

А. Пайс

ГЕНИИ НАУКИ

Перевод с английского Е. И. Фукаловой
Под редакцией к.ф.-м.н. С. Г. Новокшенова



Москва

2002

Интернет-магазин

MATHESIS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
 - математика
 - биология
 - техника
-

Пайс А.

Гении науки. — Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 448 стр.

В этой книге Абрахам Пайс, сам являясь выдающимся физиком-теоретиком, рассказывает о других великих ученых, с которыми он был знаком.

На страницах этой книги мы встретим молчаливого Поля Дирака; Макса Борна, который придумал термин «квантовая механика»; Вольфганга Паули, известного своим принципом запрета; Митчелла Фейгенбаума, создателя теории хаоса, и Джона фон Неймана, одного из самых влиятельных математиков прошлого столетия. Не забыл Пайс также Альберта Эйнштейна и Нильса Бора, полные биографии которых он уже писал в отдельных книгах.

Книга полна исторических фактов, точных характеристик описываемых личностей и их научных достижений, а потому будет интересна широкому кругу читателей.

ISBN 5-93972-168-0

© Перевод на русский язык,
Институт компьютерных исследований, 2002

<http://rcd.ru>

Нильс Бор, человек и его наука*

Введение

Уинстон Черчилль в 1-м томе своей книги *«История англоязычных народов»* написал:

Никто не может понять историю без постоянного обращения к тем долгим периодам, которые постоянно упоминаются в сравнении с опытом наших коротких жизней. Пять лет — это много. Двадцать лет — горизонт . . . Пятьдесят лет — древность.

Эти слова подходят для описания времени жизни Нильса Бора, которое охватило революционные перемены в самой науке, а также оказало поразительное воздействие на общество. В качестве первого примера я бы хотел привести слова Федерико Майора, генерального директора ЮНЕСКО, которые он написал несколько лет назад:

В октябре 1988 года, возможно, впервые в истории человечества была подавлена огромная разрушительная сила, которая подвергала чудовищному риску все живое на планете¹.

А сейчас сравните это с тем состоянием дел во время рождения Бора, когда применение атомной энергии на практике, как для благих, так и для порочных целей, было еще даже не видно на горизонте. Фактически, когда приподнимается завеса, реальность атомов все еще является спорным вопросом, атомное ядро еще не открыто. Все это изменилось за время жизни Бора, и большинство перемен происходило под его влиянием. Он первым понял, каким образом связываются воедино атомы, он сыграл ведущую роль в развитии теории атомного ядра, и он оказал существенное влияние на создание радиационной медицины в своем Институте. Он также первым, привлек внимание ведущих государственных деятелей к необходимости открытых отношений между Западом

*Вступительная речь на конференции по теме «Нильс Бор и эволюция физики в XX веке», состоявшейся 27 мая 1998 года в здании ЮНЕСКО в Париже.

и Востоком, в связи с появлением нового грозного ядерного оружия, во время и после Второй Мировой войны. Снова и снова он подчеркивал, что открытость важна для стабильности в мировой политике.

Еще более глубокими, чем новые открытия и познания о структуре материи являются новые физические законы, открытые в это же время. Здесь ключевыми концепциями являются теория относительности и квантовая теория. Бор сыграл главную роль в разъяснении необходимости ревизии философских оснований физики для понимания квантовых явлений.

После этого краткого обзора научного наследия Бора я перехожу к рассказу о нем как о человеке и как об ученом.

Утром 24 октября 1957 года мы с Робертом Оппенгеймером сели в поезд, идущий из Принстона в Вашингтон. Мы направлялись в Большой Зал Национальной Академии Наук, где в этот день Нильс Бор представлялся к первой награде «Мирный атом». Это было праздничное событие. Наградную речь читал Джеймс Киллиан. Я цитирую:

Нильс Хенрик Давид Бор, в избранной Вами области физики Вы исследовали структуру атома и открыли многие другие тайны Природы. Вы дали людям основу для большего понимания материи и энергии. Вы сделали не один вклад в практическое использование этого знания. В своем Институте Теоретической Физики в Копенгагене, который является для ученых интеллектуальным и духовным центром, вы дали возможность ученым всего мира расширить знания человека о ядерных явлениях. Эти ученые почерпнули в вашем Институте не только расширенное понимание науки, но и гуманный дух активной заботы о должном использовании научного знания.

В своих публичных выступлениях и обширных связях Вы были огромной моральной силой, выступающей в защиту использования атомной энергии в мирных целях.

В своей профессиональной и общественной жизни, в своем учении, Вы показали, что сфера точной науки и сфера гуманитарных наук являются, в действительности, единой сферой. Во всей Вашей профессиональной деятельности Вы служили примером скромности, мудрости, гуманности, интеллектуального величия; и признанием этого является Награда «Мирный атом».

Затем Киллиан вручил Бору награду (золотую медаль и чек на 75 000 долларов), президент Эйзенхауэр с улыбкой смотрел на это событие². В своей короткой ответной речи Бор подчеркнул необходимость международного понимания того, что «быстрое

продвижение науки и технологии в наш век... бросает цивилизации самый серьезный вызов. Чтобы ответить на этот вызов... нужно идти путем всемирного сотрудничества».

Затем к Бору обратился президент, назвав его «великим человеком», чей разум исследовал тайны внутренней структуры атома и чей дух достиг самого сердца человека³.

Цитата Киллиана красноречиво описывает то сочетание качеств, которые мы находим в Боре, и только в Боре: творец науки, учитель и представитель не только науки *per se*^{*}, но и науки в качестве потенциального источника всеобщего блага.

В качестве творца науки Бор является одним из трех людей, без которых немислимо рождение того уникального образа мышления, который присущ XX веку, — квантовой физики. Эти три человека, в порядке их появления (на арене науки): это, в первую очередь, Макс Планк, революционер поневоле, открыватель квантовой теории. Он не сразу понял, что его квантовый закон означал конец той эры в физической науке, которую называют классической. Затем появился Альберт Эйнштейн — открыватель кванта света, фотона, основатель квантовой теории твердых тел, который сразу же осознал, что классическая физика достигла своих пределов — ситуация, с которой он никогда не мог мириться. И, наконец, Бор — основатель квантовой теории строения материи, тоже сразу же осознавший, что его теория противоречила священным классическим понятиям, но немедленно начавший поиск связей между старым и новым, и этот поиск имел своим результатом принцип соответствия.

Насколько разными были эти личности... Планк во многих отношениях был университетским профессором, читавшим курсы лекций, руководил подготовкой диссертаций. Эйнштейн — необычайно одинокий, практически единственный, кто не стремился к преподавательской деятельности и никого не подготовил к защите диссертации. Он был легко доступен, и все же в стороне, всегда дружелюбен, но весьма далек. И Бор, которому всегда были нужны другие физики, особенно молодые. Это помогало ему прояснить собственные мысли, и он всегда щедро помогал прояснить мысли другим. Он был не столько преподавателем курсов или научным руководителем по защите кандидатских диссертаций, сколько вдохновителем и наставником тех, кто занимался научными исследованиями на более высокой ступени. Он заменил отца физикам, которые принадлежали разным поколениям, включая и автора этой книги.

Исследования Бора, его учение, его устремления в политической сфере и взаимоотношения с выдающимися людьми того вре-

^{*} *Per se* (лат.) — по-существу, сам по себе. — *Прим. перев.*

мени — именно об этом пойдет речь в этом докладе. Но не только об этом. Есть еще Бор философ, Бор администратор, Бор основатель фонда, катализатор, содействующий применению физики в области биологии, Бор помощник политэмигрантов, один из основателей международных институтов физики, а также ядерных проектов в Дании, и, наконец, последнее по счету, но не по важности — преданный семьянин. Складывающийся образ представляет собой настолько полную и самозабвенную жизнь, что невольно возникает вопрос: как один человек мог успеть так много?

Диапазон деятельности Бора был широким; он с огромной энергией бросался решать любую стоящую перед ним задачу. Все, кто его знал, знали и о его необычайной способности концентрироваться, которую часто можно было заметить, просто взглянув на него. Примером этому может служить следующая история.

Тетя Бора, Ханна Адлер, однажды рассказала мне о случае, который произошел много лет назад, когда она вместе с мамой Бора и двумя ее маленькими сыновьями Харальдом и Нильсом ехала в трамвае. Мальчики не отрывали взгляд от мамы, которая рассказывала им какую-то историю. В двух юных сосредоточенных личиках было, очевидно, что-то особенное, потому что мисс Адлер вдруг услышала, как одна из пассажирок заметила своей соседке: «Stakkels mam» (бедная мама).

Сколько раз те, кто читал воспоминания о Боре и его биографию, говорили мне, что его история жизни слишком хороша, чтобы быть правдивой. Таковы были их впечатления. Я тоже считаю, что его жизнь была замечательной и что он был хорошим человеком, способным на то, чтобы приносить счастье другим и принимать его. Но я, тем не менее, не считаю его ангелом, которому были бы чужды борьба, амбиции, разочарования и личная трагедия.

Это наводит меня на личные воспоминания.

В январе 1946 года я впервые приехал в Копенгаген из своей родной Голландии. Первое послевоенное поколение прибыло в Институт Бора из-за рубежа, чтобы провести там достаточно длительный учебный период. На следующее после приезда утро я направился к секретарю миссис Бетти Шульц. Она попросила меня подождать в библиотеке, пока профессор Бор освободится. Через некоторое время стук в дверь оторвал меня от чтения. «Войдите», — сказал я. Дверь открылась. Это был Бор. Первой моей мыслью было: «Какой хмурый вид».

Потом он заговорил.

Позднее, я часто недоумевал по поводу этого первого впечатления. Оно улетучилось в то самое мгновение, когда Бор заговорил со мной в то утро, и уже никогда более не возвращалось. О чертах лица Бора действительно можно сказать, что они тяжелые и грубые. Но, тем не менее, всем, кто знает его, это лицо запоминается крайним оживлением и теплой солнечной улыбкой.

Вскоре после этого мне представилась первая возможность побеседовать с Бором на тему физики. Я рассказывал ему о проблемах в квантовой электродинамике, которую я разработал, пока скрывался в Голландии. Он курил свою трубку, пока я излагал ему все, что я сделал. Большую часть времени он смотрел в пол и лишь изредка бросал взгляд на доску, на которой я с энтузиазмом писал разные формулы. После того, как я закончил рассказывать, Бор был немногословен. Я слегка упал духом, впечатление было таким, что вряд ли какая-то тема интересовала его еще меньше, чем мой рассказ. Я еще недостаточно хорошо знал его в то время, чтобы понять, что это не совсем так. Позднее, я бы сразу заметил, что его любопытство возбуждено, так как он ни разу не сказал, что это очень интересно и что мы пришли к большему соглашению, чем он думал, — как раз это были любимые способы выразить его недоверие к сказанному.

В действительности, Бора заинтересовал мой рассказ. Однажды, это было в мае, он спросил меня, интересно ли мне будет поработать с ним ежедневно в течение нескольких месяцев. Я с восторгом принял это предложение. На следующее утро я отправился в Карисберг. Первое, что сказал мне Бор, что моя работа с ним будет плодотворной лишь в том случае, если я пойму, что он дилетант. Моей единственной возможной реакцией на это неожиданное утверждение была вежливая улыбка неверия. Но Бор, очевидно, был серьезен. Он объяснил, как ему приходится подходить к решению каждого нового вопроса с позиции полного невеждения. Возможно, будет яснее, если я скажу, что сила Бора лежит, скорее всего, в его невероятной интуиции и проницательности, а не в эрудиции. Через несколько лет, когда я сидел рядом с ним на коллоквиуме в Принстоне, я вспомнил его слова, сказанные им в то утро. Докладчик читал доклад о ядерных изомерах. По мере развития темы Бор становился все более беспокойным и не переставал шептать мне, что это все неверно. Наконец, он уже не мог более сдерживаться и хотел возразить, но, поднявшись с места лишь наполовину, снова сел в замешательстве, посмотрел на меня с несчастным видом и спросил: «Что такое изомер?»

Первое, что нам предстояло сделать, это подготовить вступительную речь, с которой Бор должен был выступать на Международной Конференции на тему элементарных частиц в июле

1946 года в Англии, в Кембридже. Должен признать, что в начале нашего сотрудничества мне было трудно следовать за ходом рассуждений Бора, и, более того, я часто был в замешательстве. Я, например, не мог увидеть связи между темой нашей настоящей работы и замечанием Бора о том, что в 1926 году Эрвин Шредингер был просто шокирован, когда ему сказали о возможности вероятностной интерпретации квантовой механики, или между предметом нашего обсуждения и каким-то возражением Эйнштейна в 1927 году. Но скоро туман начал рассеиваться, и я начал ухватывать не только нить рассуждений Бора, но и их цель. Так же, как многие спортивные игроки разогревают себя упражнениями перед тем, как выйти на спортивную арену, так и Бор вновь переживал те споры, которые имели место до того, как было принято содержание квантовой механики. Я думаю, что в уме Бора эта борьба каждый день начиналась заново. Эйнштейн всегда выступал в качестве его ведущего спарринг-партнера по духу. Даже после смерти Эйнштейна Бор спорил с ним так, как если бы тот был все еще жив.

Через некоторое время семья Бора отправилась в их летний дом в Тисвилде. Я был приглашен ехать с ними, чтобы можно было продолжить работу. Это был замечательный опыт. Большую часть дня мы проводили за работой в маленьком отдельно стоящем павильончике в саду. Все это время сын Бора Оге Бор был с нами. Днем мы ходили купаться и часто возвращались к работе поздно вечером. И иногда, даже когда мы с Оге отправлялись спать, Бор входил к нам — на одной ноге туфля, на другой носок, — чтобы сообщить нам только что пришедшую ему на ум мысль, которая должна была послужить продолжением предыдущей. Он продолжал говорить еще около часа.

Порой мы проводили вечера в семейном кругу, и иногда Бор читал один-два из его любимых стихов. Особенно он любил декламировать следующие строки Шиллера:

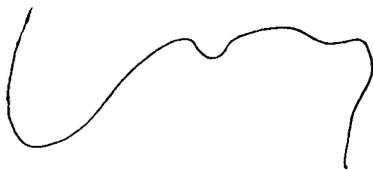
... Wer etwas Treffliches leisten will,
Hätt' gern etwas Grosses geboren,
Der sammle still und unerschläft
Im kleinsten Punkte die höchste Kraft.

(Перевод)⁴

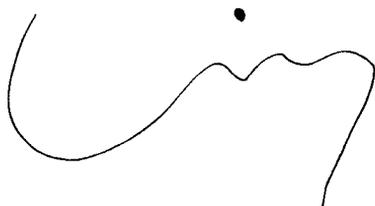
... Он и сейчас достиг бы справедливости
Или открыл бы что-нибудь великое,
Но должен ждать, пока в мельчайшей точке
Большая не созреет сила.

Чем бы ни занимался Бор, большим или малым, он мог вложить в это дело всего себя, и он мог придать ему красоту, каким бы мелким ни был вопрос и какой бы возвышенной ни была сила.

Бор был неутомим в работе. Когда ему необходимо было сделать перерыв в обсуждении какого-либо рабочего вопроса, он отправлялся полоть сорняки и делал это с тем чувством, которое можно назвать свирепостью. Здесь я могу сделать свой маленький вклад в предание о Боре – курильщике трубки. Хорошо известно, что часто Бор пытался разжечь трубку, еще не набив ее табаком, но следующий случай еще более выдающийся. Однажды Бор с трубкой во рту вновь занимался прополкой. В какой-то момент, незаметно для Бора, чашечка трубки отвалилась от черенка. Мы с Оге сидели, развалившись в траве, и с интересом ждали развития событий. Я никогда не забуду то совершенно ошеломленное выражение лица Бора, когда, задумчиво чиркнув спичкой, он вдруг обнаружил, что подносит ее к трубке, на которой нет чашечки. Бор прилагал огромные усилия и старание к сочинению своих статей. Но сам физический акт письма, с ручкой или мелом в руке, был ему почти чужд. Он предпочитал диктовать. В одном из тех немногих случаев, когда я видел Бора пишущим что-либо, он совершил самый удивительный акт каллиграфии, которому я когда-либо был свидетелем. Это случилось тем летом в Тисвилде. Мы обсуждали вступительную речь, которую Бор должен был произнести по случаю столетия со дня рождения Ньютона. Бор стоял у доски (где бы он ни обитал, доска всегда была неподалеку) и писал общие темы для обсуждения. Одна тема была связана с гармонией чего-то там. Слово *гармония* выглядело в исполнении Бора следующим образом:



Но по мере развития обсуждения Бору не понравилось слово «гармония». Он беспокойно ходил кругами, потом остановился, лицо осветилось проблеском мысли. «Вот оно. Нужно поменять *гармонию* на *единообразие*». Он снова схватил мел, остановился на мгновение, глядя на то, что написал ранее, и затем сделал единственное изменение:



с триумфальным видом стукнув по доске мелом.

Осенью 1946 года мы с Бором были в Принстоне. Я помогал ему подготовить лекцию. Бор не был хорошим оратором, но он был человеком величайшей ясности мысли. И дело не столько в том, что голос у Бора не был сильным и в большой аудитории невозможно было расслышать его на задних рядах. Главная причина в том, что, когда Бор говорил, он находился в глубокой задумчивости. Я помню, как в тот день он закончил часть суждения, затем сказал: «И. . . и. . .», затем помолчал некоторое время, а потом сказал: «Но. . .», и продолжил. Между «и» и «но» существовал связующий момент, который он произнес мысленно, но забыл сказать вслух и продолжил свое выступление далее своим чередом. Для меня этих пропусков не существовало, поскольку я знал, чем их нужно заполнить. И не раз я видел, как публика выходила с лекций Бора в некотором замешательстве, хотя он усердно готовился к ним, продумывая каждую деталь. И все же, когда после выступления он подходил ко мне с характерным для него вопросом: «*Jeg håber det var nogenlunde?*» (Надеюсь, было терпимо?), я мог заверить его в том, что это было гораздо более терпимо, чем он думает. Несмотря на лингвистические недостатки, эта неустанная борьба за истину была мощным источником вдохновения.

Впервые я стал непосредственным свидетелем того, какое влияние оказывал на Бора Эйнштейн, в 1948 году в Институте перспективных исследований в Принстоне. В это время я там работал постоянно, а Бор был гостем. Однажды Бор вошел в мой кабинет в состоянии сердитого отчаяния, повторяя: «Как я себе надоел!». Меня это тронуло, и я спросил, что случилось. Оказалось, что он только что встретил Эйнштейна. Как обычно, у них завязался спор о значении квантовой механики. И если быть до конца откровенным, то Бор так и не сумел убедить Эйнштейна в правильности своей точки зрения. Вне всякого сомнения, то, что Эйнштейн недооценивает его, было глубоким разочарованием для Бора. Нам повезло, что это заставляло Бора стремиться к большей ясности мысли и более четким формулировкам. Это, кстати, было и удачей Бора.

Еще как-то раз Бор зашел ко мне в кабинет и начал так: «Du er såklog . . . » (Вы так мудры). Я засмеялся (с ним можно было не переживать по поводу формальностей в обращении) и сказал: «Ладно, я понимаю». Бор хотел, чтобы я спустился к нему в кабинет, и мы бы побеседовали. Мы направились туда. Следует объяснить, что Бор в это время работал в кабинете Эйнштейна в Фалд Холле. А сам Эйнштейн использовал для работы маленькую примыкающую к кабинету комнату, предназначенную для ассистента. Дело в том, что Эйнштейну большой кабинет просто не нравился, и он все равно пустовал. Когда мы вошли, Бор попросил меня сесть («Мне всегда нужна точка отсчета в системе координат»), а сам начал быстро ходить вокруг продолговатого стола в центре комнаты. Затем попросил меня записать несколько предложений по мере их созревания во время ходьбы. Во время таких заседаний Бор никогда не говорил законченными фразами. Он часто останавливался на одном слове, уговаривал его, умолял его найти продолжение. Это могло продолжаться несколько минут. В этот раз этим словом было слово «Эйнштейн». И вот Бор мечется вокруг стола и повторяет: «Эйнштейн. . . Эйнштейн. . . ». Для тех, кто его не знал, это было бы любопытное зрелище. Через некоторое время он подошел к окну и уставился в него, время от времени повторяя: «Эйнштейн. . . Эйнштейн. . . ».

В этот момент дверь почти бесшумно открылась, и в комнату на цыпочках вошел Эйнштейн. Он поднес палец к губам, давая мне понять, что нужно сидеть тихо, мальчишеская улыбка заиграла на его лице. Через несколько минут он пояснил причину такого его поведения. Доктор строжайше запретил ему покупать табак, но вот красть табак он ему не запретил, и это было именно то, что он сейчас намеревался сделать. Оставаясь на цыпочках, он напрямую прошел к табакерке, принадлежавшей Бору, она стояла как раз на том столе, за которым сидел я. В это время Бор, ничего не подозревая, продолжал смотреть в окно, повторяя: «Эйнштейн. . . Эйнштейн. . . ». Я растерялся, не зная, что делать, тем более, что в тот момент я не имел ни малейшего представления о том, что собирается сделать Эйнштейн.

Затем Бор, еще раз повторив уже уверенно «Эйнштейн», повернулся. Они так и застыли, лицом к лицу, как будто Бор своим словом вызвал его к жизни. Сказать, что Бор лишился на какой-то момент дара речи, это значит ничего не сказать. Меня самого, хотя я и видел, как Эйнштейн вошел, вдруг охватило необъяснимое чувство, и я могу представить, что почувствовал Бор. Спустя мгновение, чары разрушились, когда Эйнштейн объяснил, какая задача перед ним стояла, и вскоре мы все уже разразились смехом.

Периоды работы с Бором, о которых я рассказал, были временем наиболее близких с ним отношений. В последующие годы я часто встречал его, то в Дании, то в Штатах, но эти встречи были короткими.

Осенью 1961 года мы оба присутствовали на Сольвеевском конгрессе в Брюсселе. Сольвеевский конгресс праздновал свое 50-летие, и Бор выступал с докладом (он был обаятелен и очаровал слушателей своим выступлением) о тех событиях, которые произошли за это время⁵. Бор присутствовал и на моем докладе, после которого мы побеседовали в коридоре, обсуждая будущее физики частиц. Это был наш последний разговор.

Происхождение и годы юности

Родители Нильса Бора относились к высшему классу общества. Его отец был профессором физиологии в Копенгагенском университете, его ректором в 1905–1906 годах и дважды представлялся к Нобелевской премии по физиологии и медицине. Его мама была родом из еврейской семьи. Ее отец был соучредителем двух главных банков Дании и членом парламента. Нильс родился 7 октября 1885 года на Вед Странден, 14, в одном из красивейших особняков Копенгагена, в доме его бабушки со стороны матери. У Нильса была старшая сестра Дженни и младший брат Харальд, который стал известным математиком. Все, кто знал Нильса в детстве, вспоминали, что это была очень дружная семья⁶, в которой царил гармония взаимоотношений и дух которой побуждал к познанию мира. Когда я увидел братьев вместе, мне вдруг бросилось в глаза, что в лице Харальда были видны еврейские черты, которых не было в лице Нильса. Вскоре после рождения Нильса семья переехала в профессорские апартаменты на Бредгаде 62, где Нильс будет жить, пока не получит степень доктора.

В школьные годы Нильс был высоким и сильным, как медведь. В годы отрочества он часто бил своих одноклассников. Учился хорошо, но честолюбив не был. Рано начал выказывать особые способности к математике и физике, иностранные языки шли у него не очень хорошо, в отличие от датского. По физкультуре был одним из лучших, особенно в футболе. Его брат играл еще лучше и стал членом датской футбольной команды, в составе которой выиграл серебряную медаль на Олимпийских играх 1908 года.

Есть любопытная история про Бора и футбол. После того, как его назначили профессором в Копенгагене, он, согласно датской традиции, должен был представиться королю на публичной аудиенции. Форма одежды: утренний пиджак и белые перчатки. Перчатки при рукопожатии с монархом снимать не полагалось. В со-

ответствии с традицией Бор был призван к королю Христиану X, который был типичным образцом жесткого военного. Я знаю из достоверных источников, что это событие происходило следующим образом. После представления король сказал, что он рад познакомиться со знаменитым футболистом Бором, на что Нильс ответил что-то вроде: «Извините, но Ваше величество думает о моем брате». Король был неприятно удивлен ответом, поскольку, в соответствии с правилами игры, нельзя противоречить монарху во время публичной аудиенции. Поэтому Христиан снова начал говорить, как он рад, и т. д. Бор почувствовал себя очень неловко и ответил, что он действительно играет в футбол, но у него есть брат — *известный* футболист. На что король сказал: «Audiensen er forbi» (аудиенция окончена), и Бор вышел, пятясь назад, как того требовала традиция.

В 1903 году Бор поступил в Копенгагенский университет. В качестве основной дисциплины он выбрал физику, а в качестве дополнительных — астрономию, химию и математику. Его преподаватель химии вспоминал, что Бор был непревзойденным мастером по битью стеклянной посуды. Или говорил, что, должно быть, без Бора не обошлось, когда однажды вся лаборатория затряслась от взрывов; его, кстати, кажется, заметили там⁷.

Как бы там ни было, первая научная публикация Бора описывает несколько прекрасных физических экспериментов, которые он провел. Выполнение экспериментов осложнялось тем, что в университете не было физической лаборатории. В связи с этим Бор проделал эту работу в физиологической лаборатории отца. Он продиктовал статью о результатах экспериментов⁸ Харальду. Вот вам первый пример его ставшей пожизненной практики выполнять работу самому, но ее описание оставлять другим.

В 1910 году Нильс получил свою степень магистра, а в мае 1911 года публично защитил свою докторскую диссертацию, облачившись в традиционный фрак с белым галстуком. Газета отметила, что большинство слушателей составляли футболисты.

Диссертация называлась «Исследования по электронной теории металлов»⁹. Это было дополнением классической теории, предложенной Лоренцом. Особый интерес представляет его неудача при попытке объяснить с позиций классической физики некоторые парадоксы, связанные с эффектом Холла. Об этом он писал:

На настоящей ступени развития электронной теории кажется невозможным объяснить магнитные свойства материи.

Может быть, именно этот опыт побудил его к исследованию того, что лежало за пределами классической физики. Именно это послужило толчком к его занятиям квантовой физикой.

Можно сказать, что 1911 год стал завершающим годом первого этапа жизненного пути Бора. Тем временем начался второй этап. В 1909 году он впервые встретил свою будущую жену Маргарет Норланд. Они поженились 1 августа 1912 года. Самый замечательный комментарий по поводу встречи Нильса и Маргарет был высказан вскоре после смерти Нильса Рихардом Курантом, который на протяжении многих лет был другом Бора:

Я слышал предположение о том, что своим успехом Нильс обязан удачно сложившимся обстоятельствам. Я думаю, что ингредиенты его жизни никоим образом не были делом случайности, а были глубоко укоренены в структуре его личности. . . Это не была просто удача, это, скорее, было глубоким пониманием, благодаря которому он в молодые годы нашел свою жену. И мы все знаем, какую решающую роль она играла в том, чтобы сделать возможной и гармоничной всю его научную и личную деятельность¹⁰.

Я имел счастье хорошо знать Маргарет. Она была самой обаятельной, но суровой дамой.

Бор, отец атома

В 1911 году Бор отправил в фонд Карлсберга письмо следующего содержания:

По-английски: «Нижеподписавшийся берет на себя смелость просить о предоставлении стипендии в 2500 крон для поездки за границу сроком на 1 год с целью обучения в университетах». Запрошенная (и полученная) сумма может показаться смехотворно малой, но не забывайте, что с тех пор датская крона потерпела дефляцию примерно на 40 единиц. Гораздо более удивляет тот факт, что к просьбе не прилагается ни автобиография, ни исследовательское предложение. Это показывает, что Бор уже был достаточно известен сильным мира сего.

В сентябре следующего года Бор приехал в Кавендишскую лабораторию в Кембридже, надеясь поработать под руководством Дж. Дж. Томсона. Мне рассказывали, что первая их встреча проходила примерно так. Бор вошел в кабинет Томсона, открыл его книгу «*Проводимость электричества газами*», указал на определенную формулу и вежливо сказал: «Это неправильно». Позднее, Бор скажет об этой встрече:

Я был разочарован, Томсона не заинтересовало то, что его вычисления оказались неверными. В этом была и моя вина. Я недостаточно хорошо знал английский и потому не мог объясниться. Я мог

Köbenhavn d. 20 Juni 1911.

*Undertegnede tillader mig at ansøge om et Rejsestipendium
paa 2500 Kr til et etaarigt Studieophold ved udenlandske
Universiteter*

erbødigt

*Niels Bohr
Dr. phil.*

Til Carlsbergfondets Direktion

Факсимиле прошения Бора в фонд Карлсберга

лишь сказать, что это неправильно. А его не интересовало обвинение в том, что это неправильно. . . Томсон был гением, который, на самом деле, указал путь всем. *Далее* некий молодой человек смог немного улучшить дело. В целом, работать в Кембридже было очень интересно, но это было абсолютно бесполезным занятием¹¹.

Потом, будучи все еще связанным с работой в Кембридже, Бор встретил Резерфорда, и вся его жизнь изменилась.

В начале XX века было еще не время поднимать вопрос о строении атома. Как написал один физик: «Наверное, будет справедливо заметить, что для обычного физика того времени предположения о строении атома звучали примерно так же, как предположения о жизни на Марсе. Они были весьма интересны для тех, кого увлекали подобные вещи, но надежды на то, что они будут подкреплены убедительными научными доказательствами и что научная мысль сможет развить их, почти не было». Первым шагом к прояснению этого вопроса стало открытие Резерфорда, суть которого состояла в том, что основная масса атома сосредоточена в малом центральном теле — ядре. Работа была опубликована в мае 1911 года, а за полгода до этого состоялась первая встреча Бора с Резерфордом. И это еще раз указывает на то, что недостаточно было быть умным, надо было еще оказаться в нужном месте — Манчестерской лаборатории Резерфорда, и в нужное время — Бор переехал туда в марте 1912 года.

Резерфорд был самой значительной научной фигурой в жизни Бора, и не только потому, что его открытие ядра привело Бора

к самому важному его научному труду — открытию всей структуры атома, но еще и потому, что личностный и профессиональный стиль Резерфорда оказали глубокое влияние на Бора. Позднее, Бор сказал о Резерфорде: «Для меня он был почти как второй отец».

Резерфорд пришел к заключению, что атом состоит из ядра и вращающихся вокруг него электронов, не сознавая, что эта картина парадоксальна, или не беспокоясь по поводу этого парадокса. Ранние идеи Бора на этот счет содержатся в меморандуме¹⁴, отправленном Резерфорду 6 июля 1912 года. Самая важная часть этого документа касается его осознания того, что для понимания этой проблемы необходима новая «гипотеза, под которую не нужно пытаться подвести механистическую основу (*поскольку это кажется безнадежным*)» (курсив автора). Он осознал, что устойчивость атома нельзя объяснить на основе классической физики, и для ее понимания, так или иначе, нужна молодая квантовая теория.

В этом же месяце Бор вернулся в Данию, чтобы заключить брак и продолжить учебу на предпоследнем курсе университета. Друзья в это время характеризовали его как: «несколько замкнутого, безгрешного, чрезвычайно дружелюбного, но застенчивого¹⁵, . . . неустанно работающего и вечно спешащего куда-то, спокойствие и курение трубки стали более поздними его чертами»¹⁶.

Лишь в феврале 1913 года Бор осознал, что для достижения цели ему нужны спектроскопические данные. Эти данные появились в статье¹⁷, опубликованной в июле, которая знаменует рождение квантовой *динамики*. Основной информацией статьи была божественная догадка Йоганна Бальмера, швейцарского учителя, который в 1885 году предложил свою спектральную формулу

$$\nu_{mn} = R \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right],$$

($n = 1, 2, 3, \dots$ $m > n$ и целое число) для атома водорода. Уже в 1885 году значение постоянной Ридберга R было точно известно до одной тысячной, а приближенно — до одной десятитысячной:

$$R = 3, 2916 \times 10^{15} \text{с}^{-1}.$$

Теперь, что касается работы Бора по водороду¹⁷. Он начинает с замечания, что если следовать классической теории, то «электрон не будет двигаться по стационарной орбите», а упадет на

ядро в связи с потерей энергии при излучении. Затем он погружается в квантовую теорию. Его первый постулат: атом имеет состояние минимальной энергии, основное состояние, которое, *по предположению*, не излучает, и это одна из самых дерзких гипотез, когда-либо выдвигавшихся в физике. Его второй постулат: более высокие «стационарные состояния» атома превращаются в более низкие, так, что разность *энергий* E испускается в виде светового кванта с частотой ν , заданной формулой $E = h\nu$ (h — постоянная Планка).

Я не буду вдаваться в детали теории Бора об условиях квантования орбит в атоме водорода. Достаточно сказать, что это соответствует тому, что мы проходили в школе: орбитальный кинетический момент L ограничен значениями

$$L = n(h/2\pi), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Далее сразу же следует не только формула Бальмера, но и появляется постоянная Ридберга, выраженная через фундаментальные постоянные

$$R = (2\pi^2 e^4 m / h^3) c^{-1}.$$

Это предсказание R «в пределах экспериментальных ошибок через постоянные, которые входят в выражение для ее теоретического значения», является первым триумфом квантовой динамики и самым важным уравнением в жизни Бора. Оно представляет триумф над логикой. Ничего, что дискретные орбиты нарушили законы физики, известные в то время. Природа подсказала Бору, что он все равно был прав, и подсказала ему призвать на помощь новую логику, которая должна была также объяснить серьезный конфликт теории Бора с классической причинностью: как электрон заранее выбирает, в какое стационарное состояние перейти, испуская световой квант? Все эти вопросы прояснились после 1925 года, когда появилась квантовая механика. Конечно же, Бор знал о всех этих проблемах. Когда он умер, о нем написали: «Экспериментальный характер всякого научного прогресса всегда присутствовал в его мыслях с того дня, когда он высказал первое предположение об атоме водорода, подчеркнув, что это была всего лишь модель выше его понимания. Он был уверен, что каждый шаг вперед должен доставаться путем жертвования каким-то научным фактом, ранее считавшимся несомненным, и он всегда был готов к подобной жертве»¹⁸.

Работа Бора 1913 года привела к настоящему взрыву активности в квантовой физике как в Европе, так и в Америке. Как он писал Резерфорду: «Вся эта отрасль из крайне пустынной вдруг превратилась в отчаянно переполненную»¹⁹. Я должен ограничиться лишь перечислением тех идей, которыми Бор обогатил

науку на протяжении нескольких последующих лет. Это: его формулирование принципа соответствия, который, в общем, гласит, что для больших длин волн теория согласуется с классической механикой и электродинамикой; его предсказание отношения постоянных Ридберга для однократно ионизированных атомов гелия и водорода, которое согласуется с экспериментальным значением до пяти значащих цифр; его формулировка правил отбора для электрических дипольных переходов и его доказательство, что химические свойства в значительной степени определяются конфигурацией наиболее удаленной от центра оболочки электронов, что, можно сказать, сделало его основателем квантовой химии. Он также стремился решить одну из нескольких проблем, с которыми не могла справиться его теория: спектр гелия, не понятый до 1926 года.

Лучшая характеристика деятельности Бора в эти годы была дана в 1949 году 70-летним Эйнштейном: «То, что это неустойчивое и противоречивое основание было достаточным для того, чтобы человек с уникальным инстинктом и тактом Бора смог открыть основные законы спектральных линий, показалось мне чудом, и даже сегодня кажется мне чудом. Это высшая музыкальность в области теоретической мысли»²⁰.

Эти годы борьбы за восприятие неведомого оставили неизгладимую печать на слоге Бора, который вновь точнее всех описал Эйнштейн: «Он произносит свое мнение как человек, который движется ошупью, и никогда, как тот, кто верит, что обладает определенной истиной»²¹. Как часто говорил сам Бор: никогда не высказывайтесь яснее, чем мыслите.

Бор: административная работа и сбор финансовых средств

В апреле 1916 года Бор был назначен заведовать новой кафедрой теоретической физики в Копенгагене. 3 марта 1921 года состоялось официальное открытие его собственного Института Теоретической Физики (позднее — Институт Нильса Бора). Вскоре физики со всех концов мира стали приезжать сюда работать, это был ведущий мировой центр по теоретической физике в 20-е–30-е годы. С самого начала функционирования Института проявился его международный характер. К 1930 году около 60 физиков из Австрии, Бельгии, Канады, Китая, Германии, Голландии, Венгрии, Индии, Японии, Норвегии, Польши, Румынии, Швейцарии, Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии, Соединенных Штатов и СССР проводили время в Копенгагене²².

Ко времени смерти Бора число посетителей, которые провели по меньшей мере месяц в Копенгагене, возросло до четырехсот. На церемонии открытия Института Бор выразил основную тему: «Знакомить постоянно обновляющийся контингент молодых ученых с достижениями и методами науки»²³. Эта тема предполагала не только знакомство с теорией, но и предлагала насыщенный экспериментальную программу. Все это делалось под руководством и наблюдением самого Бора, который также осуществлял личный надзор за расширением Институтских зданий. Тот огромный вклад в физическую науку, который внесли молодые ученые, работая в Копенгагене, включает в себя такие открытия, как соотношение неопределенностей Гейзенберга, теория канонических преобразований Дирака, статистика Дирака и его первая работа по квантовой электродинамике, теория ядерного распада Фриша и Мейтнера и экспериментальное открытие нового элемента, гафния, названного так в честь Копенгагена*. Кроме того, Бор организовывает в своем Институте ряд международных конференций, запомнившихся выдающимся для тех лет контингентом участников. Неудивительно, что в те дни Бора называли «директором атомной теории»²⁴.

Так Бор решал задачи преподавателя и администратора. Но это еще не все. В Дании и за границей Бор собирал средства на финансирование научных исследований. Когда в 1923 году он прибыл в США для встречи с Рокфеллером, чтобы договориться о финансировании Рокфеллеровским фондом, газета «Нью-Йорк таймс» назвала его «современным викингом, исполняющим великое поручение. . .»²⁵ Работа с Бором считается работой с самым передовым представителем новой атомной физики, революционизирующей науку»²⁶. Я считаю Бора уникальной личностью, способной сочетать в себе всю эту деятельность с собственной интенсивной и важной исследовательской программой; личностью, занимающейся исследованиями на передовых рубежах физики. У него были слишком большие нагрузки, которые потребовали крайнего напряжения его невероятной физической силы. Несколько раз переутомление заставляло его отказаться от работы на несколько недель, чтобы отдохнуть.

В 1922 году Бор получил Нобелевскую премию. В наши дни такие новости занимают первые полосы газет. Это не всегда было так. Если вы хотите найти первое сообщение об этом событии,

*Его древнего названия. — *Прим. перев.*

откройте «Нью-Йорк таймс» за 10 ноября того года на четвертой странице, и в середине второй колонки вы прочтете следующее короткое сообщение, цитирую полностью:

Нобелевская премия для Эйнштейна
Нобелевский Комитет присудил премию в области физики за 1921 год Альберту Эйнштейну, за его теорию относительности, и за 1922 год профессору Нильсу [sic]* Бору из Копенгагена.

На традиционном нобелевском банкете Бор провозгласил «Тост за энергичное развитие международной работы, ведущей к прогрессу науки, являющейся одним из высших моментов существования в эти, во многих отношениях, печальные времена»²⁷, — слова, сказанные вскоре после окончания Первой мировой войны.

Принцип дополнительности

В 1925 году появилась квантовая механика. В марте 1927 года Гейзенберг сформулировал свой принцип неопределенности. 16 сентября 1927 года на Вольтовской встрече в Комо Бор впервые сформулировал принцип дополнительности, который представляет собой физическую интерпретацию соотношения неопределенностей²⁸.

С этого времени и всю оставшуюся жизнь в центре внимания Бора был язык науки, способ нашего общения. В 1927 году он сразу же заявил о своей главной теме:

Наша интерпретация экспериментального материала основывается, главным образом, на классических понятиях.

Звучит просто, но, на самом деле, содержит глубокий смысл. Позвольте мне остановиться на этом подробнее. В эпоху классической физики справедливость теорий проверялась путем сравнения их с экспериментальными наблюдениями, которые основывались на показаниях весов, ртутного столба термометра, стрелки вольтметра и т. п. Явления могут быть новыми, способы определения могут модернизироваться, но приборы должны оставаться классическими объектами; их показания должны по-прежнему описываться на языке классики.

Ситуация, таким образом, складывается своеобразная. Например, могу ли я задать вопрос, есть ли квантовые механические свойства у прибора, скажем, вольтметра? Ответ: да, могу. Следующий вопрос: должен ли я затем отказаться от ограниченного описания вольтметра как классического объекта и рассматривать его с квантово-механических позиций? Ответ: да, я дол-

* Так! (лат.). Указывает на важность данного места. — *Прим. перев.*

жен. Но чтобы зарегистрировать квантовые свойства вольтметра, мне необходим *другой* прибор, которым я опять снимаю классические показания. Это можно выразить словами Бора, довольно загадочными: «Понятие наблюдения до сих пор условно, поскольку оно зависит от того, какие объекты включены в наблюдаемую систему»²⁸.

Эти рассуждения привели Бора к совершенствованию языка, требуемого квантовой механикой. Он сказал следующее (я перефразирую): вопрос о том, является электрон частицей или волной, будет разумным в классическом контексте, где отношение между объектом изучения и прибором либо не нуждается в определении, либо является контролируемым. Но в квантовой механике этот вопрос не имеет смысла. Здесь лучше спросить: электрон (или любой другой объект) *ведет* себя как частица или как волна? На этот вопрос можно дать ответ, но только в том случае, если определено экспериментальное устройство, с помощью которого «экспериментатор рассматривает» электрон. Вот что имел в виду Бор в Копенгагене, где он представил концепцию дополнительности:

Независимая реальность в обычном (т.е. классическом) физическом смысле не может приписываться ни явлению, ни средствам наблюдения. . . Сама природа квантовой теории заставляет нас считать пространственно-временную координацию и требование причинности, союз которых является характеристикой классических теорий, дополнительными, но взаимоисключающими чертами описания, символизируя идеализацию наблюдения и определения, соответственно²⁸.

Позвольте своими словами выразить то, что имел в виду Бор. Поведение волны и поведение частицы взаимоисключают друг друга. Последователь классической физики скажет, что если два описания взаимоисключают друг друга, то, по крайней мере, одно из них неверно. Последователь квантовой физики скажет, что поведение объекта как частицы или как волны зависит от вашего выбора экспериментальных устройств для его рассмотрения. Он не будет отрицать, что поведение частицы и поведение волны исключают друг друга, но он скажет, что и то, и другое необходимо для полного понимания свойств объекта.

Можно сказать, что после доклада Бора в 1927 году та логика квантовой механики, которую мы знаем сегодня, достигла своего логического завершения. Гейзенберг²⁹ изобрел термин *der Kopenhagen Geist*, дух Копенгагена, за его фундаментально новую интерпретацию основ квантовой физики.

Лекция Бора в Копенгагене не разрушила, тем не менее, здания классической физики. Он и сам позднее хмурился, вспоминая выражения, которые он использовал в том докладе, такие, например, как

«возмущение явления наблюдением». Такие формулировки привели к значительной сумятице, которая так долго окружала эту тему. О его философских трудах писали:³⁰ «Против того, иногда просто сводящего с ума, чувства разочарования, которое вызывает чтение его эссе, свидетельствует тот факт, что за 60 лет, прошедшие с того времени, когда Бор впервые начал говорить об этих проблемах, никто не сказал ничего лучше»³¹. Для меня эти эссе совсем не такие, поскольку у меня была привилегия много раз обсуждать эти проблемы с Бором.

Через месяц после встречи в Комо великие магистры собрались на пятом Сольвеевском Конгрессе в Брюсселе. Именно там Эйнштейн впервые выразил свое критическое отношение к квантовой механике, которое сохранилось до самой его смерти. Это заставило Бора улучшить свой язык. Его наиболее ясное изложение можно прочитать в книге³², выпущенной к 70-летию со дня рождения Эйнштейна. Я хорошо знаю эту статью, потому что помогал Бору готовить ее в Принстоне. В ней он напомнил свою позицию относительно так называемого ЭПР*-парадокса³⁴, как следствия неправильного употребления исходных понятий, в остальном эта работа [ЭПР] логически безупречна. Они просто пришли к заключению, что точка зрения Бора несовместима с допущением о том, что квантовая механика полна. Утверждение Эйнштейна³², что квантовая механика «не имеет смысла» — это *его* проблема.

В этой, посвященной Эйнштейну, книге Бор повторил свою мысль, на четкую формулировку которой потребовалось 20 лет: *чтобы дать определение термину «явление», необходимо включить в него как объект изучения, так и способ наблюдения.*

Фразы, которые мы часто встречаем в физической литературе, такие как «возмущение явления наблюдением» или «возникновение физических свойств объекта при измерении» представляют собой такое использование слов «явление» и «наблюдение», а также «свойство» и «измерение», которые вряд ли совместимы с обычным использованием и практическим определением и, следовательно, все время ведут к путанице. В качестве более подходящих способов выражения можно настоятельно порекомендовать ограничить использование слова «явление» рамками наблюдений, проводимых в точно определенных условиях, включающих расчет всего эксперимента³⁵.

Сейчас я готов говорить о том, почему я считаю Бора не только основной фигурой в физике, но и одним из наиболее значительных философов XX века. В качестве такового он может счи-

*Эйнштейн–Попольский–Розен. — *Прим. ред.*

таться последователем Канта, который рассматривал причинность в качестве «синтетического суждения *a priori*», не выводимого из опыта. Причинность, по словам самого Канта, это «правило, в соответствии с которым явления определяются последовательно. Только приняв это за правило, можно говорить об опыте того, что случается». Такой взгляд сейчас нужно рассматривать как *passé**. Со времени Бора само определение того, что составляет явление, претерпело изменения, которые, к сожалению, еще не в достаточной мере приняты профессиональными философами.

И вновь, согласно Канту, конструктивные понятия — это внутренние свойства «*Ding an sich*»**, точка зрения, которую отчаянно поддерживал Эйнштейн, но от которой отказались последователи квантовой физики. Словами Бора: «Нашей задачей является не проникновение в сущность вещей, значение которых мы не знаем так или иначе, но, скорее, развитие понятий, которые позволяют нам продуктивным образом говорить о явлениях в природе»³⁶. После смерти Бора Гейзенберг писал, что Бор был «главным образом философом, а не физиком»³⁷, — спорное суждение, но оно особенно важно, если вспомнить, какое глубокое восхищение испытывал Гейзенберг в отношении физики Бора.

Из многочисленных дискуссий с Бором я знаю, что принцип дополнительности был наиболее ценным для него самого вкладом в науку. В последующие годы жизни дополнительности (принцип дополнительности) была для него неисчислимым источником. Но он не считал себя философом. Доказательством этому служит его любимое определение специалиста и философа. Специалистом является тот, кто начинает с какого-то знания о каких-то вещах, продолжает узнавать все больше и больше о все меньшем и меньшем и, в конце концов, знает все ни о чем. Философ — это тот, кто начинает с какого-то знания о каких-то вещах, продолжает узнавать все меньше и меньше о все большем и большем и, в конце концов, ничего не знает обо всем. Мне нравится думать, что слова Паскаля: «Истинное занятие философа — высмеивать философию» понравились бы ему³⁸.

Много написано о том, какое влияние оказало на Бора чтение различных философов. Я рассматриваю подобные догадки как по меньшей мере притянутые за уши. Но, тем не менее, я знаю, что он восхищался Уильямом Джеймсом и с уважением говорил о Будде и Лао-цзы.

* Устаревший (фр.). — *Прим. перев.*

** Вещь в себе (нем.). — *Прим. перев.*

Бор много думал о распространении принципа дополнительности на другие области, не связанные с физикой, хорошо осознавая тот факт, что эти идеи были в большей степени предварительными. Эти отрасли: биология, где его идеи сейчас уже являются устаревшими; человеческая культура, где дилемма: природа или воспитание не вызывала у него сомнений, он однозначно вставал на сторону воспитания; и психология, где, я думаю, его идеи ценились дольше всего. Примеры: «Такие слова, как «мысли» и «чувства»... с момента возникновения языка использовались в типично дополняющей манере»³⁹. И «Нужно признать, что в любой ситуации, требующей строгого применения правосудия, нет места проявлению любви, и, наоборот, самые крайние проявления чувства любви могут вступать в конфликт со всякими идеями о справедливости»⁴⁰. Такие дополняющие способы мышления и на мою собственную жизнь оказали продолжительное и освобождающее влияние.

Основной и пронизывающей темой в этих высказываниях была тема использования языка. Бор часто рассказывал следующую историю, которую он любил относить к себе. Однажды ученик раввина отправился послушать три лекции знаменитого раввина. После того, как он вернулся, он рассказал своим друзьям: «Первая лекция была великолепной, простой и ясной. Я понимал каждое слово. Вторая была еще лучше, ее смысл был глубоким и тонким. Я понял немного, но раввин понимал все, что говорил. Третья лекция была самой прекрасной, это был просто незабываемый опыт. Я, конечно, ничего не понял, да и раввин тоже понял не так много»⁴¹. Бор также часто использовал афоризмы, придуманные им самим. Например: «Мало оказаться неправым, надо еще при этом быть вежливым», или «Некоторые темы настолько серьезны, что о них можно только шутить».

Наконец, я хочу привести краткое обобщение философии Бора, сделанное им самим, где вновь подчеркивается использование языка:

Нет квантового мира. Есть лишь абстрактное квантово-физическое описание. Неправильно думать, что задачей физики является ответить на вопрос, откуда взялась природа... физику беспокоит вопрос, что мы можем сказать о природе... Что это такое, от чего мы, люди, зависим? Мы зависим от наших слов. Нашей задачей является сообщить об опыте и идеях другим. Мы зависли в языке⁴¹.

Роль Бора в ядерной физике и биологии

11 декабря 1931 года Датская Академия Наук и Литературы избрала Бора следующим жильцом *Aeresbolig*, резиденции Почета

в Карлсберге. Примерно в это же время Бор занялся решением новой задачи — переориентированием своего Института на работу в молодой области ядерной физики, меняя основную часть экспериментальных задач с темы атомной спектроскопии на тему ядерных процессов. Это потребовало огромных денег на строительство, оборудование и эксплуатацию. Бор нажал на все кнопки. 25 апреля 1938 года в присутствии короля Христиана X состоялось открытие новой лаборатории, приуроченное к 25-летию со дня завершения Бором своей работы по атому водорода. В газетах по этому поводу писали: «Институт вновь закрывает свои двери перед гласностью. Пока не достигнуты результаты, предпочтение отдается незамеченной работе»⁴². Результаты начали появляться в конце 1938 года, когда на Копенгагенском циклотроне, одном из первых такого типа в Европе, был получен интенсивный источник нейтронов, генерированных дейтроновым лучом в 4 МэВ (мегаэлектрон-вольт). В 1939 году другой ускоритель, типа Кокрофт-Уолтон, начал испускать нейтроны в 1 МэВ. В этом же году осуществились планы по строительству ускорителя Ван-де-Графа (2 МэВ), который не использовался для научной работы вплоть до 1946 года.

В это же время в Германии к власти пришли нацисты. Это подвинуло Нильса и его брата Харальда вступить в правление Датского комитета поддержки эмигрантов из интеллигенции. Нильс нашел средства для того, чтобы на время принять несколько физиков, которые, за редким исключением, заняли потом видное положение в науке.

Помимо всего этого, в 30-х годах, Бор еще нашел время для того, чтобы сделать важный вклад в теорию ядерных реакций. Он предположил, что данные реакции должны быть двухступенчатым процессом⁴³. На первом этапе входящая бомбардирующая частица сливается с бомбардируемым ядром в одно целое, это составное ядро, которое через какое-то время хорошо разделяется на втором этапе. Ганс Бете написал: «Составное ядро доминировало в теории ядерных реакций по меньшей мере с 1936 по 1954 годы. . . В Лос-Аламосе, когда мы пытались получить [вероятности], модель составного ядра могла объяснить многие явления»⁴⁴.

Последний вклад Бора в ядерную физику (и его последний основной вклад в физику), был сделан в 1939 году в возрасте 53 лет. Это было открытие того факта, что только редкий изотоп U^{235} подвергается расщеплению, когда уран бомбардируется *медленными* нейтронами⁴⁵. Это привело к его широко известной работе с Уилером по теории распада⁴⁶.

И еще о деятельности Бора в 30-е годы, а именно: роли самого

Бора в продвижении ядерной физики в биологию. В 20-е годы он привлек Георга фон Хевеши в Копенгаген, где он впервые применил меченые атомы к естественным наукам. Хевеши вновь приехал на 1935-43 годы, чтобы продолжить свои исследования по меченым атомам, что привело к созданию радиационной медицины, дисциплины, несомненно, основанной Хевеши, где Бор выступал в качестве крестного отца.

И наконец, как будто от нечего делать, Бор был президентом Kongelige Danske Videnskabernes Selskab (Королевской Датской Академии Наук и Литературы) с 1939 года до своей смерти в 1962 году.

Вторая мировая война коренным образом изменила жизнь Бора. В 1943 году Бора предупредили о его планируемом аресте немцами, и он бежал в Англию. До конца войны он был консультантом в проектах по атомной бомбе. Всю оставшуюся жизнь его основной тревогой было применение новых видов оружия в политических целях, как вы услышите от моего друга Ове Натан.

Последние годы

Я перехожу к последним годам жизни Бора, начиная с возраста 60 лет, когда он все еще был полон сил и все еще перепрыгивал через ступеньку, поднимаясь по лестнице.

Бор в эти годы достиг зенита своего влияния. Он стал общественной фигурой первого ранга. Его и Маргарет часто называли второй королевской семьей Дании. Высокопоставленные лица посещали их дом. На 70-летний юбилей (1955 г.) его приходят поздравить король и королева, а премьер-министр чествует его, обратившись с речью к датчанам по радио⁴⁷. Иностранцы приезжают в Карлсберг. Среди них: королева Елизавета II и английский принц Филип, Сиамская королева, коронованный принц (ныне император) Японии, Джавахарлал Неру (премьер-министр Индии), Давид Бэн Гурион (премьер-министр Израиля), Эдлай Стевенсон*. Когда газета *Politiken* провела среди читателей опрос, кто оставил самый большой след в развитии Дании в эту эпоху, список возглавил Бор.

* (1900–65), один из лидеров Демократической партии США, дипломат. В 1961–65 годах постоянный представитель США в ООН. В 1952 и 1956 годах кандидат на пост президента США. — *Прим. перев.*

Наряду с этой бурной деятельностью, Бор все же находил время для приема молодых и уже известных физиков у себя дома. Ему это доставляло огромное удовольствие.

В течение нескольких послевоенных лет Бор еще активно занимался исследованиями, но постепенно, все в большей и большей степени, он взял на себя роль почтенного государственного деятеля и умудренного философа. Он продолжал писать на тему дополнительности, много выступал с речами по разным поводам и много путешествовал. Он был в США, где в 1950 году я помогал ему закончить открытое письмо в ООН, Исландии, Израиле, Югославии, Гренландии, Индии, СССР. Он активно помогал основать CERN (European Council for Nuclear Research — Европейский Совет по ядерным исследованиям, ЦЕРН), NORDITA и лаборатории в Ризо, — живые частички наследия Бора.

В воскресенье 18 ноября 1962 года Бор умер от паралича сердца в своем доме в Карлсберге. Физики и другие друзья, старые и молодые, посылали свои соболезнования Маргарет Бор и ее семье. Соболезнования приходили от высокопоставленных лиц из разных стран мира.

Президент Кеннеди писал миссис Бор: «Я глубоко опечален смертью профессора Бора. Американские студенты, все американцы, знающие имя Бора и его огромный вклад, уважали и почитали его вот уже на протяжении более чем двух поколений. . . Мы навсегда в долгу перед ним за то научное вдохновение, которое он нес с собой во время многочисленных визитов в Соединенные Штаты, и особенно за его огромный вклад в атомный центр в Лос-Аламосе. Пожалуйста, примите мои соболезнования и глубокое сочувствие»⁴⁷. Другие послания включали в себя письмо от премьер-министра Израиля, короля Швеции, канцлера Западной Германии⁴⁸. В ЦЕРНе флаги всех членских наций были наполовину приспущены. Бор был восхвален в штаб-квартире ООН в Нью-Йорке⁴⁹. На заседании ЮНЕСКО, которое проходило в Париже, почтили его память минутой молчания⁴⁸.

Урна с прахом Бора была погребена в семейной могиле в Ассистенс Кирхегард в Копенгагене, где сейчас его прах покоится рядом с прахом тех, кто больше всего его любил: его жены (она умерла через 22 года после его смерти), его родителей, его брата Харальда и сына Кристиана.

После смерти Резерфорда в 1937 году Бор произнес речь в его память, которая включала такие слова:

Его неустанный энтузиазм и безошибочное рвение вело его от открытия к открытию, и среди этих открытий самые величайшие вехи его труда, которые всегда будут носить его имя, предстают перед нами как естественные звенья в цепи.

Те из нас, кому посчастливилось общаться с ним, всегда будут ценить память об этом благородном и великодушном человеке. В его жизни к нему пришли все почести, которые только можно представить для человека науки, но он остался простым человеком во всем. Когда мне впервые выпала честь работать под его вдохновенным руководством, он уже был прославленным физиком, но, несмотря на это, он всегда оставался открыт для того, чтобы выслушать, что на уме у молодого человека. Это, вместе с тем интересом и участием, которое он проявлял к своим ученикам, было причиной духа привязанности, который окружал его, где бы он ни работал. . . Мысль о нем всегда будет для нас бесценным источником ободрения и силы духа⁵⁰.

Я не знаю лучшего способа завершить рассказ о Нильсе Боре, чем обратиться эти слова к нему самому.

Библиография и примечания

1. E. Mayor, *The New Page*, Dartmouth Publishing, Aldershot, England, 1995.
2. Рисунок из J. R. Killian, *Sputnik, Scientists and Eisenhower*, p. 24, MIT Press, Cambridge, MA, 1977.
3. *The New York Times*, October 25, 1957.
4. Перевод P. E. Pinkerton of Heinrich Düntzer's *Poetical Works, Life of Schiller*, Dana Estes, Boston, 1902.
5. N. Bohr, in *La théorie Quantique des Champs* (R. Stoops, Ed.), Interscience, New York, 1962.
6. E. g. A. V. Jørgensen, *Naturens verden*, 1963, p. 225.
7. N. Bjerrum, unpublished MS, NBA.
8. N. Bohr, *Trans. Roy. Soc.* **209**, 281, 1909; reprinted, in CW, Vol. 1, p. 29.
9. CW, Vol. 1, p. 294.
10. R. Courant, in *Niels Bohr* (S. Rozental, Ed.), p. 304, North-Holland, Amsterdam, 1967.
11. N. Bohr, интервью с T. S. Kuhn, L. Rosenfeld, A. Petersen, and E. Rüdineer. November 1 and 7. 1962. NBA.

12. E. N. da Costa Andrade, *Proc. Roy. Soc.* A244, 437, 1958.
13. CW, Vol. 1, p. 106.
14. CW, Vol. 2, p. 577.
15. R. Courant, ref. 10, p. 159.
16. J. R. Nielsen, *Phys. Today*, October 1963, p. 22.
17. N. Bohr, *Phil. Mag.* **26**, 1, 1913; CW, Vol. 2, p. 159.
18. *The New York Times*, November 19, 1962.
19. N. Bohr, письмо к E. Rutherford, September 6, 1916, NBA.
20. A. Einstein, in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (R. A. Schilpp, Ed.), Tudor, New York, 1949.
21. A. Einstein, письмо к B. Becker, March 20, 1954.
22. P. Robinson, *The Early Years*, p. 51, Akademisk Forlag, Copenhagen, 1979.
23. CW, Vol. 3, p. 293.
24. A. Sommerfeld, письмо к N. Bohr, April 15, 1921, NBA.
25. *The New York Times*, November 5, 1923.
26. *Ibid.*, January 7, 1924.
27. CW, Vol. 4, p. 26.
28. N. Bohr, *Nature* **121** (supplement.) 580, 1928; CW, Vol. 6, p. 24.
29. W. Heisenberg, preface to *Die physikalische Prinzipien der Quantentheorie*, Hirzel, Leipzig, 1930.
30. *The Philosophical Writings of Niels Bohr*, 3 vols., Ox Bow Press, Woodbridge, Connecticut, 1987.
31. D. Mermin, *Phys. Today* **42**, February 1989, p. 105.
32. N. Bohr, in ref. 20, p. 199.
33. N. Bohr, *Nature* **136**, 65, 1935; *Phys. Rev.* **48**, 696, 1935; CW, Vol. 7.
34. A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, *Phys. Rev.* **47**, 777, 1935.
35. N. Bohr, *Dialectica* **2**, 312, 1948.
36. N. Bohr, письмо к H. P. E. Hansen, July 20, 1935, NBA.
37. W. Heisenberg, ref. 10, p. 95.
38. B. Pascal, *Pensées*, Part VII, No. 35.
39. N. Bohr, *Naturw.* **50**, 725, 1963; CW, Vol. 10.
40. N. Bohr, *Studia Orientalia Ioanni Pedersen*, p. 385, Munksgaard, Copenhagen. 1953: CW. Vol. 10.

41. A. Petersen, *Bull. Atom. Sci.*, September 1963, p. 8.
42. *Politiken*, April 6, 1938.
43. N. Bohr, *Nature* **137**, 344, 1936; CW, Vol. 9, p. 152.
44. H. Bethe, in *Nuclear Physics in Retrospect* (R. Stuewer, Ed.) p. 11, University of Illinois Press, 1979.
45. N. Bohr, *Phys. Rev.* **55**, 418, 1939; CW, Vol. 9, p. 343.
46. N. Bohr and J. Wheeler, *Phys. Rev.* **56**, 426, 1056, 1939; CW, Vol. 9, pp. 363, 403.
47. Repr. in *Berlingske Tidende*, November 21, 1962.
48. *Politiken*, November 21, 1962.
49. *The New York Times*, December 2, 1962.
50. N. Bohr, *Nature* **140**, 752, 1937.