

Дневник

Quod sentimus loquamur,
quod loquimur sentiamus!

VEcordia

Извлечение R-PENRS4

Открыто: 2010.08.28 03:01
Закрито: 2011.01.01 18:20
Версия: 2016.12.10 15:51

ISBN 9984-9395-5-3

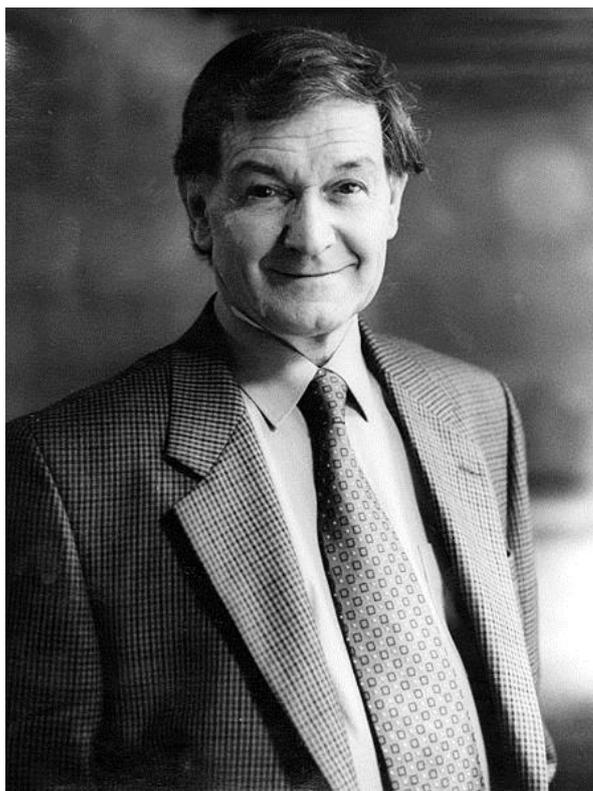
Дневник «VECORDIA»

© Valdis Egle, 2016

ISBN 5-93972-457-4

Роджер Пенроуз. «Тени Разума», том IV

© Роджер Пенроуз, 1994



Роджер Пенроуз

Роджер Пенроуз

ТЕНИ РАЗУМА

Том 4
(главы 7 – 8)

С комментариями Валдиса Эгле

Impositum

Grīziņkalns 2016

Talis hominis fuit oratio,
qualis vita

Роджер Пенроуз. «Тени разума»

(Продолжение; предыдущее в книге {PENRS3})

Глава 7. Квантовая теория и мозг

§7.1. Макроскопическая квантовая процедура в работе мозга

Согласно общепринятой точке зрения, понимание (истинное или кажущееся) работы мозга следует искать в рамках классической физики. Считается, что передаваемые по нервам сигналы суть феномены типа «есть или нет», точно так же, как токи в электронных цепях компьютера – они либо есть, либо их нет, здесь не бывает тех таинственных суперпозиций альтернативных вариантов, что характерны для квантовой физики. Хотя на фундаментальном уровне квантовые эффекты, вероятно, играют определенную роль, биологи в большинстве своем придерживаются мнения, что при рассмотрении макроскопических следствий примитивных квантовых закономерностей необходимости выходить за классические рамки нет. Химические силы, управляющие межатомными и межмолекулярными взаимодействиями, и впрямь имеют квантовомеханическое происхождение, и именно химические взаимодействия определяют по большей части поведение нейромедиаторов, передающих сигналы от одного нейрона к другому через узкие промежутки между ними (так называемые синаптические щели). Аналогичным образом, потенциалы действия, физически контролирующие передачу нервных импульсов, имеют предположительно квантовомеханическую природу. И всё же мы, как правило, допускаем, что и поведение отдельных нейронов, и их взаимодействие вполне адекватно моделируются классическими средствами. Соответственно, широко распространено мнение, что модель физической деятельности мозга как целого следует строить по классическим «правилам», не обращая особого внимания на тонкие и загадочные эффекты квантовой физики.

Отсюда непосредственно следует, что с точки зрения наблюдателя любой существенный процесс в мозге либо «происходит», либо «не происходит». Странные суперпозиции квантовой теории, допускающие ситуации, когда процесс одновременно «происходит» и «не происходит», – и снабженные соответствующими комплексными весовыми коэффициентами – естественно, в расчет не принимаются. Мы еще можем согласиться с тем, что на некоем субмикроскопическом уровне подобные квантовые суперпозиции «действительно» имеют место, однако на уровне макроскопическом, по нашему глубокому убеждению, характерные для таких квантовых феноменов эффекты интерференции сколько-нибудь существенной роли играть просто не могут. Следовательно, любые такие суперпозиции уместно рассматривать как статистические эффекты, а классическое моделирование функционирования мозга оказывается с практической точки зрения (и снова FAPP!) целиком и полностью удовлетворительным.¹

Однако такого мнения придерживаются далеко не все. В частности, известный нейрофизиолог Джон Экклз указывал на важную роль квантовых эффектов в синаптической передаче (см., например, [18] и [105]). По предположению Экклза, квантовая активность сосредоточена в так называемой пресинаптической везикулярной сетке – паракристаллической гексагональной структуре в пирамидальных клетках мозга. Другие ученые (включая и меня, см. НРК, с. 400–401

¹ В.Э.: Квантомеханические «суперпозиции» и подобные эффекты происходят также и в современных компьютерах, однако они никак не влияют на работу созданных нами программ и при их разработке не учитываются. Эти компьютеры производят обработку информации, и мы знаем, что мозг тоже производит обработку информации. Поэтому наиболее естественная позиция – это считать, что в мозге тоже квантомеханические эффекты не участвуют в обработке информации. Противоположное можно начинать предполагать лишь в том случае, если какие-то проявления «разума» невозможно объяснить той информатикой, по которой работают промышленные компьютеры. Пенроуз думает, что это действительно невозможно, потому ему и приходится искать выход в квантовой механике. А мы видим, что можно объяснить (и знаем как), и поэтому нам незачем «лезть» в квантовую механику.

и [291]), экстраполируя тот факт, что светочувствительные клетки сетчатки (которая формально является частью мозга) способны реагировать на чрезвычайно слабый свет (буквально несколько фотонов, [194]) – при определенных обстоятельствах такая клетка может зарегистрировать даже один-единственный фотон [17], – предположили, что и в самом мозге могут содержаться нейроны, также являющиеся, по сути своей, квантовыми «детекторами»².

Поскольку квантовые эффекты действительно могут инициировать в мозге процессы гораздо более крупного, нежели сами, «масштаба», отдельные исследователи выразили надежду, что способность разума воздействовать на физический мозг может быть обусловлена квантовой неопределенностью. Здесь следует, скорее всего, принять – явно или нет – дуалистическую точку зрения. Вполне возможно, что на квантовые вероятности, реально возникающие в результате таких недетерминированных процессов, оказывает влияние «свободная воля» «внешнего разума». В этом случае, «материя разума» нашего дуалиста воздействует на поведение его физического мозга не иначе, как через посредство квантовой R-процедуры.

Я не знаю, как относиться к подобным предположениям, особенно в свете того, что в стандартной квантовой теории никакой неопределенности на квантовом уровне нет – здесь действует вполне детерминированная U-эволюция. Предполагается, что неопределенность, связанная с процедурой R, возникает лишь в процессе перехода с квантового уровня на классический. Согласно стандартному FAPP-объяснению, неопределенность эта «происходит» лишь тогда, когда квантовое событие оказывается сцепленным с достаточным объемом окружения. Более того, как мы могли убедиться в §6.6, само понятие «происходить» трактуется в стандартном подходе крайне туманно. Вряд ли в рамках традиционной квантовой физики можно утверждать, что теория допускает-таки существование неопределенности на уровне единичной квантовой частицы – такой, например, как фотон, атом или небольшая молекула. Например, встреча волновой функции фотона с фоточувствительной ячейкой инициирует целую последовательность событий, которые остаются детерминированными (эволюция U), пока система пребывает «на квантовом уровне». Затем возмущение охватывает достаточный объем окружения, и мы говорим, что произошла (FAPP) редукция R. Придется смириться с тем, что «материя разума» способна так или иначе воздействовать на систему лишь на этой стадии неопределенности.

Согласно моему собственному представлению о редукции состояний (см. §6.12), в поисках уровня, на котором действительно происходит R-процесс, следует обратить внимание на масштабы вполне макроскопические, что имеет смысл, когда в квантовом состоянии оказываются сцепленными довольно большие объемы вещества (от нескольких микрон до нескольких миллиметров в диаметре – или даже гораздо большие, если процесс не предполагает значительного перемещения масс). (В дальнейшем я буду называть эту вполне конкретную, но, тем не менее, гипотетическую «действующую» редукцию объективной и обозначать через OR³.) В любом случае, если мы собираемся придерживаться описанной выше дуалистической точки зрения, где нам нужно еще отыскать «место», откуда внешний «разум» сможет воздействовать на физическое поведение мозга, – для успешного поиска придется, по-видимому, заменить чистую случайность квантовой теории чем-то более утонченным, – то мы непременно должны выяснить, каким образом воздействие «разума» может проявляться в масштабах, существенно более крупных, нежели размер отдельной квантовой частицы. Искать ответ следует там, где квантовый и классический уровни соприкасаются. Трудность заключается в том, что мы, как уже отмечалось в предыдущей главе, никак не можем договориться о том, существует ли такая точка соприкосновения вообще, а если существует, то что она собой представляет и где находится.

² В.Э.: Это всё может быть, но это не меняет природы обработки информации. (И, соответственно, тех средств, какими она должна изучаться и описываться).

³ В НРК я использовал для обозначения такого процесса термин «корректная квантовая гравитация» (ККГ; англ. CQG, *correct quantum gravity*. – Прим. перев.). Здесь же акцент несколько иной. Сейчас я не хочу указывать на связь рассматриваемой процедуры с фундаментальной задачей построения непротиворечивой теории квантовой гравитации. Я хочу, скорее, подчеркнуть, что в основе этой процедуры лежат те же предположения, что я сделал в §6.12, плюс некий фундаментальный неизвестный и невычислимый компонент. Использование сокращения OR (англ. *or* переводится как «или»). – Прим. перев.) имеет еще и дополнительный смысл: физическим результатом объективной редукции и в самом деле является одно состояние – или то, или другое, – в отличие от комплексной суперпозиции, с которой мы имели дело прежде.

Думаю, что с научной точки зрения довольно бессмысленно полагать, что дуалистический «разум», внешний (что логично) по отношению к телу, каким-то загадочным образом воздействует на выбор того или иного альтернативного варианта, происходящий, судя по всему, под действием процедуры R. Если бы «воля» могла каким-то образом изменять выбор, который осуществляет в момент R Природа, то почему же экспериментатор не может с помощью своей «силы воли» воздействовать на результат квантового эксперимента? Если бы такое было возможно, то нарушения квантовой вероятности происходили бы сплошь и рядом! Лично я, как ни пытаюсь, не могу поверить в то, что подобная картина может быть хоть сколько-нибудь близка к реальности. Представление о внешней «материи разума», не подвластной физическим законам, выводит нас за рамки того, что можно обоснованно назвать научным объяснением, отсылая прямиком к точке зрения \mathcal{D} (см. §1.3).

Впрочем, однозначно оспорить такую точку зрения очень сложно, так как по самой своей природе она лишена четких правил, которые позволили бы нам подойти к ней с позиций строгого научного рассуждения.⁴ Тех читателей, которые по каким-либо причинам твердо убеждены, что наука никогда не дорастет до того, чтобы хотя бы подступиться к проблемам разума (точка зрения \mathcal{D}), я смиренно прошу потерпеть меня еще немного и просто посмотреть, какие «пустоты» могут в самое ближайшее время обнаружиться в монолите современной науки и, несомненно, послужить ее распространению далеко за пределы тех тесных границ, которые она на сегодняшний день для себя установила. Если «разум» представляет собой нечто внешнее по отношению к физическому телу, то почему же тогда столь многие его качества так тесно связаны со свойствами физического мозга? Моя собственная точка зрения заключается в том, что для отыскания ответа на этот и другие подобные вопросы необходимо более тщательно исследовать известные физические «материальные» структуры, составляющие мозг, – и разобраться, наконец, что же в действительности представляют собой «материальные» структуры на квантовом уровне. Полагаю, иного выхода у нас, в конечном счете, нет – чтобы добраться до истины, нам придется углубиться в самые основы мироздания.

Как бы то ни было, ясно по крайней мере одно. Мы должны рассматривать не просто квантовые свойства отдельных частиц, атомов или даже малых молекул, но эффекты квантовых систем, сохраняющие свою явно квантовую природу на макроскопическом уровне. Если в системе отсутствует макроскопическая квантовая когерентность, то неоткуда взяться и тонким эффектам на квантовом уровне – таким, скажем, как нелокальность и квантовый параллелизм (несколько одновременных действий в суперпозиции), – или эффектам контрфактуальности, приобретающим значимость лишь на классическом уровне функционирования мозга. Без должного «экранирования» квантового состояния от окружения такие эффекты мгновенно затеряются в присущей этому окружению хаотичности, – выражающейся, в нашем случае, в беспорядочном движении молекул биологических веществ и жидкостей, составляющих основную массу мозга.

Что же такое квантовая когерентность? Этот феномен возникает при условиях, позволяющих большому количеству частиц образовывать совместно единое квантовое состояние, практически несцепленное с окружением. (Термином «когерентность» в общем случае обозначается согласованность отдельных колебаний по фазе. Говоря о квантовой когерентности, мы имеем в виду колебательную природу волновой функции; когерентность в данном случае подразумевает наличие единого квантового состояния.) Такие состояния в наиболее наглядном виде встречаются в феноменах сверхпроводимости (когда электрическое сопротивление проводника равно нулю) и сверхтекучести (когда равно нулю жидкостное трение, или вязкость). Характерной особенностью таких феноменов является наличие запрещенной энергетической зоны – для того, чтобы изменить существующее квантовое состояние, окружение должно эту зону как-то преодолеть. Когда температура окружения достаточно высока, т.е. частицы, это окружение составляющие, обладают энергией, достаточной для того, чтобы «перепрыгнуть» запрещенную зону и «сцепиться» с квантовым состоянием, квантовая когерентность разрушается. Поэтому явления, подобные сверхпроводимости и сверхтекучести, возникают обычно лишь при очень низких температурах, порядка нескольких градусов выше абсолютного нуля. В этом, собственно, и заключалась (до недавних пор) одна из причин общего скептического отношения к возможности существования эффектов квантовой когерентности внутри такого «горячего» объекта, как человеческий мозг – или любая другая биологическая система.

⁴ В.Э.: Для этого есть «лезвие Оккама»! Оно и отсекает всё, без чего можно обойтись.

Однако за последние годы было проведено несколько замечательных экспериментов, показавших, что в некоторых веществах сверхпроводимость может возникать при гораздо более высоких температурах, вплоть до 115 К (см. [343]). С биологической точки зрения, это всё еще слишком холодно: $-158\text{ }^{\circ}\text{C}$ (или $-212\text{ }^{\circ}\text{F}$) – лишь немногим выше температуры жидкого азота. Гораздо более интересны в этом смысле наблюдения Лаге и его коллег [233], указывающие на существование сверхпроводимости при температурах всего лишь «сибирских», $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (или $-10\text{ }^{\circ}\text{F}$).

Будучи всё еще несколько, по биологическим меркам, «холодной», такая высокотемпературная сверхпроводимость является серьезным свидетельством в пользу предположения о возможности существования квантовокогерентных эффектов в биологических системах.

Более того, еще задолго до обнаружения феномена высокотемпературной сверхпроводимости выдающийся физик Герберт Фрелих (совершивший в 1930-е годы один из фундаментальных «прорывов» в понимании «обычной» низкотемпературной сверхпроводимости) предположил, что коллективные квантовые эффекты могут играть определенную роль в биологических системах. Заинтересовавшись необычным феноменом, наблюдавшимся еще в 1938 году на биологических мембранах (и применив концепцию, предложенную Ларсом Онсагером и моим братом, Оливером Пенроузом [289], – о чем я, занявшись изучением вопроса, узнал с некоторым удивлением), Фрелих в 1968 году [129] пришел к выводу, что биологическая квантовая когерентность должна вызывать в живых клетках колебательные эффекты, резонирующие с микроволновым электромагнитным излучением на частоте 10^{11} Гц. Эти эффекты не требуют низких температур и возникают благодаря большой энергии метаболических процессов. Сегодня мы располагаем достоверными экспериментальными свидетельствами, подтверждающими наличие во многих биологических системах в точности таких эффектов, какие предсказывал в 1968 году Фрелих. Чуть позже (в §7.5) мы попробуем разобраться, какое отношение эти феномены могут иметь к работе мозга.

§7.2. Нейроны, синапсы и компьютеры

Получить явное подтверждение тому, что квантовая когерентность действительно может играть в биологических системах ключевую роль, конечно же, отчасти, однако суть этой самой роли применительно к процессам, имеющим непосредственное отношение к функционированию мозга, пока совершенно не ясна. Наше понимание работы мозга, всё еще очень смутное, сводится, по большей части, к классическому представлению (совпадающему, в основном, с тем, что предложили еще в 1943 году Маккаллох и Питтс), согласно которому нейроны и соединяющие их синапсы выполняют в мозге практически те же функции, что и транзисторы вместе с соединяющими их дорожками в печатных схемах современных компьютеров. Более детальная биологическая картина выглядит так: классические нервные сигналы распространяются из центрального тела нейрона (сомы) вдоль очень длинного волокна, называемого аксоном, причем от аксона в различных местах ответвляются отдельные отростки (см. рис. 7.1). Каждый отросток непременно заканчивается синапсом – соединением, посредством которого сигнал через синаптическую щель передается к следующему нейрону (как правило). Именно на этой стадии в процесс вступают химические вещества, называемые нейромедиаторами, – перемещаясь от одной клетки (нейрона) к другой, они переносят сообщение о возбуждении предыдущего нейрона. Такое синаптическое соединение приходится либо на древовидный отросток (дендрит) следующего нейрона (в большинстве случаев), либо на его сому. Одни синапсы являются по своей природе возбуждающими, их нейромедиаторы усиливают возбуждение следующего нейрона; другие же, напротив, – тормозящие, и их нейромедиаторы (отличные от первых) возбуждение следующего нейрона ослабляют. Воздействие различных синапсов на нейрон суммируется (возбуждение учитываем со знаком «плюс», а торможение – со знаком «минус»), и по достижении определенного порогового значения нейрон возбуждается.⁵ Правильнее, впрочем,

⁵ По крайней мере, таково традиционное представление. Сегодня у нас есть некоторые основания полагать, что эта простая «аддитивная» модель слишком упрощена и определенная «обработка информации» может осуществляться уже в дендритах отдельных нейронов. На возможность такой обработки указывал, среди прочих, Карл Прибрам (см. [319]). Сходные в общих чертах предположения были сделаны ранее Алвином Скоттом [338, 339] (а о возможности наличия «интеллекта» в отдельно взятой клетке можно прочесть, например, у Альбрехта Бюлера [8]). Возможность сложной «дендритной» обработки информации внутри отдельных нейронов мы подробнее обсудим в §7.4.

будет сказать, что существует высокая вероятность такого возбуждения. Определенный случайный фактор присутствует во всех процессах такого рода.

Таким образом – во всяком случае, пока, – не возникает сомнений в том, что изложенная картина может быть эффективно смоделирована численными методами, если допустить, что синаптические связи и их индивидуальная интенсивность со временем не изменяются. (Наличие случайных составляющих, разумеется, никаких проблем в смысле вычислимости не представляет, см. §1.9). В самом деле, несложно заметить, что вышеописанная нейронно-синапсовая схема (с постоянными синапсами и их интенсивностями) существенно эквивалентна схеме компьютера (см. НПК. с. 392–396). Однако благодаря феномену так называемой пластичности мозга, интенсивность по крайней мере некоторых синаптических связей может время от времени изменяться – порой быстрее, чем за секунду, а кроме того, изменяться могут и сами связи. Что ставит нас перед немаловажным вопросом: что же этими синаптическими изменениями управляет?

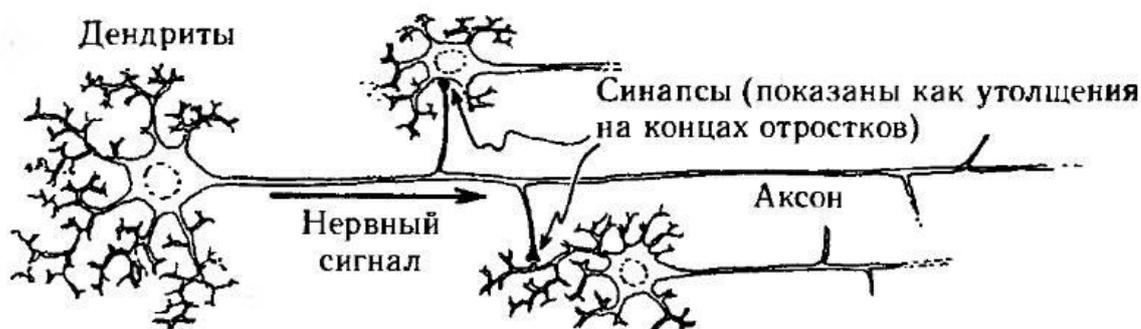


Рис. 7.1. Нейрон и его соединение с другими нейронами посредством синапсов.

В коннекционистских моделях (применяемых при разработке искусственных нейронных сетей) синаптические изменения описываются определенным вычислительным правилом. Это правило устанавливается таким образом, чтобы система могла в процессе работы повышать свою эффективность, сравнивая поступающую на ее вход извне информацию с некоторыми заранее заданными критериями. Простое правило такого типа предложил Дональд Хебб еще в 1949 году [193]. Современные коннекционистские модели⁶ используют различные модификации (порой весьма значительные) всё той же процедуры Хебба. Любая модель такого рода непременно должна иметь в своей основе хоть какое-нибудь четкое вычислительное правило, поскольку выполняются эти модели на самых обычных компьютерах; см. §1.5. Однако, в силу изложенной в первой части аргументации, никакая вычислительная процедура не может адекватно объяснить все операционные проявления человеческого сознательного понимания.⁷ Следовательно, нужно искать какой-то другой управляющий «механизм» – по крайней мере, для объяснения синаптических изменений, возможно, имеющих некоторое отношение к настоящей сознательной деятельности мозга.

Были выдвинуты и другие идеи; например, Джеральд Эдельман в своей книге «Прозрачный воздух, сверкающий огонь» [112] (и в более ранней трилогии [109, 110, 111]) предположил, что в мозге действуют не правила типа правила Хебба, а, скорее, некий вариант «дарвинского» эволюционного принципа, позволяющий мозгу непрерывно повышать свою эффективность, управляя синаптическими связями посредством своеобразного естественного отбора, – при этом Эдельман указывает на весьма многозначительные параллели между своей моделью и процессом развития иммунной системой способности «распознавать» вещества. Особое значение в этой модели придается сложной роли нейромедиаторов и других химических соединений, задействованных в коммуникации между нейронами. Однако на сегодняшний день соответствующие процессы по-прежнему рассматриваются как классические и вычислимые.

⁶ См., напр., [242].

⁷ В.Э.: Как мы убедились в комментариях к изложенной там аргументации, она совершенно несостоятельна, и все «операционные проявления человеческого сознательного понимания» легко объясняются в понятиях «вычислительных процедур». Следовательно, никакого «другого механизма» искать не надо.

Вместе со своими коллегами Эдельман даже построил ряд устройств с компьютерным управлением (получивших названия DARWIN I, II, III, IV и т.д.), предназначенных для моделирования (с увеличением степени сложности) как раз той самой процедуры, которая, по его предположению, лежит в основе умственной деятельности. Однако тот факт, что управляющие функции в устройствах Эдельмана возложены на самый обычный универсальный компьютер, вполне недвусмысленно показывает, что и эта схема является исключительно вычислительной – просто здесь используется некая «восходящая» система правил. При этом совершенно не важно, какими именно деталями данная схема отличается от других вычислительных процедур. Она всё равно принадлежит к той категории, что мы обсуждали в первой части, – см. §1.5, а также §3.9 и краткое изложение аргументации главы 3 в воображаемом диалоге в §3.23. Одного лишь этого диалога достаточно для того, чтобы убедиться в полном неправдоподобии любого утверждения о том, что модель, основанная только на подобного рода принципах, может иметь какое-то отношение к действительному функционированию сознательного разума.⁸

Для того, чтобы избавиться от этих «пут» вычислительности, необходимо найти какой-нибудь другой механизм управления синаптическими связями – причем каким бы этот механизм ни был, он, по всей видимости, должен задействовать некий физический процесс, важную роль в котором играет та или иная форма квантовой когерентности. Если этот процесс окажется в каком-либо существенном отношении похожим на действие иммунной системы, то, значит, и иммунная система работает на квантовых эффектах. Возможно, какие-то процессы в работе иммунного механизма распознавания и впрямь носят существенно квантовый характер – как, в частности, утверждает Майкл Конрад [57, 58, 59]. Меня бы это не удивило, однако в эдельмановской модели мозга возможному участию квантовых процессов в работе иммунной системы места не нашлось.

Впрочем, даже если когерентные квантовомеханические эффекты каким-то образом замешаны в управлении синаптическими связями, всё же трудно предположить, что и распространение нервных импульсов может быть связано с чем-то существенно квантовомеханическим. Иначе говоря, совершенно неясно, какую пользу можно извлечь из рассмотрения квантовой суперпозиции, в которой нейрон одновременно и возбужден, и заторможен. Нервные сигналы представляются нам явлениями вполне макроскопическими – во всяком случае, достаточно макроскопическими для того, чтобы такая картина выглядела крайне неправдоподобно, даже несмотря на тот факт, что собственно передача весьма хорошо изолирована от окружения благодаря плотному слою миелина, покрывающему нервные окончания. Согласно критерию, предложенному в §6.12 (OR), следует ожидать, что при возбуждении нейрона объективная редукция состояния происходит очень быстро – не потому, что имеет место значительное перемещение масс (его там даже по минимально требуемым стандартам далеко недостаточно), а потому, что распространяющееся вдоль нерва электрическое поле (порождаемое нервным сигналом), скорее всего, не остается «незамеченным» окружающими нервными тканями мозга. Это поле возмущает случайным образом весьма значительный объем вещества окружения – вполне достаточный, как мне представляется, для того, чтобы удовлетворить критерию срабатывания процедуры OR (из §6.12) почти сразу же после возникновения сигнала. Таким образом, сохранение в течение длительного времени квантовых суперпозиций возбуждения и торможения нейрона вряд ли возможно.

⁸ В.Э.: На этом уровне можно пререкаться «до бесконечности», всё время повторяя, что §2.5 что-то доказывает (Пенроуз) или что он ничего не доказывает (я). Решающее значение здесь, однако, имеют разборы отдельных конкретных вопросов (каковые и предлагает Веданская теория). Например, берем вопрос «Что есть сновидение?» {PENRO5} – и разбираем его в компьютерной модели мозга, «в понятиях вычислительных процедур». Или берем вопрос «Что есть число?» – и разбираем. Или вопрос «Как в мозге-компьютере происходит доказательство бесконечности количества простых чисел?». Или вопрос «Что (в понятиях вычислительных процедур) означают юнговские экстраверсия и интроверсия?» Не может быть и речи о том, чтобы Пенроуз (при защищаемой им концепции) мог дать развернутые ответы на эти вопросы. Наоборот, вся суть его аргументации сводится к тому, что такие ответы при нынешнем состоянии науки невозможно получить – и только, вот, когда-то, в неопределенном будущем, после привлечения квантовой механики, возможно, появится какой-то проблеск – но в данный момент абсолютно еще неясный, на сегодняшний день совершенно еще недетализированный... А тем временем Веданская теория немедленно, здесь и сейчас, дает исчерпывающие ответы на все эти – и многие другие – вопросы.

§7.3. Квантовые вычисления

Свойство возбужденного нейрона возмущать окружение всегда представлялось мне донельзя неудобным – оно никак не вписывалось в то предварительное предположение, которое я пытался обосновать в НПК и в рамках которого квантовая суперпозиция одновременного возбуждения и торможения семейств нейронов была, как мне казалось, действительно необходимой. Согласно нашему новому критерию редукции состояний (OR), для редукции требуется еще меньшее возмущение окружения, чем в прежнем описании, и в возможность сохранения таких суперпозиций в течение сколько-нибудь заметного времени поверить еще сложнее. А собственно идея тогда заключалась в следующем: если бы возможно было выполнять несколько отдельных «вычислений» в суперпозиции в нескольких одновременно возбуждающихся нейронных структурах, то резонно было бы предположить, что в мозге вместо «обычных» тьюринговых вычислений выполняется нечто вроде вычислений квантовых. Несмотря на кажущуюся невозможность выполнения квантовых вычислений на этом уровне функционирования мозга, будет полезно познакомиться с некоторыми их аспектами подробнее.

Квантовое вычисление – теоретическая концепция, основы которой разработали Дэвид Дойч [83] и Ричард Фейнман [120, 121] (см. также [25] и [6]) и которая в настоящее время активно исследуется многими учеными. Основная идея заключается в распространении классического понятия машины Тьюринга на соответствующее квантовое устройство. Как следствие, все выполняемые такой расширенной «машиной» операции должны подчиняться квантовым законам т.е. законам, по которым живут системы квантового уровня (с возможностью суперпозиций). Так, эволюция устройства происходит преимущественно под действием процедуры U, причем существенным свойством этого самого действия является как раз сохранение наличествующих суперпозиций. Процедура R получает «право голоса», как правило, лишь в конце операции, когда система «измеряется» с целью узнать результат вычисления. Вообще говоря (хотя не все это осознают), в процессе вычисления процедуру R необходимо время от времени вызывать дополнительно для того, чтобы проверить, не завершилось ли оно.

Выяснилось, что, хотя квантовый компьютер и не имеет сверхспособностей, в принципе недоступных для традиционного вычисления по Тьюрингу, в некоторых классах задач квантовое вычисление превосходит тьюрингово вычисление в смысле теории сложности ([83]). То есть при решении таких задач квантовый компьютер оказывается в принципе намного быстрее, нежели компьютер обычный, – но и только. Ряд интересных (хотя и несколько искусственных) задач такого типа, при решении которых квантовый компьютер оказывается победителем,⁹ приводят, в частности, Дойч и Йожа [88]. Более того, как недавно показал Питер Шор, с помощью квантового вычисления можно решить (за полиномиальное время) актуальную задачу факторизации больших целых чисел.

«Стандартное» квантовое вычисление использует обычные правила квантовой теории, согласно которым в течение практически всей операции система эволюционирует под действием процедуры U, а R вмешивается в процесс на строго определенных этапах. В такой процедуре нет ничего «невычислимого» в смысле обычной «вычислимости», так как U – вычислимая операция, а R – чисто вероятностная процедура. Всё, что в принципе можно получить с помощью квантового компьютера, можно в принципе получить и с помощью соответствующей машины Тьюринга, снабженной генератором случайных чисел. Таким образом, согласно представленным в первой части книги аргументам, даже квантовый компьютер не способен выполнять операции, требуемые для человеческого сознательного понимания. Остается надеяться лишь на то, что подлинная невычислимость скрывается где-то за тонкими особенностями процесса, в действительности происходящего в момент «кажущейся» редукции вектора состояния, потому что во временно заменяющей этот реальный процесс случайной процедуре R никакой невычислимости нет. Таким образом, полная теория гипотетической процедуры OR будет по необходимости носить существенно невычислимый характер.

⁹ В.Э.: «..оказался бы победителем..». Пенроуз это пишет в 1994 году. Тогда еще и мобильные телефоны не вошли в нашу жизнь. История с мобильными телефонами показывает, как это бывает, когда идея действительно плодотворна и устройство реально. А квантовый компьютер... С 2007 года, 13 лет спустя после текста Пенроуза и 19 лет после смерти Фейнмана стали иногда появляться сообщения, что квантовый компьютер якобы наконец сделан. Но эти сообщения были такие... Сообщения были, а компьютера не было... Лично я не очень верю, что его когда-нибудь построят. По-моему, всё это только спекуляции...

Предложенная в НРК идея основывалась на предположении, что в мозге возможны достаточно длительные тьюринговы вычисления в суперпозиции, прерываемые время от времени неким невычислимым действием, которое можно объяснить лишь в терминах того нового физического процесса (например, OR), какой придет на смену редукции R. Теперь, когда на такие суперпозиции нейронных вычислений мы больше рассчитывать не можем по причине слишком сильного возмущения окружения проходящими по нейрону импульсами, становится непонятно, каким образом можно здесь хотя бы воспользоваться самой идеей стандартного квантового вычисления, не говоря уже о какой-либо модификации этой процедуры посредством замены R на некий гипотетический невычислимый процесс (например, OR). Однако, как мы очень скоро убедимся, существует еще одна, весьма многообещающая возможность. Для того, чтобы понять, что она собой представляет, нам необходимо более подробно рассмотреть биологическое устройство клеток мозга.

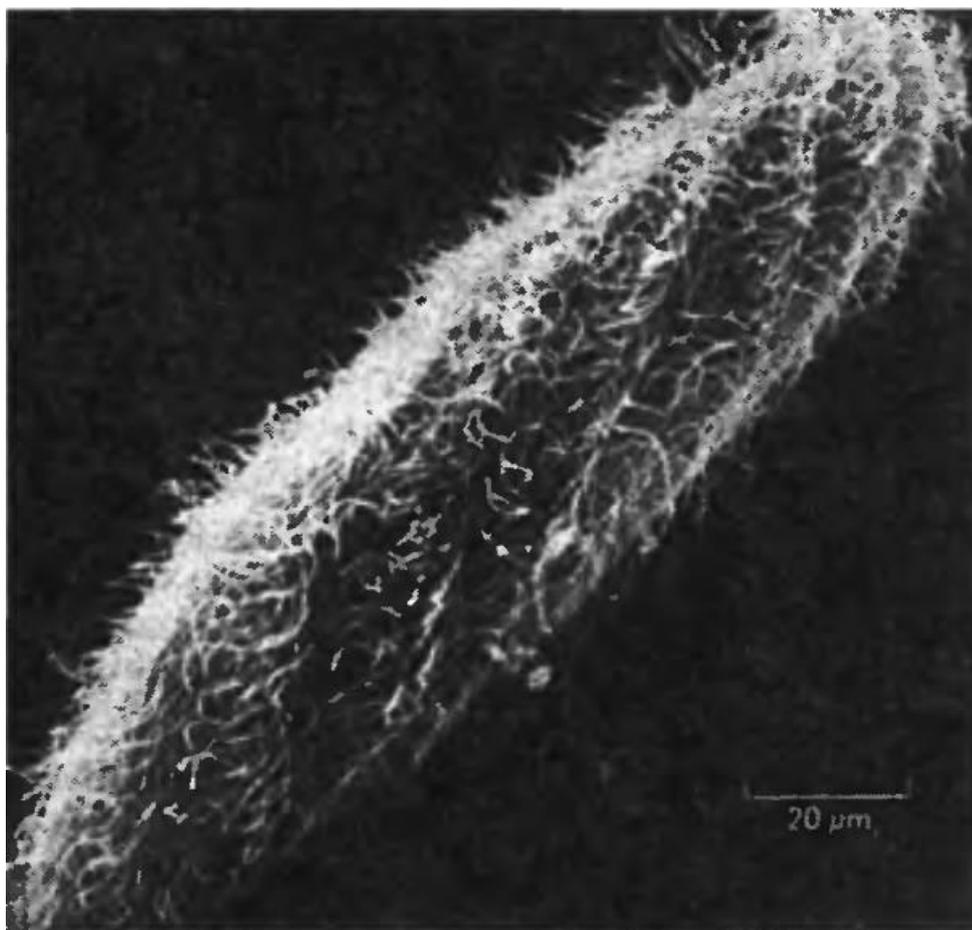


Рис. 7.2. Парамеция. Обратите внимание на волосообразные реснички, используемые для перемещения в воде. Они представляют собой наружные окончания цитоскелета парамеции.

§7.4. Цитоскелет и микротрубочки

Если мы вдруг вообразим, что сложное поведение животных управляется только лишь нейронами, то скромная парамеция поставит нас перед фундаментальной проблемой. Эта инфузория перемещается по своему пруду с помощью многочисленных крохотных волосообразных конечностей – ресничек, преследуя бактерий, которыми она питается и которых обнаруживает посредством различных внутренних механизмов, или отступая от возможной опасности, готовая мгновенно устремиться прочь. Она также может преодолевать препятствия, огибая их. Более того, парамеция, по всей видимости, способна обучаться на собственном опыте¹⁰ – хотя эта

¹⁰ См. [128], [139], [11] и [134].

наиболее замечательная ее способность некоторыми учеными оспаривается.¹¹ Как же всё это может проделывать существо, не имеющее ни единого нейрона и синапса? В самом деле, поскольку вся парамеция – это всего лишь одна, пусть и большая, клетка, и притом не нейрон, ей просто негде все перечисленные способности разместить (см. рис. 7.2).

Несомненно, поведение парамеции – да собственно и прочих одноклеточных организмов, например, амёб – регулируется какой-то сложной системой управления; просто эта система построена не из нервных клеток. Ответственная за поведение парамеции структура, очевидно, является частью ее так называемого цитоскелета. Как можно предположить из названия, цитоскелет служит для поддержания формы клетки, однако у него имеются и многочисленные иные функции. Упомянутые выше реснички представляют собой окончания волокон цитоскелета, но помимо них цитоскелет, похоже, содержит еще и собственно систему управления движением клетки, а также систему «конвейеров», осуществляющих транспортировку молекул внутри клетки. Словом, в единичной клетке цитоскелет выступает в роли такой комбинации скелета, мускулатуры, конечностей, системы кровообращения и нервной системы.

Нас с вами в настоящий момент больше всего интересует, каким образом цитоскелет выполняет функции клеточной «нервной системы». Нейроны в нашем мозге сами являются отдельными клетками, причем у каждого нейрона есть свой собственный цитоскелет! Означает ли это, что в некотором смысле каждый отдельный нейрон располагает чем-то вроде «личной нервной системы»? Предположение весьма интригующее, и многие ученые склоняются к мнению, что нечто подобное действительно может иметь место. (См. первопроходческий труд Стюарта Хамероффа «Первичное вычисление: биомолекулярное сознание и нанотехнология» [183]; также рекомендую обратить внимание на статью [184] и многочисленные статьи в новом журнале «Нанобиология»¹².)

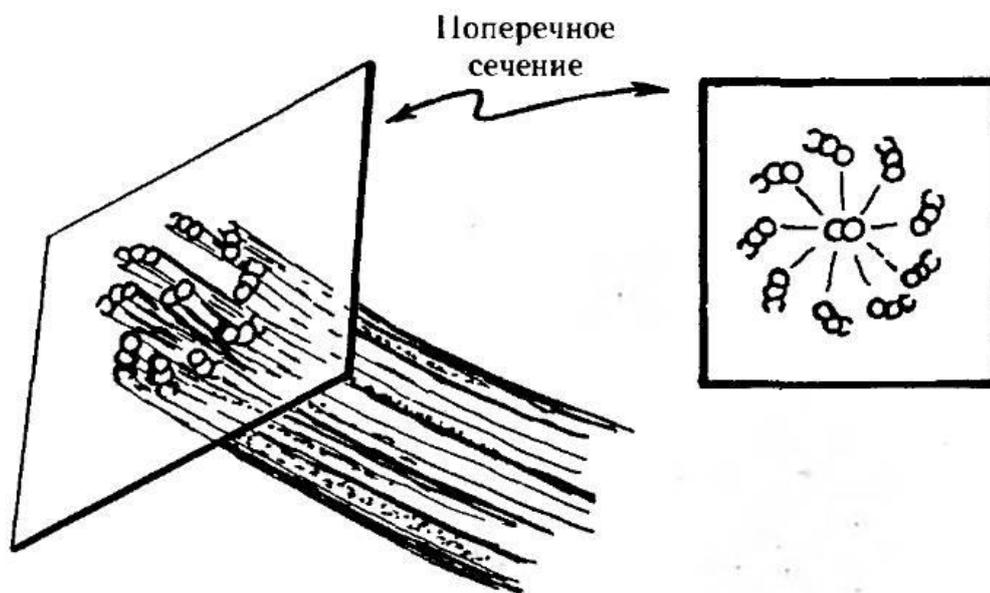


Рис. 7.3. Важной частью цитоскелета являются пучки крохотных трубочек (микротрубочек), организованных в структуры, напоминающие в поперечном сечении лопасти вентилятора. Такое строение имеют, например, реснички парамеции.

Прежде, чем переходить к этим вопросам, необходимо рассмотреть вкратце общее устройство цитоскелета. Он состоит из протеиноподобных молекул, организованных в различного типа структуры: актин, микротрубочки и промежуточные волокна. Нас сейчас интересуют, главным образом, микротрубочки. Они представляют собой полые цилиндрические трубки с внешним диаметром около 25 нм и внутренним – около 14 нм (где «нм» обозначает «нанометр», т.е. 10^{-9} м), иногда организованные в более крупные трубкообразные волокна, состоящие из девяти дублетов, триплетов или частичных триплетов микротрубочек; в поперечном сечении

¹¹ Напр., [101].

¹² Nanobiology.

такое волокно напоминает лопасти вентилятора, как показано на рис. 7.3, причем иногда по его центру также проходит пара микротрубочек. Как раз такое строение имеют реснички парамеции. Каждая микротрубочка представляет собой белковый полимер, состоящий из субъединиц, называемых тубулинами. Каждая субъединица тубулина, в свою очередь, представляет собой «димер», т.е. состоит из двух соединенных тонкой перемычкой частей, называемых α -тубулин и β -тубулин (приблизительно по 450 аминокислот в каждой). Эти пары глобулярных белков, напоминающие по форме орех арахиса, уложены в слегка скошенную гексагональную решетку вдоль всей трубки, как показано на рис. 7.4. Обычно на каждую микротрубочку приходится по 13 рядов димеров тубулина. Размеры димера составляют приблизительно $8 \text{ нм} \times 4 \text{ нм} \times 4 \text{ нм}$, а его атомное число – около 11×10^4 (т.е. в одном димере содержится такое количество нуклонов, что его масса в абсолютных единицах равна приблизительно 10^{-14}).

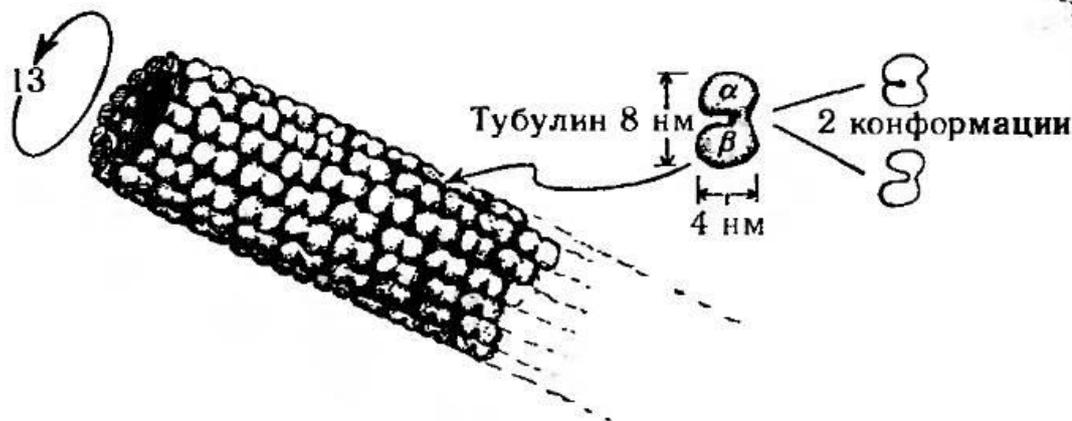


Рис. 7.4. Микротрубочка. Полая трубка, обычно состоящая из 13 рядов димеров тубулина. Каждая из молекул тубулина может существовать в двух (по крайней мере) конформациях.

Димер тубулина может существовать в двух (по крайней мере) различных геометрических конфигурациях, называемых конформациями. В одной из таких конформаций молекулы тубулина располагаются под углом около 30° к оси микротрубочки. Есть основания полагать, что эти две конформации соответствуют двум различным состояниям электрической поляризации димера, возникающим вследствие того, что электрон в центре перемычки α -тубулин / β -тубулин занимает в различных конформациях различные положения.

«Центром управления» в цитоскелете является, по всей видимости, структура, называемая центром организации микротрубочек, или центросомой. Внутри центросомы имеется особая структура, называемая центриолью, которая состоит из двух цилиндрических волокон, по девять триплетов микротрубочек в каждом, образующих в пространстве структуру, похожую на «разделенную» букву «Т» (см. рис. 7.5). (Цилиндрические волокна в общем аналогичны по структуре ресничкам, показанным на рис. 7.3.) Согласно Альбрехту-Бюлеру [7, 9], центриоль действует как глаз (!) клетки – идея чрезвычайно захватывающая, хотя и далеко еще не общепринятая. Какой бы ни была роль центросомы в нормальной, «повседневной», жизни клетки, она выполняет по крайней мере одну фундаментально важную задачу. На некоем критическом этапе она разделяется на две части, каждая из которых, по всей видимости, утягивает за собой пучок микротрубочек – хотя, пожалуй, точнее будет сказать, что каждая часть становится своего рода фокусом, вокруг которого и собираются микротрубочки. Эти

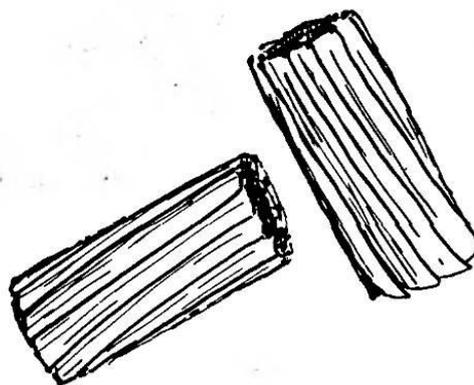


Рис. 7.5. Центриоль (по некоторым предположениям, глаз клетки) состоит из двух пучков микротрубочек (очень похожих на те, что изображены на рис. 7.3), образующих «разделенную» букву «Т».

микротрубочковые волокна каким-то образом связывают центросому с отдельными цепочками ДНК в ядре (в центральных точках, называемых центромерами), и цепочки ДНК расходятся – начиная тем самым удивительный процесс, известный специалистам под названием митоз, что означает всего-навсего деление клетки (см. рис. 7.6).

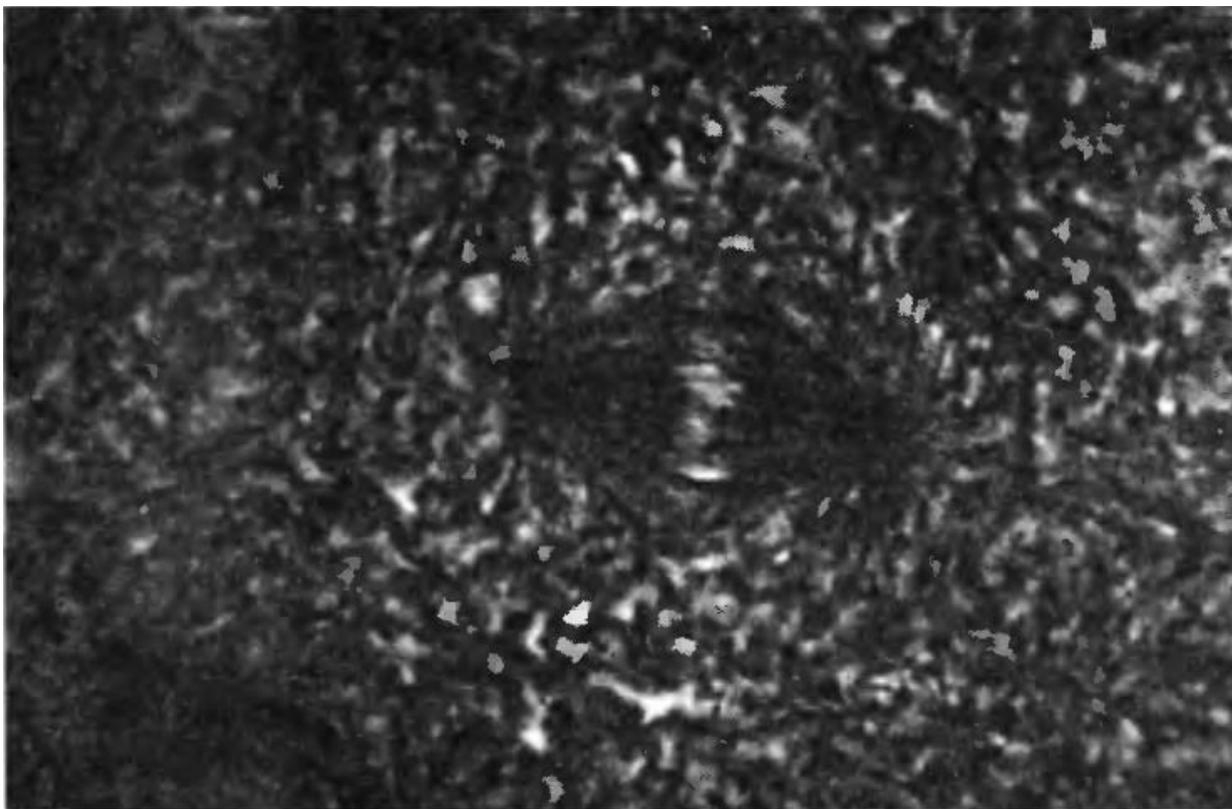


Рис. 7.6. При митозе (делении клетки) хромосомы разделяются, растаскиваемые пучками микротрубочек.

Может показаться странным, что внутри одной клетки действуют две столь разные «штаб-квартиры». Одна из них – ядро, где хранится основной генетический материал клетки, определяющий ее наследственность и уникальность, а также управляющий производством белкового материала, из которого, собственно, «строится» клетка. Другой управляющий центр – центросома с центриолью в качестве основного компонента, являющаяся, по всей видимости, главным узлом цитоскелета – структуры, которая, опять же по всей видимости, контролирует движение клетки и ее пространственную организацию. Предполагается, что присутствие этих двух различных «центров» в эукариотических¹³ клетках (клетках всех животных и почти всех растений на нашей планете, за исключением бактерий, сине-зеленых водорослей и вирусов) является результатом древней «инфекции», распространившейся по миру несколько миллиардов лет назад. Клетки, населявшие Землю прежде, были прокариотическими; они существуют и поныне в виде бактерий и сине-зеленых водорослей, и у них нет цитоскелета. Согласно одному из предположений [332], часть древнейших прокариот оказались каким-то образом связаны (возможно, «инфицированы») с неким видом спирохет (бактерий, перемещающихся с помощью нитеобразного хвоста, состоящего из цитоскелетных белков). Эти чуждые друг другу организмы постепенно «научились» жить вместе в симбиотической связи как единые эукариотические клетки. Так «спирохеты» превратились, в конечном счете, в цитоскелеты клеток – со всеми вытекающими последствиями для будущей эволюции, среди которых мы с вами!

¹³ В.Э.: Прокариотами называются организмы с одной хромосомой (одной нитью ДНК) в клетке, а эукариотами – с несколькими хромосомами (и тем самым несколькими молекулами ДНК).

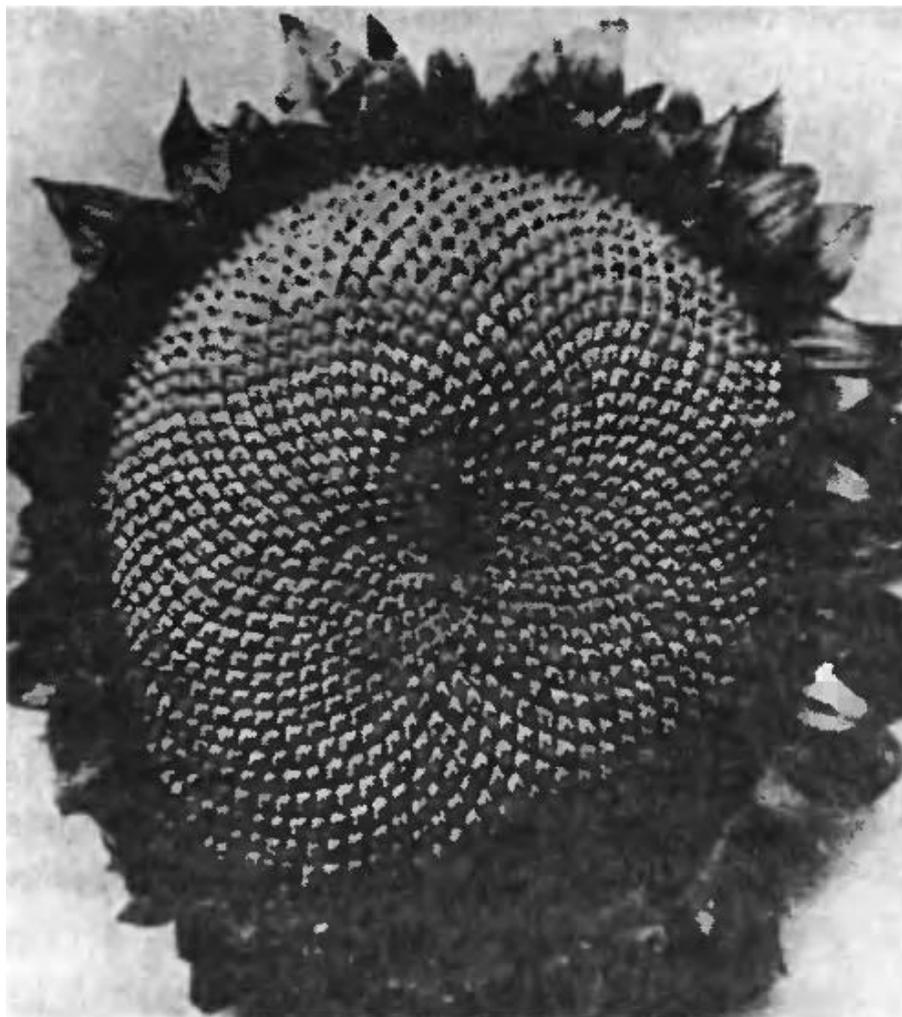


Рис. 7.7. Цветок подсолнечника. Как и во многих других растениях, отчетливо наблюдаются числа Фибоначчи. Во внешней области круга имеем 89 спиралей, закрученных по часовой стрелке, и 55 спиралей, закрученных против часовой стрелки. Ближе к центру появляются другие числа Фибоначчи.

Организация микротрубочек млекопитающих представляет интерес с математической точки зрения. На первый взгляд, число 13 не имеет какого-либо особого математического значения, однако это не совсем так. Оно принадлежит к знаменитой последовательности чисел Фибоначчи:

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, ...

где каждое последующее число получается сложением двух предыдущих. Это может показаться случайным совпадением, однако хорошо известно, что числа Фибоначчи в биологических системах не редкость (и в гораздо более крупном масштабе). Например, в еловых шишках, цветках подсолнечника и пальмовых стволах наблюдаются спиральные или винтовые структуры с взаимопроникновением левых и правых закручиваний, причем количество рядов, закрученных в одном направлении, и количество рядов, закрученных в другом направлении, суть два соседних числа Фибоначчи (см. рис. 7.7). (Если внимательно рассмотреть такую структуру от одного конца до другого, можно обнаружить «место перехода», где числа рядов сменяются на следующую пару соседних чисел Фибоначчи.) Любопытно, что гексагональный узор микротрубочек демонстрирует очень похожую особенность – в общем случае даже еще более точно, – причем состоит этот узор (по крайней мере, обычно) из 5 правых и 8 левых винтовых структур, как показано на рис. 7.8. На рис. 7.9 я попытался изобразить, как такие структуры могли бы «выглядеть» изнутри микротрубочки. Число 13 выступает здесь как общее количество витков в спирали: $5 + 8$. Любопытно также, что в двойных микротрубочках, встречающихся достаточно часто, внешний слой составной трубки обычно содержит 21 ряд димеров тубулина – следующее число Фибоначчи! (Не стоит, впрочем, чересчур увлекаться подобными построениями; например, в

пучках микротрубочек в ресничках и центриолях бывает и по 9 рядов димеров – число, определенно не принадлежащее последовательности Фибоначчи.)

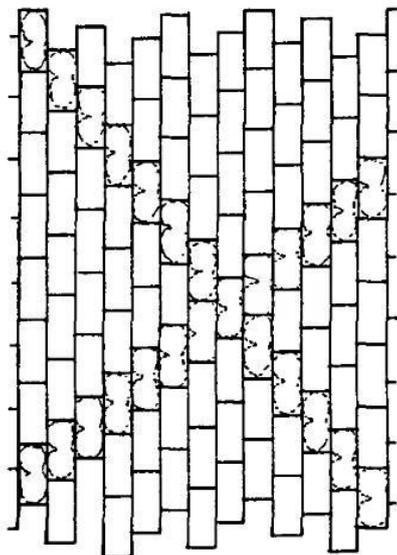


Рис. 7.8. Представим, что микротрубочка разрезана вдоль и затем развернута в полосу. Можно видеть, что молекулы тубулина располагаются вдоль наклонных линий, причем каждый новый виток смещен относительно предыдущего на 5 или 8 молекул (в зависимости от того, куда наклонена линия, вправо или влево).

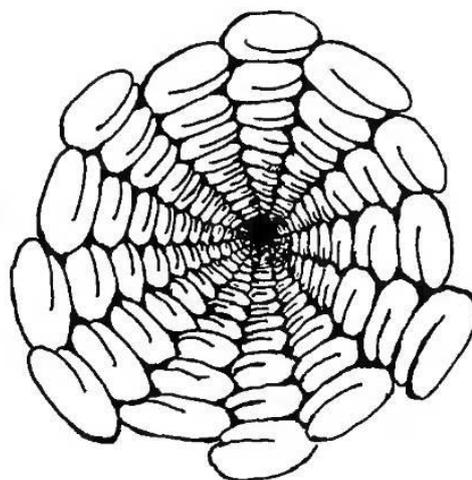


Рис. 7.9. Заглянем внутрь микротрубочки! Можно наблюдать спиральную структуру молекул тубулина 5 + 8.

Откуда в структуре микротрубочек берутся числа Фибоначчи? Относительно еловых шишек, цветков подсолнечника и т.д. существует несколько вполне убедительных теорий – кстати, среди тех, кто серьезно занимался этим вопросом, был Алан Тьюринг (см. [1981, с. 437]). Однако к случаю микротрубочек эти теории, вполне возможно, неприменимы, и для такого уровня следует искать какие-то другие объяснения. Коруга [228] высказал предположение, что числа Фибоначчи в структуре микротрубочки повышают эффективность ее как «информационного процессора». В самом деле, согласно Хамероффу с коллегами (которые пытаются нам это втолковать вот уже более десяти лет)¹⁴, микротрубочки могут действовать как клеточные автоматы, передавая и обрабатывая сложные сигналы в виде волн различных состояний электрической поляризации молекул тубулина. Вспомним, что димеры тубулина могут существовать в двух (по крайней мере) различных конформационных состояниях и способных переходить из одного состояния в другое; последнее, очевидно, обуславливается сменой электрической поляризации молекулы на альтернативную. На состояние каждого димера воздействуют состояния поляризации каждого из шести его соседей (вследствие ван-дер-ваальсовых взаимодействий между ними), т.е. существуют вполне конкретные правила, определяющие конформацию каждого димера через конформации его соседей. Благодаря этому обстоятельству, каждая микротрубочка способна осуществлять передачу и обработку любого рода сообщений. С распространением сигналов, похоже, как-то связана транспортировка различных молекул вдоль микротрубочек, а также всевозможные соединения между соседними микротрубочками в виде своеобразных белковых «мостиков» – так называемые MAP (от *microtubule associated proteins*;¹⁵ см. рис. 7.10. Коруга доказывает, что в случае структуры с числами Фибоначчи, подобной той,

¹⁴ См. [184], [183] и [186]. В недавней работе [371] указывается, что такая обработка информации может осуществляться только в микротрубочках, организованных в виде так называемых «А-решеток» (именно эта структура и показана на рис. 7.4, 7.8 и 7.9), тогда как более распространенная организация в виде «В-решетки» (с характерным «швом», проходящим вдоль трубки, см. [254]), для обработки информации не годится.

¹⁵ Белки, ассоциированные с микротрубочками (англ.) – Прим. перев.

что реально наблюдается в микротрубочках, информация обрабатывается особенно эффективно. Должно быть, для такой организации микротрубочек и в самом деле имеется серьезная причина, поскольку, несмотря на некоторый разброс в числах, наблюдаемый в эукариотических клетках вообще, микротрубочки почти всех млекопитающих составлены именно из 13 рядов димеров.



Рис. 7.10. Микротрубочки обычно соединяются друг с другом посредством «мостиков» из так называемых белков, ассоциированных с микротрубочками (МАР).

Для чего микротрубочки нейронам? Каждый отдельный нейрон имеет свой цитоскелет. Какова его роль? Я уверен, что будущим исследователям предстоит сделать в этой области еще немало открытий, однако кое-что мы знаем уже сейчас. В частности, микротрубочки нейронов могут быть очень и очень длинными (по сравнению с диаметром нейрона, который составляет лишь 25–30 нм) – до нескольких миллиметров или даже длиннее. Более того, в зависимости от обстоятельств они способны расти или сокращаться, а также транспортировать молекулы нейромедиаторов. Внутри аксонов и дендритов также имеются микротрубочки. Хотя, как правило, на всю длину аксона каждая отдельная микротрубочка не тянется, они образуют сообщающиеся сети, охватывающие всю клетку, соединяясь между собой посредством упомянутых выше МАР-мостиков. Микротрубочки, по-видимому, ответственны за поддержание интенсивности синапсов и, несомненно, за изменение этой интенсивности в случае необходимости. Более того, они, похоже, управляют ростом новых нервных окончаний, направляя их к точкам соединений с другими нервными клетками.

Поскольку после окончательного формирования мозга деление нейронов прекращается, необходимости в этой функции centrosомы здесь нет. В centrosомах нейронов, расположенных вблизи ядра, часто вовсе нет центриолей. Микротрубочки тянутся от centrosом к окрестности пресинаптических окончаний аксона, а также в другую сторону, к дендритам и, через сокращающиеся актиновые нити, к дендритным шипикам, часто образующим постсинаптические окончания синаптической щели 7.12. Эти шипики способны расти и вырождаться, что, по-видимому, является существенным элементом общей пластичности мозга, благодаря которой система взаимных соединений в мозге подвергается непрерывным тонким изменениям. Насколько мне известно, существуют убедительные экспериментальные свидетельства важной роли микротрубочек в управлении пластичностью мозга.



Рис. 7.11. Молекула клатрина (похожая общей структурой на фуллерен, но составленная не из атомов углерода, а из более сложных субструктур – белковых тримеров, называемых трискелионами). Изображенный на рисунке клатрин напоминает внешне обыкновенный футбольный мяч.

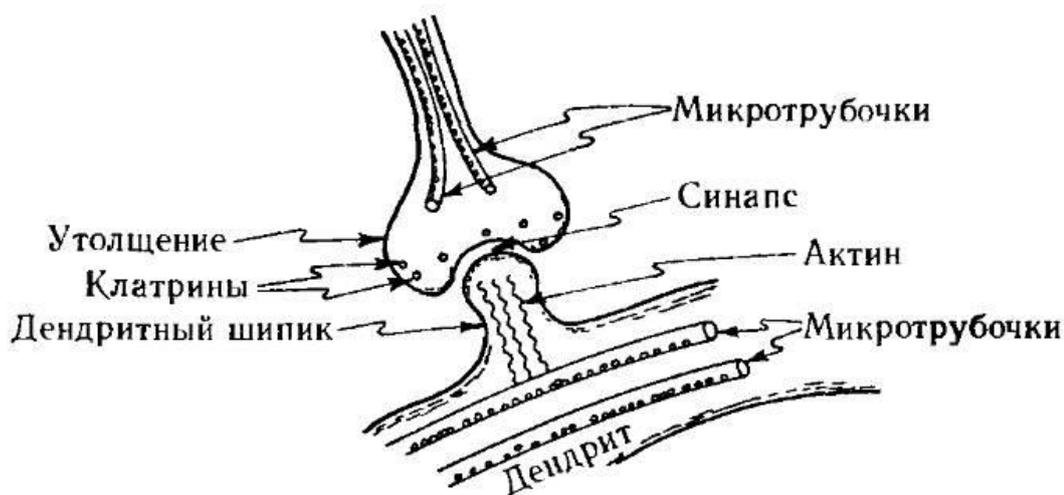


Рис. 7.12. Клатрины, подобные тому, что изображен на рис. 7.11, располагаются (вместе с окончаниями микротрубочек) в пресинаптическом утолщении аксона и, по всей видимости, участвуют в управлении интенсивностью синапса; также на интенсивность синапса влияют сокращающиеся актиновые нити в дендритных шипиках, управляемых микротрубочками.

Упомянем еще об одном любопытном факте. В пресинаптических окончаниях аксонов содержатся некие ассоциированные с микротрубочками вещества, «работа» которых связана с высвобождением нейромедиаторов, а молекулы весьма примечательны с геометрической точки зрения. Эти вещества – клатрины – строятся из белковых тримеров (так называемых клатриновых трискелионов), этиких полипептидных трехлучевых звезд. Объединяясь в молекулу клатрина, трискелионы образуют геометрически правильные структуры, идентичные по общему строению многоатомным молекулам углерода, называемым «фуллеренами» (а также «бакиболами», или «мячами Баки»¹⁶) из-за их внешнего сходства со знаменитыми геодезическими куполами, которые проектировал и возводил американский архитектор Бакминстер Фуллер.¹⁷ Клатрины, впрочем, гораздо больше фуллереновых молекул, поскольку одному атому углерода в фуллерене соответствует в клатрине целый трискелион, состоящий из нескольких аминокислот. Те клатрины, что заняты в высвобождении нейромедиаторов в синапсах, имеют форму усеченного

¹⁶ Англ. *Bucky balls*. – Прим. перев.

¹⁷ См. [229] (доступно о клатринах) и [66] (популярное описание фуллеренов).

икосаэдра – всем нам знакомого многогранника, по образу и подобию которого делают современные футбольные мячи (см. рис. 7.11 и 7.12).

В одном из предыдущих параграфов был поставлен важный вопрос: что управляет изменением интенсивности синапсов и определяет места размещения функционирующих синаптических связей? Учитывая имеющиеся свидетельства, можно уверенно предположить, что центральную роль в этих процессах играет цитоскелет.¹⁸ Как же это предположение может нам помочь в поиске невычислимой сущности разума? Пока что оно, похоже, говорит нам лишь о том, что потенциальная вычислительная мощность мозга оказывается гораздо большей, чем можно было бы ожидать, используйте мозг в качестве простейших вычислительных блоков «цельные» нейроны.

В самом деле, если простейшими вычислительными блоками мы теперь будем считать димеры тубулина, то придется предположить, что потенциальная вычислительная мощность мозга просто невероятно превосходит всё то, что предполагали самые смелые теоретики от ИИ. Основываясь на «цельнонейронной» модели, Ханс Моравек в своей книге «Дети разума» [267] предположил, что человеческий мозг может в принципе достичь производительности порядка 10^{14} операций в секунду, но не более того; это при том, что в мозге имеется около 10^{11} функционирующих нейронов, каждый из которых способен посылать примерно по 10^3 сигналов в секунду (см. §1.2). Если же в качестве элементарного вычислительного блока взять димер тубулина, то следует учесть, что на каждый нейрон приходится около 10^7 димеров; соответственно, элементарные операции теперь выполняются где-то в 10^6 раз быстрее, в результате чего получаем 10^{27} операций в секунду. Возможно, производительность современных компьютеров и вправду уже начинает приближаться к первой цифре, 10^{14} операций в секунду (как весьма убежденно доказывают Моравек и его единомышленники), однако, несмотря на все эти успехи, достичь в обозримом будущем производительности 10^{27} операций в секунду не представляется возможным.

Разумеется, можно смело утверждать, что мозг работает далеко не со стопроцентной «микротрубочковой» эффективностью, какую приведенные выше цифры предполагают. Тем не менее, ясно, что возможность «микротрубочкового вычисления» (см. [183]) позволяет совсем по-иному взглянуть на некоторые из аргументов в пользу неминуемого наступления эпохи искусственного интеллекта человеческого уровня. Можем ли мы теперь поверить хотя бы в то, что уже сегодня возможно¹⁹ численно воспроизвести умственную деятельность червя нематоды, только потому, что мы вроде бы «закартографировали» и численно смоделировали его нервную систему? Как было отмечено в §1.15, умственные способности обычного муравья намного превосходят всё то, что на настоящий момент реализовано посредством стандартных ИИ-процедур. Впору поинтересоваться, сколько же муравей выигрывает в производительности благодаря гигантскому массиву своих «микротрубочковых информационных нанопроцессоров», если сравнивать с тем, чего он смог бы добиться, располагая он лишь «переключателями цельнонейронного типа». Что до парамедии, то тут, как вы понимаете, оснований для предъявления иска нет.

Однако аргументы, представленные в первой части, предполагают гораздо более сильное заявление. Я утверждаю, что способность человека к пониманию выходит за рамки какой угодно вычислительной схемы. Если мозгом человека управляют микротрубочки, то в микротру-

¹⁸ В.Э.: Все эти сведения и рассуждения, приводимые Пенроузом, очень интересны; я всегда любил опускаться как можно глубже к первоисточкам явлений (это стиль «механистического материализма»). Но в то же время нужно отдавать себе отчет и в том, что это принципиально не может привести к пониманию сущности интеллекта и «сознания». Для понимания интеллекта безразличны все эти нейроны, аксоны, синапсы, микротрубочки и тубулины. Это всё равно как если бы человек, желающий понять устройство и работу операционной системы WINDOWS открыл бы крышку компьютера и стал бы изучать: вот, тут идет медный проводок, а тут разъем на девять дырочек, а здесь припаяно оловом... Для освоения операционной системы нужны совсем другие понятия: программы, файлы, окна, интерфейсы и т.д. Точно так же для понимания, что такое разум, нужны в первую очередь такие понятия как: мозговая программа, структуры данных, с которыми она оперирует, ее потенциальные продукты, взаимодействие таких программ, самопрограммирование и т.д. А реализовано ли всё это на нейронах, микротрубочках или на чем-нибудь еще – это не имеет никакого значения. Я думаю, что «мировая наука» в вопросе интеллекта уже полстолетия топчется на месте именно потому, что не отдает себе отчета в названном выше вопросе и продолжает упорно изучать клетки мозга, вместо того, чтобы построить концептуальную, «программистскую» модель интеллекта.

¹⁹ См. [363].

бочковых процессах должно быть что-то принципиально отличное от простого вычисления. Я утверждал, что такая невычислимая активность должна быть следствием достаточно макроскопической квантовой когерентности, объединенной неким тонким образом с макроскопическим поведением – с тем, чтобы обеспечить возможность протекания в системе тех новых физических процессов, что придут на смену бытующей в современной физике паллиативной R-процедуре. В качестве первого шага мы должны выяснить, какова же подлинная роль квантовой когерентности в цитоскелетной активности.

§7.5. Квантовая когерентность внутри микротрубочек

Есть ли у нас основания предполагать, что внутри микротрубочек существует квантовая когерентность? Вернемся ненадолго к обсуждавшимся в §7.1 идеям Фрелиха [131] о возможности феноменов квантовой когерентности в биологических системах. Он утверждал, что если энергия метаболической активности достаточно велика, а диэлектрические свойства задействованных в процессе материалов достаточно экстремальны, то существует возможность возникновения макроскопической квантовой когерентности, аналогичной той, что возникает в феноменах сверхпроводимости и сверхтекучести – иногда объединяемых общим термином конденсация Бозе–Эйнштейна – даже при относительно высоких температурах, какие, собственно, и характерны для биологических систем. Как выяснилось, не только метаболическая энергия достаточно велика, а диэлектрические свойства просто необыкновенно экстремальны (именно этот полученный в 1930-е годы поразительный экспериментальный результат и навел Фрелиха на соответствующие размышления), но и имеется с некоторых пор даже прямое подтверждение предсказанных Фрелихом внутриклеточных колебаний с частотой 10^{11} гц [177].

В конденсате Бозе–Эйнштейна (который возникает еще и при работе лазера) большое количество частиц совместно образуют одно квантовое состояние. Это состояние описывается волновой функцией того же вида, что и в случае единичной частицы, – только здесь эта функция относится сразу ко всей совокупности образующих состояние частиц. Вспомним о непостижимой с классической точки зрения природе квантового состояния одной-единственной квантовой частицы (§5.6, §5.11). В конденсате Бозе–Эйнштейна вся состоящая из множества частиц система ведет себя как одно целое, и ее квантовое состояние ничем не отличается от квантового состояния единичной частицы, меняется только масштаб. В этом увеличенном масштабе и возникает когерентность, при которой многие удивительные свойства квантовых волновых функций проявляются на макроскопическом уровне.

Первоначально Фрелих полагал, что такие макроскопические квантовые состояния должны, скорее всего, возникать в клеточных мембранах,²⁰ однако теперь перед нами открывается другая (и, судя по всему, более правдоподобная) возможность: микротрубочки. Причем эта возможность, похоже, подтверждается экспериментально.²¹ Еще в 1974 году Хамерофф предположил [182], что микротрубочки могут действовать как «диэлектрические волноводы». Хочется верить, что Природа снабдила цитоскелетные структуры пустыми трубками отнюдь не просто так. Возможно, сами трубки обеспечивают эффективную изоляцию, позволяющую квантовому состоянию внутри трубки избегать сцепления с окружением в течение достаточно продолжительного времени. В этой связи интересно отметить, что Эмилио дель Джудиче и его коллеги из Миланского университета утверждали [79], что в результате квантового эффекта самофокусировки электромагнитных волн в цитоплазме клетки сигналы сосредотачиваются внутри области, диаметр которой не превышает внутреннего диаметра микротрубочки. Это может послужить еще одним подтверждением волноводной теории, однако возможно также, что этот эффект участвует в собственно образовании микротрубочек.

Тут имеется еще один интересный момент, и связан он с природой воды. Сами трубки, похоже, всегда остаются пустыми – факт сам по себе интересный и, возможно, значимый, особенно если учесть, что мы предполагаем найти внутри этих трубок управляемые условия,

²⁰ Убежденным сторонником идеи, согласно которой конденсация Бозе–Эйнштейна способна привести к формированию того «отдельного самоощущения», которое можно считать характерной особенностью сознания, является Иэн Маршалл [258], см. также [397], [398] и [243]. Ранее идею глобальных (существенно квантовых) макроскопических когерентных «голографических» процессов в мозге активно поддерживал Карл Прибрам [317, 318, 319].

²¹ Например, полученное Хамероффом время переключения димеров тубулина, по-видимому, согласуется с частотой, предсказанной Фрелихом ($\sim 5 \times 10^{10}$ Гц).

благоприятные для некоторого рода коллективных квантовых колебаний. «Пустые» в данном случае означает, что трубки по большей части заполнены просто водой (даже без растворенных в ней ионов). Можно было бы отметить, что «вода» (с характерным для жидкости беспорядочным движением молекул) вряд ли является образцом организованной структуры – во всяком случае достаточно организованной для возникновения в ней квантовокогерентных колебаний. Однако вода, содержащаяся в клетках, совсем не похожа на ту воду, которой заполнены океаны – неупорядоченное скопище несвязных, случайным образом движущихся молекул. Некоторая часть воды в клетках – какая именно часть, вопрос спорный – находится в упорядоченном состоянии (такую воду иногда называют «визинальной», см. [183], с. 172). Такое упорядоченное состояние воды наблюдается на расстоянии до 3 нм от внешних поверхностей цитоскелета, иногда дальше. Представляется вполне разумным предположить, что вода остается упорядоченной и внутри микротрубочек, а это весьма благоприятствует возможности возникновения в этих трубках квантовокогерентных колебаний. (См., в частности, [213]).

Каким бы ни оказался окончательный статус этих захватывающих идей, одно мне совершенно ясно: вероятность того, что полностью классическое описание цитоскелета способно адекватно объяснить его поведение, ничтожно мала. С нейронами дело обстоит иначе, там описания в исключительно классическом духе и в самом деле представляются, по большому счету, вполне допустимыми. В самом деле, при ознакомлении с современными исследованиями цитоскелетных процессов бросается в глаза тот факт, что авторы то и дело прибегают к «помощи» квантовомеханических концепций, и я почти не сомневаюсь, что в будущем эта тенденция только усилится.

Впрочем, ясно также и другое: многие пока еще далеко не убеждены в том, что какие бы то ни было квантовые эффекты могут иметь столь непосредственное отношение к функционированию цитоскелета или мозга вообще. Даже если допустить, что работа микротрубочек и сознательная деятельность мозга суть прямой результат неких существенных эффектов квантовой природы, продемонстрировать эти самые эффекты посредством какого-нибудь убедительного эксперимента отнюдь не просто. Возможно, нам повезет, и удастся приспособить к микротрубочкам некоторые из стандартных процедур, которые применяются сегодня для демонстрации присутствия конденсатов Бозе–Эйнштейна в физических системах – например, при высокотемпературной сверхпроводимости. С другой стороны, может и не повезти – и тогда придется искать какие-то принципиально новые подходы. Возможно, нам удастся показать, что возбуждение микротрубочек предполагает ту же нелокальность, какую мы наблюдаем в ЭПР-феноменах (неравенства Белла и т.д., см. [§5.3](#), [§5.4](#), [§5.17](#)), поскольку классического (локального) объяснения подобных эффектов не существует. Можно, например, выполнить измерения в двух точках одной микротрубочки (или же разных микротрубочек) и получить результат, необъяснимый с точки зрения классической независимости событий в этих двух точках.

Каким бы ни было наше отношение к подобным предположениям, очевидно, что исследования микротрубочек еще даже не вышли из пеленок. И я нисколько не сомневаюсь, что они преподнесут нам в недалеком будущем множество потрясающих сюрпризов.

§7.6. Микротрубочки и сознание

Есть ли прямые свидетельства того, что феномен сознания в той или иной мере обусловлен деятельностью цитоскелета и, в частности, его микротрубочек? Как ни странно, есть. Причем получено оно путем обращения к проблеме сознания с неожиданной стороны – с попытки выяснить, что может послужить причиной его отсутствия.

В поисках ответов на вопросы, касающиеся физических основ сознания, важную роль играет исследование причин и способов, весьма избирательно это самое сознание «отключающих». На такое способны, например, препараты для общего наркоза, причем это отключение абсолютно обратимо, главное – не превысить допустимую концентрацию. Замечательно то, что к общему наркозу приводит применение множества самых разных веществ, никак, казалось бы, не связанных друг с другом химически. К таким веществам относятся закись азота (N_2O), эфир ($CH_3CH_2OCH_2CH_3$), хлороформ ($CHCl_3$), галотан ($CF_3CHClBr$), изофлуран ($CHF_2OCHClCF_3$) и даже химически инертный (!) газ ксенон.

Если за общий наркоз «ответственна» не «химия», то что же тогда? Помимо химических взаимодействий, на молекулы действуют и другие силы, гораздо более слабые – например, так называемые ван-дер-ваальсовы силы. Силы Ван-дер-Ваальса – это слабое притяжение между

молекулами, обладающими электрическим дипольным моментом («электрическим» эквивалентом магнитного дипольного момента, определяющего силу обычного магнита). Вспомним, что димеры тубулина могут находиться в двух различных конформациях. Конформации эти, по всей видимости, обусловлены тем, что в центре димера (в его «безводной» области) имеется электрон, который может занимать одно из двух возможных положений. От положения электрона зависит как общая форма диполя, так и его электрический момент. На способность молекул димера «переключаться» из одной конформации в другую влияют ван-дер-ваальсовы силы притяжения соседних молекул. Было высказано предположение [185], что действие анестезирующих веществ основано на ван-дер-ваальсовых взаимодействиях (в «гидрофобных» – водоотталкивающих – областях, см. [123]), которые препятствуют нормальным переключениям тубулина. Таким образом, как только анестезирующий газ просачивается в нервную клетку, его электрические дипольные свойства (которые вовсе не обязательно должны находиться в прямой зависимости от его химических свойств) останавливают работу микротрубочек. В общем и целом получается весьма правдоподобная картина действия общего наркоза. Ввиду очевидного отсутствия детального общепринятого описания действия анестетиков, достаточно логичной представляется точка зрения, согласно которой причиной потери сознания является ван-дер-ваальсово воздействие анестезирующих веществ на конформационную динамику белков мозга. Высока вероятность того, что такими белками являются именно димеры тубулина в микротрубочках нейронов – и что к потере сознания приводит именно обусловленное упомянутым воздействием прекращение функционирования микротрубочек.²²

В поддержку предположения, что общие анестетики воздействуют непосредственно на цитоскелет, отметим, что эти вещества «отключают» не только «высших животных», таких как млекопитающие и птицы. Точно так же (и примерно в тех же концентрациях) действует наркоз на парамеций, амёб и даже на зеленых слизевиков (что наблюдал Клод Бернар еще в 1875 году [27]). Подвергаются ли воздействию реснички парамеции или ее центриоль, в любом случае «поражается» какая-либо часть цитоскелета. Если мы допускаем, что поведением такого одноклеточного животного действительно управляет цитоскелет, то, во избежание противоречий, следует допустить и то, что анестезирующие вещества действуют именно на цитоскелет.

Я, разумеется, не утверждаю, что таких одноклеточных животных следует рассматривать как обладающих сознанием. Сознание – это совершенно иное дело. Вполне возможно, что для возникновения сознания, помимо должным образом функционирующих цитоскелетов, необходима еще куча самых разных вещей. Я сейчас говорю лишь о том, что, согласно вышеприведенным рассуждениям, без работающего цитоскелета ни о каком сознании речь не может идти вообще. При прекращении функционирования системы цитоскелетов сознание мгновенно выключается – столь же мгновенно возвращаясь, как только функции цитоскелета восстанавливаются, при условии, что за прошедшее время не возникло каких-либо повреждений иного рода. Разумеется, нам по-прежнему не дает покоя вопрос, может ли в самом деле обладать некоей зачаточной формой сознания парамеция – или, коли уж на то пошло, отдельно взятая клетка человеческой печени – однако представленных соображений для ответа явно не достаточно. В любом случае, форма сознания должна самым фундаментальным образом определяться тонкой нейронной организацией мозга. Более того, если бы от этой организации ничего не зависело, то в нашей печени обитало бы ничуть не худшее сознание, чем в нашем мозге. Тем не менее, как недвусмысленно показывают представленные аргументы, важна не только нейронная организация мозга. Для наличия сознания жизненно необходима и цитоскелетная «начинка» этих самых нейронов.

Можно предположить, что для возникновения сознания в общем случае важен не сам цитоскелет как таковой, но некая существенная физическая активность,²³ которую хитроумные биологи умудрились разглядеть в микротрубочковых процессах. Что же это за существенная физическая активность? Вся аргументация первой части книги подводила нас, в сущности, к простому выводу: если мы намерены подвести под процесс сознания физический фундамент, то

²² В.Э.: Всё это хорошо, но всё это аргументация примерно такого рода, как если бы человек, пытающийся изучить операционную систему WINDOWS, выдернул бы проводок в компьютере и воскликнул: «Ага! Экран WINDOWS-а погас! Значит, работа операционной системы основывается на этом проводке!».

²³ В.Э.: Вот именно – активность! И эту активность можно изучать саму по себе – в абстрактном виде, концептуально, в категориях информатики.

нам понадобится нечто большее, чем численное моделирование.²⁴ В предыдущих главах второй части мы успели договориться до того, что искать это большее следует на границе между квантовым и классическим уровнями, как раз там, где современная физика предлагает (за неимением лучшего) воспользоваться процедурой R, а я настаиваю на разработке новой физической теории – теории процедуры OR. В настоящей главе мы попытались отыскать в мозге такое место, где квантовые процессы могли бы определять классическое поведение, и, похоже, пришли к выводу, что этот квантово-классический интерфейс осуществляет фундаментальное воздействие на поведение мозга посредством цитоскелетного управления интенсивностью синаптических связей. Попробуем рассмотреть эту картину более основательно.

§7.7. Модель разума

Как уже отмечалось в §7.1, мы вполне можем согласиться с тем, что сами по себе нервные сигналы можно рассматривать как исключительно классические феномены, – особенно если предположить, что такие сигналы настолько возмущают окружение, что квантовая когерентность на этом этапе не может сохраняться сколько-нибудь долго. Допустим далее, что синаптические связи и их интенсивность всегда остаются неизменными; в этом случае воздействие любого возбужденного нейрона на следующий нейрон также поддается классическому описанию – за исключением, впрочем, случайной составляющей, которая появляется на этом этапе. Активность мозга в таких условиях целиком и полностью вычислима, т.е. в принципе возможно построить его численную модель. Это не значит, что такая модель будет в точности имитировать деятельность того конкретного мозга, схема синаптических связей которого совпадает со схемой модели (вследствие наличия упомянутых случайных составляющих), однако модель сможет воспроизвести типичную активность такого мозга и, как следствие, предсказать типичное поведение того или иного индивидуума, этим мозгом управляемого²⁵ (см. §1.7). Более того, утверждение это носит по большей части чисто принципиальный характер. Ничто не указывает на то, что при современном уровне развития технологий такую численную модель действительно можно построить. Я также предполагаю, что случайные составляющие подлинно случайны. Возможность привлечения дуалистического внешнего «разума» с целью воздействия на упомянутые случайности здесь не рассматривается вовсе (см. §1.7).

Таким образом, получаем (по крайней мере, предварительно), что при условии постоянства синаптических связей мозг действительно работает как своего рода компьютер – пусть и со встроенными случайными составляющими. Как мы показали в первой части, в высшей степени невероятно, чтобы такая схема могла когда-либо послужить основой для построения модели человеческого сознательного понимания. С другой стороны, если специфические синаптические связи, определяющие данный конкретный нейронный компьютер, постоянно меняются, а управление этими изменениями возложено на некий невывислимый процесс, то вполне возможно, что такая расширенная модель действительно окажется способна воспроизвести поведение осознающего себя мозга.²⁶

²⁴ В.Э.: «Численное моделирование»... Такие словосочетания, употребляемые Пенроузом, выдают, что у него все-таки нет четкого и ясного понимания о программах и их работе. Ну разве работу операционной системы WINDOWS можно назвать «численным моделированием»? Если человек так думает – ну, значит, не понимает он, что такое операционная система!

²⁵ В.Э.: А разве у нас задача предсказать (!) поведение индивида (будь то типичное или нетипичное)? (Вот как Пенроуз, оказывается, видит постановку задачи – отсюда и его «моделирование»!). Но для ИИ стоят две совсем иные задачи: **1)** понять, как работает естественный интеллект; **2)** выполнить эту же (т.е. аналогичную) работу на искусственном устройстве. И тогда «случайные составляющие» роли не играют. Для естественного интеллекта (какого-нибудь конкретного человека) они – просто составная часть этой личности. А искусственная личность всё равно будет совсем другой, самостоятельной личностью, которая даже и не пытается копировать какого-то человека. Если же мы захотели бы поставить перед собой еще и третью задачу ИИ: **3)** изготовить копию одного конкретного человека, – то эта задача, конечно, сложнее первых двух. Тогда «случайные составляющие» уже начали бы играть роль – и определяли бы некоторое различие между оригиналом и копией. Масштаб этих различий, разумеется, определялся бы технологией: чем выше технология копирования, тем незаметнее различия. Но тут открываются такие просторы для рассуждений, что пускаться в них сейчас не время.

²⁶ В.Э.: Этот «невывислимый процесс» нужен Пенроузу только из-за несчастной теоремы Гёделя... На самом деле «управление изменениями» мозгового компьютера – такой же «вывислимый» процесс, как и все остальные (и именно он и есть то, что в Веданской теории называется самопрограммированием).

Что же это может быть за невычислимый процесс? Здесь следует вспомнить о глобальной природе сознания. Если, скажем, взять 10^{11} независимых цитоскелетов, каждый из которых внесет в общее дело свою невычислимую долю, то пользы от этого нам будет немного. Согласно аргументам первой части, невычислимое поведение и в самом деле неразрывно связано с процессом сознания – по крайней мере, настолько, чтобы можно было определенно утверждать, что некоторые проявления сознания, прежде всего способность понимать, невычислимы в принципе. Однако это не имеет никакого отношения ни к отдельным цитоскелетам, ни к отдельным микротрубочкам внутри цитоскелета. Никто в здравом уме не станет предполагать, что вот этот цитоскелет или вот та микротрубочка в состоянии хоть что-нибудь «понять» в рассуждениях Гёделя! Понимание работает в гораздо более глобальном масштабе, и если в процессе каким-то образом участвуют цитоскелеты, то этот феномен должен носить коллективный характер, задействуя огромное количество цитоскелетов одновременно.

Согласно Фрелиху, биологические макроскопические коллективные квантовые феномены может быть, той же природы, что и конденсат Бозе–Эйнштейна, определенно возможны, даже внутри «горячего» мозга (см. также [258]). Здесь же мы предполагаем, что в относительно «крупных» квантово-когерентных состояниях должны участвовать не только молекулы внутри отдельных микротрубочек – такое состояние должно распространяться от одной микротрубочки к другой. Квантовая когерентность должна не просто «охватить» одну-единственную микротрубочку (пусть и, как мы помним, весьма протяженную), но перейти дальше, в результате чего большое количество различных микротрубочек в цитоскелете нейрона – если не все – должны образовать единое квантовокогерентное состояние. Мало того, квантовая когерентность должна преодолеть «синаптический барьер» между «своим» нейроном и следующим. Не много проку в глобальности, которая разбросана по изолированным друг от друга клеткам! Самостоятельная единица сознания может возникнуть, в нашем описании, лишь тогда, когда квантовая когерентность в том или ином виде получает возможность распространяться на некую существенную (по меньшей мере) часть всего мозга.

И вот такое вот поразительное – я бы даже сказал, почти невероятное – устройство Природе пришлось создавать с помощью одних лишь биологических средств. Я, впрочем, убежден (и не без оснований), что у нее таки всё получилось, и главным свидетельством тому может служить факт наличия у нас разума. Нам еще многое предстоит понять в биологических системах и в том, как они творят свои чудеса – многое в биологии далеко превосходит возможности современных физических технологий. (Взять, к примеру, крохотного, в миллиметр величиной, паучка, искусно плетущего замысловатую паутину.) Вспомним и об экспериментах Аспекта (см. §5.4), в которых наблюдались (с помощью вполне физических устройств) кое-какие квантовокогерентные эффекты (ЭПР-сцепленность пар фотонов), действующие на расстоянии нескольких метров. Несмотря на технические трудности, связанные с проведением экспериментов, позволяющих обнаружить такие «дальнодействующие» квантовые эффекты, не следует исключать возможность, что Природа смогла отыскать биологические способы как для этого, так и для чего-нибудь еще. Присущую жизни «изобретательность» нельзя недооценивать.

Как бы то ни было, представляемые мною аргументы предполагают не только макроскопическую квантовую когерентность. Они предполагают, что биологическая система, называемая человеческим мозгом, каким-то образом ухитрилась воспользоваться в своих интересах физическими феноменами, человеческой же физике неизвестными! Эти феномены когда-нибудь опишет несуществующая пока теория OR, которая свяжет вместе классический и квантовый уровни и, я убежден, заменит временную R-процедуру иной, чрезвычайно тонкой и невычислимой (но всё же, несомненно, математической) физической схемой.

То, что физики-люди, по большей части, пока еще ничего не знают о вышеупомянутой несуществующей теории, разумеется, не может заставить Природу отказаться от ее применения в своих биологических построениях. Она пользовалась принципами ньютоновской динамики задолго до Ньютона, электромагнитными феноменами задолго до Максвелла и квантовой механикой задолго до Планка, Эйнштейна, Бора, Гейзенберга, Шрёдингера и Дирака – в течение нескольких миллиардов лет! Лишь по причине, свойственной нашему веку нелепой самонадеян-

Всякое программирование компьютера вообще всегда есть «внесение изменений» в него – и не важно, что именно это за изменения, какова их физическая природа. (Важно, что эти изменения становятся программой для его дальнейшей работы). В случае САМОпрограммирования эти изменения осуществляет сам компьютер (одна его часть вносит изменения в другую его часть – или, что то же самое, одна программа создает другую программу).

ности, столь многие сегодня пребывают в уверенности, что нам известны все фундаментальные принципы, лежащие в основе каких угодно тонких биологических процессов.²⁷ Когда какой-нибудь живой организм по счастливой случайности натывается на такой тонкий процесс, он начинает его активно применять и, возможно, получает в результате некие преимущества перед своими менее удачливыми соседями. Тогда Природа благословляет этот организм вместе со всеми его потомками и позволяет новому тонкому физическому процессу сохраниться в последующих поколениях – посредством, например, такого мощного инструмента, как естественный отбор.

Когда появились первые эукариотические клетки-животные, они, должно быть, обнаружили, что наличие у них примитивных микротрубочек дает им огромные преимущества. В результате возникло (посредством тех самых процессов, о которых мы здесь говорим) некое организующее воздействие, которое, возможно, привело к развитию зачатков способности к своего рода целенаправленному поведению, что помогло им выжить и вытеснить лишенных микротрубочек конкурентов. Называть такое воздействие «разумом», конечно же, еще рано; и всё же оно возникло, как я полагаю, благодаря некоему тонкому пограничному взаимодействию между квантовыми и классическими процессами. Тонкостью же своей это взаимодействие обязано хитроумному физическому процессу OR – по-прежнему в подробностях нам неизвестному, – который в условиях не столь тонкой организации принимает вид того грубого квантово-механического R-процесса, которым мы пока за неимением лучшего пользуемся. Далекие потомки тех клеток-животных – нынешние парамеции и амёбы, а также муравьи, лягушки, цветы, деревья и люди – сохранили преимущества, которыми этот хитроумный процесс одарил древних эукариотов, и добавили новые, отвечающие новым многочисленным и самым разнообразным целям. Только будучи наложен на высокоразвитую нервную систему, этот процесс оказался, наконец, в состоянии реализовать свой гигантский потенциал – дав начало тому, что мы, теперь уже с полным правом, называем «разумом».

Итак, мы допускаем, что в глобальной квантовой когерентности может участвовать вся совокупность микротрубочек в цитоскелетах большого семейства нейронов мозга – или, по крайней мере, что между состояниями различных микротрубочек в мозге наличествует достаточная квантовая сцепленность,²⁸ – т.е. полностью классическое описание коллективного поведения этих микротрубочек невозможно. Можно представить, что в микротрубочках возникают сложные «квантовые колебания» там, где изоляции, обеспечиваемой самими трубками, достаточно для того, чтобы квантовая когерентность сохранялась хотя бы частично. Велик соблазн предположить, что «клеточноавтоматные» вычисления, которые, по мнению Хамероффа и его коллег, должны выполняться на поверхности трубок, могут оказаться связанными с предполагаемыми квантовыми колебаниями внутри трубок (например, теми, что описаны в [79] или в [213]).

Заметим в этой связи, что частота, предсказанная Фрëлихом для коллективных квантовых колебаний (и подтвержденная наблюдениями Грундлера и Кайльмана [177]) – порядка 5×10^{10} гц (т.е. 5×10^{10} колебаний в секунду), – практически совпадает с частотой, с которой, по Хамероффу, димеры тубулина в микротрубочковых клеточных автоматах «переключаются» из одного состояния в другое. Таким образом, если внутри микротрубочек и в самом деле работает фрëлихов механизм, то следует признать, что какая-то связь между этими двумя типами активности действительно имеется.²⁹

²⁷ В.Э.: Если я знаю, как осуществить программными средствами любой феномен разума и «сознания», то зачем мне искать какие-то «новые фундаментальные принципы», использованные в биологических системах? А вопрос о том, известны ли сейчас науке все такие принципы или нет, – это вопрос побоку, он меня не касается.

²⁸ В.Э.: Ну хорошо – предположим, что так. А дальше что? КАК из всего этого возникает, например, понятие числа? Или любое другое конкретное проявление интеллекта? – А дальше ничего. Пустота. Никаких конкретных объяснений конкретных явлений из всего этого не следует. А тем временем Веданская теория такие объяснения даёт – и без всякой «квантовой когерентности».

²⁹ Гораздо менее понятно, впрочем, существует ли сколько-нибудь прямая связь между упомянутыми сравнительно высокочастотными процессами и более привычной «волновой» активностью мозга (например, альфа-ритмом с частотой 8–12 гц). Предполагается лишь, что такие низкие частоты могут возникать как «частоты биений», однако никакой связи пока не установлено. Особо примечательными в этой связи представляются не так давно обнаруженные колебания с частотой 35–75 гц, ассоциирующиеся,

Впрочем, если бы такая связь была слишком сильной, то квантовый характер внутренних колебаний неизбежно означал бы, что и вычисления на поверхности самих трубок необходимо рассматривать квантовомеханически. Иначе говоря, на поверхности микротрубочек происходили бы самые настоящие квантовые вычисления (см. §7.3)! Следует ли воспринимать такую возможность всерьез?

Трудность заключается в том, что для таких вычислений, по-видимому, необходимо, чтобы изменения конформаций димеров не возмущали сколько-нибудь заметным образом молекулы окружения. Здесь уместно вспомнить о том, что окружающая микротрубочку область заполнена водой в упорядоченном состоянии; прочие же вещества в эту область не допускаются (см. [183], с. 172), что в совокупности может обеспечить некоторое квантовое экранирование. С другой стороны, микротрубочки соединены друг с другом «мостиками» MAP (см. §7.4) – причем по некоторым из них производится транспорт разных «посторонних» молекул, – и передача сигналов вдоль трубок (см. [183], с. 122) не может на эти мостики не воздействовать. Из этого последнего факта вполне недвусмысленно следует, что «вычисления», которыми занята трубка, могут и в самом деле возмутить окружение до такой степени, что их поневоле придется рассматривать классически. Интенсивность возмущения невелика ввиду малости перемещаемых масс (по OR-критерию, предложенному в §6.12), однако для того, чтобы вся система продолжала оставаться на квантовом уровне, необходимо, чтобы эти возмущения не проникали внутрь клетки и не распространялись далее, за ее пределы. На мой взгляд, неопределенности здесь (как в отношении реальной физической ситуации, так и в отношении применимости к ней критерия OR из §6.12) остается вполне достаточно для того, чтобы помешать нам решить, уместен на данном этапе чисто классический подход или нет.

Как бы то ни было, предположим, в рамках настоящего рассуждения, что микротрубочковые вычисления следует рассматривать как существенно классические – в том смысле, что мы не ожидаем, что квантовые суперпозиции различных вычислений играют здесь сколько-нибудь значимую роль. С другой стороны, допустим, что внутри трубок имеют место подлинно квантовые колебания некоего рода, причем между внутренними квантовыми и внешними классическими свойствами каждой трубки существует некая тонкая связь. Согласно такой картине, именно в этом тонком взаимодействии существенно проявляются неизвестные пока правила искомой новой теории OR. Внутренние квантовые «колебания» должны определенным образом воздействовать на внешние вычисления на трубках, однако в этом нет ничего нелогичного – учитывая те механизмы, которые, как мы предполагаем, ответственны за клеточноавтоматное поведение микротрубочек (слабые взаимодействия ван-дер-ваальсова типа между соседними димерами тубулина).

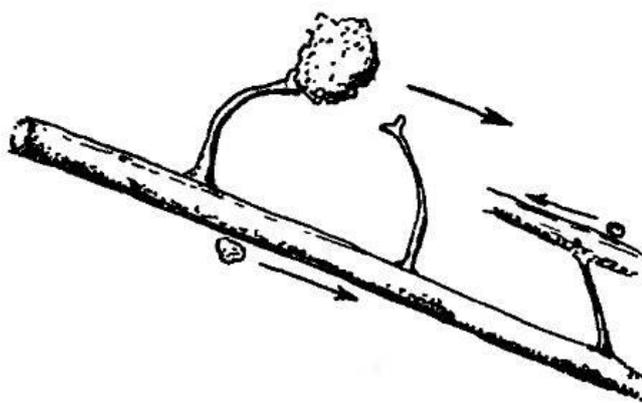


Рис. 7.13. Мостики MAP, помимо прочего, транспортируют крупные молекулы, тогда как меньшие молекулы перемещаются непосредственно вдоль микротрубочек.

В результате мы получаем картину некоего глобального квантового состояния, которое когерентно объединяет процессы внутри трубок и в котором участвует вся совокупность микротрубочек в той или иной обширной области мозга. Это состояние (которое вовсе не обязательно является просто «квантовым состоянием» в том традиционном смысле, который вкладывает в это понятие стандартный квантовый формализм) также некоторым образом воздействует на вычисления, выполняемые на микротрубочках, – для точного описания такого воздействия понадобится гипотетическая невычислимая ОР-физика, которой у нас пока нет, но которая, я убежден, нам крайне необходима. «Вычислительная» активность конформационных изменений молекул тубулина управляет транспортом молекул вдоль наружной поверхности микротрубочек (см. рис. 7.13) и в конечном итоге воздействует на интенсивность синапса в его пре- и постсинаптических окончаниях. Таким образом, через посредство внешних вычислений, когерентная квантовая организация внутри микротрубочек способна влиять на изменения в синаптических связях нейронного компьютера в текущий момент.

Такая картина открывает простор для самых различных умозрительных построений. Например, можно отвести в ней некую роль нелокальности ЭПР-эффектов квантовой сцепленности. Определенную роль может играть и квантовая контрфактуальность. Представим, что нейронный компьютер готов выполнить некое вычисление, которое он в действительности не выполняет, но (как в случае задачи об испытании бомб) сам факт того, что он может это вычисление выполнить, вызывает эффект, отличный от того, который имел бы место, не будь у компьютера такой возможности. Таким образом, классическая «схема соединений» нейронного компьютера в любой момент времени может воздействовать на внутреннее цитоскелетное состояние, даже если возбуждение нейронов, активирующее данную конкретную «схему», в действительности не происходит. Можно еще поразмышлять над возможными аналогами такого рода феноменов в каких-либо более привычных умственных занятиях, каким мы то и дело предаемся, но мне почему-то кажется, что углубляться в обсуждение этих занятий здесь не стоит.

Согласно предлагаемой мною предварительной точке зрения, сознание есть проявление такого квантосцепленного внутреннего состояния цитоскелета вкупе с участием этого состояния во взаимодействии (OR) между процессами квантового и классического уровней. Компьютерообразная система нейронов, классическим образом соединенных друг с другом, непрерывно подвергается воздействию упомянутых цитоскелетных процессов, выступающих в роли проявлений «свободы воли» (что бы мы под этими словами ни понимали). Нейроны в этой системе выполняют функции, скорее, увеличительных стекол, посредством которых микроскопические цитоскелетные процессы «поднимаются» на уровень, на котором возможно воздействие на другие органы тела – например, на мышцы. Соответственно, нейронный уровень описания, к которому сводится модное нынче представление о мозге и разуме, является не более чем тенью цитоскелетных процессов более глубокого уровня – именно там, в глубине, находится физический фундамент разума,³⁰ который мы столь упорно разыскиваем!

Эта картина, надо признать, не лишена некоторой умозрительности, однако она ни в чем не противоречит современным научным представлениям. В предыдущей главе мы убедились, что есть весьма веские причины (основанные на соображениях, не выходящих за рамки сегодняшней физики) полагать, что эта самая физика нуждается в серьезном пересмотре³¹ – для того, чтобы объяснять и описывать новые эффекты на том же уровне, на котором, по-видимому, происходят процессы в микротрубочках и, возможно, на границе цитоскелет/нейрон. Согласно представленным в первой части аргументам, для отыскания физического «обиталища» сознания необходимо «расчистить» в физике место для невычислимых физических процессов, единственная же приемлемая возможность такой расчистки заключается, как я показываю уже во второй части, в последовательном замещении редукции квантового состояния, обозначенной здесь буквой R, новой, объективной редукцией OR. Теперь мы должны ответить на вопрос, есть ли какие-нибудь чисто физические основания ожидать, что процедура OR действительно окажется в принципе

³⁰ В.Э.: Да, может быть, он находится там, и, может быть, в этом какую-то роль играют квантовые эффекты. Но только всё это всё равно не дает нам никакого конкретного представления о том, как работает интеллект, и не разъясняет конкретные вопросы (часть из которых я упоминал в предыдущих сносках). Такие конкретные представления и конкретные разъяснения дает Веданская теория (которая абстрагируется от физической природы лежащих в основе работы компьютера явлений, переходя к концептуальному уровню в терминах программирования и информатики).

³¹ В.Э.: Да, физика очевидно нуждается в пересмотре – тут мы можем поддержать Пенроуза –, но не надо этот пересмотр связывать с вопросами объяснения интеллекта.

невыхислимой. Как вскоре выяснится, некоторые основания такого рода, учитывая сделанные в §6.12 предположения, действительно имеются.

§7.8. Невыхислимость в квантовой гравитации (1)

Ключевым требованием предшествующих рассуждений было то, что какой бы новый физический процесс ни пришел на смену вероятностной R-процедуре, применяемой в стандартной квантовой теории, его неотъемлемым свойством должна быть того или иного рода невыхислимость. В §6.10 я показал, что этот новый физический процесс, OR, должен сочетать в себе принципы квантовой теории с принципами общей теории относительности Эйнштейна – т.е. представлять собой квантово-гравитационный феномен. Есть ли какие-нибудь свидетельства в пользу того, что невыхислимость может оказаться существенным свойством той теории (какой бы она ни была), которая в конечном счете корректно объединит (надлежащим образом модифицировав) квантовую теорию и общую теорию относительности?

Исследуя квантовую гравитацию, Роберт Герох и Джеймс Хартл столкнулись однажды с численно неразрешимой проблемой – проблемой топологической эквивалентности четырехмерных многообразий [144]. В основном их занимал вопрос о том, как определить, что два данных четырехмерных пространства «одинаковы» с топологической точки зрения (т.е. одно из этих пространств посредством непрерывной деформации можно довести до полного совпадения с другим пространством, причем деформация эта не допускает каких бы то ни было разрывов или слияний пространств). На рис. 7.14 топологическая эквивалентность проиллюстрирована на примере двухмерного случая, где мы видим, что поверхность чашки топологически одинакова с поверхностью кольца, но отлична от поверхности шара. В двухмерном случае проблема топологической эквивалентности разрешима вычислительным путем, в случае же четырёх измерений, как показал в 1958 году А.А. Марков [256], алгоритма для решения такой задачи не существует.³² Более того, доказательство Маркова эффективно демонстрирует, что если бы такой алгоритм существовал, то его можно было бы преобразовать в алгоритм, позволяющий решить проблему остановки, т.е. найти способ определять, завершится в той или иной ситуации работа машины Тьюринга или нет. Поскольку, как мы выяснили в §2.5, такого алгоритма не существует, значит, не может быть и алгоритма для решения проблемы эквивалентности четырехмерных многообразий.

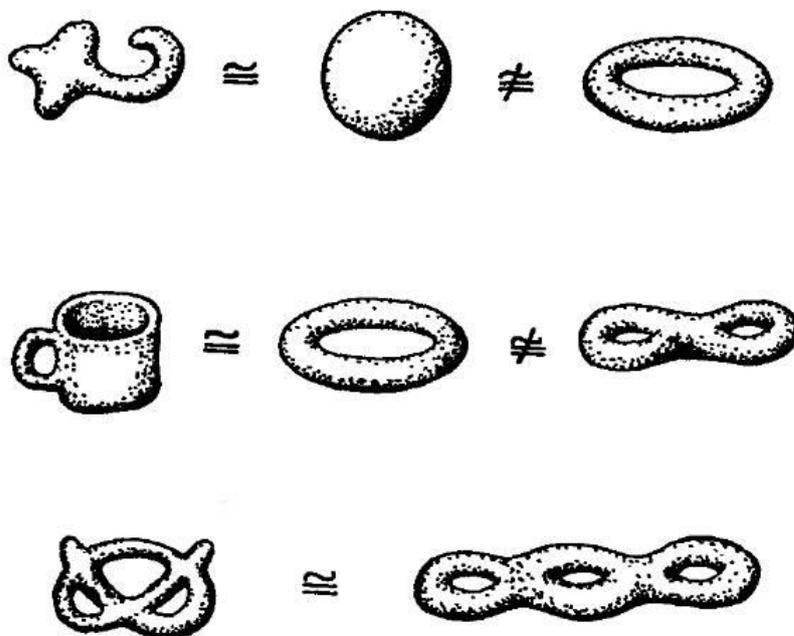


Рис. 7.14. Двухмерные замкнутые поверхности, которые можно классифицировать численно (грубо говоря, путем подсчета количества «ручек»). Четырёхмерные же замкнутые «поверхности» численно классифицировать невозможно.

³² В.Э.: Не на диагональном методе ли он основывал свое доказательство?

Существует множество других классов математических задач, которые неразрешимы численно. Две из них – десятую проблему Гильберта и задачу о замощении – мы обсуждали в §1.9. Еще один пример – задачу со словами (для полугрупп) – можно найти в НРК, с. 130–132.

Следует пояснить, что термин «численно неразрешимый» не означает, что в данном классе имеются отдельные задачи, которые невозможно решить в принципе. Он означает лишь то, что не существует систематического (алгоритмического) способа решить все задачи этого класса. В том или ином отдельном случае порой оказывается возможным получить решение благодаря человеческой находчивости и проницательности, подкрепленной, может быть, некоторыми вычислениями. Может, напротив, случиться и так, что решение каких-то задач из класса окажется человеку не по силам (даже если он возьмет в помощники машину). Похоже, никто об этом феномене ничего определенного не знает, поэтому каждый волен составлять обо всем этом свое собственное мнение. Впрочем, как вполне недвусмысленно показывает «гёделевско-тьюринговское» рассуждение из §2.5 (вкупе с аргументацией главы 3), задачи таких классов, доступные человеческому пониманию и проницательности (подкрепленным вычислениями, если хотите), всё равно образуют класс, который численно неразрешим. (Для проблемы остановки, например, в §2.5 показано, что класс вычислений, незавершаемость которых в состоянии установить человек, невозможно охватить каким-либо познаваемо обоснованным алгоритмом А – а от этого уже отталкиваются аргументы главы 3.)

Что касается Героха, Хартла и квантовой гравитации, то проблема эквивалентности четырехмерных многообразий проникла в их анализ постольку, поскольку, согласно стандартным правилам квантовой теории, квантово-гравитационное состояние предполагает суперпозиции (с комплексными весовыми коэффициентами) всех возможных геометрий пространственно-временных, в данном случае, геометрий, т.е. четырехмерных объектов. Для того, чтобы понять, как определять такие суперпозиции каким-либо уникальным образом (во избежание путаницы при подсчете), необходимо знать, какие пространства-времена считать различными, а какие – одинаковыми. Проблема топологической эквивалентности представляет собой, таким образом, лишь часть более обширной задачи.

Читатель спросит: если вдруг подход Героха–Хартла к квантовой гравитации окажется физически корректным, будет ли это означать, что эволюция физических систем включает в себя нечто существенно невычислимое? Вряд ли на этот вопрос можно дать ясный и однозначный ответ. Мне не ясно даже, так ли непременно из численной неразрешимости проблемы топологической эквивалентности следует неразрешимость более полной проблемы геометрической эквивалентности. Мне не ясно также, какое отношение этот подход может иметь (если вообще может) к искомой объективной редукции, которая предполагает изменения в самой структуре собственно квантовой теории, связанные с необходимостью учета гравитационных эффектов. Тем не менее, работа Героха–Хартла и в самом деле вполне определенно указывает на то, что невычислимость может-таки сыграть свою роль в окончательной, физически корректной теории квантовой гравитации.

§7.9. Машины с оракулом и физические законы

Можно, впрочем, задать и иной вопрос. Предположим, что новая теория квантовой гравитации действительно окажется невычислимой теорией – в том, в частности, смысле, что она позволит нам сконструировать физическое устройство, способное решить проблему остановки. Будет ли этого достаточно для разрешения всех проблем, порожденных нашими размышлениями о доказательстве Гёделя–Тьюринга в первой части книги? Как ни удивительно, ответ – нет!

Попробуем разобраться, почему способность решить проблему остановки ничем нам не поможет. В 1939 году Тьюринг предложил одну важную концепцию, имеющую к этому вопросу самое непосредственное отношение, – концепцию оракула. Идея такова: оракул есть нечто (предположительно, воображаемый объект, существующий лишь в голове самого Тьюринга и вовсе не обязательно реализуемый физически), что действительно может решить проблему остановки. Так, если дать оракулу пару натуральных чисел q и n , то он через некоторое конечное время выдаст нам ответ ДА или НЕТ, в зависимости от того, завершится в конце концов вычисление $C_q(n)$ или нет (см. §2.5). В §2.5 мы доказываем вывод Тьюринга о том, что такой оракул, действующий исключительно вычислительными методами, создать невозможно, однако там ничего не говорится о том, что оракул невозможно построить физически. Чтобы прийти к такому выводу, мы должны твердо знать, что физические законы являются по своей природе

вычислительными – а мы этого не знаем, о чем, собственно, и идет, главным образом, речь во второй части. Следует также отметить, что физическая возможность создания оракула не является, насколько я могу судить, следствием из той точки зрения, которую я здесь отстаиваю. Как уже упоминалось, никто не требует, чтобы все проблемы остановки были доступны человеческому пониманию и проницательности, поэтому нет никаких оснований и полагать, что некое физически реализуемое устройство непременно справится со всеми этими проблемами своей физической реализуемостью.

В дальнейшем обсуждении Тьюринг рассмотрел модификацию понятия вычислимости, когда оракула можно вызвать на любом желаемом этапе вычисления. Таким образом, машина с оракулом (выполняющим оракул-алгоритм) представляет собой самую обыкновенную машину Тьюринга, только к ее стандартным вычислительным операциям добавлена еще одна: «Вызвать оракул и спросить у него, завершается ли вычисление $C_q(n)$; по получении ответа продолжать вычисление, учитывая полученный ответ». Оракул можно вызывать снова и снова, если появляется такая необходимость. Отметим, что машина с оракулом является точно таким же детерминированным объектом, как и обычная машина Тьюринга (это для иллюстрации того факта, что вычислимость и детерминизм суть совершенно разные вещи). В принципе, вселенная, которая функционирует детерминированно как машина с оракулом, точно так же возможна, как и вселенная, которая функционирует детерминированно как машина Тьюринга.³³ («Игрушечные вселенные», описанные в §1.9 и в НРК, на с. 170, представляют собой, по сути, вселенные-машины-с-оракулом.)

Может ли оказаться так, что и наша собственная Вселенная функционирует как машина с оракулом? Любопытно, что с помощью приведенных в первой части книги аргументов оракул-машинная модель математического понимания «развенчивается» столь же успешно, как и аналогичная модель на основе машины Тьюринга, причем изменений почти не требуется. Нужно всего лишь взять доказательство из §2.5 и условиться, что запись « $C_q(n)$ » обозначает теперь «выполнение q -й машиной с оракулом действия над натуральным числом n ». Впрочем, лучше ввести другое обозначение, скажем, $C'_q(n)$. Как и в случае обычных машин Тьюринга, мы можем составить (вычислимым образом) пронумерованный список машин с оракулом. Что касается их спецификаций, единственной дополнительной особенностью является то, что мы должны, помимо прочего, учитывать, на каких этапах вычисления вызывается оракул; никакой новой проблемы такой учет не составит. Далее мы заменяем алгоритм $A(q, n)$ из §2.5 оракул-алгоритмом $A'(q, n)$, который, в соответствии с исходным допущением, олицетворяет собой всю совокупность доступных человеческому пониманию и человеческой проницательности средств, необходимых для однозначного установления факта незавершаемости операции $C'_q(n)$ оракула. В точности повторяя доказательство, приходим к следующему выводу:

\mathcal{G}'' Для установления математической истины математики не применяют заведомо обоснованные оракул-алгоритмы.

Отсюда следует неутешительное заключение: физический процесс, функционирующий как машина с оракулом, наших проблем также не решит.

Вообще говоря, весь процесс можно повторить, применив его к «машинам с оракулом второго порядка», которым позволяет вызывать при необходимости оракул второго порядка – который способен установить, завершится работа обычной машины с оракулом или нет. Как и в предыдущем случае, приходим к выводу:

\mathcal{G}''' Для установления математической истины математики не применяют заведомо обоснованные оракул-алгоритмы второго порядка.

Очевидно, что этот процесс можно повторять снова и снова – подобно многократной гёделизации, описанной нами в связи с возражением Q19. Для каждого рекурсивного (вычислимого) ординала α вводится концепция машины с оракулом α -го порядка, и мы снова получаем всё тот же вывод:

³³ В.Э.: Ну, это утверждение неверно. Оно является следствием недостаточно четкой постановки вопроса и недостаточного разграничения физического и «платонического» миров (которое вообще характерно для Пенроуза – см. {PENRO3}). Причиной (чего-то) в физическом мире может быть только явление физического же – а не платонического! – мира. Всякое «вычисление» в физическом мире есть определенный физический процесс. И вот этот процесс, чтобы стать причиной чего-то, должен определить, могут ли (принципиально) заканчиваться другие (даже не физические, а абстрактные, воображаемые!) процессы из бесконечного их множества!

\mathcal{G}^α Для установления математической истины математики не применяют заведомо обоснованные оракул-алгоритмы α -го порядка, где α – любой вычислимый ординал.

Окончательное следствие из всего этого несколько даже пугает. Получается, что нам предстоит отыскать невычислимую физическую теорию, способную заглянуть дальше, чем описание машин с оракулом любого вычислимого уровня (или, возможно, еще дальше).

Нисколько не сомневаюсь, что найдутся читатели, которые скажут, что вот уж тут-то мои рассуждения окончательно растеряли последние крохи правдоподобия,³⁴ которые в них еще оставались! И, разумеется, такие чувства вполне понятны. Непонятно лишь нежелание³⁵ хотя бы ознакомиться со всеми доказательствами, которые я уже в подробностях приводил ранее. Нужно просто вновь пройти по всем доказательствам в главах 2 и 3, заменяя в них машины Тьюринга на машины с оракулом α -го порядка. Не думаю, что такая замена как-то существенно повлияет на суть этих доказательств, но меня, если честно, приводит в содрогание перспектива только ради нее повторять их здесь заново.³⁶ Следует, впрочем, указать на еще одно обстоятельство: нет никакой необходимости в том, чтобы человеческое понимание приобрело ту же мощь, что и какая угодно машина с оракулом. Как было отмечено выше, вывод \mathcal{G} вовсе не обязательно предполагает, что человеческого понимания, в принципе, достаточно для того, чтобы решить любой конкретный случай проблемы остановки. Таким образом, всё это не означает, что искомые физические законы в принципе должны непременно оказаться более общими, нежели те, которыми описываются машины с оракулом любого вычислимого уровня (или хотя бы первого). Нам нужно лишь отыскать нечто, не являющееся эквивалентом любой конкретной машины с оракулом (включая сюда и машины с оракулом нулевого уровня, т.е. собственно машины Тьюринга). Возможно, эти физические законы опишут нечто просто-напросто иное.

§7.10. Невычислимость в квантовой гравитации (2)

Вернемся к квантовой гравитации. Необходимо подчеркнуть, что в настоящее время общепринятой теории квантовой гравитации не существует – нет даже сколько-нибудь приемлемых кандидатов. Есть зато множество самых разных и порой совершенно восхитительных гипотез.³⁷ Та, которую я хочу сейчас представить, требует, как и подход Героха–Хартла, учета квантовых суперпозиций различных пространств-времен. (Многие гипотезы говорят лишь о суперпозициях трехмерных пространственных геометрий, что несколько отличается.) Предположение (за авторством Дэвида Дойча)³⁸ заключается в том, что в суперпозициях должны участвовать не только «правильные» пространственно-временные геометрии, в которых время ведет себя достаточно благоразумно, но и «неправильные» пространства-времена, в которых имеются замкнутые времениподобные линии. Такое пространство-время представлено на рис. 7.15. Времениподобная линия описывает возможную историю частицы (классической), а «времениподобной» она называется потому, что во всех точках локального светового конуса линия всегда направлена внутрь конуса, т.е. локальная абсолютная скорость не превышает в соответствии с требованием теории относительности (см. §4.4). Смысл замкнутости времениподобной линии в том, что мы можем представить себе «наблюдателя»³⁹, для которого такая линия является мировой линией, т.е. линией, описывающей в данном пространстве-времени историю его собственного тела. Такой наблюдатель по прошествии некоторого конечного

³⁴ В.Э.: Уж по крайней мере один такой читатель точно нашелся ☺.

³⁵ В.Э.: Какое такое нежелание?! Ознакомились очень подробно.

³⁶ В.Э.: «Квалифицированный специалист – это человек, который удачно избегает маленьких ошибок, неуклонно двигаясь к какому-нибудь глобальному заблуждению». Следствие Вейнберга. (Из «Законов Мерфи»). Пенроуз уж точно полностью подтверждает этот закон.

³⁷ См., напр., [211, 212] и [348, 349].

³⁸ Эта идея описана в одном из черновых вариантов статьи Дэвида Дойча «Квантовая механика вблизи замкнутых времениподобных линий» [85], однако в опубликованную статью она не попала. Дэвид уверил меня в том, что он убрал этот кусок из окончательного варианта статьи не потому, что счел идею «ошибочной», а потому лишь, что она не имела непосредственного отношения к теме статьи. Как бы то ни было, в рамках моей собственной «темы» ценность идеи заключается не в том, чтобы она была «корректной» по меркам той или иной системы взглядов на квантовую гравитацию – поскольку такой системы взглядов (непротиворечивой) в настоящий момент всё равно нет, – но в том, чтобы она содержала в себе потенциал для дальнейших исследований, а этого в идее Дойча с избытком!

³⁹ См. обращение к читателю в начале книги, с. 18.

времени (согласно его восприятию) окажется в своем прошлом (перемещение во времени!). У него появляется возможность сделать что-нибудь такое (при условии, что он обладает какой-никакой «свободой воли»), чего он раньше никогда не делал, что неизбежно ведет к противоречию. (Обычно в таких умопостроениях наблюдатель убивает собственного дедушку «прежде», чем на свет появится его же отец – или совершает что-нибудь еще столь же волнительное.)

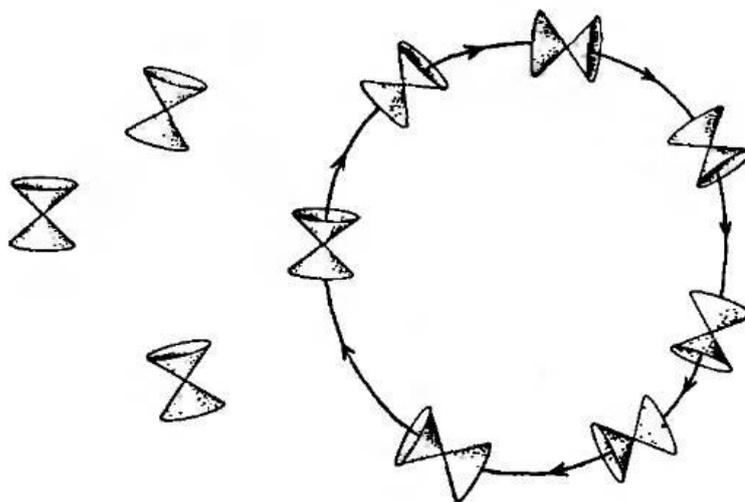


Рис. 7.15. Достаточно сильный наклон световых конусов в пространстве-времени может привести к возникновению замкнутых времениподобных линий.

Рассуждения такого рода сами по себе являются достаточной причиной для того, чтобы не воспринимать пространства-времени с замкнутыми времениподобными линиями всерьез – в качестве возможных моделей реально существующей классической Вселенной. (Любопытно, что первым модель пространства-времени с замкнутыми времениподобными линиями предложил в 1949 году не кто иной, как Курт Гёдель. Гёдель не считал парадоксальные аспекты таких пространств-времен достаточным основанием для того, чтобы исключить их из списка возможных космологических моделей. По разным причинам мы сегодня, как правило, придерживаемся на этот счет более строгих взглядов, однако не всегда – см. [364]. Очень интересно было бы увидеть реакцию Гёделя на ту роль, какую мы отведем таким пространствам-временам чуть ниже!) Хотя представляется вполне разумным исключить пространственно-временные геометрии с замкнутыми времениподобными линиями из числа возможных описаний классической Вселенной, можно привести некоторые доводы в пользу того, чтобы оставить их в качестве потенциальных кандидатов на участие в квантовых суперпозициях. На это, собственно, и указывал Дойч. Несмотря на то, что вклады таких геометрий в общий вектор состояния могут оказаться крайне малыми, их потенциальное присутствие производит (согласно Дойчу) поразительный эффект. Если мы обратим внимание на особенности выполнения квантовых вычислений в такой ситуации, то придем, по всей видимости, к выводу, что здесь можно выполнять и невыводимые операции! Это обусловлено тем, что в пространственно-временных геометриях с замкнутыми времениподобными линиями на вход машины Тьюринга вполне можно подать полученный ею же результат, продлив таким образом ее действие до бесконечности, буде возникнет такая необходимость, – т.е. здесь ответ на вопрос «Завершается ли данное вычисление?» действительно влияет на окончательный результат квантового вычисления. Дойч пришел к выводу, что в его схеме квантовой гравитации возможны квантовые машины с оракулом. Насколько я смог разобраться, его аргументы с тем же успехом применимы и к машинам с оракулом более высокого порядка.

Разумеется, многие читатели сочтут, что всё это следует воспринимать с надлежащей долей здорового скептицизма. В самом деле, нет никаких реальных оснований полагать, что из такой схемы может вырасти непротиворечивая (или хотя бы правдоподобная) теория квантовой гравитации. Тем не менее, в рамках собственной системы представлений идеи логичны, а с точки зрения порождения новых идей – еще и чрезвычайно интересны; я нисколько не удивлюсь, если в

ту правильную схему квантовой гравитации, которую мы когда-нибудь всё равно найдем, попадут-таки какие-нибудь существенные фрагменты гипотезы Дойча. В моем представлении, как было особо подчеркнуто в §6.10 и §6.12, для корректного объединения квантовой теории и общей теории относительности необходимо изменить сами законы квантовой теории (в соответствии с процедурой OR). Однако тот факт, что в подходе Дойча невычислимость – даже такая, какой, по-видимому, требует вывод G^a , – является свойством квантовой гравитации, я рассматриваю как ценное подтверждение возможности отыскания в конечном счете места для невычислительной активности.

В завершение отметим, что те невычислимые эффекты, на которые указывает Дойч, мы получили исключительно благодаря потенциальному наклону световых конусов, предусмотряемому общей теорией относительности Эйнштейна. Если световые конусы способны наклоняться вообще – пусть и на те крохотные углы, что предписывает теория Эйнштейна в обычных обстоятельствах, – то значит, они потенциально могут наклоняться и дальше, вплоть до возникновения замкнутых времениподобных линий. Эта потенциальная возможность играет здесь вполне контрфактуальную роль (в полном согласии с квантовой теорией) – возможность совершения действия производит эффект не менее реальный, нежели само действие!

§7.11. Время и сознательное восприятие

Вернемся к проблеме сознания. В конце концов, именно та роль, которую играет в восприятии математической истины сознание, и увлекла нас по странной дороге в не менее странное место, где мы сейчас стоим, озираясь по сторонам. Очевидно, впрочем, что сознание отнюдь не ограничивается одним лишь восприятием математических истин. По той дороге мы пошли только потому, что нам показалось, что она нас куда-то приведет. И я почему-то подозреваю, что многим читателям не особо нравится то «где-то», куда мы, наконец, так или иначе прибыли. Однако если теперь, с высоты новых знаний, оглянуться назад, то мы, возможно, обнаружим, что некоторые из наших старых проблем представляются нам теперь в новом свете.

Среди наиболее поразительных и непосредственных свойств сознательного восприятия особо выделяется восприятие течения времени. Время кажется нам настолько привычным, что мы бываем немало потрясены, обнаружив, что все наши замечательно подробные теории поведения физического мира не в состоянии (пока что) практически ничего о нем рассказать. Хуже того, то, что наиболее здравые из них так рассказывают, находится в почти полном противоречии с тем, что говорит нам о времени наше восприятие.

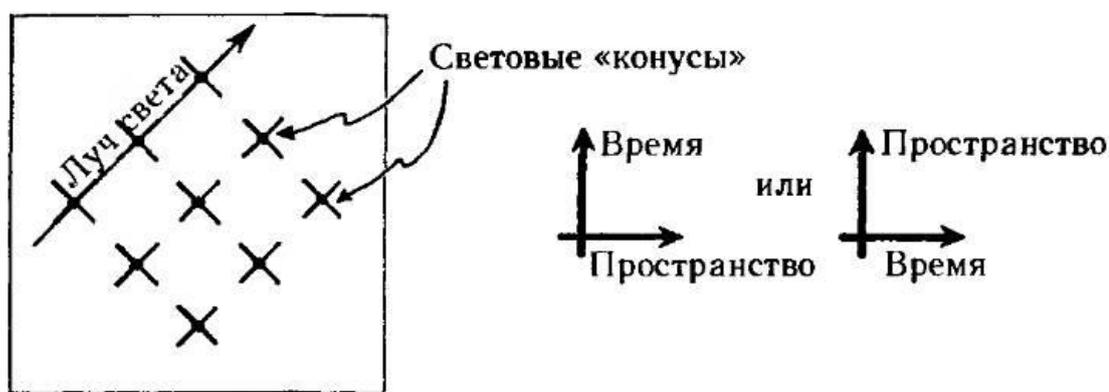


Рис. 7.16. В двухмерном пространстве-времени временная и пространственная оси полностью взаимозаменяемы – однако никому не приходит в голову говорить о «течении» пространства!

Согласно общей теории относительности, «время» – это всего лишь одна из координат в описании положения пространственно-временного события. В пространственно-временных описаниях, предлагаемых нам физиками, нет ничего, что выделяло бы «время» как нечто, что «течет». В самом деле, физики довольно часто используют модели пространства-времени, в которых наряду с временным измерением имеется лишь одно пространственное измерение – в таких двухмерных пространствах-времени отличить временную ось от пространственной

принципиально невозможно (см. рис. 7.16). И всё же никто в здравом уме не станет говорить о «течении»⁴⁰ пространства! Действительно, в физических задачах, где требуется вычислить будущее состояние системы на основании настоящего ее состояния (см. §4.2), часто рассматривают так называемые временные эволюции. Однако эта процедура вовсе не является обязательной, и вычисления, как правило, выполняются именно так только потому, что мы в данном случае строим модель (математическую) опыта восприятия нами мира через призму «текущего» времени (которое мы, похоже, только так и воспринимаем), – а еще потому, что нам хочется научиться предсказывать будущее.⁴¹ Исключительно благодаря особенностям нашего восприятия, в наших вычислительных моделях мира появляются неизбежные отклонения в виде временных эволюций (часто, но, надо признать, не всегда), тогда как сами физические законы таких встроенных отклонений не содержат.⁴²

Более того, время для нас «течет» только потому, что мы обладаем сознанием. С точки зрения теории относительности, существует лишь «статическое» четырехмерное пространство-время без какого бы то ни было «течения». Пространство-время просто есть, и время в нем способно «течь» не больше, чем пространство. Течение времени, похоже, необходимо почему-то одному лишь сознанию,⁴³ и я не удивлюсь, если отношения между сознанием и временем вдруг окажутся странными и во всем остальном.

В самом деле, было бы не совсем благоразумно чересчур тесно отождествлять феномен сознательного восприятия с его кажущимся «течением» времени и использование физиками вещественного параметра t в качестве обозначения для так называемой «временной координаты». Во-первых, если верить теории относительности, то применительно к пространству-времени как к целому выбор параметра t уникальностью не отличается. Возможны самые различные взаимно несовместимые альтернативы, причем нет никаких оснований отдать предпочтение какой-то одной из них. Во-вторых, очевидно, что точная концепция «вещественного числа» имеет весьма малое отношение к сознательному восприятию нами течения времени, хотя бы по одной той причине, что мы не можем воспринимать очень малые временные промежутки – скажем, порядка сотой доли секунды, не говоря уже о меньших, – тогда как физики способны работать и с временными масштабами порядка 10^{-25} с (что с успехом демонстрирует точность квантовой электродинамики, т.е. квантовой теории взаимодействия электромагнитных полей с электронами и другими заряженными частицами) или, возможно, еще меньшими, вплоть до планковского времени 10^{-43} с. Более того, согласно математической концепции времени, выраженного в виде вещественного числа, предела малости, после достижения которого концепция должна потерять всякий смысл, нет вообще – вне зависимости от того, имеет эта концепция физический смысл во всех масштабах величин или нет.

Возможно ли сказать что-либо более конкретное о взаимоотношениях между сознательно воспринимаемым временем и параметром t , который физики называют «временем» и используют

⁴⁰ В.Э.: О течении пространства не говорят, но имеется понятие о перемещении «чего-то» в пространстве; точно так же «что-то» перемещается во времени (точнее, в пространстве-времени). Это перемещение воспринимается (кодируется) человеческой операционной системой как «течение времени» – т.е. как отдельная координата, не связанная с тремя координатами «пространства». До сих пор всё ясно и проблем нет. Но ЧТО представляет из себя то «что-то», которое перемещается по пространству-времени? – вот в чем вопрос. (Я это «что-то» сравнивал с лазерным лучом, скользящим по компакт-дису {PENRO4}).

⁴¹ Во всяком случае, в рамках наших обычных физических представлений о времени «течение» времени в будущее ничем не отличается от «течения» времени в прошлое. (Однако, благодаря второму закону термодинамики, осуществить эффективное «послесказание» прошлого с помощью временной эволюции уравнений динамики невозможно.)

⁴² В.Э.: О каких «законах» речь? О теориях и их уравнениях? Так они же вторичные построения, существующие лишь в головах людей и претендующие (в лучшем случае) лишь на частичный (но не абсолютный) изоморфизм с явлениями природы. Так что то, что говорит какая-то там «теория Эйнштейна», «не указка» для нас и, тем более, для Природы. Если направление времени безразлично для уравнений Эйнштейна, то это еще не значит, что оно безразлично и для Вселенной.

⁴³ В.Э.: Всё же есть и в реальном мире некий «лазерный луч», скользящий по пространству-времени и отображающийся в наших мозгах как течение времени – времени, ортогонального пространству. (Причем, я думаю, что этот «луч» скользит «со скоростью света», а точнее, эта «универсальная физическая константа» c – скорость света – потому и является такой константой, что она на самом деле – скорость «расширения пространства» в результате Большого взрыва. Иными словами: «физическое пространство настоящего – это «волновой фронт» Большого взрыва; в двумерном аналоге это было бы – сфера вспышки, распространяющаяся во все стороны со «скоростью света»).

в таком качестве в своих физических описаниях? Можно ли каким-либо образом экспериментально установить, «когда» именно, по отношению к этому физическому параметру, «на самом деле» происходит субъективное восприятие? Имеет ли какой-нибудь объективный смысл высказывание о том, что то или иное осознаваемое событие происходит в тот или иной момент времени? По правде говоря, кое-какие эксперименты, имеющие определенное отношение к данной проблеме, действительно проводились, однако результаты их оказались весьма неоднозначными, а следствия из этих результатов – почти парадоксальными. Описание отдельных экспериментов я приводил в НРК, с. 439–444, однако, думаю, будет уместно рассмотреть их здесь снова.

В середине 1970-х годов Г.Г. Корнхубер с коллегами (см. [78]), используя метод электроэнцефалограммы (ЭЭГ), записали электрические сигналы в различных точках на головах нескольких добровольцев с целью установить возможные временные соответствия между электрической активностью мозга и актами проявления свободы воли (активного аспекта сознания). Испытуемых просили сгибать указательный палец через различные промежутки времени, причем момент сгибания пальца полностью определял сам доброволец; тем самым экспериментаторы надеялись проследить связь между активностью мозга, направленной на осуществление «волевого акта» сгибания пальца, с собственно движением. Для получения сколько-нибудь достоверной информации с датчиков ЭЭГ каждый опыт повторяли по несколько раз, а затем полученные данные усредняли. Результат оказался весьма удивительным: прежде чем испытуемый сгибал палец, записанный электрический потенциал постепенно нарастал в течение некоторого времени (от секунды до полутора секунд)⁴⁴. Означает ли это, что между сознательным волевым актом и обусловленным им действием должна пройти целая секунда или даже больше? Насколько осознавали сами испытуемые, между решением согнуть палец и его действительным сгибанием проходило лишь краткое мгновение – никак не секунда, и уж конечно же, не больше. (Заметим, что «запрограммированное» время реакции на внешний стимул гораздо меньше и составляет приблизительно пятую долю секунды.⁴⁵)

Отсюда можно, по-видимому, заключить, что либо (i) сознательный акт «свободной воли» есть чистая иллюзия, поскольку он, в некотором смысле, заранее запрограммирован предшествующей бессознательной активностью мозга,⁴⁶ либо (ii) воле, возможно, отведена роль «на последнюю минуту», т.е. она может иногда (но не всегда) отменить действие, которое бессознательно готовилось в течение последней секунды,⁴⁷ либо (iii) субъект на самом деле пожелал согнуть палец на секунду (или больше) раньше, чем палец согнулся, однако ошибочно воспринимает (непротиворечивым образом) это так, будто сознательный акт произошел в значительно более поздний момент времени, непосредственно перед тем, как палец действительно был согнут.

Позднее Бенджамин Либет (с группой сотрудников) повторил эксперимент Корнхубера, но с некоторыми модификациями, направленными на уточнение момента времени, в который происходит волевой акт, направленный на сгибание пальца: испытуемому было предложено отмечать положение стрелки часов в момент принятия решения (см. [238, 239]). Новый

⁴⁴ В.Э.: Ясное дело – перед сгибанием пальца проходила интенсивная работа по самопрограммированию: надо было создать программу (А) для сгибания пальца, а также программу (В) для выбора момента запуска программы (А) сгибания пальца. Вот, мозг и поработал. А как это «отразилось в сознании», т.е. – что из этого было зафиксировано в памяти? Ну, вообще-то немного – главным образом сам факт, что палец был согнут (по «свободной воле», разумеется).

⁴⁵ В.Э.: Конечно – если программа уже готова, то ее не надо делать. Потому и быстрее. (См. также {PENROS}).

⁴⁶ В.Э.: Ну почему же иллюзия? Это самый настоящий акт «свободной воли»: никто ведь не заставлял человека согнуть палец именно в этот момент. Он сам выбрал этот момент. Но просто это «сам» означает, что выбирала программа (В). Нет никакого другого объекта «сам человек», кроме всех этих программ (А, В, ... Z) в его голове. А слово «бессознательный» – это пустое обозначение, в общем-то ничего не говорящее и ничего не проясняющее. Просто из всего, что на самом деле в эксперименте Корнхубера произошло в мозге испытуемого, кое-что было его мозгом записано в свою память (т.е. «осознано»), но было записано не всё полностью и не совершенно точно (адекватно).

⁴⁷ В.Э.: Чтобы отменить уже запущенную программу (В) выбора времени, нужно запустить еще одну программу (С), которая *cancell*-ирует программу В. Такое тоже возможно: мозг – это большой котел самопрограммирования, который варится непрерывно и в котором программы всё время возникают, исчезают и по-всякому взаимодействуют.

эксперимент в целом подтвердил полученные ранее выводы,⁴⁸ за исключением вывода (iii); сам Либет, похоже, склонялся к (ii).

В других экспериментах Либет и Файнштейн [240] исследовали временные соответствия сенсорных (или пассивных) аспектов сознания. Испытуемыми являлись добровольцы, давшие согласие на помещение электродов в область мозга, связанную с приемом сенсорных сигналов от определенных участков кожи. Наряду с прямой стимуляцией электродами, время от времени стимулировался и соответствующий участок кожи. Общий результат эксперимента таков: прежде чем испытуемые осознавали, что они что-то ощущают, проходило приблизительно полсекунды нейронной активности (с некоторыми вариациями в зависимости от обстоятельств), хотя у них создалось впечатление, что при прямой стимуляции они узнают о возникновении ощущения раньше, чем при реальной стимуляции кожи.

Каждый из этих экспериментов сам по себе парадоксальным не является, разве что внушает некоторое беспокойство. Возможно, кажущиеся сознательными решения и в самом деле принимаются на бессознательном уровне, причем раньше (по меньшей мере, на секунду). Возможно, и в самом деле необходимо полсекунды активности мозга, прежде чем мы действительно осознаём то, что ощущаем. Однако если свести эти два вывода вместе, то получается, что в любом действии, где внешний стимул вызывает сознательно обусловленную реакцию, эта самая реакция возникает с запаздыванием, составляющим от секунды до полутора. Пока не пройдет полсекунды, не произойдет осознания; а если мы решим это осознание применить к делу, то нам придется запустить неторопливую машину свободной воли, что, возможно, задержит реакцию еще на секунду.

Неужели наши сознательные реакции действительно настолько медлительны? В обычном разговоре, например, такая задержка почему-то не наблюдается. Если принять вывод (ii), то получается, что большая часть актов реакции полностью бессознательна, хотя время от времени человек оказывается способен отменить эту реакцию, заменив ее (где-то через секунду) сознательным волевым актом.⁴⁹ Однако если реакция обычно бессознательна, то у сознания (если, конечно, оно не сравнится с ней по скорости) нет ни одного шанса успеть ее отменить – когда начинает действовать сознательный волевой акт, бессознательная реакция уже давно запущена, и предпринимать что-либо слишком поздно! Таким образом, либо сознательные акты могут иногда действовать быстро, либо бессознательная реакция и сама на секунду запаздывает. В этой связи вспомним, что «запрограммированная» бессознательная реакция может произойти гораздо быстрее – через пятую долю секунды или около того.

Разумеется, быстрая (скажем, за пятую долю секунды) бессознательная реакция всё еще возможна, если мы принимаем вывод (i), согласно которому система бессознательных реакций полностью игнорирует любые возможные попытки позднейшей сознательной (сенсорной) активности. В этом случае (а ситуация с выводом (iii), поверьте, еще хуже) сознание в достаточно быстром разговоре способно выступать единственно в роли зрителя, сознательно воспринимающего нечто вроде «записи» давно прошедшего спектакля.

Здесь в действительности нет никакого противоречия. Вполне возможно, что эволюция произвела на свет сознание как раз для неторопливых размышлений, и очевидно, что в ситуации, требующей сколько-нибудь быстрых действий, сознание оказывается не более чем пассажиром. Вся первая часть книги, если помните, посвящена именно такому сознательному созерцанию (математическому пониманию), которое и впрямь славится своей медлительностью. Может быть,

⁴⁸ В.Э.: Что это значит? По логике актом «свободной воли» следует считать момент, когда программа В (в обозначениях предыдущих сносок) запускает программу А для сгибания пальца. Конечно, этот момент стоит очень близко (Пенроуз говорит, что 1/5 доля секунды) к моменту действительной отработки мышц пальца. Но этому предшествовало в мозге создание самих программ А и В в течение 1 – 1,5 секунд. Так что, по-моему, тут всё абсолютно ясно. (Для Веданской теории объяснение этого эксперимента – как всегда – элементарно и не представляет никаких трудностей).

⁴⁹ В.Э.: Эти понятия «сознательный», «бессознательный» вообще должны быть выкинуты на помойку. Здесь мы видим типичный пример того, что я говорил Михаилу Грачёву {POTI-1} о подходе «от слова к объекту» и «от объекта к слову». У Пенроуза опять подход «от слова к объекту»: для него сначала есть слова (далее: понятия) «сознательный» и «бессознательный»; он их воспринимает как данность и любой ценой пытается остаться в этой системе понятий. А у меня противоположный подход: «от объекта к слову». Сначала есть работа мозга, есть мозговые программы, а какие термины ввести для описания их работы – там посмотрим: какие понадобятся, такие и введем. И в результате понятия «сознательный» и «бессознательный» мне не нужны. Я ввожу более точные (и более удобные термины).

способность к сознательному восприятию развилась у нас исключительно ради вот такой вот неспешной созерцательной мыслительной деятельности, тогда как более быстрые по времени реакции полностью бессознательны по своему происхождению – хотя и сопровождаются запаздывающим сознательным восприятием, не играющим, впрочем, никакой активной роли.

Всё это, конечно же, правильно – сознание действительно «берет свое», когда располагает достаточным временем для работы. Однако должен признать, что я не верю, что сознание может не играть абсолютно никакой роли в умеренно быстрой деятельности, такой как обычный разговор – или настольный теннис, футбол и гонки на мотоциклах, если уж на то пошло. Мне представляется, что в логике предыдущих рассуждений имеется одна фундаментальная дыра, и в роли этой дыры выступает допущение об осмысленности точного хронометража сознательных событий. Можно ли вообще говорить о каком-то реальном «моменте времени», в котором происходит акт сознательного восприятия, предполагая к тому же, что этот самый «момент восприятия» должен непременно предшествовать моменту проявления того или иного эффекта «реакции свободной воли» на упомянутый акт восприятия. Учитывая те аномальные взаимоотношения между сознанием и собственно физической природой времени, что описаны в начале этого параграфа, я полагаю (по меньшей мере) возможным, что никакого выраженного «момента времени», в котором происходит акт сознательного восприятия, в природе не существует.⁵⁰

Самой умеренной из всех возможностей в свете вышесказанного представляется нелокальный разброс во времени, придающий связи сознательного восприятия с физическим временем некоторую неустранимую размытость. Однако я подозреваю, что тут работает нечто гораздо более тонкое и непонятное. Если сознание является феноменом, который невозможно понять на физическом уровне без существенного привлечения квантовой теории, то вполне может оказаться так, что Z-загадки этой самой теории входят в противоречие с нашими – такими на вид безупречными! – умозаключениями относительно причинности, нелокальности и контрфактуальности, которые, возможно, и впрямь свойственны отношениям между сознанием и свободной волей.⁵¹ Например, какую-то роль, возможно, играет та контрфактуальность, которую мы наблюдали в задаче об испытании бомб (см. §5.2 и §5.9): на поведение может повлиять один лишь факт возможности некоего действия или мысли, даже если в действительности никто ничего не сделал и не подумал. (Это может лишить всякой силы некоторые кажущиеся вполне логичными заключения – скажем, то, с помощью которого мы исключаем возможность правильности вывода (ii).)

В общем и целом, ко всем логичным на первый взгляд выводам касательно упорядочивания событий во времени в присутствии квантовых эффектов следует подходить очень осторожно (что будет особо подчеркнуто в следующем параграфе, где мы рассмотрим проблему с точки зрения ЭПР-феноменов). И напротив, если, в том или ином проявлении сознания, классические рассуждения о расположении событий во времени приводят нас к явно противоречивому заключению, то это совершенно недвусмысленно указывает на присутствие квантовых процессов!

§7.12. ЭПР-феномены и время: необходимость в новом мировоззрении

Есть основания относиться к нашему физическому представлению о времени с некоторой подозрительностью – причем не только в отношении сознания, но и в отношении собственно физики, когда в дело вступают квантовые нелокальность и контрфактуальность. Если придерживаться строго «реалистичного» взгляда на вектор состояния $|\psi\rangle$ в ситуациях ЭПР-типа (см. §6.3 и §6.5, где живописуются трудности, подстерегающие тех, кто этого не делает), то перед нами в полный рост встает фундаментально головоломная проблема. Проблемы такого рода вырастают в труднопреодолимые препятствия при разработке, например, детальной ГВР-теории (см. §6.9) или любой другой подобной теории, затрагивая потенциально и любую схему ОР-типа, вроде той, что я предлагаю в §6.12.

⁵⁰ См. также [81]. У людей, видевших фильм «Краткая история времени», в котором рассказывается о Стивене Хокинге и его работе, могло создаться весьма занятное представление о моих взглядах на связь сознания с течением времени. Пользуясь представившейся возможностью, заявляю, что всё это – чистое недоразумение, вызванное ошибками при монтаже фильма.

⁵¹ В.Э.: «...отношения между сознанием и свободной волей...» Черт возьми! Ну это вообще уже какой-то средневековый схоластический разговор! 😊

Вспомним магические додекаэдры из §5.3 и объяснение их поведения, представленное в §5.18, и спросим себя, какая из двух следующих возможностей отражает «реальное» положение дел. Может быть, именно нажатие на кнопку на додекаэдре моего коллеги вызывает мгновенную редукцию (и расщепление) исходного сцепленного совокупного состояния – т.е. по нажатии его кнопки атом в моем додекаэдре мгновенно переходит в новое, расщепленное состояние, и именно это редуцированное состояние и отменяет все остальные варианты развития событий, которые могли бы реализоваться после моего более позднего нажатия на кнопку? Или, может быть, это я нажимаю на кнопку первым, воздействуя на исходное сцепленное состояние, результатом чего становится мгновенная редукция состояния атома в додекаэдре моего коллеги, и теперь уже он не может ничего поделать, на какие бы кнопки он ни нажимал? Для получаемого результата совершенно неважно, какой вариант рассмотрения проблемы мы выберем (о чем мы уже говорили в §6.5). И хорошо, что неважно, потому что если бы было важно, то мы получили бы нарушение принципов эйнштейновской теории относительности, согласно которой «одновременность» в случае удаленных (пространственноподобно разделенных) событий не может иметь никаких наблюдаемых эффектов. Однако если мы полагаем, что вектор $|\psi\rangle$ есть отражение реальности, то реальность эта в двух представленных картинах получается различной. Кто-то, возможно, сочтет это расхождение достаточной причиной для того, чтобы отказаться от такого «реалистичного» взгляда на $|\psi\rangle$. Другие же, напротив, отыщут иные строгие доводы в пользу реальности $|\psi\rangle$ (см. §6.3) – и приготовятся вышвырнуть эйнштейновскую картину мира за борт.

Я склоняюсь к тому, чтобы попытаться примирить обе эти точки зрения – квантовый реализм и дух релятивистского пространства-времени. Однако для этого потребуются фундаментальный пересмотр наших современных представлений о физической реальности. Вместо того, чтобы настаивать на том, что способ описания квантового состояния (или даже пространства-времени) непременно должен следовать из привычных описаний, мы должны отыскать нечто совершенно иное, хотя и эквивалентное математически (по крайней мере, на первых порах) этим самым описаниям.

Более того, имеется и хороший прецедент. Прежде чем Эйнштейн пришел к общей теории относительности, нас полностью устраивала уютная и замечательно точная ньютоновская теория гравитации, согласно которой движущиеся в плоском пространстве частицы притягивали друг друга в соответствии с обратно-квадратичным законом всемирного тяготения. Внесение каких-то фундаментальных изменений в такую гармоничную картину непременно разрушило бы великолепную точность ньютоновской схемы. И тем не менее, именно такое фундаментальное изменение Эйнштейн и предложил. Его альтернативный взгляд на гравитационную динамику полностью переписал прежнюю картину. Пространство больше не является плоским (и вообще, это уже даже не «пространство», а «пространство-время»), а гравитационных сил в природе не существует – есть приливные эффекты искривлений пространства-времени. Что касается частиц, то они, как выясняется, и не движутся вовсе, будучи представлены «статическими» кривыми на пространстве-времени. Разрушило ли всё это замечательную точность теории Ньютона? Ни в малейшей степени; теория стала еще точнее, хотя, казалось бы, уже и некуда! (См. §4.5.)

Можно ли ожидать, что нечто подобное произойдет и с квантовой теорией? Думаю, что вероятность такого исхода крайне высока. Просто для этого необходимо фундаментальное изменение мировоззрения, поэтому представить себе сейчас умозрительно природу предстоящего изменения чрезвычайно трудно. Более того, оно несомненно будет выглядеть, как самый настоящий бред!

В заключение я хочу рассказать о двух таких бредовых идеях – ни одна из них, к сожалению, не достигает необходимой степени бредовости, однако у каждой имеются свои достоинства. Первую предложили Якир Ахаронов и Лев Вайдман [2] (а также Коста де Борегар [61] и Пол Вербос [381]). Суть идеи в том, что квантовая реальность описывается двумя векторами состояния, один из которых направлен во времени вперед от последней редукции R (нормальное направление), а другой – назад, от следующей редукции R в будущем. Второй вектор состояния⁵² ведет себя «телеологически» – он обусловлен тем, чему предстоит случиться с ним в будущем, а не тем, что с ним уже произошло в прошлом; многие, боюсь, сочтут это его свойство

⁵² Есть некий математический смысл в том, что эволюционирующий в обратном направлении вектор состояния обозначается как «бра-вектор», $\langle\phi|$, тогда как вектор, эволюционирующий нормально, получает стандартное обозначение «кет-вектора», $|\psi\rangle$. Такую пару векторов состояний можно рассматривать как произведение $|\psi\rangle\langle\phi|$. Это обозначение фигурирует также в формализме матриц плотности из §6.4.

неприемлемым. Однако результаты эта модификация дает в точности те же, что и стандартная квантовая теория, поэтому исключить новую теорию только на этом основании не удастся. Ее преимущество перед стандартной квантовой теорией заключается в том, что она позволяет получить полностью объективное описание состояния в ЭПР-ситуациях, которые теперь можно рассматривать в терминах пространства-времени сообразно духу эйнштейновской теории относительности. Таким образом, новая теория предлагает решение (пусть и своеобразное) головоломной проблемы, о которой мы упоминали в начале этого параграфа, – однако лишь за счет введения квантового состояния, отличающегося телеологическим поведением, что не всем по душе. (Лично я нахожу эти телеологические аспекты вполне приемлемыми, коль скоро они не вступают в конфликт с действительным физическим поведением.) За подробностями отсылаю читателя к соответствующей литературе.

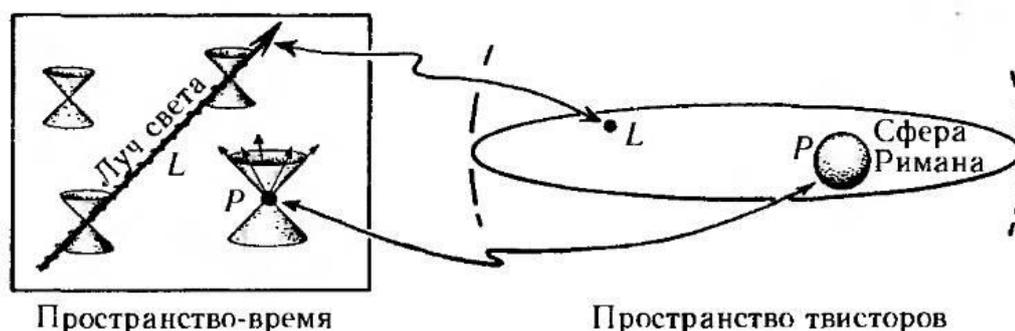


Рис. 7.17. Теория твисторов предлагает альтернативную физическую картину пространства-времени, где лучи света представлены точками, а события – целыми сферами Римана.

Другая идея, о которой я хотел упомянуть, – это теория твисторов (см. рис. 7.17). Поводом для создания этой теории послужили всё те же ЭПР-головоломки, однако решения для них она (как таковая) пока не предоставляет. Ее сила в другом – в неожиданных и изящных математических описаниях некоторых фундаментальных физических концепций (таких, например, как электромагнитные уравнения Максвелла, см. §4.4 и НРК, с. 184–187, приобретающие в теории твисторов привлекательную математическую формулировку). Имеется и нелокальное описание пространства-времени, где каждый луч света представляется в виде точки. Именно эта пространственно-временная нелокальность и связывает теорию твисторов с квантовой нелокальностью ЭПР-ситуаций. Кроме того, в основе теории лежат комплексные числа и соответствующая геометрия, чем достигается тесная взаимосвязь между комплексными коэффициентами U-квантовой теории и структурой пространства-времени. В частности, фундаментальную роль приобретает сфера Римана (см. §5.10), связанная здесь со световым конусом пространственно-временной точки (а также с «небесной сферой» находящегося в этой точке наблюдателя). (Неформальное описание идей, имеющих отношение к данной теме, приводится в книге Дэвида Пита [287]; относительно краткое, но строгое описание теории твисторов можно найти в работе Стивена Хаггета и Пола Тода [209]⁵³.)

Думаю, продолжать углубляться в эти идеи дальше будет не совсем уместно. Я упомянул о них только для того, чтобы показать, что существует множество возможностей изменить нашу уже и так чрезвычайно точную картину физического мира, превратить ее в нечто, совершенно отличное от того, к чему мы успели привыкнуть за прошедшие десятилетия. Такое изменение должно удовлетворять требованию совместимости – иначе говоря, с помощью нового описания мы должны суметь воспроизвести все успешные результаты U-квантовой теории (равно как и общей теории относительности). Однако оно должно также позволить нам продвинуться за сегодняшние пределы и осуществить физически корректную модификацию квантовой теории с целью замены процедуры R на какой-либо реальный физический процесс. В этом (по меньшей мере) я убежден твердо; мне также представляется, что такая «корректная модификация» будет включать в себя некую OR-подобную процедуру, основанную на идеях, изложенных в §6.12.

⁵³ Для получения более подробных сведений о твисторах см. также [302], [378] и [16].

Напомню, что теории, сочетающие в себе относительность с «реалистичной» редукцией состояний (такие как ГРВ-теория) сталкиваются сегодня с труднопреодолимыми проблемами (в частности, связанными с сохранением энергии). Это лишь укрепляет мою собственную уверенность: прежде чем мы сможем хоть сколько-нибудь серьезно продвинуться в понимании фундаментальных вопросов физики, мы должны фундаментально изменить наши представления о мире.

Нисколько не сомневаюсь я и в том, что истинный прогресс в физическом понимании феномена сознания попросту невозможен без всё того же фундаментального изменения в нашем физическом мировоззрении.⁵⁴

⁵⁴ В.Э.: Для «истинного прогресса в понимании феномена сознания» действительно нужно изменить мировоззрение, но не мировоззрение в области физики, а мировоззрение в области математики (и в других подобных науках, работающих с «идеальным»). Надо перестать считать человека чем-то особым в этом мире (отказаться окончательно от человеческого эгоцентризма) и начать считать его тем, чем (или кем) он и есть на самом деле: просто материальной системой, управляемой (по всем законам информатики) самопрограммирующимся компьютером.

Глава 8. Возможные последствия

§8.1. Искусственные разумные «устройства»

Какие же выводы должны мы сделать, исходя из предыдущих рассуждений, о предельном потенциале искусственного интеллекта? В первой части книги было недвусмысленно показано,⁵⁵ что никакое развитие технологий производства электронных роботов с компьютерным управлением не приведет в конечном итоге к созданию действительно разумной искусственной машины – в том смысле, что машина будет способна понимать, что она делает, и действовать на основе этого понимания. Электронные компьютеры, несомненно, играют очень важную роль в прояснении многих вопросов, связанных с ментальными феноменами (возможно, прежде всего тем, что наглядно показывают, что подлинными ментальными феноменами не является), не говоря уже об их чрезвычайной полезности и бесценном вкладе в научный, технический и социальный прогресс. Вывод, впрочем, однозначен: компьютеры делают что-то принципиально отличное от того, что делаем мы,⁵⁶ сосредоточивая сознательное внимание на очередной проблеме.

Однако, как можно было понять из продолжения нашего разговора во второй части, я ни в коем случае не утверждаю, что создать подлинно разумное устройство совершенно невозможно; просто такое устройство не будет являться «машиной» – в том конкретном смысле, что «машиной» управляет компьютер. В основе его работы должны будут лежать те же физические процессы, которые ответственны за возникновение нашего собственного сознания. Поскольку физической теории таких процессов в нашем распоряжении еще нет, представляется несколько преждевременным делать какие-то умозаключения относительно того, будет ли вообще построено такое устройство, и если будет, то когда. Тем не менее, в рамках поддерживаемой мною точки зрения *C* (см. §1.3), согласно которой мышление может быть в конечном счете объяснено научно, хотя и с привлечением понятия невычислимости, создание этого устройства вполне допускается.

Не думаю, что такое устройство непременно должно быть по своей природе биологическим. Более того, я не думаю, что между биологией и физикой (или между биологией, химией и физикой) проходит какая-то принципиально непреодолимая граница. Биологическим системам действительно зачастую присуща тонкость и сложность организации, далеко превосходящая даже наиболее изощренные из наших (порой очень и очень изощренных) физических построений. Однако совершенно очевидно, что мы всё еще находимся на очень раннем этапе физического понимания нашей Вселенной – в особенности, феноменов, имеющих отношение к мышлению. Таким образом, можно ожидать, что в будущем сложность наших физических построений существенно возрастет. Можно предположить, что в этом будущем усложнении немалую роль сыграют физические эффекты, о которых мы сегодня имеем весьма смутное представление.

Не вижу причин сомневаться в том, что в не столь отдаленном будущем некоторые из приводящих нас сейчас в недоумение эффектов (*Z*-загадок) квантовой теории найдут удивительные применения в самых разнообразных областях. Уже сегодня предлагаются идеи использования квантовых эффектов в криптографии, что позволяет достичь результатов, недоступных классическим устройствам. В частности, имеются теоретические разработки, предполагающие существенное использование квантовых эффектов (см. [26]) и направленные на отыскание способа передачи секретной информации от отправителя к получателю таким образом, чтобы перехват сообщения третьей стороной был невозможен без обнаружения факта перехвата. На основе этих идей уже были разработаны экспериментальные устройства, которые, несомненно, найдут через несколько лет самое широкое коммерческое применение. В области криптографии было предложено и множество других схем, так или иначе использующих квантовые эффекты, и можно сказать, что вчера еще не существовавшая наука квантовая криптография сегодня развивается бурными темпами. Более того, возможно, что когда-нибудь мы действительно сможем построить квантовый компьютер, однако на данный момент соответствующие теорети-

⁵⁵ В.Э.: Не было показано.

⁵⁶ В.Э.: Компьютеры делают то, что им предписывают программы. До сих пор никто не создавал программ подлинного интеллекта – в первую очередь, видимо, потому, что просто никто не знал, КАК их надо делать.

ческие разработки еще весьма далеки от практической реализации, и пока весьма сложно предсказать, когда мы увидим (и увидим ли вообще) их физическое воплощение (см. [277, 278]).

Еще сложнее предсказать возможность (и время) создания устройства, работа которого описывается физической теорией, нам еще даже не известной. Я утверждаю, что такая теория необходима для понимания физики, лежащей в основе устройства, функционирующего невычислимым образом; под «невычислимым» здесь понимается «недоступным для машины Тьюринга». Согласно приведенной выше аргументации, прежде, чем рассматривать саму возможность создания такого устройства, мы должны отыскать надлежащую физическую теорию редукции квантового состояния (OR) – а насколько мы сейчас далеки от такой теории, сказать очень сложно. Возможно также, что возникнут какие-то дополнительные неожиданные трудности, обусловленные неизвестными пока специфическими особенностями будущей OR-теории.

Как бы то ни было, если мы хотим построить такое невычислительное устройство, нам всё равно придется, я думаю, начать с отыскания теории. Впрочем, возможно, что и не придется: история помнит немало случаев, когда между открытием новых необычных физических эффектов и их теоретическим объяснением проходило много лет. Хорошим примером может послужить сверхпроводимость, обнаруженная экспериментально (Хейке Камерлинг-Оннесом в 1911 году) почти за пятьдесят лет до того, как Бардин, Купер и Шриффер получили наконец (в 1957 году) полное квантово теоретическое ей объяснение. В 1986 году была открыта высокотемпературная сверхпроводимость (см. [343]) – также при полном отсутствии предварительных чисто теоретических оснований верить в ее существование. (По состоянию на начало 1994 года адекватного теоретического объяснения этому феномену у нас всё еще нет.) С другой стороны, если речь идет о невычислимых процессах, неясно даже, каким образом вообще можно определить, что поведение данного неодушевленного объекта является невычислимым. Вся концепция вычислимости опирается в значительной степени на теорию, и непосредственное наблюдение в этом случае мало что дает. Однако в рамках той или иной невычислительной теории вполне может быть описано поведение, которое демонстрирует невычислимые аспекты этой самой теории и которое вполне можно исследовать экспериментально и регистрировать с помощью каких-то реальных приборов. Я подозреваю, что в отсутствие теории вероятность наблюдать или регистрировать невычислимое поведение в каких-либо физических объектах исключительно мала.

А теперь давайте попробуем вообразить, что требуемая физическая теория – т.е., как я показал выше, невычислительная OR-теория редукции квантового состояния – у нас уже есть; кроме того, мы располагаем и некоторыми экспериментальными подтверждениями этой теории. Что нам нужно сделать для того, чтобы создать разумное искусственное устройство? А ничего – располагая одной лишь этой теорией, мы ничего сделать не сможем. Понадобится еще один теоретический прорыв – тот, что объяснит нам, как именно соответствующая организация, задействуя надлежащим образом невычислимые OR-эффекты, порождает сознание. Я, например, не имею ни малейшего понятия, что это может оказаться за теория. Как и в упомянутых выше примерах со сверхпроводимостью, есть вероятность, что на устройство с требуемыми свойствами кто-нибудь наткнется до некоторой степени случайно раньше, чем будет разработана корректная теория сознания. Само собой разумеется, вероятность эта крайне ничтожна – разве что воспользоваться неким дарвиновским эволюционным процессом, т.е. предположить, что разум возникнет сам собой, просто по причине непосредственных преимуществ, которые обладание разумом дает его обладателю, задолго до того, как этот самый обладатель сможет понять, каким же образом всё произошло (как, собственно говоря, и случилось когда-то с нами!). Процесс этот, безусловно, будет чрезвычайно длительным, особенно если вспомнить, сколько времени потребовалось нашему с вами разуму для проявления себя в качестве такового. Возможно, гораздо более удовлетворительным путем к созданию искусственного разумного устройства покажется читателю прямое заимствование тех на первый взгляд беспорядочных, но всё же замечательно эффективных и уместных процедур, которыми мы сами многие тысячелетия с успехом пользуемся.

Разумеется, ничто из вышесказанного отнюдь не отменяет нашего желания узнать, что же все-таки происходит там, в глубинах сознания, что делает разум разумом. Я и сам хочу это узнать. Всё, о чем я говорил в этой книге, является, в сущности, доказательством одного простого утверждения: то, что происходит в сознании, отнюдь не сводится к совокупности исключительно вычислительных процессов – как многие сегодня полагают – и не может быть в полной мере понято до тех пор, пока мы не достигнем более глубокого понимания природы материи, времени,

пространства и тех законов, что ими управляют. Нам потребуются также гораздо более обширные и подробные знания в области физиологии мозга, особенно на микроскопических уровнях, избегавших до недавних пор внимания исследователей.⁵⁷ Мы должны больше узнать об условиях, при которых сознание возникает и исчезает, о его любопытных отношениях с временем, о применениях сознания и о преимуществах обладания им – и о многих других вещах, допускающих объективное исследование. Таким образом, перед нами открывается широчайшее поле деятельности, обещающее несомненный прогресс в самых разных областях.

§8.2. Что компьютеры умеют делать хорошо... и что не очень

Даже зная о том, что существующая концепция компьютера не позволяет достичь ни подлинной разумности, ни какого бы то ни было осознания себя, ни в коем случае не следует сбрасывать со счетов огромную мощь современных компьютеров, которая в ближайшей перспективе, по-видимому, увеличится и вовсе до невообразимых пределов (см. §1.2, §1.10 и [267]). Пусть эти машины и не понимают того, что они делают, они делают это невероятно быстро и точно. Не смогут ли компьютеры таким образом (пусть и неразумным) достичь – к тому же с большей эффективностью – тех же результатов, для получения которых мы используем разум? Можем ли мы сказать заранее, в каких областях компьютерные системы добьются больших успехов, а в каких им никогда не удастся превзойти разум?

Уже сегодня компьютеры замечательно играют в шахматы – приближаясь к уровню лучших гроссмейстеров-людей. В шашки компьютер «Чинук» обыграл всех противников за исключением абсолютного чемпиона мира Мариона Тинсли. А вот в древней восточной игре го компьютеры, как выясняется, не сильны. Компьютер здесь получает преимущество только в том случае, когда продолжительность хода ограничена; если же дать человеку достаточно времени на ход, то компьютер, как правило, оказывается в проигрыше. Шахматные задачи глубиной в два–три хода компьютер решает практически мгновенно, вне зависимости от того, насколько сложной находит задачу человек. С другой стороны, простая по замыслу, но требующая для решения, скажем, пятьдесят или сто ходов задача может привести к полному поражению компьютера, тогда как опытный шахматист-человек, возможно, никаких трудностей и не встретит (см. также §1.15 и рис. 1.7).

Эти особенности по большей части объясняются различиями в способностях, присущих компьютеру и человеку. Компьютер всего лишь выполняет вычисления, не понимая при этом, что он делает, – хотя он и пользуется опосредованно тем пониманием, которое программисты вложили в написание программы. Компьютер может хранить и использовать большой объем информации; человек, впрочем, на это тоже способен. Компьютер может многократно, чрезвычайно быстро и точно выполнять предписанные ему программистами операции; его действия абсолютно бездумны, но по скорости и точности далеко превосходят возможности любого человека. Игрок-человек оценивает ситуацию и составляет осмысленные планы, располагая при этом общим пониманием игры вообще и данной конкретной позиции в частности. Эти способности компьютеру абсолютно недоступны,⁵⁸ однако недостаток действительного понимания он зачастую с успехом заменяет вычислительной мощью.

Предположим, что количество возможных вариантов, которые компьютеру необходимо рассмотреть за один ход, равно, в среднем, p ; тогда при глубине в t ходов компьютеру придется рассмотреть p^t альтернатив. Если расчет каждой альтернативы занимает в среднем время t , то полное время T , необходимое для расчета задачи на такую глубину, составит

$$T = t \times p^t.$$

⁵⁷ В.Э.: Всё «с точностью до наоборот». Как раз всё это и не важно, а надо принять постулат о том, что разум является результатом работы системы обработки информации в мозге (в биологическом компьютере) – а потом на профессиональном уровне программирования расписать, как именно должны работать программы, чтобы получить все наблюдаемые эффекты «сознания» и вообще интеллекта.

⁵⁸ В.Э.: Когда «игрок-человек оценивает ситуацию и составляет осмысленные планы», он просто работает по другому алгоритму, чем тот компьютер, о котором здесь говорит Пенроуз. Другой алгоритм – и больше ничего. И я как программист, много десятилетий проводивший за профессиональным составлением программ, без особого труда представляю (видимо, в отличие от Пенроуза) КАКИМ именно должен быть этот ДРУГОЙ алгоритм. Так что компьютеру всё это ДОСТУПНО, – нужно просто пускать другую программу. Ну, она сложная – да, я представляю, но она реализуема.

В шашках число p не бывает очень большим – скажем, четыре, – что позволяет компьютеру за отведенное ему время просчитывать дальнейшую игру на значительную глубину, вплоть до двадцати ходов ($m = 20$), тогда как в игре го нередки ситуации, когда $p = 200$, и сравнимая по мощности компьютерная система справится в этом случае не более чем с пятью ($m = 5$) ходами или около того. Шахматы располагаются где-то посередине. Кроме того, необходимо учесть, что человеческие оценки и понимание гораздо медленнее, нежели компьютерные вычисления (для человека t велико, для компьютера – малó), однако с помощью этих оценок человек способен значительно сократить эффективное число p (для человека эффективное значение p малó, для компьютера – велико), поскольку достойной дальнейшего рассмотрения человек сочтет лишь малую часть всех доступных альтернатив.

В общем случае из этого следует, что в играх, где p велико, но может быть значительно уменьшено посредством понимания и оценки,⁵⁹ относительное преимущество получает игрок-человек. При достаточно большом T человеческая способность сократить «эффективное p » увеличивает m в формуле $T = t \times p^m$ гораздо быстрее, нежели этого можно добиться, уменьшая t (что как раз очень хорошо умеют делать компьютеры). Однако при малом полном времени T более эффективным оказывается уменьшение t (поскольку существенные для данной игры значения m будут, скорее всего, тоже небольшими). Эти выводы представляют собой простые следствия из «экспоненциальной» формы выражения $T = t \times p^m$.

Приведенное рассуждение страдает некоторой упрощенностью, однако суть его, полагаю, достаточно ясна. (Если вы не математик, но хотите получить представление о том, как ведет себя выражение $t \times p^m$, попробуйте подставить в него различные значения t , p и m .) Я не вижу особого смысла углубляться здесь в подробности, но кое-что, думаю, следует прояснить. Кто-то, возможно, полагает, что «бóльшая глубина вычисления», выражаемая числом m , – это вовсе не то, чего стремится достичь игрок-человек. Спешу разуверить: в действительности человек стремится именно к этому. Когда игрок-человек определяет ценность позиции на несколько ходов вперед, а затем решает, что дальше ее просчитывать смысла нет, такое вычисление является в действительности вычислением гораздо большей глубины, поскольку человеческая оценка охватывает и возможный эффект нескольких последующих ходов. Как бы то ни было, с помощью упрощенных соображений такого рода можно в общих чертах понять, почему научить компьютер хорошо играть в го гораздо сложнее, чем научить его хорошо играть в шашки, почему у компьютеров лучше получается решать короткие шахматные задачи и почему компьютеры получают относительное преимущество в играх с ограничением на время хода.

Подчеркнем еще раз главное отличие: человеческий мозг обладает способностью, какой компьютер принципиально лишен, – мозг способен выносить суждения, основанные на понимании.⁶⁰ Именно это различие и приводит к следствиям, описанным в общем виде в вышеприведенных простых рассуждениях (а также в рассуждениях относительно шахматной задачи, представленной на рис. 1.7 в §1.15). Сознательное понимание – процесс сравнительно медленный,⁶¹ однако он может значительно сократить число альтернатив, требующих серьезного рассмотрения, существенно увеличив таким образом эффективную глубину вычисления. (По достижении определенной точки необходимость в рассмотрении отдельных альтернативных вариантов и вовсе отпадает.) И вообще, всем, кому интересно, чего компьютеры могут достичь в будущем, я, думаю, могу дать хорошую подсказку: попытайтесь ответить на вопрос, требуется ли для выполнения той или иной задачи подлинное понимание. Многие вещи в нашей повседневной жизни не требуют для своего выполнения какого-то особого понимания, и вполне возможно, что с ними отлично справятся роботы с компьютерным управлением. Уже сейчас существуют управляемые искусственными нейронными сетями машины, успешно выполняющие такого рода задачи. Например, машины научились достаточно хорошо распознавать лица, производить геологическую разведку, находить по звуку неполадки в работе различных механизмов, разоблачать мошенничества с кредитными картами и т.д.⁶² Там, где применение таких машин возможно, их эффективность в общем случае приближается к средней эффективности экспертов-людей (а порой и превосходит ее). Однако вследствие особенностей

⁵⁹ В.Э.: То есть, при помощи других алгоритмов, кроме прямого перебора вариантов.

⁶⁰ В.Э.: То есть, он способен работать по некоторым другим алгоритмам, которые на современных компьютерах начисто не пускали.

⁶¹ В.Э.: Это так – потому что алгоритмы, по которым «сознательное понимание» работает, конечно, не тривиальны и требуют времени.

⁶² См., напр., [242].

необходимого в данном случае «восходящего» программирования, мы не увидим здесь того уровня мощной машинной «компетентности», какой присущ нисходящим системам (скажем, шахматным компьютерам), или того, что – еще более впечатляюще – демонстрируют компьютеры при выполнении обыкновенных численных расчетов, в какой области даже лучшие вычислители-люди и близко не подходят к производительности средних по сегодняшним меркам компьютеров. Что же касается задач, с которыми эффективно справляются искусственные нейронные сети (восходящего типа), то задействуемое в выполнении таких задач людьми понимание, если честно, едва ли превышает способности компьютеров, поэтому в таких областях от компьютеров можно ожидать некоторого ограниченного прогресса. Там, где компьютерные программы имеют по большей части нисходящую организацию (прямые расчеты, шахматные программы, научные вычисления), компьютеры способны достичь огромной мощности и эффективности. В этих случаях компьютер также не нуждается в подлинном понимании выполняемых им действий, только здесь всё необходимое понимание предварительно вложено в программу человеком (см. [§1.21](#)).

Следует упомянуть и о том, что в системах нисходящего типа очень часты компьютерные ошибки, возникающие из-за ошибок в программах. Впрочем, такая ситуация является результатом человеческой ошибки, а это совершенно иное дело. Существуют – и порой даже приносят реальную пользу – автоматические системы исправления ошибок, однако они способны выловить далеко не все ошибки, некоторые оказываются им не по зубам.

Опасность чрезмерно доверчивого отношения к системам с полным компьютерным управлением хорошо иллюстрируется ситуациями, в которых упомянутая система в течение долгого времени работает вполне приемлемо, создавая, возможно, у человека впечатление, что она понимает, что делает. И вдруг неожиданно она выкидывает нечто совершенно безумное, что недвусмысленно показывает, что никакого подлинного понимания в ее действиях никогда не было (как в случае с неспособностью компьютера «*Deep Thought*» решить шахматную задачу, изображенную на рис. [1.7](#)). Так что никогда не теряйте бдительности. Вооруженные знанием того, что «понимание» просто-напросто не является вычислительным качеством, мы всегда должны помнить: никакой робот с компьютерным управлением таким качеством ни в коей мере обладать не может.

Разумеется, в отношении обладания способностью к пониманию люди и сами очень друг от друга отличаются. Как и компьютер, человек тоже может создать у окружающих впечатление присутствия в его действиях понимания, когда на самом деле никакого понимания там нет. Как правило, имеет место своего рода компромисс между подлинным пониманием, с одной стороны, и памятью и способностью к счету – с другой. Компьютеры сильны в последнем, но не способны достичь первого. Как хорошо известно преподавателям на всех уровнях (но, увы, не всегда известно правительственным чиновникам), гораздо более ценной во всех отношениях является способность к пониманию. Именно понимания (а не просто попугайского зазубривания правил и фактов) стремится добиться от своих учеников учитель.⁶³ Одно из требований к составителю экзаменационных билетов (особенно в математике) как раз в том и заключается, чтобы по ответам абитуриента на вопросы можно было бы судить о его способности именно к пониманию, отдельно от способностей к запоминанию или счету – хотя эти последние, надо признать, также не лишены некоторой полезности.

§8.3. Эстетика и т.д.

В вышеприведенных рассуждениях я говорил, по большей части, о способности к «пониманию», полагая ее существенным компонентом, напрочь отсутствующим в любой чисто вычислительной системе.⁶⁴ Именно эта способность фигурировала в гёделевском рассуждении в [§2.5](#) – и именно ее отсутствие в бездумности вычислительного процесса продемонстрировало существенную ограниченность вычислений, побудив нас тем самым к поискам лучшего. И всё же

⁶³ В.Э.: Да – в «мое время» было так. Везде кругом считалось, что именно понимания следует добиваться; я и сам так считал – и в результате дошел до Веданской теории. Но дальнейший мой жизненный опыт показывает, что критерии изменились. Теперь ставка делается на тупое зазубривание, а понимание презирается. Особенно это я испытал «на своей шкуре» в связи с Веданской теорией.

⁶⁴ В.Э.: Так называемое «понимание» представляет собой работу многочисленных других алгоритмов вокруг того алгоритма, который Пенроуз полагает «чисто вычислительной системой».

«понимание» – это лишь одна из способностей, за которые мы ценим сознательное восприятие. В более общем смысле мы, обладающие сознанием существа, получаем преимущество в любых обстоятельствах, где мы можем непосредственно «чувствовать» то, что нас окружает; и этому вычислительные системы не «научатся» никогда.⁶⁵

Меня спросят: каких же таких преимуществ оказывается лишен робот с компьютерным управлением в результате своей неспособности чувствовать? Что с того, что он не в состоянии оценить, скажем, ни красоту звездного неба, ни величественное великолепие Тадж-Махала тихим вечером, ни волшебных переплетений фуги Баха, ни даже суровой красоты теоремы Пифагора⁶⁶? Можно просто сказать, что робот много теряет, не будучи способным ощутить то, что ощущаем мы, сталкиваясь с такими проявлениями совершенства. Однако это далеко не весь ответ. Попробуем спросить иначе. Пусть робот действительно не способен ничего чувствовать, но нельзя ли запрограммировать компьютер таким хитроумным образом, чтобы он, тем не менее, смог создать великое произведение искусства?

Этот вопрос представляется мне чрезвычайно деликатным. Кратким ответом на него, думаю, будет «нет» – хотя бы по той причине, что компьютер не способен испытывать чувственные ощущения, необходимые для того, чтобы отличить хорошее от плохого или превосходное от посредственного. Но тут можно задать встречный вопрос: а почему для того, чтобы вырабатывать собственные «эстетические критерии» и формировать собственные суждения, компьютер непременно должен обладать способностью «чувствовать»? Почему такие суждения не могут просто «возникнуть» после достаточно длительного обучения (восходящего типа)? Я, впрочем, думаю, что, как и в случае со способностью к пониманию, гораздо более вероятно, что упомянутые критерии всё же придется в компьютер предварительно ввести, причем для получения этих самых критериев потребуются детальный нисходящий анализ, выполненный людьми (вполне возможно, не без помощи компьютера), в полной мере обладающими эстетическим чувством. Разработкой подобного рода схем занимались многие исследователи проблемы ИИ. Например, Кристофер Лонгет Хиггинс (университет Суссекса) разработал несколько различных компьютерных систем, сочиняющих музыку согласно заложенным в них критериям. Еще в восемнадцатом веке Моцарт с современниками показали, как можно сочинять музыку с помощью так называемой «музыкальной игры в кости» – сочетая известные эстетически приятные фрагменты со случайными элементами, можно получать вполне сносные композиции. Аналогичные устройства были созданы и в области графических искусств – например, программа «AARON», разработанная Гарольдом Коэном, способна выдавать на гора в больших количествах «оригинальные» графические работы, генерируя случайные элементы и комбинируя их с имеющимися в ее распоряжении фиксированными образами в соответствии с определенными правилами.⁶⁷ (Множество примеров такого «компьютерного творчества» можно найти в книге Маргарет Боден «Творческий разум» [32]; см. также [261].)

Думаю, что выражу общее мнение, если скажу, что среди продуктов такого рода деятельности пока нет ничего такого, что могло бы выдержать сравнение с любым творением умеренно способного художника-человека. Наверное, здесь уместно сказать, что даже при весьма значительных объемах предварительно введенных данных создаваемые компьютером «шедевры» оказываются напрочь лишены «души»! Иначе говоря, картина ничего не выражает, потому что компьютер ничего не чувствует.

Разумеется, случайно сгенерированная компьютерная работа может, просто по чистой случайности, оказаться и подлинным шедевром огромной художественной ценности.⁶⁸ (Равно как и набирая буквы случайным образом, можно когда-нибудь получить «Гамлета».) В самом деле,

⁶⁵ В.Э.: ...не научатся никогда – пока их этому не научат.

⁶⁶ В.Э.: Примитивный робот, раз всё это не умеет.

⁶⁷ В.Э.: Это правильный алгоритм. В принципе так же работает и человеческий мозг при его творчестве. Если компьютерные творения (пока) не могут состязаться с человеческими (лучшими человеческими – потому, что среди человеческих творений есть масса таких, которые хуже теперешних компьютерных), то это потому, что в компьютере не встроен весь остальной интеллект, имеющийся у художника; у компьютера (пока) нет «души», которая выражала бы в творении свою тоску, страдания, желания и т.д. Но всё это можно построить – и в общем понятно – КАК.

⁶⁸ В.Э.: Не существует никакого объективного критерия, что признавать шедевром, а что нет. Шедевром является то, что таковым признается определенной группой людей. Поэтому компьютер принципиально не может создать шедевр – просто потому, что художники его творение таковым никогда не признают (в значительной степени – из-за зависти и по расовым соображениям).

следует признать, что и Природа способна волею случая сотворить настоящие произведения искусства, например, скалы причудливых очертаний или звезды в небе. Однако без способности чувствовать эту красоту невозможно отличить прекрасное от безобразного. Фундаментальная ограниченность полностью вычислительной системы проявится в полной мере еще в процессе отбора.

Опять же можно представить, что человек снабдит компьютер вычислительными критериями для такого различения, и это, возможно, какое-то время будет работать, коль скоро машине останется только генерировать очередные вариации на тему всё того же эталона (возможно, так и создается большая часть рядовых «произведений» популярного искусства) – до тех пор, пока плоды такой деятельности не станут вызывать зевоту и нам не захочется чего-нибудь нового. На этом этапе машине потребуется какое-либо подлинное эстетическое суждение извне, чтобы выяснить, какие «новые идеи» имеют художественную ценность, а какие – нет.

Итак, помимо способности к пониманию, существуют и другие качества, каким полностью вычислительная система никогда не «научится» – например, способность к эстетическому восприятию. Сюда же, как мне представляется, следует отнести и все прочие качества и способности, что требуют осознания, – например, способность к нравственному суждению. Как мы убедились в первой части книги, суждение об истинности или ложности утверждения невозможно свести к чистому вычислению.⁶⁹ То же применимо (возможно, даже с большей очевидностью) и к суждениям о прекрасном или о добром. Все эти способности требуют осознания и, как следствие, недоступны роботам с полностью компьютерным управлением. Для имитации роботом наличия этих способностей необходимо постоянное дополнительное управляющее воздействие со стороны какой-либо внешней, чувствующей и осознающей себя сущности – предположительно, человека.

Безотносительно к невычислительной природе упомянутых качеств, можно поинтересоваться, являются ли «красота» и «доброта» идеями абсолютными в платоновском смысле этого слова, где определение «абсолютный» применимо только к истине⁷⁰ – в особенности, к математической истине. Сам Платон высказывался в поддержку такой точки зрения. Может быть, осознавая, мы каким-то образом связываемся с этими абсолютными, и именно в этом заключается уникальное предназначение сознания? Может быть, здесь и следует искать ключ к тому, чем наше сознание является в действительности и для чего оно нам дано? Не играет ли сознание роль своего рода «моста» между физическим миром и миром платоновских абсолютных? Эти вопросы мы еще раз затронем в последнем параграфе книги.

Вопрос об абсолютной природе нравственности имеет самое прямое отношение к юридическим проблемам, описанным в §1.11. Некоторым образом связан с ним и вопрос о сущности «свободы воли», поставленный в конце §1.11: возможно ли, что есть нечто, что не определяется наследственностью, влиянием окружения и всевозможными случайными факторами, – некая отдельная «самость», играющая ведущую роль в управлении нашими действиями⁷¹? Я думаю, что мы пока еще очень далеки от ответа на этот вопрос. С полной уверенностью я могу утверждать (и аргументированно доказывать) лишь одно: что бы ни управляло в конечном счете нашим поведением, это что-то в принципе находится за пределами возможностей тех устройств, которые мы сегодня называем «компьютеры».

⁶⁹ В.Э.: Можно. И то же самое относится и к эстетическим и нравственным и всем прочим критериям. Всё это делает мозговой компьютер, и всё это может – в принципе – делать также и другой компьютер.

⁷⁰ В.Э.: Да – только к истине. Все остальные критерии – относительны. Именно поэтому ценность (объективная ценность!) научного произведения определяется правильностью и новизной его идей – независимо от того, КАК оно написано: в докторской диссертации ли, в рецензируемом ли журнале, или в виде писем друзьям или в интернетовской дискуссии и т.д. А произведение художественное не имеет объективной ценности. Оно ценно лишь постольку, поскольку его таковым признают читатели (зрители, слушатели и т.д.). Именно поэтому ценность научных идей – если они истинны и новы – люди ОБЯЗАНЫ признавать, а ценность беллетристики – не обязаны.

⁷¹ В.Э.: Введение такой «самости» было бы новым, самостоятельным постулатом. Но вводить такой постулат нет необходимости (по «лезвию Оккама»), потому что всё прекрасно объясняется и без него.

§8.4. Опасности компьютерных технологий

Любые широко применяемые технологии несут с собой как блага, так и опасности. Так, помимо тех очевидных преимуществ, которые дают нам компьютеры, с быстрым развитием этой технологии связано и множество потенциальных угроз обществу. Одной из главных проблем, по-видимому, является чрезвычайная сложность всех совокупностей взаимосвязей, с которыми мы сталкиваемся благодаря компьютерам, – она приводит к тому, что ни один отдельно взятый индивидум сегодня просто не в состоянии охватить разумом ни происходящее в целом, ни его последствия. И дело не только в самих компьютерах и их технических возможностях, но еще и в почти мгновенной глобальной связи между объединенными в сеть компьютерами по всему миру. Часть возможных проблем находит отражение в нестабильном поведении фондового рынка, где сделки теперь совершаются практически мгновенно на основании общемировых компьютерных прогнозов. Здесь, пожалуй, проблема заключается не столько в недостатке понимания каждым отдельным человеком всей взаимосвязанной системы как единого целого, сколько в нестабильности (не говоря уже о несправедливости), изначально заложенной в систему, которая идеально приспособлена для того, чтобы отдельные ее пользователи мгновенно сколачивали себе состояния путем опережения соперников в скорости счета или быстроте получения информации. Впрочем, вполне вероятно и то, что причиной различного рода нестабильностей и потенциальных опасностей станет одна лишь сложность системы как целого.

Подозреваю, что найдутся люди, которым возможный в недалеком будущем выход уровня сложности системы взаимосвязей за пределы человеческого понимания не покажется такой уж серьезной проблемой.⁷² Такие люди, возможно, верят в то, что когда-нибудь компьютеры и сами приобретут необходимое понимание системы. Однако, как мы могли убедиться, понимание отнюдь не относится к тем качествам, на которые компьютеры когда-либо окажутся способны, так что помощи с той стороны ждать не приходится.

Из одного лишь факта чрезвычайно быстрого развития компьютерных технологий (приводящего к тому, что компьютерная система чуть ли не на следующий день после своего появления на рынке становится морально устаревшей) вытекают и многие другие дополнительные проблемы. Необходимость в непрерывной модернизации и использование систем, зачастую не прошедших под давлением конкуренции надлежащих испытаний, – это лишь малая их часть, и в будущем ситуация вряд ли изменится к лучшему.

Глубинные же проблемы, с которыми мы только начинаем сталкиваться в новом высокотехнологичном, компьютеризованном и стремительно меняющемся мире, слишком многочисленны, и было бы безрассудством с моей стороны пытаться охватить их здесь все. Среди прочего в голову приходят разглашение частной информации, промышленный шпионаж и компьютерные диверсии. Еще одна тревожная возможность – «подделка» внешнего вида человека с целью использования, скажем, в телевизионной передаче для выражения мнений, какие «оригинал» ни в коем случае выразить не собирался.⁷³ Возникают и всевозможные социальные проблемы, не являющиеся непосредственно компьютерными, но с компьютерами так или иначе связанные – например, благодаря способности компьютеров замечательно точно записывать и затем воспроизводить музыку и изображение, таланты небольшой избранной группы исполнителей можно без труда распространить по всему миру, что, вероятно, поставит в весьма невыгодное положение остальных, не столь именитых артистов. С аналогичной проблемой мы сталкиваемся и в случае с так называемыми «экспертными системами», позволяющими поместить мастерство и опыт нескольких избранных специалистов – скажем, от юриспруденции или медицины – в код компьютерной программы, что может привести к нанесению ущерба остальным практикующим врачам и юристам.⁷⁴ Впрочем, думаю, что заменить специалиста-человека такие компьютерные экспертные системы вряд ли смогут (их удел – специалисту помогать), поскольку они не способны на понимание, которое может дать только личное общение.

⁷² В.Э.: Но ведь «все взаимосвязи» никогда не находились «в пределах человеческого понимания». Ни Чингисхан, ни Сталин, ни кто другой никогда не мог охватить всё и полностью контролировать ситуацию. Мир всегда – изначально – неся сам по себе, никем не управляемый и не контролируемый. Так он несет и сегодня. Что изменилось-то?

⁷³ Эту идею мне описал Жозель де Роснэ.

⁷⁴ В.Э.: Но ведь это всегда было. Кто-то входил в фавориты к королю или к диктатору (как Лысенко к Сталину) и наносил вред остальным... Что в принципе меняется от применения компьютеров?

Разумеется, есть у всех этих разработок и «светлая сторона» – если всё сделано правильно. Плоды мастерства других (неважно, художников или ремесленников) сегодня более доступны, и их может оценить гораздо большее количество людей.⁷⁵ Что касается проблемы сохранности частной информации, то уже сейчас существуют так называемые «шифры с открытым ключом» (см. [138]), которыми могут пользоваться как отдельные индивидуумы, так и небольшие компании (при этом не менее эффективно, нежели компании крупные), и которые, по-видимому, обеспечивают абсолютную защиту от «подслушивания». Использование таких шифров стало возможным лишь теперь, при наличии быстрых и мощных компьютеров – хотя эффективность этого способа шифрования до сих пор ограничена вычислительной сложностью факторизации больших чисел (возможно, здесь на смену обычным придут квантовые вычисления; некоторые идеи, указывающие на возможность создания в будущем квантовых компьютеров, изложены в §7.3, см. также [277, 278]). Как я упоминал в §8.1, возможно, что скоро для защиты от подслушивания мы будем использовать квантовую криптографию, эффективность которой также зависит от скорости выполнения значительных объемов вычислений. Очевидно, что нет однозначного способа оценить преимущества и опасности, порождаемые любой новой технологией, будь она непосредственно связана с компьютерами или нет.

В качестве заключительного комментария к таким компьютерно-социальным проблемам я хочу представить читателю небольшую вымышленную историю, которая в некотором роде выражает то беспокойство, которое я ощущаю в связи с возникновением целой новой области потенциальных проблем. Насколько мне известно, об этом новом классе «компьютерных» опасностей еще никто не говорил, однако мне они представляются весьма серьезными.

§8.5. Неправильные выборы

Приближается день долгожданных выборов. На протяжении последних недель были проведены многочисленные опросы общественного мнения. Результаты почти единодушно предсказывают отставание правящей партии по голосам на три–четыре процента. Как и ожидалось, имеются некоторые колебания и отклонения от этой цифры в ту или иную сторону – ожидалось, поскольку цифры в опросах базируются на относительно малых выборках (где-то в пределах нескольких сотен избирателей за раз), тогда как по населению в целом (несколько десятков миллионов человек) наблюдаются существенные изменения от места к месту. В самом деле, предел погрешности каждого из опросов и сам может составить те самые три–четыре процента, так что ни на один из опросов в действительности полностью положиться нельзя. И всё же в совокупности свидетельства производят куда более выгодное впечатление. Взятые вместе, результаты опросов демонстрируют гораздо меньшую погрешность, а согласие между ними нарушается как раз таким разбросом, какой предсказывает статистическая теория. Усредненным результатам теперь, наверное, вполне можно доверять, причем погрешность составляет менее двух процентов. Поговаривают, правда, что в канун дня выборов цифры в опросах заметно сместились в пользу правящей партии; а в сам день выборов кое-кого из ранее воздержавшихся (или даже из активных противников) вполне могут «уговорить» отдать-таки правящей партии свой голос. Однако даже если так, это смещение не принесет правящей партии большой пользы, разве что полученный в результате отрыв от ближайшего соперника составит не менее 8% голосов, поскольку только в этом случае правящая партия получит то минимальное большинство голосов, которое необходимо для того, чтобы предотвратить объединение своих противников в коалицию. Впрочем, опросы – это всего лишь предварительные прикидки, разве нет? Только подлинное голосование выразит действительную волю народа, а какова эта воля, мы узнаем из подсчета голосов в день выборов.

⁷⁵ В.Э.: Самое главное всё же – доступность информации по любому вопросу, причем – мгновенная. Так ли давно было то время, когда я за 200 рублей – целую месячную зарплату – с большими волнениями купил в антиквариате Большую советскую энциклопедию? И тайно мечтал: как бы мне приобрести Британскую... Попросить своих американских родственников – что ли? Но как привезти? И впусти ли советская таможня? Затея, конечно, осталась только в мечтах. Никого я так и не просил... А теперь передо мной все энциклопедии мира! И даже вытаскивать том и открывать листы не надо. Просто набрал в строке *Google*, скажем, «квантовый компьютер» и готово! – мне и статья Википедии, и целая куча других статей! Я до того распустился, что теперь охотнее ищу в Интернете, чем на собственной книжной полке (на полке еще фиг найдешь – эти книги так умеют прятаться!)

День выборов настал... и прошел. Голоса подсчитали, и результат почти для всех оказался полной неожиданностью – особенно для организаций, проводивших опросы и вложивших в них так много сил и умения (не говоря уже о репутации). Правящая партия остается у власти, получив вполне удовлетворительное большинство голосов – те самые 8% преимущества над ближайшими соперниками. Огромное количество избирателей пребывает в полном недоумении – и даже в ужасе. Другие, хотя и удивлены не меньше, но весьма довольны. Однако результаты выборов не соответствуют истине. Они были фальсифицированы с помощью хитроумных средств, и никто ничего не заметил. Заранее наполненных урн для голосования там не было, бюллетени никто не терял, не подменивал и не дублировал. Люди, занятые в подсчете голосов, сделали свое дело добросовестно и по большей части без ошибок. И всё же результаты выборов оказались чудовищно подтасованы. Как же так получилось, и кто это сделал?

Не исключено, что весь кабинет правящей партии в полном составе понятия не имеет о том, что произошло. Не факт, что кто-то из них является непосредственным виновником преступления, однако в выигрыше в результате оказываются они все. За кулисами скрываются другие, те, кто имеет основания опасаться за собственное существование, если правящей партии случится потерпеть поражение. Они входят в состав некоей организации, которая пользуется большим доверием у правящей партии (и не без причины!), чем у оппозиции, – партия не только строго и бережно хранит тайну темных делишек этой организации, но и способствует расширению ее деятельности. Хотя сама организация вполне законна, многое из того, чем она занимается, законным не назовешь, не чурается она и незаконных политических игр. Возможно, члены организации искренне (зablуждаться тоже можно искренне) опасаются, что противники правящей партии разрушат страну или даже «предадут» ее во имя чуждых идеалов иностранных держав. Есть в организации и свои эксперты – непревзойденные мастера – в области создания компьютерных вирусов!

Помните, что способен натворить компьютерный вирус? Ближе всего нам знакомы те, что в некий заранее назначенный день уничтожают всю информацию на дисках компьютера, этим вирусом зараженного. Бывает так, что пользователь сидит и с ужасом наблюдает, как буквы на дисплее его компьютера ссыпаются со своих мест в нижнюю часть экрана и исчезают. Бывает, на экране появляется какое-нибудь непристойное сообщение. В любом случае данные могут оказаться потерянными безвозвратно. Более того, если вставить в такой компьютер дискету и попытаться ее прочитать, то дискета тоже подхватит заразу и передаст ее при случае на другой компьютер. Замеченный вирус можно, в принципе, уничтожить с помощью антивирусной программы, но только в том случае, если природа вируса известна заранее. Если же вирус успел нанести удар, то поделаться уже ничего нельзя.

Такие вирусы обычно создают хакеры-любители, зачастую этими хакерами становятся разочаровавшиеся в жизни программисты, желающие кому-нибудь насолить по тем или иным причинам, иногда вполне объяснимым, иногда нет. Однако члены упомянутой организации – отнюдь не любители; им немало платят, и в своей области они настоящие профессионалы. Возможно, многие из их действий продиктованы подлинной заботой об интересах родной страны, но бывает, несомненно, и так, что по указанию своих непосредственных начальников они делают вещи, менее простительные с точки зрения морали. Созданный программистами организации для известной цели вирус невозможно засечь стандартными антивирусными программами, и сработать он должен лишь однажды, в заранее назначенный день – вождь правящей партии, конечно же, знает, на какой день назначены выборы, знают об этом и те, кому вождь доверяет. После того, как задание будет выполнено, – а на этот раз задание предстоит куда более тонкое, чем просто стереть данные, – вирус самоуничтожится, не оставив после себя ни единого следа, если не считать, разумеется, самого преступления.

Для того, чтобы такой вирус надлежащим образом сработал на выборах, необходимо, чтобы какой-то этап в подсчете голосов происходил без участия людей (считающих либо вовсе без применения техники, либо с помощью карманного калькулятора). (Вирус может инфицировать только универсально программируемые компьютеры.) Допустим, содержимое отдельных урн считают люди и считают правильно; однако результаты этих подсчетов необходимо складывать. Насколько же эффективнее, точнее, да и современнее складывать эти числа – а их там, может быть, сотни – на компьютере, нежели вручную или с помощью калькулятора! Разумеется, никаких ошибок здесь просто быть не может. Чей бы компьютер ни использовался для подсчета общей суммы, результат будет одинаковым. Члены правящей партии получают в точности тот же результат, что и их главные противники, равно как и любая из третьих

заинтересованных партий или вовсе нейтральный наблюдатель. Они даже могут использовать компьютеры разных моделей или марок, на результат это никоим образом не повлияет. Экспертам нашей злобещей организации об этих разных компьютерах известно всё – и для каждого заготовлен свой вирус. По своей структуре вирусы для разных систем несколько отличаются друг от друга, однако последствия их «работы» будут одинаковыми, а согласие между результатами, полученными с помощью различных машин, убедит даже самых упрямых скептиков.⁷⁶

Несмотря на то, что все машины дадут одинаковые цифры, цифры эти все до единой будут неверными. Все цифры хитроумно фабрикуются в соответствии с некоей точной формулой, зависящей до некоторой степени от реального распределения голосов, – отсюда согласие между результатами, полученными с помощью различных компьютеров, и смутное правдоподобие этих самых результатов, – с тем, чтобы дать правящей партии именно то преимущество, в котором она нуждается; и хотя доверчивость избирателей при этом подвергается некоторому испытанию, общий результат представляется вполне приемлемым. Всё выглядит так, будто значительное число избирателей в последнюю минуту решило проявить осторожность и проголосовать за правящую партию.

В гипотетической ситуации, описанной в этой истории, избиратели на самом деле вовсе не передумывали в последний момент, и результаты выборов оказались весьма далеки от истинного положения дел. Хотя написание ее меня вдохновили наши последние (1992 год) выборы в британский парламент, я должен особо подчеркнуть, что официально принятая в Великобритании система подсчета голосов возможность такого рода мошенничества полностью исключает. На всех этапах подсчет выполняется вручную. Может, конечно, показаться, что этот метод неэффективен и давно устарел, однако отказываться от него еще, как мне представляется, рано – по крайней мере, до тех пор, пока не будет создана система, снабженная простыми и исключаящими малейшее подозрение средствами защиты от подобного мошенничества.

С другой, более положительной, стороны, современные компьютеры предлагают замечательные возможности для введения систем голосования, в которых мнение избирателей будет представлено гораздо объективнее, чем сейчас. Здесь, разумеется, не место вдаваться в подробное обсуждение этих вопросов, однако суть такова, что новые системы позволяют избирателю не просто отдать свой голос за одного-единственного кандидата, но сообщить и множество иных сведений. Все эти сведения компьютерная система способна проанализировать мгновенно, и результат можно будет получить сразу же после окончания процедуры голосования. Однако, как показывает рассказанная выше история, применять такую систему следует крайне осторожно, даже если в ней предусмотрены всесторонние и общедоступные проверки, убедительно предотвращающие любое такое техническое мошенничество.

Осторожность следует проявлять не только на выборах; «вирусный» метод можно применить и в других ситуациях, например, подпортить банковские счета компании-соперника. Можно придумать множество различных способов вредоносного использования специально разработанных, незаметных и коварных компьютерных вирусов. Надеюсь, что моя история убедит читателей в том, что все действия компьютеров – даже самые очевидные действия даже самых надежных компьютеров – должны постоянно контролироваться человеком. И дело здесь не столько в том, что компьютеры ничего не понимают, сколько в том, что они крайне подвержены манипуляциям со стороны тех немногих людей, кто понимает все тонкости специфики их программирования.

§8.6. Физический феномен сознания

Во второй части книги мы, не выходя за пределы научно объяснимого, попытались отыскать, если можно так выразиться, место в физике, пригодное для размещения субъективного опыта. Как выяснилось, для успеха такого поиска сегодняшние границы научного понимания

⁷⁶ В.Э.: В этом рассказе упущено только одно – вирус еще надо засадить в те компьютеры, на которых будут считать голоса. А по рассказу Пенроуза «Члены правящей партии получают в точности тот же результат, что и их главные противники, равно как и любая из третьих заинтересованных партий или вовсе нейтральный наблюдатель». То есть, вирусы надо занести и в компьютеры «главных противников», и «третьих заинтересованных партий» и даже «нейтральных наблюдателей». А как они туда попадут? (Помещения же, наверное, охраняются).

придется расширить. Я почти не сомневаюсь в том, что то фундаментальное изменение, которому неминуемо должна подвергнуться наша традиционная картина физической реальности, придет откуда-то со стороны феномена редукции квантового состояния. Прежде чем физика сможет смириться с чем-то, настолько чуждым всем современным физическим представлениям, как феномен сознания, следует ожидать полного пересмотра самих основ всех существующих философских воззрений на природу реальности. По этому поводу у меня есть кое-какие краткие замечания, которые я приведу очень скоро – в следующем, последнем, параграфе. А пока давайте попробуем ответить на несколько более простой вопрос: где в известном физическом мире, учитывая предложенные на этих страницах доказательства, можно надеяться отыскать сознание?

Необходимо с самого начала внести полную ясность: выводы из упомянутых доказательств и прочих моих рассуждений носят, по большей части, «отрицательный» характер. Мы убедились, например, что современные компьютеры сознанием не обладают, но мы по-прежнему слабо представляем себе, что именно в объекте приводит к возникновению у него сознания. Основываясь на собственном опыте, мы полагаем (по крайней мере, пока), что феномен этот обычно присущ биологическим структурам. На одном конце шкалы у нас люди, и тут, конечно же, сомнений почти нет – что бы ни представляло собой в действительности сознание, оно, в нормальном своем состоянии, так или иначе связано с бодрствующим (а возможно, и со спящим) человеческим мозгом.

Что же мы видим на другом конце шкалы? Я убежден, что фокус нашего внимания следует переместить с нейронов на микротрубочки цитоскелета: именно там, вероятнее всего, возникают коллективные (когерентные) квантовые эффекты – а без такой квантовой когерентности не будет и новой ОР-физики, которая, как мне представляется, должна стать необходимым невычислимым условием для объяснения феномена сознания в научных терминах. Однако цитоскелеты есть у всех эукариотических клеток – клеток, из которых состоят растения и животные; эукариотами являются и одноклеточные организмы, такие как парамеции и амёбы, но не бактерии. Следует ли из этого, что парамеция также обладает некоторым зачаточным сознанием? Возможно ли, чтобы парамеция «знала» (в любом смысле этого слова), что делает? А что же отдельные клетки человеческого тела – клетки мозга, например, или клетки печени? Может быть, когда мы поймем физическую природу процесса осознания настолько хорошо, что будем в состоянии ответить на эти вопросы, нам придется признать, что ничего такого уж нелепого в этих предположениях нет. Я не знаю. Знаю я лишь то, что проблема эта является целиком и полностью научной, а это значит, что когда-нибудь решение неизбежно будет найдено, вне зависимости от того, насколько далеки мы от этого решения сейчас.

Иногда утверждают – исходя из общих философских принципов, – что узнать, обладает ли способностью к осознанию какое бы то ни было существо, отличное от тебя самого, принципиально невозможно, не говоря уже о том, чтобы выяснить, нет ли каких-нибудь зачатков сознания у парамеции. Думаю, такая позиция чересчур узка и пессимистична. В конце концов, когда речь идет об установлении факта наличия у некоего объекта того или иного физического свойства, никто же не настаивает на абсолютной уверенности. Настанет время, и на вопросы, касающиеся способности к осознанию, мы будем отвечать с той же степенью уверенности, с какой сегодняшние астрономы высказываются о небесных телах, удаленных от нас на многие световые годы. Еще совсем недавно ученые утверждали, что нам никогда не узнать, из чего состоят Солнце и звезды и что находится на обратной стороне Луны. Сегодня у нас есть подробные карты обратной стороны Луны (фотосъемка из космоса), а состав Солнца изучен до мельчайших подробностей (наблюдение линий солнечного спектра, а также тщательное и подробное моделирование физических процессов, происходящих внутри Солнца). Известен нам и подробный состав далеких звезд, причем с очень хорошей точностью. Мы можем даже сказать (и в некоторых отношениях сказать точно), из чего состояла вся Вселенная на начальных этапах ее развития (см. конец §4.5).

Однако в отсутствие необходимых теоретических идей суждения относительно обладания сознанием не выходят (по большей части) из разряда предположений. Мое собственное предположение по этому поводу таково: с некоторых пор я совершенно уверен, что на планете Земля сознание не является исключительной прерогативой человека. В одной из наиболее захватывающих телевизионных программ Дэвида Аттенборо⁷⁷ был эпизод, после просмотра которого зрителям было трудно не поверить не только в то, что слоны, например, способны на

⁷⁷ «Слоны» (*Echo of the elephants*, BBC, январь 1993).

сильные чувства, но и в то, что чувства эти не так уж далеки от тех, из каких в человеческих обществах возникают религии. Вожак стада – самка, потерявшая около пяти лет назад сестру, – ведет стадо на место ее гибели, значительно отклоняясь от обычного маршрута; прибыв на место и обнаружив останки, вожак очень осторожно поднимает с земли череп, а затем слоны начинают передавать его друг другу, поглаживая хоботами. То, что слоны способны и на понимание, убедительно, хотя и жутковато, показано в другой телевизионной программе.⁷⁸ Фильм, отснятый с вертолета, участвующего в операции, деликатно называемой «отбраковкой», очень хорошо передает ужас, охватывающий слонов, когда они до конца осознают, что происходит, и понимают, что никто из стада живым отсюда не уйдет.

Множество свидетельств имеется и в пользу наличия сознания (и самосознания) у человекообразных обезьян, и я почти не сомневаюсь, что феномен сознания присущ и животным формам, значительно менее «высокоорганизованным». Например, в еще одной телевизионной программе⁷⁹ – рассказывающей о чрезвычайной ловкости, решительности и изобретательности белок (некоторых) – меня особенно поразил фрагмент, в котором белка сообразила, что перекусив проволоку, она сможет освободить контейнер с орехами, подвешенный на некотором расстоянии от нее. Вряд ли этот акт понимания был инстинктивным или вытекал из какого-то прошлого опыта белки. Для того, чтобы оценить, насколько положительным окажется результат ее действия, белка должна была понять хотя бы на элементарном уровне топологию всей конструкции (см. также §1.19). Мне представляется, что в данном случае мы наблюдали проявление подлинного воображения⁸⁰ – а для этого, разумеется, необходимо сознание!

⁷⁸ «Если не пойдут дожди» (*If the rains don't come*, BBC, сентябрь 1993).

⁷⁹ «Грабеж среди бела дня» (*Daylight robbery*, BBC, август 1993).

⁸⁰ **В.Э.:** Говоря о проявлениях «сознания» у животных, Пенроуз опять идет «от слова к объекту»: сначала есть «сознание», а потом начинает гадать – есть оно у слонов? есть оно у белок? и т.д. Более верным (как обычно) является путь «от объекта к слову». Конечно, все животные, так же, как и человек, являются материальными системами, управляемыми мозговым компьютером. Разумеется, этот компьютер самопрограммирующийся, и многие принципы его операционной системы (выработанные естественным отбором на ранних этапах филогенеза) совпадают у животных с человеком. Поэтому вопрос стоит так: какого качества и какой сложности мозговые программы способны создавать аппараты самопрограммирования того или иного биологического вида? Почти в любом учебнике по психологии можно найти описания классических опытов (Кёлера и др.): **1)** Птицы не способны составить программы, которые предусматривали бы обход препятствия. Не буду описывать классический опыт Кёлера с курами (который я пересказывал в своих сочинениях уже столько раз, что он мне порядком надоел). Расскажу свое собственное наблюдение. Из окна моей квартиры видны два двора (разных домов). Они разделены проволочным забором высотой где-то 1,5 – 2 метра. Разумеется, забор прозрачный: клетки сплетенной проволоки имеют размер ок. 5 см. И вот, в соседнем дворе хозяйка бросает в окно на землю кусочки хлеба – прямо рядом с забором. Голуби стайей бросаются на хлеб. А с нашей стороны забора бегают туда-сюда один голубь, отчаянно желая тоже принять участие в общем пире, происходящем в двух метрах от него. Что стоит голубю перелететь забор высотой в 2 метра?! Но он так и остался голодным! **2)** Задачи с обходом препятствия запросто решаются собаками. Кёлер, находясь в комнате вместе с собакой, бросал в зарешеченное окно кусок мяса; собака порывалась прыгнуть в окно за мясом, но решетка не давала; тогда собака кидалась в противоположную сторону, к двери и через коридор выбегала на улицу. **3)** Но собаки не способны составлять мозговые программы, в которых, помимо самого субъекта (собаки) и объекта (мяса) участвовал бы еще и третий предмет. Тысячу раз описывался опыт, где собака находилась в зарешеченной клетке; за решеткой лежал желанный кусок мяса, обвязанный веревкой, конец которой находился в клетке. Собаке нужно было только, говоря словами Пенроуза, «понять топологию конструкции», схватить в зубах веревку и притянуть к себе мясо. Но вместо этого она лишь бегала туда-сюда и скулила. **4)** Задачи, включающие третий предмет, элементарно и моментально решаются обезьянами. Они не только тянут за привязанные веревки, но и сами ищут и достают подходящие палки, а вошедший в историю науки знаменитый шимпанзе Султан даже из двух трубок, всунув одну в другую, соорудил более длинную палку, когда в окрестностях не было достаточно длинной. В оправдание птиц и собак нужно сказать, что их аппараты самопрограммирования приспособлены к тому образу жизни, который они ведут в природе. Птицы если что-то интересное видят, то и летят прямо к нему. А если объект закрывается препятствием, то они его и не видят. Летать в обход чего-то им практически никогда не нужно. Предки собак – волки – преследуя добычу стайей, предусматривают возможный внезапный поворот добычи вправо или влево, и поэтому некоторые особи стаи заблаговременно отклоняются в стороны, чтобы пресечь возможный маневр жертвы. А для этого нужно гораздо большее «пространственное воображение», нежели у птиц. Но третьи предметы волки в свои расчеты не включают; в них фигурируют только «я» и «жертва». Что же касается описанной Пенроузом белки, то ее аппарат самопрограммирования по части «понимания топологии конструкции» очевидно превосходил аппарат собак и приближался уже к аппарату обезьян. Но надо

Почти не остается сомнений и в том, что сознание может «присутствовать» в разной степени – между «в полном сознании» и «без сознания» возможны и другие состояния. О себе, например, я могу сказать совершенно определенно: иногда я чувствую себя более «в сознании», иногда – менее (скажем, во время сна сознание присутствует в гораздо меньшей степени, чем когда я бодрствую).

Насколько же далеко мы должны зайти в наших поисках? На этот счет существуют самые различные мнения. Что касается меня, то я с трудом представляю себе, что сознанием (в какой бы то ни было степени) могут обладать насекомые – особенно после того, как я увидел документальный фильм о жизни насекомых, где было показано, как некий жук с жадностью пожирает другого жука, совершенно, по всей видимости, не обращая внимания на то, что его самого в это время ест третий. Тем не менее, как упоминалось в §1.15, поведение простого муравья отличается чрезвычайной сложностью и точностью. Надо ли полагать, что замечательно эффективные управляющие системы муравья работают вовсе без участия того принципа (каким бы он ни был), благодаря которому мы сами получаем способность понимать? Управляющие нейроны муравья также не лишены цитоскелетов, и если в этих цитоскелетах имеются микротрубочки, способные поддерживать квантовокогерентные состояния, которые, согласно моему предположению, играют ключевую роль в процессе осознания, то не следует ли из этого, что муравей является счастливым обладателем того же самого неуловимого сознания, что и мы с вами? Если же микротрубочки в человеческом мозге и в самом деле обладают той неимоверной сложностью, что необходима для поддержания коллективных квантовокогерентных процессов, то не совсем понятно, почему естественный отбор развил такую способность только в нас и в наших ближайших многоклеточных родственниках (в некоторых из них, по крайней мере). Такие квантовокогерентные состояния могли оказаться весьма полезными и для первых эукариотических одноклеточных, хотя в чем эта полезность могла бы состоять, мы можем только предполагать.⁸¹

Одной лишь макроскопической квантовой когерентности для возникновения сознания, разумеется, недостаточно – иначе сознанием обладали бы и сверхпроводники! Однако вполне вероятно, что такая когерентность является частью того, что для сознания необходимо. Мозг обладает чрезвычайно сложной организацией, и поскольку сознание, по-видимому, представляет собой результат глобальной координации всевозможных мыслительных процессов, следует искать когерентность в масштабах, гораздо более крупных, нежели отдельные микротрубочки или даже целые цитоскелеты. Должна существовать существенная квантовая сцепленность между состояниями, поддерживаемыми внутри отдельных цитоскелетов во многих нейронах, – т.е. нечто вроде коллективного квантового состояния, охватывающего обширные области мозга. Однако и этого недостаточно. Для того, чтобы в системе могли происходить какие бы то ни было полезные невычислимые процессы – что я считаю существенной частью сознания, – необходимо, чтобы система была способна специфическим образом задействовать подлинно неслучайные (невычислимые) аспекты ОР-процедуры. Предположение, которое я сделал в §6.12, дает нам (по крайней мере) некоторое представление о соответствующих масштабах, начиная с которых можно говорить о каком-то существенном действии точной и математически невычислимой ОР-процедуры.

Таким образом, предложенные мною в настоящей книге соображения дают в некотором роде основу для высказывания правдоподобных догадок (пока, во всяком случае) относительно уровня, на котором можно ожидать возникновения способности к осознанию. Процессы, которые

учесть, что это тоже просто соответствует тому образу жизни, который белки ведут в природе. Во-первых, они, как и обезьяны, но в противоположность собакам, живут на деревьях. Поэтому свойства висящих предметов им гораздо лучше известны, чем собакам. Белка и в лесу перегрызает ножки шишек или гроздей орехов, чтобы те падали вниз, где она их подберет. А где тут «сознание» – «не сознание» – это просто вопрос терминологии. Лучше о «сознании» вообще не говорить, а говорить о мозговых программах и о тех задачах, которые способен решить тот или иной аппарат самопрограммирования.

⁸¹ В.Э.: Полезно не это таинственное пенроузовское «сознание», а способность составлять мозговые программы для определенных действий. Голубь в моем дворе поел бы, если бы смог составить себе программу действий, предусматривающую перелет через забор. Собака в клетке съела бы мясо, если бы смогла составить себе программу действий, предусматривающую захват зубами веревки. Но всё это программы в общем-то довольно сложные (попробуйте заставить настольный компьютер самостоятельно найти такие решения!), и требуются миллионы лет естественного отбора, чтобы такое выработать в биологических компьютерах.

могут быть адекватно описаны в рамках вычислимой (или случайной) физики, не могут, согласно моей точке зрения, иметь отношения к сознанию. С другой стороны, даже существенное участие точной невычислимой OR-процедуры само по себе вовсе не обязательно подразумевает наличие сознания – хотя и является, на мой взгляд, необходимым для этого условием. Разумеется, критерию не достает определенности, однако ничего лучшего на данный момент у меня нет. Посмотрим, далеко ли он нас заведет.

Будем исходить из сделанных в §6.12 предположений относительно того, где должна проходить граница между классическим и квантовым уровнями, а также из изложенных в §7.5–§7.7 биологических умпостроений, согласно которым эту границу, возможно, следует искать где-то в области сопряжения внутренних и внешних процессов в системах микротрубочек клетки или совокупности клеток. В качестве существенного дополнения заметим, что если редукция вектора состояния происходит просто потому, что рассматриваемая система оказывается сцеплена с слишком большим объемом окружения, то процедуру OR можно считать эффективно случайным процессом, для описания которого вполне пригодна стандартная FAPP-аргументация (представленная в общих чертах в §6.6); процедура OR в данном случае полностью идентична процедуре R. Необходимо, чтобы эта редукция происходила в точности тогда, когда начинают действовать невычислительные (и пока неизвестные) правила нашей гипотетической OR-теории. Хотя об этих правилах мы ничего не знаем, мы можем (по крайней мере, в принципе) составить некоторое представление о том уровне, на котором теория начинает соответствовать реальности. Таким образом, для того, чтобы упомянутые невычислимые аспекты процедуры OR смогли сыграть свою роль, необходимо, чтобы та или иная квантовая когерентность поддерживалась до тех пор, пока перемещение вещества (вследствие взаимодействия между внутренними и внешними микротрубочковыми процессами) не достигнет определенного предела, как раз достаточного для того, чтобы OR-процедура произошла прежде, чем успеет вмешаться случайное окружение.

Что касается микротрубочек, то я предлагаю следующую картину: внутри трубок происходят «квантовокогерентные колебания», слабо связанные с вычислительной «клеточно-автоматной» активностью, обусловленной конформационными переходами димеров тубулина на внешней поверхности трубок. Пока квантовые колебания остаются изолированными, уровень для OR слишком низок. Однако, поскольку процессы внутри и снаружи связаны, квантовое состояние вскоре захватывает тубулины, и на некотором этапе происходит редукция (OR). Необходимо, чтобы OR происходила прежде, чем с квантовым состоянием окажется сцеплено микротрубочковое окружение, потому что как только возникает такая сцепленность, невычислимые аспекты OR-процедуры теряются, и она превращается в «обычную» R-процедуру.

Итак, остается лишь выяснить, достаточна ли конформационная активность тубулина в отдельной клетке (в парамеции, например, или в клетке человеческой печени) для того, чтобы обусловленное ею перемещение масс удовлетворило бы критерию из §6.12 и процедура OR произошла бы именно тогда, когда нужно, или же этой активности недостаточно, и OR задержится до тех пор, пока окружение и в самом деле не возмутится, – и игра (призом в которой невычислимость) будет проиграна. Судя по первому впечатлению, так оно и есть – конформационная активность тубулина перемещает слишком малое количество вещества, и на требуемом уровне никакой OR-процедуры не происходит. Если же клеток много, ситуация выглядит гораздо более многообещающей.

Возможно, глядя на такую картину (в ее теперешнем виде) действительно не остается ничего другого, как предположить, что невычислительные условия для появления сознания могут возникнуть только в больших совокупностях клеток, что мы и имеем в случае достаточно большого мозга.⁸² Однако я порекомендовал бы соблюдать (по крайней мере, на данном этапе) известную осторожность. Как физические, так и биологические аспекты предлагаемой картины сформулированы слишком приблизительно, чтобы можно было прямо сейчас делать какие-то однозначные выводы в отношении следствий из той точки зрения, которую я здесь представляю. Очевидно, что даже с учетом рассмотренных выше конкретных предложений потребуется еще немало исследований, как физических, так и биологических, прежде чем мы сможем сделать

⁸² Здесь можно поразмышлять на тему отсутствия (как правило) центриолей в нейронах (см. с. 557). Цитоскелеты клеток других типов, похоже, нуждаются в наличии центросом с тем, чтобы те выполняли функции «управляющего центра» (необходимого для деления клетки), цитоскелеты же нейронов, по всей вероятности, полагаются на власти более глобальные!

сколько-нибудь обоснованное предположение относительно места сознания в материальном мире.

Следует обратить внимание и на некоторые другие вопросы. Например, какая часть мозга действительно задействована в поддержании состояния сознания? Вероятнее всего, весь мозг для этого не требуется. Похоже на то, что многие функции мозга с сознанием никак не связаны. Взять хотя бы мозжечок (см. §1.14), который, как это ни поразительно, работает абсолютно бессознательно. Именно мозжечок отвечает за координацию и точность наших действий в тех случаях, когда эти самые действия выполняются без участия сознания (см., например, НРК, с. 379–381). Из-за полной бессознательности его функций мозжечок часто называют «просто компьютером». Было бы, несомненно, весьма поучительно выяснить, есть ли какие-нибудь различия (и если есть, то какие именно) между клеточной или цитоскелетной организациями мозжечка и головного мозга, поскольку именно с последним, по всей видимости, гораздо более тесно связано сознание. Интересно, что если судить лишь по количеству нейронов, то разница между мозгом и мозжечком невелика – в мозге нейронов всего лишь в два раза больше, чем в мозжечке, причем отдельные клетки в мозжечке образуют, в общем случае, значительно больше синаптических связей, чем клетки мозга (см. §1.14 и рис. 1.6). Очевидно, простым подсчетом нейронов тут не обойтись, следует искать глубже.⁸³

Возможно, что-либо поучительное удастся извлечь и из изучения процесса «научения», посредством которого движения, первоначально осознаваемые мозгом, переходят под бессознательный мозжечковый контроль.⁸⁴ Не исключено, что «обучающие процедуры» мозжечка окажутся очень похожими на те, с помощью которых приверженцы коннекционистской философии обучают искусственные нейронные сети. Впрочем, даже если так оно и есть и даже если верно также то, что в терминах таких процедур можно объяснить (хотя бы частично) работу мозжечка – что подразумевается, например, в коннекционистском подходе к исследованию зрительной коры,⁸⁵ – нет никаких оснований полагать, что то же непременно окажется верно и в случае тех аспектов деятельности головного мозга, которые связаны с сознанием. В самом деле, как свидетельствуют представленные в первой части книги доказательства, для объяснения высших когнитивных функций, непосредственно связанных с сознанием, необходимо нечто, в корне отличное от коннекционизма.

§8.7. Три мира и три загадки

Попробуем свести всё вышесказанное вместе. На протяжении всей книги мы пытаемся найти ответ на главный вопрос: как можно соотнести феномен сознания с нашим научным мировоззрением? Надо признать, я мало что могу сказать о сознании вообще. Поэтому я сосредоточился (в первой части) на одном частном ментальном качестве: способности к

⁸³ Поскольку в нейроанатомии я человек вполне посторонний, меня не мог не поразить факт наличия в организации мозга одной особенности (похоже, так и не нашедшей до сих пор объяснения), которой мозжечок не обладает. Большая часть сенсорных и двигательных нервов «идут наперекрест», т.е. левая сторона мозга отвечает в основном за правую сторону тела, и наоборот. И не только это – та область мозга, что обрабатывает зрительные образы, находится сзади, а та, что заведует ногами, находится вверху; так же обстоит дело и с ушами: сигналы из правого уха обрабатываются слева, а из левого – справа. Нельзя сказать, что эта особенность мозга носит абсолютно универсальный характер, но я не могу отделаться от ощущения, что это не случайно. Потому что мозжечок устроен иначе. Может ли быть так, что сознание каким-то образом выигрывает от того, что нервным сигналам приходится идти «длинной дорогой»? **В.Э.:** Нет, дело не в этом. Дело в том, что с точки зрения Естественного отбора более выгодно, чтобы орган и центр, управляющий им, находились по возможности дальше один от другого. Тогда удар, пришедшийся по одному из них, оставит в целости другое. Если бы, например, правые лапы животного управлялись бы правым же полушарием мозга, то удар, полученный им по правой стороне (в результате падения с высоты или нападения хищника и т.п.) уничтожил бы всю функциональность правой стороны, животное не смогло бы передвигаться и погибло бы. Если же правые лапы управляются левой стороной мозга, то удар, полученный правой стороной, заденет правые лапы и центры управления левыми лапами. Тогда поврежденными лапами всё же будет управлять здоровый центр, а поврежденный центр управлять здоровыми лапами. Таким образом, повреждения будут распределены по организму более равномерно, сохранится хоть какая-то функциональность, и у животного будет больше шансов выжить, пока оно не выздоровеет.

⁸⁴ **В.Э.:** Самопрограммирование происходит в «головном мозге», а готовые двигательные программы, видимо, переписываются в мозжечок для «автоматического выполнения».

⁸⁵ См. [257] и, напр., [38].

сознательному пониманию, в частности, к математическому пониманию. Только на примере этого ментального качества я смог достаточно убедительно показать, что возникновение способности к пониманию в результате какой бы то ни было чисто вычислительной активности решительно невозможно,⁸⁶ вычислением нельзя даже адекватно моделировать такую способность – особо следует отметить, что ничто в моих рассуждениях не указывает и на то, что математическое понимание в чем бы то ни было принципиально отличается от прочих видов понимания. Отсюда вывод: какая бы активность мозга ни отвечала за сознание (по крайней мере, в этом конкретном его проявлении), она должна основываться на физических процессах, описать которые численное моделирование неспособно. Во второй части мы попытались найти область в науке для соответствующего физического процесса, действительно способного вывести нас за пределы чистой вычислительности. Для того, чтобы охватить встающие перед нами при этом фундаментальные проблемы, я воспользуюсь в дальнейшем метафорой трех различных миров и трех «великих загадок», связывающих эти миры вместе. Миры в чем-то похожи на те, что описывал Поппер (см. [309]), однако акценты я расставляю совершенно иначе.

Наиболее близок нам мир наших сознательных восприятий – знание об этом мире мы получаем самым непосредственным образом и о нем же мы знаем меньше всего в смысле точного научного описания. В этом мире есть счастье, боль и цвет. В нем хранятся наши самые ранние детские воспоминания и ждет своего часа страх смерти. В нем – любовь, понимание, знание различных фактов, а также невежество и мстительность. Этот мир содержит образы столов и стульев, здесь запахи, звуки и всевозможные ощущения смешиваются с нашими мыслями и решимостью действовать.

Известны нам и два других мира – не так непосредственно, как мир восприятий, но зато об этих мирах мы знаем довольно много всего. Один из них мы называем физическим миром. В нем находятся настоящие столы и стулья, телевизоры и автомобили, люди, человеческие мозги и импульсы нейронов. В этом мире есть Солнце, Луна и звезды. В нем же – облака, ураганы, скалы, цветы и бабочки, а на более глубоком уровне – молекулы и атомы, электроны и фотоны, время и пространство. Еще там есть цитоскелеты, димеры тубулина и сверхпроводники. Не совсем ясно, почему мир восприятий должен иметь что-то общее с физическим миром, однако, судя по всему, так оно и есть.

Что касается второго мира из упомянутых двух, то само его существование многими ставится под сомнение. Речь идет о платоновском мире математических форм. Здесь обитают натуральные числа 0, 1, 2, 3, ... и алгебра комплексных чисел. Здесь мы найдем теорему Лагранжа⁸⁷ о том, что любое натуральное число есть сумма четырех квадратов, и самую знаменитую из теорем евклидовой геометрии – теорему Пифагора (о квадратах сторон прямоугольного треугольника). Где-то здесь находится правило $a \times b = b \times a$ для любых натуральных чисел и тот факт, что означенное правило не работает⁸⁸ в случае «чисел» некоторых других типов (например, тех, что участвуют в грассмановом произведении, упомянутом в §5.15). Этот же платоновский мир содержит геометрии, отличные от евклидовой, геометрии, в которых теорема Пифагора неверна. Здесь есть бесконечность и невычислимость, рекурсивные и нерекурсивные ординалы. Здесь незавершенное действие машины Тьюринга и машина с оракулом, а также многие классы математических задач, неразрешимые вычислительными

⁸⁶ В.Э.: Ход мыслей Пенроуза здесь таков: «вот, есть некоторый алгоритм А; в рамках этого алгоритма А понимание этого алгоритма А невозможно!» Разумеется, это невозможно. Но почему Пенроуз не смотрит на вещи так, как это есть на самом деле: что этот алгоритм А (и его окружение) подвергается (со стороны) анализу по алгоритмам В, С, D, E... (и вот, эта работа алгоритмов В, С, D, E... и есть то самое «понимание»). Почему-то Пенроуз рассматривает всю человеческую интеллектуальную деятельность только как работу одного алгоритма («машины Тьюринга»), а не как взаимодействие огромного множества мозговых программ (алгоритмов). Что это? Недостаток программистского опыта? (Я думаю – да; для программиста вообще весь ход пенроузовских мыслей представляется абсолютно неестественным). И еще: стереотипы «теории алгоритмов», с точки зрения настоящего программиста – страшно примитивные.

⁸⁷ В.Э.: Тут уже начинается путаница в этих «мирах». Давайте всё-таки уточним и разделим. В «платоновском мире» существует не «теорема Лагранжа», а собственно соотношение между числами, закономерность такая, что... (понятно, какая). А теорема эту закономерность описывает. Теорема – это текст, это утверждение, это высказывание, и существует она НЕ в «платоновском мире». То же самое о теореме Пифагора.

⁸⁸ В.Э.: Ой, какая неточность мысли и неточность слов! Не «правило не работает» для других чисел, а в других «числах» (т.е. в потенциальных продуктах других алгоритмов) не наблюдается упомянутая закономерность!

методами, такие как задача о замощении плоскости плитками полимино. В этом мире мы встретим электромагнитные уравнения Максвелла и гравитационные – Эйнштейна, равно как и бесчисленные удовлетворяющие им теоретические пространства-времена, как реалистичные физически, так и совершенно невероятные. Именно здесь пребывают математические модели столов и стульев, которыми можно воспользоваться в «виртуальной реальности», а также модели черных дыр и ураганов.

Имеем ли мы право утверждать, что платоновский мир действительно является «миром» – миром, который «существует» в том же смысле, в каком существуют прочие два мира⁸⁹? Читателю, возможно, покажется, что это вовсе не мир, а просто какой-то пыльный склад для абстрактных концепций, которые понапридумывали математики. Однако существование мира математических идей опирается на фундаментальный, вневременной и универсальный характер этих самых идей и на тот факт, что описываемые ими законы никоим образом не зависят от тех, кто их открыл. Этот «склад» (если это и впрямь склад) построен не нами. Натуральные числа были в этом мире задолго до того, как на Земле появились первые человеческие существа⁹⁰ – да и все остальные существа, если уж на то пошло, – и останутся после того, как вся жизнь во Вселенной исчезнет. То, что любое натуральное число есть сумма четырех квадратов, было истиной всегда, а вовсе не стало ею вдруг после того, как Лагранж призвал из небытия соответствующую теорему. Натуральные числа, настолько большие, что оказываются не по зубам любому компьютеру, какой вы можете вообразить, всё равно являются суммами четырех квадратов, пусть даже мы никогда и не узнаем, квадратов каких именно чисел. Всегда будет истинным утверждение, что общей вычислительной процедуры для установления факта незавершаемости действия машины Тьюринга не существует, и оно всегда было истинным, задолго до того, как Тьюрингу пришлось в голову его определение вычислимости.

Тем не менее, многие возражают, утверждая, что абсолютный характер математической истины никоим образом не является аргументом в пользу реальности «существования» математических концепций и математических истин. (Время от времени я слышу, что математический платонизм якобы устарел. Разумеется, мне известно, что сам Платон умер что-то около 2340 лет назад, однако едва ли это можно считать достаточной причиной! Более серьезную причину могут составить трудности, с которыми порой сталкиваются философы, пытаясь обосновать целиком и полностью абстрактный мир, способный оказывать реальное воздействие на мир физический.⁹¹ Эта фундаментальная проблема, собственно, является частью одной из тех загадок, к которым мы очень скоро перейдем.) На деле же идея реальности математических концепций вполне естественна для математиков, чего нельзя сказать о тех, кто никогда не испытывал радости исследования чудес и тайн того мира. Впрочем, на данном этапе от читателя не требуется соглашаться с тем, что математические концепции действительно образуют «мир», реальность которого сравнима с реальностью физического и ментального миров. Различия во взглядах на природу математических концепций для нас пока существенной роли не играют. Можете, если хотите, рассматривать «платоновский мир математических форм» как риторическую фигуру, введенную для удобства последующих рассуждений. Когда мы доберемся до трех загадок, связывающих эти три «мира», причина именно такого выбора слов, возможно, станет несколько яснее.

⁸⁹ В.Э.: Имеем. Но нужно при этом отдавать себе отчет в том, что это в точности означает. А означает это, что в мозговом компьютере представления (номиналии) объектов физического мира и объектов платоновского мира в принципе одинаковы и для самого мозгового компьютера по внутренним критериям неразличимы (различимы только по внешним, «логическим» соображениям). В этом смысле оба мира для мозгового компьютера одинаково реальны.

⁹⁰ В.Э.: Опять надо уточнить. «Задолго до того, как на Земле появились первые человеческие существа» имелись две вещи: 1) материальные множества и их соотношения в физическом мире; 2) потенциальная возможность создать программы классификации этих множеств и их соотношений (и когда бы они ни были созданы, в их потенциальных продуктах всегда вскрылись бы одни и те же закономерности). В этом смысле числа существовали всегда и будут существовать всегда. Но реально такие программы классификации были созданы только когда люди начали считать, и только тогда в их мозговых компьютерах появились номиналии, кодирующие числа. В этом смысле числа начали существовать только тогда. Понимать эти вещи важнее, чем просто перекидываться фразами, что «числа существовали всегда» или «числа были созданы людьми».

⁹¹ В.Э.: Абстрактный мир «реальное воздействие на мир физический» не оказывает, если не считать такие случаи, как когда человек при помощи математики просчитал проект моста, а потом его построил.

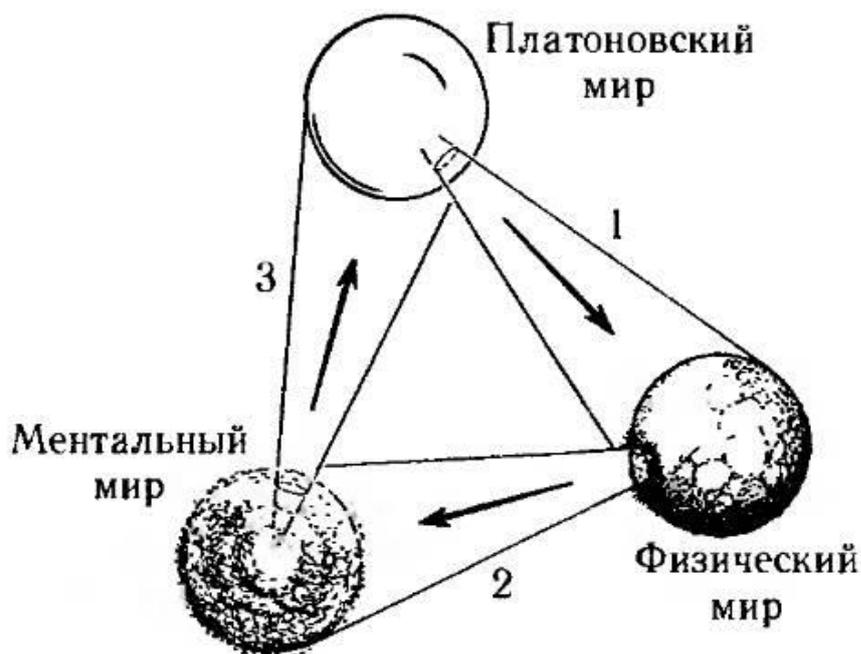


Рис. 8.1. Кажется, что каждый из трех миров – платоновский математический, физический и ментальный – неким таинственным образом «произрастает» из какой-то малой части своего предшественника (или, по крайней мере, очень тесно с этим предшественником связан).

Что же это за загадки? Для начала взгляните на рис. 8.1. Первая загадка: почему столь точные и фундаментальные математические законы играют такую важную роль в поведении физического мира⁹²? Кажется, что сам мир физической реальности каким-то таинственным образом возникает из платоновского мира математики.⁹³ Этот процесс проиллюстрирован направленной вниз стрелкой на рисунке справа – от платоновского мира к физическому. Вторая загадка: как физический мир порождает восприятие объектов в сознании? Каким таким таинственным образом сложно организованные материальные объекты производят из самих себя объекты ментальные⁹⁴? Этот процесс представлен на рис. 8.1 стрелкой внизу, направленной от физического к ментальному миру. И наконец, последняя загадка: как мысль «творит» из той или иной ментальной модели математическую концепцию⁹⁵? Эти по виду нечеткие, ненадежные и часто вовсе неподходящие ментальные инструменты, доставшиеся нам, похоже, в комплекте с ментальным миром, каким-то таинственным образом оказываются, тем не менее, способны (по

⁹² В.Э.: Это неверно. В действительности дело обстоит так. В физическом мире существуют материальные множества и между ними определенные соотношения. Математика начинается как человеческие мозговые алгоритмы, работающие с этими множествами и соотношениями (с их номиналиями). Поэтому уже с этих первых шагов существует соответствие (изоморфизм) между физическими множествами и мозговыми программами. Потом мозговые программы переносят акцент с первичных алгоритмов (работающих с номиналиями) на вторичные алгоритмы (работающие с нотатами). Алгоритмы становятся разнообразными и уже не всегда имеют изоморфизм с физическими множествами. Но тогда, когда этот изоморфизм всё же сохраняется, Пенроуз будет говорить, что «физический мир подчиняется математическим законам». На самом деле он «подчиняется» (если так вообще можно выражаться) сам своим собственным «законам», и при этом оказывается, что соотношения материальных множеств можно охарактеризовать теми или иными вычислительными алгоритмами математики.

⁹³ В.Э.: Такое ощущение свидетельствует о том, что мышление происходит недостаточно четко и ясно. У меня, например, нет такого ощущения, будто «мир физической реальности каким-то таинственным образом возникает из платоновского мира математики».

⁹⁴ В.Э.: На это отвечает теория информации (не та – шенноновская, а настоящая, материалистическая). Она показывает, как информация возникает, передается, обрабатывается. Весь «ментальный мир» – это «мир» обработки информации.

⁹⁵ В.Э.: На это отвечает Веданская теория. Она показывает, как компьютер, обрабатывающий информацию, создает абстрактные объекты («платоновского мира»).

крайней мере, когда они («в ударе») производят из пустоты абстрактные математические формы, открывая нам тем самым доступ, через посредство понимания, в платоновское царство чистой математики. Этот процесс символизирует стрелка слева на рисунке, направленная вверх, от ментального мира к платоновскому.

Сам Платон большое внимание уделял первой из этих стрелок (а также, на свой лад, третьей), и неустанно подчеркивал различие между совершенной математической формой и ее несовершенной «тенью» в физическом мире. Так, сумма углов математического треугольника (евклидова треугольника, обязательно уточним мы сегодня) составляет ровно два прямых угла, тогда как углы физического треугольника, сделанного, скажем, из дерева со всей точностью, на которую мы способны, образуют в сумме угол, величина которого очень близка к требуемой, но всё же не равна ей. Эти свои соображения Платон изложил в виде притчи. Он вообразил нескольких граждан, заточенных в пещере и прикованных таким образом, чтобы они не могли видеть находившихся за их спинами совершенных форм, отбрасывающих в свете костра тени на стену пещеры, доступную взорам прикованных граждан. Таким образом, люди непосредственно видели лишь несовершенные тени тех форм, к тому же искаженные неровным светом костра. Совершенные формы символизировали собой математические идеи, а тени на стене – мир «физической реальности».

Со времен Платона основополагающая роль математики в объяснении воспринимаемой структуры и действительного поведения физического мира возросла чрезвычайно. В 1960 году видный физик Юджин Вигнер прочел знаменитую лекцию под названием «Непостижимая эффективность математики в физических науках». В ней он отметил поразительную точность и хитроумную применимость замысловатых математических конструкций, которые физики регулярно и во всё больших количествах обнаруживают в своих описаниях реальности.

Для меня наиболее впечатляющим примером эффективности математики является общая теория относительности Эйнштейна. Нередко можно услышать, что физики всего лишь подмечают время от времени, где именно на этот раз математические концепции оказались хорошо применимыми к физическому поведению.⁹⁶ Утверждают, соответственно, что физики, как правило, направляют свои интересы в сторону тех областей, где имеющиеся математические описания работают; таким образом, нет ничего удивительного в том, что математические и физические описания так хорошо друг с другом уживаются. Мне, впрочем, представляется, что авторы подобных заявлений, что называется, попадают пальцем в небо. Они просто никак не объясняют то фундаментальное единство, которое, как показывает, в частности, теория Эйнштейна, существует между математикой и устройством мироздания.⁹⁷ Когда Эйнштейн разрабатывал свою теорию, никакой действительной необходимости в ней, с экспериментальной точки зрения, не было. Ньютонская теория тяготения держалась уже почти 250 лет и достигла за это время потрясающей точности (погрешность порядка одной десятиллионной – одно это является достаточно убедительным доказательством глубинной математической основы физической реальности). Да, в движении планеты Меркурий была замечена аномалия, однако это, разумеется, не послужило поводом для отказа от схемы Ньютона. И всё же Эйнштейн считал, что можно добиться лучшего результата, если изменить саму основу теории тяготения.⁹⁸ В первые годы после того, как Эйнштейн обнародовал теорию относительности, в поддержку ее можно было привести лишь несколько наблюдаемых эффектов, а преимущество над теорией Ньютона в точности было крайне незначительным. Теперь же, по прошествии 80 лет, общая точность теории относительности возросла в миллионы раз. Эйнштейн не просто «подметил» повторяющиеся

⁹⁶ В.Э.: Отчасти это так. Они действительно подмечают, где между математическими конструкциями и соотношениями физического мира существует изоморфизм (соответствие). Но не надо забывать, что это нечто гораздо большее, чем просто совпадение. Сама математика началась именно с этого изоморфизма, она с самого начала создавалась и строилась такой, чтобы этот изоморфизм существовал, она изначально предназначалась для использования такого изоморфизма. Поэтому изоморфизм между математическими конструкциями и соотношениями физического мира – это норма, и именно отклонениями от нормы можно считать те случаи, когда такого изоморфизма нет (когда «математическое изображение» превзошло «физический мир»).

⁹⁷ В.Э.: Я думаю, что Веданская теория объясняет. Тут, правда, остается вопрос: почему мир именно таков, каков он есть? Тут тоже кое-что можно было бы сказать, но это уже не касается взаимоотношений математики и физики.

⁹⁸ В.Э.: Ну, движущим мотивом-то наверно было не стремление «добиться лучшего результата» в смысле точности, а желание более глубоко понять сущность явлений.

особенности поведения физических объектов. Он обнаружил фундаментальную математическую субструктуру,⁹⁹ реально существующую и до тех пор скрытую в глубинах мироздания. Более того, он искал вовсе не какие-то физические феномены, которые могли бы подойти под красивую теорию. Он искал и нашел точное математическое соотношение, заложенное в самой структуре пространства и времени, – наиболее фундаментальное из всех физических понятий.

В основе всех других успешных теорий элементарных физических процессов всегда лежит некая математическая структура, которая оказывается не только чрезвычайно точной, но и весьма хитроумной математически. (А чтобы читатель не подумал, что «ниспровержение» прежних физических представлений – например, теории Ньютона – каким-то образом эти представления обесценивает и лишает смысла, спешу уверить, что это ни в коем случае не так. Если прежние идеи были достаточно обоснованы – что можно сказать, например, о теориях Галилея или того же Ньютона, – то они и дальше остаются в добром здравии и находят в новой схеме свое место.) Кроме того, и сама математика, в своем стремлении как можно точнее описать поведение природных объектов, находит для себя немало полезного, порой неочевидного и неожиданного. И квантовая теория (тесные взаимоотношения которой с математикой – через посредство комплексных чисел – очевидны, надеюсь, даже из того краткого обзора предмета, что попал на эти страницы), и общая теория относительности, и электромагнитные уравнения Максвелла – все они дали весьма ощутимый толчок развитию математики. Причем это верно не только для относительно новых теорий, что я перечислил. Не менее верно это и для теорий, куда более отдаленных от нас во времени, – например, для ньютоновской механики (давшей нам математический анализ) или древнегреческого анализа структуры пространства (которому мы обязаны самим понятием геометрии). Необычайная точность математики в описании физического поведения (например, точность квантовой электродинамики, достигающая одиннадцатого или даже двенадцатого знака после запятой) не раз удивляла ученых. Однако на этом загадки не заканчиваются. Концепции, скрывающиеся в физических процессах, обладают чрезвычайной глубиной, тонкостью и математической плодотворностью. Об этом люди зачастую и не подозревают – если, конечно, они не математики, вплотную занимающиеся соответствующей проблемой.

Следует особо подчеркнуть, что эта математическая плодотворность, дающая математикам ценный стимул в их работе, не является всего лишь следствием некоей математической моды (хотя и мода, надо признать, играет во всем этом свою роль). Идеи, которые были разработаны с единственной целью углубить наше понимание устройства физического мира, очень часто дают неожиданные и удивительно эффективные средства для решения других математических задач, которые уже какое-то время интенсивно и безуспешно пытаются решить другие люди совсем для других целей. В качестве одного из наиболее ярких недавних примеров можно привести найденное оксфордским математиком Саймоном Доналдсоном применение теорий типа Янга Миллса (разработанных физиками в процессе отыскания математического объяснения взаимодействий между субатомными частицами) к исследованию четырехмерных многообразий,¹⁰⁰ в результате чего были объяснены некоторые совершенно неожиданные их свойства, над которыми ученые бились в течение нескольких предыдущих лет. Что самое интересное, все эти математические средства (несмотря на то, что мы и не подозревали об их существовании, пока нас не посетило соответствующее озарение) вечно пребывают в безвременьи платоновского мира – неизменные истины, ожидающие своего открытия и открывающиеся лишь тем, кто обладает достаточным мастерством, пронизательностью и упорством.

Надеюсь, мне удалось убедить читателя в существовании тесной и вполне реальной (хотя и всё еще крайне загадочной) взаимосвязи между платоновским математическим миром и миром физических объектов. Надеюсь также, что само наличие такой взаимосвязи поможет скептикам отнестись к платоновскому миру именно как к «миру» несколько более серьезно, нежели они полагали для себя возможным прежде. Может быть, кто-то даже шагнет еще дальше, на что я в рамках данного обсуждения не осмелился. Возможно, реальностью в платоновском смысле следует наделять и прочие абстрактные концепции, а не только математические. Сам Платон настаивал, что идеальные понятия «добра» и «красоты» реальны (см. §8.3) ничуть не меньше,

⁹⁹ В.Э.: Нет, не «математическую субструктуру», а просто «субструктуру» (т.е. физическую), которую можно охарактеризовать такими-то, вот, математическими конструкциями.

¹⁰⁰ [96]; неплохое изложение вопроса для нематематиков имеется в [89] (гл. 10).

чем математические идеи.¹⁰¹ Лично у меня такая возможность никакого неприятия не вызывает, однако в моих размышлениях здесь она пока не играет сколько-нибудь серьезной роли. Я не уделил вопросам этики, морали и эстетики надлежащего внимания, однако это не повод для того, чтобы напрочь отказывать им в той же «реальности», какая досталась концепциям, которые рассмотрения удостоились. Безусловно, есть множество важных и разнообразных вопросов, которые следует изучить в этой связи, однако цели, что я ставил перед собой при написании этой конкретной книги, несколько уже.¹⁰²

Не уделил я большого внимания и собственно загадке (стрелка 1 на рис. 8.1) той непостижимой и абсолютной роли, что платоновский математический мир играет в физическом мире, – даже того, что получили другие две, о которых мы имеем еще меньшее представление. В первой части я обращался, по большей части, к вопросам, поднимаемым третьей стрелкой: загадкой нашего восприятия математического мира, т.е. выяснением природы процесса, посредством которого сознательное размышление способно «порождать», словно из ничего, те самые платоновские математические формы. (Как будто совершенные математические формы суть лишь тени наших несовершенных мыслей.) Такой взгляд на платоновский мир – как на продукт нашего сознания – весьма серьезно противоречит воззрениям самого Платона. Для Платона мир совершенных форм первичен, поскольку лежит вне времени и не зависит от человека. В истинно платоновском представлении мою третью стрелку на рис. 8.1 следует, очевидно, направить не вверх, а вниз: от мира совершенных форм к миру нашего сознания. Если же мы рассматриваем математический мир как продукт наших способов мышления, то это будет уже не платоновское представление, которого я здесь придерживаюсь, а самое настоящее кантианство.

Возможно, кому-то захочется аналогичным образом оспорить и направления остальных моих стрелок. Например, епископ Беркли, скорее всего, предпочел бы развернуть вторую стрелку, направить ее от ментального мира к миру физическому, поскольку, согласно его представлениям, «физическая реальность» есть лишь тень нашего ментального существования. Есть и такие (так называемые «номиналисты»), кто выступил бы за разворот первой стрелки, так как, по их мнению, мир математики является не более чем отражением аспектов мира физической реальности. Я сам, как явствует из этой книги, являюсь весьма решительным противником разворота первых двух стрелок; возможно, не менее очевидно и то, что я чувствую себя несколько неловко, будучи вынужден направить третью стрелку на рис. 8.1 в направлении, явно кантианском! Для меня мир совершенных форм первичен (как и для Платона) – существование этого мира является чуть ли не логической необходимостью, – оба же прочих мира суть его тени.¹⁰³

По причине такого расхождения во мнениях относительно того, какой из миров на рис. 8.1 следует считать первичным, а какие вторичными, я порекомендовал бы взглянуть на стрелки несколько иначе. Существенным качеством стрелок на рис. 8.1 является не столько их направление, сколько тот факт, что каждая представляет такое соответствие, при котором лишь малая область одного мира «порождает» весь следующий мир целиком. Что касается первой стрелки: мне много раз указывали на то, что огромная часть мира математики (если судить по результатам деятельности самих математиков) если и имеет какое-то отношение к действитель-

¹⁰¹ В.Э.: «Идеи» добра и красоты – это тоже потенциальные продукты мозговых алгоритмов (по которым субъект признает что-то добром или злом, а что-то красивым или уродливым). Они «абсолютны» в том смысле, что любой, кто будет применять тот же алгоритм, получит тот же результат. (Как и при классификации множеств, когда создаются числа). Но числа создаются при помощи очень простых алгоритмов, почти не допускающих вариантов, поэтому практически не возникают «разночтений» в понятии числа у разных людей. А «добро» и «красота» определяются по очень обширным, сложным алгоритмам, допускающим почти что бесконечное множество всяких вариантов, и поэтому людям почти невозможно договориться о том, какой же алгоритм «правильный». И в этом смысле понятия добра и красоты относительны.

¹⁰² Объекты, которые разместились бы в таком расширенном платоновском мире, несколько напоминают те ментальные конструкции, что содержит попперовский «Мир 3»; см. [309]. Однако «Мир 3» не претендует ни на вневременное, независимое от нас существование, ни на то, чтобы служить основой для физической реальности. Соответственно, статус его существенно отличается от статуса того «платоновского мира», что рассматриваем мы с вами.

¹⁰³ В.Э.: Марксистский «диалектический материализм» времен моей юности такую позицию характеризовал бы как «идеализм». Эта позиция, разумеется, очень тесно связана и с позицией Пенроуза в отношении «сильного ИИ». В общем это можно охарактеризовать словами: он не смог найти наиболее точную и адекватную модель мира и пользуется неточными, во многих аспектах неадекватными моделями.

ному физическому поведению, то весьма незначительное. Получите: в основе структуры нашей физической вселенной может лежать лишь крохотная часть платоновского мира. Аналогичным образом, вторая стрелка символизирует тот факт, что существование нашего ментального мира есть продукт очень малой части мира физического – той части, где имеются в точности те условия, что необходимы для возникновения сознания, как, например, в мозге человека. Точно так же третья стрелка захватывает весьма небольшую область мира ментальной активности, а именно ту, что «заведует» абсолютными и вневременными вопросами – в особенности, математической истиной. Наша с вами ментальная жизнь проходит, по большей части, совсем в других местах.

Есть нечто парадоксальное в этих соответствиях: каждый мир, похоже, «возникает» всего лишь из крохотной части того мира, что ему предшествует. На рис. 8.1 я постарался этот парадокс подчеркнуть. Впрочем, я рассматриваю стрелки не как утверждения о каких-то действительных «возникновениях», а просто как символы имеющихся соответствий, поскольку не хочу умножать предрассудки, и без того окружающие вопрос о том, какой из миров следует считать первичным, вторичным или третичным, если там вообще уместно такое «старшинство».

И всё же полностью избежать предрассудков (или просто предвзятости) на рис. 8.1 мне не удалось. Если верить рисунку, то следует предположить, что целый мир отражается частью (причем малой) своего предшественника. Возможно, мои предрассудки ошибочны. Возможно, какие-то аспекты поведения физического мира невозможно описать в точных математических терминах; возможно, какая-то ментальная жизнь не связана неразрывно с физическими структурами (такими, как мозг); возможно также, что существуют математические истины, которые принципиально недоступны человеческому пониманию или интуиции. Для того, чтобы учесть все эти альтернативные возможности, рисунок 8.1 следует перерисовать таким образом, чтобы какие-то из миров (или все) охватывались стрелкой из предыдущего мира не полностью.

В первой части я большое внимание уделил некоторым следствиям из знаменитой теоремы Гёделя о неполноте; кто-то из читателей, возможно, придерживается мнения, что теорема Гёделя как раз и утверждает, что в мире платоновских математических истин имеются области, принципиально недоступные человеческому пониманию или интуиции. Надеюсь, что мои доказательства ясно показали, что это не так.¹⁰⁴ Те математические предположения, что упоминаются в остроумном доказательстве Гёделя, человеку вполне доступны – при условии, что они построены в рамках математических (формальных) систем, которые уже приняты нами как достоверные средства оценки математической истинности. Из доказательства Гёделя отнюдь не следует, что существуют недоступные математические истины. Из него следует лишь, что человеческая интуиция не укладывается ни в рамки формальной аргументации, ни в рамки вычислительных процедур. Более того, из него недвусмысленно следует само существование платоновского математического мира. Математическая истина не определяется произвольным образом по правилам некоей «искусственной» формальной системы, но имеет абсолютный характер и находится вне любой такой системы устанавливаемых правил. Поддержка платоновского мировоззрения (в противовес формализму) была одной из важных причин, побудивших Гёделя взяться за работу. С другой стороны, рассуждения Гёделя могут служить иллюстрацией глубокой непостижимости нашего математического восприятия.¹⁰⁵ Для того, чтобы такое восприятие возникло, мы не просто «вычисляем»; тут на самом глубинном уровне задействовано что-то еще – что-то, что было бы невозможно без собственно осознания, которое, в конечном счете, и формирует мир восприятий.

Во второй части мы занимались в основном вопросами, имеющими отношение ко второй стрелке (хотя их адекватное рассмотрение невозможно без некоторых отсылок к стрелке первой), посредством которой плотный физический мир способен каким-то образом вызывать теневого феномен, называемый нами сознанием. Как же из таких, казалось бы, бесперспективных ингредиентов, как материя, пространство и время, возникает такой тонкий феномен, как сознание? До ответа мы так и не добрались, однако я надеюсь, что читатели смогли составить представление о загадочной природе как самой материи, так и пространства-времени, в рамках структуры

¹⁰⁴ Во введении в свою книгу [270] Мостовски ясно показывает, что аргументы, подобные гёделевским, не имеют никакого отношения к вопросу о возможности существования абсолютно неразрешимых математических задач. На настоящий момент вопрос следует считать полностью открытым – нет ни доказательства, ни опровержения. Как и в случае с двумя другими стрелками, нам остается лишь верить или не верить.

¹⁰⁵ В.Э.: Хе-хе!

которого оперируют теперь физические теории. Мы просто-напросто не располагаем достаточными знаниями ни о природе материи, ни о законах, которые этой материей управляют, – достаточными для того, чтобы понять, какая ее организация (в физическом мире) необходима, чтобы возникло осознающее себя существо. Более того, чем глубже мы исследуем природу материи, тем более эфемерной, таинственной и математической эта материя становится. Мы можем спросить: что же такое материя согласно лучшим теориям, которыми располагает на настоящий момент наука? Ответ мы получим математический, причем не столько в виде системы уравнений (хотя и уравнения тоже важны), сколько в виде тонких математических концепций, для одного лишь правильного понимания которых потребуется некоторое время.

Если общая теория относительности Эйнштейна показала, насколько могут измениться, приняв таинственный и математический вид, наши самые, казалось бы, незыблемые понятия о природе пространства и времени, то с концепцией материи аналогичную шутку сыграла квантовая механика. Глубокое потрясение испытали не только представления о материи, но и наше видение реальности вообще. Как может быть так, что одна лишь контрфактуальная возможность какого-либо события – т.е. что-то, чего в действительности не произошло, – оказывает вполне ощутимое воздействие на то, что в этой самой действительности происходит? При всей непостижимости проявлений квантовой механики в ней есть что-то такое, что по крайней мере кажется куда более близким (чем всё, что может предложить классическая физика) к другой непостижимости, – той, за которой скрывается объяснение феномена ментальности в мире физической реальности. Я нисколько не сомневаюсь в том, что с появлением более глубоких теорий сознание наконец займет свое место в физическом мире и перестанет выглядеть на его фоне той «белой вороной», какой оно выглядит сегодня.

В §7.7 и §8.6 я попытался ответить на вопрос, какие физические условия могут оказаться подходящими для возникновения феномена сознания. Я, однако, никоим образом не рассматриваю сознание исключительно как результат когерентного перемещения надлежащего количества вещества согласно правилам той или иной ОР-теории квантово-классического интерфейса. Как я, надеюсь, достаточно ясно показал, все эти вещи всего лишь дают возможность расчислить в пределах современной физической картины мира место для невычислительных процессов. Подлинное сознание предполагает способность осознавать бесконечное разнообразие качественно различных вещей – зеленый цвет травы, запах цветов, пение птиц или мягкость меха, а также течение времени, радость, беспокойство, удивление или отношение к новой идее. Мы имеем идеалы, питаем надежды, выражаем намерения и усилием воли управляем множеством различных движений нашего тела, необходимых для реализации упомянутых намерений. Благодаря исследованиям в области нейроанатомии, неврологических нарушений, психиатрии и психологии, мы многое знаем о тонких взаимосвязях между физическими свойствами мозга и нашими ментальными состояниями. Всё это мы, несомненно, вполне способны¹⁰⁶ объяснить в терминах одной лишь физики критических объемов когерентного перемещения вещества. Однако без прорыва в новую физику мы так и останемся связаны смиренной рубашкой полностью вычислительной (или вычислительной вперемешку со случайной) физики. Внутри мы не найдем научного объяснения ни интенциональности, ни субъективному опыту. Вырвавшись же из пут, мы получаем, по крайней мере, шанс когда-нибудь такое объяснение отыскать.

Многие, кто с этим согласится, добавляют, что объяснения таким вещам не даст никакая научная картина. Тем, кто придерживается подобных взглядов, я могу лишь пожелать проявить немного терпения: подождем и посмотрим, как продвинется наука в будущем. Я думаю, что уже сейчас имеются некоторые указания (в загадочных процедурах квантовой механики) на то, что ментальные концепции стали ближе к нашим представлениям о физической вселенной, нежели прежде, – пусть и всего лишь чуть ближе. Я убежден, что с обнаружением необходимых новых физических принципов эти указания станут куда более отчетливыми. Науке еще есть куда развиваться; уж в этом-то сомневаться не приходится.

Более того, сама возможность понимания таких вещей человеком многое говорит о тех способностях, что дает нам сознание. Следует признать, что время от времени встречаются люди – например, Ньютон и Эйнштейн, Архимед и Галилей, Максвелл и Дирак; или Дарвин, Леонардо

¹⁰⁶ В.Э.: Видимо, ошибка перевода, и должно быть «не способны» (нельзя – даже по мнению Пенроуза – всё это объяснить «в терминах одной лишь физики критических объемов когерентного перемещения вещества»).

да Винчи, Рембрандт, Пикассо, Бах, Моцарт, Платон или те великие умы, что смогли породить такие шедевры, как «Илиада» или «Гамлет», – которые, по-видимому, наделены способностью «чувствовать» истину или красоту в значительно большей степени, нежели отпущено остальным. Однако единство с этой природной механикой потенциально присутствует во всех нас, проявляясь в способности к сознательному пониманию и ощущениям, на каком бы уровне эти процессы ни происходили. Каждый осознающий себя мозг сплетен из тончайших физических составляющих, неясным пока образом извлекающих сознание из фундаментальной структуры математически обусловленной Вселенной – с тем, чтобы мы, в свою очередь, смогли, вооружившись платоновским «пониманием», получить своего рода прямой доступ к первопричинам функционирования Вселенной на всевозможных уровнях.

Вопросы эти чрезвычайно глубоки и пока еще очень далеки от объяснения. Я утверждаю, что однозначных ответов мы не получим до тех пор, пока не поймем, как именно взаимодействуют между собой все три мира.¹⁰⁷ Не получим мы ответов и в том случае, если будем пытаться разрешить каждый из вопросов отдельно от остальных. Я говорил о трех мирах и трех загадках, связывающих их друг с другом. Разумеется, в действительности миров вовсе не три – мир всего один, и о его истинной природе мы всё еще не имеем ни малейшего представления.

Эпилог

Джессика с отцом вышли из пещеры. Снаружи было уже совсем темно и тихо, в прозрачном небе начали появляться звезды. Джессика повернулась к отцу.

– Знаешь, пап, вот я смотрю в небо, и мне всё равно не верится, что Земля и вправду движется – и не только сама крутится вокруг оси, так еще и летит куда-то со скоростью сто тысяч километров в час, – хоть на самом деле я и знаю, что всё это должно быть правдой.

Она замолчала и некоторое время просто стояла, глядя на звезды.

– Пап, расскажи мне о звездах...

Послесловие в Векордии

2010.10.31 16:11 пятница
До Нового, 2011 года 7 часов и 49 минут

В.Э.: Итак, я «перепечатал» в Векордии полные тексты двух главных книг Роджера Пенроуза, посвященных проблеме интеллекта: «Новый Разум Короля» и «Тени Разума». Всё вместе это здесь заняло 9 томов.

Мартин Гарднер писал {PENRO1} в Предисловии к первой из них: *«Книга Пенроуза является самой мощной атакой на теорию сильного ИИ из всего написанного до сих пор».*

Именно так! – Именно так я воспринимал книги Пенроуза и именно поэтому перепубликовал их у себя вместе со своими комментариями.

Атаке Пенроуза нужно было дать отпор.

Мне уже говорили {PENRS1}, и несомненно сказали бы и в будущем еще много раз, что Пенроуз уже давным-давно опроверг всё то, о чем рассказывает Веданская теория. А теперь пусть попробует кто-нибудь сказать такое – пусть укажет, ГДЕ в этих девяти томах и КАК Пенроуз опроверг то, что утверждаю я!

В этом, разумеется, состояла главная цель данной публикации.

Безусловно, Пенроуз сам по себе очень интересный автор, и его книги очень ценны и познавательны. В мире есть тысячи, может быть, даже миллионы книг, нападающих на то, что можно было бы назвать по-Гарднеру «теорией сильного ИИ». Но подавляющее большинство из этих книг недостойны ни внимания, ни, тем более, помещения в Векордию и подробного разбора

¹⁰⁷ В.Э.: Это верно. Но я утверждаю, что я знаю, КАК они взаимодействуют.

здесь. Неинтересно и скучно разговаривать с людьми, «атакующими» нас с позиций какого-нибудь там «космического разума» или христианской веры.

Так что факт перепубликации в Векордии книг Пенроуза и моя критика его утверждений является с моей стороны не чем-то уничижительным к Пенроузу, а, наоборот, актом высшей похвалы. Пенроуз – достойный противник.

Большая часть фактов, приводимых Пенроузом, мне были известны и до него, но некоторые вопросы (а именно: связанные с квантовой механикой) после прочтения его книг стали мне яснее.

Нет сомнения, что Пенроуз – ученый, и крупный ученый. Его стремление создать «новую квантовую теорию» можно только приветствовать.

Но что касается «проблемы интеллекта», то здесь он находится во власти глобального заблуждения.

Истоки этого заблуждения не так просты, как можно было бы подумать. Сам он мотивирует и обосновывает свою позицию теоремой Гёделя {PENRO5}. Но тем, кто разбирается в людской психологии, должно быть ясно, что Пенроуз сначала не верит в ИИ, а потом уж он ищет какие-то логические обоснования своему неверию – и находит их в теореме Гёделя. А если пожелать найти причины этого первичного неверия, то их следует искать, скорее всего, в направлении полушарий мозга: Пенроуз сам говорит {PENRO5}, что он «тяготеет к геометрическим методам» (оно и понятно, если вспомнить все эти его «замощения»), что за это отвечает правое полушарие, а за аналитические способности – левое. Конечно, всё не так примитивно, но всё же я думаю, что это первоначальное неверие Пенроуза в ИИ начало берет там же, где и его «геометрические наклонности», а именно: в полушарии, противоположном аналитическому.

Однако, если отбросить психологические факторы и рассматривать только логические, то самый основной, самый фундаментальный ход пенроузовских мыслей таков: 1) теорема Гёделя(–Тьюринга) показывает, что алгоритм не может установить истину; 2) однако мы эту истину устанавливаем; 3) следовательно, наше мышление не алгоритмично; 4) но оно всё же может быть научно объяснено; 5) значит, объяснение должно быть неалгоритмично – невычислительно; 6) его надо искать в квантовой механике.

Но вся эта логическая цепочка неверна уже с самого первого шага: ничего такого ни теоремы Гёделя, ни теоремы Тьюринга не показывают – а после этого всё дальнейшее отпадает само собой.

И не показывают эти теоремы ничего потому, что опираются они на диагональный процесс Кантора. А про этот процесс можно сказать следующее. Если мы его применяем к продуктам алгоритмов, к «миру алгоритмов», то этот метод элементарно и вульгарно ошибочен. А чтобы сделать его не элементарно и вульгарно ошибочным, нужно выйти за пределы «мира алгоритмов», приняв определенный постулат (о равномощности бесконечных множеств). Но в таком случае этот метод уже ничего не может доказать относительно «мира алгоритмов», от которого он отрекся своим постулатом.

Вот и всё: либо одно, либо другое – и в обоих случаях в «мире алгоритмов» и истина алгоритмами все-таки устанавливается, и «строгий ИИ» запросто создается, и человеческое сознание мозговыми программами без труда объясняется.

В этом в общем-то и состоит мой ответ Роджеру Пенроузу – на том же уровне фундаментальности, на котором обитает его схема.

Валдис Эгле

31 декабря 2010 года

Литература

- [1] Aharonov, Y., Albert, D.Z. (1981). *Can we make sense out of the measurement process in relativistic quantum mechanics?* Phys. Rev., D24, 359–370.
- [2] Aharonov, Y., Vaidman, L. (1990). *Properties of a quantum system during the time interval between two measurements.* Phys. Rev., A41, 11.
- [3] Aharonov, Y., Anandan, J., Vaidman, L. (1993). *Meaning of the wave function.* Phys. Rev., A47, 4616–4626.
- [4] Aharonov, Y., Bergmann, P.G., Liebowitz, J.L. (1964). *Time symmetry in the quantum process of measurement.* В сб. *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler, W.H. Zurek). Princeton University Press, 1983; первоначально в Phys. Rev., B134, 1410–1416.
- [5] Aharonov, Y., Albert, D.Z., Vaidman, L. (1986). *Measurement process in relativistic quantum theory.* Phys. Rev., D34, 1805–1813.
- [6] Albert, D.Z. (1983). *On quantum-mechanical automata.* Phys. Lett., 98A (5, 6), 249–252.
- [7] Albrecht Buehler, G. (1981). *Does the geometric design of centrioles imply their function?* Cell Motility, 1, 237–245.
- [8] Albrecht Buehler, G. (1985). *Is the cytoplasm intelligent too?* Cell and Muscle Motility, 6, 1–21.
- [9] Albrecht Buehler, G. (1991). *Surface extensions of 3T3 cells towards distant infrared light sources.* J. Cell Biol., 114, 493–502.
- [10] Anthony, M., Biggs, N. (1992). *Computational learning theory, an introduction.* Cambridge University Press.
- [11] Applewhite, P.B. (1979). *Learning in protozoa.* В сб. *Biochemistry and physiology of protozoa.* Vol. 1 (ed. M. Levandowsky, S.H. Hunter), 341–355. Academic Press, New York.
- [12] Arhem, P., Lindahl, B.I.B. (ed.) (1993). *Neuroscience and the problem of consciousness: theoretical and empirical approaches.* В сб. *Theoretical medicine*, 14, Number 2. Kluwer Academic Publishers.
- [13] Aspect, A., Grangier, P. (1986). *Experiments on Einstein–Podolsky–Rosen type correlations with pairs of visible photons.* В сб. *Quantum concepts in space and time* (ed. R. Penrose, C.J. Isham). Oxford University Press.
- [14] Aspect, A., Grangier, P., Roger, G. (1982). *Experimental realization of Einstein–Podolsky–Rosen–Bohm Gedanken-experiment: a new violation of Bell's inequalities.* Phys. Rev. Lett., 48, 91–94.
- [15] Baars, B.J. (1988). *A cognitive theory of consciousness.* Cambridge University Press.
- [16] Bailey, T.N., Baston, R.J. (ed.) (1990). *Twistors in mathematics and physics.* London Mathematical Society Lecture Notes Series, 156. Cambridge University Press.
- [17] Baylor, D.A., Lamb, T.D., Yau, K.-W. (1979). *Responses of retinal rods to single photons.* J. Physiol., 288, 613–634.
- [18] Beck, F., Eccles, J.C. (1992). *Quantum aspects of consciousness and the role of consciousness.* Proc. Nat. Acad. Sci., 89, 11357–11361.
- [19] Becks, K.-H., Hemker, A. (1992). *An artificial intelligence approach to data analysis.* В сб. *Proceedings of 1991 CERN School of Computing* (ed. C. Verkerk). CERN, Switzerland.
- [20] Bell, J.S. (1964). *On the Einstein–Podolsky–Rosen paradox.* Physics, 1, 195–200.
- [21] Bell, J.S. (1966). *On the problem of hidden variables in quantum theory.* Revs. Mod. Phys., 38, 447–452.
- [22] Bell, J.S. (1987). *Speakable and unspeakable in quantum mechanics.* Cambridge University Press.
- [23] Bell, J.S. (1990). *Against measurement.* Physics World, 3, 33–40.
- [24] Benacerraf, P. (1967). *God, the Devil and Gödel.* The Monist, 51, 9–32.
- [25] Benioff, P. (1982). *Quantum mechanical Hamiltonian models of Turing Machines.* J. Stat. Phys., 29, 515–546.
- [26] Bennett, C.H., Brassard, G., Breidbart, S., Wiesner, S. (1983). *Quantum cryptography, or unforgeable subway tokens.* В сб. *Advances in cryptography.* Plenum, New York.
- [27] Bernard, C. (1875). *Leçons sur les anesthésiques et sur l'asphyxie.* J.B. Bailliere, Paris.
- [28] Blakemore, C., Greenfield, S. (ed.) (1987). *Mind-waves: thoughts on intelligence, identity and consciousness.* Blackwell, Oxford.
- [29] Blum, L., Shub, M., Smale, S. (1989). *On a theory of computation and complexity over the real numbers: NP completeness, recursive functions and universal machines.* Bull. Amer. Math. Soc., 21, 1–46.
- [30] Bock, G.R., Marsh, J. (1993). *Experimental and theoretical studies of consciousness.* Wiley.
- [31] Boden, M. (1977). *Artificial intelligence and natural man.* The Harvester Press, Hassocks.
- [32] Boden, M.A. (1990). *The creative mind: myths and mechanisms.* Wiedenfeld and Nicolson, London.

- [33] Bohm, D. (1952). *A suggested interpretation of the quantum theory in terms of "hidden" variables, I and II*. В сб. *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler, W.H. Zurek). Princeton University Press 1983. Первоначально в *Phys. Rev.*, 85. 166–193.
- [34] Bohm, D., Hiley, B. (1994). *The undivided universe*. Routledge, London.
- [35] Boole, G. (1854). *An investigation of the laws of thought*. 1958, Dover, New York.
- [36] Boolos, G. (1990). *On seeing the truth of the Gödel sentence*. *Behavioural and Brain Sciences*, 13 (4), 655.
- [37] Bowie, G.L. (1982). *Lucas' number is finally up*. *J. of Philosophical Logic*, 11, 279–285.
- [38] Brady, M. (1993). *Computational vision*. В сб. *The simulation of human intelligence* (ed. D. Broadbent). Blackwell, Oxford.
- [39] Braginsky, V.B. (1977). *The detection of gravitational waves and quantum non-disturbative measurements*. В сб. *Topics in theoretical and experimental gravitation physics* (ed. V. de Sabbata., J. Weber), 105. Plenum, London.
- [40] Broadbent, D. (1993). *Comparison with human experiments*. В сб. *The simulation of human intelligence* (ed. D. Broadbent). Blackwell, Oxford.
- [41] Brown, H.R. (1993). *Bell's other theorem and its connection with nonlocality*. Part 1. В сб. *Bell's Theorem and the foundations of physics* (ed. A. Van der Merwe, F. Selleri). World Scientific, Singapore.
- [42] Butterfield, J. (1990). *Lucas revived? An undefended flank*. *Behavioural and Brain Sciences*, 13 (4), 658.
- [43] Castagnoli, G., Rasetti, M., Vincenti, A. (1992). *Steady, simultaneous quantum computation: a paradigm for the investigation of nondeterministic and non recursive computation*. *Int. J. Mod. Phys. C*, 3, 661–689.
- [44] Caudill, M. (1992). *In our own image. Building an artificial person*. Oxford University Press.
- [45] Chaitin, G.J. (1975). *Randomness and mathematical proof*. *Scientific American* (May 1975), 47.
- [46] Chalmers, D.J. (1990). *Computing the thinkable*. *Behavioural and Brain Sciences*, 13 (4), 658.
- [47] Chandrasekhar, S. (1987). *Truth and beauty. Aesthetics and motivations in science*. The University of Chicago Press.
- [48] Chang, C.L., Lee, R. C.-T. (1987). *Symbolic logic and mechanical theorem proving*, 2nd edn (1 st edn 1973). Academic Press, New York.
- [49] Chou, S.C. (1988). *Mechanical geometry theorem proving*. Ridel.
- [50] Christian, J.J. (1994). *On definite events in a generally covariant quantum world*. Unpublished preprint.
- [51] Church, A. (1936). *An unsolvable problem of elementary numbertheory*. *Am. Jour. of Math.*, 58, 345–363.
- [52] Church, A. (1941). *The calculi of lambda-conversion*. *Annals of Mathematics Studies*, No. 6. Princeton University Press.
- [53] Churchland, P.M. (1984). *Matter and consciousness*. Bradford Books, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [54] Clauser, J.F., Horne, M.A. (1974). *Experimental consequences of objective local theories*. *Phys. Rev.*, D10, 526–535.
- [55] Clauser, J.F., Horne, M.A., Shimony, A. (1978). *Bell's theorem: experimental tests and implications*. *Rpts. on Prog. in Phys.*, 41, 1881–1927.
- [56] Cohen, P.C. (1966). *Set theory and the continuum hypothesis*. Benjamin, Menlo Park. CA.
- [57] Conrad, M. (1990). *Molecular computing*. В сб. *Advances in computers* (ed. M.C. Yovits), Vol. 31. Academic Press, London.
- [58] Conrad, M. (1992). *Molecular computing: the lock key paradigm*. *Computer* (November 1992), 11–20.
- [59] Conrad, M. (1993). *The fluctuon model of Force, Life, and computation: a constructive analysis*. *Appl. Math. and Comp.*, 56, 203–259.
- [60] Cooke, 1988.
- [61] Costa de Beauregard, O. (1989). В сб. *Bell's theorem, quantum theory, and conceptions of the universe* (ed. M. Kafatos). Kluwer, Dordrecht.
- [62] Craik, K. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge University Press.
- [63] Crick, F. (1994). *The astonishing hypothesis. The scientific search for the soul*. Charles Scribner's Sons, New York, and Maxwell Macmillan International.
- [64] Crick, F., Koch, C. (1990). *Towards a neurobiological theory of consciousness*. *Seminars in the Neurosciences*, 2, 263–275.
- [65] Crick, F., Koch, C. (1992). *The problem of consciousness*. *Scientific American*, 267, 110.
- [66] Curl, R.F., Smalley, R.E. (1991). *Fullerenes*. *Scientific American*, 265, No. 4, 32–41.
- [67] Cutland N.J. (1980). *Computability. An introduction to recursive function theory*. Cambridge University Press.
- [68] Davenport, H. (1952). *The higher arithmetic*. Hutchinson's University Library.
- [69] Davies, P.C.W. (1974). *The physics of time asymmetry*. Surrey University Press, Belfast.
- [70] Davies, P.C.W. (1984). *Quantum mechanics*. Routledge, London.

- [71] Davis, M. (ed.) (1965). *The undecidable – basic papers on undecidable propositions, unsolvable problems and computable functions*. Raven Press, Hewlett, New York.
- [72] Davis, M. (1978). *What is a computation?* В сб. *Mathematics today; twelve informal essays* (ed. L.A. Steen). Springer-Verlag, New York.
- [73] Davis M. (1990). *Is mathematical insight algorithmic?* Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 659.
- [74] Davis, M. (1993). *How subtle is Gödel's theorem?* Behavioural and Brain Sciences, 16, 611–612.
- [75] Davis, M., Hersch, R. (1975). *Hilbert's tenth problem*. Scientific American (Nov. 1973), 84.
- [76] Davis, P.J., Hersch, R. (1982). *The mathematical experience*. Harvester Press.
- [77] de Broglie, L. (1956). *Tentative d'interprétation causale et nonlinéaire de la mécanique ondulatoire*. Gauthier-Villars, Paris.
- [78] Deeke, L., Grötzinger, B., Kornhuber, H.H. (1976). *Voluntary finger movements in man: cerebral potentials and theory*. Biol. Cybernetics. 23, 99.
- [79] del Giudice, E., Doglia, S., Milani, M. (1983). *Self-focusing and ponderomotive forces of coherent electric waves – a mechanism for cytoskeleton formation and dynamics*. В сб. *Coherent excitations in biological systems* (ed. H. Fröhlich, F. Kremer). Springer-Verlag, Berlin.
- [80] Dennett, D. (1990). *Betting your life on an algorithm*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 660.
- [81] Dennett, D.C. (1991). *Consciousness explained*. Little, Brown and Company.
- [82] d'Espagnat, B. (1989). *Conceptual foundations of quantum mechanics*, 2nd edn. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- [83] Deutsch, D. (1985). *Quantum theory, the Church–Turing principle and the universal quantum computer*. Proc. Roy. Soc. (Lond.), A400, 97–117.
- [84] Deutsch, D. (1989). *Quantum computational networks*. Proc. Roy. Soc. (Lond.), A425, 73–90.
- [85] Deutsch, D. (1991). *Quantum mechanics near closed time-like lines*. Phys. Rev., D44, 3197–3217.
- [86] Deutsch, D. (1992). *Quantum computation*. Phys. World, 5, 57–61.
- [87] Deutsch, D., Ekert, A. (1993). *Quantum communication moves into the unknown*. Phys. World, 6, 22–23.
- [88] Deutsch, D., Jozsa, R. (1992). *Rapid solution of problems by quantum computation*. Proc. R. Soc. Lond., A439, 553–558.
- [89] Devlin, K. (1988). *Mathematics: the New Golden Age*. Penguin Books, London.
- [90] DeWitt, B.S., Graham, R.D. (ed.) (1973). *The many-worlds interpretation of quantum mechanics*. Princeton University Press.
- [91] Dicke, R.H. (1981). *Interaction-free quantum measurements: a paradox?* Am. J. Phys., 49, 925–930.
- [92] Diósi, L. (1989). *Models for universal reduction of macroscopic quantum fluctuations*. Phys. Rev., A40, 1165–1174.
- [93] Diósi, L. (1992). *Quantum measurement and gravity for each other*. В сб. *Quantum chaos, quantum measurement*; NATO ASI Series C. Math. Phys. Sci 357 (ed. P. Cvitanovic, I.C. Percival, A. Wirzba). Kluwer, Dordrecht.
- [94] Dirac, P.A.M. (1947). *The principles of quantum mechanics*, 3rd edn. Oxford University Press.
- [95] Dodd, A. (1991). *Gödel, Penrose, and the possibility of AI*. Artificial Intelligence Review, 5.
- [96] Donaldson, S.K. (1983). *An application of gauge theory to four dimensional topology*. J. Diff. Geom., 18, 279–315.
- [97] Doyle, J. (1990). *Perceptive questions about computation and cognition*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 661.
- [98] Dreyfus, H.L. (1972). *What computers can't do*. Harper and Row, New York.
- [99] Dummett, M. (1973). *Frege: philosophy of language*. Duckworth, London.
- [100] Dustin, P. (1984). *Microtubules*, 2nd revised edn. Springer-Verlag, Berlin.
- [101] Dryl, S. (1974). *Behaviour and motor responses in paramecium*. В сб. *Paramecium – a current survey* (ed. W.J. Van Wagendonk), 165–218. Elsevier, Amsterdam.
- [102] Eccles, J.C. (1973). *The understanding of the brain*. McGraw-Hill, New York.
- [103] Eccles, J.C. (1989). *Evolution of the brain: creation of the self*. Routledge, London.
- [104] Eccles, J.C. (1992). *Evolution of consciousness*. Proc. Natl. Acad. Sci., 89, 7320–7324.
- [105] Eccles, J.C. (1994). *How the self controls its brain*. Springer-Verlag, Berlin.
- [106] Eckert, R., Randall, D., Augustine, G. (1988). *Animal physiology. Mechanisms and adaptations*, Chapter 11. Freeman, New York.
- [107] Eckhorn, R., Bauer, R., Jordan, W., Brosch, M., Kruse, W., Munk, M., Reitboeck, H.J. (1988). *Coherent oscillations: a mechanism of feature linking in the visual cortex?* Biol. Cybern., 60, 121–130.
- [108] Edelman, G.M. (1976). *Surface modulation and cell recognition on cell growth*. Science, 192, 218–226.
- [109] Edelman, G.M. (1987). *Neural Darwinism, the theory of neuronal group selection*. Basic Books, New York.
- [110] Edelman, G.M. (1988). *Topobiology, an introduction to molecular embryology*. Basic Books, New York.

- [111] Edelman, G.M. (1989). *The remembered present. A biological theory of consciousness*. Basic Books, New York.
- [112] Edelman, G.M. (1992). *Bright air, brilliant fire: on the matter of the mind*. Allen Lane, The Penguin Press, London.
- [113] Einstein, A., Podolsky, P., Rosen, N. (1935). *Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete?* В сб. *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler, W.H. Zurek). Princeton University Press, 1983. Первоначально в *Phys. Rev.*, 47, 777–780.
- [114] Elitzur, A.C., Vaidman, L. (1993). *Quantum-mechanical interaction-free measurements*. *Found. of Phys.*, 23, 987–997.
- [115] Elkies, Noam G. (1988). *On $A^4 + B^4 + C^4 = D^4$* . *Maths. of Computation*, 51, (No. 184), 825–835.
- [116] Everett, H. (1957). *"Relative State" formulation of quantum mechanics*. В сб. *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler, W.H. Zurek). Princeton University Press, 1983; первоначально в *Rev. of Modern Physics*, 29, 454–462.
- [117] Feferman, S. (1988). *Turing in the Land of $O(z)$* . В сб. *The universal Turing machine: a half-century survey* (ed. R. Herken). Kammerer and Unverzagt, Hamburg.
- [118] Feynman, R.P. (1948). *Space-time approach to non-relativistic quantum mechanics*. *Revs. Mod. Phys.*, 20, 367–387.
- [119] Feynman, R.P. (1982). *Simulating physics with computers*. *Int. J. Theor. Phys.*, 21 (6/7), 467–488.
- [120] Feynman, R.P. (1985). *Quantum mechanical computers*. *Optics News*, Feb., 11–20.
- [121] Feynman, R.P. (1986). *Quantum mechanical computers*. *Foundations of Physics*, 16 (6), 507–531.
- [122] Fodor, J.A. (1983). *The modularity of mind*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [123] Franks, N.P., Lieb, W.R. (1982). *Molecular mechanics of general anaesthesia*. *Nature*, 300, 487–493.
- [124] Freedman, D.H. (1994). *Brainmakers*. Simon and Schuster. New York.
- [125] Freedman, S.J., Clauser, J.F. (1972). *Experimental test of local hidden-variable theories*. В сб. *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler, W.H. Zurek). Princeton University Press, 1983; первоначально в *Phys. Rev. Lett.*, 28, 938–941.
- [126] Frege, G. (1893). *Grundgesetze der Arithmetik, begriffsschriftlich abgeleitet*, Vol. 1. H. Pohle, Jena.
- [127] Frege, G. (1964). *The basic laws of arithmetic, translated and edited with an introduction by Montgomery Firth*. University of California Press, Berkeley.
- [128] French, J.W. (1940). *Trial and error learning in paramecium*. *J. Exp. Psychol.*, 26, 609–613.
- [129] Fröhlich, H. (1968). *Long range coherence and energy storage in biological systems*. *Int. Jour. of Quantum. Chem.*, 11, 641–649.
- [130] Fröhlich, H. (1970). *Long range coherence and the actions of enzymes*. *Nature*, 228, 1093.
- [131] Fröhlich, H. (1975). *The extraordinary dielectric properties of biological materials and the action of enzymes*. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 72 (11), 4211–4215.
- [132] Fröhlich, H. (1984). *General theory of coherent excitations on biological systems*. В сб. *Nonlinear electrodynamics in biological systems* (ed. W.R. Adey, A.F. Lawrence). Plenum Press, New York.
- [133] Fröhlich, H. (1986). *Coherent excitations in active biological systems*. В сб. *Modern bioelectrochemistry* (ed. F. Gutmann, H. Keyzer). Plenum Press, New York.
- [134] Fukui, K., Asai, H. (1976). *Spiral motion of paramecium caudatum in small capillary glass tube*. *J. Protozool.*, 23, 559–563.
- [135] Gandy, R. (1988). *The confluence of ideas in 1936*. В сб. *The universal Turing machine: a half-century survey* (ed. R. Herken). Kammerer and Unverzagt, Hamburg.
- [136] Gardner, M. (1965). *Mathematical magic show*. Alfred Knopf, New York; Random House, Toronto.
- [137] Gardner, M. (1970). *Mathematical games: the fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "Life"*. *Scientific American*, 223, 120–123.
- [138] Gardner, M. (1989). *Penrose tiles to trapdoor ciphers*. Freeman, New York.
- [139] Gelber, B. (1958). *Retention in paramecium aurelia*. *J. Comp. Physiol. Psych.*, 51, 110–115.
- [140] Gelernter, D. (1994). *The muse in the machine*. The Free Press, Macmillan Inc., New York; Collier Macmillan, London.
- [141] Gell-Mann, M., Hartle, J.B. (1993). *Classical equations for quantum systems*. *Phys. Rev.*, D47, 3345–3382.
- [142] Gernoth, K.A., Clark, J.W., Prater, J.S., Bohr, H. (1993). *Neural network models of nuclear systematics*. *Phys. Lett.*, B300, 1–7.
- [143] Geroch, R. (1984). *The Everett interpretation*. *Nous*, 4 (специальный выпуск, посвященный основным принципам квантовой механики), 617–633.
- [144] Geroch, R., Hartle, J.B. (1986). *Computability and physical theories*. *Found. Phys.*, 16, 533.
- [145] Ghirardi, G.C., Rimini, A., Weber, T. (1980). *A general argument against superluminal transmission through the quantum mechanical measurement process*. *Lett. Nuovo Cim.*, 27, 293–298.
- [146] Ghirardi, G.C., Rimini, A., Weber, T. (1986). *Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems*. *Phys. Rev.*, D34, 470.
- [147] Ghirardi, G.C., Grassi, R., Rimini, A. (1990). *Continuous-spontaneous-reduction model involving gravity*. *Phys. Rev.*, A42, 1057–1064.

- [148] Ghirardi, G.C., Grassi, R., Pearle, P. (1990). *Relativistic dynamical reduction models: general framework and examples*. Foundations of Physics, 20, 1271–1316.
- [149] Ghirardi, G.C., Grassi, R., Pearle, P. (1992). *Comment on "Explicit collapse and superluminal signals"*. Phys. Lett., A166, 435–438.
- [150] Ghirardi, G.C., Grassi, R., Pearle, P. (1993). *Negotiating the tricky border between quantum and classical*. Physics Today, 46, 13.
- [151] Gisin, N. (1989). *Stochastic quantum dynamics and relativity*. Helv. Phys. Acta, 62, 363–371.
- [152] Gisin, N., Percival, I.C. (1993). *Stochastic wave equations versus parallel world components*. Phys. Lett., A175, 144–145.
- [153] Gleick, J. (1987). *Chaos. Making a new science*. Penguin Books.
- [154] Glymour, C., Kelly, K. (1990). *Why you'll never know whether Roger Penrose is a computer*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 666.
- [155] Gödel, K. (1931). *Über formal unentscheidbare Sätze per Principia Mathematica und verwandter Systeme I*. Monatshefte für, Mathematik und Physik, 38, 173–198.
- [156] Gödel, K. (1940). *The consistency of the axiom of choice and of the generalized continuum-hypothesis with the axioms of set theory*. Princeton University Press, Oxford University Press.
- [157] Gödel, K. (1949). *An example of a new type of cosmological solution of Einstein's field equations of gravitation*. Rev. of Mod. Phys., 21, 447.
- [158] Gödel, K. (1986). *Kurt Gödel, collected works, Vol. I (publications 1929–1936)* (ed. S. Feferman et al.). Oxford University Press.
- [159] Gödel, K. (1990). *Kurt Gödel, collected works, Vol. II (publications 1938–1974)* (ed. S. Feferman et al.). Oxford University Press.
- [160] Gödel, K. (1995). *Kurt Gödel, collected works, Vol. III* (ed. S. Feferman et al.). Oxford University Press.
- [161] Golomb, S.W. (1965). *Polyominoes*. Scribner and Sons.
- [162] Good, I.J. (1965). *Speculations concerning the first ultraintelligent machine*. Advances in Computers, 6, 31–88.
- [163] Good, I.J. (1967). *Human and machine logic*. Brit. J. Philos. Sci., 18, 144–147.
- [164] Good, I.J. (1969). *Gödel's theorem is a red herring*. Brit. J. Philos. Sci., 18, 359–373.
- [165] Graham, R.L., Rothschild, B.L. (1971). *Ramsey's theorem for n-parameter sets*. Trans. Am. Math. Soc., 59, 290.
- [166] Grant, P.M. (1994). *Another December revolution?* Nature, 367, 16.
- [167] Gray, C.M., Singer, W. (1989). *Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 86, 1689–1702.
- [168] Grangier, P., Roger, G., Aspect, A. (1986). *Experimental evidence for a photon anticorrelation effect on a beam splitter: a new light on single-photon interferences*. Europhysics Letters, 1, 173–179.
- [169] Green, D.G., Bossomaier, T. (ed.) (1993). *Complex systems: from biology to computation*. IOS Press.
- [170] Greenberger, D.M., Horne, M.A., Zeilinger, A. (1989). *Going beyond Bell's theorem. B c6. Bell's theorem, quantum theory, and conceptions of the universe* (ed. M. Kafatos), 73–76. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- [171] Greenberger, D.M., Horne, M.A., Shimony, A., Zeilinger, A. (1990). *Bell's theorem without inequalities*. Am. J. Phys., 58, 1131–1143.
- [172] Gregory, R.L. (1981). *Mind in science: a history of explanations in psychology and physics*. Weidenfeld and Nicholson Ltd. (также Penguin, 1984).
- [173] Grey Walter, W. (1953). *The living brain*. Gerald Duckworth and Co. Ltd.
- [174] Griffiths, R. (1984). *Consistent histories and the interpretation of quantum mechanics*. J. Stat. Phys., 36, 219.
- [175] Grossberg, S. (ed.) (1987). *The adaptive brain I: Cognition, learning, reinforcement and rhythm и The adaptive brain II: Vision, speech, language and motor control*. North-Holland, Amsterdam.
- [176] Grünbaum, B., Shephard, G.C. (1987). *Tilings and Patterns*. Freeman, New York.
- [177] Grundler, W., Keilmann, F. (1983). *Sharp resonances in yeast growth proved nonthermal sensitivity to microwaves*. Phys. Rev. Letts., 51, 1214–1216.
- [178] Guccione, S. (1993). *Mind the truth: Penrose's new step in the Gödelian argument*. Behavioural and Brain Sciences, 16, 612–613.
- [179] Haag, R. (1992). *Local quantum physics: fields, particles, algebras*. Springer-Verlag, Berlin.
- [180] Hadamard, J. (1945). *The psychology of invention in the mathematical field*. Princeton University Press.
- [181] Hallett, M. (1984). *Cantorian set theory and limitation of size*. Clarendon Press, Oxford.
- [182] Hameroff, S.R. (1974). *Chi: a neural hologram?* Am. J. Clin. Med., 2 (2), 163–170.
- [183] Hameroff, S.R. (1987). *Ultimate computing. Biomolecular consciousness and nano-technology*. North Holland, Amsterdam.
- [184] Hameroff, S.R., Watt, R.C. (1982). *Information in processing in microtubules*. J. Theor. Biol., 98, 549–561.

- [185] Hameroff, S.R., Watt, R.C. (1983). *Do anesthetics act by altering electron mobility?* *Anesth. Analg.*, 62, 936–940.
- [186] Hameroff, S.R., Rasmussen, S., Mansson, B. (1988). *Molecular automata in microtubules: basic computational logic of the living state?* В сб. *Artificial Life, SFI studies in the sciences of complexity* (ed. C. Langton). Addison-Wesley, New York.
- [187] Hanbury Brown, R., Twiss, R.Q. (1954). *A new type of interferometer for use in radio astronomy*. *Phil. Mag.*, 45, 663–682.
- [188] Hanbury Brown, R., Twiss, R.Q. (1956). *The question of correlation between photons in coherent beams of light*. *Nature*, 177, 27–29.
- [189] Harel, D. (1987). *Algorithmics. The spirit of computing*. Addison-Wesley, New York.
- [190] Hawking, S.W. (1975). *Particle creation by Black Holes*. *Commun. Math. Phys.*, 43, 199–220.
- [191] Hawking, S.W. (1982). *Unpredictability of quantum gravity*. *Commun. Math. Phys.*, 87, 395–415.
- [192] Hawking, S.W., Israel, W. (ed.) (1987). *300 years of gravitation*. Cambridge University Press.
- [193] Hebb, D.O. (1949). *The organization of behaviour*. Wiley, New York.
- [194] Hecht, S., Schlaer, S., Pirenne, M.H. (1941). *Energy, quanta and vision*. *Journal of General Physiology*, 25, 821–840.
- [195] Herbert, N. (1993). *Elemental mind. Human consciousness and the new physics*. Dutton Books, Penguin Publishing.
- [196] Heyting, A. (1956). *Intuitionism: an introduction*. North-Holland, Amsterdam.
- [197] Heywood, P., Redhead, M.L.G. (1983). *Nonlocality and the Kochen–Specker Paradox*. *Found. Phys.*, 13, 481–499.
- [198] Hodges, A.P. (1983). *Alan Turing: the enigma*. Burnett Books and Hutchinson, London; Simon and Schuster, New York.
- [199] Hodgkin, D., Houston, A.I. (1990). *Selecting for the con in consciousness*. *Behavioural and Brain Sciences*, 13 (4), 668.
- [200] Hodgson, D. (1991). *Mind matters: consciousness and choice in a quantum world*. Clarendon Press, Oxford.
- [201] Hofstadter, D.R. (1979). *Gödel, Escher, Bach: an eternal golden braid*. Harvester Press, Hassocks, Essex.
- [202] Hofstadter, D.R. (1981). *A conversation with Einstein's brain*. В сб. *The mind's I* (ed. D.R. Hofstadter, D. Dennett). Basic Books; Penguin, Harmondsworth, Middlesex.
- [203] Hofstadter, D.R., Dennett, D.C. (ed.) (1981). *The mind's I*. Basic Books; Penguin, Harmondsworth, Middlesex.
- [204] Home, D. (1994). *A proposed new test of collapse-induced quantum nonlocality*. Preprint.
- [205] Home, D., Nair, R. (1994). *Wave function collapse as a nonlocal quantum effect*. *Phys. Lett.*, A187, 224–226.
- [206] Home, D., Selleri, F. (1991). *Bell's Theorem and the EPR Paradox*. *Rivista del Nuovo Cimento*, 14, N. 9.
- [207] Hopfield, J.J. (1982). *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 79, 2554–2558.
- [208] Hsu, F.-H., Anantharaman, T., Campbell, M., Nowatzyk, A. (1990). *A grandmaster chess machine*. *Scientific American*, 263.
- [209] Huggett, S.A., Tod, K.P. (1985). *An introduction to twistor theory*. London Math. Soc. student texts. Cambridge University Press.
- [210] Hughston, L.P., Jozsa, R., Wootters, W.K. (1993). *A complete classification of quantum ensembles having a given density matrix*. *Phys. Letters*, A183, 14–18.
- [211] Isham, C.J. (1989). *Quantum gravity*. В сб. *The new physics* (ed. P.C.W. Davies), 70–93. Cambridge University Press.
- [212] Isham, C.J. (1994). *Prima facie questions in quantum gravity*. В сб. *Canonical relativity: classical and quantum* (ed. J. Ehlers, H. Friedrich). Springer-Verlag, Berlin.
- [213] Jibu, M., Hagan, S., Pribram, K., Hameroff, S.R., Yasue, K. (1994). *Quantum optical coherence in cytoskeletal microtubules: implications for brain function*. *Bio. Systems* (готовится к печати).
- [214] Johnson Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge University Press.
- [215] Johnson Laird, P.N. (1987). *How could consciousness arise from the computations of the brain?* В сб. *Mindwaves: thoughts on intelligence, identity and consciousness* (ed. C. Blakemore, S. Greenfield). Blackwell, Oxford.
- [216] Károlyházy, F. (1966). *Gravitation and quantum mechanics of macroscopic bodies*. *Nuo. Cim. A*, 42, 390–402.
- [217] Károlyházy, F. (1974). *Gravitation and quantum mechanics of macroscopic bodies*. *Magyar Fizikai Polyoirat*, 12, 24.
- [218] Károlyházy, F., Frenkel, A., Lukacs, B. (1986). *On the possible role of gravity on the reduction of the wave function*. В сб. *Quantum concepts in space and time* (ed. R. Penrose, C.J. Isham). Oxford University Press.

- [219] Kasumov, A.Y., Kislov, N.A., Khodos, I.I. (1993). *Can the observed vibration of a cantilever of supersmall mass be explained by quantum theory?* Microsc. Microanal. Microstruct., 4, 401–406.
- [220] Kentridge, R.W. (1990). *Parallelism and patterns of thought*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 670.
- [221] Khalifa, J. (ed.) (1994). *What is intelligence?* The Darwin College lectures. Cambridge University Press.
- [222] Klarner, D.A. (1981). *My life among the Polyominoes*. В сб. *The mathematical gardner* (ed. D.A. Klarner). Prindle, Weber and Schmidt, Boston, MA; Wadsworth Int., Belmont, CA.
- [223] Kleene, S.C. (1952). *Introduction to metamathematics*. North-Holland, Amsterdam, van Nostrand, New York.
- [224] Klein, M.V., Furtak, T.E. (1986). *Optics*, 2nd edn. Wiley, New York.
- [225] Kochen, S., Specker, E.P. (1967). *The problem of hidden variables in quantum mechanics*. J. Math. Mech., 17, 59–88.
- [226] Kohonen, T. (1984). *Self-organization and associative memory*. Springer-Verlag, New York.
- [227] Komar, A.B. (1969). *Qualitative features of quantized gravitation*. Int. J. Theor. Phys., 2, 157–160.
- [228] Koruga, D. (1974). *Microtubule screw symmetry: packing of spheres as a latent bioinformation code*. Ann. NY Acad. Sci., 466, 953–955.
- [229] Koruga, D., Hameroff, S., Withers, J., Loutfy, R., Sundareshan, M. (1993). *Fullerene C₆₀. History, physics, nanobiology, nanotechnology*. North-Holland, Amsterdam.
- [230] Kosko, B. (1994). *Fuzzy thinking: the new science of fuzzy logic*. Harper Collins, London.
- [231] Kreisel, G. (1960). *Ordinal logics and the characterization of informal concepts of proof*. Proc. of the Internal. Cong. of Mathematics, Aug. 1958. Cambridge University Press.
- [232] Kreisel, G. (1967). *Informal rigour and completeness proofs*. В сб. *Problems in the philosophy of mathematics* (ed. I. Lakatos), 138–186. North-Holland, Amsterdam.
- [233] Laguës, M., Xiao Ming Xie, Tebbji, H., Xiang Zhen Xu, Mairet, Y., Hatterer, C., et al. (1993). *Evidence suggesting superconductivity at 250 K in a sequentially deposited cuprate film*. Science, 262, 1850–1851.
- [234] Lander, L.J., Parkin, T.R. (1966). *Counterexample to Euler's conjecture on sums of like powers*. Bull. Amer. Math. Soc., 72, 1079.
- [235] Leggett, A.J. (1984). *Schrödinger's cat and her laboratory cousins*. Contemp. Phys., 25 (6), 583.
- [236] Lewis, D. (1969). *Lucas against mechanism*. Philosophy, 44, 231–233.
- [237] Lewis, D. (1989). *Lucas against mechanism II*. Can. J. Philos., 9, 373–376.
- [238] Libet, B. (1990). *Cerebral processes that distinguish conscious experience from unconscious mental functions*. В сб. *The principles of design and operation of the brain* (ed. J.C. Eccles, O.D. Creutzfeldt), Experimental Brain research series 21, 185–205. Springer-Verlag, Berlin.
- [239] Libet, B. (1992). *The neural time-factor in perception, volition and free will*. Revue de Metaphysique et de Morale, 2, 255–272.
- [240] Libet, B., Wright, E.W. Jr., Feinstein, B., Pearl, D.K. (1979). *Subjective referral of the timing for a conscious sensory experience*. Brain, 102, 193–224.
- [241] Linden, E. (1993). *Can animals think?* Time Magazine (March), 13.
- [242] Lisboa, P.G.J. (ed.) (1992). *Neural networks: current applications*. Chapman Hall, London.
- [243] Lockwood, M. (1989). *Mind, brain and the quantum*. Blackwell, Oxford.
- [244] Longair, M.S. (1993). *Modern cosmology – a critical assessment*. Q.J.R. Astr. Soc., 34, 157–199.
- [245] Longuet-Higgins, H.C. (1987). *Mental processes: studies in cognitive science*, Part II. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [246] Lucas, J.R. (1961). *Minds, machines and Gödel*. Philosophy, 36, 120–124; также в Alan Ross Anderson (ed.) (1964) *Minds and Machines*. Englewood Cliffs.
- [247] Lucas, J.R. (1970). *The freedom of the will*. Oxford University Press.
- [248] McCarthy, J. (1979). *Ascribing mental qualities to machines*. В сб. *Philosophical perspectives in artificial intelligence* (ed. M. Ringle). Humanities Press, New York.
- [249] McCulloch, W.S., Pitts, W.H. (1943). *A logical calculus of the idea immanent in nervous activity*. Bull. Math. Biophys., 5, 115–133. (Также в McCulloch, W.S., *Embodiments of mind*, MIT Press, 1965.)
- [250] McDermott, D. (1990). *Computation and consciousness*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 676.
- [251] MacLennan, B. (1990). *The discomforts of dualism*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 673.
- [252] Majorana, E. (1932). *Atomi orientati in campo magnetico variabile*. Nuovo Cimento, 9, 43–50.
- [253] Manaster-Ramer, A., Savitch, W.J., Zadrozny, W. (1990). *Gödel redux*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 675.
- [254] Mandelkow, E.-M., Mandelkow, F. (1994). *Microtubule structure*. Curr. Opinions Structural Biology, 4, 171–179.
- [255] Margulis, L. (1975). *Origins of eukaryotic cells*. Yale University Press, New Haven, CT.
- [256] Markov, A.A. (1958). *The insolubility of the problem of homeomorphy*. Dokl. Akad. Nauk. SSSR, 121, 218–220.
- [257] Marr, D.E. (1982). *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. Freeman, San Francisco.

- [258] Marshall, I.N. (1989). *Consciousness and Bose–Einstein condensates*. New Ideas in Psychology, 7.
- [259] Mermin, D. (1985). *Is the moon there when nobody looks? Reality and the quantum theory*. Physics Today, 38, 38–47.
- [260] Mermin, D. (1990). *Simple unified form of the major no-hidden-variables theorems*. Phys. Rev. Lett., 65, 3373–3376.
- [261] Michie, D., Johnston, R. (1984). *The creative computer. Machine intelligence and human knowledge*. Viking Penguin.
- [262] Minsky, M. (1968). *Matter, mind and models*. В сб. *Semantic information processing* (ed. M. Minsky). MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [263] Minsky, M. (1986). *The society of mind*. Simon and Schuster, New York.
- [264] Minsky, M., Papert, S. (1972). *Perceptrons: an introduction to computational geometry*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [265] Misner, C.W., Thorne, K.S., Wheeler, J.A. (1973). *Gravitation*. Freeman, New York.
- [266] Moore, A.W. (1990). *The infinite*. Routledge, London.
- [267] Moravec, H. (1988). *Mind children: the future of robot and human intelligence*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- [268] Moravec, H. (1994). *The Age of Mind: transcending the human condition through robots*. Готовится к печати.
- [269] Mortensen, C. (1990). *The powers of machines and minds*. Behavioural and Brain Sciences: 13 (4), 678.
- [270] Mostowski, A. (1957). *Sentences undecidable in formalized arithmetic: an exposition of the theory of Kurt Gödel*. North-Holland, Amsterdam.
- [271] Nagel, E., Newman, J.R. (1958). *Gödel's proof*. Routledge and Kegan Paul.
- [272] Newell, A., Simon, H.A. (1976). *Computer science as empirical enquiry: symbols and search*. Communications of the ACM, 19, 113–126.
- [273] Newell, A., Young, R., Polk, T. (1993). *The approach through symbols*. В сб. *The simulation of human intelligence* (ed. D. Broadbent). Blackwell, Oxford.
- [274] Newton, I. (1687). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Репринт: Cambridge University Press.
- [275] Newton, I. (1730). *Opticks*. 1952, Dover, New York.
- [276] Oakley, D.A. (ed.) (1985). *Brain and mind*. Methuen, London.
- [277] Obermayer, K, Teich, W.G., Mahler, G. (1988). *Structural basis of multistationary quantum systems. I. Effective single-particle dynamics*. Phys. Rev., B37, 8096–8110.
- [278] Obermayer, K, Teich, W.G., Mahler, G. (1988). *Structural basis of multistationary quantum systems. II. Effective few-particle dynamics*. Phys. Rev., B37, 8111–8121.
- [279] Omnès, R. (1992). *Consistent interpretations of quantum mechanics*. Rev. Mod. Phys., 64, 339–382.
- [280] Pais, A. (1991). *Niels Bohr's times*. Clarendon Press, Oxford.
- [281] Pauling L. (1964). *The hydrate microcrystal theory of general anesthesia*. Anesth. Analg., 43, 1.
- [282] Paz, J.P., Zurek, W.H. (1993). *Environment induced decoherence, classicality and consistency of quantum histories*. Phys. Rev., D48 (6), 2728–2738.
- [283] Paz, J.P., Habib, S., Zurek, W.H. (1993). *Reduction of the wave packet: preferred observable and decoherence time scale*. Phys. Rev., D47 (2), 3rd Series, 488–501.
- [284] Pearle, P. (1976). *Reduction of the state-vector by a nonlinear Schrödinger equation*. Phys. Rev., D13, 857–868.
- [285] Pearle, P. (1989). *Combining stochastic dynamical state-vector reduction with spontaneous localization*. Phys. Rev., A39, 2277–2289.
- [286] Pearle, P. (1992). *Relativistic model state-vector reduction*. В сб. *Quantum chaos – Quantum measurement*, NATO Adv. Sci. Inst. Ser. C. Math. Phys. Sci. 358 (Copenhagen 1991). Kluwer, Dordrecht.
- [287] Peat, F.D. (1988). *Superstrings and the search for the theory of everything*. Contemporary Books, Chicago.
- [288] Penrose, O. (1970). *Foundations of statistical mechanics: a deductive treatment*. Pergamon, Oxford.
- [289] Penrose, O., Onsager, L. (1956). *Bose–Einstein condensation and liquid helium*. Phys. Rev., 104, 576–584.
- [290] Penrose, R. (1980). *On Schwarzschild causality – a problem for "Lorentz covariant" general relativity*. В сб. *Essays in general relativity* (A. Taub Festschrift) (ed. F.J. Tipler), 1–12. Academic Press, New York.
- [291] Penrose, R. (1987). *Newton, quantum theory and reality*. В сб. *300 Years of gravity* (ed. S.W. Hawking, W.Israel). Cambridge University Press.
- [292] Penrose, R. (1990). *Author's response*, Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 692.
- [293] Penrose, R. (1991). *The mass of the classical vacuum*. В сб. *The philosophy of vacuum* (ed. S. Saunders, H.R. Brown). Clarendon Press, Oxford.
- [294] Penrose, R. (1991). *Response to Tony Dodd's "Gödel, Penrose, and the possibility of AI"*. Artificial Intelligence Review, 5, 235.

- [295] Penrose, R. (1993). *Gravity and quantum mechanics*. В сб. *General relativity and gravitation 1992*. Proceedings of the Thirteenth International Conference on General Relativity and Gravitation held at Cordoba, Argentina 28 June – 4 July 1992. Part 1: Plenary lectures (ed. R.J. Gleiser, C.N. Kozameh, O.M. Moreschi). Institute of Physics Publications, Bristol.
- [296] Penrose, R. (1993). *Quantum non-locality and complex reality*. В сб. *The Renaissance of general relativity* (in honour of D.W. Sciama) (ed. G. Ellis, A. Lanza, J. Miller). Cambridge University Press.
- [297] Penrose, R. (1993). *Setting the scene: the claim and the issues*. В сб. *The simulation of human intelligence* (ed. D. Broadbent). Blackwell, Oxford.
- [298] Penrose, R. (1993). *An emperor still without mind*. Behavioural and Brain Sciences, 16, 616–622.
- [299] Penrose, R. (1994). *On Bell non-locality without probabilities: some curious geometry*. В сб. *Quantum reflections* (in honour of J.S. Bell) (ed. J. Ellis, A. Amati). Cambridge University Press.
- [300] Penrose, R. (1994). *Non-locality and objectivity in quantum state reduction*. В сб. *Fundamental aspects of quantum theory* (ed. J. Anandan, J.L. Safko). World Scientific, Singapore.
- [301] Penrose, R., Rindler, W. (1984). *Spinors and space-time*, Vol. 1: *Two-spinor calculus and relative fields*. Cambridge University Press.
- [302] Penrose, R., Rindler, W. (1986). *Spinors and space-time*, Vol. 2: *Spinor and twistor methods in space-time geometry*. Cambridge University Press.
- [303] Percival, I.C. (1994). *Primary state diffusion*. Proc. R. Soc. Lond., A (статья отправлена в журнал).
- [304] Peres, A. (1985). *Reversible logic and quantum computers*. Phys. Rev., A32 (6), 3266–3276.
- [305] Peres, A. (1990). *Incompatible results of quantum measurements*. Phys. Lett., A151, 107–108.
- [306] Peres, A. (1991). *Two simple proofs of the Kochen–Specker theorem*. J. Phys. A: Math. Gen., 24, L175–L178.
- [307] Perlis, D. (1990). *The emperor's old hat*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 680.
- [308] Planck, M. (1906). *The theory of heat radiation* (пер. на англ.: M. Masius, основана на лекциях, прочитанных в Берлине в 1906/1907 годах). 1959, Dover, New York.
- [309] Popper, K.R., Eccles, J.R. (1977). *The self and its brain*. Springer International.
- [310] Post, E.L. (1936). *Finite combinatory processes-formulation I*, Jour. Symbolic Logic, 1, 103–105.
- [311] Poundstone, W. (1985). *The recursive universe: cosmic complexity and the limits of scientific knowledge*. Oxford University Press.
- [312] Pour-El, M.B. (1974). *Abstract computability and its relation to the general purpose analog computer. (Some connections between logic, differential equations and analog computers.)* Trans. Amer. Math. Soc., 119, 1–28.
- [313] Pour-El, M.B., Richards, I. (1979). *A computable ordinary differential equation which possesses no computable solution*. Ann. Math. Logic, 17, 61–90.
- [314] Pour-El, M.B., Richards, I. (1981). *The wave equation with computable initial data such that its unique solution is not computable*. Adv. in Math., 39, 215–239.
- [315] Pour-El, M.B., Richards, I. (1982). *Noncomputability in models of physical phenomena*. Int. J. Theor. Phys., 21, 553–555.
- [316] Pour-El, M.B., Richards, I. (1989). *Computability in analysis and physics*. Springer-Verlag, Berlin.
- [317] Pribram, K.H. (1966). *Some dimensions of remembering: steps toward a neuropsychological model of memory*. В сб. *Macromolecules and behaviour* (ed. J. Gaito), 165–187. Academic Press, New York.
- [318] Pribram, K.H. (1975). *Toward a holonomic theory of perception*. В сб. *Gestalttheorie in der modern psychologie* (ed. S. Ertel), 161–184. Erich Wengenroth, Kohl.
- [319] Pribram, K.H. (1991). *Brain and perception: holonomy and structure in figural processing*. Lawrence Erlbaum Assoc., New Jersey.
- [320] Putnam, H. (1960). *Minds and machines*. В сб. *Dimensions of mind* (ed. S. Hook), New York Symposium. Также в *Minds and machines* (ed. A.R. Anderson), 43–59, Prentice-Hall, 1964; и в *Dimensions of mind: a symposium* (Proceedings of the third annual NYU Institute of Philosophy), 148–179, NYU Press, 1964.
- [321] Ramon y Cajal, S. (1955). *Studies on the cerebral cortex* (пер. на англ.: L.M. Kroft). Lloyd Luke, London.
- [322] Redhead, M.L.G. (1987). *Incompleteness, nonlocality, and realism*. Clarendon Press, Oxford.
- [323] Rosenblatt, F. (1962). *Principles of neurodynamics*. Spartan Books, New York.
- [324] Roskies, A. (1990). *Seeing truth or just seeming true?* Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 682.
- [325] Rosser, J.B. (1936). *Extensions of some theorems of Gödel and Church*. Jour. Symbolic Logic, 1, 87–91.
- [326] Rubel, L.A. (1985). *The brain as an analog computer*. J. Theoret. Neurobiol., 4, 73–81.
- [327] Rubel, L.A. (1988). *Some mathematical limitations of the general-purpose analog computer*. Adv. in Appl. Math., 9, 22–34.
- [328] Rubel, L.A. (1989). *Digital simulation of analog computation and Church's thesis*. Jour. Symb. Logic, 54 (3), 1011–1017.
- [329] Rucker, R. (1984). *Infinity and the mind: the science and philosophy of the infinite*. Paladin Books, Granada Publishing Ltd., London. (Первое издание: Harvester Press Ltd., 1982.)
- [330] Sacks, O. (1973). *Awakenings*. Duckworth, London.

- [331] Sacks, O. (1985). *The man who mistook his wife for a hat*. Duckworth, London.
- [332] Sagan, L. (1967). *On the origin of mitosing cells*. J. Theor. Biol., 14, 225–274.
- [333] Сахаров А.Д. (1967). *Квантовые флуктуации вакуума в искривленном пространстве и теория гравитации* (Saharov A.D. *Vacuum quantum fluctuations in curved space and the theory of gravitation*). Доклады Акад. наук СССР, 177, 70–71. Пер. на англ. в Sov. Phys. Doklady, 12, 1040–1041 (1968).
- [334] Schrödinger, E. (1935). *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik*. Naturwissenschaften, 23, 807–812, 823–828, 844–849. (Пер. на англ.: J.T. Trimmer (1980) в Proc. Amer. Phil. Soc., 124, 323–338.) Также в сб. *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler, W.H. Zurek). Princeton University Press, 1983.
- [335] Schrödinger, E. (1935). *Probability relations between separated systems*. Proc. Camb. Phil. Soc., 31, 555–563.
- [336] Schrödinger, E. (1967). *"What is Life?" and "Mind and Matter"*. Cambridge University Press.
- [337] Schroeder, M. (1991). *Fractals, chaos, power laws. Minutes from an infinite paradise*. Freeman, New York.
- [338] Scott, A.C. (1973). *Information processing in dendritic trees*. Math. Bio. Sci., 18, 153–160.
- [339] Scott, A.C. (1977). *Neurophysics*. Wiley Interscience, New York.
- [340] Searle, J.R. (1980). *Minds, brains and programs*. В сб. *The behavioral and brain sciences*. Vol. 3. Cambridge University Press. (Также в сб. *The mind's I* (ed. D.R. Hofstadter, D.C. Dennett). Basic Books, Inc.; Penguin Books Ltd., Harmondsworth, Middlesex, 1981.)
- [341] Searle, J.R. (1992). *The rediscovery of the mind*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [342] Seymore, J., Norwood, D. (1993). *A game for life*. New Scientist, 139, No. 1889, 23–26.
- [343] Sheng, O., Yang, J., Gong, C., Holz, A. (1988). *A new mechanism of high Tc superconductivity*. Phys. Lett., A133, 193–196.
- [344] Sloman, A. (1992). *The emperor's real mind: review of Roger Penrose's The Emperor's New Mind*. Artificial Intelligence, 56, 355–396.
- [345] Smart, J.J.C. (1961). *Gödel's theorem, Church's theorem and mechanism*. Synthèse, 13, 105–110.
- [346] Smith, R.J.O., Stephenson, J. (1975). *Computer simulation of continuous systems*. Cambridge University Press.
- [347] Smith, S., Watt, R.C., Hameroff, S.R. (1984). *Cellular automata in cytoskeletal lattice proteins*. Physica D, 10, 168–174.
- [348] Smolin, L. (1993). *What have we learned from non-perturbative quantum gravity?* В сб. *General relativity and gravitation 1992*. Proceedings of the thirteenth international conference on GRG, Cordoba, Argentina (ed. R.J. Gleiser, C.N. Kozameh, O.M. Moreschi). Institute of Physics Publications, Bristol.
- [349] Smolin, L. (1994). *Time, structure and evolution in cosmology*. В сб. *Temponelle scienziae filosofia* (ed. E. Agazzi). Word Scientific, Singapore.
- [350] Smorynski, C. (1975). *Handbook of mathematical logic*. North-Holland, Amsterdam.
- [351] Smorynski, C. (1983). *"Big" news from Archimedes to Friedman*. Notices Amer. Math. Soc., 30, 251–256.
- [352] Smullyan, R. (1961). *Theory of Formal Systems*. Princeton University Press.
- [353] Smullyan, R. (1992). *Gödel's incompleteness theorem*. Oxford Logic Guide No. 19. Oxford University Press.
- [354] Squires, E.J. (1986). *The mystery of the quantum world*. Adam Hilger Ltd., Bristol.
- [355] Squires, E.J. (1990). *On an alleged proof of the quantum probability law*. Phys. Lett., A145, 67–68.
- [356] Squires, E.J. (1992). *Explicit collapse and superluminal signals*. Phys. Lett., A163, 356–358.
- [357] Squires, E.J. (1992). *History and many-worlds quantum theory*. Found. Phys. Lett., 5, 279–290.
- [358] Stairs, A. (1983). *Quantum logic, realism and value-definiteness*. Phil. Sci., 50 (4), 578–602.
- [359] Stapp, H.P. (1979). *Whiteheadian approach to quantum theory and the generalized Bell's theorem*. Found. Phys., 9, 1–25.
- [360] Stapp, H.P. (1993). *Mind, matter, and quantum mechanics*. Springer-Verlag, Berlin.
- [361] Steen, L.A. (ed.) (1978). *Mathematics today: twelve informal essays*. Springer-Verlag, Berlin.
- [362] Stoney, G.J. (1881). *On the physical units of nature*. Phil. Mag. (Series 5), 11, 381.
- [363] Stretton, A.O.W., Davis, R.E., Angstadt, J.D., Donmoyer, J.E., Johnson, C.D., Meade, J.A. (1987). *Nematode neurobiology using Ascaris as a model system*. J. Cellular Biochem., 51A, 144.
- [364] Thorne, K.S. (1994). *Blaek holes & time warps: Einstein's outrageous legacy*. W.W. Norton and Company, New York.
- [365] Torrence, J. (1992). *The concept of nature*. The Herbert Spencer lectures. Clarendon Press. Oxford.
- [366] Tsotsos, J.K. (1990). *Exactly which emperor is Penrose talking about?* Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 686.
- [367] Turing, A.M. (1937). *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*. Proc. Lond. Math. Soc. (ser. 2), 42, 230–265; исправления в 43, 544–546.
- [368] Turing, A.M. (1939). *Systems of logic based on ordinals*. Proc. Lond. Math. Soc., 45, 161–228.
- [369] Turing, A.M. (1950). *Computing machinery and intelligence*. Mind, 59, No. 236; также в *The mind's I* (ed. D.R. Hofstadter, D.C. Dennett), Basic Books; Penguin, Harmondsworth, Middlesex, 1981.

- [370] Turing, A.M. (1986). *Lecture to the London Mathematical Society on 20 February 1947*. В сб. *A.M. Turing's ACE report of 1946 and other papers* (ed. B.E. Carpenter, R.W. Doran). The Charles Babbage Institute, vol. 10, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [371] TuszŹyński, J., Trpisová, B., Sept, D., Satorić, M.V. (1996). *Microtubular self-organization and information processing capabilities*. В сб. *Toward a science of consciousness: contributions from the 1994 Tucson conference* (ed. S. Hameroff, A. Kaszniak, A. Scott). MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [372] von Neumann, J. (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer-Verlag, Berlin. Пер. на англ.: *Mathematical foundations of quantum mechanics*. Princeton University Press, 1955.
- [373] von Neumann, J., Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behaviour*. Princeton University Press.
- [374] Waltz, D. L. (1982). *Artificial intelligence*. Scientific American, 247 (4), 101–122.
- [375] Wang, Hao (1974). *From mathematics to philosophy*. Routledge, London.
- [376] Wang, Hao (1987). *Reflections on Kurt Gödel*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [377] Wang, Hao (1993). *On physicalism and algorithmism: can machines think?* Philosophia mathematica (Ser. III), 97–138.
- [378] Ward, R.S., Wells, R.O. Jr. (1990). *Twistor geometry and field theory*. Cambridge University Press.
- [379] Weber, J. (1960). *Detection and generation of gravitational waves*. Phys. Rev., 117, 306.
- [380] Weinberg, S. (1977). *The first three minutes: a modern view of the origin of the universe*. Andre Deutsch, London.
- [381] Werbos, P. (1989). *Bell's theorem; the forgotten loophole and how to exploit it*. В сб. *Bell's theorem, quantum theory, and conceptions of the universe* (ed. M. Kafatos). Kluwer, Dordrecht.
- [382] Wheeler, J.A. (1957). *Assessment of Everett's "relative state" formulation of quantum theory*. Revs. Mod. Phys., 29, 463–465.
- [383] Wheeler, J.A. (1975). *On the nature of quantum geometrodynamics*. Annals of Phys., 2, 604–614.
- [384] Wigner, E.P. (1960). *The unreasonable effectiveness of mathematics*. Commun. Pure Appl. Math., 13, 1–14.
- [385] Wigner, E.P. (1961). *Remarks on the mind–body question*. В сб. *The scientist speculates* (ed. I.J. Good). Heinemann, London. (Также в E. Wigner (1967), *Symmetries and reflections*. Indiana University Press, Bloomington; и в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler, W.H. Zurek) Princeton University Press, 1983.)
- [386] Wilensky, R. (1990). *Computability, consciousness and algorithms*. Behavioural and Brain Sciences, 13 (4), 690.
- [387] Will, C. (1988). *Was Einstein right? Putting general relativity to the test*. Oxford University Press.
- [388] Wolpert, L. (1992). *The unnatural nature of science*. Faber and Faber, London.
- [389] Woolley, B. (1992). *Virtual worlds*. Blackwell, Oxford.
- [390] Wykes, A. (1969). *Doctor Cardano. Physician extraordinary*. Frederick Muller.
- [391] Young, A.M. (1990). *Mathematics, physics and reality*. Robert Briggs Associates, Portland, Oregon.
- [392] Zeilinger, A., Gaehler, R., Shull, C.G., Mampe, W. (1988). *Single and double slit diffraction of neutrons*. Revs. Mod. Phys., 60, 1067.
- [393] Zeilinger, A., Horne, M.A., Greenberger, D.M. (1992). *Higher-order quantum entanglement*. В сб. *Squeezed states and quantum uncertainty* (ed. D. Han, Y.S. Kirn, W.W. Zachary), NASA Conf. Publ. 3135. NASA, Washington, DC.
- [394] Zeilinger, A., Zukowski, M., Horne, M.A., Bernstein, H.J., Greenberger, D.M. (1994). *Einstein–Podolsky–Rosen correlations in higher dimensions*. В сб. *Fundamental aspects of quantum theory* (ed. J. Anandan, J.L. Safko). World Scientific, Singapore.
- [395] Zimba, J. (1993). *Finitary proofs of contextuality and nonlocality using Majorana representation of spin-3/2 states*, M. Sc. thesis, Oxford.
- [396] Zimba, J., Penrose, R. (1993). *On Bell non-locality without probabilities: more curious geometry*. Stud. Hist. Phil. Sci., 24 (5), 697–720.
- [397] Zohar, D. (1990). *The quantum self. Human nature and consciousness defined by the New Physics*. William Morrow and Company, Inc., New York.
- [398] Zohar, D., Marshall, I. (1994). *The quantum society. Mind, physics and a new social vision*. Bloomsbury, London.
- [399] Zurek, W.H. (1991). *Decoherence and the transition from quantum to classical*. Physics Today, 44 (No. 10), 36–44.
- [400] Zurek, W.H. (1993). *Preferred states, predictability, classicality and the environment-induced decoherence*. Prog. of Theo. Phys., 89 (2), 281–302.
- [401] Zurek, W.H., Habib, S., Paz, J.P. (1993). *Coherent states via decoherence*. Phys. Rev. Lett., 70 (9), 1187–1190.

Роджер Пенроуз
ТЕНИ РАЗУМА: В ПОИСКАХ НАУКИ О СОЗНАНИИ

Дизайнер М.В. Ботя

Технический редактор А.В. Широбоков

Корректоры З.Ю. Соболева, М.Т. Пушель

Подписано в печать 02.08.2005. Формат 84 × 108 ¹/₃₂.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 36,12. Уч. изд. л. 39,94.

Гарнитура Литературная. Бумага офсетная № 1.

Тираж 1500 экз. Заказ № 3963.

АНО «Институт компьютерных исследований» 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1.

<http://rcd.ru> E-mail: borisov@rcd.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных диапозитивов в ОАО «Дом печати – ВЯТКА» 610033, г. Киров, ул. Московская, 122

Векордия (VEcordia) представляет собой электронный литературный дневник Валдиса Эгле, в котором он цитировал также множество текстов других авторов. Векордия основана 30 июля 2006 года и первоначально состояла из линейно пронумерованных томов, каждый объемом приблизительно 250 страниц в формате А4, но позже главной формой существования издания стали «извлечения». «Извлечение Векордии» – это файл, в котором повторяется текст одного или нескольких участков Векордии без линейной нумерации и без заранее заданного объема. Извлечение обычно воспроизводит какую-нибудь книгу или брошюру Валдиса Эгле или другого автора. В названии файла извлечения первая буква «L» означает, что основной текст книги дан на латышском языке, буква «E», что на английском, буква «R», что на русском, а буква «M», что текст смешанный. Буква «S» означает, что файл является заготовкой, подлежащей еще существенному изменению, а буква «X» обозначает факсимилы. Файлы оригинала дневника Векордия и файлы извлечений из нее Вы **имеете право** копировать, пересылать по электронной почте, помещать на серверы WWW, распечатывать и передавать другим лицам бесплатно в информативных, эстетических или дискуссионных целях. Но, основываясь на латвийские и международные авторские права, **запрещено** любое коммерческое использование их без письменного разрешения автора Дневника, и **запрещена** любая модификация этих файлов. Если в отношении данного текста кроме авторских прав автора настоящего Дневника действуют еще и другие авторские права, то Вы должны соблюдать также и их.

В момент выпуска настоящего тома (обозначенный словом «Версия:» на титульном листе) главными представителями Векордии в Интернете были сайты: для русских книг – <http://vecordija.blogspot.com/>; для латышских книг – <http://vekordija.blogspot.com/>.

Оглавление

VEcordia	1
Извлечение R-PENRS4	1
Роджер Пенроуз	1
ТЕНИ РАЗУМА	1
Роджер Пенроуз. «Тени разума»	2
Глава 7. Квантовая теория и мозг	2
§7.1. Макроскопическая квантовая процедура в работе мозга	2
§7.2. Нейроны, синапсы и компьютеры	5
§7.3. Квантовые вычисления	8
§7.4. Цитоскелет и микротрубочки	9
§7.5. Квантовая когерентность внутри микротрубочек	18
§7.6. Микротрубочки и сознание	19
§7.7. Модель разума	21
§7.8. Невычислимость в квантовой гравитации (1)	26
§7.9. Машины с оракулом и физические законы	27
§7.10. Невычислимость в квантовой гравитации (2)	29
§7.11. Время и сознательное восприятие	31
§7.12. ЭПР-феномены и время: необходимость в новом мировоззрении	35
Глава 8. Возможные последствия	39
§8.1. Искусственные разумные «устройства»	39
§8.2. Что компьютеры умеют делать хорошо... и что не очень	41
§8.3. Эстетика и т.д.	43
§8.4. Опасности компьютерных технологий	46
§8.5. Неправильные выборы	47
§8.6. Физический феномен сознания	49
§8.7. Три мира и три загадки	54
Эпилог	63
Послесловие в Векордии	63
Литература	65
Оглавление	77