

ДЭВИД ДЖ. ЧАЛМЕРС

РЕАЛЬНОСТЬ+

Виртуальные миры и проблемы философии

Том 2

От гипотезы симуляции к сотворения из битов



ТОТЕНБУРГ

МОСКВА 2025

УДК 1:004.94
ББК 87.4:32.973
Ч12

*Все права на книгу находятся под охраной издателей.
Ни одна часть данного издания не может быть воспроизведена
каким-либо способом без согласования с издателями.*

*Иллюстрации — Тим Пикок.
Перевод с английского — Владислав Педдер.*

Чалмерс, Д.

Ч12 Реальность+. Виртуальные миры и проблемы философии. Том 2. От гипотезы симуляции к сотворения из битов. — М.: Тотенбург, 2025. — 206 с.

Второй том «Реальность+» ставит вопрос — может ли сама материальная Вселенная оказаться произведением информации? Чалмерс проводит нас через современные модели цифровой физики и клеточных автоматов, показав, как простые бинарные различия способны порождать удивительно сложные структуры. Даже если фундамент нашей Вселенной — набор битов, правильно устроенные информационные структуры создают мир, который ощущается, действует и остается по-настоящему реальным. Но может ли идеальная симуляция, «сотворенная из битов», не разрушая повседневный реализм, состоять лишь из одних цифр?

УДК 1:004.94
ББК 87.4:32.973

© Владислав Педдер,
перевод с английского, 2025

© Издательство «Тотенбург», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ 3. РЕАЛЬНОСТЬ

ГЛАВА 8. СОСТОИТ ЛИ ВСЕЛЕННАЯ ИЗ ИНФОРМАЦИИ?	6
Метафизика: от воды к информации	10
Разновидности информации	14
Структурная информация	18
Информация является физической	21
Физика информации	25
Гипотеза <i>it-from-bit-from-it</i>	30
Фундаментальная гипотеза <i>it-from-bit</i>	32
ГЛАВА 9. СОЗДАЛА ЛИ СИМУЛЯЦИЯ «ИТЫ» ИЗ БИТОВ?	35
Рассказ о двух гипотезах	36
От гипотезы симуляции к гипотезе сотворения из битов	40
Как из бит получить «иты»?	42
Реализм симуляции	49
Подведение итогов	52

ЧАСТЬ 4. ПОДЛИННАЯ ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

ГЛАВА 10. СОЗДАЮТ ЛИ ШЛЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ РЕАЛЬНОСТЬ?	54
Что такое виртуальная реальность?	57
Виртуальный реализм и виртуальный фикционализм	64
Виртуальный диджитализм	66
Является ли виртуальный котенок настоящим котенком?	73
ГЛАВА 11. ЯВЛЯЮТСЯ ЛИ УСТРОЙСТВА ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ИЛЛЮЗОРНЫМИ МАШИНАМИ?	78
Сюзанн Лангер играет в Beat Saber. Иллюзия ли это?	80
Является ли виртуальная реальность галлюцинацией?	81
Цвет и пространство в виртуальной и физической реальности	85
Являются ли зеркальные изображения иллюзиями?	88
Является ли обычный опыт VR иллюзией?	92
Иллюзия присутствия и иллюзия правдоподобия	96
Физические тела и виртуальные тела	98
Машина иллюзий или машина реальности?	103
ГЛАВА 12. ПРИВОДИТ ЛИ ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ К АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ФАКТАМ?	105
Виртуальные объекты в дополненной реальности	108
От дополненной реальности к альтернативным фактам?	112
Дополненная реальность в ближайшей перспективе	117
Континуум физического и виртуального	119
ГЛАВА 13. МОЖЕМ ЛИ МЫ ИЗБЕЖАТЬ ОБМАНА С ПОМОЩЬЮ ДИПФЕЙКОВ?	122
Реальны ли дипфейки?	127
Как мы можем узнать, реально ли изображение?	131
А как насчет фейковых новостей?	134

ЧАСТЬ 5. РАЗУМ

ГЛАВА 14. КАК РАЗУМ И ТЕЛО

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ

В ВИРТУАЛЬНОМ МИРЕ? 141

Взаимодействие разума и тела

в виртуальной реальности 151

Умы и тела в различных виртуальных мирах 155

Вывод..... 160

ГЛАВА 15. МОЖЕТ ЛИ В ЦИФРОВОМ

МИРЕ БЫТЬ СОЗНАНИЕ? 164

Проблема сознания..... 168

Проблема других разумов..... 176

Могут ли машины обладать сознанием? 180

Последствия 186

ГЛАВА 16. РАСШИРЯЕТ ЛИ

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ РАЗУМ?..... 188

Расширенный разум 190

Аргумент в пользу расширенного разума 196

Последствия расширенного ума..... 200

ЧАСТЬ 3. РЕАЛЬНОСТЬ

ГЛАВА 8

СОСТОИТ ЛИ ВСЕЛЕННАЯ ИЗ ИНФОРМАЦИИ?

В 1679 году Готфрид Вильгельм Лейбниц изобрел бит. Немецкий философ и математик, широко известный как один из создателей (наряду с Исааком Ньютоном) исчисления бесконечно малых, также спроектировал и построил один из первых механических калькуляторов. Он знаменит своим оптимистическим тезисом о том, что мы живем в лучшем из возможных миров. Однако ни одна из его идей не оказала столь значительного влияния, как изобретение двоичной системы счисления, на которой основаны все современные компьютеры.

В своем эссе «Пояснение к двоичной арифметике» (1703) Лейбниц черпал вдохновение из «И цзин» (Книги Перемен) — древнего китайского трактата о гадании. В «И цзин» используются гексаграммы — фигуры, состоящие из шести горизонтальных линий, размещенных одна под другой. Эти гексаграммы можно интерпретировать как простейший двоичный код, основанный на различии между инь и ян. Инь обозначается как прерванная линия, а ян — как непрерывная линия. Каждая линия соответствует двоичной цифре, или биту.

В то время как десятичные цифры идут от 0 до 9, двоичные — это всего лишь 0 и 1. Если считать в двоичной системе, то получится: 1 (один), 10 (два), 11 (три), 100 (четыре) и так далее. Каждая гексаграмма из «И цзина» кодирует шестизначное двоичное число, например,

110101. Всего возможно 64 гексаграммы. В принципе, любую последовательность букв или чисел можно выразить в более длинной форме как последовательность битов.



Рисунок 20. Лейбниц с гексаграммами из «И цзина», кодирующими двоичные числа

Подобно «И цзину», интегральные схемы в современных компьютерах кодируют последовательности битов. Если «И цзин» использует прерванную линию для обозначения 0 и непрерывную для обозначения 1, то транзисторы в этих схемах, как правило, используют низкое напряжение для 0 и высокое для 1 — или наоборот. В то время как «И цзин» кодирует лишь шесть битов за раз, компьютеры часто кодируют триллион битов и больше. Почти все в современных компьютерах можно объяснить через взаимодействие битов.

Это же взаимодействие битов использовалось и для моделирования самой реальности. В 1970 году британский математик Джон Хортон Конвей (*John Horton Conway*) разработал игру «Жизнь» (*Game of Life*), в которой целая вселенная состоит из паттерна битов. Эта вселенная — двумерная сетка ячеек, бесконечная во всех направлениях. В любой момент времени каждая ячейка либо «включена», либо «выключена» — или, иначе говоря, представляет 0 или 1.

Как подсказывает название игры, Конвея интересно моделирование живых процессов, которые могут некоторое время развиваться, а затем исчезать. Для этого он сформулировал базовые правила эволюции сетки. Эти правила — «физические законы» в игре «Жизнь».

У каждой ячейки восемь соседей — по одной на север, северо-восток, восток и так далее. Судьба каждой ячейки зависит от состояний ее соседей. В любой момент ячейка «умирает от одиночества», если у нее слишком мало соседей, и «умирает от перенаселения», если слишком много. Точнее, включенная ячейка остается включенной, если у нее ровно два или три включенных соседа. Если соседей меньше двух или больше трех, она выключается. В то же время выключенная ячейка остается выключенной, если только ровно три ее соседа не включены — в этом случае рождается новая жизнь, и ячейка включается.

Эти простые правила запускают головокружительное разнообразие сложных поведений. Одиночная ячейка умирает от одиночества. Квадрат 2×2 остается неизменным вечно, каждая его ячейка счастливо окружена тремя соседями. Линия из трех ячеек будет колебаться между горизонтальным и вертикальным положением. «Глайдер» — это группа из пяти ячеек, которая перемещается по миру по диагонали в повторяющемся паттерне. Существуют даже «пушки глайдеров» (см. рисунок 21), которые бесконечно выпускают глайдеры.

Попробовать игру «Жизнь» можно на множестве сайтов в интернете. Многие конфигурации некоторое время растут и проходят ряд фаз, прежде чем стабилизироваться в состоянии с несколькими ячейками, движущимися по фиксированному повторяющемуся паттерну. (Было выдвинуто предположение, что это напоминает академический путь к получению постоянной должности.) Однако математики доказали, что существуют состояния, которые развиваются бесконечно и никогда не

переходят в повторяющийся паттерн — подобно процветающей форме жизни.

Игра «Жизнь» — это своего рода компьютер, известный как клеточный автомат. Было доказано, что это универсальный компьютер, что означает: он может выполнить любую задачу, которую может выполнить любой компьютер. В принципе, мы могли бы использовать игру «Жизнь» для запуска программы, управляющей отправкой ракет на Марс. Мы также могли бы с ее помощью запускать гигантские симуляции. Если можно смоделировать всю Вселенную на компьютере, то можно смоделировать ее и с помощью игры «Жизнь».

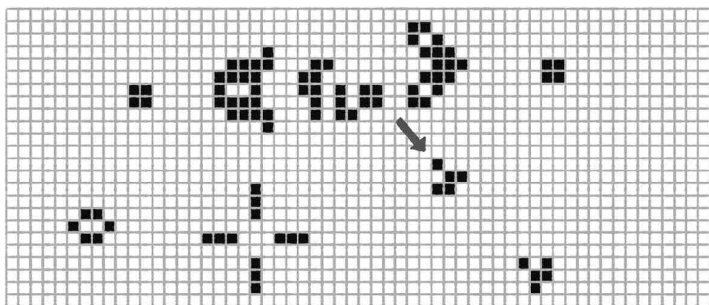


Рисунок 21. Игра «Жизнь» Конвея. Пушка глайдеров (в верхней части) производит глайдеры (в правый нижний угол); рядом — «улей» (шесть стабильных ячеек) и «светофор», состоящий из четырех «мигалок» (каждая из трех ячеек, мигающих между горизонтальным и вертикальным положением)

Это поднимает вопрос: похожа ли наша Вселенная на игру «Жизнь»? Является ли все в нашей Вселенной в конечном итоге узором из битов?

Эта идея иногда называется гипотезой «все из бита» (*it-from-bit*) — термин, впервые использованный физиком Джоном Уилером в 1989 году. Возможно, Уилер имел в виду нечто иное под этой формулировкой (об этом я расскажу позже в главе), но сама идея оказалась настоль-

ко мощной, что вышла за пределы его первоначального замысла. Ее суть в том, что все физическое в окружающем нас мире — столы и стулья, звезды и планеты, собаки и кошки, электроны и кварки — состоит из узоров битов.

Гипотеза *it-from-bit* — настоящая находка для философа: новая метафизическая идея. Некоторые философы считали, что реальность состоит из сознаний. Другие — что она состоит из атомов. Теперь у нас есть новая гипотеза: мир состоит из битов.

Гипотеза *it-from-bit* явно перекликается с гипотезой симуляции. Если мы живем в симуляции, тогда наша Вселенная в некотором смысле является гигантским компьютерным процессом. Если компьютер — это стандартный цифровой компьютер, тогда все его процессы происходят через обработку битов: последовательностей единиц и нулей, преобразуемых логическими схемами, которые трансформируют узоры битов.

Если мы живем в симуляции, запущенной на цифровом компьютере, тогда основа нашей Вселенной — во взаимодействии битов. Таким образом, гипотезу симуляции можно рассматривать как один из вариантов гипотезы *it-from-bit*. Связь между этими двумя гипотезами я рассмотрю в следующей главе. В этой же главе я исследую гипотезу *it-from-bit* как таковую.

Метафизика: от воды к информации

Метафизика, философское исследование реальности, охватывает множество вопросов. Возможно, самый центральный из них звучит так: «Из чего состоит реальность?» — то есть каков тот фундаментальный уровень реальности, из которого все остальное происходит? У многих коренных культур существуют собственные метафизические системы. Согласно австралийским або-

ригенным традициям, реальность, какой мы ее знаем, зародилась в Сновидении (*Dreaming*) предковых духов. По представлениям ацтеков, реальность основана на самогенерирующейся силе, известной как теотль (*teotl*). Одной из ранних «золотых эпох» метафизических размышлений была Древняя Греция. Переданная нам традиция начинается с Фалеса Милетского, жившего примерно в 600 г. до н. э., за 200 лет до Платона. Фалес наиболее известен, а порой и печально знаменит метафизической тезой о том, что все состоит из воды. Вода представлялась «первичным принципом», из которого все возникает и к которому все в конечном счете возвращается. Можно спросить: «А как же деревья и скалы?» Похоже, Фалес понимал их как модифицированные формы воды, которые в конце концов вновь превращаются в воду. Другие греческие философы выдвигали конкурирующие гипотезы. Его современник из Милета Анаксимен (*Anaximenes*), живший около 550 г. до н. э., предполагал, что все состоит из воздуха. Еще ранее в том же столетии Гераклит выдвигал идею, что все состоит из огня. Гераклит считал, что мир, по своей сути, о переменах; отсюда его запоминающееся замечание о том, что в одну и ту же реку нельзя войти дважды. Однако ни водная гипотеза, ни воздушная, ни огненная по-настоящему не прижились. Гораздо более распространенной в древности была гипотеза о том, что реальность состоит из четырех или пяти основных элементов: земли, воздуха, огня и воды, а иногда добавляли «эфир» или «пустоту». В Греции систему из четырех элементов (земля/воздух/огонь/вода) предложил Эмпедокл (*Empedocles*) примерно в 450 г. до н. э. Вавилонский текст *Enuma Elish*, датируемый временем до 1000 г. до н. э., повествует о космической истории, в которой мир формируется богами, олицетворяющими землю, ветер, небо и море. Индийские Веды (ок. 1500–500 гг. до н. э.) часто упоминают пять основных элементов: обычно землю,

воздух, огонь, воду и пространство (или эфир, или пустоту). Древнекитайская система У-син (*Wu Xing*), датируемая примерно 200 г. до н. э., предлагала пять элементов в вечном цикле: древесина питает огонь, который порождает землю, которая производит металл, который собирает воду, которая, в свою очередь, питает древесину. В новое время элементы земля, воздух, огонь и вода были разложены на более фундаментальные компоненты, вплоть до кварков и электронов.

Две другие древнегреческие идеи оказались более живучими. Пифагор, живший около 550 г. до н. э., предполагал, что все состоит из чисел. Число 1 символизирует происхождение всех вещей, 2 — материю, 3 — начало/середину/конец, 4 — четыре времени года, и так далее. Хотя конкретная система пифагорейцев, может, не сохранилась в неизменном виде, идея о том, что реальность в своей основе математична, по-прежнему воспринимается серьезно — как, например, в гипотезе *it-from-bit*, которую можно понимать так, что мир состоит из нулей и единиц в определенных паттернах. Еще более влиятельная метафизическая идея связана с Демокритом, жившим примерно в 450 г. до н. э. Его называли «смеющимся философом» за жизнерадостный нрав. Его иногда называют «отцом современной науки», хотя его взгляды во многом базировались на идеях его учителя Левкиппа. Демокрит и Левкипп полагали, что все состоит из атомов: крошечных неделимых тел, движущихся в бесконечном вакууме. Ряд школ индийской философии, таких как ньяя (*Nyāya*), вайшешика (*Vaiśeṣika*) и джайна (*Jaina*), также выдвигали атомистские представления. Взгляды Демокрита ясно превосхищают современный материализм, согласно которому мир состоит из материи. В последние десятилетия материализм, возможно, был самой популярной метафизической позицией среди философов и ученых. Его зачастую считают «очевидной» метафизикой, вытекающей

из современной науки, где цель — подкреплять идеи экспериментальными данными и в конечном счете объяснять все в терминах физики. Однако главным препятствием для материализма всегда было существование сознания. Альтернативные метафизические взгляды придают сознанию центральную роль.

Одной альтернативой является идеализм — теория о том, что реальность состоит из сознаний или что, по своей сути, реальность ментальна. Мы уже встречали идеализм в тезисе Джорджа Беркли XVIII века о том, что внешние явления и есть реальность, и в буддийском учении о «лишь сознании» (*consciousness-only*). Идеализм присутствует и в древних Ведах индуистской философии: он играет центральную роль в школе Адвайта-Веданты (*Advaita Vedānta*), где высшая реальность понимается как Брахман, некое универсальное сознание, а все отдельные умы и вся материя в своем основании восходят к Брахману. Другой классической метафизической теорией является дуализм, идея о том, что и материя, и ум являются фундаментальными. Дуализм утверждает, что ум нельзя объяснить через материю, так же как материю нельзя объяснить через ум, но вместе они объясняют все. Школа Санкхья (*Samkhya*) в индийской философии была глубоко дуалистической: вселенная состоит из «пуруши» (*puruṣa*, «сознание») и «пракрити» (*prakṛiti*, «материя»). Традиционная африканская философия, греческая философия и исламская философия также во многом дуалистичны. В XVII веке Рене Декарт (*René Descartes*) стал центральным защитником дуализма, выдвинув идею о взаимодействии материи и сознаний. В западной философии с эпохи Декарта метафизическое мышление обычно колеблется между материализмом, дуализмом и идеализмом. Современник Декарта Томас Гоббс (*Thomas Hobbes*) выступал за материализм. В XVIII веке Беркли отстаивал идеализм, и различные формы идеализма доминировали в не-

мецкой и британской философии XIX века. В XX веке маятник резко качнулся в сторону материализма, который оставался доминирующим подходом в последние десятилетия. Однако материализм столкнулся с серьезными трудностями при объяснении сознания, и в результате этого внутри и за пределами философии остается множество дуалистов. Даже идеализм в XXI веке претерпевает небольшое возрождение, отчасти из-за потока дискуссий о панпсихизме — тезисе о том, что вся материя обладает элементом сознания.

На этом многократно пройденном метафизическом ландшафте взгляд о том, что реальность состоит из информации, или битов, является чем-то вроде захватывающего нововведения. Можно было бы подумать, что Лейбниц как изобретатель «бита» одобрил бы взгляд *it-from-bit*, но на самом деле он предпочитал панпсихистскую форму идеализма, согласно которой мир состоит из простых «монад» (*monads*), имеющих собственные восприятия. Взгляд *it-from-bit* ближе к материализму — по крайней мере если считать биты фундаментальными компонентами материи. Но это особая и своеобразная форма материализма. Я разовью эту точку зрения, но сначала нам следует прояснить понятие информации.

Разновидности информации

Когда мы говорим об информации, мы сталкиваемся с центральной неоднозначностью. В одном смысле информация — это сфера фактов. В другом смысле информация — это сфера битов. Это два принципиально разных понятия. В обыденном английском речь об информации обычно означает речь о фактах. Если я знаю, какие фильмы будут идти на следующей неделе, я могу сказать: «У меня есть информация, которая вас заинтересует».

Здесь «информация» может означать факт, что «Звездные войны» будут демонстрироваться в вашем местном кинотеатре на следующей неделе. Точно так же факты вроде «Текущая температура равна нулю» или «Президент США — Джо Байден» составляют информацию. Возникает интересный вопрос: считать ли ложное утверждение, например «Сидней — столица Австралии», информацией. Обычно мы классифицируем такое как дезинформацию и отличаем от информации, но иногда имеет смысл объединять эти две категории. В современной базе данных, например, значительная часть содержащейся в ней информации может быть неверной. В онлайн-базе могут быть устаревший адрес или неправильная дата рождения. Философы обычно резервируют слово «факт» для обозначения истинных утверждений и используют слово «предложение» (*proposition*) для утверждений, которые могут быть как истинными, так и ложными. Здесь наиболее полезным представляется концепт информации, связанный с предложениями, а не фактами. Пока что я сохраняю нейтралитет между этими двумя подходами. Чаше я буду говорить о фактах, поскольку это короче и проще, но почти все сказанное о фактах может быть переформулировано в терминах предложений. Информация в этом смысле (связана с фактами или предложениями) часто называется семантической информацией. Она делает утверждение о мире: например, утверждение, что «Звездные войны» идут на следующей неделе. Семантическая информация имеет решающее значение для понимания языка, мышления, баз данных и многого другого. Некоторые философы даже предполагали, что реальность состоит из семантической информации. В своем «Логико-философском трактате» (*Tractatus Logico-Philosophicus*, 1921) Людвиг Витгенштейн написал: «Мир есть совокупность фактов, а не вещей» (*The world is the totality of facts, not of*

things). Этот взгляд «из факта» (*it-from-fact*) является важной метафизической позицией, хотя он очень отличается от взгляда «из бита» (*it-from-bit*), согласно которому реальность состоит из битов.

Тип информации, который является наиболее центральным в информатике и в этой книге, я назову структурной информацией. Структурная информация обычно включает последовательность, или структуру битов. Как мы уже видели, бит — это просто двоичная цифра: 0 или 1. Биты могут быть упорядочены в двоичные последовательности, например 01000111. Современные компьютеры в своей основе работают именно со структурной информацией. Они кодируют структуры битов и преобразуют их в новые структуры битов. Помимо изобретения двоичной арифметики сам Лейбниц проектировал и создавал одни из первых механических вычислительных устройств. Первое такое устройство было спроектировано другим великим философом-математиком, Блезом Паскалем, в 1642 году. Калькулятор Паскаля выполнял операции сложения и вычитания, а калькулятор Лейбница (проект 1671 г.) выполнял еще и умножение с делением. Их машины использовали циферблаты, кодирующие последовательности десятичных цифр, а не двоичных (хотя Лейбниц в эссе 1703 года обсуждал двоичную машину, он ее так и не построил), но они тем не менее обрабатывали структурную информацию. Это показывает, что для структурной информации вовсе не обязательно использовать именно биты — последовательности десятичных цифр или даже буквы алфавита тоже подходят. Тем не менее центральным случаем структурной информации остаются именно последовательности битов.

В некотором смысле наиболее интересный тип информации возникает тогда, когда биты кодируют факты или когда структурная информация кодирует семантиче-

скую информацию. Я назову это символической информацией. Например, последовательность битов 110111 (структурная информация) в определенной области памяти базы данных — или на перфокарте, как в рисунке 22, — может кодировать факт о том, что мне пятьдесят пять лет (семантическая информация). Здесь биты кодируют факты. Это и делает битовую последовательность символической информацией. Символическая информация является центральным типом информации в современной науке о данных. В любой системе баз данных и любой компьютерной системе, хранящей информацию о мире, биты кодируют факты. Символическая информация присутствует и в обычном языке — например, когда строка букв «Джон находится в Сиднее» кодирует факт о мире. Строки букв являются структурной информацией, а их значение — семантической информацией, так что язык в целом включает символическую информацию.

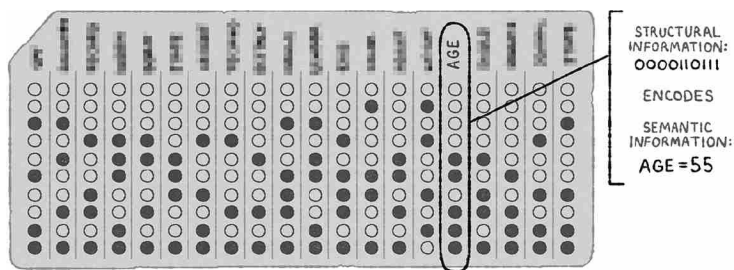


Рисунок 22. Перфокарта иллюстрирует структурную, семантическую и символическую информацию

Подведем итог: структурная информация связана с битами. Семантическая информация связана с фактами. Символическая информация — это биты, кодирующие факты.

Строго говоря, определения должны быть шире. Мы уже видели, что для охвата дезинформации, как

в примере «Сидней — столица Австралии», семантическая информация может выходить за рамки фактов, включая предложения (*propositions*). Аналогично, структурная информация может выходить за рамки битов, включая структуры из букв, десятичных цифр и (как будет вскоре обсуждаться) системы различий вообще. Но биты и факты являются основным случаем, и выражение «биты, кодирующие факты» звучит гораздо проще, чем «системы различий, кодирующие предложения». Поэтому пока мы остаемся при первом.

Можно провести такое же трехчленное различие и для данных. Структурные данные связаны с битами, семантические данные — с фактами, а символические данные — с битами, кодирующими факты. В разных контекстах слово «данные» может использоваться в любом из этих трех значений. В эпоху «Больших данных» (*Big Data*) последний смысл (биты, кодирующие факты) кажется доминирующим.

Структурная информация

Не все биты кодируют факты. Иногда последовательности битов служат совсем другим целям. Во многих вычислительных процессах, например в игре «Жизнь» (*Game of Life*), биты могут не кодировать никаких фактов или предложений вовсе. По своей сути компьютеры — устройства для кодирования и манипулирования структурной информацией. Кодирование и обработка семантической информации — лишь одна из их центральных прикладных задач. Поле, известное в XX веке как теория информации (*information theory*), сосредоточено на структурной информации, а не на семантической. Некоторые из его основных достижений связаны с введением мер структурной информации. Существует по крайней мере

три важных меры структурной информации. Самая простая и наиболее привычная мера просто подсчитывает размер последовательности битов. Например, объем информации в последовательности из 8 бит равен 8 битам, или 1 байту. Когда мы говорим, что в вашем компьютере 32 гигабайта памяти, мы используем именно эту меру. Вторая мера, разработанная в 1940-х годах математиком и инженером Клодом Шенноном (*Claude Shannon*), оценивает, насколько неожиданна или маловероятна данная последовательность бит. Третья мера, разработанная в 1960-х годах российским математиком Андреем Колмогоровым (*Andrey Kolmogorov*) и американскими математиками Рэем Соломоноффом (*Ray Solomonoff*) и Грегори Хайтином (*Gregory Chaitin*), оценивает, насколько легко последовательность бит может быть сгенерирована компьютерной программой. Эти три меры структурной информации служат взаимодополняющим целям при анализе вычислений и коммуникаций.

Как мы уже видели, структурная информация не всегда связана именно с двоичными цифрами. Калькулятор Лейбница основывался на десятичных разрядах (0–9). Можно построить компьютер, использующий трехсостояния информации (0, 1, 2), иногда называемые трицами (*trits*). Последовательности триц также являются структурной информацией, хотя для практических целей вычислений биты более удобны. Все разновидности структурной информации включают систему различий. Самое простое различие — это бинарное различие между состояниями 0 и 1. Можно даже обобщить структурную информацию дальше, до квантовых и аналоговых различий. Относительно новое поле квантовых вычислений (*quantum computation*) сосредоточено на кубитах (*qubits*). Кубит (*q-bit*) предполагает два состояния в квантовой суперпозиции: кубит может находиться сразу в обоих со-

стояниях. Если обычный бит принимает значение либо 0, либо 1, то кубит представляет собой суперпозицию 0 и 1 с различными амплитудами для каждого состояния. Кубиты более сложны, чем биты, но все же они являются формой структурной информации, включающей особую систему различий. Теоретики также разрабатывали модели аналоговых вычислений: вычислений с использованием непрерывных вещественных чисел, таких как 0,732 или корень квадратный из 2. Например, в статье 1989 года Ленор Блум (*Lenore Blum*) и ее двух коллег описывается компьютер, использующий вещественные числа вроде 0,2977 (с бесконечной точностью) вместо битов. Мы могли бы назвать эти числа непрерывными цифрами (*conts?*) или аналоговыми цифрами (*ants?*), но для наших целей я буду называть непрерывную версию битов «действительными» (*reals*). Аналоговые компьютеры, использующие непрерывные величины, на практике малопригодны. Надежные аналоговые вычислительные машины с бесконечной точностью построить невозможно. Мы не обладаем бесконечной точностью управления физическими материалами, и за определенным пределом точность размывается фоновым шумом. Аналоговые компьютеры конечной точности часто избыточны — их можно аппроксимировать на обычных цифровых машинах, если использовать достаточно много бит — но тем не менее они находили некоторое применение при проектировании микросхем. С философской точки зрения непрерывная информация остается полезной при размышлениях о множестве возможных систем обработки информации. Она станет особенно актуальной, когда мы подумаем о связи между структурной информацией и непрерывными законами физики.