

теплоемкости твердых тел, теорию атомных столкновений, обеспечили ему почетное место в истории науки.

Макс Борн был не только крупным ученым, но и выдающимся борцом за мир во всем мире. В трагические годы второй мировой войны он решительно выступал против массового истребления людей, против духовных отцов атомной бомбы. Он решительно отмежевывался от преступной деятельности своего бывшего ученика Эдварда Теллера, выступавшего с проповедью водородной бомбы и третьей мировой войны. В апреле 1957 г., когда активизировались реакционные силы Западной Германии, Борн вместе с 17 выдающимися западногерманскими учеными-атомщиками подписал протест против атомного вооружения возрождающегося бундесвера. Таковы главные вехи борьбы Борна за мир, за взаимопонимание между народами.

Имя Макса Борна заслуженно пользуется всемирной известностью и окружено всеобщим уважением.

Список книг М. Борна на русском языке

1. Теория относительности Эйнштейна. Пг.: Наука и жизнь, 1922.
2. Динамика кристаллической решетки. М.: ОНТИ, 1932.
3. Лекции по атомной механике. Т. I. Харьков — Киев: ГНТИУ, 1934.
4. Современная физика. М.—Л.: Гостехиздат, 1935.
5. Оптика. Харьков — Киев: ГНТИУ, 1937.
6. Теория относительности Эйнштейна и ее физические основы. Л.—М.: ОНТИ, 1938.
7. (В соавторстве с М. Гепперт-Майер). Теория твердого тела. М.—Л.: ОНТИ, 1938.
8. (В соавторстве с Хуан Куном). Динамическая теория кристаллических решеток. М.: ИЛ, 1958.
9. Физика в жизни моего поколения. М.: ИЛ, 1963.
10. Эйнштейновская теория относительности. М.: Мир, 1964 (2-е изд. 1972).
11. (В соавторстве с Э. Вольфом). Основы оптики. М.: Наука, 1970 (2-е изд. 1973).
12. Атомная физика. М.: Мир, 1970.
13. Моя жизнь и взгляды. М.: Прогресс, 1973.
14. Размышления и воспоминания физика. М.: Наука, 1977.

Некоторые классические статьи М. Борна по квантовой механике имеются в юбилейном выпуске УФН, посвященном 50-летию квантовой механики: УФН, 1977, т. 122, вып. 4.

ПРОБЛЕМА СЛУЧАЙНОСТИ В РАБОТАХ МАКСА БОРНА

В. А. ШУКОВ

Один из выдающихся физиков-теоретиков XX столетия — Макс Борн, как известно, является наряду с В. Гейзенбергом, П. Иорданом, П. Дираком, Э. Шредингером и Луи де Бройлем создателем квантовой механики. Он же автор статистической интерпретации квантовой механики.

К 1926 г. было в основном закончено формирование математического аппарата квантовой механики, который, как писал Борн, «оказывает совершенно удивительную услугу в деле описания сложных вещей. Но он несколько не помогает в понимании реальных процессов» (курсив мой — В. Ш.) [1, с. 87]. «Сложные вещи», с которыми столкнулась физика, — это выявившийся дуализм «не только электронов, но и реальных атомов обычного вещества, вроде атомов водорода или гелия» [там же]. Казалось бы, чисто физическая проблема — описывать ли один и тот же процесс как поток частиц или как волновое движение — породила целый ряд фундаментальных гносеологических вопросов, решение которых затянулось на многие десятилетия.

Возникшее в связи с открытием дуализма противоречие (чем же на самом деле является объект — частицей или волной?) сразу же обнаружило проблематичность существующего понимания реальности, и не только в физическом, но и в философском смысле.

Другая фундаментальная трудность состояла в том, что, согласно соотношению Гейзенберга, точные определения положения и скорости исключают друг друга. Квантовые законы утверждают невозможность точного знания положения и скорости в данный момент времени и поэтому невозможность такого предсказания будущего дви-

жения, которое было характерно для классической механики. Невыполнимость требований строгого однозначного детерминизма была истолкована как вообще крах детерминизма и, следовательно, принципа причинности. «Познание того,— писал Борн в 1936 г.,— что открытие квантовых законов кладет конец строгому детерминизму, который был существенной чертой классической физики, само по себе имеет огромное философское значение» [1, с. 90].

Попытки разрешения возникших противоречий и трудностей неизбежно вызвали философские дискуссии. Одним из самых активных участников этих дискуссий с самого начала был Макс Борн. Поэтому для истории науки и философии очень важно знать существо его философской и методологической концепции. Исследования философского наследия М. Борна страдают, к сожалению, фрагментарностью и, как нам кажется, не вполне точно отражают некоторые моменты его философских взглядов [см. 4—7].

Результаты современных физических и в особенности философских исследований недвусмысленно утверждают большую эвристическую значимость вероятностных методов познания. В настоящее время идет активный процесс переосмысления содержания категорий закона, необходимости, случайности, причинности, детерминизма. Непосредственной виновницей такого переосмысления оказалась квантовая механика и ее статистическая интерпретация.

Теперь уже ясно, что старое представление о случайности как выражении только *внешних, единичных, несущественных, неустойчивых* и тому подобных связей и отношений несостоятельно. Еще более неубедительным выглядит традиционное представление о случайном как *незакономерном*: противопоставление случая и закона оказывается не соответствующим современной науке, причем не только в квантовой теории, но и в биологии, социологии и т. д. Стало ясно, что случайность способна отражать внутренние и существенные связи, и поэтому возникла потребность понять, каким образом можно избежать противопоставления случая и закона и, более того, теоретически обосновать неизбежность включения случайности в структуру закона [см., например, 9, 12, 13].

Одним из первых, кто понял эти наметившиеся перемены в стиле мышления, был Макс Борн. Начиная с 20-х годов, он отстаивал объективную значимость вероятности, поскольку, как он говорил, «приходится постулировать законы случая, в которых предсказывается проявление законов природы или законов человеческого поведения» [2, с. 143]. Он считал, что после открытия квантовых законов необходимо не только отказаться от устаревших способов описания и исследования реальности, но также и сформулировать новое, более глубокое понятие физической реальности. Особое внимание он уделял проблеме детерминизма, а вместе с ним и причинности. По этим вопросам Борн написал много работ, которые до сих пор оцениваются далеко неоднозначно. Поэтому имеет смысл еще раз рассмотреть его философскую и методологическую концепцию.

Это тем более важно потому, что, во-первых, сам М. Борн, несмотря на свой очень значительный вклад в развитие физики, писал в одной из последних работ в 1968 г.: «Философский подтекст науки всегда интересовал меня больше, чем ее специальные результаты» [2, с. 19]. Он действительно придавал очень большое значение философскому осмыслению новых научных данных, постоянно подчеркивая, что работа любого ученого-естественника и особенно физика-теоретика теснейшим образом переплетается с философией [см. 2, с. 44].

Во-вторых, это важно потому, что его философские идеи о науке, которые он «развивал как физик всю свою жизнь» [3, с. 20], оказали существенное влияние на современников и в основных своих чертах способствовали разрешению трудных и запутанных вопросов философской интерпретации квантовой механики.

Н. Кеммер и Р. Шлапп подчеркивали, что философская интерпретация квантовой механики до сих пор является предметом спора, однако при этом большинство физиков исходит из концепции, развитию которой положили начало работы М. Борна [см. 7, с. 260]. Сюда прежде всего следует отнести статьи 1926—1928 гг.: «Квантовая механика и статистика» [1], «Физические аспекты квантовой механики» [3], «О значении процессов столкновения для понимания квантовой механики» [1], «О значении физических теорий» [1], в которых Борн разрабатывает философское обоснование статистической интерпретации квантовой механики. Уже в это время он был убежден, что

новая теория принципиально отличается от классической физики. Главное ее отличие — индетерминистский характер, т. е. неприменимость здесь однозначного лапласовского детерминизма. Эту свою идею Борн развивает и защищает на протяжении всей жизни. Вместе с тем сразу надо подчеркнуть, что концепция Борна хотя и была по форме выражения всегда антидетерминистской, но никогда не имела идеалистического (и мистического) характера. Так, в 1928 г. в лекции на публичном заседании Гёттинггенского научного общества Борн говорил: «Конечно, многие люди, напротив, с радостью приветствовали отказ физики от детерминизма. Я вспоминаю, как однажды, в то время, когда только появились первые работы по статистическому истолкованию квантовой механики, ко мне пришел субъект с какими-то брошюрами по оккультизму, полагая, что я созрел для обращения в спиритуалиста. Но есть и серьезные исследования истории науки, которые рассматривают происходящие теперь перемены в физике как крушение одной картины мира и возникновение другой, представляющей более глубокое понимание природы „реальности“. Ведь теперь сама физика признает, что имеются „пробелы в следовании детерминизму“. В качестве необходимой жертвы выступает здесь идея детерминизма; впрочем, это не означает, что перестают существовать строгие законы природы» [1, с. 55—56].

Важно отметить, что вопрос о примиримости квантовой механики с каузальностью обсуждался Борном и Эйнштейном задолго до ее окончательной формулировки. Так, еще в письмах 1920 г. они обменивались мыслями об этом, и уже в это время обнаружилось их явное философское противостояние: Борн не мог принять «детерминистической философии» Эйнштейна, о чем он говорил позднее в докладе на конференции, посвященной пятидесятилетию теории относительности (1955 г.), Эйнштейн же не мог принять вероятностную интерпретацию. С 1920 г., говорил Борн, «наши научные пути стали расходиться все больше» [1, с. 334]. В письме от 12 декабря 1926 г., т. е. когда уже была развита квантовая механика, Эйнштейн писал Борну: «Квантовая механика — теория, внушающая большое уважение. Но внутренний голос говорит мне, что это еще не настоящий Иаков. Эта теория дает много, но едва ли она подводит нас ближе к тайне предков. Во всяком случае я убежден, что никто не играет в кости» [там же]. Образ бога, играющего в кости, впоследствии не раз употреблялся Эйнштейном в его полемических возражениях против квантовой механики¹. Эти его возражения и ответы на них Н. Бора получили название дискуссии Эйнштейна и Бора. Для нас же важно подчеркнуть, что в этой дискуссии кроме Бора принимали участие и многие другие ученые, а одним из непосредственных и наиболее активных участников был всегда Макс Борн. В этом смысле все его статьи, доклады и письма, посвященные философской интерпретации квантовой механики, несомненно, можно расценивать как составляющий элемент этой дискуссии.

М. Борн всю жизнь действительно последовательно и целеустремленно развивал свою концепцию и очень этим гордился. Он не раз подчеркивал, что не специалисты-философы, а именно физики-теоретики, или, как он говорил, «натуральные философы», смогли сделать существенные обобщения из «урока по теории познания, преподанного квантовой механикой». Такая установка во многом предопределила особенности его философской концепции, которую он считал не материализмом, не идеализмом, а неким реализмом или даже «квантовой философией». В самом общем плане эта особенность может быть охарактеризована как неоправданное игнорирование историко-философских традиций, выразившееся, в частности, в отождествлении категорий причины и необходимости. Другим примером может служить тот факт, что Борн, с самого начала (1928 г.) поняв, что квантовая механика ведет к «более глубокому пониманию природы реальности» [1, с. 56], тем не менее никак не хотел согласиться, что и концепцию детерминизма также следует осмыслить более глубоко. А между тем именно об этом говорил в 1935 г. П. Ланжевен в присутствии Борна на международном симпозиуме, посвященном проблемам статистики и детерминизма. «В действительности,— говорил

¹ Не лишним будет напомнить, что спустя почти четверть века А. Эйнштейн писал М. Борну 7 ноября 1944 г.: «В наших научных взглядах мы развились в антиподы. Ты веришь в играющего в кости бога, а я — в полную закономерность в мире объективно сущего, что я пытаюсь уловить сугубо спекулятивным образом... Однако большие первоначальные успехи квантовой теории не могли меня заставить поверить, что в фундаменте лежит игра в кости» [1, с. 376].

П. Ланжевен,— речь идет вовсе не о кризисе механизма, который мы пытались приспособить для объяснения совершенно новой области... Несомненно, по мере расширения нашего познания реальности мы вынуждены будем видоизменять и представление о детерминизме» [8, с. 397—398].

Однако у Борна сложилось совершенно определенное представление о детерминизме, под которым он понимал только возможность однозначного предсказания (расчета) состояния системы в любой последующий (или предыдущий) момент времени. Именно в этом смысле он говорил об индетерминизме квантовой механики, а также о принципиальном индетерминизме классической механики, поскольку в ней также не может быть «неограниченной предсказуемости», ибо, например, для движения твердого тела без трения относительно жесткой оси существует некоторый момент времени, начиная с которого движение становится нестабильным, неопределенным [см. 1, с. 447, 448]. Этот пример как нельзя лучше показывает классический случай подмены понятий, ибо, конечно, исследования М. Борна показали, что и в классической механике неприменим идеал лапласовского детерминизма. «Лапласовский демон,— писал он в 1960 г.,— мог бы выполнить свое задание (однозначно предсказать,— В. Ш.) лишь в том случае, если бы он мог измерить точно» [1, с. 424]. Но поскольку существует объективная граница измерения (абсолютный нуль), постольку и демон не может это выполнить. Отсюда Борн делает заключение о принципиальном индетерминизме квантовой механики. Его даже не поколебали в применении этого понятия многочисленные идеалистические и мистические идеи о свободе воли электрона, о крушении причинности, строгой законности и т. п. Он был вынужден постоянно отмежевываться от подобных писаний, еще и еще раз разъяснять, что «убеждение в том, что строгая законность и детерминизм неразделимы,— ложно» [1, с. 75 (1935)]. В 1960 г. Борн снова утверждает: «О свободе воли написаны бесчисленные глубокомысленные книги и статьи... Однако это не выдерживает никакой критики; демон воли должен был бы тогда всегда быть настороже, как бы не нарушить статистические законы» [1, с. 431—432].

Таким образом, согласно М. Борну, одним из самых значительных завоеваний «квантовой философии» является принципиальный индетерминизм. Однако еще раз подчеркнем, что его индетерминизм означает только невозможность однозначного предсказания будущего состояния системы и никак не коррелируется с традиционным историко-философским понятием индетерминизма в смысле отрицания всякой причинности и закономерности. Для него индетерминизм — это отсутствие правил, позволяющих предсказывать наступление события В из знания события А (и наоборот). Однако детерминизм для Борна — это не только «безграничная предсказуемость» и не только правила предсказания, но еще и «неограниченная вера в причинность», которая, по его словам, сродни божественной предопределенности.

И вот в этом-то пункте снова обнаруживается явное отступление Борна от историко-философской традиции, которая мстит ему самым безжалостным образом. Так, воюя против «неограниченной веры в причинность», он тем не менее вынужден то и дело утверждать эту веру, ибо он интуитивно чувствует, что и случайность небеспричинна, что нельзя лишить науку цели — отыскивать причины явлений. «Часто повторяемое многими утверждение, что новейшая физика отбросила причинность, целиком необоснованно,— писал он в 1949 г.— Действительно, новейшая физика отбросила или видоизменила многие традиционные идеи; но она перестала бы быть наукой, если бы прекратила поиски причин явлений» [2, с. 144, курсив мой.— В. Ш.]. Подобных заявлений у него множество. Что же это, как не утверждение «неограниченной веры в причинность»? Как же это понять?

Все дело в том, что за свою многовековую историю философия давно уже сумела разграничить категории причинности и необходимости. Разграничив их, она установила, что противоположностью случайности выступает не причина, а необходимость. И та «неограниченная вера в причинность», о которой говорит М. Борн, на самом деле есть неограниченная вера в необходимость, признание только необходимых связей и отрицание случайных как не имеющих места. И именно эта абсолютная, чистая необходимость Демокрита — Гольбаха равнозначна божественному предопределению. Как пока-

зал Гегель, а затем на материалистической основе и Энгельс, такая необходимость сама есть абсолютная случайность.

Эту неосознанную подмену понятий ощущает и сам Борн. Так, он пишет в 1935 г.: «Для понятия причинности существует более общее, преобразованное понятие, а именно понятие вероятности. *Необходимость* есть специальный случай вероятности; это — стопроцентная вероятность» [1, с. 91, курсив мой.— В. Ш.]. В 1949 г.: «Причина служит для выражения *идеи необходимости* в отношениях между событиями...» [2, с. 141]. А когда Борн утверждает, что «в квантовой механике мы встречаемся с парадоксальной ситуацией — наблюдаемые события повинуются закону случая, но вероятность этих событий сама по себе эволюционирует в соответствии с уравнениями, которые, судя по всем своим существенным особенностям, выражают причинные законы» [2, с. 151], то тем самым он вынужден констатировать причинную обусловленность случайности и неправомерность противопоставления причины и случая.

Точно так же М. Борн после 1949 г. чувствует неправомерность отождествления причинности и детерминизма, хотя раньше он это допускал. В лекциях «Натуральная философия причины и случая» (1949 г.) он под причинностью понимает некую вневременную зависимость, т. е. «что одна физическая ситуация зависит от другой, а исследование причины означает раскрытие этой зависимости» [2, с. 150]. Детерминизм же, как уже говорилось, он сводит только к правилам расчета, предсказания.

Таким образом, можно сказать, что в Борновом понятии причинности оказались соединенными сразу три философские категории — детерминизма, необходимости и собственно причинности. Детерминизма — как выражения всеобщей обусловленности, взаимозависимости явлений объективного мира. Необходимости — как категории, отражающей такие взаимоотношения между объектами, событиями или элементами системы, при которых решающую роль имеют прямые, непосредственные, обуславливающие друг друга связи и зависимости. И наконец, собственно причинности, т. е. понимания связи состояний во времени такой, «что на основе знания предшествующего состояния системы можно предсказать ее последующее состояние» [9, с. 329].

И если мы теперь с этой точки зрения посмотрим на работы Борна, то станет совершенно очевидно, что его индетерминизм на самом деле есть не что иное, как отрицание абсолютизации необходимости, которая характерна была и для лапласовского детерминизма, и для классической физики, философской основой которой был метафизический, механистический материализм. Точно так же нам станет понятным утверждение Борна, что «природа управляется как бы запутанным клубком законов причины и законов случая» [2, с. 144], ибо мы истолкуем это так, что природа обнаруживает диалектику необходимых и случайных связей. Возражая против абсолютизации необходимости, Борн понимал также и невозможность абсолютизации случайности: «Неограниченная вера в случай невозможна, так как бессмысленно отрицать, что в мире очень много упорядоченности, а отсюда допустимо существование хотя бы „упорядоченной случайности“» [2, с. 142].

Исходя из изложенного, можно сделать заключение о действительных заслугах М. Борна в развитии философской интерпретации квантовой механики. Важнейшая из них, на наш взгляд, состоит в том, что он хотя и в превращенной форме, но последовательно боролся против метафизической абсолютизации необходимости и в то же время за утверждение важной роли случайности и в объективной реальности и в познании. Думается, что М. Борн совершенно правильно выразил основное завоевание квантовой теории и сделал верный вывод из «урока по теории познания, преподанного квантовой механикой», когда он утверждал, что «сегодня порядок идей обратный: случайность стала первичным понятием... случайность более фундаментальная концепция, нежели причинность (читай — необходимость.— В. Ш.)» [2, с. 158]. Думается также, что именно это верное понимание роли и значения случайности² позволило Борну с самого начала дать ту характеристику вероятности, которая принята теперь большин-

² Уже на склоне лет, в 1968 г., Борн, размышляя о пройденном пути в развитии физики, писал: «Даже степень неопределенности следует определенным статистическим законам». Или в другом месте: «Движение атома в газе есть процесс, в котором сочетается закономерность и случайность. Физика успешно использовала сочетание этих двух особенностей при постройке замечательного здания, называемого статистической теорией теплоты» [2, с. 50, 65].

ством физиков и философов. Еще в 1935 г. он говорил в своем докладе: «Таким образом, вероятность, определяемая квадратом амплитуды волн, является совершенно реальной вещью... Вероятность — это фундаментальное понятие физики. Законы статистики являются законами природы, как и всякие другие» [1, с. 75. Сравни В. А. Фок в 1976 г. — 10, с. 95]. М. Борн постоянно утверждал, что вероятностные методы исследования являются более общими, нежели методы классической физики, что последняя есть предельный случай квантовой механики [см. 3, с. 169, 187]. Эти его взгляды нашли также признание у современных исследователей. Так, Ю. В. Сачков пишет: «В свете общих закономерностей развития познания следует сделать вывод, что вероятностные представления и методы являются более совершенными, несут более общий характер, нежели идеи и методы, основывающиеся на принципе жесткой детерминации» [11, с. 461].

Следует, однако, отметить и некоторую, скорее всего полемическую, переоценку роли законов случая, которая, кстати, не совсем согласуется с другой сформулированной М. Борном важнейшей чертой «квантовой философии». Речь идет об оценке идеи дополнителности Н. Бора. «„Мышление в форме дополнителности“, — писал М. Борн, — обязано своим происхождением склонности Бора нащупывать пределы формирования понятий и тем самым разрешать трудности... Однако то, что два понятия взаимно ограничивают друг друга (в смысле: чем точнее устанавливается первое, тем менее точно определимо второе), является возможностью, о которой до квантовой философии Бора никто не думал» [1, с. 457]. Очевидно, что точно так же взаимно ограничивают друг друга и категории необходимости и случайности, что уже хорошо показал Гегель в «Науке логики». Однако тот факт, что М. Борн прекрасно понимал значение этого вывода и неустанно его пропагандировал в своих работах, — его несомненная заслуга. В этой связи упреки в его недialeктичности вряд ли справедливы, поскольку Борн был твердо убежден, что всякого рода абсолютизации (определенности, дискретности, точности и т. п.) должны быть изгнаны из науки [см. 2, с. 124].

Важным вкладом М. Борна в развитие теории познания является его теория инвариантов, которую он также считал одной из черт «квантовой философии». Однако эта тема особая, касающаяся понятия физической реальности и способов ее познания. Хотелось бы только отметить, что так называемая квантовая философия оказывается стихийной диалектикой выдающихся мыслителей, которые логикой развития познания движутся по существу к диалектико-материалистической концепции.

Литература

1. Борн М. Физика в жизни моего поколения. М., 1963.
2. Борн М. Моя жизнь и взгляды. М., 1973.
3. Борн М. Размышления и воспоминания физика. М., 1977.
4. Суворов С. Макс Борн и его философские взгляды. Послесловие к кн.: «Физика в жизни моего поколения». М., 1963; *его же*. О теориях познания — Макса Борна и диалектического материализма. — УФН, 1976, № 4.
5. Омельяновский М. Послесловие. — В кн.: Борн М. Моя жизнь и взгляды. М., 1973.
6. Сабитов М. Диалектика необходимости и случайности в квантовой механике. Алма-Ата, 1974.
7. Кеммер Н., Шлапп Р. Макс Борн. — В кн.: М. Борн. Размышления и воспоминания физика. М., 1977.
8. Ланжевэн П. Современная физика и детерминизм. Избр. произв. М., 1949.
9. Базенов Л. Б. Концептуальная эволюция проблемы причинности. — В кн.: Философские основания естественных наук. М., 1976.
10. Фок В. А. Начала квантовой механики. М., 1976.
11. Сачков Ю. В. Вопросы обоснования вероятностных методов исследования в физике. — В кн.: Эйнштейн и философские проблемы физики XX века. М., 1979.
12. Сачков Ю. В. О современных обобщениях категории случайности. В кн.: Философские основания естественных наук. М., 1976.
13. Герц Г. Закон, развитие, случайность. — Вопросы философии, № 8, 1978.