

Длина волны квантовой частицы обратно пропорциональна ее импульсу.

Один из фактов субатомного мира заключается в том, что его объекты — такие как электроны или фотоны — совсем не похожи на привычные объекты макромира. Они ведут себя и не как частицы, и не как волны, а как совершенно особые образования, проявляющие и волновые, и корпускулярные свойства в зависимости от обстоятельств (с

М. Принцип дополнительности). Одно дело — это заявить, и совсем другое — связать воедино волновые и корпускулярные аспекты поведения квантовых частиц, описав их точным уравнением. Именно это и было сделано в соотношении де Бройля.

Луи де Бройль опубликовал выведенное им соотношение в качестве составной части своей докторской диссертации в 1924 году. Казавшееся сначала сумасшедшей идеей, соотношение де Бройля в корне перевернуло представления физиков-теоретиков о микромире и сыграло важнейшую роль в становлении квантовой механики. В дальнейшем карьере де Бройля сложилась весьма прозаично: до выхода на пенсию он работал профессором физики в Париже и никогда более не поднимался до головокружительных высот революционных прозрений.

Теперь кратко опишем физический смысл соотношения де Бройля: одна из физических характеристик любой частицы — ее *скорость*. При этом физики по ряду теоретических и практических соображений предпочитают говорить не о скорости частицы как таковой, а о ее *импульсе* (или *количестве движения*), который равен произведению скорости частицы на ее массу. Волна описывается совсем другими фундаментальными характеристиками — длиной (расстоянием между двумя соседними пиками амплитуды одного знака) или частотой (величина, обратно пропорциональная длине волны, то есть число пиков, проходящих через фиксированную точку за единицу времени). Де Бройлю же удалось сформулировать соотношение, связывающее импульс квантовой частицы

p
с длиной волны λ , которая ее описывает:

$$p = h/\lambda \quad \text{или} \quad \lambda = h/p$$

где h — постоянная Планка.

Это соотношение гласит буквально следующее: при желании можно рассматривать квантовый объект как частицу, обладающую количеством движения p ; с другой стороны, ее можно рассматривать и как волну, длина которой равна λ и определяется предложенным уравнением. Иными словами, волновые и корпускулярные свойства квантовой частицы фундаментальным образом взаимосвязаны.

Соотношение де Бройля позволило объяснить одну из величайших загадок зарождающейся квантовой механики. Когда Нильс Бор предложил свою модель атома (с

М.
Атом Бора), она включала концепцию *разрешенных орбит*

электронов вокруг ядра, по которым они могли сколь угодно долго вращаться без потери энергии. С помощью соотношения де Бройля мы можем проиллюстрировать это понятие. Если считать электрон частицей, то, чтобы электрон оставался на своей орбите, у него должна быть одна и та же скорость (или, вернее, импульс) на любом расстоянии от ядра.

Если же считать электрон волной, то, чтобы он вписался в орбиту заданного радиуса, надо, чтобы длина окружности этой орбиты была равна целому числу длины его волны. Иными словами, окружность орбиты электрона может равняться только одной, двум, трем (и так далее) длинам его волн. В случае нецелого числа длин волны электрон просто не попадет на нужную орбиту.

Главный же физический смысл соотношения де Бройля в том, что мы всегда можем определить разрешенные импульсы (в корпускулярном представлении) или длины волн (в волновом представлении) электронов на орбитах. Для большинства орбит, однако, соотношение де Бройля показывает, что электрон (рассматриваемый как частица) с конкретным импульсом не может иметь соответствующую длину волны (в волновом представлении) такую, что он впишется в эту орбиту. И наоборот, электрон, рассматриваемый как волна определенной длины, далеко не всегда будет иметь соответствующий импульс, который позволит электрону оставаться на орбите (в корпускулярном представлении). Иными словами, для большинства орбит с конкретным радиусом либо волновое, либо корпускулярное описание покажет, что электрон не может находиться на этом расстоянии от ядра.

Однако существует небольшое количество орбит, на которых волновое и корпускулярное представление об электроне совпадают. Для этих орбит импульс, необходимый для того, чтобы электрон продолжал движение по орбите (корпускулярное описание), в

точности соответствует длине волны, необходимой, чтобы электрон вписался в окружность (волновое описание). Именно эти орбиты и оказываются *разрешенными* в модели атома Бора, поскольку только на них корпускулярные и волновые свойства электронов не вступают в противоречие.

Мне нравится еще одна интерпретация этого принципа — философская: модель атома Бора допускает только такие состояния и орбиты электронов, при которых не важно, какую из двух ментальных категорий человек применяет для их описания. То есть, иными словами, реальный микромир устроен так, что ему нет дела до того, в каких категориях мы пытаемся его осмыслить!