

ПАМЯТИ НИЛЬСА БОРА

В. Л. Гинзбург

В течение нескольких десятилетий Копенгаген был Меккой для физиков всего мира. Очень многие из них в разное время работали с Нильсом Бором или рядом с ним. Несомненно, что они могут рассказать и еще расскажут немало интересного о научных взглядах Бора, об его оценках самых различных открытий и событий и, наконец, о нем как о человеке. К сожалению, я не принадлежу к числу людей, сколько-нибудь долго общавшихся с Бором, и сегодня это очевидным образом ограничивает мои возможности. Тем не менее позволю себе начать с личных впечатлений.

Весной 1961 г. Бор, как известно, был в Москве. Не говоря уже о возможности присутствовать на некоторых его публичных выступлениях, нам в Физическом институте Академии наук СССР посчастливилось довольно долго и в спокойной обстановке беседовать с Бором. И вот даже это, по существу, мимолетное общение оставило очень сильное впечатление. Речь идет при этом не об обаянии имени, а об обаянии личности. Ведь самые большие научные достижения вовсе не связаны автоматически с целым рядом черт, которые мы суммарно выражаем, говоря о замечательной человеческой личности. А Нильс Бор на 76-м году жизни предстал перед нами именно как такой замечательный человек, одновременно и очень принципиальный и добный, и какой-то неповторимо деликатный и мудрый. Можно было бы попытаться как-то подкрепить и оправдать такие эпитеты, но это очень трудно сделать, и я боюсь только смазать картину. Поэтому ограничусь тем, что вспомню пословицу, «Лицо человека — зеркало его души», которая так хорошо применима к Нильсу Бору. В самом деле, предлагаемые Вашему вниманию фотографии, сделанные в мае 1961 г. Л. В. Суховым, очень впечатляющи даже без всяких комментариев.

Теперь я хотел бы сделать несколько замечаний, связанных с работами Бора.

Всем известно, что эти работы концентрируются вокруг трех проблем: строения атома, нерелятивистской квантовой механики и теории атомного ядра. Но если не познакомиться более детально с историей развития всех этих направлений, может остаться в тени одна характерная черта. Речь идет о том большом внутреннем единстве и неразрывных связях, которые существовали между различными работами Бора на протяжении целых десятилетий. Легче всего в этом убедиться, если обратиться к последней из известных нам статей Бора — его лекции памяти Резерфорда, текст которой был завершен и опубликован в 1961 г.*). Эта статья, несомненно,

*) N. Bohr, Proc. Phys. Soc. 78, 1083 (1961). Перевод этой статьи помещен в этом же выпуске УФН на стр. 215.

привлечет к себе внимание: она принадлежит к числу интереснейших свидетельств, оставленным нам одним из основателей современной физики.

Бор познакомился с Резерфордом в конце 1911 г. и через несколько месяцев после этого начал работать в Манчестере в составе возглавляемой Резерфордом группы. Эта группа была занята изучением атомного ядра и следствий, вытекающих из самого факта его существования. Первый вопрос, которым Бор занимался в Манчестере, был вопрос об атомном номере. Именно Бором или, во всяком случае, при его непосредственном участии была высказана и развита идея о том, что «вся совокупность физических и химических свойств каждого элемента может определяться одним целым числом (теперь всем известно, что это число является атомным номером), выражющим заряд ядра в виде целого кратного элементарного электрического заряда». Далее, Бор высказал мысль, что все изотопы данного элемента обладают одним и тем же атомным номером, т. е. заряд их ядер одинаков. Отсюда непосредственно вытекало, что «при радиоактивном распаде элемента, совершенно независимо от каких-либо изменений его атомного веса, происходит его смещение в таблице Менделеева на два номера влево или на один номер вправо, в соответствии с уменьшением или увеличением заряда ядра, сопровождающим испускание α - или β -лучей соответственно»*). Бор отмечает, что когда несколькими месяцами позже этот закон радиоактивного смещения был провозглашен Содди в Глазго и Фаянсом в Карлсруэ, оба эти автора не обратили внимания на его тесную связь с фундаментальными чертами модели атома Резерфорда. Более того, Фаянс рассматривал изменения химических свойств при радиоактивном распаде, явно связанные с электронной оболочкой атомов, как возражение против модели, в которой α - и β -лучи вылетают из ядра.

Итак, до последнего времени оставалось неизвестным или, во всяком случае, недостаточно известным**), что именно Нильс Бор со всей определенностью ввел понятие об атомном номере, осознал, что такие изотопы, а также высказал и полностью осмыслил закон радиоактивного смещения.

Примерно в это же время (весной 1912 г.) Бор пришел к убеждению, что движение электронов в атоме Резерфорда можно понять лишь при учете квантования. Но тогда Бор, видимо, не сосредоточил свое внимание на этой проблеме и, например, занимался также развитием теории ионизационных потерь. Пересядя осенью 1912 г., уже в Копенгагене, к конкретным попыткам применить квантовые понятия к планетарной модели атома, Бор не сразу добился успеха. Как пишет Бор, только ранней весной 1913 г. его осенила мысль, что подход к проблеме стабильности атома нужно искать на пути объяснения простых законов, которым подчиняются спектры элементов. Хорошо известно, что именно на этом пути Бор и добился замечательных успехов — построил модель, которую называют моделью атома Бора или Резерфорда — Бора.

Быть может, здесь не будет лишним также подчеркнуть, что Бор на первом же этапе не только объяснил спектр водорода, получив формулу $R = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}$ для постоянной Ридберга, но и объяснил спектр ионизованного гелия. Точнее, и это имело большое значение, Бор связал с ионизированным гелием загадочный спектр, наблюдавшийся и в лаборатории, и в спектре звезд. Природа этого спектра была совершенно неясна: он был похож на водородный, но явно от него отличался; достаточно сказать, что в формуле Ридберга для описания спектра ионизованного гелия квантовое число

*.) См. статью Н. Бора в этом выпуске УФН, стр. 215.

**) Например, в классической книге Ф. В. Астона «Масс-спектры и изотопы» (ИЛ, 1948) открытие закона радиоактивного смещения связывается с именами Содди, Фаянса, Рассела и Флека, но о роли Бора ничего не говорится.

n (энергия терма $E_n = -\frac{\hbar R}{n^2}$) нужно считать не только целым, но и полуцелым. Все становится ясным, если обобщить формулы Бора для водородного спектра на случай ядра с зарядом eZ . Тогда $E_n = -\frac{\hbar Z^2 R}{n^2}$ и гелию с $Z = 2$ как бы отвечает водородный спектр с квантовым числом $n^* = \frac{n}{Z} = \frac{n}{2}$. Но на этом история с объяснением спектра гелия не кончилась, а события приняли оборот, который сам Бор называет драматическим. С одной стороны, специально поставленные опыты подтвердили гипотезу Бора: при разряде в чистом гелии был получен тот же таинственный спектр, который наблюдался в спектрах звезд или при разряде в смесях, содержащих водород. Однако, с другой стороны, оказалось, что частоты в спектре ионизованного гелия хотя и близки, но все же заметно отличаются от вычисленных по формуле Бора с $Z = 2$.

Это противоречие устранил сам Бор, показав, что все наблюдения сходятся с теорией, если учесть движения ядра, т. е. заменить в полученной им формуле для R массу электрона m на приведенную массу $m^* = \frac{mM}{m+M}$, где M — масса ядра.

Всякий, кто был свидетелем или, тем более, сам пережил нечто подобное, легко представит себе, какое сильное впечатление должно было произвести на Бора и весь физический мир такое блестящее подтверждение теории. Это было особенно важно в связи с тем, что речь шла не о завершенной теории, а лишь о первых успешных шагах на пути понимания законов квантовой физики. Здесь нет возможности останавливаться на других этапах этого замечательного пути. Но уже сказанное иллюстрирует тот момент, который хотелось подчеркнуть: вряд ли можно как-то резко отделить работы Бора, посвященные ядру, от его же исследований электронной оболочки. Речь идет скорее об очень целеустремленном штурме планетарного атома Резерфорда — Бора. Этот штурм был начат с ядра (атомной номер, закон радиоактивного смещения) и затем надолго перешел на электроны оболочки. Чтобы до конца разобраться в строении оболочки и атомных спектрах, потребовалось построить последовательную динамику микромира — нерелятивистскую квантовую механику. После того как построение и понимание квантовой механики было в основном завершено, атомное ядро опять вышло на авансцену. Это можно сказать и о физике вообще, и об исследованиях самого Бора. Как мне кажется, именно давняя связь Бора с ядерной физикой объясняет тот факт, что в тридцатые и сороковые годы он сконцентрировал свое внимание на физике ядра как таковой, а не на проблемах физики элементарных частиц и релятивистской квантовой теории, которые в этот же период привлекали, пожалуй, еще большее внимание теоретиков.

Теперь перейду к другому вопросу — взглядам Бора на квантовую механику или, если угодно, на интерпретацию квантовой механики. Трудно найти проблему, которая в физике нашего века дискутировалась бы шире и с большей страстью, чем эта. В сороковые годы казалось, что буря уже улеглась и по крайней мере представители нового поколения физиков единодушно принимают интерпретацию, которую иногда называют «копенгагенской», а лучше именовать вероятностной или «обычной». Но вот в 1952 г. Д. Бом снова попытался возродить сомнения и в правильности, и в единственности вероятностной интерпретации. Более того, Бом предложил «новую интерпретацию» квантовой механики, хотя фактически в значительной мере лишь возродил и развил попытки, предпринятые в том же направлении де Броилем еще в 1927 г. За этим последовал целый поток статей, проникнутых стремлением как-то реконструировать

нерелятивистскую квантовую механику или уж по крайней мере ее реинтерпретировать. Сейчас эта «реинтерпретационная волна» спала, но вряд ли исключена возможность новых рецидивов такого рода.

Независимо от этого, конечно, значительно более важен тот факт, что интерпретация квантовой механики, понимание ее общефизического и гносеологического содержания, принадлежит к числу самых значительных научных проблем нашей эпохи и навсегда сохранит не только исторический, но и более общий интерес. Поэтому можно надеяться, что не покажется излишним рассказать здесь о той части разговора с Бором, в котором я участвовал, и которая касалась интерпретации квантовой механики и эволюции воззрений самого Бора в этом отношении.

Бор сказал, что не существует никакой «копенгагенской интерпретации» квантовой механики, а сама квантовая механика есть интерпретация наблюдений. Ни о какой другой интерпретации квантовой механики, кроме вероятностной, с этой точки зрения не может быть и речи. По словам Бора, критика вероятностной интерпретации в пятидесятые годы не содержала никаких новых аргументов по сравнению с обсуждавшимися много лет назад. Квантовая механика, как и в свое время теория относительности, положила начало новому этапу в развитии физики, и возвращение назад невозможно. Я задал также вопрос о том, изменились ли за последние годы взгляды Бора по вопросу об интерпретации квантовой механики или о ее характере. На это Бор ответил с какой-то подчеркнутой определенностью и четкостью, что его позиция совершенно не изменилась.

Конечно, сделанные во время беседы замечания не могут служить базой для того, чтобы делать какие-либо выводы. Но то, что сказал нам Бор, ясно следует и из лекции, прочитанной им в то же время в ФИАНе, и из его статей. Последние собраны в недавно вышедшем на русском языке сборнике*). В предисловии к сборнику Бор говорит о том, что с течением времени его аргументация «постепенно становится яснее, особенно в отношении более четкой терминологии». Это, несомненно, так и особенно очевидно из статьи «Квантовая физика и философия», опубликованной в 1959 г. **). Здесь позиция Бора сформулирована с предельной ясностью и с той заботой о точности терминологии, которая необходима во избежание каких-либо неясностей или недоразумений, особенно частых, когда речь идет о самых тонких вопросах физики и философии. Однако если говорить о существе дела, самом понимании квантовой механики и введенного Бором понятия дополнительности, то я не могу усмотреть какого-либо изменения позиции Бора по сравнению с той, какую он занимал в тридцатых и сороковых годах. Кстати, любопытно отметить, что отношение Бора к биологическим вопросам, видимо, наоборот, претерпело значительную эволюцию. Например, в статьях «Свет и жизнь» (1932) и «Биология и атомная физика» (1937) Бор склонен считать «существование самой жизни, как в отношении ее определения, так и наблюдения, основным постулатом биологии, не поддающимся дальнейшему анализу, подобно тому как существование кванта действия вместе с конечной делимостью материи образует элементарную основу атомной физики». В статье же 1959 г. «Квантовая физика и биология» Бор уже не только не делает подобных замечаний, но и подчеркивает, что «у нас нет причины ожидать какого-либо внутреннего ограничения для применимости элементарных физических и химических понятий к анализу биологических явлений. Тем не менее, своеобразные свойства живых организмов, выработанные в результате всей истории органической эволюции, обнаруживают скрытые воз-

*) Нильс Бор, Атомная физика и человеческое познание. М., ИЛ, 1961.

**) Помимо цит. сборника эта статья помещена также в УФН 67, 37 (1959).

можности чрезвычайно сложных материальных систем, не имеющих себе подобных в сравнительно простых проблемах, с которыми мы встречаемся в физике и химии. На этом-то фоне и нашли себе плодотворное применение в биологии понятия, относящиеся к поведению организма как целого и как бы противостоящие способу описания свойств неодушевленной материи». Если привести более подробные выдержки из этих статей*), то тезис об изменении позиции Бора в биологии стал бы еще более ясен. Должен добавить, что о том же самом летом 1962 г. я слышал от Л. Розенфельда — близкого сотрудника Бора.

Надеюсь, мы подробнее узнаем об этом в будущем, сейчас же я только хотел подчеркнуть, что Бор до последних лет жизни мог изменять свои мнения под влиянием новых фактов. В биологии такие факты появились (я имею в виду блестящие успехи молекулярной биологии), в физике же, если говорить об области, относящейся к нерелятивистской квантовой теории, таких новых фактов принципиального значения не появилось. Поэтому вполне естественно, что Бору и не пришлось менять своих взглядов на квантовую механику. Ведь эта механика, как он подчеркивал, есть интерпретация фактов. (Кстати, в разговоре с нами Бор пожалел людей, которые не учатся на примере своих ошибок при анализе фактов.)

Хотя мне лично этот вопрос кажется кристально ясным, однако в литературе встречаются аргументы, которые заставляют, во избежание недоразумений, сделать здесь еще одно замечание. Именно, в некоторых статьях, посвященных «новой интерпретации» квантовой механики, подчеркивается, что ни одна физическая теория не является вполне полной и законченной; это относится и к квантовой механике, а значит, эту последнюю нужно улучшать. Но как же это сделать? Очевидно, единственное, чего «недостает» квантовой механике, это возможности дать ответы на вопросы такого типа: куда именно попадает данный электрон в дифракционном опыте или когда распадется данное радиоактивное ядро? Сторонники «новой интерпретации» считают вероятностный ответ, который дает на эти вопросы квантовая механика, неполным или даже неудовлетворительным. В соответствии с этим основная цель попыток дать «новую интерпретацию» сводится, по сути дела, к возвращению к идеалам механического (лапласовского) детерминизма и, конкретно, проникнута стремлением либо предсказать, «куда попадет электрон», либо как-то объяснить, почему такое предсказание, в принципе возможное с этой точки зрения, нельзя сделать на известном нам уровне физики. Здесь не место более подробно останавливаться и критиковать «новую интерпретацию». В этом сейчас уже, по-видимому, и нет особой нужды. Я хотел только остановиться на тезисе о том, что квантовая механика якобы из общих соображений должна быть незамкнутой (не полной), а поэтому нужно как-то ее развивать в направлении получения ответа на вопрос, «куда попадет данный электрон», и ему подобные. Вот этот-то тезис представляется совершенно не выдерживающим критики и порочным в самой своей основе.

Речь ведь идет о нерелятивистской квантовой механике, о явлениях, находящихся в области ее применимости, а не о каких-то новых небольших эффектах или переходе в релятивистскую область. В таком ограниченном смысле всякая правильная физическая теория может и в известном отношении всегда должна быть (и фактически является) замкнутой, законченной. Классическая механика Ньютона является именно такой теорией в применении к медленным движениям, например в применении к вычислению движения планет. Ньютоновская механика достаточно

*) См. также одну из последних статей Н. Бора «О единстве физических знаний» (УФН 76, 21 (1962)).

хорошо проверена на опыте, и никто не сомневается в ее правильности с той точностью, которая может быть указана на основе более общей теории — теории относительности (релятивистские поправки к классической механике определяются параметром v^2/c^2 , который в пределах солнечной системы не превосходит значения $2 \cdot 10^{-6}$).

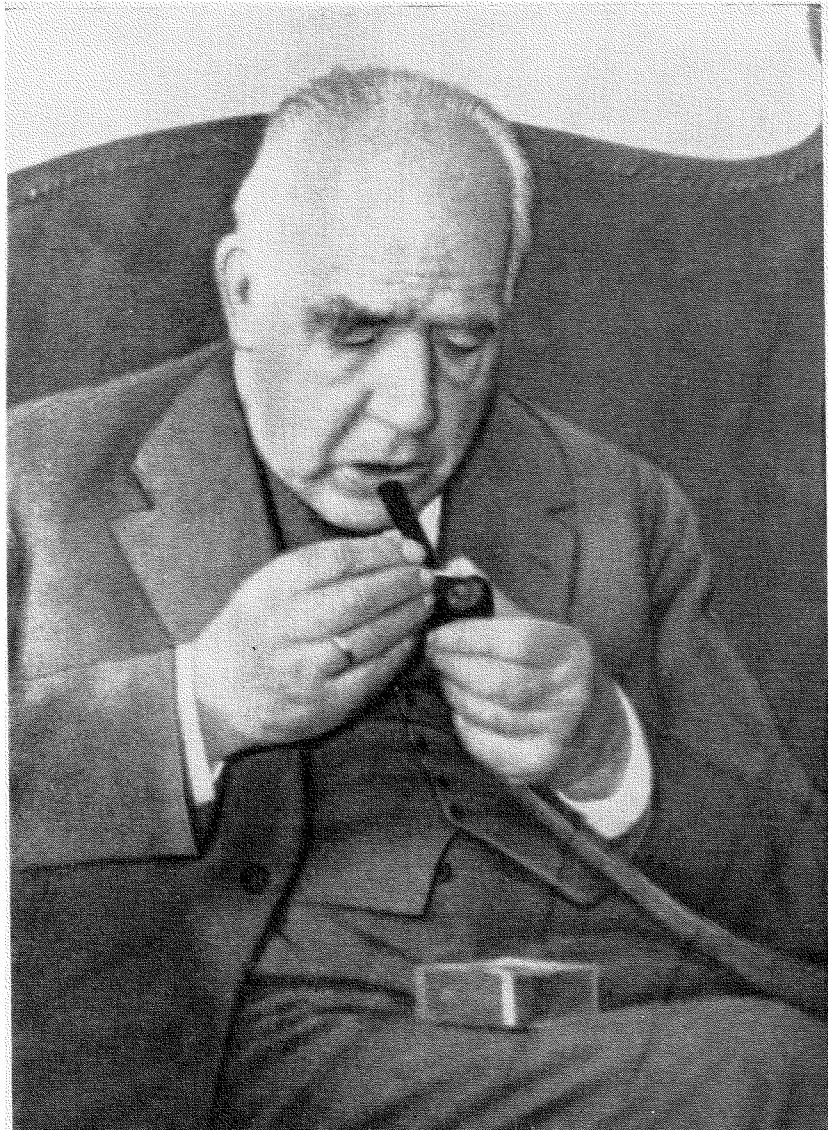
Точно так же приближенный характер нерелятивистской квантовой механики (это обстоятельство давно и хорошо известно) не имеет никакого отношения к вопросу о полноте этой теории в области ее применимости, к вопросу о возможности ликвидировать вероятностный характер квантовой механики. Таким образом, общеизвестная ограниченность области применимости нерелятивистской квантовой механики ни в какой мере не может служить аргументом в пользу необходимости дать ей какую-то «новую интерпретацию». Остается, быть может, только еще раз напомнить, что вероятностная (обычная) интерпретация квантовой механики является глубоким следствием неклассической природы микрообъектов. Квантовая частица не является маленьким шариком, движущимся по некоторой траектории. Поэтому и не приходится удивляться тому, что нельзя указать, «куда попадает данный электрон» в дифракционном опыте. Мы все уверены в том, что здесь и в будущем не откроется никаких новых возможностей. Нечего и говорить о том, что возможность сделать предсказание, «куда попадет электрон», т. е. возврат к классическому детерминизму, отнюдь не вытекает ни из принципа причинности, ни из каких-либо других общих физических или философских положений*). Огромной исторической заслугой Бора, как хорошо известно, и является решающее участие в разъяснении этих глубоких моментов.

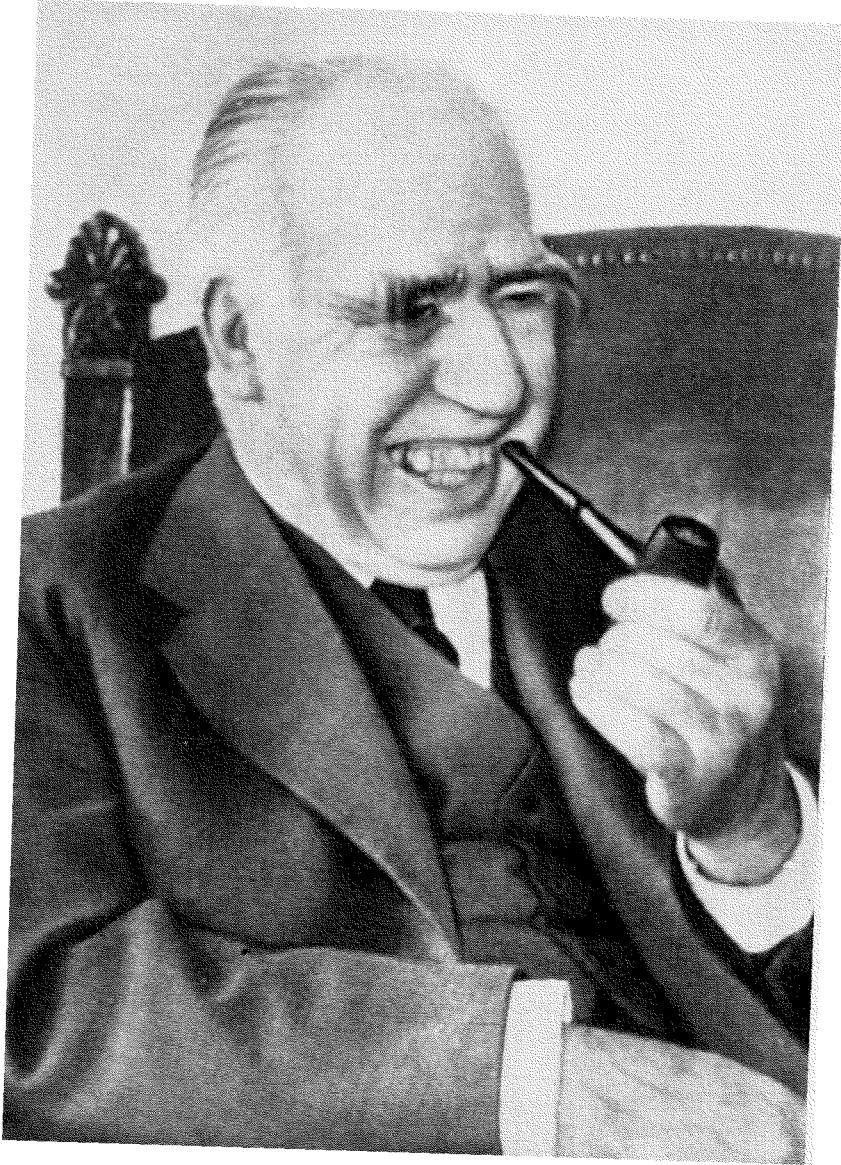
Когда речь идет о Нильсе Боре, можно сказать, что уравнения отступают на второй план, а физические обсуждения и споры переносятся в область более общих идей или оценок. Поэтому и мне хочется закончить свое выступление замечанием общего и, вероятно, спорного характера.

Мне кажется, что неразрывно связанный с именем Нильса Бора этап в развитии физики (атом, ядро, нерелятивистская квантовая механика) не только является блестящим, но и в известном смысле может считаться абсолютной вершиной этого развития на обозримом участке времени. Поскольку встречаются люди, которые всякое указание на существование каких-то ограничений или пределов, будь то предельная скорость распро-

*) В связи с тем, что вопрос о причинности в квантовой механике в нашей литературе в какой-то мере продолжает дискутироваться, хочется подчеркнуть следующее. Нет никаких оснований утверждать, что квантовая механика противоречит принципу причинности. Основная величина, характеризующая состояние микрообъекта в квантовой механике — функция ψ , — подчиняется уравнению Шредингера, носящему динамический характер. Нельзя сказать, что квантовая механика находится в формальном противоречии даже с механическим детерминизмом. В самом деле, в механике по известным начальным импульсу и координате можно найти эти величины в любой последующий момент времени. Детерминизм был бы нарушен, если бы при известных начальных импульсе и координате получались бы в разных опытах разные их значения в какой-то последующий момент времени. Если же вначале известен только импульс, а в конце определяется координата, то получение разных результатов, очевидно, классическому детерминизму не противоречит. Но в квантовой механике как раз и невозможно, в силу квантовой природы объектов, существование состояний с одновременно заданными импульсом и координатой. Поэтому, например в опыте с дифракцией электронов, когда вначале (до дифракционной решетки) задан только импульс, координата — место попадания электрона на экран (фотопластинку) — не является однозначно определенной. Отсюда ясно, что вероятностная интерпретация (появление статистики) должна рассматриваться именно как следствие неклассической природы объекта.

Таким образом, требование изгнать в конечном счете вероятность из квантовой механики и, например, в дифракционном опыте указать, «куда попадет каждый электрон», не только не вытекает из принципа причинности, но, по существу, связано с попытками считать микрочастицы в конце концов классическими частицами, обладающими определенными импульсом и координатой.





странения сигналов или пределы корпускулярного описания, склонны считать ошибочным или сомнительным, должен сразу же заметить, что в данном случае не имеется в виду устанавливать какие-то пределы: я отнюдь не считаю ограниченным развитие физики в целом. Речь идет о другом, об изменении характера этого развития. В самом деле, развитие физики, по крайней мере с конца XIX века и до середины нашего столетия, можно уподобить быстро движущемуся кораблю с очень острым носом. На этом «носу» стояли такие люди, как Планк, Лоренц, Эйнштейн, Резерфорд и Бор. Физический корабль разрезал волны неведомого океана. Основную область его носовой части, если можно так выразиться, составляло исследование строения вещества. Подтверждение атомной гипотезы, атомизм электрического заряда, строение атома, ядро — вот что было в центре внимания. Нерелятивистская квантовая механика относится сюда же, ибо это есть теория явлений в ядрах, атомах и их совокупностях. Все эти вопросы имеют определяющее значение для развития большинства физических направлений. Поэтому движение физики в целом в значительной мере определялось тем, что делается на переднем крае, и одновременно, именно по последней причине, «нос» физического корабля был таким острым. Другими словами, работу в этой области подгонял и стимулировал не только, высокопарно выражаясь, интерес к тайнам природы, но и огромное общечеловеческое значение всех изучаемых проблем. Ведь всем или во всяком случае очень многим уже в первой четверти нашего века было ясно, что успешное исследование атомов и ядер открывает широчайшие перспективы для развития многих направлений физики, техники, химии, биологии.

Но это великое дело сделано; сейчас принципиальная сторона вопроса, когда речь идет о строении атомов, а в значительной мере и ядер, уже известна. Фронт физики на главном направлении ушел вперед. Он находится в области физики элементарных частиц, среди мезонов и гиперонов, нейтрино и эфемерных «частиц-резонансов». Совершенно бесспорно, что по своему научному интересу, не говоря уже о сложности и глубине, еще не решенные экспериментальные и теоретические задачи физики элементарных частиц ничуть не уступают задачам, стоявшим перед Бором и его современниками. Не может и не должно быть и речи о том, чтобы недооценивать важность и ценность соответствующих исследований. Нельзя сомневаться и в том, что в области физики элементарных частиц, как и в ряде других научных направлений, в будущем будут сделаны интереснейшие открытия. Но вместе с тем я уверен, что общечеловеческое значение этой области уже совершенно другое, по сравнению с имевшим место в отношении физики атома и ядра. Это связано просто с тем, что новые частицы образуются только при очень высоких энергиях и живут ничтожные доли секунды. Так, время жизни «частиц-резонансов» составляет только 10^{-21} или 10^{-22} долю секунды. Нейтрино же хотя и стабильны, но почти неуловимы — они свободно проходят через весь земной шар, взаимодействуя при этом с веществом лишь в ничтожном проценте случаев. Важность изучения того или иного объекта, той или иной частицы, с точки зрения запросов теории, не может, конечно, быть измерена ни временем жизни, ни проникающей способностью. Но столь же очевидно, что даже частицы, живущие 10^{-6} сек (μ -мезоны), не говоря уже о существующих еще гораздо меньшее время, не могут играть в жизни человеческого общества такую же роль, как атомы, электроны и ядра, из которых состоит все вещество. Иными словами, нос физического корабля прошел теплые моря и вступил в районы, для жизни плохо приспособленные. Конечно, это в огромной мере дополняется или, если угодно, компенсируется гигантским увеличением тоннажа и длины корабля. Было бы странно не видеть

этого факта и представлять себе развитие науки происходящим по законам подобия, без изменения форм.

То, что я говорил, особенно ясно видно тем, кто хотя бы следит за физической литературой. Лицо физических журналов, отражающее состояние физики, за последние годы на наших глазах существенно меняется. Появилось очень много специальных журналов по отдельным разделам физики (оптике, физике твердого тела, ядерной физике, акустике и т. д.). И несмотря на это, удельный вес работ в области физики элементарных частиц резко упал даже в сохранившихся общегеофизических журналах. В качестве примера могу сослаться на последние полученные в библиотеке номера «Журнала экспериментальной и теоретической физики» и «Physical Review». В обоих журналах оказалось по 70 с небольшим статей, но из них соответственно лишь пять и три статьи посвящены экспериментам в области физики элементарных частиц. Теоретических статей по тем же и родственным вопросам несколько больше, но я сам физик-теоретик и поэтому предпочитаю вести подсчет по числу экспериментальных работ.

Коротко говоря, если уж уподоблять физику кораблю, сейчас это судно напоминает очень широкую баржу. Она имеет нос, но в известном смысле символический, подобно дымовым трубам, которые по традиции ставят на теплоходах. Разумеется, здесь, с целью усилить свою аргументацию, я зашел слишком далеко: известная выделенность «носа», в настоящее время — физики элементарных частиц, несомненна. Поэтому вполне естественно, что многие, и, как правило, наиболее способные молодые физики (особенно физики-теоретики), сейчас стремятся начинать свою работу именно в области физики элементарных частиц. Выше, очевидно, речь шла не об этом, а только об изменении роли переднего края физики на современном этапе и в обозримом будущем (говорить о более отдаленном периоде, в отношении которого у нас нет никаких данных, я вовсе не собираюсь). Это впечатление только подкрепляется, если обратиться к биологии. То, что происходит сейчас в этой области, видимо, очень напоминает двадцатые годы в области атомной физики. Мы являемся свидетелями бурного развития, какого-то вступления в героический период. Но разве это не связано теснейшим образом с фантастическими возможностями общечеловеческого значения, которые сулит нам биология? Радикальное удлинение жизни, создание совершенно новых видов растений и животных, создание жизни в пробирке — вот что маячит на горизонте. Поэтому я могу только присоединиться к тому прогнозу, который теперь нередко делается: в оставшиеся десятилетия нашего века крупнейших достижений можно ожидать именно в области биологии, которой в этом смысле физика уступит свое место. Мне кажется, что на такую перспективу мы, физики, должны смотреть не с сожалением, а с пониманием.

Вступив на путь каких-то прогнозов и характеристики современного и следующего этапов в развитии физики и биологии, я, конечно, оказался в области по самой своей сути спорной и открытой для дискуссии.

Но возвращаясь в заключение к оценке того вклада в физику, которым человечество обязано Нильсу Бору, мы имеем дело с вещами совершенно бесспорными. Полвека назад великий физик зажег маяк, который долгие годы освещал дорогу физикам всего мира. И этот маяк не погас с кончиной Бора — он скорее превратился в памятник, на котором горит вечный огонь. Этот огонь будет источником света и тепла не только для нашего, но и для будущих поколений.