

Содержание

Предисловие	7
Благодарности	9
1. Теория Всего	11
2. Тени.....	45
3. Решение проблем	71
4. Критерии реальности.....	91
5. Виртуальная реальность	119
6. Универсальность и пределы вычислений	147
7. Диалог об обосновании, или Дэвид Дойч и криптоиндуктивист.....	169
8. Важность жизни	197
9. Квантовые компьютеры.....	229
10. Природа математики	261
11. Время: первая квантовая концепция	303
12. Путешествие во времени	339
13. Четыре нити	375
14. Конец вселенной	401
Библиография.....	427

Предисловие

Если и существует единая мотивация для взгляда на мир, изложенного в этой книге, она заключена в том, что главным образом благодаря ряду экстраординарных научных открытий мы обладаем сейчас некоторыми чрезвычайно глубокими теориями о структуре реальности. Если мы хотим понять мир не поверхностно, а более глубоко, нам помогут эти теории и разум, а не наши предрассудки, приобретенные мнения, и даже не здравый смысл. Наши лучшие теории не только истиннее здравого смысла, но в них гораздо больше смысла, чем в здравом смысле. Мы должны воспринимать их серьезно: не просто как практическую основу соответствующих областей, а как объяснение мира. Я полагаю, что мы сможем достичь величайшего понимания, если будем рассматривать их не по отдельности, а совместно, поскольку они связаны неразделимым образом.

Может показаться странным, что это предложение — постараться выработать рациональное и самосогласованное мировоззрение на основе наших лучших, наиболее фундаментальных теорий — является совершенно беспрецедентным и вызывает серьезные разногласия. Но на практике получается именно так. Одна из причин заключается в том, что каждая из этих теорий, когда ее воспринимают серьезно, влечет крайне контринтуитивные следствия. Поэтому предпринимаются всевозможные попытки избежать встречи с этими следствиями: теории *специально* изменяют или дают им иные интерпретации, произвольно сужают область их применимости или просто применяют на практике, не делая далеко идущих выводов. Я буду критиковать некоторые подобные попытки (ни одна из которых, по-моему, и гроша ломаного не стоит),

но только в том случае, когда такая критика является удобным способом объяснения самих теорий. Главная цель этой книги — не защищать эти теории, а исследовать, какой была бы структура реальности, если бы эти теории оказались истинными.

Благодарности

Развитию идей, описанных в этой книге, в значительной степени способствовали беседы с Брайсом ДеВиттом, Артуром Экертом, Майклом Локвудом, Энрико Родриго, Деннисом Сиамой, Фрэнком Типлером, Джоном Уилером и Колей Вулфом.

Я выражаю благодарность своим друзьям и коллегам Рут Чанг, Артуру Экерту, Дэвиду Джонсон-Дэвису, Майклу Локвуду, Энрико Родриго и Коле Вулфу, своей маме Тикве Дойч и своим издателям Кэролайн Найт и Рави Мирчандани (издательство Penguin Books) и Джону Вудраффу, и особенно Саре Лоренс за внимательное и критичное чтение первых черновиков этой книги, а также за множество предложенных ими исправлений и улучшений. Также я признателен всем, кто читал и комментировал части рукописи, включая Харви Брауна, Стива Грэхема, Росселлу Лупаччини, Свейна Олава Ньюберга, Оливера и Гарриет Стримпел, а в особенности Ричарда Докинза и Фрэнка Типлера.

1

Теория Всего

Помню, когда я был еще ребенком, мне говорили, что в древние времена очень образованный человек мог *знать все, что было известно*. Кроме того, мне говорили, что в наше время известно так много, что ни один человек даже за всю свою жизнь не в состоянии изучить больше крошечной частички этого знания. Последнее удивляло и разочаровывало меня. Я просто отказывался в это поверить. Вместе с тем я не знал, как оправдать свое неверие. Но такое положение вещей меня определенно не устраивало, и я завидовал древним ученым.

Не то чтобы я хотел заучить все факты, перечисленные в энциклопедиях мира: напротив, я ненавидел зубрежку. Не таким способом я надеялся получить возможность узнать все, что только было известно. Даже если бы мне сказали, что ежедневно появляется столько публикаций, сколько человек не сможет прочитать и за целую жизнь, или что науке известно 600 000 видов жуков, это не разочаровало бы меня. Я не горел желанием проследить за полетом каждого воробья. Более того, я никогда не считал, что древний ученый, который, как предполагалось, знал все, что было известно, стал бы занимать себя чем-то подобным. Я иначе представлял себе то, что может считаться известным. Под «известным» я подразумевал *понятое*.

Сама мысль о том, что один человек в состоянии понять все, что понято, может показаться фантастической, однако фантастики в ней куда меньше, чем в мысли о том, что один человек сможет запомнить все известные факты. К примеру, никто не сможет за-

помнить все известные результаты научных наблюдений даже в такой узкой области, как движения планет, но многие астрономы *понимают* эти движения настолько полно, насколько их можно понять. Это становится возможным, потому что понимание зависит не от знания множества фактов как таковых, а от наличия правильных концепций, объяснений и теорий. Одна сравнительно простая и понятная теория может охватить бесконечно много неудобоваримых фактов. Лучшей теорией планетарного движения является *общая теория относительности* Эйнштейна, которая в самом начале XX века вытеснила теории гравитации и движения Ньютона. Теория Эйнштейна в принципе предсказывает не только все движения планет, но и все остальные эффекты гравитации, и согласуется с нашими самыми точными измерениями. Дело в том, что, когда теория предсказывает что-либо «в принципе», это означает, что предсказание логически следует из теории, даже если на практике для получения некоторых таких предсказаний необходимо произвести больше вычислений, чем мы способны осуществить технически или физически в той вселенной, которую мы знаем.

Способность предсказывать или описывать что-либо, даже достаточно точно, совсем не равноценна пониманию этого. В физике предсказания и описания часто выражаются в виде математических формул. Допустим, я запомнил формулу, из которой при наличии времени и желания мог бы вычислить любое положение планет, которое когда-либо было записано в архивах астрономов. Что же я в этом случае выиграл бы по сравнению с непосредственным заучиванием архивов? Формулу проще запомнить, но ведь найти число в архивах может быть даже проще, чем вычислить его из формулы. Истинное преимущество формулы в том, что ее можно использовать в бесконечном множестве случаев помимо архивных данных, например, для предсказания результатов будущих наблюдений. С помощью формулы можно также получить более точное историческое положение планет, потому что архивные данные содержат ошибки наблюдений. И все же несмотря на то, что формула охватывает бесконечно больше фактов, чем архив наблюдений, знать ее не значит понимать движения планет. Факты невозможно понять, попросту собрав их в формулу, так же как нельзя понять

их, просто записав или запомнив. Факты можно понять только после объяснения. К счастью, наши лучшие теории наряду с точными предсказаниями содержат глубокие объяснения. Например, общая теория относительности объясняет гравитацию на основе новой четырехмерной геометрии искривленного пространства и времени. Она точно объясняет, каким образом эта геометрия воздействует на материю и подвергается воздействию материи. В этом объяснении и заключается полное содержание теории; а предсказания движений планет — это всего лишь некоторые следствия, выводимые из этого объяснения.

Общая теория относительности так важна не потому, что она может чуть более точно предсказать движение планет, чем теория Ньютона, а потому, что она открывает и объясняет такие аспекты действительности, о которых ранее не подозревали — например, искривление пространства и времени. Это типично для научного объяснения. Научные теории объясняют объекты и явления в нашей жизни, опираясь на лежащую в их основе фундаментальную реальность, которую мы не воспринимаем непосредственно. Но способность теории объяснить то, что мы ощущаем, — не самое ценное ее качество. Самое ценное заключается в том, что она объясняет саму структуру реальности. Как мы увидим, одно из самых ценных, значимых и полезных качеств человеческой мысли — ее способность открывать и объяснять структуру реальности.

Однако некоторые философы, и даже ученые, недооценивают роль объяснения в науке. Для них основная цель научной теории заключается не в объяснении чего-либо, а в предсказании результатов экспериментов: все содержание теории заключено в формуле предсказания. Они считают, что годится любое непротиворечивое объяснение, которое теория может дать своим предсказаниям, равно как и отсутствие объяснения, — до тех пор, пока ее предсказания верны. Такой взгляд называется *инструментализмом* (поскольку в этом случае теория — всего лишь «инструмент» для предсказаний). Саму мысль о том, что наука может позволить нам понять скрытую реальность, лежащую в основе наших наблюдений, инструменталисты считают ложной и тщеславной. Они не понимают, каким образом то, о чем говорит научная теория помимо предска-

зания результатов экспериментов, может быть чем-то бóльшим, чем пустые слова. В частности, объяснения они считают вспомогательными психологическими приспособлениями — чем-то вроде художественных элементов, включаемых в теории, чтобы сделать их занимательнее и облегчить запоминание. Лауреат Нобелевской премии, физик Стивен Вайнберг¹, явно говорил с позиций инструментализма, сделав следующий невероятный комментарий к объяснению гравитации Эйнштейном:

«Важно иметь возможность сделать предсказания относительно изображений на фотопластинках астрономов, частот спектральных линий и т. п., а то, припишем ли мы эти прогнозы физическому воздействию гравитационных полей на движение планет и фотонов [как это было в физике до Эйнштейна] или искривлению пространства и времени, просто не имеет значения» (*Gravitation and Cosmology*, p. 147).

Вайнберг и другие инструменталисты ошибаются. То, что мы приписываем изображениям на астрономических фотопластинках, имеет значение, и не только для физиков-теоретиков вроде меня, у которых мотивацией для написания формул и изучения теорий как раз и является лучше понять мир. (Я уверен, что эта мотивация присуща и Вайнбергу: вряд ли его стимулирует одно лишь желание предсказывать изображения и спектры!) Дело в том, что даже для чисто практического применения прежде всего важна объяснительная сила теории, а уж потом, в качестве дополнения, — ее предсказательные возможности. Если это вас удивляет, представьте, что на земле появился инопланетный ученый и преподнес нам ультравысокотехнологичный «оракул», который может предсказать результат любого эксперимента, но без каких-либо объяснений. Если верить инструменталистам, то как только мы получим этот оракул, или предсказатель, наши научные теории нам будут нужны разве что для развлечения. Но так ли это? Каким образом оракул можно было бы использовать практически? В некотором смысле

¹ Стивен Вайнберг (род. 1933) — американский физик и популяризатор науки. Один из авторов теории электрослабого взаимодействия, за которую в 1979 г. вместе с Шелдоном Глэшоу и Абдусом Саламом был удостоен Нобелевской премии. — *Прим. ред.*

он содержал бы знания, необходимые для того, чтобы построить, скажем, межзвездный корабль. Но как именно он бы пригодился нам при строительстве такого корабля, или при создании другого подобного предсказателя, или даже при усовершенствовании мышеловки? Оракул всего лишь предсказывает результаты экспериментов. Следовательно, чтобы вообще использовать его, нам сначала нужно знать, о каких экспериментах его можно спрашивать. Если бы мы дали предсказателю проект космического корабля и информацию о предполагаемом испытательном полете, он мог бы сказать нам, как поведет себя корабль во время этого полета. Но спроектировать космический корабль предсказатель не смог бы. И даже если бы он сообщил нам, что спроектированный нами космический корабль взорвется при запуске, он не смог бы сказать нам, как предотвратить этот взрыв. Эту проблему снова пришлось бы решать нам. А прежде чем ее решить, прежде чем приступить хоть к какому-то усовершенствованию конструкции, нам пришлось бы *понять*, кроме всего прочего, принцип работы космического корабля. И только тогда у нас появилась бы возможность узнать, почему он может взорваться при запуске. Предсказание — пусть даже самое совершенное, универсальное предсказание — не способно заменить объяснение.

Сходным образом и в научных исследованиях оракул не может дать нам ни одной новой теории. Только в том случае, если у нас уже есть теория и мы придумали эксперимент для ее проверки, можно было бы спросить его, что произойдет, если подвергнуть эту теорию данному испытанию. Таким образом, предсказатель заменил бы вовсе не теории — он заменил бы эксперименты. Он избавил бы нас от затрат на испытательные лаборатории и ускорители частиц. Вместо того чтобы строить опытные образцы космических кораблей и рисковать жизнью летчиков-испытателей, все испытания мы могли бы проводить на земле, посадив летчиков в пилотажные тренажеры, поведение которых определялось бы предсказаниями оракула.

Предсказатель мог бы быть весьма полезен во многих ситуациях, но его полезность всегда будет зависеть от способности людей решать научные проблемы точно так же, как они вынуждены де-

лать это сейчас, а именно — изобретая объяснительные теории. Он даже не может заменить все эксперименты, поскольку на практике его способность предсказать результат какого-то частного эксперимента зависит от того, что проще: достаточно точно описать этот эксперимент, чтобы оракул дал полезный ответ, или провести эксперимент в действительности. Таким образом, для связи с предсказателем нужен своего рода «пользовательский интерфейс». Возможно, описание эксперимента придется вводить на каком-то стандартном языке, причем одни эксперименты было бы труднее описать, чем другие. На практике описание многих экспериментов оказалось бы слишком сложным для ввода. Таким образом, предсказатель имел бы те же основные достоинства и недостатки, что и любой другой источник экспериментальных данных, и был бы полезен только в тех случаях, когда обращение к нему оказывалось бы удобнее, чем к другим источникам.

Можно посмотреть на ситуацию и другим способом: такой оракул уже существует рядом с нами, и это — физический мир. Он сообщает нам результат любого возможного эксперимента, если мы спрашиваем его на правильном языке (т. е. если мы проводим эксперимент), хотя в некоторых случаях нам не очень удобно «вводить описание эксперимента» в требуемой форме (т. е. создавать некий прибор и управлять им). И он тоже не дает никаких объяснений.

В немногих практических случаях, например, при прогнозе погоды, оракул, обладающий исключительно предсказательной функцией, устроил бы нас почти в той же степени, как и объяснительная теория. Но даже в этом случае это справедливо лишь при условии, что сделанный оракулом прогноз погоды является полным и совершенным. На практике прогнозы погоды неполны и несовершенны, и, чтобы скомпенсировать неточность, в них включают объяснения того, как метеорологи получили тот или иной прогноз. Объяснения позволяют нам судить о надежности прогноза и вывести дальнейшие предсказания с учетом нашего месторасположения и наших нужд. К примеру, для меня есть разница, чем будет вызвана ветреная погода, которую прогнозируют на завтра: ожидаемой близостью района с высоким атмосферным давлением или более отдаленным ураганом. В последнем случае я был бы более осторожным.

Метеорологам самим необходимы объяснительные теории о погоде, чтобы они могли угадать, какие приближения можно допустить при компьютерном моделировании погоды, какие дополнительные наблюдения обеспечат более точный и своевременный прогноз погоды и т. п.

Таким образом, идеал инструменталистов, олицетворяемый нашим воображаемым оракулом, а именно — научная теория, лишенная своего объяснительного содержания, будет иметь очень ограниченную полезность. Так будем благодарны, что реальные научные теории не похожи на этот идеал и что ученые в действительности к нему не стремятся.

Крайняя форма инструментализма, называемая *позитивизмом* (или логическим позитивизмом), утверждает, что все положения, отличные от тех, которые описывают или предсказывают наблюдения, не только излишни, но и бессмысленны. И хотя в соответствии с этим критерием в самой доктрине отсутствует смысл, она тем не менее господствовала в науке всю первую половину XX столетия! Идеи инструменталистов и позитивистов широко распространены даже сегодня. Причина такой их внешней убедительности заключается в том, что, хотя предсказание не является целью науки, оно является характерной чертой научного *метода*. Этот научный метод включает выдвижение новой теории для объяснения некоторого класса явлений, затем проведение *решающей экспериментальной проверки* — такого эксперимента, для которого старая теория предсказывает один видимый результат, а новая теория — другой. Затем теория, предсказания которой оказались ложными, отвергается. Таким образом, результат решающего эксперимента, который позволяет сделать выбор между двумя теориями, зависит от предсказаний теорий, а не напрямую от их объяснений. Именно отсюда истекает ошибочное представление, что в научной теории нет ничего, кроме предсказаний. Однако экспериментальная проверка — это далеко не единственный процесс, обеспечивающий рост научного знания. Подавляющее большинство теорий отвергли не потому, что они не прошли проверку экспериментом, а потому, что они давали плохие объяснения. Мы отвергаем такие теории, даже не проверяя их. Например, рассмотрим следующую теорию:

съев килограмм травы, можно вылечить от простуды. Эта теория делает предсказание, которое можно проверить на опыте: если люди попробуют лечиться травой и найдут это неэффективным, будет доказана ее ложность. Но эту теорию никогда не проверяли экспериментально и, возможно, никогда не будут проверять, потому что она не дает объяснений: она не объясняет ни механизм лечения, ни что бы то ни было еще. Поэтому мы справедливо полагаем, что она ложная. Всегда есть бесконечно много возможных теорий такого рода, совместимых с существующими наблюдениями и предлагающих новые предсказания, и у нас не хватило бы ни времени, ни средств, чтобы проверить их все. Мы проверяем те новые теории, которые выглядят более обещающими для объяснения вещей, чем доминирующие сегодня.

Утверждать, что предсказание — цель научной теории, значит путать средства и цели. Точно так же можно сказать, что цель космического корабля — сжигать топливо. На самом деле горение топлива — это лишь один из многих процессов, которые корабль должен выполнить для достижения своей действительной цели, то есть для транспортировки полезного груза из одной точки космического пространства в другую. Успешная экспериментальная проверка — это лишь один из многих шагов, которые теория должна пройти для достижения истинной цели науки, состоящей в объяснении мира.

Как я уже сказал, объяснения неизбежно включают то, чего мы не наблюдаем непосредственно: атомы и силы; внутреннее строение звезд и вращение галактик; прошлое и будущее; законы природы. Чем глубже объяснение, тем к более отдаленным от непосредственного опыта сущностям оно должно обращаться. Однако эти сущности не являются вымышленными: напротив, они часть самой структуры реальности.

Объяснения часто порождают предсказания, по крайней мере, в принципе. В самом деле, если что-то вообще можно предсказать, то достаточно полное объяснение должно обеспечивать столь же полное предсказание (помимо всего прочего). Однако можно объяснить и понять многие очевидным образом непредсказуемые вещи. Например, вы не можете предсказать, какие номера выдаст хоро-

шая, симметричная рулетка. Но если вы понимаете, что именно в конструкции и действии рулетки делает ее беспристрастной, то вы сможете объяснить, почему невозможно предсказать номера. И опять: знание о том, что рулетка является честной, не равноценно пониманию того, что делает ее таковой.

И я говорю именно о понимании, а не просто о знании (или описании, или предсказании). Поскольку понимание приходит через объяснительные теории, и благодаря высокой общности таких теорий, быстрый рост числа зафиксированных фактов не обязательно усложняет понимание всего, что понято. Тем не менее большинство людей считает (и именно так мне говорили в детстве), что с ошеломляющей скоростью растет не только количество записанных фактов, но также количество и сложность теорий, через которые мы познаем мир. Следовательно, говорят они, не важно, было или нет такое время, когда один человек мог понять все, что было понято, в наше время это точно невозможно, и это становится все более и более невозможным по мере роста нашего знания. Может показаться, что каждый раз, когда появляется новое объяснение или методика, существенная для данного предмета, приходится добавлять еще одну теорию к списку, который должен выучить любой, кто желает понять предмет. Когда же количество таких теорий в любом предмете становится слишком большим, появляются специализации. Физика, к примеру, разделилась на астрофизику, термодинамику, физику элементарных частиц, квантовую теорию поля и многие другие части. Теоретическая основа каждой из них по крайней мере столь же обширна, как вся физика была сто лет назад, и многие уже распадаются на подспециализации. Кажется, что, чем больше открытий мы делаем, тем дальше и тем более безвозвратно нас уносит в век узких специалистов, и тем более далекими становятся те гипотетические древние времена, когда понимание обычного человека могло охватить все, что только было понято.

Человека, столкнувшегося с этим огромным и быстро растущим списком теорий, созданных человеческой расой, можно простить за его сомнения в том, что один индивидуум способен за свою жизнь отведать каждое блюдо и самостоятельно, как это могло быть когда-то, оценить все известные рецепты. Однако объясне-

ние — необычная пища: большую порцию не обязательно труднее проглотить. Теорию может вытеснить новая теория, более точная, с большим количеством объяснений, но и более простая для понимания. В этом случае старая теория становится лишней, и мы понимаем больше, а учим меньше. Именно это и произошло, когда теория Николая Коперника о том, что Земля движется вокруг Солнца, вытеснила сложную систему Птолемея, которая помещала Землю в центр вселенной. Иногда новая теория может упрощать существующую, как в случае, когда арабские (десятичные) цифры заменили римские. (В данном случае теория выражена неявно. Каждая система записи делает определенные операции, высказывания и мысли о числах проще, чем другие системы, и, следовательно, воплощает некую теорию о том, какие отношения между числами являются полезными или интересными.) Новая теория может также объединять две старые теории, давая нам больше понимания, чем при их использовании по отдельности, как это произошло, когда Майкл Фарадей и Джеймс Клерк Максвелл объединили теории электричества и магнетизма в одну теорию электромагнетизма. Более удачные объяснения любого предмета обычно косвенным образом ведут к совершенствованию методологии, концепций и языка, с помощью которых мы пытаемся понять другие предметы, а следовательно, по мере возрастания нашего знания в целом его структура может становиться более доступной для понимания.

Часто бывает так, что даже после того, как старые теории включаются в новые, они не забываются полностью. Даже римские цифры все еще используются сегодня в определенных случаях. Те громоздкие методы, с помощью которых люди когда-то вычисляли, что XIX, умноженное на XVII, равно CCCXXIII, уже не применяются всерьез, но даже сейчас они несомненно известны и понятны кому-то, например, историкам математики. Означает ли это, что человек не может понять «все, что понято», не зная римских цифр и их загадочной арифметики? Совсем нет. Современный математик, который по какой-то причине никогда не слышал о римских цифрах, тем не менее уже обладает полным пониманием связанной с ними математики. Узнав о римских цифрах, этот математик приобретет не новое понимание, а всего лишь новые факты —

исторические факты, факты о свойствах некоторых произвольно определенных символов, но не новое знание о самих числах. Он уподобится зоологу, который учится переводить названия видов на иностранный язык, или астрофизику, который узнает, каким образом люди различных культур группируют звезды в созвездия.

Необходимо ли знание арифметики римских цифр для понимания *истории* — отдельный вопрос. Можно допустить, что какая-то историческая теория — какое-то объяснение — зависит от определенных методов, которые древние римляне использовали для умножения. Ведь есть же предположение о том, например, что их особые методы строительства водопроводов из свинцовых труб, отравлявших питьевую воду, внесли свой вклад в падение Римской империи! Если так, то нам следует узнать, какие это были методы, если мы хотим понять историю, а следовательно, и понять все, что понято. Но ни одно современное объяснение истории не связано с методикой умножения чисел, так что наши сведения относительно этих методов — не более чем констатация фактов. Все, что понятно, может быть понято и без заучивания этих фактов. Мы в любое время можем посмотреть в справочник, если, например, расшифровываем древний текст, в котором эти методы упоминаются.

Постоянно разграничивая понимание и «просто» знание, я не хочу преуменьшить важность зафиксированной, но не объясняющей информации. Такая информация безусловно важна для всего: от воспроизводства микроорганизма (который содержит такую информацию в молекулах ДНК) до самого абстрактного человеческого мышления. Чем же тогда отличается понимание от простого знания? Что есть объяснение, если противопоставить его констатации факта, такой как точное описание или предсказание? На практике мы обычно легко видим разницу. Мы знаем, когда чего-то не понимаем, даже если мы можем точно описать и предсказать это (например, течение известной болезни неизвестного происхождения), и также мы знаем, когда объяснение улучшает наше понимание. Но дать точное определение понятий «объяснение» или «понимание» сложно. Грубо говоря, они скорее отвечают на вопрос «почему», чем на вопрос «что»; затрагивают внутреннюю суть вещей; описывают их реальное, а не кажущееся состояние;

говорят о том, что должно быть, а не просто что случается; определяют законы природы, а не эмпирические правила. Эти понятия также связаны с согласованностью, красотой и простотой в противоположность произвольному и сложному, хотя ни одному из этих понятий тоже нельзя дать простого определения. Но в любом случае понимание — это одна из высших функций человеческого мозга и разума, и эта функция уникальна. Многие другие физические системы, например, мозг животных, компьютеры и другие машины, способны усваивать факты и действовать в соответствии с ними. Но в настоящее время мы не знаем ничего, кроме человеческого разума, что было бы способно понять объяснение и, главное, желало бы его получить. Каждое открытие нового объяснения и каждый акт понимания существующего объяснения зависит от уникальной человеческой способности мыслить творчески.

То, что произошло с римскими цифрами, можно рассматривать как процесс «разжалования» объяснительной теории до простого описания фактов. Подобное снижение статуса теорий происходит постоянно по мере роста нашего знания. Изначально римская система цифр действительно формировала часть концептуальной и теоретической системы взглядов, посредством которой люди, использовавшие их, понимали мир. Но сейчас то понимание, которое когда-то достигалось таким образом, — не более чем крошечный аспект гораздо более глубокого понимания, воплощенного в современных математических теориях и неявно — в современной записи чисел.

Это иллюстрирует еще одно свойство понимания. Можно понимать что-то, не осознавая, что понимаешь, и даже не будучи знакомым с предметом. Возможно, это звучит парадоксально, но весь смысл глубоких, общих объяснений состоит в том, что они охватывают не только знакомые ситуации, но и незнакомые. Если бы вы были современным математиком и впервые столкнулись с римскими цифрами, возможно, вы бы сразу не осознали, что уже понимаете их. Сначала вам бы пришлось узнать определенные факты о том, что это такое, а потом поразмышлять над этими фактами в свете имеющегося у вас понимания математики. Но сделав это, вы могли бы, оглядываясь, сказать: «Да, в римской системе цифр

для меня нет ничего нового, кроме фактов». Именно это мы имеем в виду, когда говорим, что объяснительная роль римских цифр полностью устарела.

Точно так же, когда я говорю, что понимаю, каким образом кривизна пространства и времени влияет на движение планет, в том числе и в других солнечных системах, о которых я, возможно, никогда и не слышал, я не утверждаю, что могу вспомнить без дальнейших размышлений объяснение всех особенностей формы и возмущений орбиты любой планеты. Я имею в виду, что понимаю теорию, содержащую все эти объяснения, и поэтому могу вывести любое из них, если получу некоторые факты о конкретной планете. Сделав это, я могу, оглянувшись в прошлое, сказать: «Да, за исключением фактов, я не вижу в движении этой планеты ничего, что не объясняла бы общая теория относительности». Мы понимаем структуру реальности, только понимая объясняющие ее теории. А поскольку они объясняют больше, чем непосредственно осознаем, мы можем понимать больше того, в чем непосредственно отдаем себе отчет.

Я не утверждаю, что если мы понимаем теорию, то мы *обязательно* понимаем и все, что она может объяснить. В очень глубокой теории осознание того, что она объясняет данное явление, само по себе может быть значительным открытием, требующим независимого объяснения. Например, квазары — чрезвычайно яркие источники излучения в центре некоторых галактик — в течение многих лет были одной из загадок астрофизики. Некоторое время полагали даже, что для их объяснения потребуются новая физика, но сейчас мы считаем, что их объясняет общая теория относительности и другие теории, которые были известны еще до открытия квазаров. Мы полагаем, что квазары состоят из горячего вещества, находящегося в процессе падения в черную дыру (сколлапсировавшие звезды, со столь сильным гравитационным полем, что из него невозможно вырваться¹). Однако потребовались многие годы на-

¹ Черные дыры в квазарах в миллионы раз массивнее звезд. Они возникли либо в результате длительной аккумуляции массы сколлапсировавшими звездами, либо непосредственно за счет коллапса огромных газовых облаков. — *Прим. ред.*

блюдений и теоретических исследований, прежде чем мы пришли к этому выводу.

Теперь, когда мы считаем, что достигли определенной степени понимания квазаров, ясно, что раньше мы этим пониманием не обладали. Хотя мы и объяснили квазары через существующие теории, мы получили абсолютно новое понимание. Насколько сложно дать определение объяснению, настолько же сложно определить, когда следует считать такое дополнительное объяснение независимой составляющей того, что понято, а когда рассматривать его как относящееся к более глубокой теории. Это сложно определить, но не так сложно осознать: как и с объяснениями в целом, на практике мы опознаем новое объяснение, когда получаем его. И снова: разница связана с творческой способностью. Объяснить движение конкретной планеты человеку, который уже понимает общую теорию относительности, — чисто механическая задача, хотя она может оказаться очень сложной. Но чтобы использовать существующую теорию для объяснения квазаров, необходимо творческое мышление. Таким образом, чтобы понять все, что понято в астрофизике на сегодняшний день, вам придется явным образом изучить теорию квазаров. А вот знать орбиту какой-то определенной планеты не обязательно.

Таким образом, хотя количество известных нам теорий, да и зафиксированных фактов, растет как снежный ком, из этого еще не следует, что сама структура становится более сложной для понимания. Дело в том, что, становясь более подробными и многочисленными, отдельные теории постоянно «теряют актуальность», так как понимание, которое они содержат, переходит к глубоким, более общим теориям. Количество последних все время уменьшается, но они становятся более глубокими и более общими. Под «большой общностью» я подразумеваю то, что каждая из этих теорий больше говорит о большем количестве ситуаций, чем несколько отдельных теорий ранее. Под «большой глубиной» я понимаю то, что каждая из них объясняет больше (заключает в себе большее понимание), чем ее предшественники, вместе взятые.

Если бы вы захотели построить большое сооружение, мост или собор несколько веков назад, вам понадобился бы опытный

мастер. Он бы имел некоторые знания о том, как придать прочность и устойчивость конструкции с минимально возможными усилиями и затратами, но не смог бы выразить большую часть этого знания на языке математики и физики, как мы можем сделать это сегодня. Вместо этого он полагался бы главным образом на сложное сочетание интуиции, навыков и эмпирических правил, которые узнал во времена своего ученичества, а впоследствии, возможно, усовершенствовал, руководствуясь догадками и долгим опытом работы. Тем не менее эта интуиция, эти навыки и эмпирические правила на самом деле были явными и неявными *теориями*, и они содержали реальное знание о предметах, которые сегодня мы называем инженерным делом и архитектурой. Именно из-за знания этих теорий, пусть очень неточных по сравнению с существующими сегодня и применимых в небольшом числе случаев, вы и наняли бы этого мастера. Восхищаясь строениями, простоявшими века, люди часто забывают, что видят лишь то, что уцелело. Подавляющее большинство сооружений, построенных в средние века и раньше, давно развалилось, и зачастую вскоре после постройки. Особенно это касалось новаторских сооружений. Считалось очевидным, что любое нововведение несет риск катастрофы, и строители редко отступали от традиционных конструкций и методов. В наши дни, напротив, большая редкость, если какое-то строение (пусть даже не похожее ни на что из построенного раньше) развалится из-за негодного проекта. Все, что мог построить квалифицированный строитель древности, его современные коллеги могут построить лучше и с намного меньшими усилиями. Они также могут соорудить такие строения, о которых он вряд ли мечтал, например, небоскребы или космические станции. Они могут использовать такие материалы, как стекловолокно или железобетон, о которых он никогда не слышал и которые вряд ли смог бы использовать, даже если бы они каким-то образом у него появились, так как он имел весьма смутные и неточные представления о поведении материалов.

Мы достигли нынешнего уровня знаний не потому, что собрали много теорий, подобных тем, что были известны древнему мастеру. Наше знание, явное и неявное, не просто намного больше — оно отличается по своей структуре. Как я уже сказал, современных

теорий меньше, но они более общие и более глубокие. В каждой ситуации, с которой сталкивался древний мастер, выполняя какую-то работу (к примеру, выбирая толщину несущей стены), он пользовался довольно специфической интуицией или эмпирической зависимостью, которые применительно к нестандартным случаям могли дать безнадежно неправильные ответы. В наше время проектировщик принимает такие решения, используя настолько общую теорию, что ее можно применить к стенам, сделанным из любых материалов, в любой среде: на Луне, под водой и где угодно еще. Причина ее общности в том, что теория основана на достаточно глубоких объяснениях принципов поведения материалов и конструкций. Чтобы найти правильную толщину стены из незнакомого материала, используют ту же теорию, для обычной стены, но приступая к расчетам, берут другой набор фактов — другие числовые значения различных параметров. Конечно, приходится искать в справочнике такие факты, как предел прочности на разрыв и упругость материала, но в дополнительном понимании нет необходимости.

Вот почему современный архитектор не нуждается в более длительной или трудоемкой подготовке, понимая гораздо больше, чем древний строитель. Возможно, типичную теорию из учебной программы современного студента понять сложнее, чем любую из эмпирических зависимостей древнего строителя; но современных теорий гораздо меньше, а их объяснительная сила придает им и другие качества, такие как красота, внутренняя логика и связь с другими предметами, благодаря которым эти теории проще изучать. Сейчас мы знаем, что некоторые древние эмпирические правила были ошибочными, другие — истинными или близкими к истине, и мы знаем причины этого. Некоторыми эмпирическими правилами мы до сих пор пользуемся, но ни одно из них уже не является основой для понимания того, почему конструкции не рушатся.

Я, конечно, не отрицаю того, что специализация происходит во многих предметах, где увеличивается знание, включая и архитектуру. Однако это не однонаправленный процесс, так как специализации часто исчезают: колеса уже не проектируют и не изготов-

ливают колесные мастера, плуги — мастера по плугам, а письма уже не пишут писцы. Тем не менее достаточно очевидно, что тенденция углубления и объединения, которую я описывал, не единственная: параллельно с ней происходит непрерывное *расширение*. Поясню: новые идеи часто не просто вытесняют, упрощают или объединяют существующие. Они также расширяют человеческое понимание на области, которые раньше не были понятны совсем или о существовании которых даже не догадывались. Они могут открывать новые возможности, ставить новые задачи, порождать новые специализации и даже новые предметы. И когда такое происходит, нам может потребоваться, по крайней мере на время, изучать больше информации, чтобы понять все это.

Медицинская наука, возможно, является наиболее распространенным примером растущей специализации, которая кажется неизбежным следствием роста знания по мере того, как открываются новые лекарства и способы лечения многих болезней. Но даже в медицине присутствует противоположная тенденция объединения, которая непрерывно усиливается. Общеизвестно, что многие функции тела, как, впрочем, и механизмы многих болезней, еще мало изучены. Следовательно, некоторые области медицинского знания все еще состоят, главным образом, из собрания записанных фактов, навыков и интуиции врачей, имеющих опыт в лечении определенных болезней и передающих эти навыки и интуицию из поколения в поколение. Другими словами, большая часть медицины все еще не вышла из эпохи эмпирических правил, и вновь обнаруженные такие правила стимулируют появление специализаций. Но когда в результате медицинских и биохимических исследований появляются более глубокие объяснения процессов болезни (и здоровых процессов) в теле, увеличивается и понимание. Когда в различных частях тела, в основе разных болезней обнаруживают общие молекулярные механизмы, на смену узким теориям приходят более общие. Как только болезнь понимают настолько, что могут вписать ее в общую структуру, роль специалиста уменьшается. Вместо этого врачи, столкнувшись с незнакомой болезнью или редким осложнением, могут все в большей степени полагаться на объяснительные теории. Они могут посмотреть известные факты в спра-

вочнике, но затем применить обобщенную теорию, чтобы разработать необходимое лечение и ожидать, что оно будет эффективным, даже если никогда раньше оно не применялось.

Таким образом, вопрос о том, сложнее или проще становится понять все, что понято, зависит от баланса двух противоположных результатов роста знания: *расширения* и *углубления* наших теорий. Из-за расширения понять их сложнее, из-за углубления — проще. Один из тезисов этой книги состоит в том, что углубление медленно, но уверенно побеждает. Другими словами, утверждение, в которое я отказывался поверить, будучи ребенком, и в самом деле ложно, а практически истинно противоположное. Мы не удаляемся от состояния, когда один человек способен понять все, что понято, мы приближаемся к нему.

Я не утверждаю, что скоро мы поймем *всё*. Это совсем другой вопрос. Я не верю, что сейчас мы близки или когда-то приблизимся к пониманию *всего, что существует*. Я говорю о возможности понимания *всего, что понято*. Это, скорее, зависит не от содержания нашего знания, а от его структуры. Но структура нашего знания — независимо от возможности его выражения в теориях, составляющих понятное целое — безусловно, зависит от того, на что похожа структура реальности в целом. Если свободный рост знания будет продолжаться бесконечно, и если мы, несмотря ни на что, приближаемся к тому состоянию, когда один человек сможет понять все, что понято, значит, глубина наших теорий должна увеличиваться достаточно быстро, чтобы обеспечить эту возможность. Это может произойти, если только сама структура реальности настолько едина, что по мере роста нашего знания мы сможем понимать ее все больше и больше. Если так и будет продолжаться, то в конечном итоге наши теории станут настолько общими, глубокими и составляющими друг с другом единое целое, что превратятся в единственную теорию единой структуры реальности. Такая теория не объяснит каждый аспект реальности: это недостижимо. Но она охватит все известные объяснения и будет применима ко всей структуре реальности настолько, насколько последняя будет понята. В то время как все предыдущие теории относились к конкретным предметам, это будет теория всех предметов: *Теория Всего*.

Эта теория, безусловно, не будет последней в своем роде, она будет первой. В науке считается очевидным, что даже наши лучшие теории обречены быть в некотором роде несовершенными и проблематичными, и мы ожидаем, что в свое время их вытеснят более глубокие и точные теории. И этот прогресс не остановится, когда мы откроем универсальную теорию. Например, Ньютон дал нам первую универсальную теорию тяготения и объединил, помимо всего прочего, небесную и земную механику. Но его теории вытеснила общая теория относительности Эйнштейна, которая помимо этого включила в физику геометрию (которую раньше считали разделом математики) и за счет этого дает более глубокие объяснения и является более точной. Первая действительно универсальная теория — которую я буду называть Теорией Всего — подобно всем нашим теориям, которые существовали до нее и появятся после нее, не будет ни абсолютно истинной, ни бесконечно глубокой, а потому, в конечном итоге, ее заменит другая теория. Но она не будет превзойдена за счет объединения с теориями других предметов, ибо она сама будет теорией всех предметов. В прошлом значительный прогресс в понимании порой достигался за счет объединения теорий. В других случаях прогресс был вызван структурными изменениями в понимании конкретного предмета, как, например, когда мы перестали считать Землю центром Вселенной. После первой Теории Всего уже не будет значительных объединений. Все последующие великие открытия будут переменами в понимании мира в целом, то есть изменениями в нашем мировоззрении. Создание Теории Всего будет последним большим объединением и в то же время первым шагом к возникновению нового мировоззрения. Я считаю, что именно такое объединение и переход происходят сейчас. Соответствующий взгляд на мир и является темой этой книги.

Считаю своей обязанностью сразу подчеркнуть, что я говорю не просто о «теории всего», которую в скором будущем надеются открыть некоторые специалисты в области физики элементарных частиц. Их «теория всего» должна стать объединенной теорией всех основных взаимодействий, известных физике, а именно: гравитации, электромагнетизма и ядерных сил. Она также должна описать все типы существующих субатомных частиц, их массы, спины,

электрические заряды и другие свойства, а также их взаимодействия. При наличии достаточно точного описания начального состояния любой изолированной физической системы такая теория в принципе могла бы предсказать будущее поведение системы. Если точное поведение системы в силу устройства природы непредсказуемо, то теория должна описать все возможные варианты поведения системы и назвать их вероятности. На практике часто невозможно определить с высокой точностью начальное состояние интересующих нас систем, и в любом случае расчет предсказаний может быть слишком сложным во всех ситуациях, кроме простейших. Тем не менее такая объединенная теория частиц и взаимодействий вместе с указанием начального состояния Вселенной в момент Большого взрыва (события, с которого и началась наша Вселенная) в принципе будет содержать всю информацию, необходимую для предсказания всего, что можно предсказать (рис. 1.1).

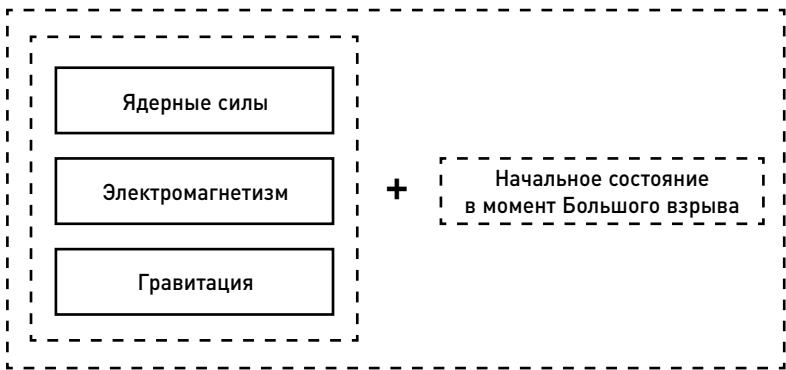


Рис. 1.1. Неадекватная концепция «теории всего»

Но предсказание — еще не объяснение. Та «теория всего», на которую так надеются физики, даже совместно с теорией начального состояния, в лучшем случае представит лишь крошечную грань истинной Теории Всего. Эта теория сможет (в принципе) *предсказать* все. Но нельзя ожидать, что она *объяснит* намного больше, чем существующие теории, за исключением немногих явлений, определяемых особенностями субатомных взаимодействий, таких как столкновения внутри ускорителей элементарных частиц

или нетривиальная история взаимопревращения частиц во время Большого взрыва. Что же побуждает ученых использовать термин «теория всего» для столь узкой, хотя и захватывающей части знания? Я полагаю — еще один ошибочный взгляд на природу науки, который осуждают многие критики науки, но (увы!) одобряют многие ученые: представление о том, что наука по существу является *редукционистской*. Да, наука как будто объясняет все путем редукции, раскладывая вещи на составляющие. Например, сопротивление стены проникновению или опрокидыванию объясняется тем, что стена — это огромный набор взаимодействующих молекул. Свойства этих молекул, в свою очередь, объясняют через составляющие их атомы и взаимодействие этих атомов друг с другом и так далее до мельчайших частиц и самых фундаментальных взаимодействий. Редукционисты считают, что все научные объяснения и, возможно, любые достаточно глубокие объяснения принимают именно такую форму.

Редукционистское мировоззрение естественным образом ведет к созданию иерархии предметов и теорий в соответствии с тем, насколько они близки к самым «низкоуровневым» из известных нам предсказательных теорий. В этой иерархии логика и математика образуют незыблемую основу, на которой строится система научных взглядов. Фундаментом должна стать редукционистская «теория всего» — универсальная теория частиц, взаимодействий, пространства и времени вместе с некоторой теорией о том, каково было начальное состояние Вселенной. Остальная физика образует первые несколько этажей. Астрофизика и химия займут более высокий уровень, геология — еще более высокий и т. д. Затем здание разделится на множество башен — предметов еще более высокого уровня, таких как биохимия, биология и генетика. На колеблющихся вершинах, уходящих в стратосферу, примостятся такие предметы, как теория эволюции, экономика, психология и информатика, которые в этой картине являются производными в почти немислимой степени.

В настоящее время мы располагаем только приближениями к редукционистской «теории всего». Они уже достаточно точно могут предсказывать законы движения отдельных субатомных частиц.

Используя эти законы, современные компьютеры могут рассчитать до определенного уровня детализации движение любой изолированной группы из нескольких взаимодействующих частиц, если известно их начальное состояние. Но даже мельчайшая крупинка вещества, видимая невооруженным глазом, содержит триллионы атомов, каждый из которых состоит из множества субатомных частиц и непрерывно взаимодействует с внешним миром, так что предсказать поведение этой крупинки через поведение образующих ее частиц не представляется возможным. Дополняя точные законы движения различными приближенными схемами, мы можем предсказать некоторые аспекты общего поведения достаточно крупных объектов, например, температуру плавления или кипения данного химического соединения. Большая часть химии сводится таким образом к физике. Но для наук более высокого уровня программа редуccionистов — всего лишь дело принципа. Никто на самом деле не собирается выводить многочисленные принципы биологии, психологии или политики из принципов физики. Причина, по которой предметы более высокого уровня вообще поддаются изучению, состоит в том, что в определенных условиях непостижимо сложное поведение огромного количества частиц становится основной простоты и понятности. Это называется *эмерджентностью*, то есть проявлением: высокоуровневая простота как бы проявляется из низкоуровневой сложности. Явления высокого уровня, относительно которых мы имеем понятные факты и не можем просто вывести их из низкоуровневых теорий, называются *эмерджентными явлениями*. Например, стена могла быть крепкой, потому что ее строители боялись, что их враги могут попытаться проломить эту стену. Это высокоуровневое объяснение прочности стены невыводимо из низкоуровневого объяснения, которое я привел выше (хотя и не является несовместимым с ним). «Строители», «враги», «боялись», «попытаться» — это эмерджентные явления. Цель высокоуровневых наук — дать нам возможность понять эмерджентные явления, самыми важными из которых, как мы увидим, являются *жизнь, мысль и вычисление*.

Кстати, противоположностью редуccionизма является *хололизм* — идея о том, что единственно законными являются объяс-

нения через системы высокого уровня, — и она еще более ошибочна, чем редукционизм. Чего ожидают от нас холисты? Того, что мы прекратим наши поиски молекулярного происхождения болезней? Или станем отрицать, что люди состоят из субатомных частиц? Там, где существуют редукционистские объяснения, они столь же желанны, как любые другие. Там, где целые научные дисциплины удается свести к низкоуровневым теориям, мы, ученые, в той же мере обязаны найти эти упрощения, как и обязаны открывать любое другое знание.

Редукционист считает, что цель науки — разложить все на составляющие. По мнению инструменталиста, все дело в способности предсказывать события. Для каждого из них существование наук высокого уровня — лишь вопрос удобства. Сложность мешает нам использовать элементарную физику для получения высокоуровневых предсказаний, и вместо этого мы угадываем, каковы были бы эти предсказания, если бы мы могли их получить, и эмерджентность дает нам шанс на успех. Утверждается, что именно в этом заключается смысл высокоуровневых наук. Таким образом, для редукционистов и инструменталистов, которые игнорируют как истинное устройство, так и истинную цель научного знания, основой предсказательной иерархии физики является, по определению, «теория всего». Но для всех остальных научное знание состоит из объяснений, а структура научного объяснения не отражает иерархию редукционистов. Объяснения существуют на каждом уровне иерархии. Многие из них автономны и относятся только к понятиям данного уровня (например, «медведь съел мед, потому что был голоден»). Многие содержат дедуктивные выводы, направление которых противоположно направлению редукционистских объяснений. То есть они объясняют вещи, не разделяя их на меньшие и более простые, а рассматривают их как составляющие более крупных и сложных вещей, для которых у нас, тем не менее, есть объяснительные теории. Например, рассмотрим конкретный атом меди на кончике носа статуи сэра Уинстона Черчилля, которая находится на Парламентской площади в Лондоне. Я попытаюсь объяснить, почему этот атом меди находится там. Это произошло потому, что Черчилль был премьер-министром в Палате общин, которая расположена непо-

далеку; и потому, что его идеи и лидерство способствовали победе союзных сил во Второй мировой войне; и потому, что принято чествовать таких людей, ставя им памятники; и потому, что бронза, традиционный материал для таких памятников, содержит медь и т. д. Таким образом, мы объясним физическое низкоуровневое наблюдение — присутствие атома меди в определенном месте — через теории чрезвычайно высокого уровня о таких эмерджентных явлениях, как идеи, руководство, война и традиция.

Нет никакой причины, по которой, пусть даже в принципе, должно существовать какое-либо более низкоуровневое *объяснение* появления этого атома меди в этом месте, чем то, которое я только что привел. По-видимому, редукционистская «теория всего» в принципе могла бы дать низкоуровневое *предсказание* вероятности, что такая статуя будет существовать, если известно состояние (скажем) Солнечной системы в какое-то более раннее время. Точно так же эта теория в принципе описала бы, как эта статуя могла туда попасть. Но такие описания и предсказания (конечно же, абсолютно нереальные) ничего бы не объясняли. Они просто описывали бы траекторию движения каждого атома меди от медного рудника через плавильную печь, мастерскую скульптора и т. д. Они также могли бы указать, какое влияние на эти траектории оказывают силы, действующие со стороны окружающих атомов, например, тех, из которых состоят тела шахтеров и скульптора, и предсказать таким образом существование и форму статуи. В действительности в такое предсказание пришлось бы включить атомы по всей планете, вовлеченные, кроме всего прочего, в сложное движение, которое мы называем Второй мировой войной. Но даже если бы вы обладали сверхчеловеческой способностью проследить такие пространственные предсказания нахождения атома меди в том месте, вы все равно не смогли бы сказать: «Да, теперь я понимаю, почему он там находится». Вы просто знали бы, что его попадание туда таким образом неизбежно (или вероятно, или как угодно еще), если известны начальные конфигурации атомов и законы физики. Если бы вы захотели понять, почему он там находится, у вас по-прежнему не было бы другого выбора, кроме как сделать следующий шаг. Вам пришлось бы выяснить все, что касается этой конфигурации