



3



ЧТО ТАКОЕ РЕАЛЬНОСТЬ

в итальянском городе Монца несколько лет назад муниципальный совет запретил жителям держать золотых рыбок в шаровидных аквариумах. Инициатор этой меры объяснил запрет тем, что держать рыбку в сосуде с изогнутыми стенками жестоко, потому что, глядя наружу, рыбка видит искаженную картину реальности. Но откуда нам знать, видим ли мы сами истинную, а не искаженную картину реальности? Разве нельзя предположить, что и мы находимся внутри некоего большого искривленного аквариума и видим всё искаженным огромной линзой? Картина реальности с точки зрения золотой рыбки отличается от нашей, но можем ли мы утверждать, что она менее реальна, чем наша?

Золотая рыбка видит мир не таким, как мы, тем не менее она тоже могла бы сформулировать законы, управляющие движением предметов, которые видит за пределами своего аквариума. Например, свободно движущийся предмет, который для нас перемещается по прямой, для золотой рыбки движется по кривой вследствие искажения вида выпуклыми стенками аквариума. Тем не менее рыбка могла бы сформулировать научные законы в своей искаженной системе отсчета, и они всегда будут выпол-

няться, что позволит предсказывать движение предметов вне аквариума. Эти законы будут сложнее, чем в нашей системе отсчета, но простота — дело вкуса. Если бы золотая рыбка сформулировала такую теорию, то нам пришлось бы признать ее видение реальности столь же правомерным, как наше.

Знаменитый пример различных картин реальности — модель, введенная около 150 года древнегреческим ученым Клавдием Птолемеем (ок. 90 — ок. 160) для описания движения небесных тел. Птолемей опубликовал свою работу в тринадцатитомном трактате, широко известном под его арабским названием «Альмагест» («Великая книга»). «Альмагест» начинается с объяс-



**Вселенная Птолемея.** Птолемей полагал, что мы находимся в центре Вселенной.

нения причин, позволяющих считать Землю сферической, неподвижной, расположенной в центре Вселенной и ничтожно малой по сравнению с расстоянием до небес. Несмотря на существование гелиоцентрической модели Аристарха, взглядов Птолемея придерживалось большинство образованных греков, по крайней мере со времен Аристотеля, который по мистическим соображениям считал, что Земля должна находиться в центре Вселенной. В модели Птолемея неподвижная Земля расположена в центре, а планеты и звезды движутся вокруг нее по сложным орбитам, как колеса, катящиеся по колесам, — совершая движение по малому кругу (эпициклу), передвигающемуся по большому кругу, в центре которого и находится Земля.

Такая модель казалась естественной, так как мы не чувствуем, что Земля у нас под ногами движется (разве что при землетрясениях или в моменты страсти). Впоследствии европейское обучение основывалось на сохранившихся греческих источниках, так что идеи Аристотеля и Птолемея стали в значительной степени основой для западной мысли. Птолемея модель космоса была принята католической церковью и сохранялась как официальная доктрина в течение четырнадцати веков. Только в 1543 году появилась альтернативная модель, которую выдвинул польский астроном Николай Коперник (1473–1543) в своей книге «De revolutionibus orbium coelestium» («О вращениях небесных сфер»), опубликованной лишь в год его смерти (хотя разрабатывал он свою теорию в течение нескольких десятилетий).

Коперник, как и Аристарх почти за семнадцать веков до него, описал мир, в котором Солнце пребывало в покое, а планеты двигались вокруг него по круговым орбитам. Хотя идея была не нова, ее возрождение было встречено яростным сопротивлением. Модель Коперника сочли противоречащей Библии, ссылаясь на то, что в Библии говорится о движении планет вокруг Земли, хотя нигде в ней об этом четко не сказано. На самом же

деле в то время, когда была написана Библия, люди считали, что Земля плоская. Модель Коперника вызвала ожесточенные дебаты о том, неподвижна ли Земля. Кульминацией этих дебатов стал в 1633 году суд над обвиненным в ереси Галилео Галилеем, который защищал модель Коперника и считал, «что допустимо иметь мнение и отстаивать его как возможное, после того как было установлено и объявлено, что оно противоречит Священному Писанию». Галилей был признан виновным, приговорен к пожизненному домашнему аресту и принужден высказать отречение от своих взглядов. По преданию, он прошептал: «*Errig si tuove*» («И все-таки она вертится»). В 1992 году Римско-католическая церковь наконец признала, что была не права в осуждении Галилея.

Так что же соответствует реальности — система Птолемея или Коперника? Нередко говорят, что Коперник доказал неправоту Птолемея, но это неверно. Как и в случае сравнения нашего нормального взгляда на мир со взглядом золотой рыбки, любая из двух картин может считаться моделью Вселенной, поскольку объяснить то, что мы наблюдаем на небе, можно, допуская неподвижность как Земли, так и Солнца. Помимо той роли, которую система Коперника сыграла в философских дебатах о природе нашей Вселенной, ее бесспорное преимущество уже в том, что в рамках системы с неподвижным Солнцем уравнения движения оказываются намного проще.

Альтернативная реальность другого типа представлена в фантастическом фильме «Матрица», где люди, сами того не осознавая, живут в смоделированной виртуальной реальности, созданной компьютерами с искусственным интеллектом для того, чтобы поддерживать людей умиротворенными и довольными, в то время как компьютеры подпитываются от них биоэлектрической энергией (кто его знает, что это такое!). Возможно, это не так уж далеко от реальности, поскольку многие из нас предпочитают

проводить свое время в искусственно созданной реальности на веб-сайтах вроде «Second Life» («Вторая жизнь»). А как мы можем узнать, не являемся ли мы сами всего лишь персонажами в сериале, сочиненном компьютером, подобно герою Джима Керри в фильме «Шоу Трумана»? Если бы мы жили в искусственном, воображаемом мире, события необязательно были бы логически связанными, необязательно подчинялись бы законам. Инопланетянам, управляющим таким миром, было бы интереснее наблюдать за нашими действиями в такой, например, ситуации, когда полная Луна расколется пополам или когда всех сидящих на диете охватит неодолимая тяга к тортам с банановым кремом. Но если бы инопланетяне действовали строго по законам, то было бы невозможно определить, что существует другая реальность, скрытая за искусственно созданной. Мы с легкостью могли бы назвать мир, где живут инопланетяне, реальным, а мир, созданный с помощью компьютеров, — ложным. Но если, подобно нам, существа в искусственно созданном мире не могут взглянуть на свою вселенную со стороны, то у них не будет причины для того, чтобы усомниться в собственных картинах реальности. Таков современный вариант представления о том, что все мы являемся персонажами в чем-то сне.

Эти примеры приводят нас к заключению, которое будет важным в данной книге: **не существует концепции реальности, не зависящей от картины мира, или от теории.** Мы же вместо этого примем точку зрения, которую станем называть **моделезависимым реализмом**, — идею о том, что любая физическая теория или картина мира представляет собой модель (как правило, математической природы) и набор правил, соединяющих элементы этой модели с наблюдениями. Это дает основу для интерпретации современных научных данных.

Начиная с Платона философы веками спорили о природе реальности. Классическая наука основывается на вере, что суще-



ствует реальный внешний мир, свойства которого вполне определены и не зависят от наблюдателя, который их постигает. Согласно классической науке, в мире существуют объекты, у них есть физические свойства, такие как скорость и масса, которые обладают четко определенными значениями. С этой точки зрения наши теории представляют собой попытки описать эти объекты и их свойства, а наши измерения и восприятия соответствуют им. И наблюдатель, и наблюдаемый объект — части объективно существующего мира, и любое различие между ними не имеет решающего значения. Иными словами, если вы видите стадо зебр, дерущихся за место в гараже, это происходит потому, что это действительно стадо зебр, дерущихся за место в гараже. Все остальные наблюдатели увидят такие же свойства, а стадо будет иметь те же самые характеристики независимо от того, наблюдают за ним или нет. В философии эту веру называют реализмом. Хотя реализм может быть заманчивой точкой зрения, но, как мы увидим далее, то, что нам известно о современной физике, вызывает трудности в его отстаивании. Например, со-

гласно принципам квантовой физики, которая является точным описанием природы, частица не имеет ни определенного положения, ни определенной скорости, до тех пор пока эти величины не измерены наблюдателем. Стало быть, неправильно утверждать, что измерение дает определенный результат только потому, что измеряемая величина имела это значение во время измерения. На самом деле в некоторых случаях отдельные объекты даже не существуют сами по себе, а существуют лишь как часть ансамбля. И если теория, называемая голографическим принципом, окажется верной, то мы вместе с нашим четырехмерным миром можем оказаться лишь тенью на границе большего, пятимерного, пространства-времени. В этом случае наше положение во Вселенной буквально аналогично положению золотой рыбки внутри аквариума.

Строгие реалисты часто утверждают: доказательство того, что научные теории отображают реальность, состоит в их успешном применении. Но другие теории могут столь же успешно описывать подобные явления через совершенно иные концептуальные схемы. На деле многие научные теории, которые считались успешными, впоследствии были заменены другими столь же успешными теориями, основанными на совершенно иных концепциях реальности. Тех, кто не принимает реализма, обычно называли антиреалистами. Антиреалисты полагают, что есть различие между эмпирическим знанием и теоретическим. Они, как правило, заявляют: наблюдение и эксперимент значимы, а теории — это только полезные инструменты, которые не воплощают более глубоких истин, лежащих в основе наблюдаемых явлений. Некоторые антиреалисты даже хотели ограничить науку лишь тем, что доступно наблюдениям. Поэтому в XIX веке многие отвергали идею атомов на том основании, что мы никогда их не увидим. Английский философ Джордж Беркли (1685–1753) дошел даже до того, что заявил, будто не существует ничего, кроме

сознания и мыслей. Когда один из друзей сказал английскому поэту и лексикографу доктору Сэмюэлу Джонсону (1709—1784), что утверждение Беркли невозможно опровергнуть, то в ответ Джонсон, как рассказывают, подошел к большому камню, пнул его и заявил: «Я опровергаю это». Конечно же, боль, которую доктор Джонсон ощутил в ноге, стала тоже лишь мыслью в его сознании, так что на самом деле идею Беркли он не опроверг. Но его действие проиллюстрировало точку зрения шотландского философа Дэвида Юма (1711—1776), который писал, что, хотя мы и не имеем рациональных оснований верить в объективную реальность, у нас все же не остается иного выбора, кроме как действовать так, будто она есть.

Моделезависимый реализм прекращает все эти споры и дискуссии между философскими школами реалистов и антиреалистов. Согласно модельезависимому реализму, не имеет смысла



*«У вас много общего. Доктор Дэвис открыл частицу, которую никто никогда не видел, а профессор Хигби открыл галактику, которую тоже никто никогда не видел».*

спрашивать, реальна или нет модель мира, важно одно: соответствует ли она наблюдениям. Если каждая из двух моделей соответствует наблюдениям (как картины мира золотой рыбки в аквариуме и наша), то нельзя сказать, что какая-то из них более реальна, чем другая. Можно использовать ту модель, которая удобнее в данной ситуации. Например, тому, кто оказался в сферическом аквариуме, больше подойдет модель мира золотой рыбки, а тому, кто снаружи, будет весьма затруднительно описывать события, происходящие в удаленной галактике, с точки зрения рыбки в аквариуме, который находится на Земле, тем более что аквариум будет двигаться, поскольку Земля перемещается по орбите вокруг Солнца и вращается вокруг своей оси.

Мы создаем модели в науке, но также создаем их и в повседневной жизни. Моделезависимый реализм применим не только к научным моделям, но и к сознательным и подсознательным мысленным моделям, которые все мы создаем, чтобы интерпретировать и понять повседневность. Невозможно исключить наблюдателя — нас самих — из нашего восприятия мира, которое создается с помощью наших чувств и путем мышления и рассуждения. Наше восприятие (а следовательно, и наблюдения, на которых основываются наши теории) является не непосредственным, а формируется своего рода линзой — способностью человеческого мозга к интерпретации.

Моделезависимый реализм находится в соответствии с нашим восприятием объектов. Когда мы видим что-то, мозг получает последовательные сигналы через оптический нерв. Эти сигналы не формируют целого образа, подобного тому, какой вы видите на экране телевизора. Есть слепое пятно, где оптический нерв соединяется с сетчаткой, и единственная часть вашего поля зрения с хорошим разрешением — это узкая область примерно в один градус угла зрения вокруг центра сетчатки, область шириной с ваш большой палец, если смотреть на расстоянии вытяну-

той руки. Так что исходные данные поступают в мозг в виде сильно размытой картинки, да еще и с дырой в ней. К счастью, человеческий мозг обрабатывает эти данные, объединяя информацию, получаемую от обоих глаз, и заполняет пробелы, интерполируя в предположении о том, что визуальные свойства соседних участков схожи. Более того, он считывает двухмерную совокупность данных с сетчатки и создает из нее образ в трехмерном пространстве. Иными словами, мозг строит мысленную картину, или модель.

Мозг настолько искусен в построении моделей, что если бы у людей были очки, которые переворачивают изображение вверх ногами, то их мозг через некоторое время изменил бы модель так, что они снова стали бы видеть мир неперевернутым. Если затем снять очки, то мир некоторое время будет видаться перевернутым, а потом снова произойдет адаптация. Это значит, что когда говорят: «Я вижу стул», то имеют в виду лишь свет, рассеянный стулом для создания мысленного образа, или модели, стула. Если модель перевернута, то можно надеяться, что мозг скорректирует ее, прежде чем человек попытается сесть на этот стул.

Другой проблемой, которую моделезависимый реализм решает или, по крайней мере, избегает, является толкование существования. Откуда мне знать, существует ли еще стол, если я вышел из комнаты и не вижу его? И что значит, когда говорят, будто вещи, которые мы не можем увидеть, существуют, — например, электроны или кварки (частицы, составляющие протоны и нейтроны)? Можно пользоваться моделью, в которой стол исчезает, когда я выхожу из комнаты, и снова появляется на том же месте, когда я возвращаюсь, но такая модель будет непрочной — ведь как быть, если во время моего отсутствия что-то случится, например обвалится потолок? Как эта модель со столом, исчезающим после моего ухода из комнаты, сможет объяснить тот факт, что при моем следующем появлении в комнате там возникнет сломанный стол,

а на нем — куски штукатурки? Модель, в которой стол остается в комнате, гораздо проще и согласуется с наблюдениями. Вот и весь разговор. В случае с субатомными частицами, которые мы не можем видеть, электроны представляют собой удобную модель, объясняющую такие явления, как треки в камере Вильсона и пятнышки света на телевизионной трубке, а также многие другие явления. Электрон был открыт в 1897 году британским физиком Дж. Дж. Томсоном (1856—1940) из Кавендишской лаборатории Кембриджского университета. Он проводил опыты с электрическим током внутри пустых стеклянных трубок — это явление известно как катодные лучи. Опыты натолкнули его на смелую мысль о том, что таинственные лучи состоят из мельчайших корпускул, представляющих собой материальные элементы атомов, считавшихся в то время неделимыми фундаментальными единицами вещества. Томсон не видел электрон, и его догадка не была

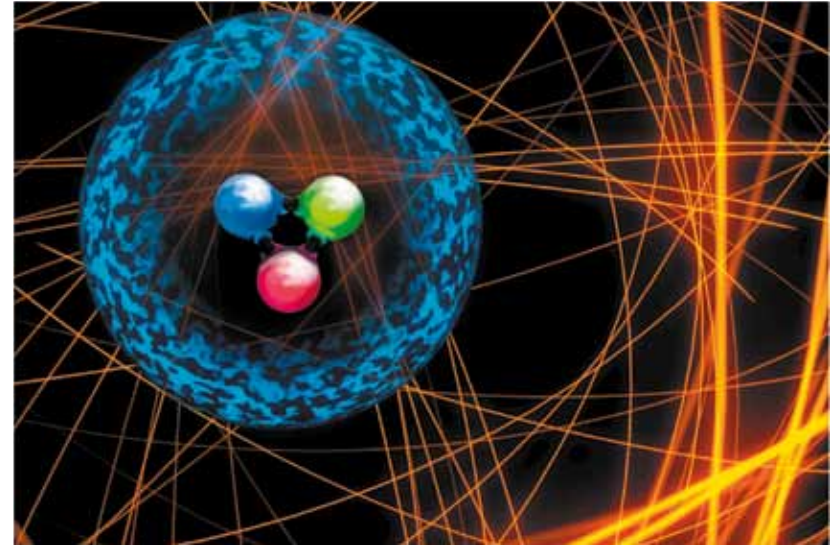


**Катодные лучи.** Мы не можем увидеть отдельные электроны, но видим производимый ими эффект.

непосредственно или однозначно продемонстрирована в ходе опытов. Но предложенная им модель показала свою незаменимость в повсеместном применении — от фундаментальной науки до инженерных проектов, и сегодня все физики верят в электроны, несмотря на то что никто не может увидеть их.

Кварки, которые мы также не можем увидеть, являются моделью для объяснения свойств протонов и нейтронов в ядре атома. Хотя считается, что протоны и нейтроны состоят из кварков, мы никогда не увидим кварка, поскольку сила, связывающая кварки, увеличивается при разделении, и поэтому отдельные, свободные, кварки в природе не могут существовать. Они объединены в группы из трех кварков (это протоны и нейтроны) или из кварка и антикварка (пи-мезоны) и ведут себя так, словно связаны резиновой лентой.

Вопрос о том, допустимо ли говорить, что кварки реально существуют, если невозможно выделить один кварк, обсуждался на протяжении нескольких лет, после того как впервые была предложена модель кварка. Представление о том, что определенные частицы состоят из разных комбинаций нескольких «суб-субъядерных частиц», привело к принципу, позволяющему дать простое и привлекательное объяснение их свойствам. Но, хотя физики привыкли признавать частицы, существование которых только предполагалось по статистическим всплескам в данных, относящихся к рассеянию других частиц, мысль о том, чтобы считать реальной частицу, которая в принципе ненаблюдаема, показалась многим выходящей за рамки допустимого. Однако годы спустя, когда модель кварков стала приводить ко все более точным предсказаниям, это сопротивление ослабло. Конечно, возможно, что какие-нибудь инопланетяне с семнадцатью руками, инфракрасными глазами и ушами, из которых разлетаются топлёные сливки, проводили точно такие же опыты, что и мы, но объяснили полученные результаты, не прибе-



**Кварки.** Концепция кварков — крайне важный элемент в наших теориях фундаментальной физики, несмотря на то что наблюдать отдельные кварки невозможно.

гая к такому понятию, как кварк. Тем не менее, согласно моделезависимому реализму, кварки существуют в модели, которая совпадает с нашими наблюдениями за поведением субъядерных частиц.

Моделезависимый реализм может дать основу для обсуждения вопросов, подобных вот такому: что происходило до создания мира, если он был создан конечное время назад? Христианский философ Августин Блаженный (354–430) считал, что ответ не в том, что Бог уготовил ад для людей, задающих подобные вопросы, а в том, что время — это свойство созданного Богом мира и его не существовало до сотворения мира, которое, по мнению философа, произошло не так уж давно. Это одна из возможных моделей, полюбившаяся тем, кто утверждает, будто расчет времени, данный в Книге Бытия, верен буквально, несмотря на то



что в мире встречаются окаменелости и другие свидетельства, доказывающие, что мир намного старше. (Они что, были подброшены, чтобы дурачить нас?) Кто-то может придерживаться другой модели, согласно которой время длится уже 13,7 миллиарда лет, считая от Большого взрыва. Эта модель, объясняющая большинство наших нынешних наблюдений, включая исторические и геологические свидетельства, является лучшим из имеющихся представлений о прошлом. Она может объяснить и окаменелости, и данные радиоуглеродного анализа, и то, что до нас доходит свет от галактик, расположенных в миллионах световых лет от нас. Поэтому вторая модель — теория Большого взрыва — более приемлема для нас, чем первая. И все же ни одну из них нельзя считать более реальной.

Некоторые признают модель мира, в которой время существовало и до Большого взрыва. Пока неясно, насколько она лучше для объяснения нынешних наблюдений, поскольку представляется, что при Большом взрыве законы развития Вселенной могли кардинально измениться. Если это произошло, то нет смысла создавать модель, включающую в себя время до Большого взрыва, поскольку все, что существовало ранее, не имеет наблюдаемых последствий в настоящем, и поэтому мы можем твердо придерживаться идеи, рассматривающей Большой взрыв как акт творения мира.

Любая модель хороша, если она:

- 1) простая (или «изящная»);
- 2) содержит мало произвольных или уточняющих элементов;
- 3) согласуется со всеми существующими наблюдениями и объясняет их;
- 4) дает подробные предсказания результатов будущих наблюдений, которые могут опровергнуть эту модель или доказать ее ложность, если предсказания, сделанные по этой модели, не подтверждаются.

Например, теория Аристотеля о том, что мир состоит из четырех элементов — земли, воздуха, огня и воды — и что объекты действуют так, чтобы выполнить свое предназначение, была изящна и не содержала уточняющих элементов. Но во многих случаях она не могла дать четких предсказаний, а если и давала, то эти предсказания не согласовывались с наблюдениями. Одно из таких предсказаний гласило, что более тяжелые предметы должны падать быстрее, поскольку их предназначение — падать. И похоже, никто до Галилея не счел нужным проверить это. Известна история о том, как он проверял это, бросая предметы различной массы с «падающей» Пизанской башни. Рассказ, скорее всего, недостоверный, а вот точно известно, что Галилей скатывал разные грузы по наклонной плоскости и заметил, что вопреки предсказанию Аристотеля они движутся с одинаковым ускорением.

Приведенные выше критерии, очевидно, субъективны. Например, изящность не так легко измерить, но она высоко ценится среди ученых, поскольку законы природы предполагают экономное сжатие множества частных случаев в одну простую формулу. Изящество относится к форме теории, но оно тесно связано с отсутствием в ней уточняемых элементов, поскольку теория, напичканная выдуманными для каждого конкретного случая факторами, не очень изящна. Перефразируя Эйнштейна, можно сказать: теория должна быть простой настолько, насколько это возможно, но не проще. Птолемей добавил к круговым орбитам небесных тел эпициклы, чтобы его модель точно описывала их движение. Для еще большей точности можно было бы добавить эпициклы к эпициклам или даже еще один ряд эпициклов. Хотя дополнительное усложнение может сделать модель более точной, ученые рассматривают модель, которая искажена, чтобы соответствовать определенному набору наблюдений, как неудовлетворительную, более похожую на каталог

данных, чем на теорию, которая может воплотить какой-нибудь полезный принцип.

В главе 5 мы увидим, что многие не считают изящной «стандартную модель», описывающую взаимодействие природных элементарных частиц. Эта модель гораздо удачнее, чем Птолемеи эпциклы. Она предсказала существование нескольких новых частиц, прежде чем они были замечены, и с большой точностью описала будущие результаты многих экспериментов, проводившихся в течение нескольких десятилетий. Но она содержит десятки уточняющих параметров, значения которых должны устанавливаться, чтобы соответствовать наблюдениям, вместо того чтобы эти значения были определены самой теорией.

Что касается четвертого признака «хорошей» модели (способность предсказывать результаты будущих наблюдений), то, с одной стороны, ученых всегда впечатляет, когда новые ошеломительные предсказания оказываются точными, но, с другой стороны, когда модель оказывается неприемлемой, их обычная реакция — заявить, что эксперимент не удался. И даже если это не так, люди все равно зачастую не отказываются от модели, а пытаются сохранить ее путем модификаций. Хотя физики поистине упрямы в своих попытках спасти теорию, которой они восхищаются, попытки преобразовать ее доходят порой до того, что изменения становятся надуманными или громоздкими, а значит, лишенными изящества.

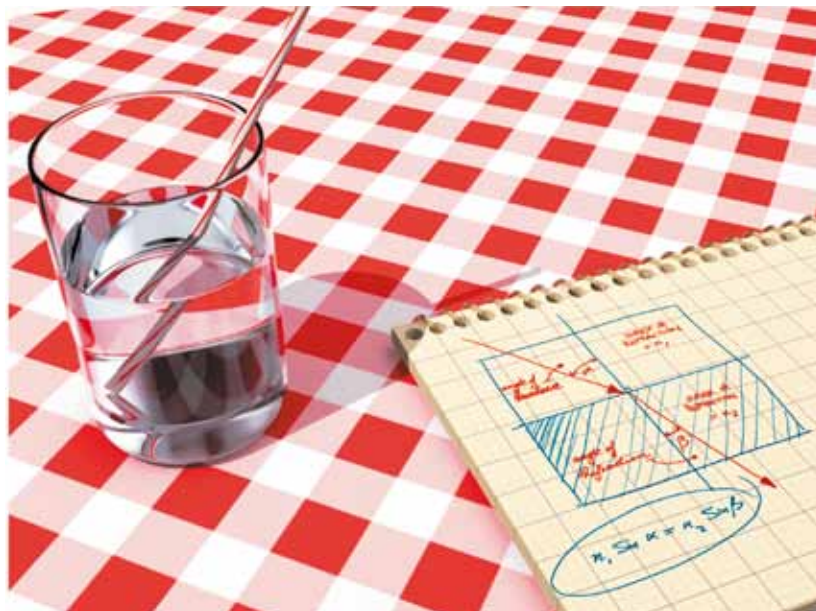
Если изменения, требующиеся для подгонки теории к новым наблюдениям, становятся чересчур изощренными, это сигнал о необходимости новой модели. Примером старой модели, не устоявшей под давлением новых наблюдений, служит идея о статичной Вселенной. В 1920-х годах большинство физиков полагали, что Вселенная статична, то есть не изменяется в размерах. Затем, в 1929 году, американский астроном Эдвин Хаббл (1889—1953) опубликовал свои наблюдения, показывающие, что Все-

ленная расширяется. Но Хаббл не наблюдал это расширение непосредственно. Он наблюдал свет, испускаемый галактиками. Этот свет обладает специфической характеристикой (спектром), связанной с составом каждой галактики. Если галактика движется относительно нас, этот спектр изменяется на известную величину. Поэтому, анализируя спектры удаленных галактик, Хаббл смог определить скорости их движения. Он полагал, что удаляющиеся галактик будет обнаружено столько же, сколько и приближающихся. Но вместо этого оказалось, что почти все галактики удаляются от нас и чем дальше они находятся, тем быстрее движутся. Хаббл пришел к выводу, что Вселенная расширяется, но другие ученые, стараясь придерживаться прежней модели, пытались объяснить его наблюдения в контексте статичной Вселенной. Например, физик из Калифорнийского технологического института Фриц Цвикки (1898—1974) предположил, что по некоей пока неизвестной причине свет, проходя огромные расстояния, может постепенно терять свою энергию. Это снижение энергии соответствовало бы изменению его спектра, что, по мнению Цвикки, могло повлиять на наблюдения Хаббла. Но и по прошествии десятилетий после исследований Хаббла многие ученые продолжали придерживаться теории о статичном состоянии Вселенной. Однако наиболее естественной моделью была та, которую предложил Хаббл, — модель расширяющейся Вселенной, она и стала общепринятой.

В поисках законов, которые управляют Вселенной, ученые рассмотрели ряд теорий, или моделей, таких как теория четырех элементов, модель Птолемея, теория флогистона, теория Большого взрыва и т. д. С каждой теорией, или моделью, наши представления о реальности и фундаментальных компонентах Вселенной менялись. Возьмем, к примеру, теорию света. Ньютон полагал, что свет состоит из мелких частиц, или корпускул. Это объясняло, почему свет распространяется прямолинейно,

и этим же Ньютон воспользовался для объяснения того, почему свет, переходя из одной среды в другую, например из воздуха в стекло или же из воздуха в воду, изгибается, или преломляется.

Однако корпускулярная теория не могла объяснить явление, которое было обнаружено самим же Ньютоном и называется сегодня кольцами Ньютона. Поместите линзу на плоскую отражающую пластину и осветите ее монохромным светом, например от натриевой лампы. Глядя сверху вниз, вы увидите чередование светлых и темных колец с центром в точке соприкосновения линзы с поверхностью пластины. Этому явлению трудно дать объяснение в рамках корпускулярной теории света, но его можно объяснить с помощью волновой теории.



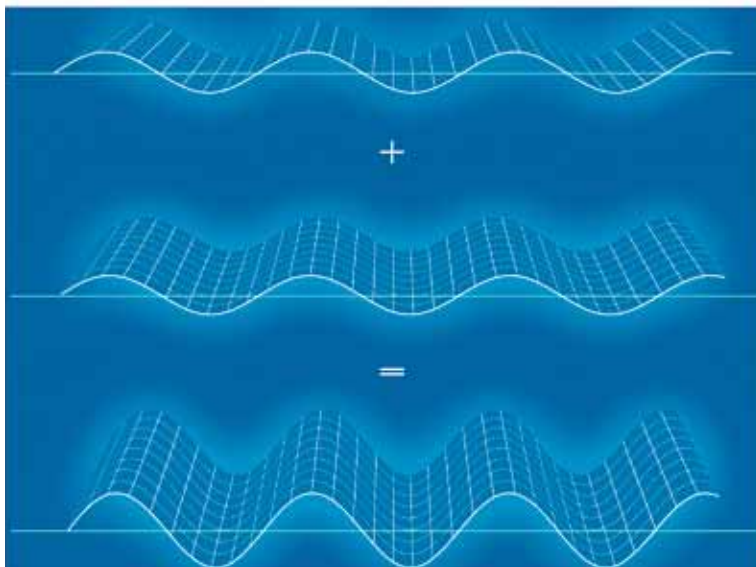
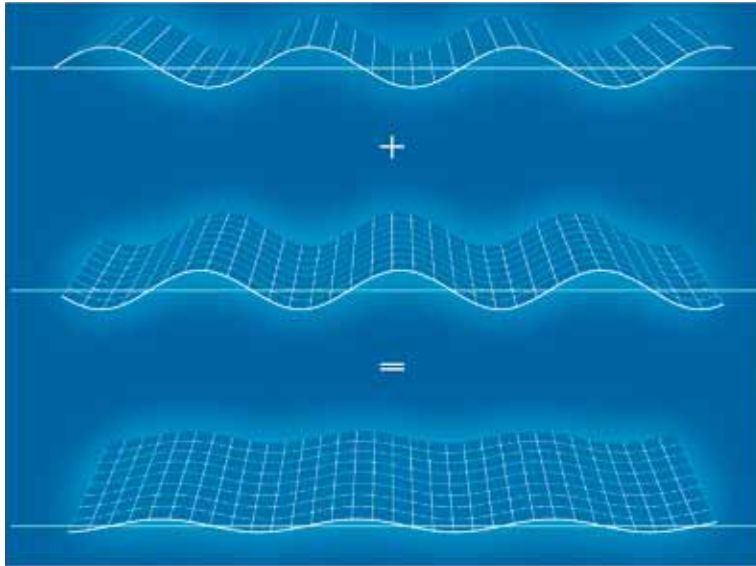
**Рефракция.** Ньютонова модель света могла объяснить, почему свет преломляется, переходя из одной среды в другую, но не давала объяснения явлению, которое теперь мы называем кольцами Ньютона.

Согласно волновой теории света, светлые и темные кольца вызваны явлением, которое называется интерференцией. Световые волны, так же как волны на воде, состоят из чередующихся гребней и впадин. Если при столкновении волн эти гребни и впадины совпадают, то они усиливают друг друга, образуя более крупную волну. Это называется конструктивной интерференцией. В таком случае говорят, что волны находятся в фазе. В противоположном случае, когда при встрече волн гребень одной волны совпадает со впадиной другой, волны гасят друг друга, и тогда говорят, что волны находятся в противофазе. Такое явление называется деструктивной интерференцией.

В кольцах Ньютона яркие кольца располагаются на таких расстояниях от центра, где промежуток между линзой и находящейся под ней отражающей поверхностью равен целому числу (1, 2, 3...) длин волн. Это означает, что волна, отраженная от линзы, совпадает с волной, отраженной от пластины, создавая конструктивную интерференцию. Темные кольца, в свою очередь, располагаются на таких расстояниях от центра, где промежуток между двумя отраженными волнами равен половине целых длин волн (1/2, 3/2, 5/2...), что создает деструктивную интерференцию: волна, отраженная от линзы, гасит волну, отраженную от пластины.

В XIX веке это было воспринято как подтверждение волновой теории света и как свидетельство того, что корпускулярная теория неверна. Однако в начале XX века Эйнштейн показал, что фотоэлектрический эффект (теперь используемый в телевидении и цифровых фотоаппаратах) может быть объяснен тем, что частица, или квант света, ударяет по атому и выбивает из него электрон. Таким образом, свет ведет себя и как частица, и как волна.

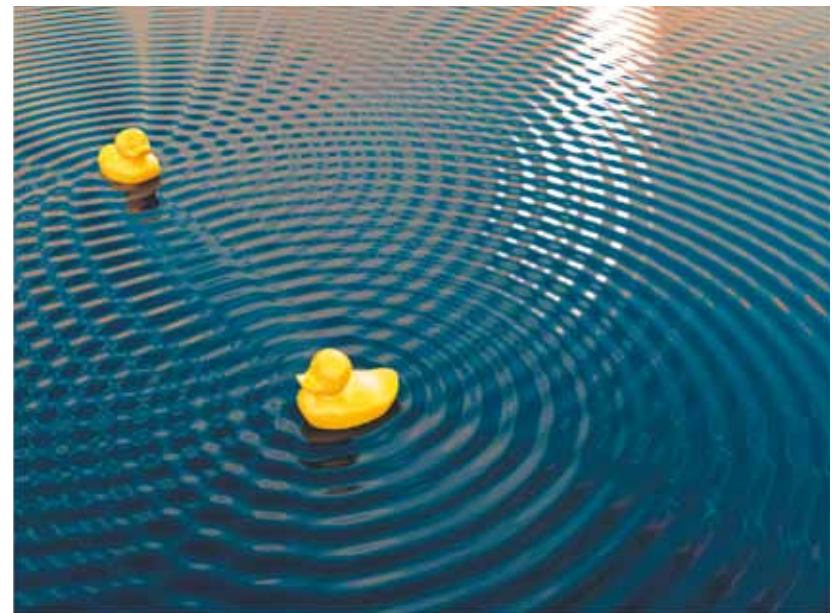
Концепция волн, вероятно, пришла человеку в голову потому, что люди бросают в океан или в лужу камешки и наблюдают



**Интерференция.** Волны при встрече могут усилить или ослабить друг друга.

за тем, что происходит на поверхности воды. Действительно, если вы когда-нибудь бросали в лужу сразу два камешка, то, вероятно, видели интерференцию в действии, как на иллюстрации ниже. Подобные явления наблюдались и в других жидкостях, за исключением, пожалуй, вина, если выпито его слишком много. Идея о частицах была знакома по камням, гальке и песку. Но вот двойственность (волна-частица) — мысль о том, что объект может быть описан и как частица, и как волна, — чужда нашему повседневному опыту, подобно мысли о том, что можно выпить кусок камня.

Подобные двойственности — ситуации, когда две разные теории точно описывают одно и то же явление, — вполне укладываются в рамки моделезависимого реализма. Каждая теория



**Интерференция в луже.** Явление интерференции можно повседневно наблюдать в любых водоемах — от лужи до океана.

может описывать и объяснять определенные свойства, и ни об одной теории нельзя сказать, что она лучше или реальнее другой. Кажется, законы, управляющие Вселенной, похожи на это. Пожалуй, нет единой математической модели, или теории, которая могла бы описать Вселенную во всех ее проявлениях. Напротив, как уже упоминалось в главе 1, похоже, существует совокупность теорий, объединенных в так называемую М-теорию. Каждая теория этой системы пригодна для описания явлений в определенных границах. Там, где их границы перекрываются, разные теории этой системы согласуются друг с другом, так что о всех них можно сказать, что это части одной и той же теории. Но ни одна из теорий этой системы не может описать Вселенную во всех ее аспектах — все фундаментальные взаимодействия (силы) в природе, частицы, на которые воздействуют эти силы, и пространственно-временные рамки, в которых все это теряет смысл. Хотя такая ситуация не исполняет мечту традиционных физиков о единой объединенной теории, она приемлема в рамках модели независимого реализма.

Мы еще обсудим двойственность и М-теорию в главе 5, но прежде вернемся к фундаментальному принципу, на котором базируется современный взгляд на природу квантовой теории, и, в частности, к тому подходу к квантовой теории, который называется «альтернативные истории». С этой точки зрения Вселенная имеет не единственное существование, или историю, а все возможные версии Вселенной существуют одновременно в так называемом квантовом наложении, квантовой суперпозиции. Это может показаться столь же странным, как пример со столом, который исчезает, когда мы выходим из комнаты, но в отношении этого случая следует сказать, что квантовая теория выдержала все экспериментальные проверки, которым когда-либо подвергалась.

