

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**КРИТИКА ИДЕАЛИСТИЧЕСКОГО ПОНИМАНИЯ
КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ *)***Д. И. Блохинцев***1. ФИЛОСОФСКИЕ ВЗГЛЯДЫ КОПЕНГАГЕНСКОЙ ШКОЛЫ
И ПРИНЦИП ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ**

Копенгагенская физическая школа ещё в самом своём возникновении связывала себя с махизмом и в дальнейшем весьма способствовала развитию субъективистских взглядов на сущность квантовой механики. Так, Гейзенберг в основу своей методологии кладёт так называемое «начало принципиальной наблюдаемости», согласно которому предметом исследования физики должны быть лишь принципиально наблюдаемые величины.

Именно с этой точки зрения Гейзенберг подвергал критике понятие боровских орбит в атомах.

Некоторые зарубежные физики склонны придавать этому принципу чуть ли не главную роль в создании квантовой механики. Изображается это следующим образом.

Гейзенберг, следуя «началу принципиальной наблюдаемости», отверг понятие орбит электронов в атомах как понятие, которому не соответствует ничего наблюдаемого в опыте; оставив в стороне эти орбиты, он обратился к непосредственно наблюдаемым (и измеримым) величинам — к частотам излучения и к интенсивностям излучения, — и на этом пути создал новую, квантовую механику.

На самом деле это не так. Основой для построения новой теории послужило не начало принципиальной наблюдаемости, а новые, ранее неизвестные факты, значение которых только частично было осознано в примитивной теории Бора. Эти факты выражались в том, что измеряемые атомные частоты ω_{mn} и интенсивности излучения I_{mn} характеризовались, как показывал опыт, двумя квантовыми индексами m и n . Один из них (например, m)

*) Статья подготовлена автором для сборника «Философские вопросы современной физики», издаваемого Институтом философии АН СССР.

относился к начальному состоянию, а другой (n) — к конечному состоянию атомной системы. Согласно же классической механике эти величины должны были бы быть одноиндексными: I_n , ω_n , где ω_n означало бы частоту n -го обертона, а I_n — интенсивность излучения этого обертона*). Именно открытый на опыте характер частот и интенсивностей, излучаемых атомными системами, заставил усумниться в применимости к ним классической механики, в частности в применимости понятия орбит, и привёл к построению новой, квантовой механики (как тогда называли — «матричной» механики)**).

То обстоятельство, что предсказываемые классической механикой орбиты не обнаруживались в опыте (кстати сказать, тогда вовсе не было ещё доказано, что их принципиально нельзя обнаружить), давало ещё только возможность предположить, что в атоме классическая механика несостоятельна и должна быть заменена новой, т. е. ненаблюдаемая орбит (фактическая, а не принципиальная) согласовывалась с противоречащей классической механике структурой частот и интенсивностей, и только.

Поэтому этот принцип не играл той роли в развитии квантовой теории, которую ему приписывают позитивисты. Он и не мог играть сколько-нибудь значительной роли, так как порочен по самому своему существу.

В самом деле, прилагательное «принципиальной» (наблюдаемости) лишает этот принцип всякого значения, так как решить вопрос о том, что «принципиально» наблюдаемо, а что «принципиально» не наблюдаемо, можно лишь на основе готовой теории, которую уже можно считать проверенной по всей совокупности данных.

Но если теория уже создана, то и «принцип наблюдаемости» не нужен, так как из самой теории следует, что в ней имеет объективное значение (принципиально наблюдаемо), а что — нет.

Например, никто не наблюдал скоростей движения тел, больших скорости света. Тем не менее, с точки зрения ньютоновской механики, такие скорости наблюдаемы «принципиально». Позднейшее развитие науки показало, что это утверждение теории Ньютона выходит за границы её применимости и на самом деле неверно. При больших скоростях движения следует обращаться к теории относительности, согласно которой скорости, большие скорости света, «принципиально» не наблюдаемы (так как противоречат законам природы).

Решение вопроса о принципиальной наблюдаемости в этом случае опять-таки базировалось не на том эмпирическом давно

*) См. например, ¹⁰.

***) См. ¹¹.

известном факте, что физик не встречал ни в одном из явлений скоростей, бóльших скорости света (ведь он мог бы их встретить в дальнейших исследованиях), а на новых фактах, указывающих на непригодность классической, ньютоновской механики, в частности — на фактах, относящихся к распространению света в движущихся системах тел.

Поэтому делать вывод о «принципиальной» наблюдаемости того или иного явления только на основе того, что имеющиеся в распоряжении физика средства не позволяют его наблюдать — это значит ползать в идеализм. Мах тоже исходил по существу из принципа наблюдаемости, утверждая, что молекулы, атомы и электроны современных физиков—это то же, что «средневековый шабаш ведьм». Атомы, по мнению Э. Маха, только домысел, которому ничего не соответствует в «комплексе ощущений».

Позднейшее развитие физики, напротив, подтвердило предсказания сторонников кинетической теории вещества, которые, по косвенным данным, давно предполагали, что вещество образовано совокупностью движущихся атомов или молекул. Великий Ломоносов ещё в XVIII веке на основе атомной теории развивал кинетические взгляды на природу тепла, более чем на сотню лет опережая своих современников. Таким образом, развитие физики показало, что «начало принципиальной наблюдаемости», исходящее в конце концов из маховской концепции «комплекса ощущений», является началом внутренне несостоятельным и ведущим к заблуждению.

Между тем многие физики, в том числе и некоторые советские, усматривают в этом «начале» здоровое зерно. Говорят, что, мол, этот принцип правильно подсказывает необходимость критического пересмотра тех физических понятий, которые содержатся в теории, но не находят себе прямого подтверждения в эксперименте. Понятия этого сорта могут быть, дескать, лишними привесками, тормозящими развитие науки (примеры: флогистон, упругий эфир, орбиты электронов в атомах и т. п.)

Такая оценка «начала принципиальной наблюдаемости» является результатом узко ремесленного подхода к методологии физики, результатом забывания основ марксизма-ленинизма или их незнания. Она представляет в сущности попытку заменить глубокое и всеобъемлющее учение материалистической гносеологии антинаучным принципом позитивистов.

В самом деле, какое значение может иметь этот принцип в сравнении с учением марксизма-ленинизма о понятиях как об отражениях реальных вещей, о необходимости рассматривать и явления и понятия в их развитии и в их взаимной связи, о переходе количества в качество и т. д.

Мах вырвал факт (временной) ненаблюдаемости атомов из всей совокупности других фактов и потерпел вместе с энергетиками поражение в своём предсказании.

Если бы Гейзенберг не привлёк к построению теории новых фактов, а ограничился бы только утверждением о ненаблюдаемости орбит электронов, то никакой новой механики он, конечно, не создал бы.

«Ненаблюдаемость» (взятая сама по себе, изолированно) не может служить основой ни для каких предсказаний, а может повести только к идеалистическим выводам Маха.

Чтобы сделать ещё более ясным то обстоятельство, что «начало принципиальной наблюдаемости» не имело того значения в развитии квантовой механики, которое ему придают рекламирующие его позитивисты, напомним, что, помимо матричной механики Гейзенберга, квантовая механика имела ещё и другой исток — волновые теории Де-Бройля, Э. Шредингера, которые развивались по пути, прямо противоположному идеям «принципиальной» наблюдаемости. Между тем именно эти теории поглотили формальную схему Гейзенберга, привели к предсказанию диффракционных явлений для частиц и тем самым поставили новую механику на прочный фундамент.

Действительно, только после экспериментального доказательства предсказанных волновыми теориями диффракционных явлений квантовая механика получила веское обоснование в опыте. На этом же пути было открыто понятие волновой функции, основное понятие квантовой механики, и дана её статистическая интерпретация.

Путь волновой (как её тогда называли) механики был путём отыскания качественно новой закономерности, путём обобщения закономерностей, найденных для света, на другие формы материи (сначала на электроны, а позднее и на все другие «частицы»). В самом начале этого пути возникло понятие волновой функции, которая не только не принадлежала к числу величин, входящих в «комплекс ощущений», но и вообще сам способ сопоставления её с наблюдаемыми, измеримыми величинами на первых порах был неясен. Введение её в теорию было основано на догадке, что волновые явления в природе, быть может, имеют более широкое значение, чем это до сих пор считалось. Это предположение могло быть верным или неверным, и только последующее развитие теории и эксперимента показало, что оно верно. Не случайно, что Э. Шредингер в своей первой статье³ замечает, что он не был уверен в том, что из его теории получится «нечто разумное» (т. е. соответствующее действительности).

Отсюда видно, что рекламирование проникнутого духом субъективизма «начала принципиальной наблюдаемости» основано на фальсификации науки, на искусственном подчёркивании одних обстоятельств и на умолчании о других, более важных.

Позитивистские концепции представителей копенгагенской школы в их применении к квантовой теории не ограничиваются, однако, «учением» о «принципиальной наблюдаемости».

Как естественное следствие этого принципа, Н. Бор положил в основу понимания квантовой механики так называемый «принцип дополнительности». Согласно этому принципу возможны два класса экспериментальных установок: первый класс допускает определение импульсно-энергетических соотношений, второй — пространственно-временных. Одновременное применение обоих типов установок исключается.

Таким образом, «квантовое описание» явлений распадается на два наблюдаемых класса, которые являются дополнительными друг к другу в том смысле, что их совокупность в классической физике даёт полное описание (см., например, Н. Бор⁴).

Мы изложили этот принцип по Бору, оставив в стороне, например, гейзенберговскую формулировку дополнительности, как дополнительности «акаузального описания» и «математической схемы вне пространства и времени» (см.⁵).

Тем не менее из изложенного содержания принципа дополнительности видно, что в нём подчёркивается не факт существования новых по своей природе объектов, а возможности макроскопических измерительных приборов.

Иными словами, на первый план выдвигаются не особенности микромира, следствием которых и является невозможность изучать их методами классической физики, а возможности наблюдателя, оперирующего с макроскопическими величинами и понятиями. Иначе говоря, на первое место выдвигается «наблюдаемость», а остальное рассматривается как её следствие.

Такая субъективистская направленность боровского принципа дополнительности ведёт к двоякого рода последствиям.

Во-первых, Н. Бор и его последователи развивают этот принцип в особую философскую концепцию дополнительности, для которой характерно отрицание объективности микроявлений.

Во-вторых, применение рассматриваемого принципа в физике ведёт к субъективному толкованию волновой функции и понятия состояния в квантовой механике. Волновая функция рассматривается не как объективная характеристика квантового ансамбля, а как выражение сведений наблюдателя, полученных в результате измерений. Реальность того или иного состояния микросистем становится в таком понимании тождественной с сведениями наблюдателя о микросистеме, т. е. превращается из объективной категории в субъективную.

Мы рассмотрим сначала первую сторону дела и только позднее обратимся ко второй.

В своём анализе проблем квантовой теории Н. Бор постоянно вращается в кругу «наблюдаемого» и «наблюдаемости», заботясь лишь об однозначном соответствии слов и терминов описанию экспериментальной ситуации. Такое стремление к точности привлекает иных физиков, не замечающих, на сколь шатком философском фундаменте покоится логика боровских построений.

В своей статье — ответе А. Эйнштейну — Н. Бор пишет⁴ о непригодности «обычной точки зрения натуральной философии для описания явлений того типа, с которым мы имеем дело в квантовой механике. В самом деле, конечность взаимодействия между объектом и измерительным прибором, обусловленная самим существованием кванта действия, влечёт за собой — вследствие невозможности контролировать обратное действие объекта на измерительный прибор (а эта невозможность будет непременно иметь место, если только прибор удовлетворяет своему назначению) — необходимость окончательного отказа от классического идеала причинности и радикальный пересмотр наших взглядов на проблему физической реальности».

В другой своей статье⁶ Н. Бор так характеризует возникающую в связи с квантовой теорией гносеологическую проблему: «...с одной стороны, описание нашей мыслительной деятельности требует противопоставления объективно данного содержания и изучающего субъекта, в то время как, с другой стороны, как уже видно и из такого высказывания, — не может быть оправдано никакое строгое разделение объекта от субъекта, так как также и последнее понятие принадлежит к миру мыслей».

Если из первой цитаты ещё остаётся неясным, с каких позиций критикуется «обычная натуральная философия», то из второй уже достаточно ясно видно, что Н. Бор стоит на шаблонных позициях идеализма.

В недавней статье, посвящённой причинности и принципу дополнителности⁷, Н. Бор в сущности только повторяет свои прежние взгляды на значение этого принципа, расширяя область его применения на психологические, биологические и даже социальные явления.

Суть этой статьи вкратце сводится к следующему: В атомной области ситуация такова, что «всякая попытка локализовать атомный объект в пространстве и времени требует такого экспериментального устройства, которое приводит к неконтролируемому в принципе обмену энергией и импульсом между объектом и шкалами и часами, служащими системой отсчёта. Обратное, не существует устройства, подходящего для контроля баланса энергии и импульса, позволяющего точное описание явления как цепи событий в пространстве и времени (цит. соч., стр. 315). Само

слово „явление“, по Бору, должно включать полный отчёт о всём эксперименте в целом» (там же, стр. 317).

Невозможность отделить поведение объекта от измеряющих приборов требует, по Бору, пересмотра проблемы «физического объяснения». Место классического описания в квантовой области должна занять концепция дополнителности, представляющая «рациональное обобщение самого классического идеала причинности».

Итак, мы видим, что вся проблема квантовой теории рассматривается Н. Бором как проблема взаимоотношения прибора и микрообъекта, а когда он покидает более определённую почву физики, — как проблема взаимоотношения субъекта и объекта.

В этом и заключается основной методологический порок концепции дополнителности: в свете этой концепции квантово-механические закономерности теряют свой объективный характер, становясь закономерностями, вытекающими из способа восприятия человеком явлений микромира. А это и есть идеализм.

Мы поясним на одном простом примере, к чему ведёт такой «приборный» подход. В заграничной физической литературе встречается так называемый «принцип неразличимости частиц». Согласно этому принципу, с помощью приборов невозможно различить два состояния систем, отличающихся перестановкой частиц одной на место другой. Из этого принципа следует, в частности, принцип Паули: в одном и том же состоянии не может находиться более одного электрона. Эта закономерность имеет фундаментальное значение для структуры атомов и для образующихся из них тел. Получается такая цепь суждений: 1) мы не можем различить частиц; 2) поэтому имеет силу принцип Паули, а стало быть, 3) физические тела ведут себя именно так, а не иначе. Иными словами: только по той причине, что мы не можем наблюдать различие частиц, существует периодическая закономерность в строении атомов, вскрытая Д. И. Менделеевым. Ясно, что здесь всё перевёрнуто.

С точки зрения позитивизма такая несообразность вполне естественна (какое дело позитивистам до того факта, что атомы существовали задолго до того, как кто-то стал подсчитывать в них электроны), с точки зрения же материализма это — чистейший абсурд. Очевидно, что невозможность различения одинаковых частиц есть не исходное, а вторичное, вытекающее из природы этих частиц, из их тождественности. Неразличимость есть следствие тождественности*), а не наоборот.

Подобное же верно и относительно принципа дополнителности: измерительные приборы в самом деле делят

*) Этот термин и принят автором во втором издании его курса¹⁰.

ся на два класса: импульсно-энергетические и пространственно-временные, но квантовые закономерности вовсе не вытекают из этого деления, а, напротив, это деление вытекает из квантовых закономерностей.

Это ясно также и из того, что, исходя из принципа дополнителности, нельзя построить квантовой механики. В самом деле, попробуем из этого принципа вывести необходимость волновой функции, её физическую интерпретацию, уравнение Шредингера или что-нибудь подобное из понятий и соотношений, фигурирующих в квантовой механике. Это оказывается совершенно невозможным. Из него следовала бы только неприменимость классической механики к атомному миру и больше ничего, то-есть, столько же, сколько и из гейзенберговского «начала принципиальной наблюдаемости». Поэтому принцип дополнителности не может служить основой квантовой механики. Это — только махистская формулировка одного из следствий квантовой механики.

Как противоположный пример мы можем привести теорию относительности. Из принципа относительности и принципа независимости скорости света от равномерного движения тел следует преобразование Лорентца, а вместе с тем и вся теория относительности. Исходя же из принципа дополнителности, невозможно написать ни одной формулы.

Если Н. Бор ещё очень невятно говорит о некоей «натуральной» философии, которая стала непригодной, то его последователи выражаются гораздо более определённо.

П. Иордан в своей книге⁸ посвящает целую главу «ликвидации материализма». Следует иметь в виду, что П. Иордан вовсе не пришёл к идеализму в результате анализа выводов из квантовой физики. Он, как и другие позитивисты, анализирует проблемы как квантовой, так и классической физики, исходя из отрицания существования объективного мира и объективной закономерности. Следуя Маху, он считает, что задача науки «заключается в упорядочении результатов наблюдения». В позитивистском понимании как классическая, так и квантовая физика не являются отображением объективного мира, а представляют собою «математические конструкции» (ср. П. Иордан⁹). Для первой из этих конструкций характерна возможность разделения понятий субъекта и объекта, а для второй — это разделение невозможно, так как субъект измерения «приготовляет физическую реальность». Таким образом, речь идёт не об анализе отношений познающего субъекта и объекта, как частей объективного мира, а об анализе этих «конструкций», т. е. об анализе в сфере понятий.

С этих позиций позитивисты пытаются опровергнуть материализм таким путём, что сначала его связывают с определёнными

ограниченными физическими или философскими представлениями, а затем объявляют несостоятельным.

В. И. Ленин ясно показал этот стандартный путь к идеализму¹.

Иордан следует этому пути с потрясающей степенью точности. Он навязывает материализму с поразительной наивностью и невежеством атомизм Демокрита и детерминизм Лапласа (см. стр. 144 и далее). Как будто бы со времени Демокрита и Лапласа материализм не подвергся никакому развитию, как будто не существует учения Маркса—Энгельса—Ленина—Сталина. Такой способ «ликвидации материализма» не нов, и от повторения он не приобретает силы.

Иордан пишет (цит. соч., стр. 145): «Действительно, сравнивая новую физику с материалистической картиной мира, можно установить теперь, что устарели как раз те черты материалистической концепции природы, которые выражали противоречие между материалистическими теориями и другими идеями».

И далее: «Атомы Демокрита неразрушимы и неизменны; современные „элементарные частицы“, напротив, способны к неограниченным превращениям».

Итак, материализм тождествен учению Демокрита о неизменных атомах.

Кстати, отметим, что Иордан не забыл ошибки Маха с неудачным предсказанием об атомистической теории и пытается оправдать основоположника позитивизма тем, что современное представление об атоме радикально отличается от представлений об атоме в XIX веке. «Атом, — говорит Иордан, — есть только каркас для классификации экспериментальных фактов».

Такое понимание атома, разумеется, вполне в духе позитивизма, но всё же, как бы ни классифицировать факты, нельзя опровергнуть того обстоятельства, что Мах, исходя из наблюдаемости, отвергал то физическое воззрение, без дальнейшего развития которого была бы невозможна современная квантовая физика. Законен вопрос, почему этот «каркас» был изобретён позитивизмом не во времена Маха, а значительно позднее.

Причину этого усмотреть нетрудно. Со времени Маха, благодаря развитию техники эксперимента и физической теории, существование атомов было доказано, и вот поэтому-то Иордан и спешит заменить маховское утверждение: атом равен шабашу ведьм, более «деликатным» утверждением: атом равен каркасу для упорядочения фактов.

Подчёркивая ещё раз (стр. 148), что атомы Демокрита обладают ясно осязаемыми свойствами, а атом «сегодняшнего дня» — только «система формул», Иордан утверждает, что вместе с установлением этого различия «окончательно ликвидирована наиболее важная черта материалистической картины мира; в то же время позитивистская теория познания подтверждена и проверена». Итак,

сначала позитивистская теория познания утверждала, что атомов нет в «комплексе ощущений», что атомы это — только «шабаш» и т. п. Когда же атомы всё же были открыты и их реальное существование подтверждено тысячью способов, то позитивистская теория пришла к заключению, что вся эта атомная физика — неплохой «каркас» для формул.

Таким образом, позитивистские предсказания в области атомистики оказались на самом деле в противоречии с фактами.

Но именно эта философия позитивизма и лежит в основе физических концепций копенгагенской школы: принцип дополнительности есть прямое порождение идеалистической позитивистской теории познания.

2. ПРОБЛЕМА КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКИ

Последовательно проводя концепцию дополнительности, Н. Бор полагает, что наблюдаемая в опыте статистичность квантовых явлений есть результат неконтролируемого действия прибора на объект. Именно, неконтролируемость этого действия приводит, по Бору, к невозможности построить каузальное описание микроявлений в терминах механического детерминизма. Н. Бор подчёркивает, что статистика, с которой мы здесь имеем дело, совсем не той природы, которая известна из классической статистической механики (см., например, его статью в «Диалектике»⁷).

Классическая статистика допускает уточнение: путём более точного измерения координат и импульсов частиц можно уменьшить разброс всех величин и исключить статистику с желаемой степенью точности в принципе полностью.

В квантовой области «неконтролируемое» вмешательство прибора не допускает такого уточнения.

Гейзенберг, желая выдвинуть эту сторону дела на первый план, в «Физических принципах квантовой теории»⁸ так формулирует принцип дополнительности:

Либо:

Описание в пространстве и времени

Соотношение определённостей

Либо:

Математическая схема вне пространства и времени

Причинность

Под математической схемой вне пространства и времени здесь разумеется описание посредством волновой функции (без вмешательства прибора). Так как Гейзенберг считает, что волновая функция ψ есть, с одной стороны, характеристика состояния одной частицы, а с другой стороны, она не может быть измерена на этой одной частице, то волновая функция есть попро-

сту математический символ, вне пространства и времени существующий.

Описание же в пространстве и времени (с помощью траектории) требует вмешательства прибора для измерения x или p и ведёт к статистическим суждениям о движении частицы.

Исходя из этих представлений, Иордан⁸ приходит к заключению о невозможности в квантовой области лапласовской постановки вопроса: по заданным начальным импульсам и координатам всех частиц предсказать будущее всего мира, и делает вывод о крахе материализма (напомним, что Иордан полагает, что материализм — это атомы Демокрита + лапласовский «фатализм»).

Между тем диалектический материализм рассматривает взаимоотношение между явлениями объективного мира с гораздо более широкой и глубокой точки зрения, нежели лапласовский детерминизм.

В основу истинно материалистического понимания природы положена идея о всеобщем взаимодействии, взаимосвязи явлений, механический же детерминизм представляет собою лишь весьма частный аспект взаимодействия и осуществляется в природе только приближённо.

Однако доквантовая физика переоценивала значение и силу механического детерминизма и недооценивала категорию взаимодействия. Остановимся на этой стороне дела подробнее.

Как известно, согласно классической механике системы частиц, достаточно задать конечное число параметров (например, начальные импульсы и координаты частиц), чтобы однозначно определить движение системы и, следовательно, её состояние в будущем. Соответствующая задача может быть сформулирована на языке уравнений Ньютона или методами аналитической механики. Такое «образцовое» решение вопроса о будущем поведении частиц является, однако, абстракцией, которая только приближённо отображает то, что происходит в природе. Суть дела заключается в том, что описание любой реальной системы конечным числом параметров является неполным. Неявно допускается, что: 1) остальные параметры самой системы «несущественны» и 2) система может быть изолирована от остальной части природы на всё время, для которого делается предсказание. Поясним эту мысль примерами. Возьмём сначала простейшую задачу механики: движение твёрдого тела под действием силы. В этом случае в качестве параметров могут быть взяты координаты центра тяжести, углы Эйлера и соответствующие скорости (всего 12 величин). При этом допущено, что деформации тела в процессе движения несущественны. Стало быть, уже заранее предполагается, что тело, например, не разорвётся на части. Далее мы должны знать внешние силы F , действующие на тело для всех тех точек пространства — времени, где тело будет находиться.

Но так как механика сама не в состоянии предсказать силы, то они должны быть заданы наперёд, т. е. фактически делаемое механикой предсказание на будущее требует соблюдения некоторых условий: если силы известны не только в настоящем, но и в будущем, то в будущем тело будет находиться там-то и двигаться так-то. Представление об абсолютно точных предсказаниях механики создаётся по той причине, что во многих случаях, действительно, из косвенных (внемеханических) данных удаётся с немалой точностью предсказать силу. Пример тому — небесная механика планет. Планетная система в достаточной степени изолирована от остальной части вселенной, а изменения внутреннего состояния планет и Солнца происходят весьма медленно.

Таким образом, предсказание в механике удаётся только в той степени, в какой остаются неизменными несколько важнейших взаимодействий, определяющих явление.

Рассмотрим другой пример. Мгновенная передача силы, допускаемая механикой Ньютона, на самом деле также не осуществляется в природе: силы распространяются со скоростью, не превосходящей скорости света. Поэтому при больших скоростях движения тел или при больших расстояниях между ними необходимо, кроме самих тел или частиц, рассматривать ещё и поле.

Оказывается, что и при учёте поля физические явления можно рассматривать с помощью дифференциальных уравнений.

Действительно, из того факта, что скорость распространения любого поля не превышает скорости света, следует, что все процессы, происходящие в системе тел и поля, могут быть описаны дифференциальными уравнениями. Это утверждение может быть пояснено рис. 1. На этом рисунке изображены две пространственные поверхности σ и σ' , разделённые друг от друга малым промежутком времени dt . Из точки P проведены световые лучи PA и PB (наклон AP и BP равен скорости света). Тогда всё, что влияет на события в P , лежит на отрезке AB . При малом dt AB также мало, т. е. на события в P влияет только окрестность этой точки, а, стало

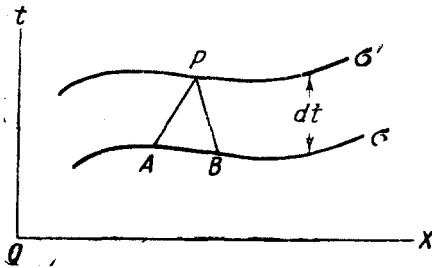


Рис. 1.

быть, это влияние может быть выражено на языке дифференциальных уравнений.

Поле представляет собой материальную систему, характеризующую бесконечно большим числом параметров. Поэтому никаким конечным числом операций невозможно задать начальное состояние системы, состоящей из поля и тел.

На практике, однако, можно воспользоваться тем, что поле достаточно однородно в малых, но всё же конечных областях пространства. Чем детальнее произведённый промер поля, тем на большее время справедливо предсказание о движении системы тел и поля. При этом опять-таки необходимо наперёд задать граничные условия, и предсказание в этом случае носит не абсолютный, а относительный характер. На рис. 2 сказанное пояснено на примере одномерного мира. Ox — есть ось пространства, а Ot — ось времени. Рассматриваемая нами система заключена в момент $t=0$ на отрезке AB . Если она и в дальнейшем останется в пределах этого отрезка, то необходимо знать поле на линиях AA' и BB' , т. е. для всего будущего точек A и B . В реальном мире вместо линий будем иметь трёхмерные поверхности.

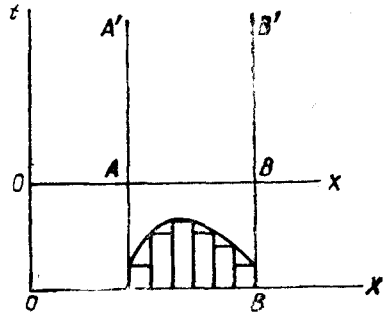


Рис. 2.

На этом же рисунке, внизу, изображён непрерывной кривой график поля в момент $t=0$, а ступенчатой кривой — результат его измерения конечным числом операций. Из-за этой замены бесконечного числа операций конечным числом предсказание на будущее не вполне точно. Так, если различие между измеренным полем силы и фактическим его значением есть ΔF , то для тела массы M следует ожидать ошибки в положении тела $\Delta x \sim \frac{\Delta F}{M} t^2$, где t — время, т. е. ошибка пропорциональна t^2 . Этот пример иллюстрирует общую ситуацию: все реальные физические явления следуют данному закону лишь с известной степенью точности: налицо всегда дисперсия («разброс»), обусловленная тем, что ни один из законов не в состоянии исчерпать всего многообразия взаимодействий, реализующихся в действительности*).

Только что обрисованная постановка вопроса об однозначном предсказании будущего, основанная на: 1) дифференциальных уравнениях, 2) на задании начальных данных для поля и тел и 3) на задании наперёд граничных условий, характерна для теории относительности.

А. Эйнштейн (см. его статью, гл. II, в «Диалектике»⁷, стр. 320) полагает, что эта постановка вопроса, могущая быть охарактеризованной как «принцип близкодействия», является обязательной. Он пишет (стр. 324): «Полный отказ от этого принципа сделал бы

*) Здесь под словом «закон» мы понимаем формулировку закономерности, существующей в природе. Закон лишь приближённо отображает закономерность.

идею существования (квази-) замкнутых систем и вместе с тем установление эмпирически проверяемых законов, в привычном нам смысле (подчёркнуто мною.—Д. Б.), невозможными».

Мы позволили себе остановиться столь подробно на анализе причинности в той форме, в какой она выступает в классической физике (включая и теорию относительности), чтобы показать, что кажущаяся самоочевидной возможность однозначного предсказания будущего на самом деле предполагает соблюдение ряда существенных условий, которые могут и не реализоваться на деле со всей полнотой.

Поэтому и причинность, формулируемая в классической физической теории в виде однозначной неизбежности, является абстракцией, приближением.

Это обстоятельство было давно и хорошо известно основоположникам материалистической диалектики. Поэтому иордановский способ опровержения материализма на том основании, что в природе не осуществляется лапласовский детерминизм, является по меньшей мере наивным.

Напомним, что писал по поводу детерминизма Ф. Энгельс в «Диалектике природы»:

«Противоположную позицию занимает детерминизм, перешедший в естествознание из французского материализма и пытающийся покончить со случайностью тем, что он вообще отрицает её» (далее следуют примеры).

«С необходимостью этого рода мы тоже ещё не выходим за пределы теологического взгляда на природу. Для науки почти безразлично, назовём ли мы это, вместе с Августином и Кальвиным, извечным решением Божиим, или, вместе с турками, кисметом, или же необходимостью. Ни в одном из этих случаев нет и речи о прослеживании причинной цепи. Поэтому как в том, так и в другом случае мы ничуть не становимся умнее. Так называемая необходимость остаётся пустой фразой, а вместе с этим и случай остаётся тем, чем он был». «... с одним этим стручком, — продолжает Энгельс, — нам пришлось бы проследить уже больше каузальных связей, чем сколько их могли бы изучить все ботаники на свете. Таким образом, случайность не объясняется здесь из необходимости; скорее, наоборот, необходимость низводится до порождения голой случайности. Если тот факт, что определённый стручок заключает в себе шесть горошин, а не пять или семь, представляет собою явление того же порядка, как закон движения солнечной системы или закон превращения энергии, то на деле не случайность поднимается до уровня необходимости, а необходимость снижается до уровня случайности».

Мы видим, что Ф. Энгельс высмеивает лапласовский детерминизм, сравнивая его с провидением Божиим, с кисметом. По Энгельсу, необходимость и случайность не являются исключительными

друг друга категориями. Случайное имеет основания, а необходимое выражается в случайном. Между случайным и необходимым нет непреходимой грани.

Так, если бы замкнутость нашей планетной системы нарушилась вторжением какого-нибудь космического тела, то это явление было бы случайным для самой солнечной системы, но эта же случайность могла бы быть выражением некоторой более общей необходимости (например, статистических законов движения тел в междузвёздном пространстве).

Отсюда ясно, что форма выражения необходимого и случайного зависит от природы рассматриваемой системы и от её связей с окружающим миром и не является раз и навсегда данной для всех случаев. Поэтому, когда А. Эйнштейн указывает на то, что в случае незамкнутости систем «привычная нам» постановка о законах природы стала бы невозможной, то отсюда не следует, что незамкнутость систем не должна осуществляться в природе; отсюда следует только то, что пришлось бы искать эти законы в «непривычной нам форме».

После этих предварительных замечаний общего характера вернёмся к квантовой механике.

Как мы видели, Н. Бор и его последователи отрицают возможность объективного описания явлений микромира, а статистику рассматривают как результат неконтролируемого действия прибора на объект.

В этой связи мы хотели бы прежде всего отметить, что квантовая статистика имеет объективное значение в том смысле, что она никак не связана с деятельностью наблюдателя.

В самом деле, например, радиоактивный атом распадается по тем же статистическим законам независимо от того, наблюдают его или нет, существует ли вообще какой-либо наблюдатель или его вовсе нет.

Более того, необходимо очень энергичное воздействие на атомное ядро, чтобы изменить ход радиоактивного распада.

Этот процесс распада происходит статистически закономерно, т. е. разные экземпляры ядер распадаются в различные моменты времени, но среднее время распада одно и то же. Мы можем сказать, что мы имеем здесь дело с некоторым статистическим ансамблем радиоактивных атомов, объективно существующим в природе.

Другой пример квантового ансамбля — космические лучи. Опять-таки мы здесь имеем дело со статистически закономерно протекающими явлениями, и эти закономерности, естественно, ни в коей мере не зависят от наблюдателя.

Это только два примера, но они имеют совершенно общее значение: повсюду в квантовой области мы встречаемся с такого рода статистическими ансамблями.

Между тем копенгагенская школа отодвигает на задний план тот факт, что квантовая механика приложима только к статистическим ансамблям и сосредоточивается на анализе взаимосотношения единичного явления и прибора. Это — существенная методологическая ошибка: в таком толковании вся квантовая механика приобретает «приборный» характер, и объективная сторона дела затушёвывается.

Какова же на самом деле природа квантового ансамбля? Суть дела заключается в том, что в природе нет никакого абсолютного деления на микро- и макромир. Явления микромира протекают внутри макромира, и если мы выделяем мысленно какое-либо микроявление, то оно всё же в действительности остаётся связанным с макромиром, можно сказать, с макроскопическими телами. Изоляция микросистем, которая казалась с точки зрения классических концепций принципиально возможной, в действительности, в силу конечности взаимодействий, оказывается неосуществляющейся.

Эта конечность взаимодействия связана с атомизмом действия, выражающимся в существовании постоянной Планка $h = 1,05 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек.

Атомизм далеко не исчерпывается дискретностью действия. Он проявляется также в дискретности заряда, массы и других величин. В настоящее время мы не знаем в точности тех ограничений классических концепций и тех новых понятий и представлений, которые должны следовать из атомизма заряда и массы — это дело будущей теории частиц. Но эффект атомизма действия — это как раз то, что обстоятельно изучено современной квантовой механикой. Благодаря атомизму действия замкнутых, изолированных микросистем не существует, и всякий квантовый ансамбль включает в себя связь микросистем с макросистемами.

Эту же мысль можно ещё выразить и таким образом: квантовый ансамбль определён по отношению (т. е. в связи) к макротелам.

Таким образом, современная атомная физика подтверждает и развивает тот хорошо известный тезис диалектического материализма, что вещи и явления следует изучать в их взаимосвязи: «...ни одно явление в природе не может быть понято, если взять его в изолированном виде, вне связи с окружающими явлениями, ибо любое явление в любой области природы может быть превращено в бессмыслицу, если его рассматривать вне связи с окружающими условиями, в отрыве от них, и, наоборот, любое явление может быть понято и обосновано, если оно рассматривается в его неразрывной связи с окружающими явлениями, в его обусловленности от окружающих его явлений»².

Итак, квантовая статистичность имеет своим основанием взаимосвязь микро- и макроявлений.

Используются те или иные макротела и макроявления для конструирования измерительных приборов или нет, — это дело второе. Наблюдатель (лучше сказать — техник, экспериментатор) может создавать измерительные приборы лишь в соответствии с законами природы.

Волновая функция ψ , с помощью которой в квантовой механике, как принято говорить, «описывается состояние микросистемы», на самом же деле характеризует квантовый ансамбль, а следовательно, предполагает определённую макроскопическую обстановку. Поэтому волновая функция не есть характеристика микро-частицы «самой по себе», а есть характеристика её принадлежности к тому или иному ансамблю (см.¹⁰, §§ 14, 29).

Если меняется макроскопическая обстановка, то меняется и квантовый ансамбль. Это обычно трактуют как «вмешательство прибора в состояние системы». На самом деле прибор — это только очень частный случай макроскопической обстановки. Именно — прибор является спектральным анализатором квантового ансамбля*) (Д. И. Блохинцев, цит. соч., § 17). Поясним, что это значит. Если ансамбли, в которых какая-либо интересующая нас величина, например импульс, имеет значения p_1, p_2, \dots, p_n , характеризуются волновыми функциями $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n, \dots$, соответственно, то волновая функция ψ , изображающая любой иной ансамбль, может быть представлена в виде

$$\psi = \sum C_n \psi_n, \quad (1)$$

т. е., как говорят, разложена в спектр по признаку p (импульсное разложение).

Измерительный прибор, определяющий импульс p , есть такое макроскопическое устройство, которое на деле осуществляет спектральное разложение. В данном примере таким прибором может служить диффракционная решётка, так как разложение по импульсам совершенно аналогично разложению света в спектр.

Ясно, что такое разложение может осуществляться как само по себе в природе, так и искусственно создаваться экспериментатором.

Уже из этого примера видно, что прибор-анализатор меняет ансамбль. Из ансамбля, характеризуемого волновой функцией ψ , возникает ансамбль, характеризуемый набором волновых функций $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n, \dots$ (такой ансамбль называют «смешанным»). Это и есть «вмешательство» в систему. Отсюда копенгагенская школа

*) Копенгагенская школа всё своё понимание квантовой механики строит именно на этом частном случае.

делает заключение, что объективное изучение микроявлений невозможно. Однако это глубоко неправильно. Дело заключается в том, что для изучения природы ансамбля достаточно изучать его малую часть. Эта часть в процессе измерений действительно будет меняться, но в целом весь ансамбль остаётся неизменным.

Например, изучая космические лучи, применяют счётчики или другие приборы. Эти приборы изменяют состояние обнаруживающихся в них отдельных частиц, переводят их в новый ансамбль, но они не меняют в целом того квантового ансамбля, который можно назвать ансамблем космических лучей.

Вносимое этими приборами нарушение в ход явления космических лучей в целом, конечно, ничтожно и поэтому ничто не мешает выяснению объективных закономерностей, свойственных космическим лучам.

Это можно выразить так: степень изолированности ансамбля в целом почти не нарушается измерениями. Иначе говоря, по отношению к ансамблю в целом сохраняется ситуация, известная из классической физики, где воздействия могут быть как угодно малы.

В силу этого волновая функция ψ , характеризующая ансамбль, подчиняется уравнению Шредингера:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi, \quad (2)$$

позволяющему определить эту функцию для любого момента времени, если она известна в начальный момент времени.

Таким образом, для ансамбля сохраняется простейшая форма причинной связи — классический детерминизм. Это — результат того, что ансамбль в целом (микросистема + макрообстановка) может быть (конечно, приближённо) изолирован от остальной части мира.

Напротив, классический детерминизм, как форма причинной связи, не осуществляется в применении к единичным микроявлениям, и причина этой несостоятельности «лапласовского» детерминизма лежит в невозможности изоляции единичной микросистемы от окружающей среды. Изолированная, замкнутая единичная микросистема не существует в природе. В силу этого вместо «лапласовского» детерминизма в мире микроявлений на первое место выступает статистическая закономерность, которая и отображает влияние среды на единичное микроявление. Эта последняя закономерность не есть результат отсутствия закономерных связей внутри мира единичных явлений, как это утверждают позитивисты; напротив, статистическая закономерность как раз и есть выражение общего закономерного в единичных явлениях.

Поэтому квантовая механика изучает свойства единичного микроявления посредством изучения статистических закономерностей коллектива таких явлений.

О практической успешности и силе этого метода вряд ли уместно говорить подробно. Именно на этом пути удалось вскрыть тончайшие детали в строении молекул, атомов и атомных ядер.

Нам остаётся ещё рассмотреть вопрос о возможности исключения квантовой статистики. Этот вопрос известен в литературе под названием проблемы «скрытых параметров».

Проблему можно формулировать так: единичное микроявление может реализоваться различным образом. Квантовая механика даёт лишь вероятность того, что осуществится та или иная возможность. Нельзя ли найти такие величины («скрытые параметры»), знание которых позволило бы однозначно предсказать каждое единичное микроявление?

Нельзя ли, например, предсказать место попадания электрона в дифракционном опыте или ориентацию спина атома в опыте Штерна и Герлаха?

Эта возможность исследовалась Нейманом и позднее Рейхенбахом. Оба приходят к отрицательному ответу. Нейман отвергает возможность скрытых параметров следующим образом.

Пусть мы имеем «чистый» ансамбль (т. е. ансамбль, определяемый одной волновой функцией). По определению чистого ансамбля он не разложим на части, т. е. если мы возьмём совокупность большего числа любых, одинаковых измерений в этом ансамбле N и по произволу разделим эту совокупность на две N_1 и N_2 ($N_1 + N_2 = N$), то математическое ожидание любой величины L одинаково во всех подсовкупностях:

$$\langle L \rangle_N = \langle L \rangle_{N_1} = \langle L \rangle_{N_2}.$$

Иными словами, разбивая ансамбль на подансамбли, нельзя уменьшить дисперсию, разброс величин. Чтобы убедиться в этом, достаточно вместо L подставить в (3) $\Delta L^2 = (\bar{L} - \bar{L})^2$; тогда формула (3) будет означать, что среднее квадратичное отклонение ΔL^2 в любом подансамбле одинаково.

Стало быть, по Нейману, не может существовать параметров, по которым можно было бы сделать выборку подансамблей таким образом, чтобы уменьшить статистический разброс величин.

Против этого доказательства нельзя возразить ничего: оно попросту выражает внутреннюю непротиворечивость квантовой механики. Но избранный Нейманом метод рассуждений не может всё же считаться удовлетворительным, так как он базируется на квантовой механике. Между тем, если «скрытые параметры»

существуют, то их анализ лежит вне компетенции квантовой механики.

Мы не будем здесь приводить рассуждения Рейхенбаха, так как оно также исходит из того, что «скрытые параметры» подчиняются законам квантовой механики, и тогда, естественно, мы остаёмся в кругу тех идей, которые нам следовало бы покинуть.

Поэтому мы рассмотрим проблему «скрытых» (лучше сказать — «пока неизвестных») параметров с иной точки зрения, не подчиняя заранее эти параметры законам квантовой механики.

Тогда сразу же можно сказать, что эти параметры не могут быть взаимно однозначно связаны с величинами, которые встречаются в современном эксперименте и в квантовой механике.

В самом деле, в этом случае они могли бы быть выражены через квантовые величины, а стало быть, и сами должны были бы подчиняться законам квантовой механики.

Рассмотрим, например, квантовую величину s , имеющую только два возможных значения s_1 и s_2 . (Такой величиной может быть проекция спина атома на магнитное поле.) Пусть дано некоторое состояние $\psi = a_1\psi_1 + a_2\psi_2$, причём в ψ_1 $s = s_1$, а в ψ_2 $s = s_2$. Тогда, согласно квантовой механике, $|a_1|^2$ есть вероятность найти $s = s_1$, а $|a_2|^2$ — вероятность найти $s = s_2$. В случае, если существуют некоторые скрытые параметры λ такие, что знание их позволяет однозначно предсказать, будет ли в данном индивидуальном случае s равняться s_1 или s_2 , связь между λ и s должна быть такова, что λ определяет значение s , а значение s не определяет λ , т. е. равенство

$$s = F(\lambda) \quad (4)$$

не должно быть разрешимо относительно λ *).

Далее, совокупность параметров λ не может сохраняться при изменении постановки опыта. Действительно, пусть первоначально дан ансамбль с $s = s_1$ ($a_2 = 0$). Пусть s_1 есть проекция спина на магнитное поле, направленное по оси OZ . Направим пучок таких частиц в поле, направленное по оси OX и сортирующее частицы по признаку проекции спина на ось OX . Тогда если первоначальному ансамблю отвечает область параметров $G_1(\lambda)$, то эта область разобьётся на две

$$G_1 = G'_1 + G''_2,$$

где G'_1 — область λ , отвечающая проекции спина на ось OX $s_X = s_1$, а G''_2 — область с проекцией спина на ось OX , равной $s_X = s_2$. Разделим пучок, скажем, с $s_X = s_1$. Разделим его далее полем, направленным опять по оси OZ , на пучок с $s_Z = s_1$ и $s_Z = s_2$. Если

*) $F(\lambda)$ — не обязательно функция, может быть функционал.

при имевшем место изменении внешней обстановки (разделение по признаку s_x) параметры λ не изменялись, то тогда область G'_1 содержит параметры λ , соответствующие обоим значениям проекции на ось OZ : s_1 и s_2 . Но область G'_1 есть часть области G_1 , в которой, по условию, все λ принадлежали $s_z = s_1$. Таким образом, мы приходим к противоречию.

Остаётся предположить, что при сортировке частиц по признаку s_x в игру вошли новые параметры (или новые значения параметров) так, что G'_1 опять содержит λ , относящиеся как к $s_z = s_1$, так и к $s_z = s_2$, т. е. если скрытые параметры вообще существуют, то они для каждого макроскопического устройства, анализирующего по какому-либо признаку (например, s_z или s_x), должны быть своими собственными.

То, что мы здесь рассмотрели, есть превращение чистых ансамблей в смешанные. Поэтому результат можно сформулировать так: каждому превращению чистого ансамбля в смешанный соответствуют свои скрытые параметры (если они вообще существуют). Параметры, удовлетворяющие этому условию, видимо, не противоречат законам квантовой механики.

Их возможный физический смысл — числовая характеристика влияния макрообстановки на единичное микроявление.

Существуют ли такие параметры на самом деле в природе, это вопрос, который может быть решён только на пути дальнейшего развития теории и эксперимента. Физически — это вопрос о возможности выделения, изоляции от окружающего мира некоторой его части в терминах иных величин¹², нежели те, которыми оперирует квантовая механика (s). Априорно нельзя ни настаивать на этой возможности, ни отвергать её.

3. О СУБЪЕКТИВНОМ ПОНИМАНИИ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ

Обратимся теперь к рассмотрению позиции копенгагенской школы в понимании физического смысла волновой функции. С наибольшей ясностью эта позиция может быть выяснена в связи с дискуссией А. Эйнштейна и Н. Бора⁴. В этой дискуссии был рассмотрен такой пример.

Имеются две частицы 1 и 2, претерпевающие столкновение. Пусть их состояние до столкновения в начальный момент времени характеризуется волновой функцией:

$$\psi^0(x_1, x_2) = \psi^0(x_1) \psi^0(x_2). \quad (1)$$

Волновую функцию этих частиц после столкновения, по истечении достаточно большого времени, обозначим через $\psi(x_1, x_2)$. Эта функция уже не будет произведением функций, зависящих от x_1 и x_2 порознь.

Измерим теперь какую-либо величину, относящуюся только к первой частице, для определённости, скажем, импульс этой частицы p_1 . После этого измерения волновая функция первой частицы будет $\psi_{p_1}(x_1)$. Разложим $\psi(x_1, x_2)$ по $\psi_{p_1}(x_1)$:

$$\psi(x_1, x_2) = \int \varphi_p(x_2) \psi_p(x_1) dp, \quad (2)$$

где $\varphi_p(x_2)$ есть амплитуда в разложении $\psi(x_1, x_2)$ по $\psi_p(x_1)$.

Если измерение импульса первой частицы даёт p_1 , то волновая функция $\psi(x_1, x_2)$ сводится к одному члену разложения:

$$\psi(x_1, x_2) \rightarrow \varphi_{p_1}(x_2) \psi_{p_1}(x_1). \quad (3)$$

Таким образом, меняется и состояние второй частицы, хотя над ней не производилось никаких измерений и она уже давно перестала взаимодействовать с первой, т. е. на неё ничего не действовало, а состояние её изменилось.

Следовательно, говорят изменились «сведения» (наблюдателя) об этой частице, а стало быть, и её состояние, т. е. понятие «состояния в такой трактовке оказывается равносильным понятию «сведения о состоянии».

Это и есть субъективная трактовка волновой функции. Эта трактовка связана с тем, что копенгагенская школа вообще отодвигает на задний план статистический характер квантовой механики.

В квантовой механике состояние частицы характеризуется действительно не «само по себе», а принадлежностью частицы к тому или иному ансамблю (смешанному или чистому^{*)}). Эта принадлежность имеет совершенно объективный характер и не зависит от сведений наблюдателя. Если эти сведения не соответствуют природе ансамбля, то из них никаких новых сведений, кроме разве нелепых, получить не может.

Как мы уже пояснили, измерительные приборы являются спектральными анализаторами. Они разлагают исходный ансамбль по подансамблям, характер которых зависит от природы прибора-анализатора и от природы исходного ансамбля.

В рассматриваемом нами примере производится анализ по признаку, относящемуся к первой частице. Но так как в исходном ансамбле $\psi(x_1, x_2)$ существовала корреляция между обеими частицами, обусловленная их взаимодействием, то разложение по признаку p одновременно выделяет подансамбль для второй частицы, т. е. после измерения она оказывается принадлежащей другому подансамблю, характеризующемуся волновой функцией $\varphi_{p_1}(x_2)$.

^{*)} Эта точка зрения на ψ -функцию последовательно проведена автором в новом издании его курса⁴⁰.

Поэтому изменение состояния второй частицы вызвано не изменением «сведений» о ней, а взаимодействием первой и второй частиц до измерения.

Если бы такого взаимодействия не было, то и изменения состояния первой частицы не оказывали бы влияния на состояние второй: $\psi(x_1, x_2)$ оставалась бы равной произведению $\psi^0(x_1)\varphi^0(x_2)$ и при любом измерении над первой частицей состояние второй неизменно было бы $\varphi^0(x_2)$.

В нашем примере особенно ясна сущность корреляции, обусловленной взаимодействием. Действительно, пусть до столкновения импульс первой частицы был p_1^0 , а второй — p_2^0 . Тогда если после столкновения импульс первой частицы равен p_1 , то в силу закона сохранения импульса импульс второй частицы обязан быть равным $p_2 = p_1^0 + p_2^0 - p_1$. Стало быть, $\varphi_{p_1}(x_2)$ есть волна де-Бройля с импульсом $p_2 = p_1^0 + p_2^0 - p_1$. Поэтому сортировка частиц 1 по их импульсам (p_1) есть в то же время сортировка по импульсу (p_2) частиц 2.

Мы видим, что субъективная трактовка волновой функции покоится на забвении её статистической сущности.

В этой же дискуссии А. Эйнштейн и его соавторы (см. цит. соч.⁴) высказали убеждение в неполноте квантовой механики. Именно они показали, что невозможно одновременно определить импульс p и координату частицы x , несмотря на то, что каждую из этих величин можно измерить, не влияя непосредственно на саму частицу. А Эйнштейн и соавторы рассматривают следующий пример.

Пусть волновая функция системы двух частиц имеет вид

$$\psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\frac{i}{\hbar} p(x_1 - x_2 + a)} dp = 2\pi\delta(x_1 - x_2 + a), \quad (4)$$

где a — некоторая постоянная. Пусть мы измеряем сначала импульс первой частицы p_1 . Из разложения (4) видно, что если этот импульс равен p , то импульс второй частицы $p_2 = -p$. Координата же x_2 остаётся полностью неопределённой. Вместо импульса мы могли бы также измерить координату первой частицы x_1 . Пусть $x_1 = x$; тогда из (4) следует, что $x_2 = x + a$, т. е. по этому измерению определяется координата второй частицы. Импульс же p будет неопределённым.

А. Эйнштейн и соавторы и делают отсюда вывод о неполноте квантовой механики, так как она не позволяет одновременно определить p и x у частицы даже и в том случае, когда p и x порознь определяются косвенно, без вмешательства прибора в состояние частицы (в нашем примере имеется в виду вторая

частица, измерение же с вмешательством происходит на первой частице).

В своём ответе А. Эйнштейну Н. Бор опровергает эту точку зрения на полноту квантовой механики. При этом Н. Бор исходит из принципа дополнительности. Он утверждает, что измерительные приборы в принципе всегда устроены так, что можно измерить только p или только x . Поэтому квантовая механика полна, так как она полностью соответствует возможностям измерительных макроскопических приборов. Этот ответ Н. Бора — только полуправда.

Беря в основу своего ответа принцип дополнительности, Н. Бор, естественно, выдвигает на первое место возможности измерительных приборов, в то время как суть дела заключается в новой природе объектов измерения — микрочастиц, к которым неприменимо классическое понятие движения по траектории.

Н. Бор оставляет в стороне статистическое толкование волновой функции. Л. И. Мандельштам¹⁸ показал, что в приведённом А. Эйнштейном примере речь идёт о разложении исходного ансамбля $\psi(x_1, x_2)$ на различные исключаяющие друг друга подансамбли (один раз по признаку p , другой раз по признаку x).

Изменение же состояния второй частицы, как мы это пояснили выше, связано не с воздействием прибора на эту частицу (которое в рассматриваемом примере отсутствует), а с корреляцией состояний обеих частиц, обусловленной их взаимодействием, имевшим место до измерения.

Таким образом, А. Эйнштейн и соавторы, критикуя квантовую механику в связи с невозможностью измерить p и x одновременно, даже в случае отсутствия прямого вмешательства прибора, упускают из вида принципиально иную природу микрочастиц; они незаконно предполагают, что микрочастицы не отличаются от классических частиц и только неидеальное вмешательство прибора является причиной соотношения неопределённости.

В своей более поздней статье⁷, посвящённой этому же вопросу, А. Эйнштейн повторяет свою ошибку. А. Эйнштейн рассматривает дилемму: либо а) частица имеет на самом деле p и x , но вмешательство прибора не допускает одновременного их измерения (тогда квантовая механика неполна, так как не даёт способа измерить то, что существует в природе); либо б) частицы на самом деле описываются ψ -функцией и не имеют в действительности ни p , ни x . Последние возникают только в определённой обстановке, например при измерении.

А. Эйнштейн отвергает возможность б) и склоняется к первой а). Именно, А. Эйнштейн находит противоречие между возможностью б) и принципом «близкодействия», о котором мы писали в главе III. Суть этого противоречия заключается в том, что если ψ -функция описывает состояние частицы, то это ψ может

быть изменено во всём пространстве измерением, произведённым в локальной области пространства.

На рис. 3 изображена ψ -функция некоторого состояния частицы. Допустим, что производится измерение координаты частицы и получается, что $x = x'$. Тогда такой частице отвечает новая волновая функция $\psi_{x'}(x) = \delta(x - x')$, изображённая на том же рисунке, т. е. волновая функция сводится в острый пик. Это сведение («редукция») означает, что процесс в точке x' (локализация частицы) «действует» на волну $\psi(x)$ во всём пространстве, т. е. нарушает закон близкодействия.

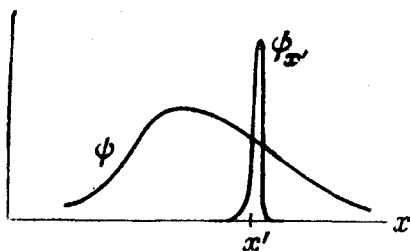


Рис. 3.

Придя к этому противоречию, А. Эйнштейн исключает эту возможность на том основании, что «идея существования замкнутых систем и вместе с тем установление эмпирически проверяемых законов, в „привычном смысле“ (подчёркнуто нами) делаются „невозможными“». Выше мы уже рассматривали эту сторону дела. Развитие науки в том и заключается, что «привычное» приходится заменять на «непривычное».

Легко видеть, в чём заключается ошибка в рассуждении А. Эйнштейна. Обсуждая альтернативную возможность (б), А. Эйнштейн, следуя копенгагенской школе, предполагает, что волновая функция есть характеристика индивидуальной частицы, частицы самой по себе. Исходя из этого неверного взгляда, он стремится придать ему физический смысл тем, что рассматривает волновую функцию как величину, характеризующую некоторое физическое поле, на которое возможно то или иное воздействие.

На самом же деле волновая функция есть статистическая характеристика принадлежности частицы к тому или иному ансамблю. Поэтому в природе никакого стягивания волновой функции, как реального физического процесса, не происходит. То, что происходит, относится к частице, имеющей материальную сущность*).

В приведённом выше примере происходит локализация частицы, которая делает частицу принадлежащей другому статистическому коллективу (коллектив с определённым значением x , равным x'). На языке волновых функций это означает, что частица описывается теперь новой волновой функцией. Физического же воздействия на волновую функцию нет и в помине.

*) Как мы увидим ниже, природа квантовой частицы действительно тесно связана с понятием поля, но только не с понятием «поля» волновой функции, дающей статистическую характеристику состояния частицы.

Между тем А. Эйнштейн как раз и рассматривает процесс стягивания волновой функции как процесс перетекания какой-то физической сущности, «флюида», из одной части пространства в другую. Поэтому А. Эйнштейн неверно трактует альтернативу (б) и неосновательно её отвергает. Эту же неверную трактовку альтернативы (б) даёт и Х. Рейхенбах⁷. Х. Рейхенбах также считает, что в стягивании волновой функции выявляется нарушение обычной причинности. Но различие точек зрения Х. Рейхенбаха и А. Эйнштейна заключается в том, что А. Эйнштейн отвергает возможность (б), как противоречащую, по его мнению, принципу близкодействия, а Х. Рейхенбах принимает эту возможность, и, вместо того, чтобы вскрыть физическую сущность этой постановки вопроса, заявляет о существовании аномалии и причинной связи, с которой следует согласиться де-факто. В этой связи Х. Рейхенбах объявляет о существовании нового принципа — «принципа каузальной аномалии» (охота же у буржуазных философов до «аномалий»).

Обсуждая редукцию волновой функции и отмечая возможность статистической интерпретации ψ -функции, он пишет (цит. соч., стр. 345): «Тогда прерывный переход от ψ к ψ' не представляет большей трудности, чем, скажем, прерывный переход от вероятности смерти двадцатилетнему человеку к вероятности смерти этого же человека при условии, что дополнительно известно, что он болен туберкулезом». (Видно, трудно выдумать в современном маршаллизованном обществе более популярный пример, чем смерть в двадцатилетнем возрасте от туберкулёза *.) Если же, говорит Х. Рейхенбах, ψ рассматривается как физическое состояние, тогда этот путь (интерпретация сведения ψ к ψ') закрыт.

Неправильность этой аргументации вытекает опять же из попытки приписать ψ -функцию одному электрону и рассматривать её как характеристику данного электрона, а не ансамбля, к которому он принадлежит.

Далее, Х. Рейхенбах отмечает (там же): «Вероятностная интерпретация ψ -функции, конечно, также имеет свои аномалии; они выражаются не во временном развитии ψ -функции, но в поведении частиц, поскольку эта интерпретация в её исчерпывающей форме тождественна с корпускулярной интерпретацией».

В этом утверждении Х. Рейхенбах, в сущности, повторяет вероятностное, статистическое понимание ψ -функции в духе альтернативы (а) А. Эйнштейна (частицы микромира понимаются как корпускулы с ρ и x , которые, однако, нельзя измерить).

*) Известен пример Е. Шредингера, в котором с помощью атомной физики отравляют синильной кислотой кошку. Больные туберкулезом молодые люди, дряхлые кошки и пр. и составляют теперь арсенал примеров буржуазных философов.

Между тем, особенность квантовой механики в том и заключается, что она непосредственно на языке статистики выражает закономерности, свойственные объектам иной природы, отличным от материальных точек классической теории.

В самом деле, приборы, как в классической физике, так и в современной атомной физике являются макроскопическими устройствами. Поэтому ясно, что суть различия классических и квантовых явлений коренится не в приборах как таковых, а в новой природе квантовых объектов.

А. Эйнштейн мог бы быть прав в смысле альтернативы (а), если бы действительно дело обстояло так, что современный физический эксперимент был бы недостаточен по точности для измерения «истинных», одновременных значений p и x .

На самом деле, современный физический эксперимент достаточно точен, чтобы доказать, что эта пара величин не осуществляется в природе одновременно.

Так, из рассеяния рентгеновских лучей или электронов на атомах можно найти распределение электронов внутри атома, т. е. $|\psi(r)|^2$, где r — расстояние электрона от ядра. Это распределение изображено на рис. 4. Такой эксперимент означает определение координат электронов внутри атомов. При этом энергия исходного состояния атома равна $E_0 = -\frac{e^2}{2a}$, где a — радиус орбиты по Бору.

Как показывают опыт и теория, находящаяся в соответствии с опытом (см. например, книгу автора¹⁰), значительная часть электронов оказывается находящейся на расстояниях r от центра таких, что потенциальная энергия электрона $U(r)$ оказывается больше полной его энергии E (эта часть электронов показана на рис. 4 заштрихованной площадью). Поэтому, если мы будем считать, что в этом состоянии электрон имеет помимо координаты ещё и импульс p , то так как полная энергия равна $E = \frac{p^2}{2m} + U(r)$, мы получим, что для $r \gg 2a$ $U = -\frac{e^2}{r}$ и $\frac{p^2}{2m} < 0$, т. е. импульс частицы — мнимый. Если же допустить, что E есть не

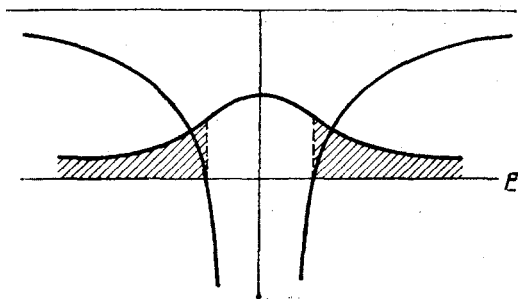


Рис. 4.

точное значение энергии, а лишь некоторое среднее из «истинных» значений энергии отдельных атомов, то тогда $\overline{\Delta E^2} = \overline{(E - E_0)^2} > 0$, т. е. существует разброс энергии около среднего значения E_0 . Нетрудно определить, что этот разброс ΔE по порядку величины равен E_0 . Но этот вывод полностью противоречит любому из опытов по определению энергии электрона в нижнем состоянии атома (энергии ионизации), которые показывают, что подобного разброса в значении энергии ионизации на самом деле нет.

Стало быть, наше предположение, что электрон в атоме, обладающий энергией $E = E_0$, имеет какие бы то ни было одновременные значения $x(r)$ и p противоречит экспериментальным данным. Микрочастицы не есть объекты, к которым применимо понятие движения по траектории.

Такое движение с квантовой точки зрения есть лишь частный случай движения, реализующийся приближённо только при некоторых определённых условиях.

4. О ПРИРОДЕ КВАНТОВЫХ ЧАСТИЦ *)

Вся совокупность известных фактов указывает на то, что частицы микромира отличаются от корпускул классической теории в гораздо большей степени, нежели это можно усмотреть из нерелятивистской квантовой механики. Можно утверждать, что эта последняя механика, в сущности, ещё только ставит проблему частиц и подготавливает позиции для новой концепции, но сама по себе ещё не решает этой проблемы.

Так как нерелятивистская квантовая механика имеет дело с ансамблями частиц с конечным и заданным числом степеней свободы (система бесспиновых частиц имеет, например, $3N$ степеней свободы, а частиц со спином — $4N$ степеней свободы), то она ещё остаётся очень похожей на механику системы материальных точек и поэтому многие склонны считать, что объект рассмотрения квантовой механики тот же, что и механики классической, и, что, мол, квантовая механика даёт лишь новый закон движения частиц. Это, однако, — глубоко ошибочный взгляд. Чтобы в этом убедиться, достаточно обратиться к области больших энергий (область релятивистской теории).

Опыт показывает, что системы с заданным числом частиц существуют лишь до тех пор, пока энергия движения частиц T мала по сравнению с их собственной внутренней энергией $m_0 c^2$ (m_0 — масса покоя, c — скорость света).

*) Более подробно этот вопрос освещён в статьях автора¹⁴; см. также 16.

Если энергия превышает эту величину, то само число частиц становится переменным.

Типичным примером такого процесса является каскадный процесс в мягкой компоненте космических лучей. Первичный фотон большой энергии порождает пару (позитрон и электрон). Частицы этой пары при дальнейшем движении порождают новые фотоны (тормозное излучение), эти фотоны превращаются в новые пары и т. д. В результате множится число частиц.

Если рассматривать весь процесс в целом, то мы имеем здесь дело с системой, обладающей неопределённым, в принципе как угодно большим, числом степеней свободы (т. е. число рождаемых частиц может быть неограниченно большим).

Подобные материальные системы называют полем. Раньше поле считали чем-то таким, через что осуществляется взаимодействие частиц, и противопоставляли его частицам. Это имело свои законные основания в том, что частицы считались неизменными. Физика рассматривала лишь изменения движения в системе из заданного числа частиц.

Поскольку теперь открыты явления, в которых изменяется само число частиц (они рождаются и уничтожаются, превращаясь в другие), то классическое деление на поле и на частицы, сохранённое и в нерелятивистской квантовой механике, становится несостоятельным.

Например, раньше предполагалось, что электромагнитное поле (фотоны) обуславливает взаимодействие электронов, но электроны, со своей стороны, не приводят к какому-либо взаимодействию фотонов. В настоящее время мы знаем, что фотоны могут взаимодействовать между собой через электроны, т. е. если раньше фотоны противопоставляли электронам как поле «истинным» частицам, то теперь такое противопоставление незаконно: электроны в свою очередь обуславливают взаимодействие фотонов и, следовательно, «истинные» частицы — электроны — играют роль поля для «эфемерных» частиц — фотонов.

Другой пример: мезоны могут рассматриваться как истинные частицы по отношению к фотонам, которые обуславливают электромагнитное взаимодействие мезонов (поле), но мезоны сами обуславливают взаимодействие более тяжёлых частиц — нуклонов и являются для этого взаимодействия полем (мезонным).

Поэтому разделение на частицы и поле становится необоснованным и имеет только относительное значение.

Понятие поля как материальной сущности с неограниченно большим числом степеней свободы, видимо, имеет более фундаментальное значение, нежели частицы, которые являются с этой точки зрения лишь частным проявлением поля.

Поле может передавать другому полю свой заряд, свою массу, энергию, импульс и т. п. только определёнными дискретными пор-

циями, которые мы и называем частицами. Частицы выступают в этом аспекте как определённые проявления полевых взаимодействий. Если мы говорим, что имеем дело с одной, двумя, тремя и т. д. частицами, то с «полевой» точки зрения это лишь различные ступени возбуждения поля.

Это возбуждение может быть локализовано в малой области или, напротив, занимать большую область пространства. В первом случае мы говорим: частица имеет координату, во втором говорим: координаты нет, она не имеет смысла.

Физическое содержание этого утверждения может быть иллюстрировано на примере фотонов (квантов света), которые имеют массу покоя, равную нулю, и поэтому при всех условиях являются частицами релятивистскими. К этим частицам вообще неприменимо понятие пространственной локализации (но оно применимо к возбуждению поля).

Если возбуждение поля $F(x)$ локализовано в некоторой области пространства ($\approx \Delta x$), то такое поле можно представить в виде суперпозиции волн

$$F(x) = \int_{k_0 - \Delta k}^{k_0 + \Delta k} A(k) e^{ikx} dk.$$

По известной теореме интервал волн Δk , существенно участвующих в суперпозиции волн, связан с областью локализации Δx соотношением *):

$$\Delta k \cdot \Delta x \geq 2\pi.$$

Из него следует, что чем меньше область Δk , в которой локализовано возбуждённое поле, тем шире набор волн, создающих это возбуждение. Но каждая волна с определённым k соответствует фотону одного сорта (сорта « k »). Поэтому локализованное поле не может быть осуществлено одним фотоном, а только набором фотонов. Таким образом возбуждение, соответствующее одному фотону, обязательно не локализовано (занимает большую область пространства).

То же самое должно относиться и к частицам с массой покоя, отличной от нуля. Если область локализации возбуждения, например электронного поля, мала по сравнению с $\Delta x = \frac{h}{m_0 c}$ (здесь h — постоянная Планка, m — масса покоя электрона, c — скорость света), то такое возбуждение не может быть осуществлено одним электроном или одним позитроном: число участвующих позитронов и электронов станет неопределённо большим.

Этот эффект известен под названием «поляризации вакуума».

*) Это соотношение применимо к любым волнам.

Современная теория частиц находится ещё в весьма зачаточной ступени своего развития. Изложенные выше соображения о природе частиц базируются частью на новых, экспериментально установленных фактах, частью на провизорных теориях. Поэтому весьма возможно, что понятие частицы как атомистического, квантового проявления поля не вполне адекватно действительной сущности микрообъектов. Тем не менее можно думать, что многие черты обрисованной выше концепции частиц сохранятся и в будущих теориях, более основательных, нежели существующие.

Эта мысль находит своё подтверждение в том обстоятельстве, что современная теория квантованного поля, несмотря на её достаточно известные несовершенства, в последние годы получила новые неожиданные подтверждения как раз в тех пунктах, которые считались до сего времени сомнительными.

Приведём здесь одно из них, представляющее особый интерес для рассматриваемого нами круга вопросов.

Известно, что теория квантованного электромагнитного поля приводит к существованию так называемого нулевого поля, т. е. поля без фотонов. Фотоны-частицы появляются лишь в результате возбуждения поля^{14,15}. Этот теоретический вывод указывает на аналогию между свойствами поля и твёрдого тела. В твёрдом теле, находящемся при абсолютном нуле температуры, существуют колебания вещества — нулевые колебания. При возбуждении (например, при нагревании) твёрдого тела в нём возникают волны, энергия которых изменяется порциями $\varepsilon = \hbar\omega$, а импульс — порциями $\mathbf{p} = \hbar\mathbf{k}$ (здесь ω — частота волны, \mathbf{k} — волновой вектор), причём $k = \frac{\omega}{v}$, где v — скорость звука, т. е. при возбуждении тела в нём появляются корпускулярные свойства, появляются частицы — «фононы», имеющие энергию ε и импульс \mathbf{p} . Никто никогда не сомневался в том, что и при отсутствии фононов, т. е. в своём нижнем энергетическом состоянии, твёрдое тело продолжает существовать. Между тем в отношении электромагнитного поля считали, что оно существует лишь постольку, поскольку существуют фотоны. Существование нулевого поля и его энергию были склонны рассматривать как лишний, не соответствующий действительности вывод теории.

Автором этой статьи ещё в 1938 г. было показано, что нулевые колебания поля, если они существуют, должны приводить к смещению уровней в атомах. Тогда же была получена качественно правильная формула для этого смещения. Более точно и последовательно этот вопрос был рассмотрен в последние годы рядом зарубежных учёных, причём предсказания теории оказались в полном согласии с опытом¹⁴.

Вопрос о реальном существовании фона также принадлежит к числу вопросов, по поводу которого нет полного единодушия

среди физиков. Такой фон способен, по аналогии с диэлектриком, поляризоваться. Поляризация должна была бы привести к рассеянию света на свете. Экспериментально это явление никому не удалось доказать ввиду его малости.

Однако было показано (см. ¹³), что поляризация фона (или как иногда говорят «вакуума») даёт определённый вклад в смещение уровней в атомах. Более доказательным является то обстоятельство, что в последнее время было показано экспериментально, что отношение магнитного момента электрона к механическому не вполне соответствует предсказываемому по теории Дирака, а отличается от него на $\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{e^2}{hc}$.

Если вычислить эту поправку, исходя из броуновского движения электрона в нулевом поле, то получается неверный знак поправки, и только учёт того, что помимо нулевого поля существуют ещё флуктуации поляризации фона, приводит к верному значению поправки. Этот результат указывает на реальное существование флуктуаций поляризации фона, а стало быть и самого фона. Современная теория не вполне верно описывает как поле нулевых колебаний, так и фон: энергия того и другого оказывается бесконечно большой. Остаётся также неясной связь различных полей.

Однако приведённые выше результаты теории, подтверждаемые опытом, указывают, что и нулевое электромагнитное поле и фон всё же существуют в действительности. А это означает, что то, что мы называем пустотой, на самом деле является некоторой средой. Назовём ли мы её по-старинному «эфиром» или более современным словом «вакуум», от этого суть дела не меняется. Эта среда имеет некоторые общие свойства с твёрдым диэлектриком. Разумеется, что эта общность свойств имеет значение лишь аналогии: «вакуум», конечно, не является ни твёрдым, ни жидким, ни газообразным телом, а обладает своей особой природой.

Вельтон дал очень наглядную интерпретацию рассматриваемого явления. (См. также более позднюю работу автора ¹³.) Именно он показал, что весь эффект смещения уровней вызван тем, что электрон под действием нулевых колебаний электромагнитного поля совершает броуновское движение, в силу чего изменяется среднее значение потенциальной энергии электрона по сравнению с тем, которое было бы в отсутствии нулевых колебаний. Отсылая читателя для более полного ознакомления с этим вопросом к обзору Я. А. Смородинского ¹⁶, мы обращаем внимание на то, что в результате названных работ можно считать установленным, что нулевые колебания электромагнитного поля действительно существуют, а вместе с тем существует и электромагнитное поле без фотонов, подобно тому, как существует твёрдое тело без фононов. Тем самым также доказано, что поле есть первичное и общее, а частицы, в данном случае фотоны, — вторичное и частное.

Аналогия с твёрдым телом продолжается и далее, если обратиться к позитронно-электронному полю. Хорошо известно, что энергетический спектр диэлектрика состоит из ряда полос («зон»), дозволенных и запрещённых энергией. В нормальном, невозбуждённом состоянии нижняя полоса полностью заполнена электронами. Если извлечь из неё один электрон и перевести в другую, верхнюю, зону, то возникает пара: электрон в верхней зоне и «дырка» в нижней зоне. Электроны, находящиеся в верхней зоне, приводят к нормальной электронной проводимости, а «дырки» в нижней зоне приводят к «дырочной» проводимости, соответствующей положительному знаку заряда носителей тока. Совершенно аналогичным образом в теории электронно-позитронного поля существует нижняя полоса ($E < -mc^2$), заполненная электронами (так называемый «фон»), и верхняя ($E > +mc^2$), нормально свободная. При возбуждении такого поля электрон из фона переходит в верхнюю зону, а в нижней зоне, в фоне, образуется «дырка», которая является позитроном.

Мы предприняли этот экскурс в область, в которую ещё нет торной дороги, а только едва намеченные и теряющиеся в неизвестном тропинки, для того чтобы показать, что современная физика не может пойти вспять, а, напротив, принуждена искать новых путей, ломающих рамки и самой квантовой механики.

Квантовая механика рассматривает чисто корпускулярные представления и понятия классического атомизма как приближённые. Но современной теории предстоит сделать новые шаги по пути дальнейшего развития понятия частицы, ещё более удаляющие нас от классической атомистики. На этом пути физик, наверно, встретится с новыми «странностями» и «необычайностями». Но глубоко прав В. И. Ленин, утверждая, что «как ни диковинно с точки зрения „здорового смысла“ превращение невесомого эфира в весомую материю и обратно, как ни „странно“ отсутствие у электрона всякой иной массы, кроме электромагнитной, как ни необычно ограничение механических законов движения одной только областью явлений природы и подчинение их более глубоким законам электромагнитных явлений и т. д., — всё это только лишнее подтверждение диалектического материализма»¹.

Из всего сказанного для нас важен основной вывод относительно частиц: частицы являются лишь возбуждениями «вакуума» или, можно сказать, нового квантового «эфира», который продолжает жить и тогда, когда никаких частиц нет: в нём флуктуирует электромагнитное поле и электрическая поляризация. Здесь нет покоя, а вечное движение, подобное зыби на поверхности моря.

С этой точки зрения кажется ясным также что никаких изолированных, предоставленных самим себе «свободных» (как говорят) частиц не существует. Даже в случае значительного удаления частиц друг от друга они всё же продолжают принадлежать породившей

их среде, находящейся в состоянии непрерывного, хаотического, «турбулентного» движения.

В этой связи частиц и среды и скрывается природа той невозможности изолировать частицу, которая проявляется в аппарате квантовой механики.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Ленин, *Материализм и эмпириокритицизм*.
2. *История ВКП(б)*, Краткий курс, стр. 101.
3. E. Schrödinger, *Abhandlungen über die Wellenmechanik*.
4. Н. Бор, *УФН*, **16**, 446 (1936).
5. В. Гейзенберг, *Физические принципы квантовой теории*, ГТТИ, 1932.
6. N. Bohr, *Atomtheorie und Naturbeschreibung*, J. Springer, Berlin (1931), стр. 62.
7. «*Dialectica*», № 7/8, 1948, стр. 312.
8. P. Jordan, *Physics of 20 th Century*, Phil. Lib. New York, 1944, стр. 160.
9. P. Jordan, *Anschauliche Quantentheorie*, J. Springer, Berlin, 1936, стр. 303.
10. Д. Блохинцев *Основы квантовой механики*, Гостехиздат (1949).
11. А. Иоффе. *Сборник, Основание новой механики*, ГИЗ, 1927, статья А. Гринберга.
12. Е. Шредингер, «Что такое жизнь?» ИЛ, 1947, стр. 123.
13. Д. И. Блохинцев, *ЖЭТФ*, **16**, 965 (1946).
14. Д. И. Блохинцев, *УФН*, **42**, 78 (1950); **44**, 104 (1951).
15. Я. И. Френкель, *УФН*, **42**, 69 (1950).
16. Я. А. Смородинский, *УФН*, **39**, 325 (1950).