

## Новые пути в физике

Эрвин Шредингер

Кто 20 или 25 лет тому назад на вопрос «что такое свет?» ответил бы, что световой луч состоит из летящих частиц, световых атомов, мог бы безнадежно провалить экзамен. Так же закончился бы экзамен для того, кто в то время назвал бы катодные лучи волнами в некоторой гипотетической среде.

И это было бы обоснованно. Кто хоть немного изучил физику, тот должен был знать, что красивые дифракционные и интерференционные явления устраняют всякое сомнение в волновой природе света. Ему должны были быть известны опыты по отклонению катодных лучей, из которых вытекало, что здесь идет речь об очень легких заряженных частицах, так называемых электронах. Достаточно часто учитель повторял: к сожалению, современная физика пользуется словом «лучи» для двух совершенно различных вещей, — для волновых лучей, в которых ничего в действительности не распространяется, кроме колеблющегося возмущения, и корпускулярных лучей, в которых в виде маленьких снарядов движутся атомы, молекулы, электроны.

Уже через несколько лет соискатель, назвавший свет корпускулярным излучением, был бы встречен несколько лучше. Ему бы сказали: «Вы имеете в виду эйнштейновские световые кванты?» — «Да». — «Скажите, а что побудило Эйнштейна выдвинуть эту гипотезу?» — «Главным образом фотоэлектрический эффект. Если свет коротких волн падает на чистую металлическую поверхность, из металла вырываются электроны, энергия которых зависит только от цвета (частоты) света, и не зависит от интенсивности света, как бы мала она ни была. Поэтому энергия света не может быть распределена равномерно по всему фронту волны, ибо тогда нужно было бы ждать годы, пока электрон получил бы от световой волны достаточную для отрыва энергию. Энергия должна быть сосредоточена на небольших участках, в узлах энергии, подобно тому, как это имеет место в корпускулярном излучении».

«Господин соискатель, вот этого я не понимаю. Если единичный световой импульс не будет обладать шириной волнового фронта минимум в  $2,5\lambda$ , то разрешающая способность большого 100-дюймового рефлектора обсерватории Маунт Вильсон будет не лучше, чем у самого маленького».

Возможно, тогда соискатель сказал бы тихо: «Да, этого я тоже не понимаю», — и в ответ бы услышал: «Summa cum laude»<sup>1</sup>. Вы полностью уловили современное состояние вопроса».

Подвожу итоги: в течение уже двух десятилетий все множатся доказательства, что свет обладает кажущимися, взаимно противоречивыми свойствами волнового и корпускулярного излучений.

Вернемся к соискателю, который назвал катодные лучи волнами. Десять, даже пять лет назад его выпроводили бы еще стремительнее, чем двадцать лет назад. «Разве вы не знаете, — сказали бы ему, — что сегодня уже исчезли последние сомнения в корпускулярной природе всех лучей этого вида (к ним относятся и катодные лучи) после того, как Резерфорд и Гейгер подсчитали вспышки, вызванные отдельными частицами на флуоресцирующем экране, а Ч. Т. Р. Вильсон сделал видимым путь отдельных частиц, который выглядит, как цепочка жемчуга из капель воды?»

Но за последние два — три года и здесь положение изменилось. В 1925 г. де Бройль чисто умозрительно высказал догадку, что летящий электрон сопровождается некоторой волной. Это предположение было выдвинуто, чтобы содействовать построению динамики атома. В этой области уже давно господствовало представление Резерфорда и Бора о положительном ядре, окруженном отрицательными электронами. Оно действовало неслыханно успешно и плодотворно, но к этому времени остановилось на мертвой точке. Чувствовалось, что эти электронные орбиты являются лишь символами, в действительности не существующими.

На основании рассуждений де Бройля была предпринята попытка совершенно отставить точечные электроны и рассматривать в окрестности ядер лишь чисто дебройлевский волновой процесс. Замечательным результатом этой попытки было устранение почти всех трудностей, с которыми в конце встретила теория Бора. В теории Бора принималось, что атом способен обладать только дискретными значениями энергии, так называемыми «уровнями», и что частота спектральных линий определяется разностью таких уровней, но для обоих этих постулатов нельзя было найти удовлетворительного обоснования. Теперь эти энергетические уровни определяются собственными частотами дебройлевского колебательного процесса — некоторой аналогией собственных частот звучащего колокола или мембраны. Испускаемые спектральные линии являются, так сказать, разностью тонов этих собственных колебаний.

Побуждаемые этим результатом, некоторые исследователи (Дэвиссон и Джермер и молодой Г. П. Томсон) приступили к выполнению опыта, за который еще несколько лет назад

---

<sup>1</sup> С высшей похвалой (*лат.*)

их бы поместили в психиатрическую больницу для наблюдения за их душевным состоянием. Но они добились полного успеха. Не вызывает сомнения, что им удалось получить интерференцию и дифракцию катодных лучей, а эти явления для света мы давно привыкли считать неопровержимым доказательством волновой природы последнего. Названные опыты показывают, что ширина фронта электрона должна равняться если и не 2,5 м, как у света, то во всяком случае нескольким сотням атомных диаметров. И это для электрона, положение и путь которого внутри атома раньше считали возможным точно описывать исключительно с корпускулярной точки зрения.

Эти важные теоретические и экспериментальные результаты приводят к следующему выводу: вообще существуют только волны. Как свет, так и то, что ранее принималось за частицы, на самом деле являются волнами. Значит, вообще не существует частиц; и материю, которую раньше считали состоящей из частиц, мы должны представлять себе как построенную из систем волн. Это в значительной мере способствовало бы достижению единства нашей картины мира. К сожалению, эту картину не удастся провести так радикально; за нее приходится расплачиваться чем-то, что в первый момент действует гораздо болезненнее, чем одновременное существование волн и частиц.

Но одно безусловно верно: новые опыты доказывают волновую природу так называемых электронов (и, конечно, всех частиц) так же убедительно, как аналогичные опыты со светом доказывают волновую природу света — именно также, но не более убедительно. Но если вспомним таинственную двойственную природу света, которую мы затронули в беседе с соискателем № 1, то мы иначе оценим новые результаты: как и в случае света, двойственная природа проявляется и у электронов (и вообще у частиц). Для них корпускулярный характер скорее бросается в глаза и потому был открыт раньше, а предрассудок, что волновой характер несовместим с корпускулярным, отодвинул открытие второго до 1925 г.

Конечно, достигается некоторое единство картины мира, но оно в высшей степени странное. Можно привести следующее сравнение: раньше мир был заселен людьми и лошадьми, теперь же мы имеем только один вид — кентавров.

Эта «кентавровая» природа содержит внутренние противоречия, которые при более близком рассмотрении кажутся неразрешимыми. Но они ведь вытекают из совокупности наших наблюдений, а правильные наблюдения не могут быть внутренне противоречивыми. Как же получается, что возникает представление, будто их нельзя объединить в непротиворечивую картину?

Надо сказать, что картина природы, которую мы себе составляем на основе наших наблюдений, содержит значительно больше, чем непосредственно дают эти наблюдения. Обычно стремятся включить в нее показания всех вообще возможных наблюдений. Назовем

их виртуальными наблюдениями. И если нам решительно не удастся на основе данных действительных наблюдений получить свободную от противоречий картину природы, то это может произойти — поскольку действительные наблюдения не могут противоречить друг другу — только вследствие противоречия между наблюдениями действительными и виртуальными. Причина мысленных трудностей, над которыми мы бьемся, может заключаться только в том, что, подчиняясь какому-то предрассудку, по привычке или вследствие склонностей, мы при образовании представлений о природе чувствуем себя обязанными принимать во внимание определенные виртуальные наблюдения, которые в самом деле принципиально неосуществимы. Назовем такие наблюдения мнимыми. Если не запутаться в противоречиях, то нам не мешает, если наша картина даст правильные ответы не только на все действительно выполненные и на все виртуальные наблюдения, но и на некоторые мнимые, которые нельзя считать ни верными, ни ошибочными. Это будет известным балластом, но мы можем принести эту жертву нашим привычкам и склонностям. Но если этот балласт будет препятствовать формированию картины, он должен быть выброшен.

В рассматриваемом случае мешающий балласт видится в том, что по привычке мы требуем от любой картины природы, чтобы она полностью и однозначно до мельчайших подробностей удовлетворяла схеме наших представлений о пространстве и времени. Совершенно ясно, что при такой полной однозначной детализированной наглядности картины, которой мы до сих пор считали необходимым следовать, вносилось множество виртуальных деталей наблюдений. До сих пор мы считали несомненным, и не только несомненным, но и обязательным требование, чтобы все случающееся было полностью и однозначно определено до мельчайших деталей в пространстве и во времени. Это оставалось верным, если встречающиеся виртуальные детальные наблюдения были принципиально осуществимы.

Но на самом деле уже с 1900 г. имелись серьезные основания сомневаться в возможности столь детализированного наблюдения. Тогда Планк сделал основополагающее теоретическое открытие, что материальная система в общем может менять свою энергию только конечными (хотя и очень маленькими), но не произвольно малыми порциями. Следовательно, каждое наблюдение является дискретным актом, ибо оно необходимо связано с обменом энергией между измерительным прибором и наблюдаемым объектом природы. Значит, в тех пределах, в которых справедливо основное предположение квантовой теории, бесконечно точные наблюдения невозможны и не должны содержаться в нашей картине мира. Возможно, они не имеют права на это, если из-за них картина упустит другие обстоятельства.

Познание этого факта, которым мы обязаны Гейзенбергу, очень глубоко затрагивает нашу физическую картину мира; оно вообще меняет наше представление о том, что надо понимать под физической картиной мира. Оно затрагивает, возможно, и принцип каузальности,

потому что может случиться, что даже мыслимое полным наблюдение не позволит предсказать однозначно общее состояние мира в определенный момент предстоящего изменения. Но если вы ожидаете, чтобы я на основании этого вновь познанного факта сразу же разрешил противоречие волна — частица, т. е. «кентавровое» понимание, то я вас должен разочаровать: так далеко мы еще не продвинулись. Оба представления возникли еще до этого нового познания, они должны претерпеть в новом свете еще основательную метаморфозу, прежде чем объединиться. Но можно, по-видимому, добавить еще следующее.

Новый теоретико-познавательный принцип утверждает: понятия — «локализуемое детально в пространстве и времени» и «наблюдаемое» — не тождественны, как думали раньше. Представление о волне является символом или представителем детально локализуемого, сгустком наших стремлений, нацеленных в этом направлении. Частица (электрон, световой квант и т. д.) является символом малого, но всегда конечного акта наблюдения. Волны нельзя непосредственно наблюдать, частицы нельзя детально локализовать. Может быть, дозволено сказать так: частица находится где-то в волне, она может проявиться вдруг в некотором дискретном акте наблюдения — это единственное, чем волна вообще становится доступной наблюдению. Но, с другой стороны, может быть, следует говорить так: своим пространственно-временным распределением точно локализуемая в пространстве и времени волна выражает все, что вообще можно высказать о месте и скорости частицы, и в самой природе вещей заложена некоторая расплывчатость этого высказывания.

Но то, что важнее этих частных толкований, над которыми еще сильно довлеет старый образ мышления, надо запомнить:

Очень вероятно, что в дилемме волна — частица проявляется важнейший, основополагающий новый принцип — нетождественность понятий «детально локализуемое в пространстве и времени», с одной стороны, и «наблюдаемое», с другой стороны.

1928

*Перевод с нем. А. М. Френка*