

В ШКОЛЕ ТЕБЕ ВРЯД ЛИ РАССКАЖУТ О КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ, ПОЭТОМУ ВОСПОЛЬЗУЙСЯ УДОБНЫМ СЛУЧАЕМ И ПОГРУЗИСЬ В НЕВЕРоятный МИР МИКРОЧАСТИЦ.

## Часть первая

☞ Фабрис Нико, Иллюстрации: Малики

# ОСНОВЫ

# КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

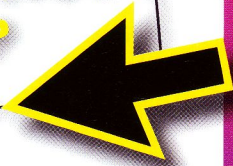
Совершаем мягкую посадку в неведомый мир. Есть контакт! Можно расслабиться, снять ремень безопасности и... забыть о законах классической физики; там, где мы оказались, они не действуют...



## Что такое «квантовый»?

**Д**авай возьмем быка за рога и сразу же постараемся понять смысл странного слова «квантовый». Его придумал в 1900 году один из создателей квантовой теории Макс Планк (1858–1947), оттолкнувшись от латинского слова *quantum*, означающего «количество». В квантовой физике это важнейший вопрос, ведь в ней постоянно определяется количество, то есть всё «квантуется!». Представь на минуту, что квантовая физика вошла в твою повседневную жизнь. Допустим, ты хочешь кусочек пиццы. Казалось бы, чего проще... А вот и нет! Тут надо подходить с умом! Можно взять один квант пиццы. Это будет, скажем, кусочек весом 100 г. Ах, ты голоден? Ну тогда возьми два кванта, то есть 200 г. Это уже много? Увы, 150 г здесь не выдают, так как половины порции в квантовом мире... не существует! И точно так же во всём. Например, скорость. Ты можешь разогнаться на квантовом велосипеде лишь до скорости, кратной кванту; то есть если квант равен 10 км/ч, то до 10, 20, 30 км/ч и так далее... Набрать любую из этих скоростей – пожалуйста! И с нее ты будешь сразу перескакивать на следующую. А вот покататься со

НЕ ХОЧЕШЬ  
ЛИ КВАНТИК  
ПИЦЦЫ?



ХА!



# ВИКИ

скоростью 8,15 или 21 км/ч не получится. Квантовый мир прерывистый, или, как говорят физики, дискретный. Примеры дискретности можно увидеть и в обычном, не квантовом, мире. Вот взять хотя бы иллюстрацию в журнале. Если смотреть на нее невооруженным глазом, ты увидишь портрет или какой-нибудь красивый пейзаж... А если взглянуть на ту же картинку через лупу, то перед тобой предстанет множество крошечных точек, являющихся базовым элементом любого цифрового изображения. И даже кудрявые облака превратятся в ряды маленьких точек: *непрерывный* мир станет *дискретным*.

Отправляясь в квантовый мир, приготовься видеть всё дискретным, а вместо картинок любоваться пикселями. Тебя уже не пугает слово «квантовый»? Тогда продолжим путешествие. Вперед, навстречу дискретности! Только вместо пикселей нас с тобой ждут атомы.

## Где действует квантовая физика?



**Ее** царство бесконечно мало и в то же время безгранично огромно. Дело в том, что, с одной стороны, законы квантовой физики касаются самых микроскопических кирпичиков материи: атомов и элементарных частиц. Достаточно сказать, что диаметр атома равен одной десятой от миллиардной части метра! А что каса-

ется элементарных частиц, таких, как электроны, – о них мы сейчас поговорим подробно, – то они столь крошечные, что об их размерах даже рассуждать смешно. Вот почему мир квантовой физики – это мир необычайно малых величин. А с другой стороны, границ у этого мира нет, ведь вся существующая материя состоит из атомов, а значит, квантовая физика действует во всей Вселенной.

## ЭЛЕКТРОНЫ, ФОТОНЫ, КВАРКИ, НЕЙТРИНО, МЮОНЫ...

Итак, главные герои квантовой физики – атомы и элементарные частицы. Об атомах ты уже наверняка слышал: водород, гелий, азот, кислород, углерод... Все они устроены одинаково: более или менее крупное ядро, а вокруг туча электронов. Электрон – самая маленькая и неделимая частица. Другая известная частица, с которой нам надо познакомиться поближе, называется фотоном. Хоть и маленькая, но настоящая звезда! Всегда в свете! И это для нее обычное состояние, ведь она и есть свет. Луч солнца на твоём

лице состоит из миллиардов миллиардов фотонов, эти они согревают тебя и ласкают кожу, крошечные сгустки чистой энергии, такие же невидимые, как электроны. В семейство элементарных частиц входят также кварки, нейтрино, мюоны... всего их в списке около двадцати, а физики продолжают искать им новых родственников в удивителях частиц.

## Можно ли разобраться в квантовой физике?



**«К»** вантовые объекты ведут себя как ненормальные!» Между прочим, это сказал Ричард Фейнман (1918–1988), лауреат Нобелевской премии! Да, квантовая физика – штука непростая, поскольку она бросает вызов здравому смыслу. Мир элементарных частиц настолько отличен от того, в котором мы живем, что ►►

► нам действительно трудно в нем разобраться.

Наблюдать за поведением частиц – то же самое, что слушать иностранную речь, не имея под рукой словаря. Понять что-либо крайне трудно! Тем более, если этот язык имеет мало общего с нашим.

Сравним квантовую физику с классической, то есть с той, с которой мы сталкиваемся на каждом шагу. Кстати, про «сталкиваться». Ты ведь не будешь с разбега бросаться на стену, да? Понимаешь, что можно больно удариться, даже и не задумываясь, что удар о стену произойдет в полном соответствии с 3-м законом Ньютона (действия и противодействия). Просто тебе это подсказывает твоя интуиция, здравый смысл. А вот будь ты частицей, подчиняющейся законам квантовой физики, то без труда прошел бы сквозь стену, так как элементарным частицам подобные чудеса не возбраняются. Или, допустим, мог бы вернуться домой через дверь и через окно... одновременно. Что, удивлен? Вот и славно! Тогда добро пожаловать в квантовый мир! Я уверен, что теперь ты лучше понимаешь слова Ричарда Фейнмана о ненормальных частицах. Впрочем, спешим тебя успокоить, квантовый мир хоть и сложен, но у него есть свои законы и своя логика. И упомянутая выше фраза Фейнмана в полном виде звучит так: «Квантовые объекты ведут себя как ненормальные, но по крайней мере на один и тот же манер».

## Портрет частицы, или в чем главная сложность

**Ч** то общего между бильiardным шаром и океанской волной? В нашем обычном мире – ничего!

Сам подумай, если бильiardный шар стукнет тебя по голове, он сразу упадет на землю, а ты вскрикнешь от боли! А если набежит и ударит волна, то она лишь поднимет тебя и поставит на место, а сама продолжит свое движение, как будто тебя и не было. Короче, и сравнивать нечего! А вот элементарные частицы, тот же электрон, являются одновременно и твердым телом, и волной. И ведут себя соответственно то так, то эдак. Первым это понял французский физик Луи де Бройль, и произошло это в 1924 году. Каким образом де Бройль пришел к таким выводам?

### АТОМЫ ГЛОТАЮТ ФОТОНЫ ИЛИ ИХ ВЫПЛЕВЫВАЮТ

В 1910 году физики решили, что строение атома для них больше не секрет: ядро и электроны уподобились в их глазах Солнцу с вращающимися вокруг планетами. Оставалось лишь как-то связать эту модель с недавними открытиями Макса Планка, который понял, что атомы поглощают или излучают строго

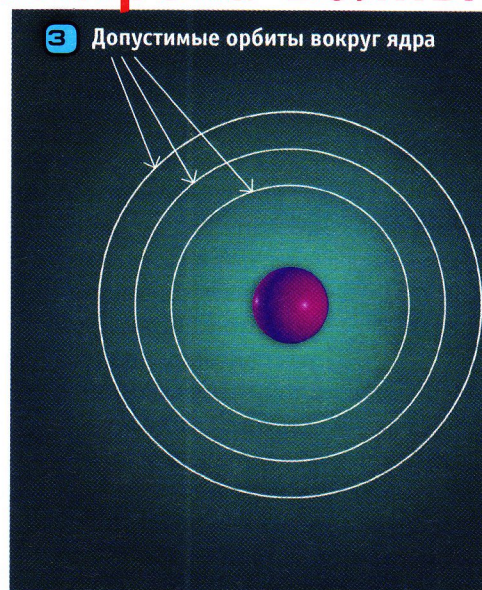
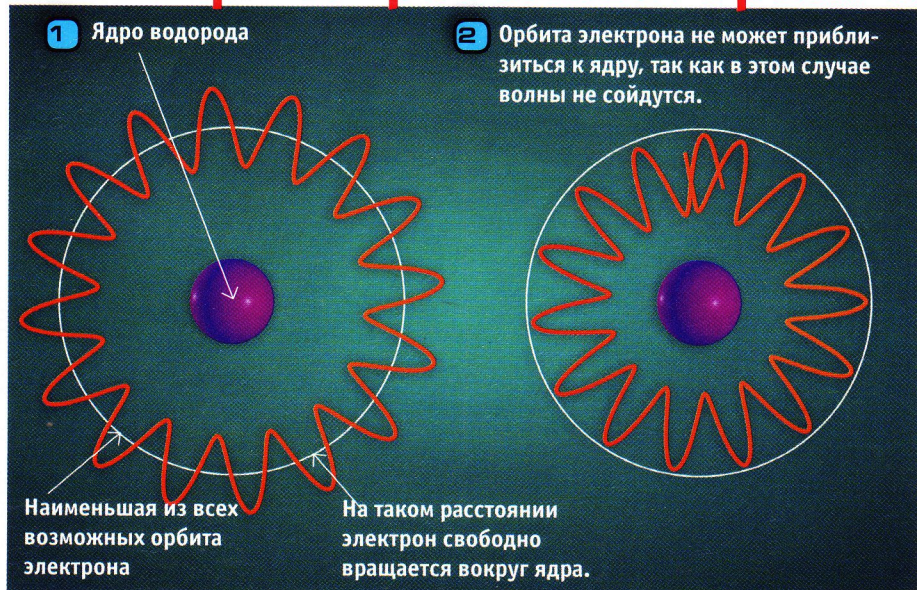
## ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА

В 1926 году, когда Вернер Гейзенберг открыл свой знаменитый принцип квантовой механики, ему было всего лишь 25 лет. Суть принципа заключается в том, что для каждой конкретной частицы невозможно дать одновременно точное определение двух ее физических параметров, например, высчитать скорость и координаты в пространстве. Чем точнее определяешь один из параметров, тем сложнее узнать второй. Допустим, тебе звонят друзья и говорят: «Будем через минуту. Мы в ста метрах от тебя». Так вот, если бы мы жили в квантовом мире, их скорость ты не смог бы определить. Принцип Гейзенберга свидетельствует о том, что в странном мире квантовой физики понятия «местоположение» и «траектория» не имеют смысла. Известен забавный случай, когда Гейзенберг перенес квантовые законы и в наш реальный мир. Однажды этого ученого остановил полицейский и принялся ему выговаривать: «Вы что, с ума сошли? Знаете, с какой скоростью вы сейчас ехали?» На что Гейзенберг спокойно ответил: «Нет, не знаю, зато мне прекрасно известно, где я сейчас нахожусь!»

определенное количество энергии.

Другой же физик, датчанин Нильс Бор, установил, что главным «виновником» поглощения и излучения являются электроны. И дал примерно следующее описание атома водорода (поскольку он самый простой из всех: ядро и единственный электрон): итак, в центре

## Тайна фиксированных орбит электрона-волны





**ЭЛЕКТРОНЫ  
РАПОЛАГАЮТСЯ  
НА ОРБИТАХ  
КАК  
НА ПОЛОЧКАХ**

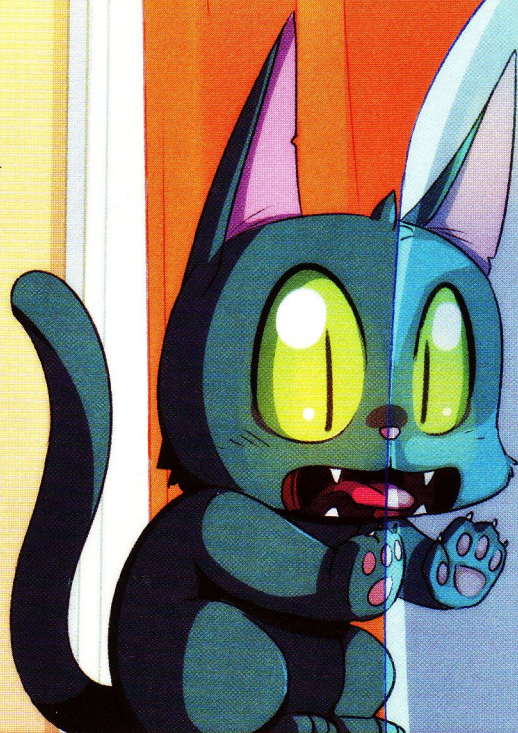
находится ядро, а вокруг него – ряды «полочек», расположенные на раз и навсегда фиксированных расстояниях. Электрон занимает самую низкую полочку. Однако стоит ему поглотить фотон с определенной дозой энергии (то есть квант), то он, как говорят в таких случаях, возбуждается и забирается на полочку повыше. Если попадетсся другой фотон, то электрон – хоп! – и скакнет еще выше. А в случае, если электрон начнет отдавать фотоны, он пустится в обратный путь, и это будет сопровождаться свечением атома.

### **КОКТЕЙЛЬ ИЗ ДВУХ ФИЗИК, КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ**

Данное Бором описание подтверждалось экспериментальными наблюдениями. Казалось бы, чего же еще желать? И тем не менее атом Бора не давал покоя исследователям. Уж больно странная смесь получилась: что-то от классической физики (электроны вокруг ядра), а что-то от квантовой (четко фиксированные орбиты, как

у планет вокруг Солнца). Как такое можно представить? Согласно законам классической физики, электроны в результате постоянного вращения вокруг атома должны рано или поздно исчерпать всю свою энергию и в конце концов упасть на ядро. Однако ничего подобного, разумеется, не происходит, иначе уже давным-давно в космосе не осталось бы ни одного атома! И как же тогда объяснить эти устойчивые орбиты? Вот тут-то в дело и вмешался Луи де Бройль со своей теорией электрона-волны. Чтобы понять ее суть, взгляни на схему слева **1**. Лента «серпантина» вокруг ядра изображает электрон-волну. Расстояние между двумя вершинами кривой называется длиной волны, и это главная характеристика электрона, его, если так можно выразиться, ДНК. Каждый электрон-волна имеет определенную длину волны, которая зависит от количества таящейся в ней энергии. Чем энергии больше, тем короче длина волны. А теперь немного поиграем... Представь, что у тебя есть полный на-

бор таких волн, и их надо разложить, наподобие пазла, волна к волне, так, чтобы они выстроились кольцом вокруг атома. Но будь внимателен, волны не должны прерываться и накладываться друг на друга (как это получилось на рисунке **2**), линия должна быть непрерывной, иначе как электрон будет вращаться вокруг ядра? И как ты поступишь в такой ситуации? Скорее всего, ты попытаешься найти, на каком расстоянии от центра следует разложить волны, чтобы они все поместились. А с конкретным набором волн решение может быть только одно. Выходит, наличие у электронов фиксированных «полочек» **3** легко объяснить, если считать электрон волной! Так родилась корпускулярно-волновая (то есть твердое тело плюс волна) теория, которую и предложил де Бройль для описания своей модели электрона. И его поддержали многие физики, и не только поддержали, но и пошли дальше: все элементарные частицы и даже сами атомы, утверждают они, могут быть рассмотрены в качестве волн! ►►



БУДЬ ТЫ ЧАСТИЦЕЙ  
И ВОЛНОЙ В КВАН-  
ТОВОМ МИРЕ, ТЫ  
БЕЗ ТРУДА ПРОШЕЛ  
БЫ СКВОЗЬ СТЕНУ!

## ► Уравнение с электроном

**И** материя, и волна? Но это же подарок для физиков! Ведь волны-то им давно знакомы! Как известно, с помощью уравнений и практических опытов физики могут узнать любую нужную величину: энергию, скорость, местоположение... И если удастся вывести уравнение волны, то это сразу откроет доступ ко всем параметрам. Соблазнительно, не правда ли? Поэтому как только исследователи узнали о теории де Бройля, они немедленно включились в работу по составлению такого уравнения. И в 1926 году австриец Эрвин Шрёдингер такое уравнение вывел. Его, кстати, так и назвали – «уравнение Шрёдингера». Сенсационное открытие, сделанное почти наугад, настолько всё было сложно, наделало немало шума в тогдашней физике. Эйнштейн отправил

Шрёдингеру восторженное письмо, в конце которого приписал: «Замысел Вашей работы свидетельствует о подлинной гениальности». Разве не приятно, когда сам великий Альберт Эйнштейн называет тебя гением, тем более что он всегда слыл человеком, скупым на похвалу?

Тем временем физики, призвав на помощь коллег-математиков, принялись колдовать над уравнением Шрёдингера. А тут действительно было над чем поломать голову, ведь хотя в уравнении и содержалось описание волны, решением его было не число, а волновая функция. Не очень понятно, да? Не волнуйся! Нам тут важно лишь одно: в уравнение содержалось описание волны. А какое именно, этого даже физики вначале не смогли толком разобрать. Они думали, что получат описание траектории электрона, но, увы, ничего подобного! И только немецкий физик Макс Борн сумел во всем разобраться и установить, что волновая функция определяет, с ка-

кой вероятностью будет находиться частица в том или ином месте.

В квантовой физике был сделан огромный шаг вперед! Стало понятно, что рассуждать о местоположении частицы... бессмысленно. Ты никогда не узнаешь ничего конкретного, а всё потому, что в мире частиц точного местоположения просто-напросто не существует. И что же в результате осталось от атома Нильса Бора? Отныне электрон больше не движется по заданной круговой орбите. Он гуляет, где ему вздумается, но шансы встретить его в той или иной точке будут различны. А орбиты Бора вовсе не отпали за необходимость, так как они соответствуют тем точкам, в которых вероятность появления электронов является максимальной. Короче говоря, корпускулярно-волновая природа электрона открывает перед наукой невиданные перспективы и наделяет квантовую физику поистине сверхвозможностями. Но о них мы расскажем в следующем номере журнала. ■



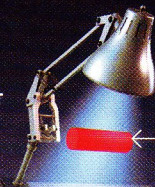
## КРУГ И ТРЕУГОЛЬНИК ОДНОВРЕМЕННО – ЭТО ЦИЛИНДР В ДВУМЕРНОМ МИРЕ!

Как можно осознать тот факт, что электрон представляет собой одновременно и твердое тело, и волну? Небольшой мысленный эксперимент позволит нам проиллюстрировать идею двойственности. Представь разумное существо, живущее в двумерном мире, то есть на листе бумаги (см. рисунки внизу). О том, что где-то бывают объемные тела, ему невдомек, ведь там, где он живет, существуют лишь плоские поверхности. Давай покажем ему цилиндр, спроецировав тень на бумагу. Наш бумажный человек увидит прямоугольник (1). Теперь повернем цилиндр на  $90^\circ$ . На бумаге возникнет круг (2). Что за чертовщина? Как один и тот же предмет может быть одновременно и кругом, и прямоугольником, то есть двумя совершенно различными геометрическими фигурами?

Для нас, привычных к третьему измерению, ситуация кажется более чем очевидной. Но для того, кто не в силах понять, что такое объем и, следовательно, что такое цилиндр, загадка останется неразрешенной. Вот и для нас корпускулярно-волновая теория такая же умогрозная сложность, ведь в нашем мире твердые тела и волны ну никак не сочетаются воедино! И поэтому любые описания элементарных частиц, пусть даже составленные нашими крупнейшими физиками, неизбежно останутся столь же наивными, как и все попытки ученого из двумерного мира понять, что такое цилиндр.

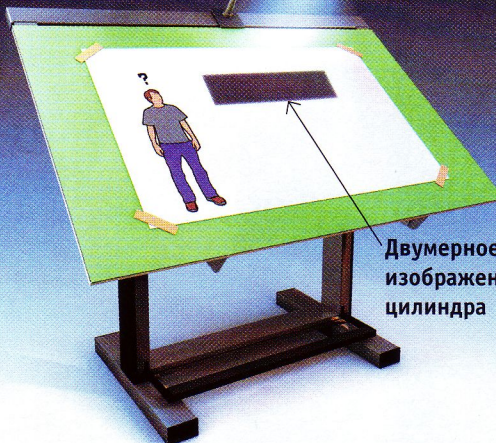
МИШЕЛЬ САБМАНН

При таком угле освещения человек из мира с двумя измерениями увидит прямоугольник.



Цилиндр

1



Двумерное изображение цилиндра

Если угол освещения изменится, возникнет круг. Как человеку из мира 2D догадаться, что он видит один и тот же объект?



Цилиндр

2



Двумерное изображение цилиндра