

P. A. M. DIRAC. Principles of Quantum Mechanics (Oxford University Press, 1930).

P. A. M. DIRAC. Die Prinzipien der Quantenmechanik, Deutsch von W. Bloch, Verlag S. Hirzel, Leipzig 1930.

П. А. М. ДИРАК. Принципы квантовой механики.

После нескольких лет весьма бурного развития квантовая механика наконец пришла в состояние относительной законченности. Ее основные идеи, казавшиеся в первое время чрезмерно абстрактными и парадоксальными, стали знакомыми и привычными; на ряду с этим стали вырисовываться и границы применимости теории, а также и фундаментальные

трудности, мешающие ей перешагнуть через эти границы, — иными словами наступил период кризиса. Нет ничего удивительного в том, что у теоретиков появилась потребность оглянуться на пройденный путь, подвести итоги и тщательно проанализировать основные принципы теории для того, чтобы было видно, в каком направлении следует двигаться дальше. Книга Дирака о принципах квантовой механики является выражением этой потребности. Известно, что возникшие перед теорией трудности связаны с необходимостью построить релятивистскую теорию квантов, т. е. согласовать квантовую механику с принципом относительности. Не может быть никакого сомнения в том, что основные положения квантовой механики верны для электронов и протонов, движущихся со скоростями малыми по сравнению со скоростью света; в этой области не ожидается никаких дальнейших сюрпризов; явления, необъясненные или недостаточно объясненные квантовой механикой (например явление сверхпроводимости), представляют трудности не потому, что основные принципы теории оказываются неверными, а потому, что условия, при которых эти явления происходят, слишком сложны для анализа. Иное дело явления, в которых скорость света играет роль (например,  $\beta$  — распад радиоактивных элементов): для истолкования этих явлений требуется радикальное изменение принципов теории, т. е. новая научная революция. Экспериментальный материал, на основании которого должно быть произведено это расширение теории, чрезвычайно скуден; поэтому весьма важную роль играет рассмотрение самой квантовой механики с целью выяснения ее наиболее уязвимых пунктов, обнаруживающихся при попытках согласовать ее с принципом относительности. Если такое исследование и не может выяснить, как именно должна выглядеть новая теория, то оно сможет по крайней мере выяснить, как она не должна выглядеть.

Эту задачу поставил себе и Дирак. Конечно, в его намерения входило не только написание хорошего учебника квантовой механики; книга, которую пишет один из наиболее выдающихся лидеров физической теории, должна представлять интерес не только для учащихся, но и для специалистов. Первые пять глав книги Дирак посвятил наиболее общим принципам теории; эти принципы содержат все то, что отличает квантовую теорию от классической, а именно принцип суперпозиции состояний и правила, позволяющие вычислять вероятности различных результатов измерений, производимых над физической системой в заданном ее состоянии. Изложенные в этих пяти главах принципы находятся, по мнению Дирака, в согласии с теорией относительности: они, как он утверждает, настолько общи, что не могут зависеть ни от какой специальной теории пространства и времени. В дальнейших семи главах Дирак излагает применение этих основных принципов к специальным физическим системам, механика которых может в первом приближении трактоваться как нерелятивистская; наконец последняя (XIII) глава книги посвящена релятивистской теории одного электрона в заданном электромагнитном поле; трудность, связанная с появлением отрицательных

энергий в этой теории, приводит Дирака к его известным парадоксальным идеям о природе протонов. Эти идеи должны, по мнению Дирака, устранить трудности, возникшие перед релятивистской квантовой теорией электрона. Такова общая схема книги Дирака; она находится в связи с представлениями Дирака о возможных путях развития квантовой теории. В последнее время все более и более выясняется, что эти представления глубоко ошибочны. Анализ принципа неопределенности в квантовой механике, произведенный Л. Ландау и Р. Файерльсом (*Z. Physik.* 69, 56, 1931), показывает, что в релятивистской теории квантов должны потерять смысл такие понятия, как импульс электрона, его координаты, энергия и т. д.; в квантовой механике для всех этих величин верен так называемый „принцип возможности предсказаний“ (*das Voraussetzungsprinzip*): это значит, что среди возможных состояний, системы обязательно имеются такие, в которых энергия (или импульс, или координата и т. д.) имеет совершенно определенное значение; в релятивистской же теории квантов этот принцип перестанет быть верным, иными словами ни при каких условиях не может быть точно измерена например координата или же импульс электрона и т. д., а это обозначает, что сами понятия этих наблюдаемых величин теряют свой точный смысл. Как в шутку выразился Паули: „Die Observable ist eine Grösse, die man nicht messen kann“; принцип неопределенности обычной квантовой механики чересчур определен для релятивистской теории квантов. С точки зрения этих идей становится совершенно очевидной принципиальная обреченность на неудачу всяких попыток реформировать квантовую механику, не порывая с ее основными принципами вроде принципа возможности предсказаний (этот принцип хотя и не фигурирует в книге Дирака под этим именем, тем не менее является весьма существенной частью понятия „наблюдаемой величины“ по Дираку); „согласительскими“ и обреченными на неудачу являются как те попытки построения новой теории, которые опираются на дополнительные физические идеи вроде „дырок“ Дирака, так и те попытки, в которых выход из кризиса ищется не в направлении преобразования основных понятий, а в направлении построения новой специальной формы волнового уравнения (например Шредингер, *Zur Quantendynamik des Electrons*, Berl. Ber. 63, 1931). С этой точки зрения книга Дирака, как попытка логического анализа теории квантов с целью выяснения возможностей ее дальнейшего развития, должна быть признана неудачной. Это находится в связи с тем недостаточным вниманием, которое Дирак уделил принципу неопределенности Гейзенберга; при этом он совсем не затронул вопроса о соотношении между точностью измерения и промежутком времени, в течение которого это измерение производится, и даже допустил несколько ошибочных утверждений, относящихся к возможности повторения измерений.

Мы потому так подробно касаемся здесь недостатков книги Дирака, что они бросаются читателю в глаза гораздо меньше, чем ее совершенно

неоспоримые достоинства. Главное из этих достоинств — простота. Сравнивая книгу Дирака с такими изложениями квантовой механики, как например книги Вейля или Борна и Иордана, мы начинаем понимать, чем должна быть настоящая физическая книга, в которой простой и ясный физический результат не затемнен педантическими конструкциями математика. В этом смысле книга Дирака является наилучшим из существующих изложений квантовой механики. Дирак нигде не пользуется громоздким математическим аппаратом; для целей изложения он вводит особую алгебру, символы которой непосредственно обозначают такие физические понятия, как состояния системы, наблюдаемые величины и т. п., без всяких геометрических иллюстраций вроде векторов в пространстве Гильберта и линейных деформаций в нем. При этом не достигается, правда, никакого формального преимущества (утверждение Дирака о том, что обычная иллюстрация квантомеханических понятий векторами и линейными деформациями сообщает квантовой механике большее число свойств, чем это необходимо, неверно), однако громадное преимущество педагогического характера состоит в том, что символическая алгебра Дирака гораздо более наглядна и менее искусственна, чем геометрическая схема геттингенцев. Главы, содержащие конкретные применения теории, написаны необычайно ясно, хотя и несколько сжато; такие главы например, как глава IX (теория возмущений) или глава XI (системы, состоящие из одинаковых частиц), представляют в отношении своих педагогических достоинств образец, который превзойти невозможно. Изложение квантовой механики в книге Дирака полностью опровергает легенду о том, что современная теоретическая физика представляет какой-то густой лес математических формул; все это оказывается „от лукавого“; на протяжении всей книги читатель не найдет ни малейших следов напыщенной учевости и педантизма.

*М. Бронштейн.*