**Природа науки**

Законы природы — скелет Вселенной. Они служат ей опорой, придают форму, связывают воедино. Все вместе они воплощают в себе умопомрачительную и величественную картину нашего мира. Однако важнее всего, наверное, то, что законы природы делают нашу Вселенную познаваемой, подвластной силе человеческого разума. В эпоху, когда мы перестаем верить в свою способность управлять окружающими нас вещами, они напоминают, что даже самые сложные системы повинуются простым законам, понятным обычному человеку. Но прежде, чем приступить к обзору законов природы, подумаем, откуда они берутся и какую роль играют в предприятии, именуемом наукой.

**О науке**

Большинство из нас почти всю свою жизнь прожило в XX веке. Задумайтесь над простым вопросом: что так сильно отличает этот век, только что оставленный нами позади, от всего, что было до него? Конечно, он был веком разрушения старых политических укладов и прихода новых, но то же можно сказать почти про любое столетие со времен появления первых письменных источников. Он был веком великих писателей и художников, но и в этом нет ничего нового. Он дал миру новые виды искусства (на ум приходят джаз и кино). Может быть, со временем они займут свое место рядом с классической оперой и симфонической музыкой. Я в этом сомневаюсь, но, как бы то ни было, это не первый и не последний случай рождения новых видов искусства.

Мне кажется, именно развитие науки и технологии наложило печать уникальности на XX век. Если составить список важных достижений столетия, в него могли бы войти: антибиотики, высадка астронавтов на Луне, компьютеры, Интернет, операции на открытом сердце, реактивные самолеты, мороженые продукты, небоскребы.

Невероятный рост населения и мировой экономики за последние сто лет — прямое следствие невероятного роста объема накопленных нами знаний о Вселенной.

В определенном смысле, в этом нет ничего особенно нового. Все по-настоящему глубокие изменения в жизни человечества происходили благодаря новым знаниям. Например, около 10 000 лет назад кому-то — вероятно, женщине, жившей на Ближнем Востоке — пришло в голову, что вместо того, чтобы питаться собранными дикими растениями, их можно выращивать и культивировать. Так появилось сельское хозяйство — новшество (независимо воспроизведенное во многих частях света), без которого невозможна современная цивилизация. Несколько веков назад шотландский инженер по имени Джеймс Уатт создал пригодный к использованию паровой двигатель, ставший неотъемлемым элементом промышленной революции. Возможно, когда-нибудь ученые поставят в один ряд с ним изобретенный в 1947 году транзистор и недавно завершенный проект «Геном человека» как важнейшие вехи истории человечества.

Конечно, при таком взгляде на науку нас интересует прежде всего приносимая ей практическая польза, улучшение здоровья людей и рост жизненного комфорта. Но есть у науки и другое измерение. Улучшая качество нашей жизни, она в то же время открывает для нашего интеллекта великолепное окно во Вселенную. Она показывает нам, что весь окружающий нас мир существует по общим правилам и принципам, и эти правила и принципы можно обнаружить с помощью научных методов. Правила, испытанные и проверенные самым тщательным образом, возведены в ранг «законов природы», хотя, как мы увидим, ученые и философы далеки от согласия относительно использования этого термина. Из законов природы складывается интеллектуальная структура, в которой есть место для любого явления во Вселенной.

Люди всегда испытывали любопытство по отношению к окружающему их миру — не в последнюю очередь потому, что выживание человека часто зависело от его способности прогнозировать развитие той или иной ситуации. Фермеры давным-давно выработали систему знаний о погоде и климате, позволявшую им получать хорошие урожаи, охотники изучили повадки своей добычи, а моряки научились находить в море и на небе признаки надвигающихся штормов. Но особые приемы и методики, совокупность которых мы называем наукой, появились лишь несколько сотен лет назад. Почему это произошло именно тогда и именно в Европе, а не где-то еще — на эти вопросы пусть отвечают историки. Нам же важно понять, что такое наука и каким образом она подводит нас к тому, что мы называем законами природы.

Прежде чем мы начнем, хочу вас предупредить об одной вещи. Вам часто придется сталкиваться, особенно в учебниках, с последовательностью действий, называемой «научным методом». Обычно объясняют, что «сначала ученый выполняет шаг X, затем Y, а потом Z и так далее. Можно подумать, будто заниматься наукой — все равно что выпекать печенье по рецепту. Проблема с этим подходом не в том, что он совершенно неверен — ученые действительно часто выполняют шаги X, Y и Z. Беда в том, что в нем не предусмотрено место для творчества, изобретательности и простого человеческого упрямства — извечных и неотъемлемых составляющих научного труда. Определять научный процесс как «метод» — то же, что, описывая картину Рембрандта или Ван Гога, говорить лишь о том, где какие краски нанесены на холст. Наука — не книжка для раскрашивания, где каждому цвету соответствует номер.

Поэтому, когда речь заходит о том, как устроена наука и как ученые открывают законы природы, я предпочитаю использовать аналогию с юридической практикой. Я имею в виду, что описанные ниже элементы надо рассматривать не как часть жестко заданной последовательности шагов, а как ступени процесса, осуществляемого учеными. Другими словами, думая о науке, надо иметь в виду все эти составляющие, при этом каждый раз решая, насколько важна каждая составляющая в данном контексте (и вообще все ли они присутствуют). Иначе говоря, нет фиксированной, жесткой последовательности действий, позволяющей прийти к выводу, является ли нечто наукой или нет.

В целом, большинство ученых используют более или менее одну и ту же последовательность шагов (мы ее описываем ниже), и в учебниках, как правило, фигурирует именно она. Но иногда случаются интуитивные прозрения и прорывы, которые в вашем представлении, может быть, не ассоциируются с образом рассудительных ученых в белых халатах. Это хорошо, потому что больше всего мне хочется, чтобы вы вынесли из этой книги представление о том, что наука, как и искусство, — один из главных путей реализации тяги человека к творчеству, и что ученые разделяют со всеми нами человеческие наклонности и слабости. Помня про эту оговорку, рассмотрим теперь составляющие научного процесса.

**Наблюдение или эксперимент?**

Чтобы узнать, что представляет собой мир, посмотрите, и вы увидите, каков он. Это утверждение кажется совершенно очевидным, и вы, возможно, удивились тому, что я потрудился привести его здесь, но дело в том, что оно представляет собой краеугольный камень науки. И все же оно по сей день не снискало всеобщего признания, и уж точно не признавалось всеми на протяжении истории.

На протяжении большей части документированной истории люди, сталкиваясь с противоречием между наблюдением реального мира и толкованием религиозной доктрины, последовательно исходили из положений доктрины, а не результатов наблюдений. Например, из-за неверного толкования Библии иерархи Католической церкви в XVII веке заставили Галилея отречься от представления о том, что Земля вращается вокруг Солнца. Нечто похожее можно наблюдать сегодня в США, где школьные комитеты часто игнорируют огромное количество данных, подтверждающих теории эволюции и «большого взрыва», предпочитая придерживаться толкования Книги Бытия, с которым не согласны большинство христианских и иудейских исследователей.

Но не только религиозные люди отказываются смотреть на данные или соглашаться с тем, что в нашем мире часто есть место сложностям и неоднозначностям. Например, существует масса доказательств того, что природных канцерогенов, вырабатываемых растениями, куда больше, чем канцерогенов в искусственных пестицидах. Многие защитники окружающей среды просто игнорируют эти доказательства, повторяя усвоенное в молодости заклинание, что «естественное хорошо, искусственное плохо». Оба примера показывают, что удобнее замкнуться в собственной системе убеждений, чем попытаться воспринимать мир таким, какой он есть.

И все же наблюдение мира — первый шаг к науке, и сделан этот шаг уже очень давно. С появлением земледелия фермеры стали сохранять семена от самых крупных, самых плодовитых растений, поняв, что это позволит им улучшить урожай на следующий год. Ремесленники заметили и сохранили для потомков (возможно, в устной традиции) сведения о том, как ведут себя разные сплавы металлов, когда их обрабатывают и нагревают определенным образом. Предтечи нынешних медиков подметили, что вытяжки из определенных растений помогают при некоторых болезнях, и этим заложили основу современной фармацевтической промышленности. Во всех этих примерах память о наблюдениях и опытах сохранилась, потому что они помогали людям удовлетворить свои потребности. Короче говоря, они давали результат. К этой идее мы вернемся, когда будем говорить о других путях познания.

По бытующему в народе мнению, ученый должен подходить к миру совершенно непредвзято — без заранее сформированного представления о том, каким будет итог эксперимента или наблюдения. Идею эту высказал давным-давно английский монах, философ и ученый Роджер Бэкон (ок. 1220-92), но, как в средневековом Датском королевстве, «обычай этот похвальнее нарушить, чем блюсти». За всю свою карьеру я встречал лишь одного человека, соблюдавшего этот принцип, — полевого геолога, любившего ходить «послушать, что скажут камни». Все остальные, с кем я имел дело, приступали к экспериментам с достаточно ясным представлением о том, что из них выйдет. Но все дело в том, что, если получались не те результаты, каких они ожидали, они были способны оставить свои прежние идеи и следовать за данными. Таким образом, говоря о непредвзятости научного сообщества, я имею в виду эту способность отказаться от сложившихся представлений и следовать за данными, куда бы они ни вели и независимо от того, куда, как нам кажется, они должны привести.

Существует много примеров того, как отдельные ученые и даже целые научные сообщества пошли по этому пути. Например, в 1964 году Арно Пензиас и Роберт Уилсон (см. Большой взрыв) — исследователи Лабораторий Bell в Нью-Джерси — занимались измерением космического микроволнового излучения. На заре спутниковой связи такие измерения были обычным делом — ведь для того, чтобы ловить сигнал от спутников на орбите, хорошо бы знать, что попадает в приемник, кроме собственно сигнала со спутника. Обследуя небесную сферу своим приемником, Пензиас и Уилсон регистрировали помехи из многочисленных известных источников. При этом они столкнулись с совершенно неожиданным явлением: куда бы они ни направили свои приборы, приемники неизменно ловили слабый входящий микроволновый сигнал (он проявлялся как тихое шипение в наушниках). Избавиться от него не удавалось, как они ни пытались. Пришлось даже выселить пару голубей, обосновавшихся в аппарате и покрывших части приемника, как тактично говорили ученые, «белым диэлектрическим веществом». В конце концов Пензиасу и Уилсону пришлось просто принять совершенно неожиданный факт, что Вселенная буквально пронизана микроволновым излучением. Теперь мы считаем это так называемое реликтовое электромагнитное излучение важным подтверждением теории большого взрыва — лучшей на сегодняшний день теории о происхождении Вселенной. За то, что они поверили полученным данным, несмотря на их полную неожиданность, Пензиас и Уилсон получили Нобелевскую премию по физике за 1978 год.

Объяснив, почему я считаю, что наблюдение и эксперимент имеют для науки центральное значение, я должен сказать, что эти два понятия, будучи похожи по смыслу, подразумевают несколько разные способы работы. Астроном не может построить звезду и подождать, пока она состарится, чтобы изучить ее поведение. Эволюционный биолог не может создать новое позвоночное и подождать несколько миллионов лет, чтобы посмотреть, во что оно разовьется. Геолог не может ускорить движение тектонических плит на поверхности Земли, чтобы посмотреть, как изменится конкретная формация. Во всех этих случаях ученым приходится довольствоваться наблюдениями над природой, поскольку предмет исследования им неподвластен.

Экспериментатор же старается управлять изучаемой системой, зачастую меняя по одному параметру, чтобы посмотреть, к чему приведет его изменение. Вот классический пример использования экспериментального метода. Эколог Дэйвид Тилман из Университета Миннесоты разделил большой участок прерии на Среднем Западе США решеткой, состоящей из квадратов со стороной в несколько метров. В одном из своих экспериментов он поддерживал все условия во всех квадратах одинаковыми, за исключением количества добавляемого азотного удобрения. Это позволило отделить действие одного элемента — азота — от всех остальных факторов, влияющих на рост растений. Другие экспериментаторы поступают аналогичным образом. Ядерный физик, сталкивающий субатомные частицы на огромных скоростях, обеспечивает неизменность условий всех столкновений, за исключением величины энергии налетающей частицы; химик поддерживает одинаковым соотношение всех участвующих в реакции веществ, кроме одного; исследователь рака при лечении опухоли у экспериментальных животных изменяет лишь по одному элементу и так далее. В этих и многих других экспериментах ученые делают сложность системы минимальной, чтобы подробно изучить один из элементов, отделив его от остальных.

Разница между наблюдением и экспериментом, будучи важна, все же не делит науки на два разных лагеря. Например, астрономы могут не только наблюдать звезды, но и использовать эксперименты с ядерными реакциями, чтобы понять, откуда берется их энергия. Эволюционным биологам экспериментальные данные о мутациях фруктовых мушек, живущих совсем недолго, помогают получить представления о продолжительном процессе эволюции, а геологи почти неизменно пользуются данными лабораторных экспериментов по получению минеральных соединений при изучении пород, составляющих ландшафт. Эксперимент не исключает наблюдений, и наоборот. В любой науке используется разумное сочетание того и другого.

Источник многих, если не большинства новых идей в науке — неожиданные результаты экспериментов или наблюдений, и это можно считать отправной точкой научного метода. Но у этого общего правила есть и исключения. Начало теории относительности, созданной в первые десятилетия XX века, было положено размышлениями Альберта Эйнштейна о существовавших в те времена фундаментальных научных теориях. Как я уже говорил, наука не всегда идет столбовой дорогой, известной наперед.

**Закономерности**

Следующий элемент научного процесса вступает в игру после того, как проведена серия экспериментов или наблюдений и ученые получили первое представление об определенном аспекте устройства природы. Это новое понимание обычно принимает форму той или иное закономерности, присущей природе. Например, в упомянутых выше экологических экспериментах по изучению влияния азота Тилман обнаружил, что по мере добавления азота количество растительного материала (биомасса) на участке увеличивается, в то время как число видов (биологическое разнообразие) уменьшается. По сути, несколько видов, воспользовавшись большей доступностью азота, вытесняют те виды, которым это не удалось.

Иногда вновь открытые закономерности можно описать простыми словами, как мы это сделали выше, но чаще прибегают к математическим терминам («при увеличении количества азота на x% биомасса вырастает на y%») или формулам. Как преподаватель научных дисциплин, я привык бояться момента, когда мне придется отказаться от удобства английского языка, написав на доске уравнение. Можно без преувеличения сказать, что, прибегая к математике, ученые начинают говорить на другом языке. Может быть, если вы будете помнить, что уравнение — лишь способ кратко выразить то, что на обычном языке можно описать лишь сложно или громоздко, это поможет вам смириться с необходимостью пользоваться математическим аппаратом.

Приведем важный исторический пример, иллюстрирующий роль закономерностей. В XVII веке одним из центральных вопросов, занимавших ученых, было место Земли в мироздании. Является ли она центром, как учили древнегреческие ученые, или движется по орбите вокруг Солнца (см. Принцип Коперника), как предположил Николай Коперник в 1543 году? Этот вопрос имеет глубокое религиозное и философское значение, в чем на свое горе убедился Галилей (см. Уравнения равноускоренного движения). Но с научной точки зрения, получить ответ на него можно только одним способом. Ученому следует посмотреть на небо и определить, какому из двух случаев лучше соответствует движение небесных тел — когда планета, с которой ведется наблюдение, стационарна или когда она движется по орбите.

Человеком, потратившим всю жизнь на создание инструментов и проведение необходимых измерений, был датский астроном Тихо Браге (1546–1601). К концу жизни он составил огромный список положений планет на небе, определенных в результате точных измерений. Список этот, кстати, имел огромную коммерческую ценность, потому что его можно было использовать для расчета гороскопов. После смерти Браге его помощник, немецкий математик Иоганн Кеплер, блестяще применив математическую дедукцию, использовал результаты этих измерений, чтобы показать, что все данные можно объяснить с помощью трех простых правил. Эти правила движения планет, называемые теперь законами Кеплера, гласят, что:

– все планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам,

– находясь ближе к Солнцу, планеты движутся быстрее, чем когда они находятся дальше от него, и

– чем сильнее удалена от Солнца орбита планеты, тем медленнее планета движется и тем длиннее ее «год».

У этих законов есть и математическая формулировка, и если вы знаете, например, на каком расстоянии данная планета находится от Солнца, третий закон позволит вам вычислить продолжительность ее года. Законы Кеплера, кстати, — хороший пример, иллюстрирующий сделанное выше замечание: полученную из наблюдений информацию можно обобщить с помощью нескольких простых правил, умещающихся на обороте конверта, вместо того чтобы пробиваться сквозь тома данных.

Здесь надо отметить еще вот что: ученые очень небрежно обращаются со словом «закон». В книге, посвященной разъяснению законов природы, эту проблему нельзя упускать из виду. Было бы очень удобно, если бы существовало простое правило, определяющее использование в науке таких слов, как «теория», «принцип», «эффект» и «закон». Например, можно было бы проверенное тысячу раз называть «эффектом», проверенное миллион раз именовать «принципом», а то, что проверили 10 миллионов раз, — «законом». Но так просто не поступают. Использование этих терминов основано на исторических прецедентах и не имеет отношения к тому, насколько ученые убеждены в верности каждого конкретного утверждения.

Например, закон всемирного тяготения Ньютона — одно из наиболее тщательно проверенных научных утверждений. Он, однако, входит в состав теории относительности Эйнштейна. Каждое подтверждение закона Ньютона — это одновременно и подтверждение теории Эйнштейна. Но существуют и подтверждения общей теории относительности, выходящие за рамки закона всемирного тяготения. Таким образом, мы имеем дело с «теорией», имеющей больше подтверждений, чем «закон». И это далеко не единичный пример. Некоторые аспекты поведения идеального газа описываются законом Шарля и законом Бойля-Мариотта, но эти законы можно вывести из (соответственно, более общей) теории — молекулярно-кинетической теории газов. Одна из наиболее проверенных научных идей, на которой зиждутся все биологические науки, описывает развитие жизни на нашей планете. Несмотря на все подтверждения, ученые все же говорят о теории эволюции.

Таким образом, слово «теория» может относиться к новой концепции, которую еще предстоит как следует проверить, а может обозначать идею, бывшую когда-то новой, но с тех пор настолько тщательно проверенную, что ее можно считать одной из самых достоверных истин о Вселенной. Ученые просто не особо интересуются тем, как идеи называются и какими словами их обозначают. Важна лишь суть идей и то, насколько они верны. В результате такого невнимания к терминологическим условностям вы столкнетесь в этой книге с самыми разными заголовками. Речь идет о коктейле из «эффектов», «теорий», «законов» и «принципов», составленном без оглядки на высоту положения. Это, равно как и тот факт, что законы часто называют именами тех, кто их не открывал, можно считать свидетельством отношения ученых к своему делу.

**Гипотеза**

Когда эксперименты проведены и новые закономерности природы открыты, это значит, что ученым пора остановиться и подвести итог. Говорят ли что-то вновь открытые закономерности о том, как устроена природа? Согласуются ли они с уже известными закономерностями, расширяющими представления о какой-то области науки? Задавшись подобными вопросами, ученые приступают к формулированию гипотез — догадок или предположений об устройстве Вселенной. Вот тут и заводятся величественные идеи о правящих Вселенной силах.

Именно на этом этапе язык математики вступает в свои права. Когда закономерности сформулированы в виде уравнений, их можно преобразовывать по стандартным правилам математики, играющим, если хотите, роль грамматики языка. Часто такие преобразования приводят к потрясающим открытиям. Например, Исаак Ньютон совместил закон всемирного тяготения Ньютона и законы механики Ньютона, получив при этом совершенно новую модель Солнечной системы, в которой планеты вращаются вокруг Солнца, а сила притяжения Солнца не позволяет им улететь в космическое пространство. Как мы увидим дальше, это событие оказало большое влияние на умы. С одной стороны, законы Кеплера, раньше считавшиеся обобщением данных наблюдений, сами стали следствиями — утверждениями, выводимыми логическим путем из более глубокой теории Ньютона. С другой, стало возможно рационально рассуждать о движении комет, до этого считавшемся непредсказуемым, и это обстоятельство позволило Эдмунду Галлею (1656–1742) открыть в 1705 году орбиту кометы, носящей теперь его имя.

На данном этапе научного процесса мы сталкиваемся с еще одной вариацией на нашу лингвистическую тему — еще одним оттенком значения слова «теория». В физических науках это слово часто обозначает математическое описание идей об устройстве Вселенной. Оно может означать как объяснение совершенно незначительного феномена — сноски на странице Вселенной, — так и величественную и масштабную конструкцию, объясняющую целый ряд известных результатов. Опять же, это слово может описывать (и описывает) идеи, признанные настолько, насколько это только возможно. Теория квантовой хромодинамики, например, — одна из наиболее скрупулезно подтвержденных экспериментом физических теорий. Некоторые из предсказанных ею явлений проверены экспериментаторами с точностью до 16 знаков после запятой. Известно, что она применима к широчайшему диапазону структур, от одиночных электронов до скоплений галактик. Замечательно, что ученые используют одно и то же слово, говоря и о столь серьезно проверенной концепции, и о новой неподтвержденной гипотезе какого-нибудь аспиранта.

**Предсказание**

Сколь бы сложной или элегантной ни была теория, ее качество определяется лежащими в ее основе данными, полученными в результате экспериментов и наблюдений. Но хорошая теория не просто объединяет уже известные факты — она предсказывает явления, которые до сих пор не наблюдались. Другими словами, хорошая теория «ручается за себя головой», давая ясные, поддающиеся проверке предсказания. Таким образом, замыкая круг, составляющий научный метод, мы можем, вернувшись к эксперименту и наблюдениям, выяснить, имеют ли место предсказанные теорией факты. Если да, мы ищем новые факты, выводимые из теории и подтверждающие ее верность. Если нет, возвращаемся к чертежам, меняем теорию и пробуем снова. В любом случае, качество теории определяется успешностью ее предсказаний.

Иногда теории очень точно предсказывают факты. К примеру, Галлей, рассчитав с помощью теории Ньютона орбиты комет, подверг эти теории суровой проверке, предсказав, что в 1758-м или 1759 году комета снова появится на небе. Тут не могло быть никаких отговорок или оправданий — если бы комета не появилась, теория рухнула бы. Теперь-то мы знаем, что возвращение кометы Галлея в ночь на Рождество 1758 года представляет собой одно из величайших подтверждений ньютоновского представления о Вселенной, но важно помнить, что все могло быть иначе. В наши дни, конечно, возвращения периодических комет можно предсказать куда точнее.

Теории могут предсказывать и общие закономерности. Например, история эволюции впервые была восстановлена по ископаемым органическим остаткам. Это дало ученым представление о том, как разные организмы связаны между собой, как давно у них были общие предки и так далее. Не так давно был найден новый способ выявления связей между живыми организмами — молекулярные часы. Эта методика основана на анализе ДНК: чем больше разница между ДНК двух организмов, тем раньше должны были разойтись их эволюционные пути. Теория эволюции предсказывает наличие единого генеалогического древа для всех живых организмов, потому ДНК и ископаемые остатки должны рассказывать одну и ту же историю. Это одно из недвусмысленных предсказаний теории, которое, однако, не привлекло к себе большого внимания. Совпадение двух историй прошлого — один из полученных в результате наблюдений фактов, подтверждающих теорию эволюции.

Эта опора на проверку опытом, как мне кажется, и есть то, что отличает науку от других видов интеллектуальной деятельности. Сформулируем разницу самым прямым и неоригинальным образом: в науке есть верные ответы. Не имеет значения, насколько элегантна теория и сколь высокое положение занимают ее создатели. Если теория не работает, надо от нее отказаться или изменить ее. И только так. Эта опора на проверку опытом служит демаркационной линией, разделяющей естественные и гуманитарные науки. В таких дисциплинах, как философия или литературная критика, нет внешнего объективного арбитра, играющего роль природы. Например, толкования произведения искусства так сравнивать невозможно. Соответственно, представителям гуманитарных и естественных наук бывает трудно понять образ мыслей друг друга. К этому вопросу мы скоро вернемся.

С опорой на экспериментальную проверку идей в научном сообществе связан интересный социологический феномен. Часто случается, что, когда теория оказывается несостоятельной, небольшая группа, иногда даже один человек, еще долго пытается ее оживить. По моему опыту, ни один ученый не испытывает такого одиночества, как те, кто пытается оживить теории, не выдержавшие проверку экспериментом. Покинутые коллегами, они не отступают, часто на протяжении всей жизни безуспешно пытаясь оспорить вынесенный природой приговор. Наука бывает суровым воспитателем, потому что она неумолимо требует подвергать идеи сомнению, заставляет судить их трибуналом наблюдения прежде, чем принять.

У этого факта есть важное следствие. Если идею невозможно проверить экспериментально, столкнуть ее лицом к лицу с природой, то это просто не наука. Используя термин, популяризованный философом Карлом Поппером (1902–94), научные идеи должны быть фальсифицируемы (т. е. опровержимы) — из них должны выводиться поддающиеся проверке утверждения. Другими словами, должно быть возможно представить себе результат эксперимента или наблюдения, демонстрирующий неверность теории (например, закона всемирного тяготения), даже если на практике такие результаты и не будут получены. Комета Галлея могла не появиться снова. Тот факт, что она появилась, конечно, подтвердил теорию Галлея, но то, что это могло не произойти, показывает, что теория была фальсифицируема. Таким же образом, могло оказаться, что ДНК рыб ближе к человеческой ДНК, чем ДНК шимпанзе. Это опровергло бы теорию эволюции. Результат, конечно, был иным — ДНК шимпанзе и людей совпадают на 98%, — но в принципе он мог быть и таким. Это показывает, что теория эволюции фальсифицируема.

Для сравнения рассмотрим теорию, популярную последнее время среди креационистов, — доктрину сотворенной древности. Согласно этой теории, Земля сотворена несколько тысяч лет назад, и в ней уже тогда были заложены свидетельства значительно большего возраста. Например, горные породы созданы вместе с находящимися в них ископаемыми остатками, деревья созданы с годичными кольцами, свет от звезд, находящихся на расстоянии тысяч световых лет, создан по пути к Земле, и так далее. Первая (и весьма элегантная) иллюстрация этого принципа дана в книге «Омфалос», написанной вскоре после выхода работы Дарвина. По-гречески «Омфалос» означает пупок, и главная идея книги состоит в том, что Адам был сотворен с пупком, хотя он не был в утробе и, соответственно, не нуждался в пуповине.

Главное в этой теории то, что невозможно представить себе опровергающий ее эксперимент или наблюдение. От любого свидетельства ее неверности можно отмахнуться, сказав, что такой была сотворена Земля. Эта теория не фальсифицируема (не опровержима), поэтому сколь бы она ни была привлекательна, она просто не научна. Немалая часть того, что принято называть альтернативной наукой, страдает этим недостатком — она не проходит тест на опровержимость. В телесериале «Секретные материалы» (горячим поклонником которого я, кстати, являюсь) речь идет о масштабном заговоре, единственная цель которого — уничтожить свидетельства присутствия на Земле инопланетян. Отсутствие доказательств всегда объясняется одним и тем же: «Они не хотят, чтобы ты это увидел». Это хороший сериал, но плохая наука.

Прежде, чем пойти дальше, я хотел бы упомянуть, что обвинения в невозможности фальсификации иногда приходится слышать в спорах об эффективности классической фрейдистской психотерапии. Некоторые критики утверждают, что фрейдистская теория может объяснить результат лечения независимо от его исхода. Если это так (в чем я не уверен), то эта теория также выходит за рамки науки.

**Большой цикл**

Итак, научное исследование образует цикл: эксперименты, затем обнаружение закономерностей, создание теорий, предсказание на их основе новых фактов и, наконец, возвращение к эксперименту для проверки верности предсказанного. Большинство ученых значительную часть жизни водят свою область знаний по этому кругу. Это то, что философы называют «нормальной наукой». Иногда, как мы видели, происходящее не укладывается в эту удобную схему, но ничего иного и нельзя ожидать от дела, которым занимаются люди. Таким образом, на любом этапе своего развития каждая научная область пытается перейти от одного этапа к другому. Один из способов сравнить разные науки — выяснить, на каком этапе цикла они находятся в данный момент. Другими словами, каким образом представители данной области стараются продвинуть ее вперед?

Я начинал свою карьеру в физике элементарных частиц — разделе науки, посвященном изучению фундаментальных составляющих материи. В данный момент этот раздел находится на этапе между предсказанием фактов и их проверкой. Налицо несколько правдоподобных теорий, и многие из них предсказывают поведение частиц очень высоких энергий при столкновении. К сожалению, мы не можем проверить верность предсказанного, потому что у нас нет машин, способных ускорить частицы до достаточно высоких энергий. В 1993 году Конгресс США с присущей ему мудростью принял решение о прекращении строительства машины, названной «Сверхпроводящий суперколлайдер», обеспечив таким образом невозможность последовательного развития теории и эксперимента в этой области. Машина поменьше под названием «Большой адронный коллайдер» должна вступить в строй в Европейском центре ядерных исследований (CERN) в Женеве (Швейцария) к 2005 году, и, может быть, физика элементарных частиц снова сможет развиваться.

В то время как некоторые отрасли науки изголодались по данным, другие, напротив, страдают от пресыщения. Например, во многих областях молекулярной биологии новая информация поступает таким потоком, что его невозможно переварить. Живые организмы — самые сложные структуры во Вселенной, и только теперь у нас появилась возможность исследования такого уровня сложности. Многие направления в науках о жизни задержались на этапе перехода от эксперимента к выявлению закономерностей, и исследователи прилагают большие усилия, пытаясь найти молекулярный аналог законов Кеплера.

Хороший пример этого — так называемая проблема укладки белка. Среди прочего, белки — это рабочие лошадки, управляющие химическими процессами в живых организмах. Это крупные молекулы, имеющие сложную пространственную форму. Именно эта форма позволяет белку выступать на молекулярном уровне в роли своеобразного посредника — способствовать протеканию химических реакций, не участвуя в них (см. Катализаторы и ферменты). Белок строится из меньших по размеру молекул, называемых аминокислотами. Построение белка напоминает процесс нанизывания бусинок на нить. После того как аминокислоты соединены в цепочку, под действием сложных электростатических взаимодействий между атомами в соседних аминокислотах, а также между этими атомами и окружающей их водой белок укладывается в сложную трехмерную форму, позволяющую ему выполнять свою функцию.

Проблему укладки белка можно сформулировать так: можно ли предсказать форму молекулы и, соответственно, выполняемую ей химическую функцию, зная последовательность аминокислот в составляющей белок «цепочке»? На данный момент ответ на этот вопрос — «нет», потому что эта проблема слишком сложна, чтобы решить ее с помощью даже самого быстрого компьютера. Вероятно, существуют правила — молекулярный аналог законов Кеплера, — которые помогут нам понять, как устроен процесс укладки, но из-за сложности проблемы нам пока не удалось их найти. Это классический пример неспособности увидеть лес за деревьями.

Сложность проблем тормозит продвижение и в других научных областях. К примеру, источником большей части ведущихся сейчас споров о парниковом эффекте и глобальном потеплении служит неспособность климатологов четко предсказать последствия поступления в атмосферу таких веществ, как углекислый газ. Главная причина этой неопределенности не в том, что неясны основные физико-химические процессы, определяющие поведение атмосферы. Дело в том, что реальная атмосфера настолько сложна, что мы не можем ввести всю необходимую информацию в компьютерную программу. Например, на данный момент два важных климатических фактора — облака и океанские течения — плохо поддаются анализу с помощью таких программ. Можно сказать, что, с точки зрения нашего понимания научного метода, эта область находится между этапами теории и предсказания.

Завершая обсуждение примеров, поговорим об эволюционной теории. Данные в этой области накапливаются на протяжении сотен лет, и многие закономерности известны. Внимание некоторых последователей эволюционной теории теперь направлено на более широкую проблему определения общих принципов, которым подчиняется вся история жизни. Например, одно дело знать, как в течение конкретного периода времени менялся конкретный вид плоских червей или птиц, и совершенно другое — понять, как целые экосистемы реагируют на изменения, уметь предсказать судьбу каждого вида. В контексте нашего разговора можно сказать, что эволюционные биологи пытаются перейти в своей области от закономерностей к теории.

Как мы увидели, ученые постоянно работают над продвижением своей области науки от этапа к этапу цикла — от эксперимента к поиску закономерностей, далее к теории, предсказанию новых фактов и снова к эксперименту. Программа деятельности варьируется от одной дисциплины к другой в зависимости от предмета изучения и степени зрелости дисциплины. На каждом новом витке цикла теории становятся все точнее и подробнее, а наше представление о природе — полнее. И хотя философы могут не согласиться (и не соглашаются) со мной, я считаю, что с каждым витком мы становимся все ближе к истине о нашей Вселенной.

Следует сделать несколько замечаний относительно нарисованной мною упорядоченной картины научного прогресса. Одно уже сделано выше: иногда при появлении новых данных или теорий вся система претерпевает коренные изменения. Мне кажется, что философы придают этому слишком большое значение (такие «революции» можно сосчитать по пальцам одной руки), но такие вещи случаются, и про них надо знать. Второе замечание: мы имеем дело с бесконечным процессом. Нельзя дойти до конца круга, как нельзя получить у природы окончательные подтверждения своих идей. Это значит, что в науке всегда есть место новым идеям и расширению горизонтов познания в новых направлениях. Через пятьдесят или сто лет в новостях наверняка будет так же много известий о новинках науки, как и сейчас. Наконец, у цикла нет фиксированных временных рамок. Развитие науки повинуется собственной логике и зависит от появления новых инструментов и идей, так что не всегда можно предсказать, когда удастся решить те или иные проблемы или получить ответы на те или иные вопросы. Иногда прогресс движется семимильными шагами, а иногда он вдруг застопоривается. Иногда открытия в одной области глубоко влияют на другие, давая им новые инструменты — в качестве примера можно привести лазер. В конечном счете, прогресс трудно предсказуем, и это лишает сна руководителей исследовательских проектов и государственных деятелей.

Из-за такой специфики научного процесса научная работа и государственная деятельность часто плохо согласуются между собой. Предположим, например, что в следующий вторник должно состояться важное голосование по некоему вопросу и что народным представителям для того, чтобы решить, как голосовать, нужна определенная научная информация. Однако нет никакой гарантии, что внутренняя логика соответствующих наук позволит получить эту информацию вовремя. Для ученого это не предмет для беспокойства. Если со временем ответ будет найден, нет особых причин переживать о том, когда это произойдет. Для политиков же информация, полученная после будущего вторника, не просто бесполезна, а даже вредна. Она не только не поможет им решить, как голосовать, но и может поставить их в неудобное положение, показав, что они проголосовали неправильно.

Еще один пример. Функция судов состоит в том, чтобы выяснить, имеют ли место определенные факты, и вынести решение по проблемам, ставшим предметом противоречий. Если, например, компания предстала перед судом, потому что истец утверждает, что ее продукция вызывает рак, то решить, имеет ли место этот факт, нужно немедленно. Ученые не могут просить суд подождать десять лет, пока они разберутся во всех фактах и проведут соответствующие исследования. Решение должно быть принято в ходе судебного процесса, и информацию необходимо представить в это время. А если позже появится новая информация, она вряд ли принесет сторонам пользу, потому что подобные дела чрезвычайно трудно возобновить.

Таким образом, научный метод — действительно прекрасный инструмент получения ответов на вопросы о физическом устройстве Вселенной. Идеи не принимаются, пока они не пройдут тщательной опытной проверки, и это делает их чрезвычайно надежными. Но в науке на то, чтобы прийти к консенсусу, нужно много времени, и это значит, что не всегда возможно получить информацию, необходимую для принятия политических решений и улаживания судебных споров.

**Роль законов природы**

Круг объектов и явлений во Вселенной невероятно широк — от звезд, в тридцать раз превосходящих массой Солнце, до микроорганизмов, которые нельзя рассмотреть невооруженным взглядом. Эти объекты и их взаимодействия составляют то, что мы называем материальным миром. В принципе, каждый объект мог бы существовать по своему собственному набору законов, совершенно независимому от законов, управляющих всеми остальными объектами. Такая Вселенная была бы хаотичной и трудной для понимания, но с точки зрения логики это возможно. То, что мы живем не в такой хаотичной Вселенной, стало в большой степени следствием существования законов природы.

Роль законов природы состоит в том, чтобы упорядочивать и выстраивать объекты, связывать то, что кажется между собой не связанным, создавать простой каркас, соединяющий Вселенную воедино. В этой связи мне нравится использовать аналогию с паутиной. На периферии паутины находятся все явления во Вселенной — травинки, горы, кометы и так далее. Если попасть в паутину в любой точке на краю, выбрав для исследования единственное явление, можно начать задавать про него вопросы. Двигаясь в этом направлении, вы обнаружите, что все дальше и дальше углубляетесь в паутину, находя все более глубокие объяснения изучаемого явления. Постепенно обнаруживаются общие закономерности, относящиеся не только к изучаемому явлению, но связывающие его с другими, хотя эти связи и не видны с первого взгляда. Эти глубинные объяснения мы и называем законами природы.

Если продолжить исследование, можно обнаружить, что эти процессы идут еще дальше. Оказывается, что многие законы природы сами связаны с другими, еще более глубокими законами, у этих более глубоких законов есть свои, более глубокие связи и так далее. В конце концов, в самом центре паутины можно найти относительно небольшое число законов, связывающих всю конструкцию воедино. По сложившейся в науке привычке не придавать терминологии особого значения, их иногда называют «законами природы». Но, чтобы избежать путаницы, я буду называть их «основополагающими принципами», отличая их этим от остальных законов, принципов и эффектов, о которых мы будем говорить.

Перефразируя известную фразу из «Скотного двора» Оруэлла, «все законы природы равны, но некоторые равнее других». Конечно, как и следовало ожидать, среди ученых нет общего мнения относительно того, что именно представляют собой основополагающие принципы нашего ремесла, но вам пришлось бы потрудиться, чтобы найти ученого, несогласного с фактом их существования. Подозреваю также, что практически никто не спорит с включением в эту элитную группу некоторых принципов, например первого начала термодинамики. На периферии же возможны здоровые расхождения во мнениях. Вспоминаю, как несколько лет назад в журнале «Science» была опубликована статья на эту тему, и в ней читателям предлагалось присылать свои списки кандидатов в «лучшую двадцатку». Получив больше 800 ответов, редакция обнаружила, что составить список из десяти «величайших идей» нетрудно, а на следующие десять мест претендентов очень много. Ниже я, среди прочего, просто опишу область действия каждого закона и предоставлю вам решать, принадлежит ли он к основополагающим принципам.

Хочу проиллюстрировать паутину взаимосвязанных законов и принципов с помощью уже упомянутого нами вкратце предмета, а именно комет. Про кометы можно задать много разных вопросов. Один очень старый вопрос: почему они появляются на небе беспорядочно — откуда они берутся и куда исчезают? В действительности, речь идет про орбиты комет или, более общо, про влияние на их орбиты Солнца и планет. Чтобы понять, как движется комета, надо знать, какие силы на нее действуют и какие законы управляют этим воздействием. Так случилось, что пониманием и того, и другого мы обязаны Исааку Ньютону. Его закон всемирного тяготения говорит нам, с какой силой Солнце действует на комету, а законы механики объясняют, как эта сила влияет на движение кометы. Вместе эти законы показывают, как будет перемещаться каждая комета, двигаясь вокруг Солнца.

Они же представляют собой первую из объединяющих идей, о которых мы говорили ранее (Ньютон до этого смог таким же образом объяснить движение планет). Другими словами, получается, что законы, управляющие движением комет, — в точности те же самые, что управляют движением планет. Сила притяжения Солнца действует и на те, и на другие, а разница между орбитами планет и комет связана со способом образования этих двух классов объектов (см. Гипотеза газопылевого облака). Кометы попадают внутрь Солнечной системы из областей, находящихся далеко за пределами орбит самых дальних планет, поэтому они приближаются к Солнцу по касательной. Их можно сравнить с детьми, играющими в знакомую игру, в которой надо как можно быстрее подбежать к столбу, схватиться за него и обежать его. Планеты же сформировались более или менее там же, где находятся сейчас, и, соответственно, движутся вокруг Солнца по размеренным, почти круглым траекториям.

Вывод о том, что движением планет и комет управляют одни и те же законы, оказался революционным и совершенно неожиданным. В конце концов, что может быть больше непохоже на размеренное, регулярное и предсказуемое продвижение планеты по небосводу, чем беспорядочное и непредсказуемое появление комет? Однако эти, казалось бы, совершенно разные небесные явления подчиняются одним и тем же законам и связаны с притяжением Солнца одинаковым образом.

Именно это позволило астрономам в середине XX века понять, откуда берутся кометы. Изучив траекторию комет с момента их появления в солнечной системе, астрономы сумели с помощью законов Ньютона рассчитать, где начался их путь. Было обнаружено, что кометы пришли из двух резервуаров на холодных просторах космоса — плоского диска с внешней стороны орбиты Плутона, называемого Поясом Койпера, и огромной сферы, простирающейся на расстоянии примерно полутора световых лет от Солнца, называемой Облаком Оорта. Получается, что так же, как законы Ньютона позволили Эдмунду Галлею рассчитать орбиту кометы, захваченной Солнцем, они дали возможность продолжателям его дела выяснить, откуда берутся кометы. Это еще одна из неожиданных связей, о которых мы говорили ранее.

Если спросить не откуда появилась комета, а что она собой представляет, окажешься в совершенно иной части паутины. Простой вопрос из этой категории может звучать так: «Из каких химических элементов и соединений состоят кометы?» Поскольку по большей части исследование комет ведется с большого расстояния, астрономы, задающие себе подобный вопрос, изучают, как комета излучает и поглощает свет, пытаясь таким образом определить ее химический состав. Как и все остальные материальные объекты, кометы состоят из атомов, а атомы особым образом взаимодействуют со светом. Атомы каждого химического элемента и соединения излучают в характерном только для него наборе длин волн, который можно рассматривать как своеобразный оптический отпечаток пальца (см. Спектроскопия). В случае видимого света мы воспринимаем эти оптические отпечатки пальцев как разные цвета. Ярко-синий свет, видимый, когда кусочек меди падает в костер, и насыщенный желтый цвет уличного натриевого фонаря — примеры этого явления. Атомы кометы испускают свет, он проходит огромные космические расстояния до телескопа, и астрономы определяют химический состав кометы, несмотря на то, что не могут заполучить ее фрагменты для лабораторного исследования.

Конечно же, для применения этого метода не нужно, чтобы свет проходил огромные расстояния. Он дает такой же хороший результат, когда свет проходит всего несколько метров или даже миллиметров. В химической промышленности часто используют это свойство атомов — то, что каждый вид атомов испускает свет характерного именно для него набора цветов, — для контроля качества производственных процессов. Так испытывают самую разнообразную продукцию — лекарства, краски, напитки и многое другое. То, что инженер, проверяющий качество партии бензина, и астроном, изучающий дальнюю комету, используют в своей работе одни и те же законы поведения атомов — еще один пример этих неожиданных связей.

Я могу и дальше приводить примеры, но думаю, что вам понятно, о чем идет речь. Когда видишь мир как единое целое, управляемое законами природы, а не как большое число разрозненных явлений, представление о Вселенной становится более связным. Начинаешь видеть связи между, казалось бы, несвязанными вещами, упорядоченность во всем огромном разнообразии природных явлений. Мне кажется, что это — главный дар науки нашему интеллекту, одно из величайших достижений человеческой мысли.

**Наука в XX веке**

Картина, только что нарисованная мною для вас, именуемая «научным взглядом на мир», несет на себе отчетливую печать ньютоновских представлений. Существует распространенное заблуждение, что XX век сыграл с Исааком Ньютоном злую шутку и что ученые уже не считают Вселенную упорядоченным местом, управляемым законами природы. Философы, придерживающиеся подобных взглядов, зачастую утверждают, что благодаря теории относительности, принципу неопределенности Гейзенберга и детерминистическому хаосу прежний научный взгляд на мир устарел. Ничто не может быть дальше от истины!

Для начала поговорим об относительности. Как мы увидим, Эйнштейн пришел к своей теории в попытке спасти принцип главенства законов природы в науке. В частности, его интересовал один аспект ньютоновских законов механики — тот факт, что независимо от точки наблюдения и даже при перемещении наблюдателей друг относительно друга любой наблюдатель увидит действие во Вселенной одних и тех же законов. На этой простой посылке он построил сложную теоретическую структуру, не столько вытеснившую законы Ньютона, сколько расширившую их применение на новые области. Например, одно из следствий из теории Эйнштейна состоит в том, что перемещающиеся часы идут медленнее, чем те, что находятся в покое. Для движения с обычными скоростями (например, в машине или самолете) это замедление столь мало, что не поддается измерению, так что в повседневной жизни можно смело игнорировать относительность. Но для объектов, движущихся со скоростями, меньшими скорости света, но сопоставимыми с ней, разница может быть значительной, и ее необходимо учитывать.

О так называемом эффекте замедления времени можно сделать два замечания. Во-первых, он в полной мере подтвержден экспериментально, как этого требует научный метод. Во-вторых, при использовании релятивистских уравнений для описания медленно движущихся объектов воспроизводятся ньютоновские законы движения. Более того, исходя из представления о том, что каждый закон природы верен в той степени, в какой верны подтверждающие его экспериментальные данные, нужно помнить, что законы Ньютона изначально проверялись только применительно к обычным объектам, движущимся с нормальными скоростями — для которых их предсказания совпадают с предсказаниями теории относительности. Но при скоростях, близких к скорости света, для которых законы Ньютона никогда не проверялись, две теории расходятся в своих предсказаниях, причем предсказания теории относительности проверены экспериментально. Это очерчивает область применимости законов Ньютона, но также говорит нам о том, что теория относительности не противоречит им, а дает возможность распространить существующую теорию на новые области.

Представление о том, что ньютоновские яблоки высыпались из тележки, опрокинутой теорией относительности, основано на неявной посылке о том, что законы Ньютона можно распространить без изменений на объекты, движущиеся со скоростями, близкими к скорости света. Для этого нет никакой логической причины. Рассуждать подобным образом — все равно что утверждать, что, раз жители Америки говорят по-английски, то и жители Парижа должны говорить по-английски, и затем найти в этом умопостроении огромное противоречие, когда окажется, что в действительности парижане говорят по-французски.

Отношения между теориями Ньютона и Эйнштейна дают нам прекрасный пример того, как развиваются достигшие зрелости науки. Новая теория не отменяет старую. Вместо этого новые и более глубокие теории расширяют область применения старых, включая их в свой состав. Мы по сей день используем законы Ньютона при расчете движения космических аппаратов просто потому, что эти законы в полной мере испытаны и проверены в подобных ситуациях. В этом смысле наука растет, как дерево, все время добавляя новые ветви, но всегда сохраняя при этом сердцевину.

Аргументы, почерпнутые из теории хаоса и квантовой механики, касаются другой стороны ньютоновского взгляда на мир — представления о детерминизме. Говоря языком физики, система является детерминированной, если, зная начальные условия и законы, определяющие ее поведение, можно предсказать ее состояние в любой момент в будущем. Классический пример детерминированной системы — столкновение двух бильярдных шаров. Зная их положение и скорости до столкновения, с помощью закона сохранения момента импульса и первого начала термодинамики легко предсказать, где будет находиться каждый из шаров в любой момент после столкновения. Теория относительности — совершенно детерминистическая теория. Часы на движущихся бильярдных шарах могут замедляться, но для того, чтобы предсказать их поведение, можно использовать уравнения Эйнштейна точно так же, как и законы Ньютона. Дайте мне начальное положение и скорость каждого из шаров, и я скажу вам, где какой шар окажется в будущем.

С хаотическими системами ситуация несколько иная. Конечное состояние этих систем, открытых во второй половине XX века прежде всего благодаря использованию компьютерного моделирования, чрезвычайно сильно зависит от начальной точки. Речные пороги — хороший пример хаотической системы. Если в воду перед порогом положить рядом две щепки, то за порогом они окажутся далеко одна от другой. Это значит, что для того, чтобы предсказать будущее хаотической системы, необходимо очень точно знать ее начальное положение. В действительно хаотической системе для того, чтобы предсказать ее поведение в любой момент бесконечно продолжающегося будущего, необходимо знать ее начальное состояние с бесконечной точностью. Для проходящей речной порог щепки это означает, что ее начальное положение должно быть известно с бесконечной точностью. Поскольку очевидно, что в реальной системе это требование выполнить невозможно, будущее состояние такой системы практически невозможно предсказать с ньютоновской точностью.

Значит ли это, что хаос разрушил ньютоновский взгляд на мир? Вовсе нет. Ньютоновский детерминизм — это классическое утверждение типа «если ..., то ...»: если я знаю, каково первоначальное состояние системы, то я могу предсказать ее будущее. Теория хаоса затрагивает не этот главный принцип, а взаимосвязь между величиной погрешности в посылке утверждения («если ...») и величиной погрешности в заключении («то ...»). Если погрешность в посылке равна нулю (т. е. если первоначальное состояние системы известно нам с бесконечной точностью), то величина погрешности в заключении также равна нулю (т. е. можно с точностью предсказать ее будущее поведение). Таким образом, хаотичные системы являются детерминированными в теории, но не на практике. Ученые отдают должное этому факту, называя поведение систем, подобных речным порогам, детерминистическим хаосом.

Мне кажется, что путаница с хаосом и ньютоновскими представлениями возникла из-за бытующего мнения, что будущее классических ньютоновских систем всегда можно предсказать с бесконечной точностью. Это совершенно неверно, даже применительно к совсем простым ситуациям. Описывая выше идеальные ньютоновские бильярдные шары, я не стал заострять внимание на вопросе, насколько точно могут быть известны их положения и скорости. На самом деле, в реальном мире в отношении этих чисел всегда присутствует некоторая неопределенность, а это значит, что и будущее положение шаров также не может быть предсказано совершенно точно. Помню, в аспирантуре мне пришлось проработать именно такой пример, чтобы усвоить, что в реальном мире никакая система не может быть бесконечно предсказуемой. В конце концов, разница между хаотической и классической ньютоновской системой — дело степени. В предсказании поведения любой системы — даже ньютоновских бильярдных шаров — имеется неопределенность, если есть неопределенность в измерениях ее исходного состояния. Хаотические системы — просто крайний случай этого принципа.

Ситуация с квантовой механикой несколько сложнее, прежде всего вследствие принципа неопределенности Гейзенберга. Суть этого принципа состоит в том, что невозможно одновременно совершенно точно знать и положение, и скорость субатомной частицы. Можно точно знать одно или другое, или и то, и другое с некоторой степенью неопределенности, но нельзя определенно знать и то, и другое одновременно. Это значит, что в мире атомов приходится описывать состояние частицы совершенно иначе, чем в ньютоновском мире. Вместо того чтобы считать частицу конкретным предметом (как, например, бейсбольный мяч), находящимся в определенном месте и движущимся с определенной скоростью, приходится рассматривать ее как некую разновидность волны.

Из-за этого в квантовой механике можно предсказать только вероятности (физики называют их волновыми функциями). Некоторые считают, что из-за этого квантовая механика не является детерминистической теорией, но в действительности это не так. Квантовая механика говорит нам, как от первоначального состояния, описанного в вероятностных терминах, прийти к конечному состоянию, также описанному в вероятностных терминах. Практически все трудности, с которыми сталкиваются люди из-за «квантовых странностей» связаны с попытками смешать квантовый мир с ньютоновским. Например, иногда (не осознавая этого) исходят из того, что первоначальное состояние электрона описывается в ньютоновских терминах, и используют тот факт, что конечное состояние описывается в вероятностных терминах, в качестве аргумента, подтверждающего, что мы каким-то образом утратили способность делать детерминистические прогнозы.

Однако точка отсчета в разговоре о квантовой механике состоит вот в чем: если хочешь играть в квантовую игру, придется играть по квантовым правилам. Другими словами, если конечное состояние системы будет описано в вероятностных терминах, придется и ее исходное состояние описывать так же. Если понять это, то окажется, что квантовая механика — такая же детерминированная система, определяемая утверждениями типа «если ..., то ...». Если я знаю исходное состояние системы (описанное в вероятностных терминах), то я могу точно предсказать ее конечное состояние (также описанное в вероятностных терминах). Единственная разница между ньютоновской и квантовой механикой — это понятие «состояния». С точки зрения Ньютона, состояние — это совокупность таких переменных, как положение в пространстве и скорость, а пионеры квантовой механики под состоянием понимали волновую функцию. Выбор того или иного определения делает за нас природа, но когда выбор сделан, утверждение о возможности предсказания окажется одним и тем же.

Таким образом, три великих открытия XX века, перечеркнувшие, по мнению многих, ньютоновский взгляд на Вселенную, привели к следующему:

– теория относительности выходит за пределы ньютоновской теории и расширяет ее, распространяясь на объекты, движущиеся со скоростью, близкой к скорости света,

– теория хаоса дает нам представление о влиянии ошибок в определении первоначальных состояний на точность предсказаний, и

– квантовая механика по-новому определяет и расширяет понятие физического состояния, распространяя его на волновые функции.

Другими словами, все новые достижения науки, казалось бы перечеркнувшие ньютоновскую физику, на деле просто расширили и переопределили ее главные положения.

Центральная идея науки, согласно которой возможно экспериментально найти законы, управляющие явлениями природы, и сформулировать теории, позволяющие предсказывать новые явления, остается в силе. Это хорошо, поскольку благодаря этому говорить о законах природы не только интересно, но и необходимо для того, чтобы понять, как устроена наша Вселенная.