, которые были лидерами на первом этапе развития квантовой теории. Этим можно объяснить то, что лишь 28 лет спустя (в 1954 г.) я получил Нобелевскую премию за свою работу.

После возвращения из США мой отдел стал центром притяжения для физиков-теоретиков из Америки, а также и из многих других стран; среди этих ученых многие позднее добились выдающихся результатов. Это было волнующее время. Независимо от официальных коллоквиумов, мы устраивали частные дискуссии по вечерам у меня дома. Мне, уже немолодому человеку, было очень трудно находить общий язык с молодежью. Я работал с большим напряжением, но это привело к нервному расстройству (в 1928 г.), так что я был вынужден прервать исследовательскую работу и преподавание примерно на один год и в дальнейшем быть более осторожным. В это время пониженной научной активности я начал записывать свои лекции по оптике. Но вместо того, чтобы написать короткий учебник, как я предполагал, лекции вылились в том устрашающих размеров, о котором я уже упоминал.

*) Kapitel III, § 2 «Anwendung auf Storungstheorie».

Тем временем закончились сравнительно мирные 20-е годы, и после финансовой катастрофы в Америке (разразившейся около 1930 г.) стало усиливаться влияние Гитлера и нацистов. Мы с возрастающим ужасом следили за их восхождением. После того, как Гитлер стал государственным канцлером, мы знали, что не остается никаких надежд. И действительно, вскоре наступил день, когда я нашел в газетах свое имя среди отстраненных от работы по расовым соображениям. Мы покинули Германию (май 1933 г.) и свое первое убежище обрели в итальянском южном Тироле. Мы были так очарованы красотой весны в Доломитах, что почти забыли о бедствиях и ненадежности нашей жизни. Очень скоро из разных стран на мое имя стали поступать приглашения на работу; одно из них в Кембридж, в Англию, я принял, так как знал язык и страну.

Нет худа без добра. Ибо ничто не действует на человека столь целительным и освежающим образом, как если он оказывается с корнем вырван из привычной обстановки и окружения. Даже моя жена, которая вдали от родины страдала гораздо больше, чем я, рассматривала позднее свою вынужденную эмиграцию как своеобразный выигрыш. Впрочем, это характерно для большинства людей с интернациональными связями. Многие мои родственники и друзья погибли в концентрационных лагерях или покончили с собой. В Кембридже я и моя жена уделяли значительную часть нашего времени, пытаясь помочь людям эмигрировать. Нам был оказан в Кембридже очень дружественный прием. Помимо моего старого колледжа Гонвилля и Кайуса, я был принят в колледж св. Джона, в котором работал Дирак. Университет присудил мне степень магистра искусств и звание стоксова лектора. Было большой радостью оказаться в Кавендишской лаборатории, рядом с Резерфордом, Вильсоном, Астоном, Чадвиком, Фаулером, Олифантом, Кокрофтом и многими другими первоклассными физиками.

Я читал лекции и работал над идеей, которая пришла мне в голову, когда я в одиночестве находился в Доломитах, а именно, о нелинейной модификации максвелловской теории электромагнитного поля, в которой собственная энергия (электромагнитная масса) точечного заряда конечна. Эта идея могла возникнуть и лет за двадцать до этого, но тогда она могла бы направить теоретические исследования в ложном направлении, в сторону от квантовой механики, хотя и могла бы дать им ощутимый толчок. Эту работу я проводил в сотрудничестве с Леопольдом Инфельдом из Польши. В конечном счете так называемая теория Борна — Инфельда сошла на нет, поскольку ее нельзя было согласовать с квантовой механикой. В течение этого кембриджского периода я опубликовал учебник «Атомная физика» [9], который выдержал сейчас уже 7-е издание, а также популярную книжку, названную мною «Вселенная в движении» [10].

Когда в 1936 г. истек срок моего пребывания в Кембридже *), я получил приглашение от сэра Вената Рамана, главы Индийского института науки в Бангалоре. Я принял его и провел в Индии полгода вместе с женой. Это было впечатляющим событием, однако мне нечего сказать о научных результатах этого периода.

После нашего возвращения в Кембридж я получил письмо от П. Капицы с предложением хорошего места в Москве; это предложение мы серьезно обсуждали. Но немного позднее мой друг — Чарльз Галтон Дарвин, профессор натурфилософии (что по-шотландски соответствует физике) в Эдинбурге, написал мне, что покидает Университет, чтобы встать во главе колледжа в Кембридже, и переслал мне предложение от Университета стать его преемником.

---

*) М. Борн был приглашен в Кембридж на ограниченный срок. (*Прим. перев.*)

Так мы поехали в Шотландию и прожили там 17 лет, даже дольше, чем в Геттингене. Мы полюбили чудесный старый город, страну, самих шотландцев, и мы были счастливы там. Однако я не могу подробно останавливаться на этом и скажу только несколько слов о моей работе. Как обычно, я переходил от одного вопроса к другому и находил необходимых учеников и сотрудников. Я назову лишь нескольких из них. Первый, Рейнгольд Фюрт, профессор немецкого университета в Праге, который попал в изгнание перед самым началом войны, оказал мне большую помощь в работе с моими учениками по термодинамике кристаллов и в других областях. Другой — Клаус Фукс, очень талантливый человек, который никогда не скрывал того, что он — коммунист, после начала войны и непродолжительного интернирования в качестве иностранца, прибывшего из вражеской страны, присоединился к британской работе по исследованию ядерного деления. Третьим был Герберт Сидней Грин, ныне профессор в Аделаиде (Австралия), с которым я работал по кинетической теории конденсированных газов и жидкостей. Наши работы были собраны в небольшую книгу [11]. Работа по кристаллам, которую мы проделали, относилась в основном к определению колебательных спектров решетки по данным о диффузном рассеянии рентгеновских лучей и раман-эффекту; международный конгресс, состоявшийся недавно (в 1963 г.) в Копенгагене, показал мне, что эти задачи вновь оказались в центре внимания физики твердого тела, так как использование нейтронов вместо рентгеновских лучей обеспечило получение гораздо большего количества и лучших экспериментальных данных. Мы также продолжили в различных направлениях работу над идеей, принадлежащей мне и названной принципом взаимности (principle of reciprocity). Ее целью было объяснение существования и свойств элементарных частиц, но она не привела ни к чему, так как экспериментальный материал в то время был слишком скудным. Мне кажется теперь, что эти идеи могли бы быть приложены к вновь открытым короткоживущим частицам и резонансам.

Среди моих студентов было четверо очень талантливых китайцев; с одним из них, Кун Хуанем, ныне профессором в Пекине, я написал новую книгу о динамике кристаллической решетки, в которой систематически использована квантовая механика [12].

Для всей этой деятельности я располагал поначалу только двумя (а позднее тремя-четырьмя) комнатами в полуподвальном помещении, а мой бюджет никогда не превышал нескольких сотен фунтов в год (в Геттингене он был равен нескольким тысячам марок). Мы всегда были окружены людьми, поскольку число студентов было довольно значительным; среди них было мало шотландцев, большинство же составляли люди со всего света. Административные обязанности и чтение более элементарных курсов было поручено моим сотрудникам Р. Шлэппу и А. Нисбету. В течение последних лет штат сотрудников был пополнен Э. Вольфом, с которым мы написали вторую большую книгу по оптике («Принципы оптики» [13]).

В 1948 г. меня пригласили прочесть вайнфлетовские лекции в колледже Магдалины в Оксфорде. Они были опубликованы под названием «Натуральная философия необходимости и случайности» [14] и переизданы теперь в Америке (New York, Dover Publications) в виде фотокопий. В этой книге я попытался сформулировать философские идеи о науке, которые я развивал как физик всю свою жизнь.

Я хотел бы рассказать о многих моих друзьях и коллегах-профессорах, но вынужден ограничиться несколькими. Кафедру экспериментальной физики возглавлял Баркла, известный как исследователь характеристического поглощения рентгеновских лучей различными элементами. Главой

математического отдела был Эдвард Уиттекер, который часто помогал мне в моей работе. Философ Кемп-Смит был моим ближайшим другом и учил меня, как стать шотландцем — с сомнительным, впрочем, успехом. В Эдинбурге работа по оказанию помощи эмигрантам продолжалась, но ее вела в основном моя жена, которая вступила в общество квакеров. Эта организация, а также и многие другие, ей подобные, спасли сотни людей от концентрационных лагерей и газовых камер. Годы войны в Эдинбурге были также мрачны и угнетающи, как и повсюду, но, как это ни странно, на город не совершались большие воздушные налеты.

После войны жизнь стала ярче, особенно тогда, когда в Эдинбурге начали проводиться фестивали музыки и драмы, получившие вскоре всемирную известность. Появилось много старых друзей, которых мы не видели долгие годы, среди них — пианист Артур Шнабель и другие музыканты. Мы также получили возможность посетить континент, а когда Геттинген предложил мне, Франку и Куранту «почетное гражданство» («freedom of the city»), мы приняли это предложение после некоторых колебаний. За этим первым визитом в Германию последовали другие, и когда в конце 1953 г. я достиг предельного возраста, мы решили вернуться в Германию. Я не могу обсуждать здесь причины, побудившие нас принять это решение, но, хотя некоторые из моих друзей, в частности и Эйнштейн, отвергали их, мы не сожалеем о предпринятом шаге. Мы выбрали небольшой курорт, Бад-Пирмонт, в очаровательной сельской местности неподалеку от Геттингена, но все же на достаточном расстоянии от него, чтобы быть вдали от шумной толпы. Здесь я нашел для себя новую область деятельности. Но прежде чем я скажу о ней несколько слов, я хочу заметить, что не оставил физику, а продолжил изучение ее философских основ.

После ухода с эдинбургской кафедры я получил юбилейный эйнштейновский сборник *), содержащий статью Эйнштейна, в которой он представил сжатые, но четкие аргументы против статистической интерпретации квантовой механики, основанные на его концепции физической реальности. Я не мог с ними согласиться и, более того, считал, что математическая сторона в рассмотренном им примере неудовлетворительна. Я написал ответ, в котором пытался обосновать свою статистическую точку зрения, показывая, что требования классической механики о детерминированности неосновательны, поскольку они основываются на предположении о том, что абсолютная точность данных имеет физический смысл, а как раз это я считал абсурдным. Таким образом, я развил статистическую формулировку классической механики. Затем я дал строгую квантово-механическую обработку примера, предложенного Эйнштейном, и показал, что в классическом пределе он точно приводит к результату, полученному ранее из моей статистической формулировки классической механики.

Эйнштейн ответил, что я неправильно его понял, поскольку его возражения имеют отношение к концепции реальности, а не детерминизму. Последующая переписка изобиловала примерами взаимного непонимания. Паули, который как раз в то время находился в Принстоне, пытался выступить в качестве посредника и откровенно сказал мне, что я был плохим слушателем, когда дело касалось точек зрения других людей. Думаю, что он был прав. Но он помог мне пересмотреть мою статью, и ее окончательный вариант, который был опубликован на страницах номера «Transactions» Датской Академии, посвященного 70-летию Бора, заслужил полное

*) Albert Einstein-Philosopher—Scientist. Ed. by P. A. Schillp. (The Library of the Living Philosophers, v. 7), Evanston, Illinois, 1949.

одобрение Паули *). Хотя дискуссия с Эйнштейном была довольно резкой, она не оказала влияния на нашу дружбу **).

В Бад-Пирмонте я продолжал работу в этом направлении. В конечном итоге она привела к публикации статьи (совместно с В. Людвигом ***); в ней была выведена формула, которая описывает движение свободного (например, вращающегося) тела во всех случаях: от квантовой области с дискретными состояниями до классической области непрерывности.

Теперь я подхожу к моим основным занятиям в Германии в течение последних лет. Они связаны с социальными, экономическими и политическими аспектами науки, прежде всего с атомной бомбой, но включают в себя и другие патологические симптомы науки нашего века — такие как ракеты, космические путешествия, перенаселение и т. д. Когда я приехал в Германию (в 1954 г.), в ней не проявлялось особого интереса к этим вопросам. Теперь здесь создано общество, названное V.D.W. (Объединение немецких ученых, Vereinigung Deutschen Wissenschaftler), которое активно занимается этими проблемами — не без влияния на германское правительство. Появился журнал «Atomzeitalter» («Атомный век»), подобный «Бюллетеню ученых-атомщиков». Хотя мои публикации и выступления по радио часто находятся в оппзиции к политике Федерального правительства Германии, оно не препятствовало мне; наоборот, я был удостоен высоких знаков отличия.

Это сообщение вряд ли можно назвать биографией, поскольку оно содержит большей частью результаты профессиональной стороны моей жизни и почти не касается ее человеческих сторон, моей семьи, моего отношения к литературе, искусству, музыке. Тех, кто хотел бы проверить то, что я сказал о своих работах, можно адресовать к изданию, явившемуся большой честью для меня и предпринятому Геттингенской Академией, опубликовавшей два тома моих избранных работ ****).

Ниже приводится список выдающихся ученых, которые работали в институтах теоретической физики во Франкфурте и Геттингене в те годы, когда я был их директором.

Ассистенты: Отто Штерн (Нобелевский лауреат), В. Паули (Нобелевский лауреат), В. Гейзенберг (Нобелевский лауреат), Е. Гюккель, Ф. Хунд, В. Гейтлер, Л. Нордхейм, Л. Розенфельд.

Получившие докторскую степень (в стенах институтов): П. Иордан, Ф. Хунд, В. Эльзассер, М. Дельбрюк, Р. Оппенгеймер, Мария Геппert-Майер (Нобелевский лауреат).

---

*) Proc. of the Danish Academy **30**, № 2 (1955).

) Дискуссия между М. Борном и А. Эйнштейном опубликована в юбилейном сборнике, посвященном 70-летию со дня рождения Эйнштейна. Соответствующие статьи переведены на русский язык: М. Борн, Статистические теории Эйнштейна [1], стр. 172; А. Эйнштейн, «Автобиографические заметки» и «Замечания к статьям» в кн.: А. Эйнштейн, Собрание научных трудов, М., «Наука», 1967, т. 4, стр. 259 и 294. Продолжение дискуссии в работах: А. Эйнштейн, «Элементарные соображения по поводу интерпретации основ квантовой механики» (опубликована в сборнике, посвященном М. Борну, «Papers, presented to Max Born», Edinburgh, 1953; см. русский перевод в кн.: А. Эйнштейн, Собрание научных трудов, М., «Наука», 1966, т. 3, стр. 617), и M. Born, «Continuity, Determination and Reality», Dan. Mat. Fys. Medd. **30, № 2, 1955.

***) M. Born, W. Ludwig, Zur Quantenmechanik des kräftefreien Teilchen, Zs. Phys. **150**, 106 (1958).

****) Max Born, Ausgewählte Abhandlungen. Herausgegeben von der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Bd. 1—2, Göttingen, Vandenhoeck u. Ruprecht, 1963. 1-й том избранных работ М. Борна содержит 46 статей по механике, теории относительности, термодинамике, теории кристаллической решетки и теории атомов, молекул и жидкостей; во 2-м томе собраны 47 статей по квантовой механике и теории поля; в это число входит и 16 мемориальных статей (о Гильберте, Абрагаме, Зоммерфельде, Лоренце, Эйнштейне и др. выдающихся физиках).

Сотрудники: А. Ланде, И. Сугиура, В. Фок, Э. Хиллерос, Н. Винер, Ю. Румер, Д. Майер.

Гости (участники коллоквиумов или моих частных дискуссионных вечеров; некоторые из них приняли участие в исследованиях, проводившихся в институтах): Д. Е. Леннард-Джонс, Е. У. Кондон, О. Клейн, П. Дирак (Нобелевский лауреат), Э. Ферми (Нобелевский лауреат), Я. И. Френкель, И. Е. Тамм (Нобелевский лауреат), Н. Мотт, Ф. Лондон, Л. Полинг (Нобелевский лауреат), И. фон Нейманн, Э. Теллер, Е. П. Вигнер (Нобелевский лауреат).

ЛИТЕРАТУРА

1. Max Born, Physics in my Generation. A selection of Papers, London — New York, 1956; Physik im Wandel meiner Zeit, Braunschweig, 1958 (М. Борн, Физика в жизни моего поколения, М., ИЛ, 1963).
2. Max Born, Optik, Ein Lehrbuch der elektromagnetische Lichttheorie, Berlin, 1933 (М. Борн, Оптика, Учебник электромагнитной теории света, Х.— К, ГНТИУ, 1937).
3. M. Born, E. Wolf, Principles of Optics. Electromagnetic Theory of Propagation, Intereference and Diffraction of Light, Oxford, Pergamon Press, 1959; 1965.
4. M. Born, Die Relativitättheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen, Berlin, Springer Verlag, 1920 (М. Борн, Теория относительности Эйнштейна и и ее физические основы, под ред. А. И. Кудрявцева, Пг., «Наука и школа», 1922; то же — под ред. Б. И. Давыдова, Л.— М., ГТТИ, 1938).
5. M. Born, Einstein's Theory of Relativity, Revised Edition, prepared with the collaboration of Günther Leibfried and Walter Biem, New York, Dover, 1962 (М. Борн, Эйнштейновская теория относительности, М., «Мир», 1964).
6. M. Born, Atomtheorie des festen Zustandes, Berlin, 1923.
7. M. Born, Problems of Atomic Dynamics, Cambridge, Mass., 1926.
8. M. Born, Probleme der Atomdynamik, Berlin, Springer Verlag, 1926.
9. M. Born, Atomic Physics, London and Glasgow, Blackie, 1935 (М. Борн, Атомная физика, М., «Мир», 1965 и 1967 (перев. с 7-го изд.).
10. M. Born, The Restless Universe, London and Glasgow, Blackie 1935.
11. M. Born, H. S. Green, A General Kinetic Theory of Liquids, Oxford, Clarendon Press, 1949.
12. M. Born, Huang Kun, Dynamical Theory of Crystal Lattices, Oxford, Clarendon Press, 1954 (М. Борн, Хуан Кунь, Динамическая теория кристаллической решетки, М., ИЛ, 1958).
13. M. Born, E. Wolf, Principles of Optics, London, 1955.
14. M. Born, Natural Philosophy of Cause and Chance, Oxford, Clarendon Press, 1949.

КНИГИ МАКСА БОРНА, ИЗДАННЫЕ В СССР *)

1. М. Борн, Строение материи. Три статьи по современной атомистике и электронной теории, Пг., 1922.
2. М. Борн, Химическая связь и квантовая механика, ГТТИУ, Харьков, 1932.
3. М. Борн, Лекции по атомной механике, т. 1, ГТТИУ, Харьков — Киев, 1934.
4. М. Борн, Современная физика, Л.— М., Гостехиздат, 1935.
5. М. Борн и М. Гепперт-Мейер, Теория твердого тела; М. Борн, Динамика кристаллической решетки; М. Борн, М. Гепперт-Мейер, Динамическая теория кристаллической решетки, Л.— М., Гостехиздат, 1938.

*) В этот список не включены русские переводы книг, фигурирующие в основном списке под № 1, 2, 4, 5, 9 и 12.