

Корпускулярно-волновой

дуализм

Луи де Бройля.

The background features several sets of concentric circles in a lighter blue shade, resembling ripples on water, positioned in the lower right quadrant of the slide.

Гейзенберг родился в тот год, когда была напечатана знаменитая работа Планка. Когда он заканчивал гимназию, его родина Германия воевала со всем миром: с Россией — родиной Менделеева, с Англией — родиной Резерфорда, с Францией, где в 1892 г. родился принц Луи Виктор де Бройль (1892—1987) — потомок королей и будущий Нобелевский лауреат. Как и многие в то время, де Бройль воевал и лишь после войны стал работать в лаборатории своего старшего брата Мориса, который изучал рентгеновские спектры элементов. Кроме того, Морис был лично знаком с большинством ведущих физиков того времени, и в его лаборатории не только хорошо знали работы Бора, но, и были в курсе всех последних событий в атомной физике.

Луи де Бройля занимал все тот же вопрос: «Почему атомы устойчивы? И почему на стационарных орбитах электрон не излучает?» Первый постулат Бора выделял эти орбиты из набора всех мыслимых орбит квантовым условием, которое связывает радиус орбиты  $r$ , скорость  $v$  и массу  $m$  электрона с целым числом  $n$  квантов действия  $\hbar = h\pi$ :

$$mvr = n\hbar$$

Де Бройль хотел найти разумные основания для этого условия, то есть стремился объяснить его с помощью других, более привычных понятий, или, другими словами, пытался понять его физический смысл.

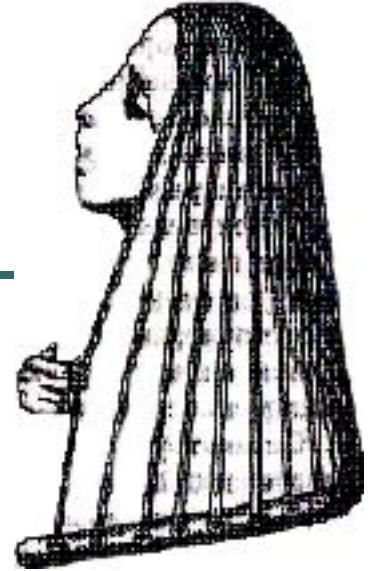
Когда ищут объяснение непонятым фактам, как правило, прибегают к аналогиям. Точно так же поступил и де Бройль. В поисках выхода из тупика противоречивых представлений об атоме он догадался, что трудности эти сродни тем, которые возникли при попытках понять противоречивые свойства света. Со светом дело запуталось окончательно в 1923 г., когда Артур Комптон поставил свой знаменитый опыт и доказал, что рассеяние рентгеновских лучей на электронах несколько не похоже на рассеяние морских волн, зато в точности напоминает столкновение двух бильярдных шаров, один из которых — электрон с массой  $m$ , а другой — световой квант с энергией  $E = h\nu$ .

После опыта Комптона и объяснения, данного им самим и Петером Йозефом Вильгельмом Дебаем (1884—1966), уже нельзя было сомневаться в том, что в природе реально существуют световые кванты — фотоны с энергией  $E = h\nu$ , импульсом  $p = h\nu/c$  и длиной волны  $\lambda = c/\nu$ , которой эти кванты соответствуют. Ни де Бройль, ни его современники не могли объяснить, что означают слова: «световые кванты соответствуют световой волне». Однако у них не было оснований подвергать сомнению эксперименты, из которых следовало, что в одних условиях световой луч ведет себя как волна с длиной  $\lambda$  и частотой  $\nu$ , а в других — как поток частиц — фотонов с энергией  $T = h\nu$  и импульсом  $p = h/\lambda$ , (раньше их называли корпускулами). Года через три-четыре все поймут, что это явление — лишь частный случай всеобщего корпускулярно-волнового дуализма в природе, но в то время де Бройлю пришлось находить верную дорогу ощупью.



Де Бройль верил в единство природы, верил искренне и глубоко — как все великие ученые до него. Поэтому он не мог допустить, что луч света — нечто особенное и ни на что другое в природе не похожее. Де Бройль предположил: не только луч света, но и все тела в природе должны обладать и волновыми, и корпускулярными свойствами одновременно. Поэтому, кроме световых волн и частиц материи, в природе должны реально существовать и корпускулы света, и волны материи. Такое простое и сильное утверждение трудно понять — на это способен лишь непредвзятый ум, привычный к абстрактному мышлению. И вряд ли можно это наглядно представить — природа, доступная восприятию наших пяти чувств, не создала зримых образов, которые помогли бы в этих усилиях. В самом деле, при слове «частица» вам может прийти на память все, что угодно — песчинка, бильярдный шар, летящий камень, но вы никогда не вспомните морские волны или колеблющуюся струну. Для нормального человека это настолько несовместимые образы, что объединить их в один кажется противоестественным. Всякий рассказ о рождении новой физической теории заведомо неточен даже в устах ее автора: такой рассказ, как правило, использует готовые понятия, которых в момент создания теории не было. У ныне живущих физиков понятие «волна материи» вызывает в сознании некий сложный образ, который ни с чем привычным в окружающем нас мире сравнить нельзя. Образ этот складывается постепенно, при работе с формулами квантовой механики, при решении квантовых задач, и рассказать о нём словами довольно трудно. Понятно, что такого сложного и совершенного образа в 1923 г. у де Бройля не было. Чтобы пояснить его тогдашние рассуждения, мы также используем подходящий заменитель, а именно образ волны которая возникает при колебаниях струны.

При колебаниях струны мы слышим основной тон – такое колебание, когда вся струна, колеблется как одно целое. Однако, при её возбуждении возникают и дополнительные колебания – обертоны. Картина колебаний усложняется, на струне появляются «узлы», то есть такие точки, которые остаются неподвижными: в процессе колебания. Но всегда строго соблюдается одно условие: на длине струны уместится целое число полуволн  $\lambda/2$ . Для основного тона на длине струны укладывается ровно половина волны  $\lambda/2$ . Для первого обертона — две половины волны между которыми расположен неподвижный «узел», и т.д.



Дальнейшее – сравнительно просто. Свернем наши струны в кольцо и представим себе что это орбиты электрона в атоме. Теперь заменим движение электрона по ним колебаниями волн, которые соответствуют электрону», – де Бройль был убежден, что это разумно, – и предположим, что движение электрона будет устойчивым тогда – и только тогда! когда на длине орбиты укладывается целое число  $n$  «волн электрона»  $\lambda$ . Отсюда следует простое условие:

$$2 \pi r = n \lambda$$

Теперь достаточно сравнить это условие с первым постулатом Бора

$$2 \pi m v r = n h$$

и найти отсюда «длину волны электрона»:

$$\lambda = h/mv$$

Вот и все. Это действительно просто. Но это так же просто, как формула Планка  $E = h\nu$ , как постулаты Бора, как закон всемирного тяготения Ньютона, - это гениально просто. Такие открытия просты, ибо требуют самых простых понятий. Но они меняют самые основы нашего мышления. В истории развития человеческого духа их считанное число. И никогда нельзя до конца понять, как они были совершенны. Это - всегда чудо, объяснить которое не под силу даже самим создателям. Они могут лишь вслед за Ньютоном повторить: «Я все время об этом думал».

Де Бройлю было 30 лет, когда он нашел свою формулу. Но искать ее он начал за двенадцать лет до этого - с тех самых пор, как его брат Морис приехал из Брюсселя, где он был секретарем I Сольвеевского конгресса. Того самого конгресса 1911 г., на котором Планк рассказал о развитии «гипотезы квант». Значительность открытий, живые впечатления старшего брата от общения с великими физиками настолько поразили воображение младшего, что он не смог забыть их даже на войне. Постоянное напряжение мысли разрешилось, наконец, в 1923 г. гипотезой о волнах материи. Теперь де Бройль смог дать новое определение понятию «стационарная орбита»: это такая орбита, на которой укладывается целое число «волн электрона»  $\lambda = h/mv$ .



Если это действительно так, то проблемы устойчивости атома не существует, ибо в стационарном состоянии он подобен струне, колеблющейся в вакууме без трения. Такие колебания не затухают, а потому без внешнего воздействия электрон останется в стационарном состоянии навсегда. Самое трудное — высказать гипотезу. Это всегда процесс нелогический. Но как только она высказана, законы логики позволяют извлечь из нее все следствия. Главное из них очевидно: если «волны материи» существуют, то их можно обнаружить и измерить. Через четыре года их действительно нашли и доказали их реальность с той степенью строгости, которая принята в физике.

Свои формулы де Бройль написал за два года до работ Гейзенберга и Шрёдингера. Их простота и прозрачность основной идеи очень напоминали постулаты Бора, идеи де Бройля ещё не давали теории атома — для этого их необходимо было записать на языке уравнений. Когда Вернер Гейзенберг создал матричную механику, он тем самым превратил идеи Бора в точные формулы и строгие уравнения. Идеи де Бройля стали началом волновой механики, которую создал Эрвин Шрёдингер.