

**ЗАМЕЧАНИЯ К СТАТЬЕ БОРА О ЕГО ДИСКУССИЯХ
С ЭЙНШТЕЙНОМ****В. А. Фок**

Печатаемая в настоящем выпуске «Успехов» работа Нильса Бора, посвященная его дискуссиям с Альбертом Эйнштейном по принципиальным вопросам атомной физики, дает замечательно ясное изложение тех физических основ, на которые должно опираться правильное толкование квантовой механики, и в этом отношении работа Бора представляет исключительно большой интерес.

С чрезвычайной убедительностью, на многих простых примерах, без всякой математики кроме соотношений Гейзенберга, показана ограниченность «классического» способа описания явлений, т. е. такого, в котором явления рассматриваются «сами по себе», в отрыве от средств наблюдения. Возможности описания атомных явлений «самих по себе» анализируются Бором на основе соотношений Гейзенберга, в силу которых для проявления разных свойств атомного объекта нужны, вообще говоря, разные, притом взаимно исключаящие, условия опыта. Такое положение вещей Бор обозначает термином «дополнительность»; поясняя этот термин, Бор говорит (на стр. 577), что понимает его «в том смысле, что только совокупность разных явлений может дать полное представление о свойствах объекта».

Чрезвычайно важным и бесспорно верным является также то положение Бора, согласно которому в нашем познании микрообъектов неизбежным посредником являются приборы, описываемые классически. Это положение Бор формулирует следующими словами (стр. 576—577): «как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться при помощи классических понятий».

Это глубоко диалектическое положение Бора несомненно должно лежать в основе всего толкования квантовой механики.

При чтении работ Бора (в частности, печатаемой здесь работы) создается, однако, впечатление о некоторой односторонности его точки зрения. В самом деле, все усилия Бора направлены к разъяснению ограниченности старых классических понятий, а не к разъяснению новых понятий, вводимых квантовой механикой. Формальным признаком такого одностороннего подхода является то, что из всего аппарата квантовой механики Бор использует только соотношения Гейзенберга. Это не может быть вызвано просто стремлением к элементарности изложения: даже в самом элементарном изложении можно и нужно что-нибудь сказать и о новых понятиях, а не только показывать ограниченность старых. Нам кажется, что дело здесь в той роли, какую Бор приписывает аппарату квантовой механики. Бор упоминает о нем только мимоходом и главным образом для того, чтобы подчеркнуть его, будто бы, исключительно сим-

волический характер. Математические символы квантовой механики, в отличие от математических символов классической физики, сами по себе не имеют, по Бору, физического смысла, а служат только «надлежащим средством для дополнительного способа описания», как говорит Бор в другой своей работе¹. Едва ли Бор в самом деле считает, что математический аппарат квантовой механики служит только для координации показаний приборов, участвующих в измерении, но при чтении его работы такой вопрос неизбежно возникает. Во всяком случае, подобная точка зрения была бы неправильной. Несомненно, что квантовая механика (как и любая другая физическая теория) позволяет, между прочим, и согласовывать показания приборов, участвующих в измерении. Но не в этом ее основное значение. Назначение физической теории всегда заключается в том, чтобы описывать свойства физических объектов в их отношении к внешнему миру. Ведь никто из физиков, в том числе и сам Бор, не отрицает объективности таких свойств атомных объектов, как: заряд, масса, спин, степени свободы, вид волнового уравнения в данном поле, закон взаимодействия с другими частицами и т. п. Эти свойства не только объективны, но и могут быть абстрагированы от приборов и приписаны самим объектам.

Главные усилия Бора направлены, как мы говорили, на разъяснение того положения вещей в атомной физике, которое он обозначает термином «дополнительность». Призывая всю необходимость и важность такого разъяснения, можно все же пожалеть о том, что Бор не указывает выхода из этого положения, не говорит, каковы же те новые первичные понятия (физические, наглядные, а не только символические), которые должны встать на место классических, и не подчеркивает неограниченных возможностей уточнения описания атомных объектов при помощи новых понятий. Ведь философское значение имеют не только ограничения, свойственные описанию явлений «самих по себе», в отрыве от средств наблюдения («дополнительность»), но и конструктивная часть квантовой механики и связанные с ней новые первичные понятия.

По нашему мнению, такими первичными понятиями, на которых можно строить атомную физику, являются следующие: относительность к средствам наблюдения, различие между потенциально возможным и осуществившимся (или между прогнозом и фактом), и, наконец, понятие вероятности как численной меры потенциально возможного. Аппарат квантовой механики, прямое назначение которого — служить для вычисления этой численной меры, в то же время является средством для введения новых абстракций, новых, более тонких физических понятий и для более точного описания, на их основе, свойств атомных объектов. В связи с введением новых первичных понятий получает новую формулировку и понятие причинности.

Мы не будем останавливаться на изложении нашей точки зрения по этим вопросам, так как мы это сделали в другом месте⁴. Мы хотели здесь только пояснить, что мы имели в виду, когда упоминали выше о новых первичных физических понятиях.

В своих работах Бор неоднократно подчеркивает необходимость рассматривать весь опыт в целом, не подразделяя его на стадии. Бор считает, что об определенном явлении можно говорить только, когда имеется з а в е р ш е н н ы й опыт, и потому предлагает только такие опыты и рассматривать. Конечно, определенный ответ на вопрос, ради которого поставлен опыт, можно получить, только когда этот опыт завершен. Тем не менее, требование Бора рассматривать только завершенные опыты представляется нам слишком категоричным, так как не оставляет места для квантово-механических абстракций. Только подразделение опы-

та на стадии*) и только такая постановка опыта, в которой остается свобода выбора последней, измерительной, стадии, и позволяет ввести фундаментальное для квантовой механики понятие состояния объекта. То положение, какое создается при такой постановке опыта в момент, когда еще остается свобода выбора последней его стадии, можно назвать «мысленно прерванным опытом». Таким образом, по нашему мнению, только рассмотрение незавершенного, мысленно прерванного опыта позволяет ввести понятие волновой функции**).

Фактически в дискуссии между Бором и Эйнштейном самые острые моменты связаны с рассмотрением именно таких мысленно прерванных опытов, и это понятно, поскольку именно в них наиболее ярко проявляются особенности квантовой физики, отличающие ее от классической. К категории мысленно прерванных опытов относятся и оба опыта, предложенные Эйнштейном, а именно, опыт с измерением либо энергии кванта, либо момента его вылета и опыт с измерением либо координаты частицы, либо ее количества движения (см. стр. 583 и 589). Таким образом, и сам Бор не придерживается строго своего требования рассматривать только завершенный опыт. Относящиеся сюда высказывания Бора правильнее понимать не в смысле обязательного требования, а в более широком смысле, как указание на то, что не всегда можно провести подразделение опыта на стадии и что в тех случаях, когда этого сделать нельзя, понятие состояния объекта не имеет определенного смысла.

Таким образом, главные наши возражения относятся к некоторой неполноте статьи, к тому, что данная Бором блестящая демонстрация ограниченности классических понятий не сопровождается хотя бы кратким указанием на то, чем они должны быть заменены. К этому основному пункту можно добавить некоторые замечания, которые, впрочем, имеют отчасти терминологический характер.

Нам представляется весьма неудачным принятое Бором употребление слова «причинность», которое как бы допускает противопоставление причинности и дополнительности, а затем и отрицание причинности. Необходимо ввести два термина, например, «лапласовский детерминизм», который означает убеждение в принципиальной возможности неограниченно точных прогнозов, и более общий термин «причинность» в смысле существования законов природы. Лапласовский детерминизм действительно опровергается квантовой механикой, причинность же полностью сохраняется, только ее выражение приобретает новые формы.

Неудачен также применяемый Бором термин «неконтролируемое взаимодействие». По существу здесь речь идет не о взаимодействии в собственном смысле, а о логической взаимосвязи между квантовым и классическим способом описания на стыке между той частью системы, которая описывается квантовомеханически (объектом), и той частью, которая описывается классически (прибором). При переходе с квантового языка на классический происходит как бы утрата точности; когда Бор говорит, что происходит неконтролируемое взаимодействие между объектом и прибором, он несомненно имеет в виду именно это. Термин же «неконтролируемое взаимодействие», понятый буквально, вызывает недоумение: ведь всякий физический процесс познаваем, а, следовательно, и доступен контролю. Можно думать, что термин этот возник из попытки использовать классические понятия вне их области применимости³.

*) О подразделении опыта на стадии см. наши работы² и³.

***) Если пользоваться понятием «приготовление объекта», то можно сказать, что в «незавершенном» опыте мы имеем дело с объектом, приготовленным определенным образом. С таким объектом и связывалось всегда понятие волновой функции.

В статье Бора встречаются также неточные выражения, подобные следующим: «наши знания положения диафрагмы» (стр. 582) или «наши знания показаний часов» (стр. 588) и т. п., тогда как на самом деле речь идет не о нашем знании, а об объективных фактах, например, о той точности, с какой можно установить соответствие между положением диафрагмы и лабораторной шкалой или между показаниями данных часов и показаниями лабораторных часов. В подобных выражениях «мы» как бы отождествляем себя с «лабораторией». Поэтому не следует думать, что употребление таких выражений отражает какую-нибудь субъективистскую точку зрения Бора; несомненно, это просто небрежность, и такие неточные выражения можно было бы не оговаривать.

В заключение мы хотели бы отметить, что все, или почти все, изложенные здесь замечания были предметом личного обсуждения между автором и Бором во время пребывания автора в Копенгагене в феврале—марте 1957 г. В результате ряда дискуссий (во время которых перед нами неизменно лежал оригинал печатаемой здесь работы Бора) Бор, по-видимому, согласился со многими из замечаний автора, причем он с самого начала заявил, что является противником позитивизма. Эти поправки Бора к его первоначальным высказываниям нашли свое отражение в его статье «Квантовая физика и философия», которая будет напечатана в следующем (январском) выпуске «Успехов физических наук».

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. N. Bohr, *Dialectica* 1, 312 (1948).
 2. В. А. Фок, *УФН* 45, 3 (1951).
 3. В. А. Фок, *Чехословацкий физический журнал* 5, 436 (1955).
 4. В. А. Фок, *УФН* 62, 461 (1957).
-