

VEcordia

Извлечение R-PENRO5

Открыто: 2010.08.31 22:58
Закрито: 2011.01.02 16:44
Версия: 2016.12.10 15:46

ISBN 9984-9395-5-3

Дневник «VECORDIA»

© Valdis Egle, 2016

ISBN 5-354-00005-X

Роджер Пенроуз. «НРК», том V

© Роджер Пенроуз, 1989



Задняя обложка книги

Роджер Пенроуз

НОВЫЙ РАЗУМ КОРОЛЯ

Том 5
(главы 9 – 10)
С комментариями Валдиса Эгле

Impositum

Grīziņkalns 2016

Talis hominis fuit oratio,
qualis vita

Роджер Пенроуз. «Новый Разум Короля»

(Продолжение; предыдущее в книге {PENRO4})

Глава 9. Реальный мозг и модели мозга

§9.1. Как же устроен мозг?

У нас в голове находится великолепное устройство, которое управляет нашими действиями и каким-то образом дает нам представление об окружающем мире. Правда, как однажды отметил Алан Тьюринг,¹ внешне оно больше всего напоминает миску холодной овсянки! Трудно представить, как столь заурядного вида объект умудряется совершать чудеса, на которые, как мы знаем, он способен. Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что он имеет гораздо более сложное строение и замысловатую организацию (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Мозг человека: вид сверху, сбоку, снизу и в разрезе

Большая покрытая извилинами (и более всего похожая на овсянку) часть мозга, расположенная сверху, называется собственно головным (или большим) мозгом. Он четко делится посередине на правое и левое полушария и, более условно, в передне-заднем направлении – на лобную долю и три остальные: височную, теменную и затылочную. Еще дальше и несколько книзу расположен небольшой и округлый мозжечок, чем-то похожий на пару клубков шерсти. Глубоко внутри мозга, как бы укрытый им, находится целый ряд любопытных и сложных на вид структур: варолиев мост и продолговатый мозг, которые вместе с ретикулярной формацией – областью, к которой мы обратимся позднее – составляют ствол мозга, а также таламус,

¹ Из радиовещания BBC (см. Ходжис [1983], с. 419).

гипоталамус, гиппокамп, мозолистое тело и еще много других, странных как по виду, так и по названиям, частей.

Большой мозг – предмет особой гордости человека и не только потому, что он является самой большой частью человеческого мозга, но и потому, что пропорция между этой частью и мозгом в целом у человека больше, чем у животных. (Мозжечок человека тоже превосходит размерами таковой у большинства других животных.) Головной мозг и мозжечок имеют сравнительно тонкий наружный слой серого вещества, под которым расположено значительно большее по массе белое вещество. Эти области серого вещества называют, соответственно, корой головного мозга и корой мозжечка. Считается, что в сером веществе происходят различные вычислительные действия, а белое вещество, состоящее из длинных нервных волокон, отвечает за передачу сигналов из одной части мозга в другую.

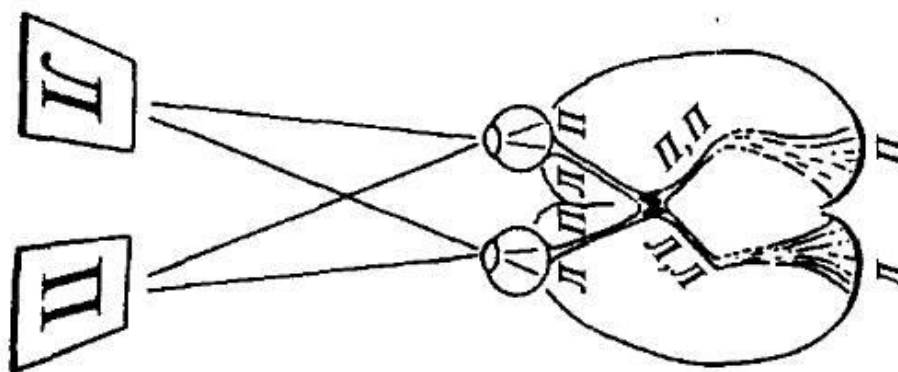


Рис. 9.2. Левая сторона поля зрения обоих глаз отображается на правой половине зрительной коры, а правая, соответственно, на левой (вид снизу; обратите внимание, что предметы на сетчатке отображаются в перевернутом виде)²

Каждой из различных областей коры головного мозга присущи свои специфические функции. Зрительная кора расположена в затылочной доле, прямо в задней части мозга, и занимается восприятием и распознаванием зрительных образов. Забавно, что природа именно там решила разместить интерпретатор визуальной информации, получаемой зрительными органами, которые (по крайней мере, у человека) находятся прямо спереди! Но природа вытворяет и куда более странные вещи. Так, за левую половину человеческого тела практически полностью отвечает правое полушарие, тогда как за правую – почти исключительно левое, поэтому чуть ли не все нервы, идущие в головной мозг или выходящие из него, по необходимости должны перекрещиваться³! При этом в случае зрительной коры правая ее часть связана не

² В.Э.: На сетчатке предметы изображаются «вверх ногами» (иначе не может быть, поскольку линза переворачивает). Но в дальнейшей обработке мозг опять «переворачивает» изображение, привязывая его к своей системе кодирования пространства. Но эта связь между изображением на сетчатке и системой кодирования пространства не является жесткой (физиологической, «хардверной»). Она – динамическая связь, устанавливаемая программами путем поиска пригодной интерпретации. Об этом свидетельствуют эксперименты с очками, переворачивающими изображение «вверх ногами». Испытуемые, которые надевали и носили такие очки, сначала видели весь мир перевернутым, и чувствовали себя в нем очень неуверенно. Однако вскоре они «привыкли», и мир опять стал для них «нормальным», несмотря на очки. Зато теперь, когда очки сняли, мир опять «перевернулся вверх ногами», и люди чувствовали себя в нем плохо, уже без переворачивающих очков – пока опять не привыкли. Это доказывает существование в мозге динамических интерфейсов, в которых связь между отдельными системами мозга не является жесткой, врожденной, а устанавливается по принципу «наилучшей интерпретации» поступающих сигналов. Такие динамические интерфейсы существуют не только в зрительной области, и они играют большую роль в различных психологических феноменах, например, целиком на них основаны явления гипноза, «раздвоения личности» и др.

³ В.Э.: Я думаю, что этот общий принцип «перекрещивания» выработан Естественным отбором для предотвращения одновременного поражения как органа, так и центра его управления при травме одной стороны организма, как я это пояснил в {PENRS4}.

с левым глазом, а с левой частью поля зрения обоих глаз.⁴ Аналогично, левая часть зрительной коры связана с правой частью поля зрения обоих глаз.

Это означает, что нервы от правой части сетчатки каждого из глаз должны идти к правой половине зрительной коры (вспомните, что изображение на сетчатке перевернуто по отношению к источнику), а нервы от левой части сетчатки – к левой половине коры (рис. 9.2). Таким образом в левой и правой частях зрительной коры формируется четкое отображение правой и левой областей поля зрения, соответственно.

Сигналы от ушей приходят на противоположные части мозга столь же замысловатым образом. Правая слуховая кора (часть правой височной доли) обрабатывает в основном звуки, поступающие слева, а левая слуховая кора – звуки, поступающие справа.⁵ Обоняние кажется здесь исключением из общего правила. Правая часть обонятельной коры, которая расположена в передней части большого мозга (в передней доле – что уже само по себе является исключением для сенсорной области), отвечает в основном за правую ноздрю, а левая часть – за левую ноздрю.⁶

Осязание связано с областью затылочной доли мозга, которая носит название соматосенсорной коры. Эта область находится как раз за условной границей, разделяющей лобную и теменную доли. Между различными частями поверхности тела и отдельными участками соматосенсорной коры существует довольно своеобразное соответствие. Иногда оно изображается графически в виде так называемого «соматосенсорного гомункулуса» – искаженной человеческой фигуры, изображаемой лежащей вдоль соматосенсорной коры, как это показано на рис. 9.3.

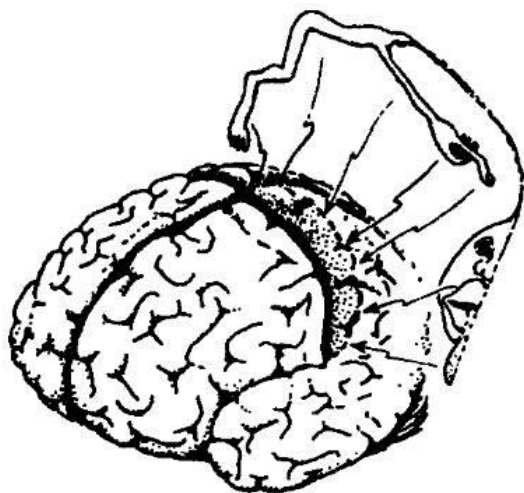


Рис. 9.3. «Соматосенсорный гомункулус» наглядно иллюстрирует участки коры головного мозга, расположенные сразу за линией, разделяющей лобную и теменную доли и непосредственно связанные с частями тела, откуда поступает осязательная информация

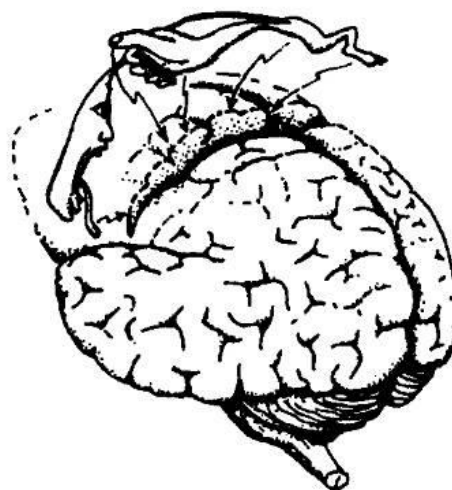


Рис. 9.4. «Двигательный гомункулус» наглядно изображает участки коры головного мозга, примыкающие к линии раздела между лобной и теменной долями, которые непосредственно приводят в движение различные части тела

⁴ В.Э.: Сигналы от двух глаз, отображающие один участок пространства, должны стекаться вместе, чтобы можно было сравнить степень поворота глаз, установить их разность и тем самым – расстояние до видимого объекта. «Глубина пространства» устанавливается (т.е. вычисляется) в первую очередь этой разностью поворота глаз при фокусированном изображении.

⁵ В.Э.: Поступающие справа – но от обоих ушей. Сигналы об одном и том же звуке с обоих ушей должны стекаться вместе, чтобы по разности во времени и интенсивности звука программа могла вычислить направление, откуда звук пришел.

⁶ В.Э.: Видимо, это потому, что обоняние, во-первых, самый древний из сенсорных аппаратов, а, во-вторых, он меньше чем зрение, слух или двигательный аппарат, влияет на спасение в случае опасности. В основном обоняние предназначено для определения пригодности чего-либо в пищу и для выслеживания пищи, а не для того, чтобы самому спастись бегством.

Правая часть соматосенсорной коры принимает осязательные сигналы, идущие от левой стороны тела, а левая – с правой. В лобной доле непосредственно перед границей с теменной долей находится участок коры, известный как двигательная кора. Он приводит в движение различные части нашего тела. И опять мы встречаемся с точно определенным соответствием между мышцами нашего тела и зонами этого участка мозга. Как и в случае с осязанием, эти связи можно графически изобразить в виде «двигательного гомункулуса» (рис. 9.4). И снова правая часть двигательной коры отвечает за движение левой стороны тела, а левая – правой.

Все упомянутые выше зоны коры головного мозга (зрительная, слуховая, обонятельная, осязательная и двигательная) называются первичными, поскольку именно они непосредственно осуществляют прием поступающих в мозг и передачу исходящих из него сигналов. Рядом с ними расположены вторичные зоны, предназначенные для более тонкой и сложной обработки сенсорной информации (рис. 9.5).

Сенсорная информация, полученная зрительной, слуховой или соматосенсорной зоной коры головного мозга, обрабатывается соответствующими вторичными областями, после чего вторичная двигательная область вырабатывает план движения, который переводится первичной двигательной областью на язык прямых команд, непосредственно адресованных мышцам. (Мы не будем касаться обонятельного участка коры, поскольку он функционирует иным и малоизученным пока образом.) Остальные участки коры головного мозга относятся к разряду третичных (или ассоциативных). В этих областях в основном и выполняется наиболее сложная и характеризующая высокой степенью абстрагирования часть умственной деятельности. Именно здесь при определенном участии периферической нервной системы собирается воедино и подвергается всестороннему анализу информация, поступающая от различных сенсорных участков; здесь происходит запоминание, складываются картины внешнего мира, намечаются и оцениваются планы действий, распознается и генерируется речь.⁷

Речь представляет для нас особый интерес, поскольку ее обычно относят к разряду способностей, присущих исключительно человеческому интеллекту. Интересно, что (по крайней мере у подавляющего большинства правшей и большей части левшей) речевые центры находятся в основном в левой половине мозга. К важным участкам относятся зона Брока, расположенная в задней нижней части лобной доли, и зона Вернике, которая располагается внутри и вокруг верхней задней части височной доли (рис. 9.6). Зона Брока отвечает за построение предложений, а зона Вернике – за понимание языка.⁸ Повреждение зоны Брока приводит к нарушению речи, но не ее пониманию, тогда как при повреждении зоны Вернике речь остается беглой, но, в основном, бессмысленной. Пучок нервных волокон, который связывает между собой две эти области, называется дуговидным пучком. При его повреждении ни речь, ни ее понимание не нарушаются, но мысль не может быть выражена словами.

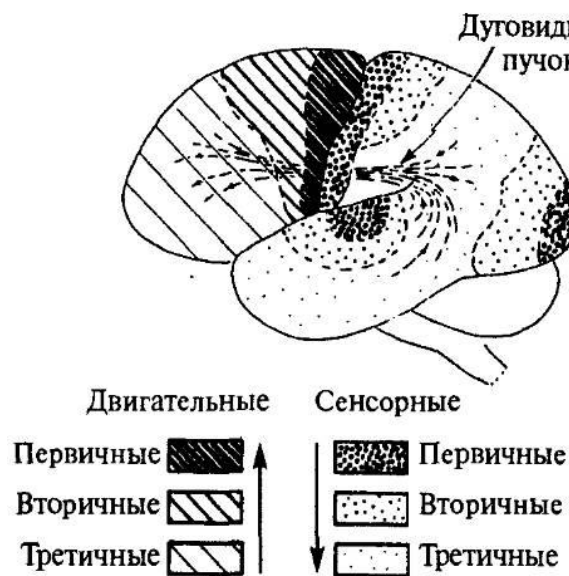


Рис. 9.5. Функции большого мозга (грубая схема). Сенсорная информация извне поступает в первичную область восприятия, последовательно обрабатывается до мельчайших деталей во вторичной и третичной сенсорных областях, затем передается в третичную двигательную область, и, в конце концов, в первичных двигательных областях преобразуется в точные инструкции к действию

⁷ В.Э.: Вся эта «география мозга» несомненно важна для нейрофизиологии и интересна сама по себе. Но всё же она не дает ключа к пониманию сущности интеллекта. Неужели, чтобы создавать искусственный интеллект, нам надо обязательно воспроизводить именно эти зоны Вернике и Брока, эти мозжечки и таламусы, эти серые и белые вещества? (А если не это, тогда – что?). Всё это не дает понимания, каким образом в мозге появляются абстрактные понятия, такие, как числа, как возникает понятие о бесконечности, как осуществляются математические доказательства. Объяснение всего этого требует совсем других понятий и других методов, нежели «география мозга» – и эти методы предлагает Веданская теория.

⁸ В.Э.: Значит, в зоне Брока расположен описанный в {[POTI-1](#)} энкодер, а в зоне Вернике – декодер.

Мы теперь можем составить очень приблизительную картину того, что делает головной мозг. Входные данные для мозга представляют собой зрительные, слуховые, осязательные и прочие сигналы, которые сначала регистрируются в первичных областях (главным образом) задних долей (теменной, височной и затылочной). Выходные сигналы мозга, приводящие к различным движениям тела, вырабатываются в основном лобными долями мозга. А где-то между ними происходит обработка информации и принятие решений. В общем, можно сказать, что активность мозга, начавшись в первичных областях задних долей, перемещается затем во вторичные области, где входные данные анализируются, и, далее, в третичные области задних долей, где информация становится полностью осмысленной (как, например, в случае с пониманием речи в зоне Вернике). Дуговидный пучок – упомянутый выше пучок нервных волокон, но теперь уже с обеих сторон мозга, – переносит эту информацию в лобную долю, где ее третичными областями вырабатывается общий план действий (например, как это происходит при генерации речи в зоне Брока). Эти общие планы действий преобразуются в более конкретные представления о движениях тела во вторичных двигательных областях, откуда активность мозга перемещается в первичную двигательную кору, которая, в конце концов, посылает соответствующие сигналы различным группам мышц тела (и часто нескольким одновременно).

Создается впечатление, что перед нами предстает картина превосходного вычислительного устройства. Сторонники сильного ИИ (см. главу 1 и далее) рассматривают мозг как великолепный образец алгоритмического компьютера – по сути, машины Тьюринга – в котором есть входные данные (как на ленте слева от машины Тьюринга) и выходные данные (как на ленте справа от машины Тьюринга) и который способен выполнять всевозможные нетривиальные вычисления на промежуточных этапах. Конечно, активность мозга может не прекращаться и в отсутствие внешних раздражителей. Это происходит в тех случаях, когда человек думает, занимается вычислениями или предаётся воспоминаниям. Приверженцы сильного ИИ отнесли бы это на счет продолжающейся алгоритмической деятельности и предположили бы, что явление «осознания» возникает как раз в те моменты, когда подобная деятельность достигает определенного уровня сложности.⁹

Но, хотя такая логика и напрашивается сама собой, мы не будем торопиться с выводами. Общая картина работы мозга, приведенная выше, довольно груба. Прежде всего, даже зрительное восприятие не происходит по такой простой схеме, как это было мной представлено ранее. В коре, по-видимому, существует несколько различных (хотя и менее значимых) областей, на которые отображаются поля зрения, очевидно, с какими-то другими целями. (Похоже, именно они отвечают за различия в том, как мы осознаем увиденное.) Скорее всего, по коре разбросаны также и другие дополнительные сенсорные и двигательные области (например, движение глаз может быть вызвано сигналами из определенных точек задних долей).

В своем описании мозга я затронул только его кору и ни разу не коснулся вопроса о назначении прочих частей. Какую роль выполняет, например, мозжечок! Ясно, что он отвечает за координацию и контроль движений тела, его равновесие, своевременность и точность действий. Представьте себе артистичность танцора, отточенность движений профессионального игрока в теннис, мгновенную реакцию гонщика, уверенные движения рук музыканта или художника; подумайте о грациозных прыжках газели или крадущейся кошки. Без мозжечка подобная точность движений была бы невозможна, они стали бы неуверенными и неуклюжими. По-видимому, в процессе приобретения новых навыков, будь то ходьба или вождение машины, сначала человеку приходится детально обдумывать каждое свое действие,¹⁰ и за это отвечает

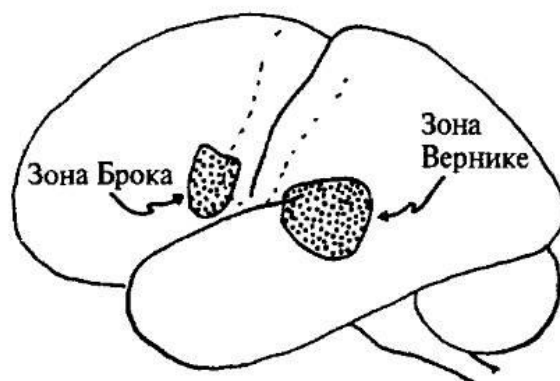


Рис. 9.6. Зоны Вернике и Брока, расположенные (как правило) полностью в левом полушарии, отвечают за понимание и формирование речи соответственно

⁹ В.Э.: Сложность сама по себе тут ни при чем. Чтобы происходило то, что в бытовой речи называется «осознанием», надо выполнять определенную работу (т.е., по терминологии Пенроуза – определенный алгоритм). Эта работа заключается главным образом в том, что действия компьютера запоминаются, а запомненная информация впоследствии анализируется.

¹⁰ В.Э.: То есть – составлять программу будущих действий; это и есть самопрограммирование.

кора головного мозга, но когда достигнут определенный уровень мастерства и действия начинают выполняться «автоматически»¹¹, управление ими передается мозжечку.¹² Более того, хорошо известно, что как только профессионал задумывается о своих действиях,¹³ он на время теряет легкость их координации. Думание, по-видимому, сопровождается переходом контроля к коре головного мозга и, хотя при этом, как следствие, появляется гибкость действий, «мозжечковая» плавность и точность движений на время утрачивается. Такое описание, без сомнения, является чересчур упрощенным, но тем не менее позволяет нам в общих чертах понять функцию мозжечка.¹⁴

При описании функций головного мозга до сих пор вообще не упоминалось о других частях мозга. Например, гиппокамп играет важнейшую роль в формировании долговременной (постоянной) памяти, хотя сама память располагается где-то в коре головного мозга, возможно, во многих местах одновременно. Мозг способен также сохранять образы различными способами с помощью кратковременной памяти в течение нескольких минут или даже часов (просто, что называется, «держит их в голове»). Но для того, чтобы человек мог вспомнить эти образы после того, как его внимание с них переключилось, необходимо сохранить их в долговременной памяти, и здесь уже не обойтись без гиппокампа. (Повреждение этого участка мозга приводит к ужасному состоянию, когда человек не способен запомнить ничего нового и всё сразу забывается, как только его внимание переключается на другой объект.) Мозолистое тело – это область, ответственная за связь между двумя полушариями мозга. (Далее мы увидим, к каким поразительным явлениям приводит рассечение мозолистого тела.) Гипоталамус представляет собой эмоциональный центр, в котором гнездятся удовольствие, ненависть, страх, отчаяние, голод,¹⁵ и который служит посредником между эмоциями и их ментальными и физическими проявлениями. Между гипоталамусом и различными частями мозга идет постоянный обмен сигналами. Таламус функционирует как важный обрабатывающий центр и переключающий узел, который передает значительную часть импульсов, поступающих извне, в кору головного мозга. Ретикулярная формация отвечает за общее состояние готовности мозга и его отдельных частей к осознанному восприятию. Все эти и многие другие жизненно важные части мозга соединены многочисленными нервами.

Вышеприведенное описание дает только общее представление о некоторых наиболее значимых частях мозга. Мне кажется целесообразным в завершение этого раздела привести некоторые сведения о строении мозга в целом. Его различные части группируются в три отдела, которые, если двигаться от позвоночника, называются по порядку задним (*rhombencephalon*), средним (*mesencephalon*) и передним (*prosencephalon*) мозгом. На ранних стадиях развития эмбриона эти отделы, в том же порядке, видны как три вздутия на конце позвоночного столба. Самое дальнее – развивающееся в передний мозг – имеет два выроста в виде пузырей, по одному с каждой стороны, которые становятся большими полушариями головного мозга. Полностью развитый передний мозг включает в себя многие важные части всего мозга – не только большой головной, но и мозолистое тело, таламус, гипоталамус, гиппокамп и многие другие. Мозжечок является частью заднего мозга. Ретикулярная формация расположена частью в среднем мозге, а частью в заднем. Передний мозг является «новейшим» отделом с точки зрения эволюционного развития, а задний – наиболее «древним».

Я надеюсь, что это краткое описание, во многом неточное, даст читателю некоторое представление о том, на что похож мозг человека и как он функционирует. До сих пор я лишь вскользь упомянул то, что служит центральной темой нашей дискуссии – сознание. Теперь перейдем к этому вопросу вплотную.

¹¹ В.Э.: То есть – программа уже готова и остается ее только запускать при необходимости.

¹² В.Э.: Значит, мозжечок – это аппарат для быстрого выполнения готовых двигательных программ.

¹³ В.Э.: То есть – если он перестает просто выполнять давно готовую программу и начинает ее анализировать со стороны (другими программами) как бы с целью перепрограммирования.

¹⁴ Интересно, что для мозжечка не характерно «перекрестное» поведение коры головного мозга: правая половина мозжечка управляет, в основном, правой стороной тела, а левая – левой. В.Э.: Мозжечок – филогенетически более старая часть мозга; видимо, «перекрестный принцип» был выработан Естественным отбором только с определенного этапа развития наших предков и не коснулся более старых частей мозга – обоняния и мозжечка.

¹⁵ В.Э.: То есть, гипоталамус – это центр управления общей мобилизацией или демобилизацией различных аппаратов организма и мозговых программ.

§9.2. Где обитает сознание?

Существует множество различных точек зрения на соотношение между состоянием мозга и феноменом сознания. Насколько очевидна важность этого явления, настолько же велико и расхождение во взглядах на него. Однако ясно, что не все части мозга в равной степени участвуют в формировании сознания. Например, как следует из вышесказанного, мозжечок по роду своей деятельности гораздо ближе к «автоматическому устройству», чем кора головного мозга. Действия, контролируемые мозжечком, происходят как будто сами собой и не требуют «обдумывания». Когда мы сознательно решаем пройти от одного места до другого, то вряд ли имеем перед собой тщательно разработанный план мышечных сокращений, который был бы необходим для управляемого движения.¹⁶ То же самое можно сказать и о бессознательных рефлекторных действиях, как, например, отдергивание руки от горячей печи, которое может быть опосредовано не головным мозгом, а верхней частью спинного мозга. Таким образом, напрашивается вывод о том, что феномен сознания, вероятнее всего, связан с активностью головного мозга, а не мозжечка или спинного мозга.

С другой стороны, совершенно не очевидно, что активность коры головного мозга всегда определяет осознанность наших действий. Например, как я уже указывал, в норме при ходьбе человек не контролирует детальные движения конечностей и работу мышц – управление этими действиями осуществляет, в основном, мозжечок (с помощью других частей головного мозга и спинного мозга), – однако первичные двигательные области головного мозга тоже вовлекаются в этот процесс. Более того, то же можно сказать и о первичных сенсорных областях: мы можем совершенно не осознавать меняющееся при ходьбе давление на подошвы ног, тем не менее соответствующие участки соматосенсорной коры постоянно активируются.

Уайддер Пенфилд, выдающийся американско-канадский нейрохирург (среди заслуг которого – составление в 1940-х и 1950-х годах детальных карт двигательных и сенсорных областей мозга человека), считал, что сознание не связано просто с активностью коры головного мозга. На основании опыта проведения многочисленных операций на мозге пациентов, находившихся в сознании, он предположил, что область, которую он называл верхней частью ствола мозга, включающая, в основном, таламус и средний мозг (см. Пенфилд, Джаспер [1947]), хотя он имел в виду главным образом ретикулярную формацию, в некотором смысле может быть названа «центром сознания». Верхняя часть ствола мозга связана с корой головного мозга, и, согласно Пенфилду, «акт осознания» или «осознанное действие» происходит каждый раз, когда эта область ствола мозга непосредственно обменивается сигналами с определенным участком коры, отвечающим именно за те чувства, мысли, воспоминания или действия, которые в данный момент осознанно воспринимаются или совершаются. Он указывал, что можно, например, стимулировать определенный участок двигательной коры мозга, который отвечает за движение правой руки (и правая рука на самом деле будет двигаться), но это не вызовет у подопытного желания двигать правой рукой. (Более того: он может даже постараться остановить ее движение

¹⁶ В.Э.: Когда мы «сознательно решаем пройти от одного места до другого», то происходит следующее. Во-первых, создается мозговая программа (это первый этап самопрограммирования), которая имеет весьма общие характеристики и совсем еще не детализирована. В программистских терминах ее можно представить себе как самый «головной модуль» компьютерной программы, к которому еще не подключены никакие подпрограммы, необходимые для реальной работы. В бытовых терминах эту «недоделанную» программу называют «намерением». Когда же субъект начинает осуществлять свое намерение, то самопрограммирование продолжается, и к «головному модулю» подключаются необходимые подпрограммы. Если речь идет просто о ходьбе, то они, как правило, берутся из «библиотеки заготовок», но перед запуском слегка модифицируются по обстоятельствам (это такие подпрограммы как «сделать шаг левой ногой», «сделать шаг правой ногой», «остановиться» и т.п.). Если речь идет об осуществлении более сложного намерения (например, ограбления банка), то тут, конечно, многие подпрограммы головной программы (ограбления) будут гораздо сложнее, чем просто сделать «шаг левой» и «шаг правой». Но даже при простой ходьбе непрерывно идет самопрограммирование (для каждого отдельного движения), учитывающее окружающую обстановку (например, что впереди загорелся красный свет на светофоре или приближается автомобиль). Но это непрерывное самопрограммирование, во-первых, происходит в рамках общего головного модуля (намерения перейти с места *A* на место *B*) и, во-вторых, оно обильно использует давно существующие заготовки подпрограмм. (У годовалого ребенка таких заготовок еще нет, поэтому для него переход от точки *A* к точке *B* представляет гораздо большую проблему, чем для взрослого, владеющего обширной библиотекой всевозможных подпрограмм).

левой рукой – совсем как доктор Стрэнджлав из популярного фильма!¹⁷) Пенфилд предполагал, что желание совершить действие связано скорее с таламусом, нежели с корой головного мозга. Согласно его представлениям сознание – это проявление активности верхней части ствола мозга, однако, поскольку должно еще быть что-то, что осознается, то эта активность не ограничивается стволом мозга, но включает в себя еще и те участки коры, с которыми у верхней части ствола мозга в этот момент существует активная связь и которые представляют собой субъект (чувственное восприятие или воспоминание) или объект (волевое действие) сознания.

Другие нейрофизиологи тоже высказывали предположение о том, что ретикулярную формацию можно было бы назвать «местонахождением» сознания, если таковое на самом деле существует. Ведь, как бы там ни было, эта область отвечает за пребывание мозга в активном состоянии. Ее повреждение приводит к потере сознания. Всегда, когда мозг находится в бодрствующем сознательном состоянии, активна и ретикулярная формация, и наоборот. На самом деле существует явная связь между активностью ретикулярной формации и тем состоянием человека, которое мы традиционно называем «сознательным». Однако ситуация осложняется тем, что во сне, когда мы на самом деле «сознаем», что мы спим, активные в норме участки ретикулярной формации активности не проявляют. И еще один факт мешает ученым признать за ретикулярной формацией столь почетный статус: с точки зрения эволюции, эта часть мозга является очень древней. Если всё, что нужно для обладания сознанием – активность ретикулярной формации, то им должны быть наделены лягушки, ящерицы и даже треска!

Лично я не расцениваю последний довод как достаточно весомый. Разве у нас есть неоспоримые свидетельства того, что ящерицы и треска не обладают неким зачаточным сознанием? Какое право мы имеем утверждать, как это некоторые делают, что человеческие существа – единственные обитатели нашей планеты, наделенные свыше настоящим «сознанием»? Неужели на Земле мы единственные, кому дозволено «осознавать»? Позвольте усомниться в этом. Конечно, лягушки, ящерицы и уж тем более треска не вызывают у меня ощущения, что «кто-то в них» взирает на меня, когда я рассматриваю эти создания, но я очень явственно ощущаю присутствие «сознания», когда смотрю в глаза кошке, собаке или, особенно, когда на меня смотрят обезьяны или мартышки в зоопарке. Я не требую, ни чтобы они чувствовали то же, что и я, ни даже какой-либо сложности испытываемых ими чувств. Им совершенно не обязательно «сознавать себя» в каком-то строгом смысле этого слова (хотя наличие некоторого элемента самосознания у них я не исключаю)¹⁸. Достаточно будет, чтобы они просто чувствовали! Что касается состояния сна, то я бы признал, что определенная форма сознания при этом присутствует, хотя, по всей видимости, на довольно низком уровне. Если за функционирование сознания каким-то образом отвечают только участки ретикулярной формации, то они должны сохранять активность (хотя бы невысокую) и во время сна.

Другая точка зрения (О'Кифи [1985]) состоит в том, что сознание в большей мере связано с функционированием гиппокампа. Как я уже отмечал, гиппокамп определяет способность к долговременному запоминанию. Принимая в качестве гипотезы, что постоянная память связана с сознанием, мы должны рассматривать гиппокамп как главное действующее лицо в феномене осознанного восприятия.

Есть и другое мнение, согласно которому сознание является результатом деятельности самой коры головного мозга. Раз уж большой головной мозг служит предметом особой гордости человека (хотя у дельфинов он никак не меньше!), и умственная деятельность, понимаемая как интеллект, связана как раз с этой частью мозга, то именно в ней и должна обитать душа человека! Таким, по-видимому, мог бы быть вывод, например, сторонников сильного ИИ. Если «сознание» – не более, чем следствие сложности алгоритма – или, возможно, его «глубины» или некой «степени изошренности», – тогда, в соответствии с представлениями сильного ИИ, сложные алгоритмы, выполняемые корой головного мозга, дали бы ей преимущественное право претендовать на способность к проявлению сознания.

Многие философы и психологи склонны считать язык непременным атрибутом человеческого сознания. Соответственно, именно способность изъясняться при помощи слов позволяет

¹⁷ Речь идет о фильме *Доктор Стрэнджлав*, в котором Питер Сэллер играет нацистского врача – доктора Стрэнджлава, – эмигрировавшего в США и вынужденного всё время останавливать левую руку свою правую руку, которая самовольно вскидывается в нацистском приветствии. – *Прим. ред.*

¹⁸ О том, что, по крайней мере, шимпанзе обладают самосознанием, с убедительностью говорят результаты экспериментов, в ходе которых шимпанзе разрешалось играть с зеркалами (см. Окли [1985], главы 4 и 5).

достичь той тонкости мышления, которая служит отличительной чертой человека и выражением самой его сути. Именно язык, в соответствии с этой точкой зрения, отличает нас от других животных и дает нам возможность лишать их свободы и вести на бойню, как только в этом возникает потребность. Именно язык позволяет нам философствовать и описывать наши ощущения, так что мы можем убедить остальных, что мы осознаем окружающий мир и самих себя. С этой точки зрения владение языком является необходимым и достаточным условием наличия сознания.

А теперь мы должны вспомнить о том, что языковые центры находятся (у большинства людей) в левой половине мозга (зоны Брока и Вернике). Из вышеизложенной точки зрения должно было бы следовать, что сознание – это что-то, что связано только с левой половиной коры головного мозга! И таково, на самом деле, мнение целого ряда нейрофизиологов (в частности, Джон Экклз [1973]), которое я, как сторонний наблюдатель, считаю весьма странным по причинам, изложенным ниже.

§9.3. Эксперименты при разделенных больших полушариях мозга

В связи со сказанным выше я должен упомянуть целый ряд замечательных наблюдений над людьми (и животными) при полном рассечении у них мозолистого тела, которое делало взаимодействие левого и правого полушарий головного мозга невозможным. У людей¹⁹ операция по рассечению мозолистого тела применялась как эффективное средство лечения в случаях особо тяжелых форм эпилепсии.²⁰ Роджер Сперри с сотрудниками подвергал таких пациентов, спустя некоторое время после операции, многочисленным психологическим тестам. При этом в левом и правом полях зрения испытуемых помещались никак не связанные друг с другом предметы, так что левое полушарие получало информацию только о том, что располагалось с правой стороны, а правое полушарие – с левой. Если справа предъявлялось изображение карандаша, а слева – чашки, то тестируемый произносил: «Это карандаш», поскольку именно карандаш, а не чашку, воспринимала та половина мозга, которая явно отвечает за речевые способности. Однако левой рукой испытуемый выбирал блюдце, а не лист бумаги, считая его ассоциативно более подходящим к чашке. Левая рука находилась «в подчинении» у правого полушария, которое, хотя и не могло оперировать словами, всё же было способно производить определенные, довольно сложные и типичные для человека действия. Было высказано предположение о том, что за «геометрическое мышление» (особенно пространственное воображение) и музыкальное восприятие ответственно, в основном, правое полушарие, а за речевые и аналитические способности – левое. Правое полушарие мозга может понимать общеупотребительные существительные и элементарные предложения, а также выполнять простейшие арифметические действия.

Самое поразительное, что при разделении полушарий они ведут себя как две практически независимые индивидуальности, с каждой из которых экспериментатор может общаться по отдельности, хотя общение с правым полушарием носит более примитивный характер и значительно затруднено по сравнению с левым из-за отсутствия речевых способностей. Каждая половина головного мозга может поддерживать связь с другой половиной косвенным путем, например, наблюдая за движениями руки, контролируемые другой стороной, или слыша звуковые «подсказки» (такие, как стук блюдца). Но в хорошо контролируемых лабораторных условиях даже эта примитивная связь может быть устранена. Однако от одной половины к другой всё же могут передаваться неясные эмоциональные ощущения, предположительно потому, что нерассеченные структуры мозга, такие как гипоталамус, по-прежнему связаны с обоими полушариями.

Возникает искушение задать вопрос: неужели перед нами – два различных индивидуума, обладающих сознанием и пребывающих в одном теле? Этот вопрос вызвал бурную полемику. Одни без сомнений отвечали на этот вопрос утвердительно, другие считали, что ни одна из сторон не должна рассматриваться как полноценная личность. Некоторые утверждали, что

¹⁹ Первые эксперименты такого рода были проведены на кошках (см. Мире, Сперри [1953]). За дальнейшими сведениями из области экспериментов с разделением полушарий мозга я отсылаю читателя к работам Сперри [1966], Газзаниги [1970] и Мак-Кей [1987].

²⁰ В.Э.: Насколько я понимаю, это другая операция – не лоботомия, но, очевидно, применялась во времена расцвета лоботомии – в начале 1950-х –, последовавшие после присуждения в 1949 году Нобелевской премии изобретателю (в 1935 г.) лоботомии португальцу Эгашу Монишу.

общность эмоциональных ощущений может служить доказательством существования только одной личности. Еще одна точка зрения состоит в том, что сознательного индивидуума представляет только левое полушарие, а правое – просто автомат. Этой точки зрения придерживаются те, кто считает речевые способности обязательной составляющей сознания. Само собой, только левое полушарие может убедительно заявить «Да!» в ответ на вопрос: «Обладаешь ли ты сознанием?». Правому полушарию, подобно кошке, собаке или шимпанзе, может быть трудно даже понять отдельные слова этого вопроса, не говоря уже о том, чтобы правильно ответить на него.

И всё же пока вопрос остается открытым. В недавних экспериментах, проведенных Дональдом Вильсоном и его коллегами (Вильсон и др. [1977], Газзанига и др. [1977]), при наблюдениях за пациентом с разделенным мозгом (назовем его «P.S.»), были получены весьма интересные результаты. После операции по разделению полушарий только левое полушарие обладало речью, но понимали речь оба полушария, а позднее правое полушарие научилось и воспроизводить речь²¹! Несомненно, что оба полушария были наделены сознанием. Более того, это были два отдельных сознания, поскольку их желания и пристрастия были совершенно различны. Например, левое полушарие выражало желание стать чертежником, а правое – гонщиком!

Лично я не верю в справедливость широко распространенного убеждения в том, что обычный человеческий язык необходим для мышления или сознания. (В следующей главе я приведу некоторые доводы в пользу своей точки зрения.) Поэтому я отношусь к тем, кто верит, что, в принципе, обе половины мозга после разделения обладают сознанием независимо друг от друга. Пример с P.S. может служить весомым подтверждением тому, что, по крайней мере в этом частном случае, это так и есть. По-моему мнению, единственное действительное различие между P.S. и всеми другими случаями заключается в том, что сознание его правого полушария на самом деле смогло убедить окружающих в своем существовании!

Если мы допускаем, что P.S. действительно имеет два независимых разума, то возникает довольно пикантная ситуация. Есть все основания полагать, что до операции разделения полушарий у каждого пациента было только одно сознание. Однако после операции их уже два! В некотором смысле, изначально единственное сознание раздвоилось.²² Мы можем в связи с этим вспомнить гипотетического путешественника из главы 1 (с. 38), который воспользовался телепортационной машиной и в какой-то момент (неумышленно) был поставлен перед фактом, что будто бы «настоящее» его «я» благополучно прибыло на Венеру. В этом случае раздвоение сознания приводит к кажущемуся парадоксу. Ведь мы можем задать резонный вопрос: «А какой, собственно, маршрут выбрал поток его сознания “на самом деле”?» Если бы вы были этим путешественником, то какое бы из двух сознаний вы, в конце концов, назвали бы «собой»? Устройство для телепортации относится к области научной фантастики, однако в случае с P.S. мы имеем в чем-то аналогичную ситуацию и притом совершенно реальную! Какое из сознаний P.S. было бы правомерно «отождествить» с P.S. до операции? Нет сомнений, что многие философы сочли бы этот вопрос бессмысленным, ибо его решение при помощи операционалистских методов кажется невозможным.²³ Каждое полушарие сохраняет память о «дооперационных» временах, и, естественно, каждое будет идентифицировать себя с той – еще целостной –

²¹ В.Э.: Это (как и многие другие факты) показывает, что мозг – очень гибкая самопрограммирующаяся система, а все эти «зоны» распределения функций (такие, как «зоны Вернике и Брока») весьма условны; они не представляют собой что-то физиологическое, а нечто программистское; это не «хардвер», а «софтвер», и в случае необходимости соответствующая программатура может быть создана и в других областях мозга – соответственно, перепрограммируя эти области.

²² В.Э.: Ну, с точки зрения мозговых программ тут нет абсолютно никакой проблемы. Ясно же, что мозг является системой многопроцессорной, а «цельная личность» представляет собой некоторый суммарный результат действия этих процессоров, где всегда какие-то инициативы каких-то процессоров «остаются победителями» (т.е. принимаются во внимание и вливаются в суммарный результат), а другие «подавляются» (т.е. не принимаются во внимание и в суммарный результат не входят). Когда мозг рассечен на две части, образуются две автономные группы процессоров (и работающих в них программ), и каждая из них дает свой суммарный результат – теперь уже без учета процессоров другой группы. Это и есть «два сознания» или «две личности».

²³ В.Э.: Что это за «операционалистские методы», при которых решение этого вопроса «кажется невозможным»? С точки зрения Веданской теории тут даже и решать нечего – не больше, чем в любой другой ситуации с какими-то программами.

личностью. Но всё же подобная ситуация, примечательная в качестве своего рода головоломки и способная поставить в тупик, сама по себе еще не является парадоксальной.

Эта головоломка еще усложнится, если предположить, что в дальнейшем оба сознания можно было бы каким-то образом опять свести воедино. Повторное соединение разрезанных нервных волокон мозолистого тела на сегодняшнем этапе развития медицины исключается, но можно представить себе некий способ разделения полушарий, более мягкий, чем реальное разрезание нервных волокон. Например, нервные волокна могли бы быть временно заморожены или парализованы при помощи лекарственных средств. Пока я не слышал о подобных опытах, но думаю, что появление технических возможностей для их осуществления – это вопрос обозримого будущего. Тогда можно допустить, что после приведения мозолистого тела в работоспособное состояние, мы вновь получим одно сознание! Представьте, что это сознание ваше. Как бы вы себя чувствовали после того, как в течение какого-то времени были двумя независимыми личностями с отдельными «я»²⁴?

§9.4. «Зрение вслепую»

Эксперименты по разделению полушарий мозга, помимо прочего, ясно показали, что наличие единственного «места для сознания» вовсе не обязательно. Но были проведены и другие опыты, результаты которых дают основание полагать, что некоторые участки коры головного мозга в большей степени связаны с сознанием, нежели прочие. Среди подобных опытов – изучение явления слепоты. Повреждение тех или иных участков зрительной коры может привести к слепоте в соответствующем секторе поля зрения. Человек не видит предмет, помещенный в этот сектор – у него появляется частичная слепота, связанная с этой конкретной зоной его поля зрения.

Однако, кое-какие любопытные изыскания (см. Вайскранц [1987]) позволяют говорить о том, что дела здесь обстоят совсем не так просто, как кажется. У пациента, называемого здесь и далее «D.B.», необходимо было удалить часть зрительной коры головного мозга, и после операции у него наступила частичная слепота в описанном выше смысле. Однако, когда что-либо (как правило, изображение крестика, кружочка или наклонного отрезка прямой) помещали в «слепую зону» и просили D.B. угадать, что это такое, он обнаружил, что может делать это с практически стопроцентной точностью! Эта способность к «угадыванию» оказалась неожиданной и для самого D.B., который при этом продолжал утверждать, что в этой зоне он вообще ничего не видит.²⁵

Изображения, формируемые на сетчатке, в свою очередь тоже обрабатываются не только зрительной корой, но и другими участками мозга, при этом один из наиболее загадочных из них находится в нижней части височной доли. Вполне возможно, что D.B. строил свои «догадки» на основе информации, полученной как раз этим участком нижней части височной доли. При активации этих областей не возникало никаких осознанных ощущений, однако информация в них, бесспорно, содержалась, проявляя себя только в точности «догадок» D.B. На самом деле, после соответствующей тренировки D.B. научился до некоторой степени осознавать информацию, относящуюся к этим областям мозга.²⁶

Всё это, по-видимому, указывает на то, что отдельные зоны коры головного мозга (как, например, зрительная кора) имеют большее отношение к сознательному восприятию, чем другие, но некоторые из этих менее важных зон, очевидно, могут быть путем тренировок открыты для непосредственного доступа сознания.

²⁴ В.Э.: А никак не чувствовал бы! Скорее всего, даже толком и не заметил бы, что «личности» опять объединились. Обе группы процессоров опять работали бы как единое целое, воспоминания были бы «общими» – просто «моими»; – не видно, какие такие особые эффекты должны там появиться. Во всяком случае, не больше, чем при выходе в бодрствование из сновидения или из пьяного состояния в трезвое или после какого-нибудь удара по голове.

²⁵ Своего рода дополнительным к «зрению вслепую» может служить состояние, известное как «отрицание слепоты», при котором совершенно слепой человек настаивает на том, что он хорошо видит, и которое, по-видимому, связано с визуальным осознанием информации об окружении, полученной при помощи других органов чувств! См. Черчланд [1984], с. 143.

²⁶ В.Э.: Еще раз: мозг – очень гибкая программная система, и был перепрограммирован.

§9.5. Обработка информации в зрительной коре

Именно в зрительной коре процессы обработки информации изучены гораздо лучше, чем в других частях мозга. Для их описания был предложен целый ряд разнообразных моделей.²⁷ На самом деле, до того, как визуальная информация попадает в зрительную кору, ее частичная обработка проходит еще в сетчатке. (Вообще говоря, сетчатка считается частью мозга!) Одни из первых экспериментов по исследованию процессов обработки информации в зрительной коре были проведены Давидом Хьюбелом и Торстеном Визелем и в 1981 году принесли им Нобелевскую премию. В ходе этих экспериментов удалось показать, что определенные клетки зрительной коры кошки воспринимают в поле зрения линии, имеющие вполне определенный угол наклона. При этом соседние клетки были восприимчивы к линиям, расположенным под несколько иным углом. Часто не имело значения, что именно характеризуется таким углом наклона. Это могла быть граница между темной и светлой областью или просто темная черта на светлом фоне. Изучаемые клетки оказались способны абстрагироваться от конкретной природы объекта, имеющего свойство «угол наклона». Другие клетки были чувствительны к определенным цветам или к различиям между изображениями, регистрируемыми каждым глазом, что позволяет воспринимать объемные изображения. Продвигаясь далее от первичных областей восприятия, мы обнаруживаем клетки, которые чувствительны ко всё более тонким аспектам восприятия того, что мы видим. Например, при взгляде на рис. 9.7 мы различаем очертания белого треугольника, однако линии, образующие сам треугольник, большей частью не изображены, но домыслены. Клетки, способные фиксировать эти «подразумеваемые» линии, действительно были обнаружены в зрительной коре (той, что называется вторичной зрительной корой)!

В начале 1970-х годов в литературе²⁸ появились заявления об открытии в зрительной коре мозга мартышек клеток, которые активируются только тогда, когда на сетчатку проецируется изображение лица. На основании этой информации была сформулирована «гипотеза бабушкиной клетки», согласно которой в мозге человека должны существовать определенные клетки, реагирующие только в тех случаях, когда в комнату входит его/ее бабушка! Недавние исследования показали, что есть клетки, реагирующие на определенные слова. Может быть, это шаг на пути к доказательству справедливости гипотезы бабушкиной клетки²⁹?

Ясно, что нам предстоит еще очень много узнать о деталях процессов обработки информации в мозге. До сих пор очень мало известно о функционировании высших отделов мозга. Мы пока оставим эти вопросы и обратимся к самим клеткам мозга, которые позволяют ему осуществлять эту удивительную деятельность.

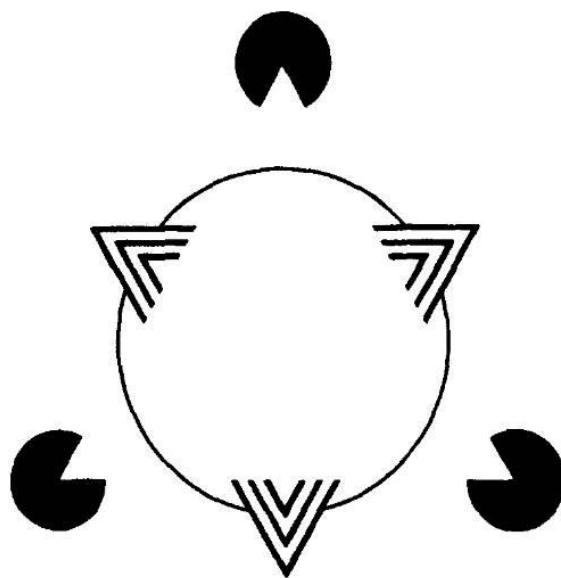


Рис. 9.7. Видите ли вы белый треугольник, лежащий вверх другого треугольника и прикрепленный к нему кольцом? Стороны этого белого треугольника нигде не нарисованы до конца, однако, в мозге есть клетки, ответственные за восприятие этих невидимых линий

²⁷ Доступное изложение принципов действия зрительной коры можно найти у Хьюбела [1988].

²⁸ См. Хьюбел [1988], с. 221. Ранние эксперименты позволили обнаружить клетки, чувствительные только к образу руки.

²⁹ **В.Э.:** Я не думаю, что это клетки, какие-то физиологически особые. Они настраиваются на определенную работу (как и весь мозг), и эта их настройка в терминах информатики как раз и называется – программированием.

§9.6. Как работают нервные импульсы?

Обработка информации в головном мозге (равно как и в спинном мозге и сетчатке) осуществляется уникальными по своему разнообразию клетками, которые называются нейронами.³⁰ Попробуем разобраться, как же устроен нейрон. Я схематично изобразил его на рис. 9.8. Его утолщенная центральная часть, немного похожая на звезду и часто имеющая форму редиски, называется телом (сомой) нейрона и содержит в себе клеточное ядро. С одной стороны от тела нейрона отходит сильно вытянутое нервное волокно, называемое аксоном. Аксон иногда достигает действительно огромной длины (у человека – часто до нескольких сантиметров), если учесть, что речь идет всего лишь об одной микроскопической клетке.

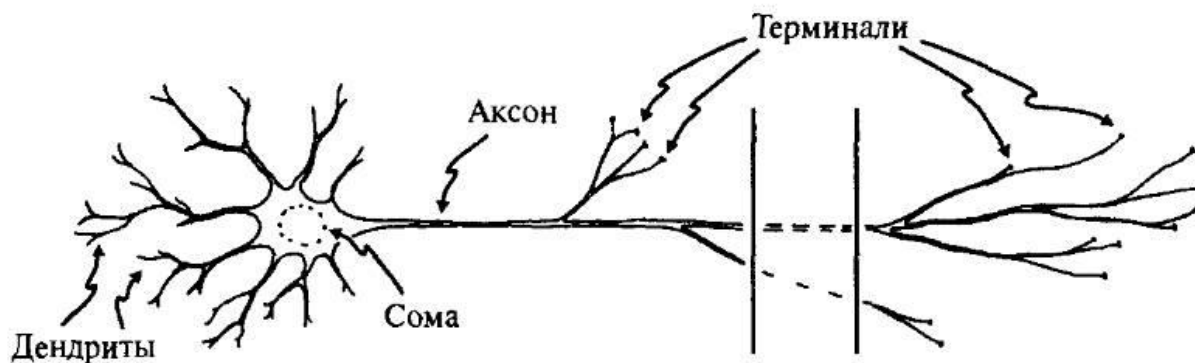


Рис. 9.8. Нейрон (часто гораздо более удлиненный, чем на рисунке). Различные типы нейронов могут существенно отличаться по внешнему виду

Аксон служит «проводом», по которому передается исходящий из клетки нервный сигнал. От аксона в стороны могут отходить более мелкие ветви и, кроме того, аксон может несколько раз разветвляться. На концах каждого из этих нервных волокон находятся нервные окончания (терминали). По другую сторону сомы, а часто и отходя от нее во всех направлениях, располагаются короткие сильно ветвящиеся отростки – дендриты, по которым в клетку поступают входные данные. (Иногда и на концах дендритов встречаются терминали, образующие так называемые дендро-дендритные синапсы между дендритами. В дальнейшем я не буду их учитывать, поскольку связанное с ними усложнение общей картины несущественно.)

Клетка как целое отделена от окружающей клеточной мембраной, которая охватывает сому, аксон, нервные окончания, дендриты и всё остальное. Для того, чтобы сигналы передавались от одного нейрона к другому, надо каким-то образом обеспечить им возможность «перехода через барьер» между нейронами. Это достигается с помощью межклеточного соединения, называемого синапсом, в котором терминаль одного нейрона соединена с какой-либо точкой на соме или на одном из дендритов другого нейрона (рис. 9.9). На самом деле, между терминалью одного нейрона и сомой или дендритом другого остается очень узкий зазор, который называется синаптической щелью (рис. 9.10). При передаче от одного нейрона к другому сигнал должен преодолеть этот зазор.

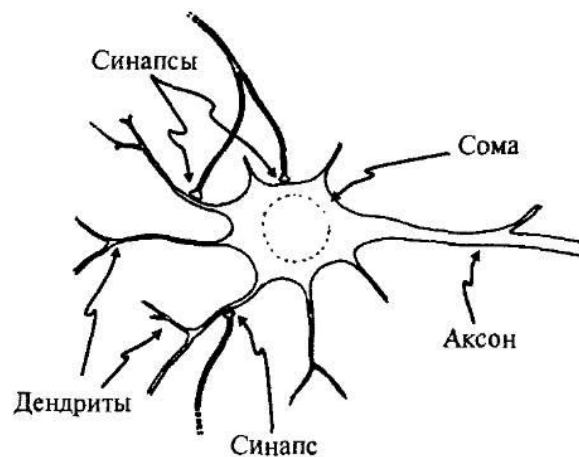


Рис. 9.9. Синапсы обеспечивают контакт одного нейрона с другим

³⁰ Общепринятая сегодня теория, согласно которой нервная система состоит из отдельных клеток – нейронов – была впервые предложена и убедительно обоснована великим испанским нейрофизиологом Рамоном-и-Кахалом около 1900 года.

В какой форме сигналы передаются по нервным волокнам и через синаптические щели? Что заставляет следующий нейрон передавать сигнал дальше? Для непосвященного, вроде меня, механизмы, которые используются здесь природой, кажутся удивительными и совершенно зачаровывающими! Можно было бы думать, что эти сигналы распространяются точно так же, как электрический ток по проводам, но в действительности всё гораздо сложнее.

Нервное волокно представляет собой цилиндрическую трубку, заполненную раствором обычной соли (хлорида натрия), смешанной с хлоридом калия (с преобладанием последнего), так что внутри трубки находится смесь из ионов натрия, калия и хлора (рис. 9.11). Снаружи волокна находятся те же ионы, но в других соотношениях: ионов натрия больше, чем ионов калия. В состоянии покоя содержимое трубки имеет суммарный отрицательный заряд (т.е. ионов хлора там больше, чем ионов калия и натрия вместе; напомним, что ионы калия и натрия заряжены положительно, тогда как ионы хлора – отрицательно). Клеточная мембрана, образующая поверхность цилиндра, имеет «утечки», поэтому ионы перемещаются через мембрану таким образом, чтобы нейтрализовать избыточный заряд. Компенсацию утечек и поддержание избыточного отрицательного заряда внутри трубки осуществляет «ионный насос», который очень медленно откачивает ионы натрия через мембрану наружу. Отчасти это же помогает поддерживать избыток ионов калия по сравнению с ионами натрия во внутреннем растворе. Существует также ионный насос, который (более медленно) переносит ионы калия из наружной среды внутрь трубки (что, правда, не способствует поддержанию разности зарядов).

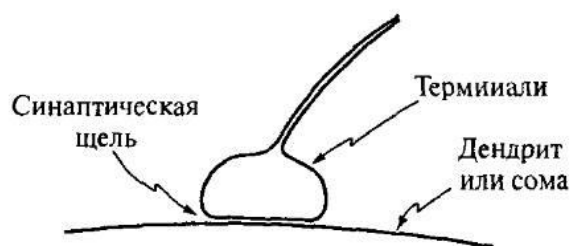


Рис. 9.10. Схема строения химического синапса. Через синаптическую щель сигнал передается с помощью нейромедиатора

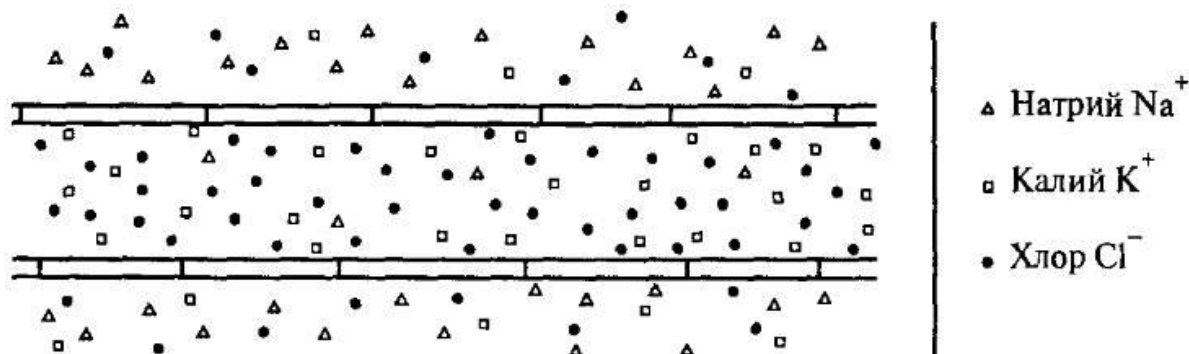


Рис. 9.11. Схематическое изображение нервного волокна. В состоянии покоя внутри волокна ионов хлора больше, чем ионов калия и натрия, что обеспечивает отрицательный суммарный заряд; снаружи ситуация противоположная, и, соответственно, имеется положительный заряд. Калиево-натриевый баланс внутри трубки отличается от баланса снаружи: внутри больше ионов калия, а снаружи – натрия

Сигнал, распространяющийся по нервному волокну, представляет собой область с обратным распределением зарядов (т.е. положительный заряд внутри и отрицательный снаружи), которая перемещается вдоль волокна (рис. 9.12). Вообразите, что вы находитесь на нервном волокне как раз перед такой областью с обратным распределением зарядов. По мере того, как эта область приближается, электрическое поле открывает в мембране маленькие «дверцы», называемые натриевыми каналами. Это позволяет ионам натрия перемещаться с наружной стороны мембраны обратно внутрь трубки (в результате совместного действия электрических сил и давления, обусловленного разностью концентраций, т.е. «осмоса»). Это приводит к тому, что заряд снаружи становится отрицательным, а внутри – положительным. Когда это происходит, мы знаем, что область обратного распределения заряда, которая и является сигналом, достигла нас. При этом позади нее открываются крошечные «дверцы» другого типа (калиевые каналы), которые выпускают ионы калия наружу, тем самым восстанавливая избыточный отрицательный заряд внутри. Теперь сигнал прошел! Наконец, когда сигнал уже достаточно удался, медленно,

но верно работающие ионные насосы постепенно выкачивают ионы натрия из трубки наружу, закачивая внутрь ионы калия. Таким образом волокно возвращается в состояние покоя и готово к передаче очередного сигнала.

Обратите внимание, что сигнал представляет собой просто область обратного распределения заряда, движущуюся вдоль волокна. Вещество как таковое (т.е. ионы) перемещается при этом совсем немного – только внутрь и наружу через клеточную мембрану!

Этот странный, экзотической механизм действует на поверку очень эффективно. Он универсален и используется как у позвоночных, так и у беспозвоночных. Но у позвоночных он был усовершенствован за счет изоляции нервных волокон при помощи беловатого жироподобного вещества, называемого миелином. (Именно миелиновым покрытием объясняется цвет «белого вещества» мозга.) Такая изоляция позволяет нервным импульсам распространяться без потерь (от одной «ретрансляционной станции» к другой) и с очень приличной скоростью – до 120 метров в секунду.

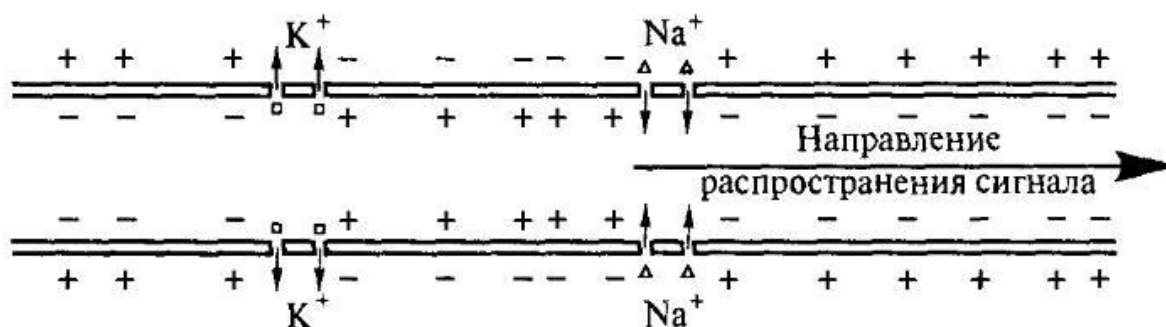


Рис. 9.12. Нервный импульс – это область с обратным (по отношению к состоянию покоя) распределением заряда, перемещающаяся вдоль волокна. При ее приближении открываются натриевые каналы, пропускающие поток ионов натрия внутрь; сразу после ее прохождения открываются калиевые каналы, обеспечивающие отток ионов калия наружу. Работа ионных насосов восстанавливает исходное состояние

Когда сигнал достигает терминали, из нее выделяется химическое соединение, называемое нейромедиатором. Это соединение пересекает синаптическую щель и достигает другого нейрона – поверхности дендрита или сомы. При этом у одних нейронов терминаль выделяет нейромедиатор, облегчающий возбуждение следующего нейрона, т.е. посылку нового сигнала вдоль своего аксона. Эти синапсы называются возбуждающими. У других нейронов терминали выделяют нейромедиатор, затрудняющий другому нейрону генерацию собственного импульса, и поэтому называются тормозящими. На каждом нейроне действие активных в данный момент возбуждающих синапсов суммируется, из результата вычитается суммарное действие тормозящих синапсов, и если полученная разность превышает определенное критическое значение, то нейрон действительно возбуждается. (Возбуждающие синапсы создают положительную разность потенциалов между внутренней и наружной сторонами мембраны следующего нейрона, а тормозящие – отрицательную. Эти разности потенциалов складываются. Нейрон возбуждится только в том случае, если результирующая разность потенциалов на мембране в начале его аксона достигнет определенной критической величины, при которой ионы калия не успевают выходить наружу достаточно быстро, чтобы восстановить равновесие.)³¹

§9.7. Компьютерные модели

Важным свойством нервной системы является то, что сигналы, используемые для передачи информации, относятся (большой частью) к классу явлений «всё или ничего». Сила сигнала не изменяется: он или есть, или его нет. Это придает деятельности нервной системы некоторое сходство с работой цифрового компьютера. На самом деле, между работой огромного количества

³¹ **В.Э.:** Это всё чрезвычайно интересно, но только, читая про это, не надо выпускать из виду, что это – физическая природа сигнала. Однако для информатики (и для программирования) физическая природа сигнала не важна, а важен смысл сигнала, и особенно – смысл совокупности сигналов (представляющих собой структуру данных).

взаимосвязанных нейронов и процессами внутри компьютера со всеми его проводниками и логическими элементами (подробнее об этом чуть позже) есть много общего. В принципе, было бы не так уж трудно создать компьютерную модель подобной системы нейронов. Но возникает вполне естественный вопрос: не означает ли это, что какой бы ни была детальная схема соединений нейронов в мозге, всегда можно построить его компьютерную модель?

Чтобы сделать это сравнение более наглядным, я должен объяснить, что такое логический элемент. В компьютере мы также сталкиваемся с ситуацией типа «всё или ничего»: либо в проводнике есть импульс тока, либо его нет, причем когда импульс есть, его величина всегда одна и та же. Поскольку всё в компьютере строго синхронизовано, то отсутствие импульса было бы определенным сигналом, который может быть «замечен» компьютером. Вообще говоря, когда мы пользуемся термином «логический элемент», мы неявно подразумеваем, что наличие или отсутствие импульса обозначает «истину» или «ложь», соответственно. Конечно же, к реальной истине или лжи это никакого отношения не имеет и используется только как общепринятая терминология. Мы будем также обозначать «истину» (наличие импульса) цифрой «1» и «ложь» (отсутствие импульса) цифрой «0». Помимо этого, как и в главе 4, мы будем обозначать знаком «&» логическое «и» (которое является «утверждением» об «истинности» обоих аргументов, т.е. принимает значение 1 тогда и только тогда, когда оба они равны 1); «∨» – логическое «или» (которое «означает», что либо один из аргументов, либо оба они «истинны», т.е. выражение становится равным 0 тогда и только тогда, когда оба аргумента имеют значение 0); знаком «⇒» – «следует» (т.е. $A \Rightarrow B$ означает утверждение «если истинно A, то истинно B», что эквивалентно утверждению «либо A ложно, либо B истинно»); «⇔» – «тогда и только тогда» (выражение истинно, если оба аргумента «истинны» или же оба «ложны» одновременно); и использовать знак «¬» для логического «не» (выражение «истинно», если аргумент «ложно», и «ложно», если аргумент «истинен»). Результаты применения различных логических операций можно описать при помощи так называемых «таблиц истинности»:

$$\begin{array}{l} A \& B: \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A \vee B: \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \\ A \Rightarrow B: \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A \Leftrightarrow B: \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \end{array}$$

в каждой из которых A обозначает строки (т.е. $A = 0$ дает первую строку, а $A = 1$ – вторую), а B – столбцы. Например, если $A = 0$ и $B = 1$, что во всех таблицах отвечает правому верхнему углу, то выражение $A \Rightarrow B$ согласно третьей таблице примет значение 1. (Соответствующий словесный пример из области традиционной логики: утверждение «если я сплю, то я счастлив», очевидно, остается истинным в частном случае, когда я бодрствую и счастлив.) И, наконец, действие логического элемента «не» может быть записано просто как:

$$\begin{array}{l} \sim 0 = 1 \\ \sim 1 = 0. \end{array}$$

Это – основные типы логических элементов. Есть еще ряд других, но все они могут быть построены из только что описанных.³²

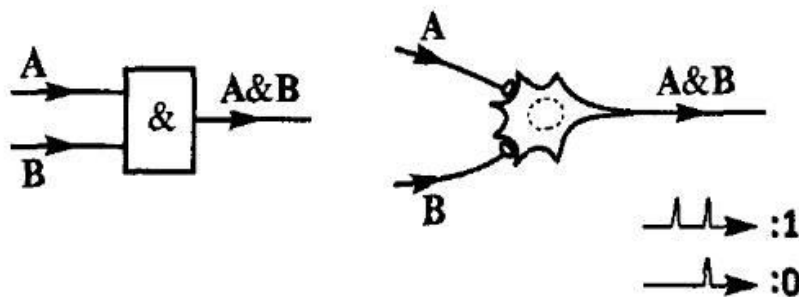


Рис. 9.13. Логический элемент «и». В «нейронной модели» (справа) нейрон возбуждается только в том случае, когда на его вход поступают одновременно два импульса

³² На самом деле, любые логические элементы могут быть построены с помощью одних только операций "¬" и "&" (или даже только одной-единственной операции $\sim(A \& B)$).

Итак, можем ли мы, в принципе, построить компьютер, используя соединенные между собой нейроны? Я собираюсь показать, что это возможно даже при самых примитивных представлениях о функциях нейрона. Посмотрим, как можно было бы, в принципе, построить логические элементы на основе соединенных между собой нейронов. Нам потребуется новый способ записи цифр, поскольку в отсутствие сигнала ничего не происходит. Будем считать (совершенно произвольно), что двойной импульс обозначает 1 (или «истину»), а одиночный – 0 (или «ложь»). Примем также упрощенную схему, в которой нейрон возбуждается только при получении двух возбуждающих импульсов (т.е. двойного импульса) одновременно. Тогда нетрудно сконструировать элемент «и» (т.е. «&»). Как показано на рис. 9.13, для этого достаточно, чтобы с выходным нейроном образовывали входные синапсы два нервных окончания. (Тогда, если по обоим окончаниям приходят двойные импульсы, то и первый, и второй импульс превысят заданный двухимпульсный порог срабатывания; а если хотя бы на один входной синапс приходит одиночный импульс, то превысит порог лишь одна пара возбуждающих импульсов. Я предполагаю, что все импульсы хорошо согласованы по времени, и что в случае двойного импульса, для определенности, синхронизация осуществляется по первой паре импульсов).

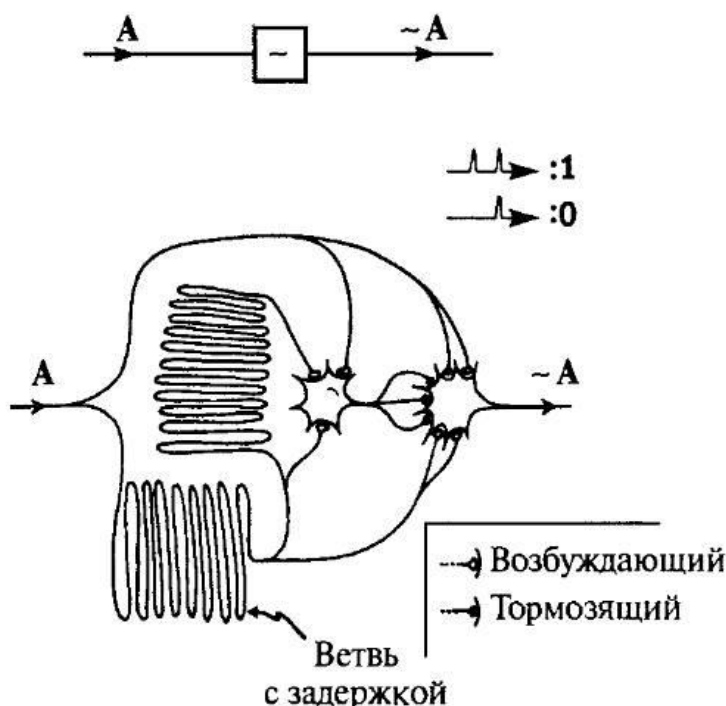


Рис.9.14. Логический элемент «не». В «нейронной модели», как и ранее, для срабатывания нейрона требуется одновременное воздействие двух (по крайней мере) одиночных импульсов

Конструкция элемента «не» (т.е. «~») значительно сложнее. Один из способов его построения приведен на рис. 9.14. Входной сигнал поступает по аксону, разделяющемуся на две ветви. Одна из ветвей имеет увеличенную длину, такую, чтобы сигнал при движении по ней запаздывал ровно на время, равное промежутку между импульсами в паре. Затем обе ветви снова разделяются, и одно из ответвлений каждой ветви отходит к тормозящему нейрону, причем аксон от ветви с задержкой предварительно разделяется снова, образуя прямую ветвь и ветвь с задержкой. На выходе тормозящего нейрона не будет ничего при одиночном импульсе на его входе, и двойной импульс (с задержкой), если на его входе также был двойной импульс. Аксон тормозящего нейрона разделяется на три ветви, каждая из которых образует тормозящий синапс на окончном нейроне. Оставшиеся два ответвления исходного аксона снова разделяются, так что к конечному нейрону подходят уже четыре терминала, образующие возбуждающие синапсы. При желании читатель может проверить, что выходной сигнал этого конечного нейрона соответствует сигналу элемента «не» (т.е. пара импульсов, если на входе был одиночный, и наоборот). (Такая конструкция кажется абсурдно усложненной, но это наилучшее из того, что

пришло мне в голову!) В качестве развлечения читатель может составить подобные «нейронные» схемы и для остальных описанных выше логических элементов.

Естественно, эти конкретные примеры не могут служить серьезными моделями того, что происходит в мозге на самом деле. С их помощью я только старался показать, что описанная выше модель возбуждения нейрона по сути логически эквивалентна конструкции электронного компьютера. Легко видеть, что с помощью компьютера можно воспроизвести любую модель соединения нейронов между собой. В то же время, подробно рассмотренные выше конструкции указывают на то, что и, наоборот, системы нейронов могут быть моделями компьютера и, следовательно, могут действовать как (универсальная) машина Тьюринга. Хотя при обсуждении машин Тьюринга во второй главе мы не использовали понятие логических элементов³³ и, в действительности, для построения модели машины Тьюринга в общем случае помимо логических элементов нам понадобилось бы еще многое другое, в этом нет ничего принципиально нового, если только мы допускаем возможность аппроксимации используемой в машине Тьюринга бесконечной ленты огромным, но конечным множеством нейронов. А это уже, как кажется, подводит нас к выводу о том, что мозг по своей сути эквивалентен компьютеру!

Но прежде, чем делать такие поспешные выводы, нам следует рассмотреть некоторые различия между деятельностью мозга и работой современных компьютеров, которые могут оказаться достаточно важными. Во-первых, я слишком упростил описание возбуждения нейрона, отнеся его к явлениям типа «всё или ничего». Это справедливо для одиночного импульса, распространяющегося по аксону. На самом деле, когда нейрон возбуждается, он генерирует целую последовательность импульсов, быстро следующих друг за другом. Даже в состоянии покоя нейрон генерирует импульсы, но с гораздо меньшей частотой. Именно многократное увеличение частоты импульсов характеризует переход нейрона в возбужденное состояние. Кроме того, есть еще и вероятностный аспект срабатывания нейрона. Один и тот же стимул может приводить к различным результатам. Более того, в мозге нет точной синхронизации с помощью постоянной тактовой частоты, которая необходима для работы современных компьютеров. Кроме того, следует отметить, что максимальная частота срабатывания нейрона, составляющая около 1000 импульсов в секунду, гораздо меньше, чем у современных электронных устройств, у которых она более чем в 1 млн раз выше. К тому же, по сравнению с очень высокой точностью соединений в электронном компьютере, действительные соединения между нейронами кажутся в большой степени случайными и избыточными – правда, сегодня мы знаем, что в мозге (при рождении) эти соединения установлены с гораздо большей точностью, чем считалось полвека назад.

Может показаться, что бóльшая часть из сказанного выше характеризует мозг с невыгодной стороны по сравнению с компьютером. Но есть и другие факторы, говорящие в пользу мозга. У логических элементов может быть лишь очень ограниченное количество входов и выходов (скажем, три–четыре, не больше), тогда как нейроны могут иметь гигантское число синапсов. (Предельным случаем можно считать нейроны мозжечка, известные как клетки Пуркинье, у которых количество возбуждающих синапсов достигает 80'000.) Помимо этого, общее число нейронов в мозге также превышает максимальное количество транзисторов, входящих в состав самой большой в мире вычислительной машины – примерно 10^{11} в мозге и «всего лишь» 10^9 у компьютера. Однако последнее число в будущем, скорее всего, возрастет.³⁴ Более того, большое число клеток мозга в значительной степени обусловлено огромным количеством мелких клеток-зерен в мозжечке, которых насчитывается около тридцати миллиардов (3×10^{10}). Если считать, что осознанным восприятием, в отличие от современных компьютеров, мы обладаем просто благодаря большому числу нейронов, то нам придется найти какое-то дополнительное объяснение тому, что деятельность мозжечка полностью бессознательна и в то же время сознание может

³³ Фактически, использование логических элементов в большей степени отвечает конструкции электронного компьютера, чем изложенные в главе 2 особенности конструкции машины Тьюринга. В главе 2 особое внимание подходу Тьюринга было уделено по теоретическим соображениям. Начало действительному развитию компьютерных технологий положили в равной степени работы Алана Тьюринга и выдающегося американского математика венгерского происхождения Джона фон Неймана.

³⁴ Эти сравнения во многом обманчивы. Подавляющее большинство транзисторов в современных компьютерах используется в устройствах «памяти» и не участвует в логических операциях; а память можно наращивать за счет внешних устройств практически бесконечно. При более интенсивном использовании параллельных вычислений количество транзисторов, непосредственно участвующих в выполнении логических операций, могло бы быть значительно больше, чем это принято в настоящее время.

быть связано с головным мозгом, в котором нейронов всего в два раза больше (около 7×10^{10}) при значительно меньшей плотности.

§9.8. Пластичность мозга

Между деятельностью мозга и работой компьютера существуют и другие различия, на мой взгляд даже более важные, чем до сих пор упоминавшиеся, и связанные с явлением, которое называется пластичностью мозга. В действительности, неправомерно рассматривать мозг как фиксированную совокупность связанных друг с другом нейронов. Взаимосвязи нейронов на самом деле не постоянны, как это было бы в рассмотренной выше компьютерной модели, но всё время меняются. Это не значит, что изменяются положения аксонов или дендритов. Многие из их сложных взаимосвязей в общих чертах формируются еще при рождении. Я имею в виду синаптические контакты, которые в действительности и обеспечивают связь между нейронами. На дендритах они часто формируются на небольших выростах, называемых шипиками, к которым подходят терминалы других нейронов (рис. 9.15). Здесь «контакт» означает не соприкосновение, а узкий зазор (синаптическую щель) заданной ширины – около одной сорокатысячной доли миллиметра. При определенных условиях шипики дендритов могут исчезать, тем самым нарушая контакт, или вырастать (могут образовываться и новые) и формировать новую связь. Таким образом, если мы представим себе, что совокупность соединенных друг с другом нейронов в мозгу действительно образует компьютер, то это компьютер, способный непрерывно изменяться³⁵!

Согласно одной из ведущих теорий долговременная память обусловлена именно такими изменениями синаптических контактов. Именно они обеспечивают возможность сохранения необходимой информации. Если это так, то пластичность предстает перед нами уже не просто как несущественное усложнение деятельности мозга, но как ее важнейшее свойство.

Каков механизм этих непрекращающихся изменений? Как быстро они могут происходить? Однозначный ответ на второй вопрос вряд ли существует, хотя представители по крайней мере одной из научных школ утверждают, что такие изменения могут происходить за несколько секунд. Этого можно было ожидать, если такие изменения ответственны за долговременное запоминание, поскольку оно происходит за характерное время около одной секунды (Кандел [1976]). Это имело бы для нас весьма существенное значение в дальнейшем. Я вернусь к этому важному вопросу в следующей главе.

А что же можно сказать о механизмах пластичности мозга? Согласно оригинальной теории, предложенной в 1954 году Дональдом Хеббом, существуют определенные синапсы (впоследствии получившие название «синапсов Хебба»), обладающие тем свойством, что связь между нейронами А и В, обусловленная синапсом Хебба, усиливается каждый раз, когда за возбуждением А следует возбуждение В, и ослабляется, если В не возбуждается. Изменение эффективности связи между нейронами не зависит от степени участия самого синапса Хебба в возбуждении нейрона В. Это делает возможной некоторую форму «обучения». На основе этой теории был предложен целый ряд математических моделей обучения и решения задач. Они получили название нейронных сетей. По-видимому, нейронные сети действительно способны к

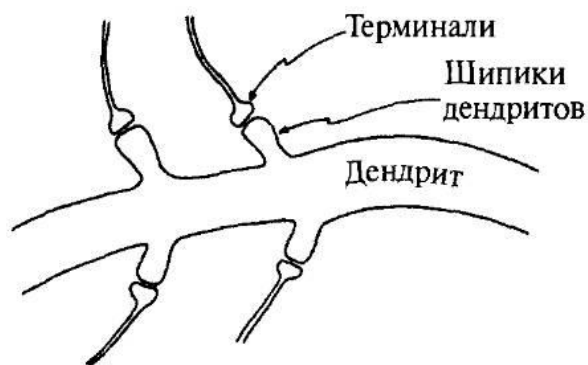


Рис. 9.15. Синаптические контакты, образуемый шипиками дендритов. Эффективность такого соединения легко изменяется при росте или уменьшении шипика

³⁵ В.Э.: Всякий компьютер представляет собой устройство, способное непрерывно изменяться. Эти изменения компьютера называются записью в него программы или информации. И (с точки зрения абстрактной информатики) совершенно не важно, какова именно физическая природа этих изменений, кодирующих программу или информацию. Они кодируются связями дендритов? Хорошо. Уровнем ионов калия? Хорошо. Для нас всё это – изменения, кодирующие что-то, и (в качестве программы) влияющие на что-то. Вот, в таком абстрактном виде и рассуждаем: – о программах и о данных для них или о их результатах.

какому-то элементарному обучению, но им пока еще далеко до реальных моделей мозга. В любом случае, механизмы, управляющие изменениями синаптических контактов, скорее всего более сложны, чем рассмотренные выше. Очевидно, что необходимы дальнейшие исследования.

С пластичностью связан и другой аспект выделения нейромедиаторов терминалями. Иногда нейромедиаторы выделяются вовсе не в синаптические щели, а в окружающую межклеточную жидкость, возможно, для воздействия на другие, расположенные на большом удалении нейроны. По-видимому, многие нейрохимические вещества выделяются подобным образом. Существуют различные теории памяти, в которых используются разнообразные сочетания таких веществ, участвующих в процессе запоминания. Конечно, состояние мозга зависит от наличия в нем химических соединений (например, гормонов), выделяемых различными его частями. Проблемы нейрохимии в целом весьма сложны, и пока непонятно, как можно подойти к созданию правдоподобной и полной компьютерной модели мозга.³⁶

§9.9. Параллельные компьютеры и «единственность» сознания

Многие считают, что развитие параллельных компьютеров содержит в себе ключ к построению машин, обладающих возможностями человеческого мозга. Далее мы кратко рассмотрим эту популярную сегодня идею.

Параллельный компьютер, в противоположность последовательному, может выполнять одновременно и независимо друг от друга огромное число отдельных операций, и результаты этих автономных операций время от времени объединяются, давая вклад в общий вычислительный процесс. Толчком к созданию такого типа компьютерной архитектуры послужили попытки моделирования нервной системы, поскольку, согласно современным представлениям, разные части мозга выполняют практически автономные вычислительные функции (например, при обработке визуальной информации в зрительной коре).

Здесь необходимо сделать два замечания. Во-первых, между параллельным и последовательным компьютерами не существует принципиальной разницы. По сути, оба являются машинами Тьюринга (ср. главу 2, с. 54). Отличие может проявляться только лишь в эффективности, или скорости, вычислений в целом.³⁷ Для некоторых типов вычислительных процессов параллельная организация, действительно, более эффективна, но это далеко не всегда так. Во-вторых, по крайней мере с моей точки зрения, крайне маловероятно, что классические параллельные вычисления дают ключ к тому, что происходит при сознательном мышлении. Характерным свойством сознательной мысли (по крайней мере в нормальном психологическом состоянии и не после операции по разделению полушарий мозга!) является ее «единственность» – в противоположность множественности выполняемых одновременно и независимо друг от друга операций.

Фразы типа: «Я же не могу думать обо всем сразу?!» можно услышать на каждом шагу. Можно ли вообще думать о нескольких вещах одновременно? Вероятно, кто-то может удерживать в голове несколько мыслей в одно и то же время, но это, скорее всего, будет похоже на постоянное перескакивание от одной мысли к другой и обратно, нежели на действительно одновременное, сознательное и независимое их обдумывание. Если бы кто-то мог думать о двух вещах совершенно независимо, то это было бы более похоже на обладание двумя раздельными сознаниями, пусть даже и на короткий промежуток времени, тогда как повседневный опыт (по крайней мере нормальных людей) свидетельствует о наличии единственного сознания, которое

³⁶ В.Э.: А нужна ли нам модель мозга?

³⁷ В.Э.: Пенроуз постоянно повторяет этот (ошибочный) тезис; очевидно тот играет большую роль в формировании его воззрений. Этот тезис верен только тогда, если мы имеем дело с одной процедурой, например, такой, как «рассчитать десятичное представление числа π с точностью до миллионного знака за запятой». При такой задаче действительно параллельные процессоры не повлияют ни на что другое, кроме скорости счета. Но совсем иначе обстоят дела, когда параллельные процессоры делают каждый свою работу и только как-то взаимодействуют между собой (а ситуация в мозге именно такова!). По «логике» Пенроуза выходит, что нет вообще разницы – один компьютер у нас работает или два, или миллион; все миллионы компьютеров, подключенные сегодня к Интернету, выполняют один гигантский алгоритм, который в принципе может быть реализован одной машиной Тьюринга! (Нет абсолютно никакого толку от рассуждений такого типа: если мы будем думать о параллельных процессорах, то мы построим вычислительную сеть, а если мы будем думать о том, как всё это делает одна-единственная машина Тьюринга, то мы не построим НИЧЕГО!).

может иметь смутное представление о ряде вещей, но которое сконцентрировано в каждый момент времени только на одной из них.³⁸

Конечно, то, что мы подразумеваем здесь под «одной вещью», не совсем ясно. В следующей главе мы познакомимся с совершенно удивительными примерами «отдельных мыслей», появившихся в минуты вдохновения у Пуанкаре и Моцарта. Но нам вовсе не обязательно забираться так далеко, чтобы понять, что мысль человека в каждый конкретный момент времени может неявно быть очень сложной. Представьте себе, например, процесс обдумывания обеденного меню. Одна такая мысль может включать в себя такое количество разнообразной информации, что ее полное словесное описание было бы очень долгим.

«Единственность» осознанного восприятия представляется мне идущей вразрез с концепцией параллельного компьютера. С другой стороны, эта концепция может оказаться более подходящей в качестве модели бессознательной деятельности мозга. Различные независимые действия (ходьба, застегивание пуговиц, дыхание и даже разговор) могут выполняться человеком одновременно и более менее автономно, причем он может не осознавать ни одно из них!

С другой стороны, мне кажется, что эта «единственность» сознания может иметь что-то общее с квантовым параллелизмом. Вспомним, что, согласно квантовой теории, на квантовом уровне различные альтернативы могут сосуществовать в линейной суперпозиции! Отсюда следует, что одионое квантовое состояние могло бы, в принципе, состоять из большого числа различных событий, происходящих одновременно. Именно это и подразумевается под квантовым параллелизмом. Мы скоро рассмотрим теоретическую концепцию «квантового компьютера», в котором, в принципе, квантовый параллелизм мог бы быть использован для выполнения большого числа одновременных операций. Если «состояние ума», соответствующее рассудочной деятельности, имеет какое-то сходство с квантовым состоянием, то некая форма «единственности», или глобальности, мысли соответствует ему в большей степени, чем в случае обычного параллельного компьютера. У этой идеи есть несколько привлекательных аспектов, к которым я вернусь в следующей главе. Но прежде, чем рассматривать эту идею всерьез, мы должны ответить на вопрос, могут ли квантовые эффекты иметь какое-либо отношение к деятельности мозга.

§9.10. Имеет ли квантовая механика отношение к работе мозга?

Всё предыдущее обсуждение нервной деятельности проводилось целиком в рамках классических представлений, за исключением тех случаев, когда мы затрагивали физические явления, неявные причины которых отчасти обусловлены квантово-механическими эффектами (например, ионы, несущие единичные электрические заряды; натриевые и калиевые каналы; определенные химические потенциалы, определяющие триггерный характер генерации нервного импульса; химия нейромедиаторов). Но нет ли таких ключевых процессов в мозге, которые бы непосредственно определялись квантово-механическими эффектами? Для того, чтобы рассуждения, описанные в конце предыдущей главы, имели какой-то смысл, такие процессы, по-видимому, должны существовать.

³⁸ В.Э.: Верно, по всей видимости в мозге действительно есть один специальный процессор, который ближе всего стоит к пенроузовскому понятию «сознания». В Веданской теории он называется «хроникером». Он занят отбором того, что нужно сохранять в память. К чему этот процессор обратился, то и попадает в память и далее, значит, «осознается». В психологии работа этого процессора обозначается словом «внимание» («обратить внимание» – это означает: попасть в поле зрения хроникера). В нормальной ситуации в операционной системе человека действительно имеется только один хроникер (чем и объясняются названные Пенроузом явления). Но параллельно с хроникером в мозге работает огромное множество других процессоров. Пенроуз может обращать внимание на Биг Бен или Тауэр, и в то же время бодро вышагивать по улицам Лондона. (А сколько процессоров должны быть задействованы, чтобы Пенроуз сумел двигать ногами, махать руками, вертеть головой, чтобы он держался вертикально и не упал ни вперед, ни назад, ни вбок; чтобы он видел перекрестки и светофоры на них, чтобы слышал гудки автомобилей, когда пошел на красный свет?) И плюс к этому он еще и ведет разговор с приехавшим из США Айвором Робинсоном, о котором он расскажет ниже в §10.5. Но мало даже и этого: еще один процессор в голове Пенроуза в то же самое время обрабатывает информацию о квазарах с черной дырой Оппенгеймера–Снайдера в центре и прямо на улице выдает ему искомый критерий «ловушечной поверхности» для сингулярностей! (И после этого всего Пенроуз еще рассказывает нам, что нет никакой разницы – один процессор работает или множество, а «ловушечную поверхность» он приписывает, конечно же, «неалгоритмическому озарению»!).

В действительности, можно указать, по крайней мере, одно место, где чисто квантовые явления имеют принципиальное значение для нервной деятельности, – это сетчатая оболочка глаза. (Вспомним, что сетчатка фактически входит в состав мозга!) Эксперименты с жабами показали, что в подходящих условиях адаптированная к темноте сетчатка вырабатывает макроскопический нервный импульс при попадании на нее единичного фотона (Бэйлор и др. [1979]). То же, как выясняется, справедливо и для человека (Хехт и др. [1941]), хотя в этом случае существует дополнительный механизм, который подавляет подобные слабые сигналы, тем самым очищая воспринимаемое изображение от лишнего визуального «шума». Необходимо суммарное воздействие примерно семи фотонов, чтобы адаптировавшийся к темноте испытуемый мог его ощутить. Тем не менее, в нашей сетчатке, по-видимому, все-таки есть клетки, чувствительные к попаданию только одного фотона.

Поскольку в теле человека существуют нейроны, способные срабатывать под воздействием единичного квантового события, то вполне обоснован вопрос о наличии таких клеток где-нибудь в основных отделах мозга. Насколько мне известно, это предположение не подтвердилось. У клеток всех изученных типов есть определенный порог срабатывания и требуется очень большое число квантов, чтобы перевести клетку в возбужденное состояние. Однако можно было бы допустить, что где-то глубоко внутри мозга должны быть клетки, чувствительные к одиночным квантам. Если это окажется верным, то квантовая механика должна играть существенную роль в деятельности мозга.

Но даже при таком положении вещей роль квантовой механики оказалась бы чисто номинальной, поскольку квант используется просто как возбудитель сигнала. Никаких интерференционных эффектов, характерных для квантовых явлений, пока обнаружить не удалось. Похоже, что в лучшем случае всё, что мы можем получить от квантовой механики, это неопределенность момента срабатывания нейрона. Трудно представить, как это может пригодиться нам на практике.

Однако некоторые вопросы, имеющие к этому отношение, не так тривиальны. Для их рассмотрения обратимся вновь к сетчатой оболочке глаза. Предположим, что фотон попадает на сетчатку, предварительно отразившись от полупрозрачного зеркала. Состояние фотона тогда будет представлять собой сложную линейную суперпозицию состояний, когда он попадает в клетку сетчатки и когда он проходит мимо клетки и вместо этого, скажем, улетает через окно в космос (см. рис. 6.17, с. 208) В тот момент, когда он мог бы попасть в клетку сетчатки, до тех пор, пока выполняется линейная процедура U (т.е. детерминированная эволюция вектора состояния по уравнению Шрёдингера, см. с. 205), мы получим сложную линейную суперпозицию наличия и отсутствия нервного сигнала. Когда это доходит до сознания наблюдателя, воспринимается только одна из этих двух альтернатив, и должна использоваться другая квантовая R-процедура (редукция вектора состояния, см. с. 205). (Говоря так, я сознательно обхожу стороной теорию множественности миров, которая имеет множество своих собственных проблем!) В соответствии с рассуждениями, приведенными в конце предыдущей главы, нам следует задать вопрос, достаточное ли количество материи вовлекается в прохождение сигнала, чтобы удовлетворялся одногравитонный критерий (см. главу 8)? Хотя при преобразовании энергии фотона в энергию движения массы при выработке сигнала в сетчатке достигается действительно гигантское усиление, возможно, до 10^{20} раз, эта масса всё же значительно меньше величины планковской массы m_p) (примерно в 10^8 раз). Однако нервный сигнал создает регистрируемое изменяющееся электрическое поле в окружающей среде (тороидальное поле с осью, совпадающей с нервным волокном, по которому оно перемещается). Это поле может вносить в окружающую среду значительное возмущение, за счет чего одногравитонный критерий будет легко удовлетворен. Таким образом, в соответствии с изложенной мной точкой зрения, R-процедура могла бы выполняться задолго до того, как мы увидим или, может случиться, не увидим вспышку света. К тому же, для редукции вектора состояния наше сознание не требуется!

§9.11. Квантовые компьютеры

Если мы все-таки предположим, что чувствительные к одиночным квантам нейроны играют важную роль где-то в глубине нашего мозга, то возникает вопрос, какие следствия это могло бы иметь. Для начала я изложу концепцию квантового компьютера, предложенную Дойчем (см. также главу 4, с. 124), а затем мы выясним, можно ли ее рассматривать как имеющую отношение к теме нашей дискуссии.

Как было указано выше, главная идея состоит в использовании квантового параллелизма, в соответствии с которым два совершенно различных процесса должны рассматриваться как происходящие одновременно в виде квантовой линейной суперпозиции, например, фотон одновременно отражается от полупрозрачного зеркала и проходит через него или один и тот же фотон проходит через каждую из двух щелей. В случае квантового компьютера этими двумя различными наложенными друг на друга процессами будут два различных вычисления. При этом предполагается, что нас интересуют результаты не обоих вычислений, а некий результат, основанный на частичной информации, полученной из суперпозиции этих процессов. Наконец, когда оба вычисления завершены, над этой парой процессов должно быть проведено соответствующее «наблюдение», позволяющее получить искомым ответ.³⁹ Таким образом, это устройство могло бы экономить время за счет выполнения двух вычислений одновременно! До сих пор не видно никакого значительного преимущества от использования такого подхода, поскольку было бы гораздо проще непосредственно использовать два классических компьютера параллельно (или один классический параллельный компьютер), чем один квантовый. Однако реальные преимущества квантового компьютера могли бы проявиться при необходимости выполнить очень большое, возможно, неограниченно большое, количество параллельных вычислений, когда нас интересуют не их результаты сами по себе, а только подходящая комбинация результатов всех вычислений.

Принципиальное устройство квантового компьютера предполагает использование квантовой разновидности логических элементов, у которых выходной сигнал является результатом «унитарной операции» над входным сигналом – операции типа U , – и вся работа компьютера состояла бы в выполнении операции U до самого конца вычислений, пока конечный «акт наблюдения» не приведет к выполнению операции R .

Согласно выводам Дойча квантовые компьютеры не предназначены для выполнения неалгоритмических операций (т.е. действий, выходящих за пределы возможностей машины Тьюринга), но способны в некоторых, очень специфических случаях, достигать более высокого быстродействия (в смысле теории сложности, см. с. 124), чем обычная машина Тьюринга. Для такой блестящей идеи эти выводы представляются довольно неутешительными, но будем помнить о том, что пока мы стоим у самых истоков.

Какое отношение всё это может иметь к работе мозга, содержащего значительное число нейронов, чувствительных к единичным квантам? Провести аналогию здесь мешает в первую очередь то, что квантовые эффекты быстро теряются в «шуме» – мозг слишком «горяч», чтобы квантовая когерентность (поведение, которое удобно описывать как непрерывное действие U) сохранялась в нем сколько-нибудь продолжительное время. В моей терминологии это означало бы, что постоянно удовлетворяется одногравитонный критерий, так что операция R выполняется всё время, изредка прерываясь операцией U .

Таким образом, пока у нас нет повода слишком надеяться на то, что квантовая механика откроет нам нечто новое о мозге. Возможно, мы все обречены быть просто компьютерами!⁴⁰ Лично я в это не верю, но для окончательного выяснения вопроса нам необходимо идти дальше в наших исследованиях.

³⁹ Дойч в своих описаниях предпочитает использовать подход «множественности миров» относительно квантовой теории. Однако важно понимать, что это совершенно несущественно, поскольку концепция квантового компьютера принципиально не зависит от точки зрения на традиционную квантовую механику.

⁴⁰ В.Э.: Подчеркнуто мною. Таковы общие выводы Пенроуза в Первой книге. Но во Второй книге его взгляды (за 5 лет) значительно радикализировались – видимо, под влиянием критики, в несостоятельности которой он неизменно убеждался. Я не читал критических нападок на Пенроуза (хотя и видел названия этих сочинений в Интернете и в списке литературы Второй книги Пенроуза). Но думаю (судя по реакции Пенроуза), что вся эта критика не содержала действительно убийственных для концепции Пенроуза моментов, какие содержит моя критика, а именно, утверждений: 1) Пенроуз спорит только с имитациями интеллекта, очевидно несостоятельными, а не с подлинными реализациями интеллекта; 2) при этом он опирается на – несостоятельную! – теорему Гёделя. Думаю, что прежней критике, в отличие от моей, не хватало ни решительности оспорить выводы Гёделя, ни знания о том, как надо строить настоящую реализацию искусственного интеллекта. Потому-то Пенроуз и мог – ничуть не попирая свою научную совесть – не соглашаться с такой критикой и после выхода Первой книги и нападок на нее только радикализовать свое мнение.

§9.12. За пределами квантовой теории?

Я хочу вновь обратиться к вопросу, который проходит красной нитью через большую часть этой книги: действительно ли наши представления об окружающем мире, управляемом законами классической и квантовой физики в их современном понимании, адекватны для описания мозга и разума? «Обычное» квантовое описание нашего мозга определенно заходит в тупик, поскольку акт «наблюдения» считается важной составляющей правильной интерпретации общепринятой квантовой теории. Следует ли считать, что мозг «наблюдает сам себя» каждый раз при осознанном восприятии или возникновении мысли? Общепринятая теория не дает нам никаких указаний на то, каким образом квантовая механика могла бы принять это в расчет и, тем самым, как применить ее к мозгу в целом. Я попытался сформулировать вполне независимый от сознания критерий включения операции R («одногравитонный критерий»), и если нечто подобное удалось бы развить до полностью согласованной теории, то появилась бы возможность построения более ясного квантового описания мозга, чем существующее ныне.

Однако я считаю, что эти фундаментальные проблемы возникают не только при наших попытках описать деятельность мозга. Работа самих цифровых компьютеров существенно зависит от квантовых эффектов, пониманию которых, по-моему мнению, мешают трудности, внутренне присущие квантовой теории. Что это за «существенная» квантовая зависимость? Чтобы понять роль квантовой механики в цифровых вычислительных машинах, мы, прежде всего, должны выяснить, как можно заставить полностью классический объект вести себя подобно цифровому компьютеру. В главе 5 мы рассматривали классический «компьютер из миллиардных шаров» Фредкина–Торффоли (с. 144); но, как мы видели, в этом теоретическом «устройстве» были использованы идеализации, позволяющие обойти проблему существенной нестабильности, внутренне присущей классическим системам. Эта проблема нестабильности, как указано выше (с. 153, рис. 5.14), проявляется в эффективном увеличении фазового объема эволюционирующей системы, которое почти неизбежно приводит к непрерывной потере точности операций, выполняемых классическим устройством. Именно квантовая механика позволяет в конце концов остановить это снижение точности. В современных электронных компьютерах необходимо существование дискретных состояний (скажем, для записи цифр 0 и 1), всегда позволяющих однозначно установить, когда компьютер находится в одном, а когда в другом состоянии. Это выражает саму суть «цифровой» природы компьютерных операций. Эта дискретность, в конечном счете, достигается за счет квантовой механики. (Мы можем вспомнить здесь квантовую дискретность энергетических состояний, спектральных частот, значений спина и т.д., см. главу 6.) Даже старые механические вычислительные машины зависели от прочности различных своих частей, каковая, в свою очередь, непосредственно вытекает из дискретности квантовой теории.⁴¹

Но квантовая дискретность не является только следствием операции U. Пожалуй, уравнение Шрёдингера в еще меньшей степени способно предотвратить нежелательное расплывание фазового объема и «потерю точности», чем уравнения классической физики! Согласно U, волновая функция изолированной частицы, изначально локализованная в пространстве, будет всё больше и больше расплываться с течением времени (с. 206). Если бы не действие R время от времени, более сложные системы тоже были бы подвержены такой беспричинной делокализации (вспомним кошку Шрёдингера). (Дискретные состояния атома, например, характеризуются определенными значениями энергии, импульса и полного момента импульса. Общее состояние, которое как раз «расплывается», представляет собой суперпозицию таких дискретных состояний. Именно процедура R на некотором этапе заставляет атом на самом деле «быть» в одном из этих дискретных состояний.)

Мне представляется, что ни классическая, ни квантовая механика – если только в последнюю не будут внесены дальнейшие фундаментальные изменения, которые превратили бы R в «реальный» процесс, – никогда не смогут объяснить механизм мышления. Возможно, что даже работа цифровых компьютеров требует более глубокого понимания взаимосвязи действий U и R.⁴² В случае с компьютерами, мы, по крайней мере, знаем, что цифровые вычисления являются

⁴¹ Этот комментарий перестает быть правомерным, если мы рассматриваем в качестве «классических» компонентов системы шестеренки, оси и т.п. Я предполагаю, что система состоит из обычных (скажем, точечных или сферических) частиц.

⁴² В.Э.: Хотя «дискретность» компьютеров действительно обеспечивается той частью внешнего мира, которую изучает квантовая механика, но, тем не менее, мы, программисты, абсолютно не интересу-

алгоритмическими (по самой конструкции!), и мы не пытаемся «обуздать» предполагаемую неалгоритмичность физических законов. Но я утверждаю, что в случае с мозгом и разумом ситуация совершенно иная. Вполне допустимо, что в процессе (сознательного) мышления участвует некая существенная неалгоритмическая составляющая. В следующей главе я попытаюсь подробно изложить причины, заставляющие меня верить в существование этой составляющей, а также выскажу предположения о том, какими удивительными реальными физическими эффектами обусловлено «сознание», влияющее на работу мозга.

Глава 10. Где находится физика ума?

§10.1. Для чего нужны умы?

В дискуссиях по проблеме «ум–тело» имеются два отдельных пункта, на которых обычно сосредоточивается внимание: «Каким образом материальный объект (мозг) может в действительности пробуждать⁴³ сознание?»; и, наоборот: «Каким образом сознание усилием воли может реально воздействовать на (явно физически обусловленное) движение материальных объектов⁴⁴?» Это – пассивный и активный аспекты проблемы «ум–тело». Дело выглядит так, как если бы у нас в «уме» (или, вернее, в «сознании»), существовала некая нематериальная «вещь», которая, с одной стороны, активизируется материальным миром, а с другой – может оказывать на него воздействие.⁴⁵ Я, однако, предпочитаю в своих предварительных замечаниях к этой последней главе обсудить до некоторой степени иной и, возможно, более научный вопрос, который относится к обоим проблемам, как пассивной, так и активной, – в надежде, что наши попытки найти ответ на него смогут приблизить нас к более глубокому пониманию этих извечных фундаментальных загадок философии. Мой вопрос звучит так: «Какое преимущество естественного отбора дает сознание тем, кто действительно им обладает?»

Такой формулировке вопроса присущи некоторые неявные допущения. Прежде всего – это уверенность в том, что сознание – это, на самом деле, «вещь», которую можно научно описать; что эта «вещь» действительно «что-то делает»; и, более того, что это «что-то» приносит пользу существам, которые им обладают, в то время как другие создания, подобные первым во всем, кроме наличия сознания, демонстрируют менее эффективное поведение. С другой стороны, можно полагать, что сознание – это лишь пассивный спутник достаточно совершенной системы управления, и само по себе, в действительности, не «делает» ничего. (Это последнее утверждение является, вероятно, точкой зрения сторонников «сильного» ИИ.)⁴⁶ В качестве альтернативы можно рассмотреть иную концепцию, согласно которой существует некое божественное или таинственное предназначение сознания – быть может, носящее телеологический характер и нам пока не ведомое – так что любое обсуждение этого феномена только лишь в терминах естественного отбора неизбежно уведет нас в сторону от истины. С моей точки зрения, из всех доводов подобного толка, наиболее убедительно и научнообразно здесь выглядел бы так называемый антропный принцип, согласно которому природа нашей вселенной такова, потому что в ней в обязательном порядке требуется присутствие разумных существ-«наблюдателей» наподобие нас с вами.⁴⁷ (Этот принцип был вкратце упомянут в главе 8, с. [288](#), и я еще вернусь к нему позже.)

⁴³ В.Э.: А сознание не пробуждается! Если есть определенная работа компьютера – есть и то, что вы называете «сознанием»; нет этой работы компьютера – нет и сознания. Весь вопрос только в том: ЧТО ЭТО за работа?

⁴⁴ В.Э.: Таким образом, что оно само представляет всего лишь «движение материальных объектов».

⁴⁵ В.Э.: Именно такова была позиция марксистского «диалектического материализма», по которому мне в мои студенческие годы приходилось сдавать экзамены. И именно по этому вопросу я спорил с преподавателем. Эта «нематериальная» вещь у них обозначалась словом «идеальное» (а «основной закон философии» гласил, что «материальное первично, а идеальное вторично»). Однако по «лезвию Оккама» нет никакой необходимости вообще постулировать существование этого «идеального».

⁴⁶ В.Э.: Не знаю, отношусь ли я к «сторонникам сильного ИИ» (это зависит от более точного определения такого понятия). Но утверждать, что сознание «не делает ничего» было бы верхом безграмотности. То, что Пенроуз называет «сознанием», у него самого не очень четко определено, но видно, что основной компонент в этом составляет запись мозгом в память «хроники» событий и последующий анализ этих событий (как внешних событий, так и действий самого организма). И польза от такой работы настолько очевидна, что даже и тратить слова на ее объяснение здесь не хочется.

⁴⁷ В.Э.: Мне кажется, что Пенроуз и здесь, и в том месте на которое он в скобках ссылается, искажает смысл «антропного принципа». Не в том дело, что «природа нашей вселенной такова, потому что в ней в обязательном порядке требуется присутствие разумных существ», а дело в том, что вселенные могли задаваться (и задаются) с различными «стартовыми параметрами», и при некоторых стартовых параметрах появление жизни и разума возможно, а при других – невозможно, но только в тех вселенных, в которых это возможно, будут находиться существа, рассуждающие об этой возможности. И дело, кажется, здесь не в ошибке перевода, потому что в оригинале это предложение звучит так: «Somewhat preferable, to my way of thinking, would be a rather more scientific version of this sort of argument,

Я собираюсь обсудить эти вопросы в должное время, но вначале мы должны заметить, что термин «ум», пожалуй, несколько уводит нас в сторону, когда мы говорим о проблеме «ум–тело». Ведь очень часто говорят о «бессознательном уме» и это указывает на тот факт, что мы не рассматриваем термины «ум» и «сознание» как синонимы. Возможно, когда мы упоминаем о бессознательном уме, перед нами возникает неясный образ «суфлера», который незримо присутствует в каждой сцене, но кто обычно (кроме как, возможно, в снах, галлюцинациях, навязчивых состояниях или фрейдистских обмолвках) не посягает напрямую на контроль над нашим восприятием. Возможно, бессознательный ум в действительности имеет собственную способность осознавать, но в обычном состоянии это осознание пребывает совершенно отдельно от той части ума, которую мы традиционно называем «я».⁴⁸

Это, вообще говоря, не так уж и странно, как это может показаться на первый взгляд. Существуют эксперименты, которые, по-видимому, свидетельствуют о наличии определенного рода «сознания», присутствующего даже у пациента под общим наркозом на операционном столе – в том смысле, что разговоры, которые ведутся во время операции, могут быть впоследствии «неосознанно» восприняты пациентом или же быть «проявлены» позже под гипнозом как действительно «воспринимавшиеся» в прошлом. Более того, ощущения, которые, казалось бы, были вытеснены из сознания гипнотическим внушением, могут позднее быть выявлены во время другого сеанса гипноза как «уже пережитые», но каким-то образом оказавшиеся записанными «на другую дорожку»⁴⁹ (см. Окли, Имз [1985]). Эти результаты мне не вполне ясны, хотя я и не думаю, что было бы правильно приписывать обычную способность осознания бессознательному уму, но у меня нет особого желания пускаться здесь в рассуждения по этим вопросам. Тем не менее, проведение различий между бессознательным и осознающим себя умом – это действительно сложная и тонкая тема, к которой нам еще придется вернуться.

Попытаемся достичь возможно большей ясности в описании того, что мы подразумеваем под «сознанием» и что считаем признаками его проявления. Я не думаю, что было бы умно на данной стадии понимания пытаться предлагать точное определение сознания, но мы можем в достаточной степени полагаться на наши субъективные впечатления и интуитивный здравый смысл относительно того, что этот термин означает,⁵⁰ и когда описываемый им феномен проявляет себя. Мне более или менее понятно, когда я нахожусь в сознании, и склонен считать, что и другие люди испытывают при этом нечто подобное. Чтобы находиться в сознании, я должен, как мне кажется, осознавать что-то, может быть, такие ощущения, как боль или тепло, или красочный пейзаж, или звуки музыки; или, возможно, я осознаю такое чувство как изумление, отчаяние или счастье; или я могу осознавать воспоминание о некотором событии в прошлом, или начинаю понимать то, что говорит кто-то другой; или осознавать собственную новую идею; или я могу осознанно намереваться заговорить или предпринять какое-то другое действие, например, встать со стула. Я могу также «отстраниться» и осознавать подобные намерения, или мое ощущение боли, или опыт, запечатленный в памяти, или акт понимания; или я могу даже просто осознавать свое собственное сознание.⁵¹ Я могу находиться в состоянии сна и всё равно быть до некоторой степени осознающим происходящее, если мне снится сон; или, возможно, когда я начинаю просыпаться, я сознательно воздействую на развитие этого сна. Я готов считать, что сознание – это нечто, имеющее некоторую градацию,⁵² а не просто что-то, что

namely the ANTHROPIC PRINCIPLE, which asserts that the nature of the universe that we find ourselves in is strongly constrained by the requirement that sentient beings like ourselves must actually be present to observe it.»

⁴⁸ В.Э.: Какой классический пример пути «от слова к объекту»!

⁴⁹ В.Э.: Гипноз вообще представляет собой сдвиг межпрограммных интерфейсов в мозговой операционной системе. (В этой сноске мы не можем разобрать в деталях тот программный механизм, как это происходит; он описан в моих латышских текстах {L-ARTINTS45}). Поэтому нет ничего удивительного, что при таких сдвинутых интерфейсах запись в память тоже происходит «со сдвигом» так, что в нормальном состоянии эту запись невозможно найти. Но раз запись сама по себе физически существует, то существуют и средства, как установить к ней доступ даже из «нормального состояния» человека (не говоря уже о «повторно сдвинутом», т.е. опять под гипнозом).

⁵⁰ В.Э.: Продолжается «путь от слова к объекту»! Да надо же делать наоборот: брать сначала «объект», то есть, мозговую операционную систему, а потом смотреть, ЧТО из того, что она делает, мы можем назвать «сознанием».

⁵¹ В.Э.: Ну вот – и теперь надо просто разобраться: КАКУЮ работу должна выполнять мозговая операционная система, чтобы всё перечисленное происходило.

⁵² В.Э.: Работа-то разнообразная; всегда можно вводить различные «градации» в зависимости от того, что выполняется, а что не выполняется.

есть или чего нет. Я считаю слово «сознание» в сущности синонимичным слову «осознание» (хотя, возможно, «осознание» немного пассивнее, чем то, что я понимаю под «сознанием»), в то время как «ум» и «душа» имеют дополнительные оттенки смысла, которые в значительной мере менее отчетливо определимы в настоящее время.⁵³ У нас будет много хлопот с пониманием того, что такое «сознание» само по себе, поэтому я надеюсь, что читатель меня простит, если я оставлю в покое дальнейшие проблемы, связанные с терминами «ум» и «душа»!

Существует также вопрос о том, что подразумевать под словом интеллект. В конце концов, именно об этом объекте – а не о более расплывчатом понятии «сознания» – предпочитают говорить люди, связанные с ИИ. Алан Тьюринг в своей знаменитой работе (Тьюринг [1950]) (см. главу 1, с. 21) рассматривал непосредственно не столько «сознание», сколько «мышление», а слово «интеллект» даже было вынесено им в заглавие. На мой взгляд, вопрос об интеллекте является вторичным по отношению к вопросу о феномене сознания. Едва ли я поверю в то, что настоящий интеллект мог бы действительно существовать, когда бы его не сопровождало сознание. С другой стороны, если в итоге и вправду окажется, что приверженцы ИИ способны моделировать интеллект без присутствия сознания, тогда было бы совершенно неудовлетворительным определять интеллект, не включая в это понятие такой моделированный интеллект. Но в этом случае «интеллект» как предмет обсуждения оказался бы вне поля моего внимания, поскольку мой интерес связан, в первую очередь, с «сознанием».

Когда я высказываю свое убеждение, что истинный интеллект требует присутствия сознания, я при этом неявно предполагаю (поскольку я не разделяю точку зрения сторонников теории «сильного» ИИ, согласно которой простое применение алгоритма способно пробуждать сознание), что интеллект не может надлежащим образом моделироваться алгоритмическими средствами, то есть путем использования компьютера так, как это делается сегодня. (См. обсуждение «теста Тьюринга» в главе 1.) Очень скоро (см., в частности, обсуждение математического мышления, приведенное тремя разделами ниже, на с. 336) я постараюсь привести самые убедительные доводы в пользу необходимости присутствия существенно неалгоритмической составляющей в работе сознания.

Теперь обратимся к вопросу о том, существует ли четкое различие между одним объектом, который обладает сознанием, – и другим, «эквивалентным» первому во всем, кроме способности сознавать. Всегда ли сознание, присущее некоторому объекту, проявляет свое присутствие? Я предпочитаю думать, что ответить на этот вопрос следует однозначно «да». Однако, эта моя вера едва ли найдет поддержку в научных кругах, если там до сих пор нет согласия даже в вопросе о том, где можно найти сознание в царстве животных. Некоторые вообще не допускают мысли, что им могут обладать какие бы то ни было животные, отличные от людей (а некоторые придерживаются того же мнения и в отношении человеческих существ, живших за 1000 или более лет до н.э.; см. Джейнс [1980]); и в то же время кто-то готов допустить наличие сознания у насекомых, у червей и даже – почему бы нет? – у камней!⁵⁴ Что касается меня, то я склонен сомневаться в том, что червь или насекомое – не говоря уже о камнях – в значительной степени (если вообще) обладают этим качеством; но млекопитающие, в общем и целом, подчас производят на меня впечатление существ, способных на подлинное осознание. Имея столь диаметрально противоположные точки зрения, приходится констатировать, что на сегодняшний день общепринятый критерий проявления сознания отсутствует. Правда, вполне возможно, что есть всё же критерий сознательного поведения, хотя он и не заслужил всеобщего признания. Но не вызывает сомнений, что в любом случае только активная роль сознания могла бы иметь принципиальное значение, поскольку невозможно представить себе, чтобы простое наличие способности осознать, без активного дополнения к ней, может быть непосредственно зафиксировано. Подтверждением этому факту послужили ужасные случаи применения в 40-е годы лекарства на основе яда кураре в качестве «анестезирующего» средства при операциях, проводимых на маленьких детях, – тогда как действительный эффект этого средства заключается в парализации воздействия двигательных нервов на мускулы, из-за чего агония,⁵⁵ которую в

⁵³ В.Э.: В оригинале: «I take the word 'consciousness' to be essentially synonymous with 'awareness' (although perhaps 'awareness' is just a little more passive than what I mean by 'consciousness'), whereas 'mind' and 'soul' have further connotations which are a good deal LESS clearly definable at present.»

⁵⁴ В.Э.: Целыми толпами шагают по пути «от слова к объекту»! (Да разберитесь сначала, что именно происходит в головах у человека, животных, насекомых и камней, а потом определите, что из всего этого вы будете именовать «сознанием», а что нет!).

⁵⁵ В.Э.: Опять «ложный друг переводчика»! Должно быть просто «страдания».

буквальном смысле испытывали несчастные дети, оставалась на протяжении операции незаметной для хирурга (см. Деннетт [1978], с. 209).

Вернемся к той гипотетической активной роли, которую может иметь сознание. Верно ли, что сознание может играть – а часто и играет – активную операционально различимую роль? Я полагаю, что это должно быть так, и постараюсь сейчас обосновать свою убежденность несколькими независимыми доводами. Во-первых, благодаря нашему «здравому смыслу» мы часто ощущаем, что мы непосредственно воспринимаем, что другой человек находится в сознании. Такое впечатление вряд ли может быть ошибочным.⁵⁶ В то время как человек, который находится в сознании, может (подобно детям под действием кураре) и не подавать соответствующих признаков – находящийся в бессознательном состоянии едва ли будет выглядеть как человек, обладающий сознанием! Следовательно, должен существовать некий тип поведения, который можно было бы назвать характерным для человека, пребывающего в сознании (хотя даже и не всегда подтверждаемый самим сознанием), который мы бы воспринимали именно так благодаря нашим «интуитивным представлениям».

Во-вторых, примем во внимание безжалостный процесс естественного отбора. Будем рассматривать этот процесс в свете того факта, что, как мы видели в предыдущей главе, не вся активность мозга непосредственно доступна сознанию. И действительно, более «древний» мозжечок – обладающий значительным (по сравнению с остальными частями головного мозга) превосходством в плотности нейронов – производит, по-видимому, весьма сложные действия безо всякого вмешательства со стороны сознания. Однако, природа избрала для эволюционного развития таких сознающих себя и окружающий мир существ, как мы, вместо того, чтобы удовлетвориться созданиями, которые вполне могли бы существовать при помощи абсолютно бессознательных механизмов управления. Если сознание не служит целям селекции, то зачем природа занялась созданием «сознательных» разновидностей мозга, тогда как не наделенные сознанием «мозги-автоматы», наподобие мозжечка, могли бы функционировать не менее успешно⁵⁷?

Более того, существует простая «основополагающая» причина для предположения о том, что сознание должно иметь какое-то активное влияние, даже если его результат не является преимуществом при естественном отборе. Ибо почему еще мы (или существа, нам подобные) можем иной раз мучиться при попытке ответить на вопрос – особенно, если изучается эта тема – «о самих себе». (Мне так и хочется сказать: «Почему вы читаете эту главу?» или «Почему у меня было сильное желание написать книгу именно на эту тему?») Трудно себе представить, чтобы полностью лишенный сознания автомат стал бы тратить время на подобные вещи. А поскольку обладающие сознанием существа, с другой стороны, время от времени поступают как раз таким вот смешным образом, то их поведение отличается от поведения остальных – откуда следует, что сознание все-таки производит определенное активное воздействие! Разумеется, не составит труда специально запрограммировать компьютер так, чтобы он вел себя столь же нелепым образом (например, он мог бы в согласии с заложенным в него алгоритмом постоянно повторять на ходу: «О Господи, ну в чем же смысл жизни? Почему я здесь нахожусь? Что такое, черт побери, это “Я”, которым я себя ощущаю?»). Но почему же естественный отбор позаботился о создании благоприятных условий именно для такой расы индивидов, когда жестокий закон джунглей наверняка давно бы выдрал с корнем подобную бесполезную ерунду!⁵⁸

Мне кажется очевидным, что все эти размышления и бормотание, которым мы (времененно становясь философами) предаемся, не могли быть самоценными для процесса естественного

⁵⁶ По крайней мере, при наличии современных компьютерных технологий (см. обсуждение теста Тьюринга в главе 1).

⁵⁷ В.Э.: Разумеется, они могли бы функционировать «не менее успешно», но при одном условии – что программы, выполняемые ими, уже готовы. Но откуда взять эти программы? У Естественного отбора (т.е. у Природы) нет другого средства получения новых программ, кроме САМОпрограммирования. А для самопрограммирования как раз и необходимо в первую очередь следующее: 1) запоминать обстоятельства и ход выполнения программы; 2) проанализировать результаты этого выполнения; 3) учесть обнаруженные анализом удачу и неудачи при составлении следующих программ. А ЭТО как раз и есть самое центральное из того, что Пенроуз называет «сознанием».

⁵⁸ В.Э.: Однако, как известно, именно ЭТА раса субъектов оказалась на самой верхушке «пищевой цепочки» на планете Земля. А почему? Да потому, что именно подобные «бесполезные поиски» и создают мозговые программы самого высокого качества, какие только удалось сотворить Естественному отбору на этой планете.

отбора, а являются просто необходимым с его (естественного отбора) точки зрения «багажом», который должны нести существа, обладающие подлинным сознанием – при том, что само оно возникло в ходе естественного отбора по совершенно другой и, вероятно, очень серьезной причине. Этот багаж не слишком обременителен, и легко (хотя, быть может, и неохотно) переносится, скорее всего, именно непреклонными силами естественного отбора. В тех случаях, когда на земле царят мир и процветание, которыми человеческий род время от времени имеет счастье наслаждаться (ибо нам не всегда приходится бороться со стихиями (или нашими соседями) за выживание) – тогда, возможно, сокровища, содержащиеся в нашем багаже, становятся предметом удивления и любопытства. Именно в такие моменты, глядя на окружающих тебя философствующих людей, всерьез убеждаешься в том, что они, как и ты, тоже обладают умом.

§10.2. Что в действительности делает сознание?

Давайте согласимся с тем, что наличие у данного существа сознания является его реальным преимуществом в ходе естественного отбора. В чем конкретно может заключаться это преимущество? Я знаком с одной точкой зрения, согласно которой способность осознавать происходящее может оказаться полезной хищнику в его попытке предугадать, что его жертва будет делать в следующий момент, с помощью мысленной «постановки себя на место» этой жертвы. Воображая себя своей жертвой, он мог бы увеличить шансы удачного исхода охоты.

Вполне может быть, что эта идея отчасти верна, но кое-что в ней меня смущает. Во-первых, здесь предполагается наличие некоторого сознания у самой жертвы, так как вряд ли имело бы смысл представлять себя автоматом, поскольку автомат – по определению, не обладающий сознанием – ни в коем случае не есть то, чем можно «быть»! В любом случае, я мог бы с таким же успехом представить себе, что совершенно не обладающий сознанием автомат-хищник имеет внутри в качестве подпрограммы последовательность действий, которая в точности соответствовала бы действиям автомата-жертвы. Мне вообще не кажется, что необходимость вводить сознание в отношения типа «хищник–жертва» может быть логически обоснована.

Разумеется, трудно понять, как случайные процессы естественного отбора могли быть достаточно умными, чтобы дать автомату-хищнику полную копию программы жертвы. Это бы выглядело скорее как шпионаж, а не как естественный отбор! А частичная программа (в смысле отрезка «ленты» машины Тьюринга или чего-то подобного такой ленте) вряд ли была бы достаточно полезна хищнику с точки зрения естественного отбора. Ему был бы необходим какой-нибудь завершённый фрагмент этой ленты, а лучше (хотя и менее вероятно) – вся лента целиком. Следовательно (и как некая альтернатива этому), частичная правда могла бы заключаться в том, что модель поведения «хищник–жертва» подразумевает всё же наличие не компьютерной программы, но определенного элемента сознания.⁵⁹ Однако, это, по-моему, уже не относится к настоящему вопросу о различии между сознательным и «запрограммированным» действиями.

Суть идеи, о которой шла речь выше, по-видимому, напрямую связана с широко распространенной точкой зрения, согласно которой считается, что система может «осознавать» нечто, если в ней уже имеется модель этого объекта, и, соответственно, что она становится «самосознающей», когда она в самой себе содержит модель самой себя. Но если компьютерная программа содержит (скажем, в качестве подпрограммы) текст другой компьютерной про-

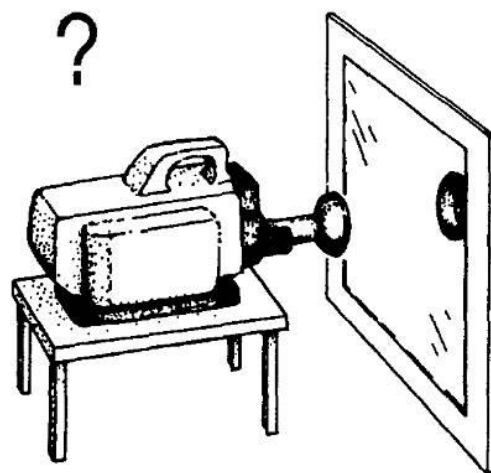


Рис. 10.1. Видеокамера, направленная на зеркало, строит модель себя внутри самой себя. Становится ли она от этого самосознающей?

⁵⁹ В.Э.: Самопрограммирования, друг мой, самопрограммирования! И у хищника, и у жертвы...

граммы, то первая при этом не может осознавать вторую, также как и не может приводить к самосознанию обращение программы к себе самой. Несмотря на подобные часто встречающиеся заявления, фундаментальные понятия самосознания и способности к осознанию в этих рассуждениях едва ли затрагиваются. Видеокамера не осознает сцены, которые она снимает; как не обладает самосознанием и видеокамера, направленная на зеркало (рис. 10.1).

Я хочу пойти в другом направлении. Как мы уже знаем, не вся деятельность нашего мозга сопровождается работой сознания (в особенности это относится к действиям, которые управляются мозжечком). А какая часть из того, что мы можем делать, осознанно, не может быть сделана бессознательно? Проблема становится еще менее ясной из-за того, что всё, для чего нам изначально требуется сознание, похоже, может быть со временем заучено и впоследствии выполняться уже автоматически (возможно, именно мозжечком). Кажется, что сознание требуется, чтобы справляться с ситуациями, где нам приходится высказывать новые суждения, и где правила не были заданы заранее.⁶⁰ Трудно достичь большой точности при проведении различий между теми видами умственной деятельности, которые, по-видимому, требуют подключения сознания, и теми, которые нет. Сторонники «сильного» ИИ (да и многие другие) будут настаивать на том, что «формирование новых суждений» – это не более, чем повторное применение ряда точно сформулированных алгоритмических правил – только теперь на некоем полумистическом «высоком уровне», так, что их действия нами при этом не осознаются. Однако, как мне кажется, даже в нашем обиходном лексиконе есть такие термины – используемые нами в повседневной жизни для разделения умственной деятельности на осознанную и бессознательную – которые уже сами по себе могут по меньшей мере навести на мысль о различиях между действиями неалгоритмической и алгоритмической природы:

<u>Сознание требуется</u>	<u>Сознание не требуется</u>
«здравый смысл»	«автоматический»
«суждение об истинности»	«бездумное следование правилам»
«понимание»	«запрограммированный»
«художественная оценка»	«алгоритмический»

Возможно, эти различия не всегда достаточно четко очерчены хотя бы потому, что в наши сознательные суждения входит немало неосознанных факторов: опыт, интуиция, предрассудки, даже наше привычное использование логики. Но я утверждаю, что сами по себе суждения – это проявления работы сознания. Поэтому я полагаю, что, тогда как бессознательные действия мозга происходят в соответствии с алгоритмическими процессами, действие сознания имеет совершенно иную природу, и потому не может быть описано никаким алгоритмом.⁶¹

Есть некая ирония в том, что многое из того, что я излагаю здесь, является полной противоположностью по отношению к некоторым другим точкам зрения, которые мне приходится довольно часто слышать. Например, утверждают, что именно сознательный ум «рационален» и доступен пониманию; тогда как бессознательные действия нередко загадочны и труднообъяснимы. Те, кто работает с искусственным интеллектом, часто считают, что как только мы сможем понять ход осознанной мысли, то можно сразу же будет придумать соответствующий алгоритм для его компьютерной реализации; а вот таинственные бессознательные процессы нашему пониманию (пока!) не доступны.⁶² В моем представлении эти процессы вполне могут быть алгоритмическими, но при этом настолько сложными, что их детальный анализ практи-

⁶⁰ В.Э.: То есть – при самопрограммировании.

⁶¹ В.Э.: Когда Пенроуз говорит такое, то он, видимо, представляет «алгоритм» как нечто готовое и данное человеку при рождении. И далее он отождествляет «компьютер» с устройством, выполняющим такой вот готовый алгоритм. И в результате получается, что мозг не может быть компьютером, а сознание «не может быть описано никаким алгоритмом»... Но это упрощенный взгляд на вещи. На самом деле один алгоритм может генерировать другой алгоритм (которого не было при рождении человека), и всё это может осуществлять компьютер, в том числе – мозг. Это и называется самопрограммированием, а пенроузовское «сознание» есть не что иное, как центральное звено этого самопрограммирования.

⁶² В.Э.: И то, и другое – просто работа программ; никакой принципиальной границы между «сознательным» и «бессознательным» нет; что регистрируется в памяти и впоследствии анализируется, то «сознательно», а что не регистрируется, то «бессознательно», а в разных условиях в поле зрения «хроникера» попадает разное. Одна и та же работа мозговой программы может быть при одних условиях «сознательной», при других – «бессознательной».

чески невозможен.⁶³ Четко осознаваемый ход мысли, который может быть разумно объяснен как нечто полностью логичное, в свою очередь может быть (зачастую) переведен на язык алгоритмов – но на совершенно ином уровне. Мы сейчас говорим не о внутренних процессах (возбуждении нейронов и т.п.), а о манипулировании законченными мыслями. Иногда оно носит алгоритмический характер (как в случае традиционной логики: древнегреческих силлогизмов, формализованных Аристотелем; или символической логики, разработанной математиком Джорджем Булем; см. Гарднер [1958]); а иногда – неалгоритмический (как в случае с теоремой Гёделя или некоторыми примерами, приведенными в главе 4). А как реализовать на компьютере формирование суждений, которое я рассматриваю как критерий наличия сознания, – об этом разработчики ИИ не имеют даже ни малейшего представления!⁶⁴

Иногда мне возражают, что, поскольку критерии для этих суждений не являются в конце концов осознанными, то как я могу приписывать такие суждения сознанию? Однако, тем самым мои оппоненты упускают самую суть тех идей, которые я пытаюсь выразить. Ведь я не требую, чтобы мы осознавали, как мы формируем наши сознательные впечатления и суждения. Это привело бы к смешению тех уровней, о которых я только что упоминал. Истинные основания наших осознанных впечатлений наверняка будут недоступны сознанию. Они должны были бы рассматриваться на более глубоком (материальном) уровне по сравнению с первопричинами наших явных мыслей, которые мы непосредственно осознаем. (Ниже я осмелюсь предложить на рассмотрение одну интересную гипотезу на этот счет!) Собственно сознательные впечатления и являются (неалгоритмическими) суждениями.

Эта тема, затрагивающая вопрос о возможной неалгоритмической составляющей механизма нашего осознанного мышления, проходила красной нитью и через все предыдущие главы. В частности, заключительная часть дискуссии в главе 4, особенно касающаяся теоремы Гёделя, подводила к мысли о том, что (по крайней мере, в математике) сознательное «вглядывание» иной раз позволяет нам устанавливать справедливость утверждения способом, недоступным для алгоритма.⁶⁵ (Подробнее я остановлюсь на этом доводе чуть позже.) Конечно же, сами по себе алгоритмы не способны находить истину! Построить алгоритм, генерирующий только ложные суждения, столь же просто, как и алгоритм, результатом работы которого были бы одни только истины. Для определения пригодности или непригодности того или иного алгоритма нам совершенно необходимо своего рода вдохновение, интуитивное прозрение,⁶⁶ приходящее извне (далее я еще вернусь к этому вопросу). И я утверждаю, что именно эта способность провидения (или «интуитивного постижения») глубокого различия между истиной и ложью (равно как и между красотой и уродством!) является признаком наличия сознания.

Я, однако, должен сразу же оговориться, что ни в коем случае не имею здесь в виду какое-то мистическое «ясновидение». Сознание абсолютно бесполезно при попытке угадать счастливое число в (честно проводимой) лотерее! Я имею в виду суждения, которые постоянно формируются человеком в сознательном состоянии, когда собираются воедино и сопоставляются все относящиеся к предмету размышлений факты, данные чувственного опыта, воспоминания – а в иную минуту вдохновения даже рождаются мудрые мысли. В принципе, мы располагаем достаточным количеством информации для того, чтобы вынести соответствующее суждение – но процесс его осмысленного формирования путем выделения необходимой информации из трюсы фактов может просто не иметь точного выражения на языке алгоритмов (или же подобное выражение существует, но может оказаться при этом бесполезным практически). Возможно, мы находимся в ситуации, что когда суждение уже сделано, некоторый алгоритмический процесс (или просто более простое суждение) проверяет его справедливость, но не его

⁶³ В.Э.: Смотри, как анализировать. Если вы хотите разобраться с точностью «до последнего битика», то это действительно сложно. Но опытный программист так никогда не поступает. Он начинает свой анализ «сверху»: что принципиально делает вот эта программа, или подпрограмма, или блок? И когда понятно на таком общем уровне, тогда можно (если есть необходимость) опускаться ко всё более и более мелким деталям. И тогда никакая «сложность» не преграда. Мы просто не опускаемся до последних деталей, хотя общий смысл происходящего нам давно ясен.

⁶⁴ В.Э.: Американские и британские, может быть, и не имеют, но уж я-то имею! Будьте уверены.

⁶⁵ В.Э.: Недоступным для одного алгоритма, но доступным для другого.

⁶⁶ В.Э.: то есть – другой алгоритм; об «интуиции» см. {PENROI}.

изначальное формирование.⁶⁷ В такой ситуации, как мне кажется, сознание «нашло бы себя» в роли создателя подходящих суждений.

Почему я утверждаю, что неалгоритмическое построение суждений является критерием наличия сознания? Отчасти я опираюсь здесь на свой опыт ученого-математика. Я просто не доверяю своим механическим действиям, если они не были сперва придирчиво исследованы сознанием. Часто сам по себе алгоритм, использующийся при определенных вычислениях, не вызывает сомнения – но тот ли алгоритм используется для решения данной конкретной задачи? Рассмотрим простой пример: если вас заставят вызубрить алгоритмы перемножения двух чисел и деления одного числа на другое (или даже разрешат использовать запрограммированный карманный калькулятор) – гарантирует ли это, что вы сможете определить в каждом конкретном случае, какое из этих действий приведет к решению поставленной перед вами задачи? Для этого нужно думать и строить осознанное суждение.⁶⁸ (Вскоре мы увидим, почему такие суждения должны быть, по крайней мере иногда, неалгоритмическими!) Разумеется, коль скоро вы решите большое количество однотипных задач, выбор между умножением и делением станет настолько привычным, что будет выполняться совершенно автоматически – не исключено, что при участии одного лишь мозжечка. На этой стадии осознанное восприятие происходящего не является больше необходимым, поэтому можно спокойно позволить своему сознанию занять ум иными проблемами или просто «отпустить его в свободное плавание» – разве что время от времени проверяя ход выполнения алгоритма.

То же самое постоянно происходит на всех уровнях математического мышления. Люди часто стремятся найти адекватные алгоритмы, когда занимаются математикой, но само это стремление отнюдь не кажется алгоритмической процедурой. Как только подходящий алгоритм найден, задача, в некотором смысле, уже решена. Более того, определение с точки зрения математики степени точности или пригодности алгоритма требует значительных усилий со стороны сознания. Нечто подобное имело место при обсуждении формальных систем для математики, которые были описаны в главе 4. Если начать с формулировки нескольких аксиом, то затем из них можно вывести различные математические утверждения. Не исключено, что последняя операция может оказаться алгоритмической, но всё же изначально математик должен осознанно решить вопрос об адекватности этих аксиом. Почему это решение с необходимостью будет не-алгоритмическим, должно стать ясным из рассуждений, идущих непосредственно после следующего параграфа. Но прежде, чем мы перейдем к этому вопросу, давайте посмотрим, какая теория возникновения мозга и принципов его деятельности является на сегодняшний день наиболее популярной.

§10.3. Естественный отбор алгоритмов?

Если предположить, что умственная деятельность человека – как осознанная, так и нет – это всего лишь выполнение очень сложного алгоритма, то сразу же возникает вопрос: а как, собственно, мог возникнуть такой в высшей степени эффективный алгоритм. Стандартным

⁶⁷ В.Э.: «Изначальное формирование» чего-то нового, ранее не бывшего, представляет определенную проблему для алгоритмов и тем самым для компьютеров вообще. Каждый сколь-нибудь опытный программист сталкивался, например, с проблемой генерации «случайных чисел» в компьютере (многократно и подробно описанной в литературе). Существует только один способ, как компьютер (и вообще детерминированное устройство) может создавать нечто новое: это брать кусочки старого и случайным образом комбинировать их, а из этого случайного «калейдоскопа» отбирать то, что полезно. Так на протяжении миллиардов лет работает сам Естественный отбор (или Природа): случайным образом (при мутациях и при перемешивании хромосом в момент оплодотворения) комбинирует гены и отбирает полезные комбинации. И точно так же работает и наш мозг при «творчестве» нового: случайным образом по-всякому комбинирует уже существующие элементы и потом смотрит, что получилось. По этому принципу работают все мозговые генераторы – для самопрограммирования, для поиска решений, для всех целей. Сновидения – самые наглядные проявления работы такого генератора. (Этот генератор – в Веданской теории он называется «сомниатором» – так этот генератор, разумеется, предназначен Природой отнюдь не для работы во время сна: основная его работа происходит во время бодрствования, да только тогда хроникер, как правило, занят другими, «более важными» процессорами мозга и почти никогда не обращает свой «пржектор» на сомниатор. А вот во время сна, когда большинство других процессоров мозга выключены, а сомниатор и хроникер оказываются единственными или почти единственными работающими, – тогда продукция этого генератора случайных комбинаций попадает в память и тем самым «осознается». (Таково объяснение сновидений по Веданской теории)).

⁶⁸ В.Э.: То есть – применять множество других алгоритмов.

ответом здесь, разумеется, будет «естественный отбор». Как только стали появляться существа, наделенные мозгом, между ними возникла конкуренция, в которой побеждали (т.е. выживали и производили более многочисленное потомство) те, чей алгоритм оказывался эффективнее. Их потомки тоже имели, как правило, более эффективные алгоритмы поведения, чем их родственники, коль скоро им посчастливилось унаследовать составляющие этих «продвинутых» алгоритмов от своих родителей; так постепенно алгоритмы улучшались – не обязательно стабильно, поскольку могли случаться и значительные колебания в их эволюции – пока не было достигнуто то поразительное совершенство, которое (по всей видимости) можно обнаружить в мозге современного человека⁶⁹ (см. Доукинс [1986]).

Даже если судить сообразно моей точке зрения, некоторая доля истины в этой картине должна быть, поскольку, как мне представляется, большая часть работы мозга действительно носит алгоритмический характер, и к тому же – как читатель наверняка догадался из предыдущих рассуждений – я являюсь убежденным сторонником (теории) естественного отбора. Но я не понимаю, как естественный отбор сам по себе мог дать рождение алгоритмам, которые позволяли бы делать осознанные выводы касательно правомерности применения всех прочих алгоритмов, которыми мы должны, по идее, пользоваться.⁷⁰

Представьте себе обычную компьютерную программу. Как она появилась на свет? Ясно, что никак не за счет (непосредственно) естественного отбора! Чтобы это произошло, какой-нибудь программист должен был разработать ее и убедиться, что она корректно выполняет те действия, для которых она предназначена. (В действительности большинство сложных компьютерных программ содержат ошибки – как правило, незначительные и малозаметные, которые выявляются только в достаточно редких случаях при необычных стечениях обстоятельств. Наличие таких ошибок не влияет существенно на мои рассуждения.) Иногда компьютерная программа может быть «написана» другой компьютерной программой-«мастером», но тогда та, в свою очередь, с необходимостью должна быть создана человеческим гением; то же самое относится и к тем программам, в состав которых могут входить фрагменты кодов, написанных другими компьютерными программами. Но в любом случае, задача обоснования использования конкретного алгоритма и разработка общей концепции программы «ложится на плечи» (по крайней мере) одного человеческого сознания.⁷¹

Можно представить себе, конечно, что всё могло бы происходить совсем не так, и что по прошествии достаточного количества времени компьютерная программа могла бы самостоятельно эволюционировать в процессе некоего естественного отбора. Если верить, что действия, производимые в сознании программистов, сами являются всего лишь алгоритмами, то надо с необходимостью согласиться с тем, что таким же образом развились и алгоритмы. Но меня здесь беспокоит то, что принятие решения о правомерности использования алгоритма отнюдь не является алгоритмическим процессом.⁷² Кое-что об этом уже было сказано в главе 2. (Будет или нет машина Тьюринга на самом деле останавливаться – вопрос, который не может быть решен алгоритмическим путем.) Чтобы решить, будет ли алгоритм действительно работать, нужно глубокое понимание, а не просто еще один алгоритм.⁷³

Тем не менее, можно было бы представить себе, что существует определенный процесс естественного отбора, который способен создавать довольно эффективные алгоритмы. Лично мне, однако, очень трудно в это поверить. Любой процесс отбора такого рода мог бы оказывать

⁶⁹ В.Э.: Ну, в общих чертах так – но только в очень общих. Здесь нужно подчеркивать не столько «естественный отбор алгоритмов», сколько развитие способности к самопрограммированию, т.е. к генерации новых и новых алгоритмов. Вообще, чтобы корректно рассуждать на эту тему, нужно сначала точно договориться, где кончается один алгоритм, и где начинается другой.

⁷⁰ В.Э.: А тут шел даже двойной «естественный отбор». Во-первых, тот, дарвинский, который развивал в мозгах наших предков способность к самопрограммированию, т.е. к генерации всевозможных новых алгоритмов. И, во-вторых, тот, который включился уже после нашего рождения: каждый из нас с младенчества генерировал всевозможные алгоритмы самых различных действий и на протяжении всей жизни (методом «проб и ошибок») отбирал наиболее подходящие.

⁷¹ В.Э.: Да – когда не включено самопрограммирование. А концепция самопрограммирования, понимание его, как я уже писал {PENRS1}, как раз и есть тот ингредиент, которого недостает как Пенроузу, так и (видимо) его противникам.

⁷² В.Э.: Является. Так что беспокойство излишнее.

⁷³ В.Э.: Это «глубокое понимание» представляет собой работу (обычно многочисленных и разнообразных) алгоритмов, со всех сторон оценивающих исследуемый алгоритм и в конце концов выносящих о нем свое решение.

воздействие только на результаты выполнения алгоритмов,⁷⁴ а не на лежащие в основе этих алгоритмов идеи. И это не только совершенно неэффективно – я думаю, что это не принесло бы вообще никакого результата.⁷⁵ Во-первых, нелегко определить, глядя на итог работы алгоритма, что он из себя на самом деле представляет. (Нетрудно сконструировать две простые, но совершенно различные процедуры для машины Тьюринга, выходные ленты которых совпадали бы, скажем, до 2⁶⁵⁵³⁶-й позиции – и тогда их различие не было бы замечено даже за всю историю вселенной!)⁷⁶ Более того, малейшая «мутация» алгоритма (например, небольшое изменение в описании машины Тьюринга или в ее выходной ленте) сделала бы ее полностью бесполезной⁷⁷; поэтому трудно понять, как настоящие усовершенствования алгоритмов могут получаться таким вот случайным образом. (Даже обдуманные усовершенствования труднореализуемы, когда неизвестен их точный «смысл». Так традиционно получается в тех нередких возникающих ситуациях, когда необходимо внести изменения или исправления в сложную и небрежно задокументированную программу, чей автор находится вне пределов досягаемости или давно умер. Тогда вместо того, чтобы пытаться разобраться в хитросплетениях разнообразных промежуточных значений и неявных подзадач, на которых базируется эта программа, иной раз бывает проще стереть всё и начать заново!)⁷⁸

Предположим, что мог бы быть разработан гораздо более «здоровый» метод определения алгоритмов, в отношении которого вышеприведенная критика становилась бы беспочвенной. В некотором роде, это как раз то, о чем я и говорю. «Здоровые» определения – это идеи, на которых базируется алгоритм. Но идеям, насколько нам известно, для своего выражения требуется разум, наделенный сознанием. А значит, мы вновь возвращаемся к проблеме определения сознания и тех его свойств, которые отличают обладающих сознанием существ от остального мира – и к вопросу о том, как, черт побери, естественный отбор мог оказаться достаточно «умным», чтобы развивать такие замечательные свойства.

Результаты естественного отбора и в самом деле удивительны. Те скромные познания о функционировании человеческого мозга – и, разумеется, мозга любых других существ – которыми я обладаю, просто ошеломляют меня, заставляя испытывать благоговейный трепет. Работа отдельного нейрона поразительна, но все вместе нейроны представляют еще более впечатляющую структуру, с самого момента рождения насчитывающую огромное множество соединений и связей, которые в дальнейшем позволяют ей решать практически любые задачи. Замечательно не только само сознание, но и всё то, что связано с обеспечением его деятельности!⁷⁹

⁷⁴ Здесь можно упомянуть еще один непростой вопрос относительно того, могут ли два алгоритма рассматриваться как эквивалентные друг другу, если результаты их действий – но не сами вычисления! – являются тождественными. См. главу 2, с. 59.

⁷⁵ В.Э.: Выше я уже показал, как это происходит – двойной отбор! Сначала Дарвинский отбор развивает общую способность биологического вида к генерации новых алгоритмов, а потом каждый индивид самостоятельно из сгенерированных им алгоритмов отбирает подходящие методом проб и ошибок (а также, конечно, часть новых алгоритмов получает путем обучения в школах).

⁷⁶ В.Э.: Ну и что? Причем тут это? Разумеется, алгоритмы варьируют.

⁷⁷ В.Э.: Э-э, нет! Во-первых, даже в компьютерной программе (.exe модуле или его эквиваленте на диске) изменение одного байта (например, запись вирусом туда произвольной комбинации восьми битов) не обязательно приведет к полной непригодности программы. Этот байт может оказаться просто в «пустом поле», куда программа сама записывает информацию; это может оказаться буквой какого-то сообщения, и в результате только чуточку исказится текст на экране; этот байт может оказаться частью подпрограммы, которая используется только в чрезвычайно редких ситуациях... Это относится к программам, которые не содержат дублирующих элементов (как современные компьютерные). А в природе не так: все программы природных компьютеров имеют многократное дублирование – уж не знаю: стократное, тысячекратное? Там изменение одного «байта» вообще ни на что не влияет – и это во-вторых. А в-третьих, Природе вовсе не надо передавать «точную программу» от поколения к поколению (как это представляет Пенроуз). В генах кодируется лишь способность к генерации программ, а собственно генерацию и накопление отобранных и признанных пригодными алгоритмов каждый индивид осуществляет сам в течение всей своей жизни, но особенно в младенчестве и в детстве.

⁷⁸ В.Э.: За мою программистскую жизнь мне много раз поручали вносить изменения в чужие программы. Но я ни разу не выполнил такие задачи. Даже не пытаюсь в ней разобраться, я всегда в первую очередь выбрасывал программу своего предшественника в мусорник и вместо нее писал свою.

⁷⁹ В.Э.: Если бы мне рассказали, что такое явление, как человеческий мозг, имеет место, я бы не поверил. ☺

Если бы однажды нам довелось обнаружить то свойство, которое позволяет физическому объекту обретать сознание, то, изучив его во всех деталях, мы, вероятно, могли бы сконструировать подобные объекты для собственных нужд – хотя они не обязательно расценивались бы как «машины», в современном понимании этого слова. Нетрудно предположить, что такие объекты могли бы многократно нас превосходить, ибо они были разработаны специально для этой задачи – т.е. для обретения сознания. Им бы не пришлось вырастать из одной клетки. Им бы не пришлось нести на себе «багаж» предков (старые и «бесполезные» части мозга или тела, которые продолжают существовать в нас только благодаря «несчастьям», приключившимся с нашими далекими предками). Можно также представить себе, что благодаря этим преимуществам, такие объекты могли бы по-настоящему заменять собой людей там, где (по мнению тех, кто согласен со мной) алгоритмические компьютеры обречены на выполнение обслуживающих функций.

Но вполне возможно, что тема сознания имеет гораздо больше аспектов. Может быть и так, что каким-то образом наше сознание действительно зависит от нашего наследия и от миллионов лет эволюции, лежащих у нас за спиной. Меня не покидает ощущение, что в самой эволюции, в ее явном «нащупывании» пути к какой-то будущей цели есть что-то загадочное и непостижимое. Кажется, что всё организовано несколько лучше, чем оно «должно было быть» на основе слепой эволюции и естественного отбора. Вполне возможно, однако, что внешние проявления здесь обманчивы. Возможно, это как-то связано с тем способом, каким действуют физические законы, что позволяет естественному отбору протекать гораздо эффективнее, чем в случае, если бы этот процесс управлялся произвольными законами. Возникающее в результате явно «интеллектуальное нащупывание» – это отдельная интересная тема, к которой я вернусь несколько позже.

§10.4. Неалгоритмическая природа математической интуиции

Как я уже указывал ранее, моя уверенность в том, что сознание способно влиять на характер суждений об истинности неалгоритмическим путем, опирается главным образом на результаты теоремы Гёделя.⁸⁰ Если мы видим,⁸¹ что сознание действует неалгоритмически при формулировании математических суждений, где вычисления и строгие доказательства являются непременным требованием, то уж наверняка нас нетрудно будет убедить и в том, что эта неалгоритмическая составляющая могла бы являться решающей и для роли сознания при более общих (не связанных с математикой) обстоятельствах.

Вспомним доводы, приведенные в главе 4 в рамках доказательства теоремы Гёделя и устанавливающие ее применимость к решению вопроса о вычислимости. Там было показано, что какой бы (достаточно сложный) алгоритм ни использовал математик для установления математической истины или, что то же самое,⁸² какую бы формальную систему он⁸³ ни принял для задания своего критерия истинности – всегда найдутся математические суждения, подобные сформулированному Гёделем утверждению $P_k(k)$ для системы (см. с. 98), на которые его алгоритм не сможет дать ответа. Если ум математика работает полностью алгоритмически, то алгоритм (или формальная система), которые он обычно использует для построения своих суждений, оказываются не в состоянии справиться с утверждением $P_k(k)$, полученным с помощью его собственного алгоритма. Тем не менее, мы можем (в принципе) понять, что $P_k(k)$ на самом деле истинно! Этот факт, по всей видимости, должен был бы указать ему на противоречие, поскольку он, как и мы, не может не заметить его. А это, в свою очередь, может свидетельствовать о не-алгоритмическом характере его рассуждений!

В этом заключается суть довода, предложенного Лукасом [1961] в поддержку точки зрения, согласно которой деятельность мозга не может быть полностью алгоритмической, против которого, однако, время от времени выдвигались различные контрдоводы (см., например,

⁸⁰ В.Э.: А теорема Гёделя неверна. Во всяком случае неверны те интерпретации, которые ей обычно даются, в том числе – Пенроузом.

⁸¹ В.Э.: Но мы не видим.

⁸² Как мы видели в главе 4 (с. 105), проверка справедливости доказательства в формальной системе всегда имеет алгоритмический характер. И наоборот, любой алгоритм, который позволяет получать математически истинные утверждения, всегда можно добавить в систему аксиом и правил вывода обычной логики («предикатного исчисления»), тем самым создавая новую формальную систему выведения математических истин.

⁸³ Разумеется, «он» означает «она или он». См. сноску на с. 22.

Бенасерраф [1967], Гуд [1969], Льюис [1969, 1989], Хофштадтер [1981], Бови [1982]). В связи с этой дискуссией я должен подчеркнуть, что термины «алгоритм» и «алгоритмический» относятся к чему угодно, что может быть (достоверно) смоделировано на компьютере общего назначения. Сюда включается, конечно, как «параллельная обработка», так и «нейросети» (или «машины с переменной структурой связей»), «эвристика», «обучение» (где всегда заранее задается определенный фиксированный шаблон, по которому машина должна обучаться), а также взаимодействие с внешним миром (которое может моделироваться посредством входной ленты машины Тьюринга). Наиболее серьезным из этих контраргументов является следующий: чтобы действительно убедиться в истинности утверждения $P_k(k)$, нам нужно знать, какой именно алгоритм использует математик, и при этом быть уверенным в правомерности его использования в качестве средства достижения математической истины.

Если в голове у математика выполняется очень сложный алгоритм, то у нас не будет возможности узнать, что он из себя представляет, и поэтому мы не сможем сконструировать для него утверждение гёделевского типа, не говоря уже об уверенности в обоснованности его применения.

Такого типа возражения часто выдвигаются против утверждений подобных тому, которое я привел в начале этого раздела, а именно, что теорема Гёделя свидетельствует о неалгоритмическом характере наших математических суждений. Но сам я не нахожу это возражение слишком убедительным. Предположим на мгновение, что способы, которыми математики формируют осознанные суждения о математической истине, действительно являются алгоритмическими. Попробуем, используя теорему Гёделя, доказать абсурдность этого утверждения от противного (*reductio ad absurdum!*).

Прежде всего мы должны рассмотреть возможность того, что разные математики используют неэквивалентные алгоритмы для суждения об истинности того или иного утверждения. Однако – и это одно из наиболее поразительных свойств математики (может быть, почти единственной в этом отношении среди всех прочих наук) – истинность математических утверждений может быть установлена посредством абстрактных рассуждений! Математические рассуждения, которые убеждают одного математика, с необходимостью убедят и другого (при условии, что в них нет ошибок и суть нигде не упущена). Это относится и к утверждениям типа гёделевского. Если первый математик готов согласиться с тем, что все аксиомы и операции некоторой формальной системы всегда приводят только к истинным утверждениям, то он также должен быть готов принять в качестве истинного и соответствующее этой системе гёделевское утверждение. Точно то же самое произойдет и со вторым математиком. Таким образом, рассуждения, устанавливающие математическую истину, являются передаваемыми.⁸⁴

Отсюда следует, что мы, говоря об алгоритмах, имеем в виду не какие-то неясные разномастные построения, которые, возможно, рождаются и бродят в голове каждого отдельного математика, а одну универсально применяемую формальную систему, которая эквивалентна всем возможным алгоритмам, используемым математиками для суждений о математической истине. Однако мы никак не можем знать, является ли эта гипотетическая «универсальная» система той, которая используется математиками для установления истинности. Ибо в этом случае мы могли бы построить для нее гёделевское утверждение, и знали бы наверняка, что оно математически истинно. Следовательно, мы приходим к заключению, что алгоритм, который

⁸⁴ Некоторых читателей может беспокоить тот факт, что в среде математиков действительно существуют различные точки зрения. Вспомним рассуждения, приведенные в главе 4. Однако имеющиеся разногласия не так важны для нас. Они относятся только к в высшей степени абстрактным вопросам, касающимся очень больших множеств, в то время как мы вполне можем ограничиться утверждениями арифметического характера (с конечным числом кванторов существования и всеобщности) и применить дальнейшие рассуждения. (Возможно, здесь допущено некоторое преувеличение, поскольку принцип рефлексии, относящийся к бесконечным множествам, может иногда использоваться для вывода утверждений в арифметике.) Что касается крайне догматичного и не желающего соглашаться с Гёделем формалиста, для которого такая вещь, как математическая истина, вообще не существует, то я его буду просто-напросто игнорировать, поскольку он явно не обладает способностью интуитивного понимания истины, которой посвящены наши рассуждения! Конечно, математики иногда допускают ошибки. Кажется, сам Тьюринг считал, что именно это и есть «лазейка», которая позволяет обойти аргументы гёделевского типа в пользу того, что человеческое мышление существенно неалгоритмично. Но лично мне кажется невероятным, что свойство людей ошибаться каким-либо образом связано с нашей способностью к прозрениям! (Между прочим, генераторы случайных чисел могут быть успешно реализованы при помощи алгоритмов.)

математики используют для определения математической истины, настолько сложен или невразумителен, что даже правомерность его применения навсегда останется для нас под вопросом.

Но это бросает вызов самой сущности математики! Основополагающим принципом всего нашего математического наследия и образования является непоколебимая решимость не склоняться перед авторитетом каких-то неясных правил, понять которые мы не надеемся. Мы должны видеть – по крайней мере, в принципе – что каждый этап рассуждений может быть сведен к чему-то простому и очевидному. Математическая истина не есть некая устрашающе сложная догма, обоснованность которой находится вне границ нашего понимания – она строится из подобных простых и очевидных составляющих; и когда они становятся ясны и понятны нам, с их истинностью соглашаются все без исключения.

С моей точки зрения, получить такое явное *reductio ad absurdum* (без применения настоящего математического доказательства) мы даже и мечтать не могли! Основная идея должна быть теперь ясна. Математическая истина – это не то, что мы устанавливаем просто за счет использования алгоритма. Кроме того, я полагаю, что наше сознание – это решающая составляющая в нашем понимании математической истины. Мы должны «видеть» истинность математических рассуждений, чтобы убедиться в их обоснованности. Это «видение» – самая суть сознания. Оно должно присутствовать везде, где мы непосредственно постигаем математическую истину. Когда мы убеждаемся в справедливости теоремы Гёделя, мы не только «видим» ее, но еще и устанавливаем неалгоритмичность природы самого процесса «видения».

§10.5. Вдохновение, озарение и оригинальность

Я должен попытаться как-то прокомментировать те внезапные вспышки озарения, которые мы называем вдохновением. Откуда берутся все эти мысли и образы⁸⁵? Может быть, они появляются из нашего бессознательного – или всё же сознание существенным образом связано с их рождением? Можно привести множество примеров из воспоминаний великих мыслителей, где они прямо указывали на такие события. Как математик, я особенно интересуюсь теми случаями, когда вдохновение посещало именно математиков, но думаю, что между математикой и другими науками и искусством есть много общего. Эта тема великолепно изложена в небольшой работе «Исследования психологии процессов изобретательства в области математики» – классическом труде выдающегося французского математика Жака Адамара – к которой я и отсылаю читателя. В ней он приводит многочисленные примеры озарения в изложении ведущих математиков и не только. Один из наиболее известных случаев связан с Анри Пуанкаре. В начале Пуанкаре описывает свои напряженные сознательные исследования, связанные с построением так называемых «функций Фукса», которые в конце концов явно зашли в тупик. И вот что он пишет далее:

«...Я покинул Кон, где я жил в то время, чтобы принять участие в геологической экспедиции, организованной Горной школой. Впечатления от поездки заставили меня забыть о моей математической работе. Достигнув местечка Кутонс мы сели в омнибус, чтобы добраться на нем до следующего пункта назначения. В тот момент, когда я ставил ногу на подножку, мне пришла в голову идея, которая, казалось, никоим образом не вытекала из моих прошлых раздумий, что преобразования, используемые мной для определения функций Фукса, были идентичны определенным преобразованиям в неевклидовой геометрии. Я не проверил эту идею. У меня просто не было времени, так как когда я занял свое место в омнибусе, я продолжил прерванную беседу – но я был совершенно уверен в правильности моей догадки. Вернувшись в Кон, я выбрал свободное время и, проверив для собственного спокойствия свое предположение, убедился в его справедливости».

Что поражает в этом примере (как и во многих других, приведенных Адамаром) – это внезапность появления столь сложной и глубокой идеи в сознании Пуанкаре, которое в тот момент было занято совершенно другим⁸⁶; и тот факт, что возникновение этой идеи сопровождалось четким ощущением ее истинности, которую полностью подтвердили последующие

⁸⁵ В.Э.: От мозгового рандомгенератора.

⁸⁶ В.Э.: Вот, видите, мистер Пенроуз – совершенно явное доказательство существования параллельных процессоров в мозге! А Вы говорите, что параллельные вычисления ничего не дают, кроме скорости!

расчеты.⁸⁷ Тут нужно сразу оговориться, что подобные идеи сами по себе далеко не так просты, чтобы их можно было легко выразить словами. Думаю, что для ясного изложения своих мыслей Пуанкаре потребовалось бы провести примерно часовой семинар для экспертов в этой области. Ясно, что эта идея могла полностью оформиться в сознании Пуанкаре только после долгих часов размышлений, направленных на изучение всех возможных аспектов указанной проблемы. Да, в некотором смысле, идея, осенившая Пуанкаре, когда он садился в омнибус, была «единичной» идеей, которую можно было полностью осознать в один момент. Еще более замечательной представляется убежденность Пуанкаре в ее справедливости – убежденность, которая сделала последующую детальную проверку этой идеи почти что излишней.

Пожалуй, мне стоит попытаться соотнести этот случай с моим собственным опытом, который оказывается в каком-то смысле похожим. На самом деле, я не могу вспомнить ни одной ситуации, когда хорошая идея пришла бы мне в голову «с неба», как это произошло в случае с Пуанкаре (или во многих других известных примерах подлинного вдохновения). Что касается меня, то мне нужно, чтобы выполнялись определенные условия: мне необходимо думать о том вопросе, над которым я в данный момент работаю, пусть даже в «фоновом режиме» и не целенаправленно, но обязательно осознанно;⁸⁸ вполне возможно, что при этом я буду заниматься чем-то посторонним и успокаивающе-монотонным, например, бриться; вероятно, я заново возьмусь размышлять о проблеме, которая на некоторое время была отложена в сторону. И, конечно же, нужно посвятить не один час упорным сознательным раздумьям, после которых может потребоваться определенное время для того, чтобы вновь переключиться на решаемую проблему. И, тем не менее, ощущение, когда искомое решение возникает при таких условиях подобно «вспышке» – и при этом ты совершенно уверен в его правильности – мне достаточно хорошо знакомо.

Вероятно, стоит привести конкретный пример, который может оказаться небезынтересным и с другой точки зрения. Осенью 1964 года меня занимал вопрос о сингулярностях черных дыр. Оппенгеймер и Снайдер в 1939 году показали, что строго сферический коллапс массивной звезды может приводить к образованию центральной сингулярности пространства-времени, выходящей за пределы классической общей теории относительности (см. главу 7, с. 271, 274). Многие считали, что этого неприятного вывода можно было бы избежать, если бы удалось убрать (необоснованное) предположение о строгой сферической симметрии. В противном случае получается, что вся коллапсирующая материя стремится к единой центральной точке, где (как вполне закономерно было бы предположить, учитывая симметричность ситуации) возникает сингулярность бесконечной плотности (вещества). Вполне разумным кажется предположение о том, что без такой симметрии материя попадала бы в центральную область далеко не так согласованно, вследствие чего сингулярности бесконечной плотности могло бы и не получиться. Возможно даже, что вся материя в этом случае снова «раскрутилась» бы, демонстрируя поведение, совершенно отличное от идеализированной черной дыры Оппенгеймера и Снайдера.⁸⁹

Стимулом для моих собственных размышлений на эту тему послужил вновь возникший интерес к проблеме черных дыр, связанный со сравнительно недавно открытыми квазарами (в начале 1960-х годов). Физическая природа этих на удивление ярких (с учетом отделяющих их от Земли расстояний) астрономических объектов вызвала у некоторых специалистов предположение о том, что в центре каждого из них может находиться нечто наподобие черной дыры Оппенгеймера–Снайдера. С другой стороны, многие считали, что гипотеза Оппенгеймера–Снайдера о сферической симметрии может привести здесь к совершенно неверным представ-

⁸⁷ В.Э.: Ну, с этим ощущением истинности дело обстоит так. Параллельный процессор установил эту истинность, потому и было такое ощущение. Но в принципе он мог бы и ошибиться. Тогда последующая проверка установила бы ошибочность, было бы ощущение досады, всё это событие Пуанкаре постарался бы поскорее забыть и не писал бы о нем в своих воспоминаниях. В мемуары попадают только те случаи, когда «интуиция» оправдалась.

⁸⁸ В.Э.: Здесь есть еще один момент. Я думаю, что Пенроуз честнее многих других мемуаристов или более точно и полно видит действительную картину происходящего с ним, когда к нему приходят новые идеи, – поэтому его рассказ выглядит скромнее, чем у многих других. А многие другие люди склонны театрализовать произошедшее, раскрашивать свой рассказ и изображать всё так, чтобы неожиданное «озарение» выглядело как можно более впечатляющим и непонятым (тем самым вольно или невольно свидетельствуя о необычайной гениальности рассказчика или о его связях с «высшими силами»).

⁸⁹ Термин «черная дыра» вошел во всеобщее употребление много позже, около 1968 года (главным образом благодаря пророческим идеям американского физика Джона А. Уилера).

лениям. Однако мне пришло в голову (в контексте другой работы, которую я выполнял), что можно было бы сформулировать и доказать точную математическую теорему, указывающую на неизбежность возникновения сингулярностей в пространстве-времени (в рамках стандартной общей теории относительности) и тем самым подтверждающую наличие черных дыр – при условии достижения коллапсом определенной «точки необратимости». Я не знал, как математически можно было бы определить такую точку (не используя при этом условия сферической симметрии), не говоря уже о формулировке или доказательстве соответствующей теоремы. В то время приехал коллега из США Айвор Робинсон, с которым у меня, пока мы шли по улицам Лондона в направлении моего офиса, завязалась оживленная дискуссия на совершенно другую тему. Разговор на момент прекратился, когда мы переходили через дорогу, и был продолжен только на другой ее стороне. И в эти несколько мгновений – я знаю это совершенно точно! – у меня возникла некая идея, которая также быстро оказалась стерта из памяти возобновившейся беседой!

В тот же день, после того, как мой коллега ушел, я вернулся в свой офис. Я помню, что у меня было странное чувство душевного подъема, которое я сам себе никак не мог объяснить. Я начал перебирать все отложившиеся в памяти впечатления этого дня в попытке отыскать причину такого непонятного воодушевления. После исключения множества неподходящих возможностей, я в конце концов вспомнил ту мысль, которая возникла у меня при переходе улицы – и в которой заключалось решение задачи, постоянно крутившейся у меня в голове всё последнее время!

Несомненно, это был искомый критерий – который я впоследствии назвал «ловушечная поверхность» – и мне уже не понадобилось много времени, чтобы набросать план доказательства искомой теоремы (Пенроуз [1965]). И хотя прошло еще немало времени, прежде чем было сформулировано математически строгое доказательство – ключевое место в нем сохранила та первоначальная идея, которая пришла мне в голову при пересечении улицы. (Я иногда пытаюсь представить себе, что было бы, если бы в течении этого дня произошло другое, менее существенное событие, сравнимое, однако, по эмоциональному воздействию. Может быть, в этом случае, я бы вообще никогда не вспомнил про свою мимолетную идею!)⁹⁰

Эта история подводит меня к еще одному вопросу, связанному с вдохновением и озарением, и касающемся той более чем существенной роли, которую играют при формировании суждений эстетические критерии. Можно смело утверждать, что в искусстве эстетические критерии имеют первостепенное значение. Эстетика в искусстве – это самый сложный предмет, изучению которого философ посвящает иной раз всю свою жизнь. Можно было бы утверждать, что в математике, да и в науке вообще, такие критерии скорее второстепенны, а главным критерием всегда является истинность. Однако вряд ли возможно отделить одно от другого, когда речь заходит о вдохновении и озарении. У меня создается впечатление, что твердая уверенность в правильности идей, приходящих в голову в момент прозрения очень тесно (пусть не полностью коррелируя, но и заведомо не случайно) связана с эстетическими качествами. Красивая идея имеет гораздо больше шансов быть правильной, чем идея нескладная.⁹¹ По крайней мере, об этом свидетельствует мой собственный опыт, а также аналогичные замечания, сделанные другими (см. Чандрасекар [1987]). Вот что, например, пишет Адамар:

«...ясно, что никакое значительное открытие или изобретение не может быть сделано без сознательного стремления к нему. Но в случае с Пуанкаре мы видим и другое – чувство прекрасного, которое сыграло свою роль необходимого средства изысканий. И мы приходим к двойному заключению: что изобретение – это выбор; что критерием этого выбора служит чувство научной красоты».

⁹⁰ В.Э.: Вспомнил – вспомнил бы! Никуда она не делась бы. В худшем случае тот параллельный процессор позже еще раз повторил бы свою работу и пришел бы к тем же результатам.

⁹¹ В.Э.: Да, это так, но давайте разберемся, ПОЧЕМУ это так. В чем состоит «эстетичность» или «красота» идеи? А в том, что идея удовлетворяет некоторым критериям алгоритма оценки идей: она объясняет не одну, а сразу много вещей, не имеет ничего лишнего (удовлетворяет «лезвию Оккама»), хорошо вписывается в общую картину вместе с другими идеями. По таким и похожим критериям мозговой компьютер признает ее «красивой». А почему она при этом имеет больше шансов быть правильной? А потому, что сам мир прост и непротиворечив – поэтому и ясные идеи его описывают лучше, чем запутанные.

Более того, Дирак [1982], например, непоколебим в убеждении, что именно его тонкое чувство прекрасного позволило ему предугадать вид уравнения электрона («уравнение Дирака», упоминаемое на с. 235), в то время как поиски остальных не увенчались успехом.

Я нисколько не сомневаюсь в том, что для меня значение эстетических критериев для мышления трудно переоценить – как в случае ощущения «уверенности» при спонтанном возникновении идей в минуты «вдохновения»; так и в отношении более «прозаических» решений, которые постоянно приходится находить, продвигаясь к желанной цели. Я писал об этом еще в связи с открытием непериодических «плиточных» наборов замощений, показанных на рис. 10.3 и 4.11. Бесспорно, именно эстетичность первого набора – не только внешний вид, но также и его интригующие математические свойства – позволили мне интуитивно (возможно, в виде «вспышки», но только лишь с 60 %-ной вероятностью!) понять, что этот узор мог быть создан по определенным правилам состыковки (то есть как мозаика-головоломка). Скоро я собираюсь подробнее рассказать об этих плиточных структурах (см. Пенроуз [1974]).

На мой взгляд очевидно, что эстетические критерии важны не только при формировании спонтанных суждений, являющихся результатом озарения, но и гораздо чаще – в каждом суждении, которое появляется в ходе математической (или, говоря в целом, научной) работы. Строгое доказательство – это обычно последний шаг! Перед этим приходится строить множество предположений, и на этом этапе решения, подсказанные эстетическим восприятием, играют исключительно важную роль – конечно, с учетом логически непротиворечивых выводов и известных фактов.

Именно эти суждения я принимаю в качестве критерия сознательного мышления. Я полагаю, что даже при внезапной вспышке озарения, которая, вероятно, является конечным «продуктом» работы бессознательного, арбитром является сознание, и идея будет быстро отвергнута и забыта, если, по мнению сознания, она «не звучит». (Забавно, что я все-таки забыл о своей «ловушечной поверхности» – но не на том уровне, который я имею в виду. Идея достаточно прочно засела в сознании, чтобы надолго сохранить напоминание о себе.) «Эстетический» запрет, о котором идет речь, мог бы, как я полагаю, вообще закрыть доступ неприглядным идеям к тем уровням сознания, где они могли бы осознанно восприниматься сколь-нибудь длительное время.

Какова моя точка зрения на участие бессознательного в рождении «вдохновенной мысли»? Признаюсь, что эти вопросы далеко не так ясны для меня, как хотелось бы. Это та область, в которой бессознательное, по-видимому, и в самом деле играет крайне важную роль, и я должен согласиться с тем, что бессознательные процессы там весьма существенны. Также приходится признать, что вряд ли бессознательное подбрасывает нам идеи случайным образом. Должен существовать мощнейший механизм отбора, который позволял «тревожить» сознание только тем идеям, у которых «есть шанс». Я готов предположить, что критерии отбора – по большей части носящие своеобразный «эстетический» характер – в значительной степени утверждаются уже с учетом «пожеланий сознания»⁹² (подобно ощущению нескладности, возникающему при виде математических идей, которые несовместимы с уже установленными общими принципами).

В связи с этим необходимо затронуть вопрос о том, что представляет собой подлинная оригинальность. Мне кажется, что тут действуют два фактора, а именно: процессы «предложения» и «отбора»⁹³. Из них «предложение» кажется мне по большей части процессом бессознательным, тогда как «отбор» – наоборот. Без эффективного процесса «предложения» новые идеи не возникали бы совсем. Но сама по себе эта процедура мало полезна. Нужен эффективный механизм оценки этих идей, который позволил бы выжить только тем из них, которые представляются достаточно разумными. Во сне, например, необычные идеи возникают легко и в большом количестве – но лишь в очень редких случаях они проходят критический контроль бодрствующего сознания. (Что касается меня, то у меня во сне никогда не возникали плодотворные научные

⁹² В.Э.: Здесь видно, как всё трудно и нескладно получается, когда рассуждаешь в этих категориях «сознательное», «бессознательное»... Да отбросить эти понятия давно надо! Есть мозговые процессоры (в которых работают мозговые программы по определенным алгоритмам). Вот, они и осуществляют как генерацию идей, так и их отбор по разным критериям – что «эстетическим», что «логическим».

⁹³ В.Э.: Это совершенно верно! Именно таков фундамент мозговых алгоритмов. Есть генерация новых «идей» (путем случайного комбинирования элементов или путем изменения какого-нибудь элемента в старой конструкции); и есть отбор «идей» (по всевозможным критериям). А что из этого «сознательно» и что «бессознательно» – это зависит только от того, что попадает в поле зрения Хроникера (и, значит, записывается в память и «осознается»), а что не попадает (и, значит, «не осознается»).

идеи, в то время как другим – например, химику Кекуле при открытии им структуры бензола – кажется, повезло больше.) По моему мнению, именно сознательный процесс «отбора» (или построения суждений) является центральным в содержании понятия оригинальности, а вовсе не бессознательный процесс «предложения»⁹⁴; но я прекрасно понимаю, что многие могут придерживаться противоположной точки зрения.

Прежде чем оставить эту тему в таком неудовлетворительном состоянии, как она есть, я должен упомянуть другую поразительную черту, присущую рожденным в состоянии вдохновения идеям, а именно – их масштабность. История Пуанкаре, рассказанная выше, являет собой поразительный пример проявления этого свойства, поскольку идея, мимолетно возникшая в его голове, должна была охватывать весьма обширную область математической мысли. Возможно, более наглядным для читателя-нематематика (хотя и столь же непостижимым) является способ, которым (иные) художники могут представить себе весь замысел своего творения целиком. Подобный удивительный случай очень живо описан Моцартом (см. Адамар [1945], с. 16):

«Когда я чувствую себя хорошо и нахожусь в добром расположении духа; или когда я предпринимаю поездку или отправляюсь на прогулку после сытной трапезы; или ночью во время бессонницы – мне в голову приходит сколько угодно самых разных идей. Откуда и как они приходят? Я не знаю и ничего не могу с этим поделать.⁹⁵ Те, которые мне приятны, я удерживаю в голове и часто напеваю без слов; так, по крайней мере, мне говорили. Когда у меня возникает тема, сразу же приходит следующая мелодия, соединяясь с первой согласно требованиям композиции в целом: контрапункт, партия каждого инструмента – и, наконец, все музыкальные фрагменты складываются в завершённое произведение. Тогда моя душа горит вдохновением. Произведение растёт; я постоянно дополняю его, прорабатываю всё более мелкие детали, пока в один прекрасный момент композиция не оказывается полностью сформирована у меня в голове, хотя она может быть и довольно длинной. Тогда мой ум охватывает её единым взглядом, как красивую картину или прекрасную девушку. Это не последовательный процесс, при котором различные части произведения прорабатываются до мелочей и стыкуются друг с другом (так, как это будет сделано в дальнейшем) – нет, я слышу его целиком, как это позволяет мое воображение».

Мне кажется, что это хорошо согласуется с моей схемой «предложения–отбора». «Предложение» представляется здесь бессознательным («я ничего не могу с этим поделать»), хотя и, несомненно, в высокой степени избирательным, в то время как «отбор» выполняет функцию сознательного судьи вкуса («те, которые мне приятны, я удерживаю...»). Масштабность идеи, рожденной в минуты вдохновения, особенно отчетливо проглядывает в высказывании Моцарта («*это не последовательный процесс... нет, я слышу его (произведение) целиком*»)⁹⁶ и

⁹⁴ В.Э.: Нет, всё-таки оригинальность зависит больше от генератора, чем от отбора. Именно сильные генераторы, непрерывно выдающие в большом количестве всевозможные идеи, определяют незаурядную личность. Впрочем, нужно уточнить, что мы понимаем под «оригинальностью». Если под этим словом понимается «оригинальность» панка, выстроившего себе на полубритой голове петушиный гребешок из волос, то такая «оригинальность», конечно, сильного генератора идей не требует, а определяется исключительно слабостью критериев отбора.

⁹⁵ В.Э.: Вот он – сильный генератор!

⁹⁶ В.Э.: Ну, это требует уточнения. Моцарт только что рассказывал, как у него появлялись отдельные мелодии, как он их напевал, как постоянно вносил дополнения и изменения... В этом смысле всё это – последовательный процесс. Но в то же время (или с некоторого момента) Моцарт композицию «охватывает единым взглядом» всю целиком. Разумеется, иначе и быть не может. Так писатель (во всяком случае хороший) видит целиком всю композицию будущего романа; так программист (во всяком случае хороший) видит целиком всю архитектуру будущей системы программ... А с точки зрения мозговых программ это означает следующее. Всякое построение композиции (музыкальной, беллетристической, программистской или любой другой) есть процесс работы мозговых программ и одновременно процесс самопрограммирования. Для этих строящих композицию программ она представляет собой выходные, результирующие данные, но в то же время она – будущая программа для мозга. По этой программе, например, Моцарт мог проиграть свою композицию перед Зальцбургским архиепископом или Венским императором; по аналогичным программам писатель сочиняет непосредственно тексты отдельных глав, а программист – отдельные блоки своей системы. Эта конструкция (композиция-программа) представляет собой древовидную структуру: в ней выделены крупные блоки, которые далее распадаются на более мелкие; те – на еще более мелкие и т.д. (Такова архитектура самопрограммирования вообще – без такой древовидной структуры самопрограммирование просто невозможно, поэтому такая организация универсальна для всех видов творчества). Вот это дерево своей композиции Моцарт и охватывал единым взглядом «как красивую картину или прекрасную девушку».

Пуанкаре («Я не проверил эту идею. У меня просто не было времени...»). Более того, я готов настаивать, что нашему сознательному мышлению в целом подобная масштабность присуща изначально.⁹⁷ К этому вопросу я еще вернусь.

§10.6. Невербальность мысли

Одно из главных утверждений, которое Адамар делает в своей работе о творческом мышлении – это убедительное опровержение популярного сегодня тезиса, который гласит, что вербализация необходима для формирования мысли.⁹⁸ Вряд ли здесь можно привести возражение более убедительное, чем то, которое содержится в письме Альберта Эйнштейна Адамару:

«Слова или язык, как в устной, так и в письменной форме, по-видимому, не играют никакой роли в механизме моего мышления. Психические сущности, которые, по-видимому, и являются составляющими элементами мысли – это определенные знаки и более или менее отчетливые образы, которые могут “произвольно” воспроизводиться и комбинироваться по собственному желанию... В моем случае, упомянутые элементы носят визуальный и моторный характер. Общепринятые слова или другие знаки мне приходится подбирать только на второй стадии, когда упомянутые ассоциативные связи приобретают отчетливые очертания и могут быть воспроизведены по моей воле».

Еще здесь стоит процитировать видного генетика Фрэнсиса Гальтона:

«Для меня серьезную трудность представляет письмо, а еще большую – словесное изъяснение, так как размышления в словесной форме даются мне далеко не так легко, как в любой другой. Часто случается, что проделав большую работу и получив результаты, которые мне абсолютно ясны и вполне меня удовлетворяют, при попытке выразить их словами я сталкиваюсь с необходимостью переводить себя в совершенно иную интеллектуальную плоскость. Мне приходится перекладывать свои мысли на язык, который не слишком-то хорошо им соответствует. Поэтому я вынужден тратить уйму времени в поисках подходящих слов и фраз, и часто осознаю, что, выступая без подготовки, бываю не понят не из-за неясности содержания высказывания, а только лишь из-за неуклюжести своих вербальных конструкций. Это один из небольших, но досадных моих недостатков».

Нечто сходное пишет и сам Адамар:

«Я утверждаю, что слова полностью отсутствуют в моей голове, когда я действительно предаюсь раздумьям, и я нахожу случай Гальтона полностью идентичным моему личному опыту, поскольку и у меня самого даже после прочтения или выслушивания вопроса все слова исчезают в тот самый момент, когда я начинаю их обдумывать; и я полностью согласен с Шопенгауэром, когда он пишет: “Мысли умирают в момент, когда воплощаются в слова”».

Я цитирую эти примеры, потому что они очень хорошо согласуются с моим собственным способом мышления. Почти всё мое математическое мышление визуализируется или протекает на уровне не-вербальных понятий, хотя мысли очень часто сопровождаются пустыми и почти бесполезными словесными комментариями, такими как «вот это идет с этим, а это – с этим». (Иногда я могу употреблять слова для выражения простых логических выводов.) Трудности, которые испытывали упомянутые ученые при переводе своих мыслей на язык слов, я часто испытывал и сам. Причиной тому в большинстве случаев служило просто-напросто отсутствие адекватных терминов, способных выразить требуемые понятия. Действительно, я часто веду расчеты, используя специально разработанные диаграммы, которые представляют собой сокра-

⁹⁷ В.Э.: Да, разумеется – это то универсальное дерево самопрограммирования.

⁹⁸ В.Э.: Мне кажется, что этот тезис отнюдь не современный, а представляет собой реликт 19-го века или еще более древних времен. Во всяком случае, я отчетливо помню, как, еще будучи школьником, читал его в старых книгах, удивлялся его очевидной нелепости и сочинял его опровержения. (Помню даже, где именно это было: в бабушкиной комнате, возле ее швейной машинки, которую я использовал как письменный столик). Еще больше меня удивляло, что потом в Университете, на лекциях по философии, мне опять пытались вдолбить в голову этот тезис. Но для меня всегда было очевидно, что мышление может происходить БЕЗ всякой вербализации и, более того, что бессловесная «форма мышления» является основной.

ценную запись определенных типов алгебраических выражений (см. Пенроуз и Риндлер [1984]). Необходимость перевода таких диаграмм в слова – это очень трудоемкий процесс, и я это делаю только в случае крайней необходимости, когда нужно подробно объяснить что-то другим. И еще одно наблюдение: я случайно заметил, что если сосредотачиваю всё свое внимание на математике и некоторое время занимаюсь только ей, а потом кто-то внезапно обращается ко мне, то в течение нескольких следующих секунд я почти не способен говорить.

Не могу сказать, что я никогда не думаю в словесной форме – просто я нахожу слова почти бесполезными для математического мышления. Другие виды рассуждений, возможно, такие, как философские, являются, вероятно, гораздо более подходящими для вербального выражения. Может быть, поэтому так много философов считают язык неотъемлемым средством интеллектуальной деятельности и сознательного мышления! Нет сомнения, что каждый человек думает по-своему – это подтверждает и мой собственный опыт, и мнения других математиков. Наиболее полярными стилями математического мышления являются, как кажется, аналитический/геометрический. Интересно, что Адамар считал себя аналитиком, хотя использовал скорее визуальные, чем вербальные образы в своем математическом мышлении. Что касается меня, то я в значительной степени тяготею к геометрическим методам. Если же говорить обо всех математиках, то разброс здесь окажется весьма широк.

Но коль скоро мы согласились с тем, что значительная часть сознательного мышления, на самом деле, может иметь невербальный характер – а с моей точки зрения к другому выводу приведенные выше соображения привести не могут – тогда, наверное, читателю будет нетрудно поверить также и в то, что подобное мышление может иметь неалгоритмическую составляющую!⁹⁹

Напомню, что в главе 9 (с. 310) я упоминал о часто встречающейся точке зрения, согласно которой только одно полушарие мозга – то, где находится центр речи (левое у большинства людей) – способно также и на сознательное мышление.

После ознакомления с вышеизложенным читателю должно быть ясно, почему я считаю эту точку зрения совершенно неприемлемой. Я не знаю, используют ли, как правило, математики одно полушарие чаще, чем другое; но нет сомнения в том, что для истинного математического мышления необходим высокий уровень сознания. В то время как аналитическое мышление, по всей видимости, сосредоточено в левой половине мозга, геометрическое мышление, напротив, часто приписывают правой половине; так что вполне разумным является предположение о том, что значительная часть сознательных математических рассуждений проводится все-таки в правом полушарии!

§10.7. Сознание у животных?

Прежде чем закончить рассуждения о важности вербализации применительно к сознанию, я должен еще рассмотреть один вопрос, который вкратце уже затрагивался ранее, а именно – могут ли живые существа, отличные от нас, обладать сознанием? Мне кажется, что люди иногда используют неспособность животных говорить как аргумент, отрицающий саму возможность наличия у них достаточно развитого сознания и, как следствие, позволяющий априори отказывать им в самых элементарных «правах». Читатель может легко догадаться, что для меня подобные рассуждения являются неубедительными, поскольку для многих сложных разновидностей сознательного мышления (например, для математического) вербализация и вовсе не требуется. А некоторые по той же причине – т.е. из-за отсутствия речевых способностей – считают, например, что правая сторона мозга обладает сознанием «не более», чем шимпанзе (см. Леду [1985], с. 197–216).

Существуют значительные разногласия относительно способности горилл и шимпанзе выражать свои мысли при помощи языка знаков (а не обычной человеческой речи, которую они не могут воспроизводить из-за особенностей строения их голосовых связок; см. статьи Колина

⁹⁹ В.Э.: Ну уж нет! Это совершенно различные вещи. Мышление не является «вербальным» именно потому, что оно представляет собой работу программ – и программы (в общем случае) работают со структурами данных, а не со словами. (Лишь в специальных случаях, когда входными или выходными данными являются тексты, эти программы работают «вербально»). А «неалгоритмическая природа» означала бы, что работают уже не программы – а что тогда? (Пенроуз же не предлагает ничего взамен программам. Квантовая когерентность? Но ведь это только общие слова, абсолютно неспособные заменить собой всё то, что о мозговых программах рассказывает Веданская теория).

Блэйкмора и Сюзан Гринфилд (Блэйкмор, Гринфилд [1987])). Хотя полемика еще продолжается, один факт уже не вызывает сомнений: эти человекообразные обезьяны могут общаться таким образом, по крайней мере, на некотором элементарном уровне. По моему глубокому убеждению, отказываться признать в этом общении «вербализацию» – это прямое проявление высокомерия со стороны тех, кто придерживается такой точки зрения. Видимо, закрывая обезьянам доступ в «клуб способных к вербализации», надеются автоматически исключить их и из «клуба обладающих сознанием»!

Оставляя пока в стороне вопрос о речи, обратимся к убедительным свидетельствам, которые указывают на способность шимпанзе к подлинному «вдохновению». Конрад Лоренц описывает шимпанзе в комнате, где к потолку был подвешен банан, до которого обезьяна не могла достать, а в одном из углов был поставлен ящик:

«Задача не давала ему покоя, и он возвращался к ней вновь и вновь. Затем внезапно – по другому и не скажешь – его прежде унылая физиономия “озарилась”. Взгляд шимпанзе перемещался с банана на пустое пространство под ним, оттуда на ящик, потом снова на место под бананом, и оттуда на банан. В следующий момент он издал крик радости и кувыркнулся в сторону ящика, явно пребывая в превосходнейшем настроении. Совершенно уверенный в успехе, он толкнул ящик под банан. Могу поспорить, что никто из видевших его в тот момент не усомнился бы в способности человекообразных обезьян к таким прозрениям, испытав которые, впору воскликнуть “Эврика!”».

Обратите внимание, что точно так же, как в случае с Пуанкаре, когда тот садился в омнибус, шимпанзе был «совершенно уверен в успехе» еще до того, как он проверил свою идею.¹⁰⁰ И если я прав, утверждая, что подобные суждения требуют участия сознания, то перед нами оказывается неопровержимое свидетельство того, что животные действительно могут обладать сознанием.

Глядя на дельфинов (и китов), мы невольно задаемся одним интригующим вопросом. Как нетрудно заметить, головной мозг дельфинов имеет такие же (или даже бóльшие) размеры, как и наш собственный; а кроме того, дельфины могут посылать друг другу чрезвычайно сложные звуковые сигналы. Вполне возможно, что такой большой мозг нужен для каких-то иных целей, которые не сводятся к «интеллектуальной» деятельности в человеческом или окологуманитарном понимании. Более того: не имея рук, приспособленных для хватания, они не могут создать «цивилизацию», которую мы были бы способны оценить. И хотя они по той же самой причине не могут писать книг, они вполне способны время от времени превращаться в философов и размышлять о смысле своей жизни! Что, если они иногда передают свое ощущение «самосознания» при помощи этих сложных звуковых сигналов, распространяющихся под водой? Я не встречал ни одного исследования, где бы изучалось, используют ли дельфины какую-то одну определенную сторону мозга для «вербализации» и общения друг с другом. В связи с проведенными на людях операциями по разделению мозга, которые загадочным образом влияли на целостность «я» человека, следует отметить еще одну особенность дельфинов: их полушария никогда не погружаются в сон¹⁰¹ одновременно – вместо этого каждая сторона мозга спит по

¹⁰⁰ В.Э.: Он составил мозговую программу своих действий, включающую использование ящика – третьего предмета по сравнению с ним самим и бананом. Говорить о том, какого качества мозговые программы способно составить и использовать то или иное живое существо – это лучше, чем перебирать слова «есть сознание», «нет сознания».

¹⁰¹ Мне кажется, что потребность животных во сне, во время которого они иногда видят сны (как это бывает часто заметно у собак), может служить свидетельством того, что они, вполне вероятно, наделены сознанием. Ибо разница между сном без сновидений и сном со сновидениями, по-видимому, во многом определяется как раз наличием сознания. В.Э.: Сновидения – это свидетельство наличия у субъекта генератора, называемого в Веданской теории «рандомгенератором» (базовая часть сомниатора). Наличие этого генератора обеспечивает активность системы. Крокодил, например, может часами лежать неподвижно, реагируя только на внешние раздражители, но ничего не предпринимая сам. (Сколько я не посещал зоопарк, я вообще ни разу не видел, чтобы крокодил двигался; с таким же успехом вместо него можно было бы поставить чучело). У крокодила рандомгенератора либо нет совсем, либо он крайне неразвит. (И, соответственно, крокодил снов не видит!). А собака активна, когда не спит. (Посмотрите на собак в парке: как они бегают и всем интересуются, ко всему подбегают, всё обнюхивают). Откуда в системе программ (в данном случае – собачьей) берется эта не вызванная внешними раздражителями активность? – От рандомгенератора (он имитирует события внешнего мира). Потому собаки и видят сны.

очереди. Согласитесь, хорошо было бы выяснить у них, как они «ощущают» целостность своего сознания!

§10.8. Соприкосновение с миром Платона

Я уже упоминал о том, что разные люди скорее всего мыслят по-разному – и даже у разных математиков мысли при решении математической задачи формируются не одинаково. Я вспоминаю, что, поступая на математический факультет университета, я ожидал, что мои будущие коллеги-математики должны думать примерно так же, как я. В школе мои одноклассники, казалось, думали совсем иначе, чем я, что меня несколько удручало. «Теперь, – думал я с восторгом, – я найду коллег, с которыми общаться мне будет гораздо легче! Некоторые будут мыслить более продуктивно, чем я, а некоторые – менее; но все они смогут настроиться на мою ментальную длину волны!» Как же я заблуждался! Думаю, что тогда я познакомился с гораздо большим числом различных способов мышления, чем за всё предыдущее время! Да, мой собственный образ мыслей был куда более геометрическим и далеко не столь аналитическим по сравнению с остальными – но у них было и множество других различий в способе мышления. У меня всегда вызывало затруднение понимание словесного описания формулы, в то время как у многих из моих коллег, казалось, с этим не возникало никаких трудностей.

Довольно часто случалось так, что, слушая своего коллегу, пытающегося объяснить мне какую-нибудь математическую выкладку, я практически совсем не улавливал логической связи между следующими друг за другом наборами слов. Однако, в моей голове постепенно формировалась догадка о содержании передаваемых мне идей – причем складывалась она в рамках моей собственной терминологии и, скорее всего, была мало связана с ментальными образами, которыми оперировал мой коллега, обращаясь к данной проблеме, – и тогда я отвечал. К моему удивлению, эти ответы чаще всего воспринимались как адекватные, и беседа продолжала развиваться в таком же ключе, причем к концу становилось ясно, что состоялся поистине позитивный обмен мнениями. Однако сами предложения, которые произносил каждый из нас в ходе беседы, чаще всего оставались не поняты! В последующие годы, будучи уже профессиональным математиком (или физиком-математиком), я пришел к выводу, что ситуация в целом практически не изменилась по сравнению с тем временем, когда я учился на младших курсах. Возможно, с увеличением моего математического багажа я стал несколько лучше разбираться, о чем говорят другие, пытаюсь донести до моего сознания определенную мысль; и, наверное, я научился адаптировать свой стиль изложения, каждый раз подстраиваясь под конкретного слушателя. Однако, в сущности, всё осталось по-прежнему.

Для меня часто является загадкой, как вообще возможно подобное общение, но теперь я всё же осмелюсь дать некоторое объяснение, которое, как мне кажется, могло бы иметь самое непосредственное отношение к уже затронутым ранее вопросам. Суть здесь заключается в том, что при общении математиков происходит не только обмен фактами. Чтобы состоялась передача ряда фактов от одного собеседника другому, первому из них необходимо излагать эти факты достаточно понятно, а второму – воспринять каждый из них в отдельности. Но в математике фактическое содержание играет второстепенную роль. Математические утверждения являются с необходимостью истинными (или же с необходимостью ложными!), и даже если первый математик своим утверждением только нащупывает искомую истину, то именно эту истину воспримет его собеседник (конечно, если исходное утверждение будет им правильно понято). Ментальные конструкции второго математика могут в деталях отличаться от тех образов, которые возникают у первого, равно как могут отличаться и их словесные описания – но соответствующая математическая идея в результате все-таки будет передана.¹⁰²

¹⁰² В.Э.: Это черта вообще всего – не только математического – общения людей посредством языка. Если оба разговаривающих видят одну и ту же картину, то им сравнительно легко одному закодировать, а другому декодировать словесное сообщение. Слушающий смотрит на картину и (сравнительно) легко идентифицирует те объекты и отношения, о которых говорится в сообщении, даже если они закодированы не совсем безупречно с точки зрения логики (двусмысленны, неоднозначны и т.п.). А если картина имеется только перед говорящим, а у слушающего ее нет (или она другая), то понимание становится практически невозможным. Таким образом, помимо словесного сообщения, при разговоре должна присутствовать еще и общая для обоих собеседников картина предмета разговора. И утверждение Пенроуза сейчас будет состоять в том, что у математиков такая общая картина имеется – и существует она в Платоновском мире.

Такой тип общения был бы совершенно невозможен, если бы не то обстоятельство, что интересные или глубокие математические истины растворены (с небольшой плотностью) в массе всех возможных математических истин. Если бы передаваемая истина заключала в себе, скажем, неинтересное утверждение наподобие $4897 \times 512 = 2\,507\,264$, то второму собеседнику, естественно, придется полностью понять первого, иначе это точное утверждение не сможет быть передано. Но при сообщении математически интересного утверждения часто удается понять его интуитивно, даже если для его описания использовались расплывчатые образы и понятия.

Это может показаться парадоксальным, поскольку математика – это предмет, где точность всегда ставится превыше всего. В самом деле, в письменных отчетах большое внимание уделяется точной формулировке и завершенности всех утверждений. Однако, чтобы передать математическую идею (обычно посредством словесного описания), такая точность иной раз является помехой, так что вначале может потребоваться менее четкая описательная форма. А как только будет понята самая суть идеи – тогда можно уже переходить и к деталям.

Как же получается, что математические идеи могут передаваться подобным образом? Лично мне представляется, что всякий раз, когда ум постигает математическую идею, он вступает в контакт с миром математических понятий Платона. (Вспомним, что, по Платону, математические идеи имеют собственное бытие и населяют некий идеальный мир, доступ в который осуществляется только благодаря работе интеллекта (см. с. 88, 134).) Когда человек «видит» математическую истину, его сознание пробивается в этот мир идей и устанавливает с ним кратковременный прямой контакт (т.е. осуществляет «доступ посредством интеллекта»). Я описал это «видение» в связи с теоремой Гёделя, хотя, вообще говоря, здесь заключена сущность математического понимания. Общение математиков становится возможным постольку, поскольку у каждого из них в этот момент есть прямой путь к истине, а сознание каждого способно при этом постигать математические истины непосредственно, путем «видения». (В самом деле, часто акт понимания сопровождается словами типа «О, я вижу!»¹⁰³.) Так как каждый математик может установить непосредственный контакт с миром идей Платона, то общение их друг с другом проходит значительно легче, чем это можно было бы ожидать. Ментальные образы, возникающие у каждого из них, когда осуществляется соприкосновение с миром Платона, могут быть существенно различными, но общение тем не менее возможно, поскольку каждый находится в прямом контакте с одним и тем же существующим вне нас миром Платона!¹⁰⁴

В соответствии с этой точкой зрения, наш ум всегда способен на подобный прямой контакт. Но за один раз можно продвинуться лишь на немного. Математическое открытие как раз и состоит в расширении области контакта. Поскольку математические истины являются с необходимостью истинами, никакой содержательной «информации» в общепринятом смысле этого слова исследователь не получает. Вся информация уже находилась там изначально.¹⁰⁵ Всё, что требовалось – это соединить разные части друг с другом и «увидеть» ответ! Это очень хорошо согласуется с представлениями самого Платона о том, что (скажем, математическое) открытие – это всего лишь одна из форм вспоминания! В самом деле, меня часто поражало сходство между двумя состояниями, когда ты мучительно стараешься вспомнить чье-то имя – и когда пытаешься найти адекватное математическое понятие. В обоих случаях искомое в некотором смысле уже присутствует в голове, хотя во втором случае «вспоминание» математической идеи связано с необычной формой вербализации.

¹⁰³ В английском языке фраза *Oh, I see!* («О, я вижу!») по смыслу эквивалентна возгласу «О, я понимаю!». – *Прим. ред.*

¹⁰⁴ В.Э.: Да – понимание возможно потому, что оба говорящие видят одну и ту же картину из «платоновского мира». Но следует только отдавать себе отчет в том, что из себя представляет этот «платоновский мир». А это – «мир» потенциальных продуктов мозговых программ. Иными словами, если мы хотим рассуждать в терминах более точных, чем «соприкосновение с миром Платона» и т.п., то описание ситуации будет выглядеть так. У каждого из говорящих в мозге имеется свой экземпляр программы, построенной по одному алгоритму; каждый из них проводит анализ этой программы (или, что то же самое, этого алгоритма), и они приходят к одинаковым выводам: «видят» одни и те же потенциальные продукты этого алгоритма. Это и есть их «одновременное соприкосновение с миром Платона».

¹⁰⁵ В.Э.: Нет – это неверно. Субъект исследует мозговую программу в принципе так же, как он исследует далекую звезду, – и получает информацию об исследуемом объекте. А когда он изобретает новый алгоритм (для новой программы), тогда он создает объект для нового исследования. (Всё очень просто).

Чтобы такие идеи были полезны для объяснения принципов математического общения, нужно представить себе, что интересные и глубокие математические идеи отличаются способностью к более «основательному» существованию, чем неинтересные или тривиальные.¹⁰⁶ Эти соображения пригодятся нам при рассмотрении ряда умозрительных заключений, приведенных в следующем разделе.

§10.9. Взгляд на физическую реальность

Любой подход к вопросу о возникновении сознания в царстве физической реальности неявно подразумевает необходимость определения природы самой физической реальности.

Концепция «сильного» ИИ, например, заключается в том, что «разум» возникает через воплощение достаточно сложного алгоритма, по мере того, как этот алгоритм реализуется различными объектами физического мира. При этом, сущность этих объектов, согласно данной теории, значения не имеет. Нервные сигналы, электрический ток, идущий по проводам, винтики, приводные ремни или водопроводные трубы – всё это одинаково подходит в качестве «аппаратной части». Алгоритм рассматривается как нечто самодостаточное. Однако, для предоставления алгоритму возможности «существовать» вне зависимости от любой физической реализации совершенно необходимо разделять воззрения Платона на природу математики. Сторонникам «сильного» ИИ было бы нелегко согласиться с альтернативной точкой зрения о том, что «математические понятия существуют только лишь в умах», поскольку при этом образуется замкнутый круг, где для возникновения умов требуется наличие алгоритмов, а для изначального существования алгоритмов – наличие умов!¹⁰⁷ Они могли бы попытаться придерживаться иного мнения, согласно которому алгоритмы могут существовать как знаки на листе бумаги, или как магнитные силовые линии в кусках железа, или как смещения зарядов в памяти компьютера. Но такое упорядочение материала само по себе не есть алгоритм. Чтобы стать алгоритмом, оно должно иметь интерпретацию, т.е. должна существовать возможность декодирования этого порядка,¹⁰⁸ а это будет зависеть от «языка», на котором написан алгоритм. Снова оказывается, что нужен заранее существующий разум, чтобы «понимать» этот язык, и мы возвращаемся к исходной точке. Предположив затем, что алгоритмы населяют мир Платона, и именно там обитает разум (согласно теории «сильного» ИИ), мы оказываемся перед вопросом отношения между физическим миром и миром Платона. Что, на мой взгляд, является в теории «сильного» ИИ аналогом проблемы «ум–тело»!

Я же придерживаюсь иной точки зрения, поскольку считаю, что (сознательный) ум существенно неалгоритмичен. Но меня несколько смущает то, что между взглядами сторонников «сильного» ИИ и моими собственными существует большое число точек соприкосновения. Я уже указывал, что считаю сознание тесно связанным со способностью воспринимать несомненные истины, и тем самым осуществлять прямой контакт с миром математических понятий Платона. Это неалгоритмическая процедура – и отнюдь не алгоритмы должны населять тот мир, который так важен для нас – и вновь проблема «ум–тело», если следовать этой точке зрения, оказывается тесно связанной с вопросом об отношении мира Платона к «реальному» миру существующих физических объектов.

В главах [5](#) и [6](#) мы видели, насколько хорошо реальный физический мир согласуется с некоторыми исключительно точными математическими теориями (ПРЕВОСХОДНЫЕ теории, см. с. [129](#)). И эта поразительная точность неоднократно подчеркивалась многими исследователями (см., в частности, Вигнер [1960]). Мне трудно поверить – хотя многие считают это

¹⁰⁶ В.Э.: В таком предположении нет необходимости.

¹⁰⁷ В.Э.: Ну, этот «замкнутый круг» существует только в представлениях Пенроуза.

¹⁰⁸ В.Э.: Уточним: программой называются определенные изменения в материальной системе, которые определяют ход какого-то (материального) процесса. И никакая «интерпретация» здесь не нужна. Обыкновенный полный детерминизм: есть состояние системы, и согласно этому состоянию произойдет физический процесс как результат причинно-следственных отношений. Другая материальная система будет содержать другую программу и т.д. Но между разными программами может быть нечто общее (существовать изоморфизм). Это общее (если программы построены по одному принципу) называется алгоритмом. И опять не надо никакой «интерпретации» и не требуется никакой «интеллект». Сперва есть материальные системы, определяющие материальные процессы, потом есть общее между некоторыми системами; это общее называется «алгоритмом», а смотрит ли кто-нибудь на эти системы и на это «общее», или не смотрит – Природе безразлично.

неоспоримым – в справедливость утверждения о том, что ПРЕВОСХОДНЫЕ теории могли возникнуть просто в результате случайного естественного отбора идей, при котором «выживают» только лучшие. В это трудно поверить потому, что уж слишком они хороши для того, чтобы оказаться среди идей, возникших случайным образом.¹⁰⁹ На самом деле должна быть какая-то фундаментальная взаимосвязь между математикой и физикой, т.е. между миром Платона и физическим миром.¹¹⁰

Говоря о «мире Платона», мы приписываем ему некоторый вид реальности, которая определенным образом сравнима с реальностью физического мира.¹¹¹ С другой стороны, сама реальность физического мира кажется уже менее очевидной, чем она представлялась до появления теорий относительности и квантовой механики (относящихся к ПРЕВОСХОДНЫМ теориям) (см. с. [129](#), [130](#) и, в особенности, [232](#)). Сама точность этих теорий обеспечивает почти математический абстрактный уровень существованию нашей физической реальности. Не является ли это своего рода парадоксом? Как может конкретная реальность превратиться в абстрактную, да еще и математическую? Возможно, это оборотная сторона вопроса о том, как абстрактные математические понятия могут становиться почти ощутимо реальными в мире Платона. Возможно, в каком-то смысле, эти два мира, на самом деле – один и тот же мир? (См. Вигнер [1960], Пенроуз [1979a], Барроу [1988], а также Эткинс [1987].)

Хотя я с большой симпатией отношусь к идее такого отождествления двух миров, вопрос этим далеко не исчерпывается. Как я уже упоминал в главе [3](#), и выше в этой главе, некоторые математические истины в мире Платона кажутся «более реальными» («более глубокими», «более интересными», «более многообещающими?»), чем остальные. Такими должны быть все те истины, которые наиболее тесно связаны с явлениями физической реальности.¹¹² (Примером здесь может служить система комплексных чисел (см. главу [3](#)), которая является основной составляющей квантовой механики, ибо амплитуды вероятности выражаются через комплексные числа.) Если принимать в расчет возможность такого отождествления, то становится более понятным, как «разум» мог бы играть роль таинственного связующего звена между физическим миром и математическим миром Платона. Вспомним также (см. главу [4](#)), что есть много областей математического мира – более того, наиболее глубоких и интересных его областей – которым присущ неалгоритмический характер. Поэтому было бы разумным, основываясь на той точке зрения, которую я здесь излагаю, предположить, что неалгоритмические процессы должны играть в физическом мире весьма существенную роль.¹¹³ И я склоняюсь к тому, что эта роль тесно связана с самим понятием «разума».

§10.10. Детерминизм и жесткий детерминизм

До сих пор было мало сказано о вопросе «свободы воли», который обычно считается неотъемлемым при рассмотрении активной составляющей проблемы «ум–тело». Вместо этого я уделил основное внимание предположению о наличии существенно неалгоритмической

¹⁰⁹ В.Э.: Двойной отбор: до рождения – дарвинский; после рождения – осуществленный самим индивидуумом. И даже еще и тройной: отбор идей разных индивидов на протяжении истории цивилизации.

¹¹⁰ В.Э.: Такая взаимосвязь существует. Во-первых, вся математика начинается с соответствия между материальными множествами с одной стороны и программами, обрабатывающими информацию об этих множествах. Потом математика уходит в море «вторичных алгоритмов» (работающих с обозначениями чисел, вычислительных), но соответствие (изоморфизм) между материальными множествами физического мира с одной стороны и вычислительными алгоритмами математики с другой – продолжает существовать, сохраняется.

¹¹¹ В.Э.: С точки зрения мозгового компьютера оба «мира» одинаково реальны: и в том, и в другом случае компьютер непосредственно работает с номиналиями объектов этих «миров», существующими в компьютере (в виде структур данных).

¹¹² В.Э.: Сами по себе «истины платоновского мира» (т.е. потенциальные продукты алгоритмов) все одинаковы по степени своей «реальности». Действительно, некоторые из них оказываются изоморфными физическому миру, другие не находят таких соответствий (или пока не находят), но это зависит от устройства физического мира, а не от платоновского мира. Комплексные числа отображают ротацию, и их широкое применение в квантовой механике означает только то, что в этой области ротация имеет большое значение.

¹¹³ В.Э.: Ну, здесь неточности пенроузовских представлений и выражений досуммировались уже до такой степени, что всё теперь пошло окончательно «не в ту степь»...

составляющей в той роли, которую играет осознанное действие. Обычно тема свободы воли обсуждается в связи с детерминизмом в физике. Вспомним, что в большинстве существующих ПРЕВОСХОДНЫХ теорий типа¹¹⁴ существует явно выраженный детерминизм: если известно состояние системы в определенный момент времени,¹¹⁵ то оно полностью определяется в любой более поздний (или ранний) момент из уравнений теории. Таким образом, по-видимому, для «свободы воли» не остается места, поскольку будущее поведение системы кажется полностью обусловленным физическими законами. Даже U-часть квантовой механики имеет такой же полностью детерминистский характер. Однако R-часть, связанная с «квантовым скачком», не является детерминистской, внося элемент случайности в эволюцию системы во времени. Был момент, когда исследователи старались найти именно здесь свободу воли, полагая, что действие сознания может непосредственно влиять на «скачок» отдельной квантовой системы. Но если R-часть действительно случайна, то это тоже нам не слишком поможет, если мы хотим конструктивное применение нашей свободе воли.

Моя собственная точка зрения (правда, не очень четко сформулированная в этом случае) заключается в том, что должен быть применен некий новый подход (ПКТГ; см. главу 8), который работал бы на границе между квантовой и классической физикой, интерполируя между U и R (каждая из которых теперь рассматривается как аппроксимация); и этот подход должен содержать существенно неалгоритмический элемент. А это подразумевает, что будущее не будет вычислимым на основе настоящего, даже если оно им и определяется. Я пытался по возможности наиболее ясно определить смысловые различия терминов «вычислимость» и «детерминизм» в главе 5. Мне кажется, что ПКТГ может быть детерминистской, но невычислимой теорией.¹¹⁶ (Вспомним невычислимую «игрушечную модель», которую я описал в главе 5, с. 144.)

Многие при этом считают, что даже классический (или U-квантовый) детерминизм не является детерминизмом в полном смысле этого слова, поскольку исходные условия в принципе не могут быть известны с такой точностью, которая действительно позволила бы просчитать будущее. Иногда совсем небольшие изменения исходных условий могут привести к очень значительным различиям в конечном результате. Именно так возникает «хаос» в (классической) детерминистской системе – явление, приводящее, например, к неопределенностям в прогнозе погоды. Однако очень трудно поверить, что этот вид классической неопределенности может позволить нам сохранять (иллюзорную?) веру в существование свободы воли. Будущее поведение всё равно будет детерминированным в каждый момент времени, начиная с Большого взрыва, даже если мы окажемся не в состоянии его вычислить (см. с. 147).

То же самое возражение может быть выдвинуто и против моей идеи о том, что невычислимость связана скорее с особенностями законов динамики – которые в этом случае считаются исходно неалгоритмическими – чем с нехваткой информации о начальных условиях. Невычислимое будущее, согласно этой точке зрения, всё равно будет полностью обусловлено прошлым – вплоть до момента Большого взрыва. На самом деле я не настолько привержен догмам, чтобы настаивать на том, что методы ПКТГ должны быть по сути детерминистскими, но невычислимыми. Я полагаю, что искомая теория должна иметь более тонкий характер, вследствие чего подобное грубое описание будет к ней просто неприменимо. Единственное, на чем я настаиваю – так это на необходимости присутствия в ней существенно неалгоритмических элементов.

Завершая этот раздел, я хотел бы упомянуть еще об одном представлении о природе детерминизма, причем из числа весьма радикальных. Я называю его жестким детерминизмом¹¹⁷ (Пенроуз [19876]). Согласно этой теории, не просто будущее предопределяется прошлым – вся история вселенной оказывается раз и навсегда определенной в соответствии с некоторой точной математической схемой. Такая концепция могла бы привлечь тех, кто склонен каким-нибудь образом отождествлять мир Платона с физическим миром – ибо застывший навеки мир Платона с его однозначной определенностью не оставляет в этом случае вселенной никаких «альтер-

¹¹⁴ В.Э.: Что за «ПРЕВОСХОДНЫЕ теории типа»? Видимо, надо: «теории типа ПРЕВОСХОДНЫЕ». (В оригинале по-английски: *Recall that in most of our SUPERB theories there is a clear-cut determinism...*).

¹¹⁵ В случае специальной или общей теории относительности под «временами» следует понимать «одновременные пространства» или «пространственно-подобные поверхности» (с. 167, 177).

¹¹⁶ Стоит отметить, что существует по меньшей мере один подход к квантовой теории гравитации, который, по-видимому, включает элемент невычислимости (Герох, Хартли [1986]).

¹¹⁷ В.Э.: В оригинале: *strong determinism*.

нативных возможностей!»! (Я иногда задаю себе вопрос: мог ли Эйнштейн иметь в виду подобную схему, когда он писал: «*Что меня собственно интересует, это следующее: мог ли Бог сотворить мир другим, оставляет ли какую-то свободу требованием логической простоты*» (письмо Эрнсту Штрауссу; см. Кузнецов [1980], с. 363).)

С одним из вариантов жесткого детерминизма мы сталкиваемся в квантово-механической концепции «множественности миров» (см. главу 6, с. 240). В соответствии с ней, вышеупомянутая точная математическая схема определяла бы не единственную отдельную историю вселенной, а всю совокупность из мириадов мириадов «возможных» историй вселенной. Несмотря на малопривлекательный характер (по крайней мере для меня) такой схемы и множество проблем и несоответствий, которые она в себе несет, мы всё же не имеем права сбрасывать ее со счетов как потенциально возможную.

Мне кажется, что, если принять жесткий детерминизм, но без множественности миров, то математическая схема, которая управляет структурой вселенной, вероятно, должна быть неалгоритмической.¹¹⁸ Ибо в противном случае можно было бы, в принципе, просчитать свои будущие действия, а затем вдруг «решить» сделать нечто совершенно другое – получаем очевидное противоречие между «свободой воли» и жестким детерминизмом нашей теории.¹¹⁹ Вводя не-вычислимость, можно избежать этого противоречия, хотя должен признаться, что я не вполне уверен в адекватности решения такого типа и предвижу в будущем гораздо более тонкое описание «реально действующих» (неалгоритмических) правил, которым подчиняется наш мир!

§10.11. Антропный принцип

Насколько важно сознание для вселенной в целом? Могла бы вообще вселенная существовать без населяющих ее сознательных существ? Намеренно ли законы физики задумывались такими, чтобы обеспечить существование сознательной жизни? Является ли наше место во вселенной – как в пространстве, так и во времени – каким-то особенным? Вот вопросы, которые ставит перед нами научная гипотеза, известная как «антропный принцип».

Этот принцип может принимать различные формы (см. Барроу, Типлер [1986]). Наиболее приемлемая из них затрагивает только вопрос пространственно-временного расположения сознательной (или «разумной») жизни во вселенной. Это – «мягкий» антропный принцип. Он может использоваться для объяснения того, почему условия оказались именно такими, что в современную эпоху стала возможна жизнь на Земле. Ответ прост: ведь если бы не было подходящих условий, то мы должны были бы находиться где-то в другом месте, и в иное (благоприятное) время. Этот принцип был очень эффективно использован Брэндоном Картером и Робертом Диком, чтобы разрешить вопрос, остававшийся для физиков загадкой на протяжении многих лет. Вопрос касается существования определенных числовых соотношений между физическими константами (гравитационная постоянная, масса протона, возраст вселенной и т.д.). Интригующим в этих закономерностях был тот факт, что некоторые из них сложились только в настоящую эпоху истории Земли, тем самым указывая на некую – быть может, случайную – исключительность нашего положения во времени (с точностью до нескольких миллионов лет, разумеется!). Впоследствии Картер и Дик нашли этому следующее объяснение: предположили, что эта эпоха совпадает с временем жизни так называемых звезд главной последовательности, одной из которых является наше Солнце. В любую другую эпоху, согласно их утверждениям, нигде и близко не было бы разумной жизни, чтобы измерить те самые физические константы – так что совпадение должно было иметь место просто потому, что разумная жизнь возникла бы только в то время, когда есть подобное совпадение!

«Жесткий» антропоцентрический принцип идет еще дальше. В этом случае мы рассматриваем наше уникальное положение в пространстве-времени не только этой вселенной, но и

¹¹⁸ Однако в случае пространственно-бесконечной вселенной есть затруднения, поскольку тогда возникает (как и в случае множественных миров) бесконечное количество копий наблюдателя и его непосредственного окружения! Будущее поведение каждой копии может несколько отличаться, и никто не в состоянии сказать наверняка, какой из приближительных копий самого себя, смоделированных математическим путем, он мог бы на самом деле «быть»!

¹¹⁹ **В.Э.:** Вообще у Пенроуза такие кувыркания мысли! КАК «просчитать свои будущие действия»?! (Мир действительно жестко детерминирован, природа мышления действительно алгоритмична, но КАК при этом можно «просчитать свои будущие действия» и «затем вдруг решить сделать нечто совершенно другое»? КАК это Пенроуз себе представляет?!)

бесконечного множества других возможных вселенных. Исходя из этого, мы можем сделать ряд предположений относительно того, почему физические константы – или, в более широком смысле, законы физики – как будто специально были спроектированы так, чтобы разумная жизнь вообще могла существовать. Допустим, что константы (или законы) отличались бы от наблюдаемых – тогда мы просто не могли бы появиться в этой вселенной и должны были бы оказаться в некоторой другой! По моему мнению, достоинства «жесткого» антропного принципа несколько сомнительны, и теоретики прибегают к нему всякий раз, когда не находят адекватной теории для объяснения наблюдаемых фактов (в первую очередь, это касается теорий физики частиц, где за отсутствием разумного объяснения массам частиц, предполагается, что если бы их значения отличались от настоящих, то жизнь, вероятнее всего, была бы вообще невозможна, и т.д.). С другой стороны, «мягкий» антропный принцип представляется мне безупречным при условии, что им пользуются крайне осмотрительно.

Взяв на вооружение антропный принцип – либо в «жесткой», либо в «мягкой» формах, – можно попытаться показать, что зарождение сознания было неизбежно благодаря тому факту, что сознательные существа, то есть «мы», должны были присутствовать, чтобы наблюдать этот мир – так что нет необходимости предполагать, как это делал я, будто способность осознавать дает какое-то преимущество в процессе естественного отбора! По моему мнению, этот довод технически корректен, и доказательство, опирающееся на «мягкий» антропный принцип (по крайней мере), могло бы указать на причину, по которой сознание существует в нашем мире независимо от благоволения к нему естественного отбора. С другой стороны, я не могу поверить в то, что антропный принцип и есть та настоящая (или единственная) причина, которая обеспечивает эволюцию сознания. Существует достаточно много самых разнообразных свидетельств, способных утвердить меня во мнении, что сознание на самом деле является сильным преимуществом в процессе естественного отбора, и что, следовательно, совсем необязательно апеллировать к антропному принципу.

§10.12. «Плиточные» структуры и квазикристаллы

Теперь я отойду от масштабных обсуждений последних нескольких разделов и сосредоточусь на обсуждении вопросов, которые, хотя и являются до некоторой степени дискуссионными, всё же гораздо более научны и «осязаемы». Возможно, вначале эти рассуждения покажутся отклонением от темы, однако, их важность для нас станет очевидной уже в следующем разделе.

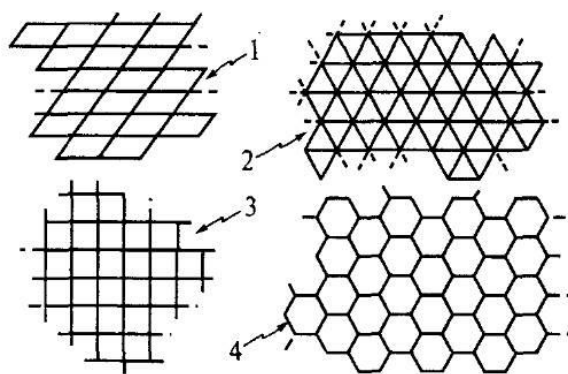


Рис. 10.2. Периодические плиточные замощения с разными типами симметрии (где в каждом случае центр симметрии совпадает с центром плитки): 1) с осью второго порядка; 2) с осью третьего порядка; 3) с осью четвертого порядка; 4) с осью шестого порядка

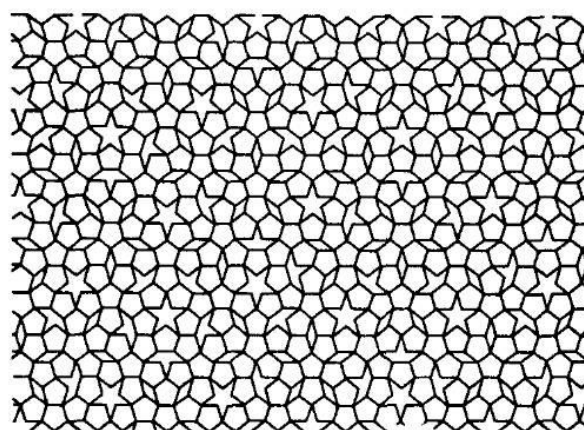


Рис. 10.3. Квазипериодическая плиточная структура (следует заметить, что она образована посредством объединения образцов с рис. 4.11) с кристаллографически «невозможной» квазисимметрией с осью пятого порядка

Вспомним примеры «плиточных» замощений, изображенные на рис. 4.12 (с. 118). Эти образцы интересны потому, что они «почти» нарушают общепринятую математическую теорему

о кристаллических решетках, которая утверждает, что для кристаллических решеток возможны только симметрии с осью второго, третьего, четвертого и шестого порядков. Под кристаллической решеткой я подразумеваю дискретную систему точек, которая обладает трансляционной симметрией. Это означает, что можно определенным образом перемещать решетку без вращения так, чтобы она переходила сама в себя (иными словами, в результате такого сдвига она не изменяется) – а, значит, у такой решетки будет существовать параллелограмм периодов (см. рис. 4.8). Примеры «плиточных» замощений с этими разрешенными теорией типами вращательной симметрии показаны на рис. 10.2. С другой стороны, покрытия на рис. 4.12, как и изображенные на рис. 10.3 (которые, в сущности, представляют собой замощения, образованные соединением решеток, изображенных на рис. 4.11, с. 118), почти имеют трансляционную симметрию и почти обладают симметрией вращения с осью пятого порядка, где «почти» означает, что можно найти такие движения решеток (соответственно, трансляционные и вращательные), при которых решетка переходит сама в себя с любой наперед заданной точностью (кроме 100 %-ной). Не стоит углубляться, что точно означает это утверждение. Единственное, что нам здесь важно – это если в нашем распоряжении есть вещество, в котором все атомы расположены в узлах кристаллической решетки с подобной структурой, то оно будет выглядеть как кристалл, обладая при этом запрещенной симметрией с осью пятого порядка!



Рис. 10.4. Квазикристалл (сплав Al–Li–Cu) с, казалось бы, невозможной кристаллической симметрией. (Из Гэйл [1987].)

В декабре 1984 года израильский физик Дэни Шехтман, работавший вместе с коллегами в Национальном бюро стандартов в США, в Вашингтоне, объявил об открытии фазы алюминиево-марганцевого сплава, который был похож на кристаллоподобное вещество – теперь называемое квазикристаллом – с осью пятого порядка. На самом деле, у этого квазикристаллического вещества наблюдалась симметрия не только на плоскости, но и в трех измерениях – так что в итоге получалась запрещенная икосаэдральная симметрия (Шехтман и др. [1984]). (Икосаэдральный трехмерный аналог моей плоской «плиточной» структуры с осью пятого порядка был открыт Робертом Амманом в 1975 году; см. Гарднер [1989].) Сплавы Шехтмана образовывали только крошечные микроскопические квазикристаллы, достигавшие примерно 10^{-3} мм в поперечном сечении, но позднее были найдены другие квазикристаллические вещества, в частности – алюминиево-литиево-медный сплав, у которого икосаэдрально симметричные

образования могут вырастать до размеров порядка миллиметра, т.е. становятся вполне различимы невооруженным глазом (рис. 10.4).

Замечательным свойством этих квазикристаллических «плиточных» структур является то, что процесс их составления имеет существенно нелокальный характер. Иными словами: при построении подобного покрытия необходимо время от времени проверять состояние кристаллической решетки на расстоянии многих и многих «атомов» от места сборки, чтобы избежать серьезных ошибок при соединении составных частей. (Это чем-то напоминает то почти «сознательное нащупывание», которое я связывал с естественным отбором.) Наличие такого свойства является одной из причин серьезных разногласий, возникающих сегодня в связи с вопросом о квазикристаллических структурах и их выращивании, так что было бы неразумно пытаться делать окончательные выводы до тех пор, пока не будут разрешены некоторые основополагающие проблемы. Тем не менее, никто не запрещает нам выдвигать предположения; поэтому я рискну высказать здесь свою собственную точку зрения. Во-первых, я полагаю, что некоторые из этих квазикристаллических веществ действительно имеют сложное внутреннее строение, и что расположение атомов в их структуре довольно точно повторяет строение тех плиточных структур, которыми я занимался. Во-вторых, отсюда я делаю (всего лишь гипотетическое) заключение о том, что их образование не может совершаться за счет последовательного добавления атомов, как это происходит в рамках классической картины роста кристаллов – но с необходимостью должна опираться на не-локальные и непременно квантово-механические принципы построения.¹²⁰

Механизм такого роста я представляю себе следующим образом: вместо присоединения отдельных атомов к постоянно движущейся линии роста (в случае классического роста кристаллов), происходит квантовая линейная суперпозиция большого числа различных альтернативных сочетаний присоединяющихся атомов (путем квантовой операции U). В самом деле, согласно квантовой механике, всё именно так и должно (почти всегда) происходить! В каждый момент времени существует не одна возможная структура, но множество альтернативных расположений атомов в сложной линейной суперпозиции. Некоторые из этих структур вырастают в гораздо более крупные образования, так что в определенный момент различия между гравитационными полями альтернативных структур превзойдут «одногравитонный предел» (или его более подходящий в данном случае аналог; см. главу 8, с. 298). На этой стадии одна из них – или, скорее, это снова будет суперпозиция, но уже в несколько урезанном виде – выделится в качестве истинной структуры (квантовая операция R). В этот процесс роста, сопровождающийся последовательным отказом от наименее «значимых» на каждом этапе альтернатив, будут вовлекаться всё большее и большее количество исходного вещества, пока наконец не сформируется достаточно крупный квазикристалл.

Обычно, когда природа ищет кристаллическую конфигурацию, из всех возможных она выбирает ту, которая характеризуется наименьшим уровнем энергии (считая фоновую температуру нулевой). Нечто аналогичное, по-моему, должно происходить и в процессе роста кристаллов, с той только разницей, что такое состояние с наименьшей энергией гораздо труднее обнаружить, а «наилучшее» расположение атомов не может быть получено просто последовательным добавлением каждый раз одного атома в надежде на то, что индивидуальному атому для этого будет достаточно решить свою собственную задачу минимизации. Вместо этого нам предстоит решать эту же задачу для всей совокупности атомов, а значит, потребуется их совместное усилие. Такое взаимодействие, в моем представлении, должно иметь квантово-механическую природу; и достигаться оно должно при помощи множества различных комбинаций атомных структур, которые одновременно «проверяются» в линейной суперпозиции (примерно так же, как это, вероятно, происходит в квантовом компьютере, упомянутом в конце главы 9). Условием для выбора подходящего (хотя, возможно, не лучшего) решения задачи минимизации должно быть выполнение «одногравитонного критерия» (или приемлемой в данном конкретном случае альтернативы), что, предположительно, имеет место только при соответствующих физических условиях.

¹²⁰ Даже в ходе реального роста некоторых кристаллов могут возникать подобные проблемы – например, там, где исходная клетка кристаллической решетки содержит несколько сот атомов (случай так называемых «фаз Фрэнка–Каспера»). С другой стороны, следует упомянуть, что теоретический «почти локальный» (хотя всё же нелокальный) процесс роста квазикристаллов с осью пятого порядка был предложен Онодой, Стайнхардтом, Ди Винченцо и Соколаром [1988].

§10.13. Возможная связь с пластичностью мозга

Позвольте мне продолжить эти рассуждения и спросить, могут ли они иметь непосредственное отношение к процессам, происходящим в мозге. Насколько я могу судить, наиболее правдоподобно будет выглядеть связь с пластичностью мозга. Давайте вспомним, что мозг, на самом деле, похож скорее не на обычный компьютер, а на компьютер, который постоянно изменяется. За эти изменения, по-видимому, отвечают процессы активации или деактивации синапсов, которые, в свою очередь, происходят вследствие роста или сокращения дендритных шипиков (см. главу 9, с. 319; рис. 9.15). Здесь я наберусь смелости и выскажу предположение о том, что этот рост или сокращение теоретически могут подчиняться принципам наподобие тех, которые управляют квазикристаллическим ростом. При этом «тестируется» не одно из возможных альтернативных расположений, а сложная линейная суперпозиция большого числа таких расположений. До тех пор, пока эффект каждой из этих альтернатив не превышает «одногравитонного уровня» (или некоторого его аналога), они будут существовать одновременно (более того: должны сосуществовать, коль скоро справедливы законы U-квантовой механики). Пока не превзойден одногравитонный уровень, могут начать одновременно выполняться суперпозиции разных вычислений, что вполне соответствует принципам действия квантового компьютера. Однако, вряд ли такие суперпозиции смогут существовать достаточно долго, поскольку нервные сигналы создают электрические поля, которые должны вносить значительные возмущения в окружающую среду (хотя их миелиновые оболочки являются своего рода изоляторами). Давайте допустим, что такие суперпозиции расчетов все-таки способны существовать в течение определенного минимального времени, которое необходимо для получения какого-нибудь действительно важного результата, т.е. что вплоть до этого момента «одногравитонный уровень» (или что-то подобное) в системе не достигается. Успешное завершение такого расчета будет в нашем случае той самой «целью», которая представляет собой аналог более простой «цели» минимизации энергии при квазикристаллическом росте. Таким образом, достижение этой цели будет подобно успешному росту квазикристалла!

В этих рассуждениях, конечно, много неясного и спорного, но я верю, что они описывают принципиально возможную аналогию. Рост кристалла или квазикристалла существенно зависит от концентрации нужных атомов и ионов в окрестности точек роста. Точно также можно предположить, что процессы роста или сокращения семейств дендритных шипиков, в свою очередь, находятся в прямой зависимости от степени концентрации вокруг них различных нейромедиаторов (например, таких, чья концентрация зависит от испытываемых эмоций). Какие бы расположения атомов в конце концов ни были выделены в качестве реальной структуры получившегося квазикристалла – каждый раз этому должно предшествовать решение задачи минимизации энергии. Тогда я осмелюсь по аналогии предположить, что конкретная мысль, которая возникает на поверхности мозга, тоже возникает в результате решения некоторой задачи, только на сей раз не просто задачи минимизации энергии. Эта задача будет гораздо более сложной, требующей учета желаний и намерений, которые, в свою очередь, напрямую связаны с вычислительными свойствами и функциями мозга. Я полагаю, что сознательное мышление тесно связано с отсевом тех возможных альтернатив, которые прежде входили в линейную суперпозицию. Всё это имеет непосредственное отношение к неизвестным (пока!) физическим процессам, которые должны управлять пограничной областью между U и R, и которые, я уверен, будут описаны правильной теорией квантовой гравитации – ПКТГ, которую еще предстоит открыть!

Могло бы такое физическое действие быть по своей природе неалгоритмическим? Вспомним, что в общем случае задача о плиточных покрытиях, описанная в главе 4, не имеет алгоритмического решения. Можно предположить, что сходная задача в приложении к атомным структурам имеет такое же свойство «неалгоритмичности». Если эти задачи могут в принципе быть «решены» средствами, о которых я говорю, то тогда есть вероятность, что у рассматриваемого мной типа умственной деятельности действительно существует неалгоритмическая компонента. Однако для того, чтобы это было так, нам необходима определенная неалгоритмичность и в ПКТГ. Конечно, мы сейчас слишком вольно обращаемся с гипотезами – но всё же приведенные выше аргументы подсказывают мне, что здесь определенно должно быть нечто, имеющее неалгоритмический характер.

Как быстро происходят подобные изменения в мозговых связях? На этот счет у нейрофизиологов нет единого мнения, однако, коль скоро устойчивые отпечатки в памяти могут формироваться за доли секунды, разумно предположить, что указанные изменения происходят

примерно за то же время. Чтобы мои собственные идеи получили право на существование, требуется как раз примерно такая быстрота.

§10.14. Временные задержки в реакции сознания

Теперь я хочу рассказать о двух экспериментах (описанных в работе Харта [1982]), которые проводились на добровольцах и которые, как мне кажется, имеют прямое отношение к нашим рассуждениям. В ходе этих экспериментов изучалось характерное время, которое требуется сознанию для того, чтобы осуществить определенное действие и отреагировать на внешнее воздействие. Первый из них, таким образом, изучал активную деятельность сознания, а второй – пассивную. Связанные воедино, результаты этих экспериментов представляются еще более поразительными.



Рис. 10.5. Эксперимент Корнхубера. Решение согнуть палец принимается за начало отсчета, однако предшествующий сигнал (усредненный по многим опытам) свидетельствует о том, что сгибание пальца «предвиделось»

Первый эксперимент был проведен Корнхубером и его коллегами в Германии, в 1976 году (Дике и др. [1976]). Ряд испытуемых согласились на запись электрических сигналов, снятых с определенной точки поверхности головы (т.е. на электроэнцефалограмму, или ЭЭГ). Испытуемые должны были внезапно сгибать по своему усмотрению указательный палец. Идея заключалась в том, что на электроэнцефалограмме окажутся зафиксированы некие признаки мозговой активности, которая возникает в голове в момент принятия сознательного решения согнуть палец. Чтобы получить значимый сигнал с дорожек ЭЭГ, нужно было усреднить его по нескольким испытаниям, и результирующий сигнал при этом получался не очень «показательным». Но вот что оказалось примечательным, так это отмеченное на ленте постепенное нарастание электрического потенциала в течение целой секунды – а то и всех полутора – происходящее до того момента, как палец действительно сгибался. Это, по-видимому, означает, что сознательный процесс принятия решения занимает не менее секунды – и только затем следует его исполнение! Это очень сильно отличается по времени от куда более короткого промежутка времени реакции на внешнее раздражение, если способ реакции задан заранее (например, если испытуемый должен сгибать палец не «по собственному хотению», а исключительно в ответ на вспышку светового сигнала). В этом случае нормальной является задержка реакции длительностью около одной пятой секунды, что примерно в пять раз быстрее, чем «волевое действие», отраженное в экспериментальных данных Корнхубера (рис. 10.5)¹²¹.

¹²¹ В.Э.: Этот эксперимент я уже комментировал по тому виду, как он был Пенроузом описан в {PENRS4}. Здесь эксперимент уже выглядит несколько иначе и вообще у Пенроуза он в целом описан довольно путанно. Что, например, означают слова в подписи к Рис. 10.5: «Решение согнуть палец принимается за начало отсчета»? Это момент действительного сгибания пальца? Тогда он не совпадает с моментом принятия решения. Если нет, то как Корнхубер и далее Пенроуз знают, когда именно в мозге принималось решение о сгибании пальца? В добавок к комментарию {PENRS4} и используя введенные там обозначения, можно сказать следующее. Когда программа А (сгибания пальца) готова и ждет только сигнала для запуска (например, вспышки света), запуск и выполнение ее, согласно рассказу Пенроуза, происходит за 1/5 долю секунды. Программа В (запуска программы А по «свободной воле») работает значительно дольше. Однако – почему? Но подумаем, каким может быть ее алгоритм. Как правило, тот

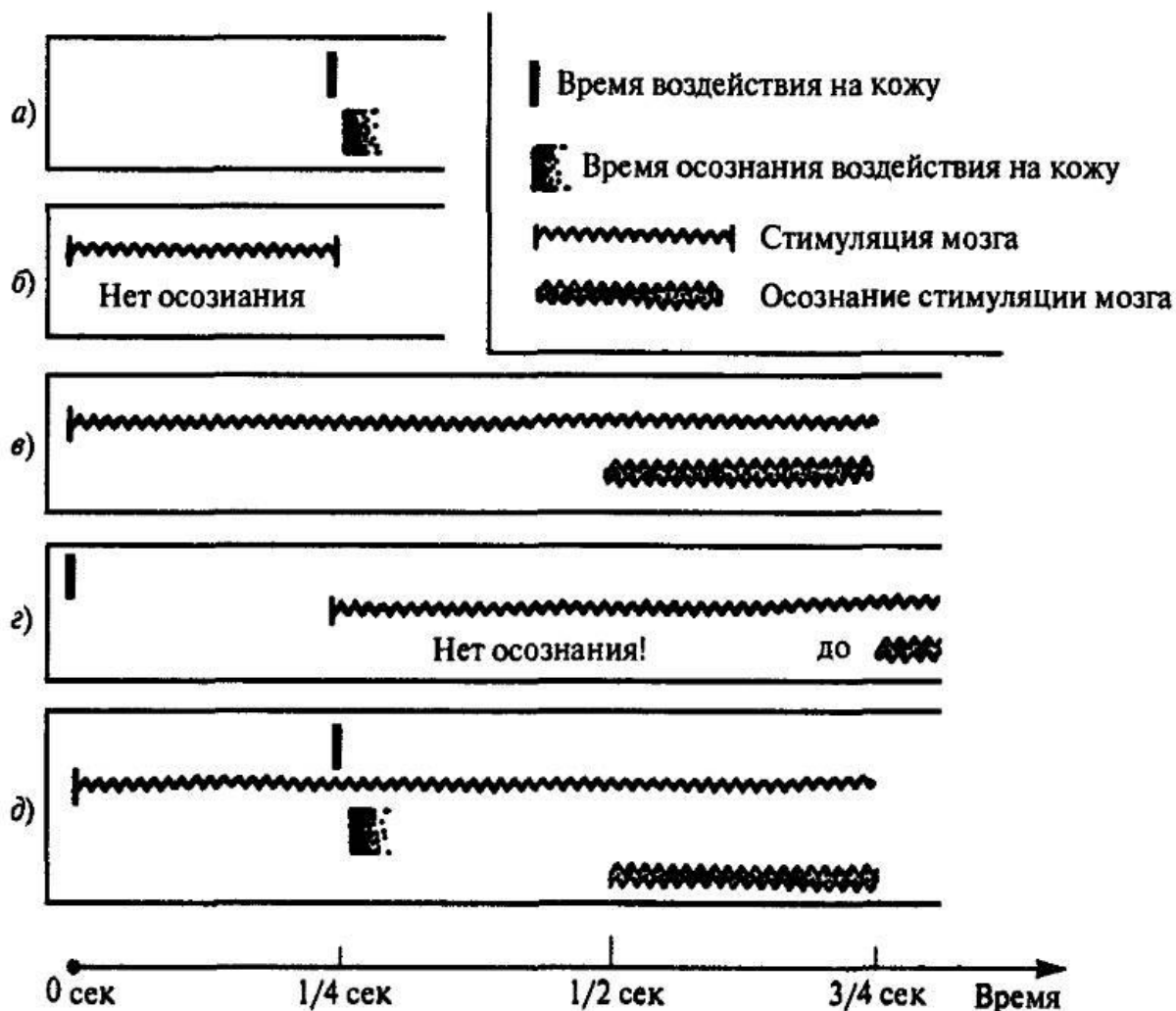


Рис. 10.6. Эксперимент Либета: а) воздействие на кожу, «как кажется», осознается практически без задержки; б) стимуляция коры, длящаяся меньше полсекунды, не осознается; в) стимуляция коры продолжительностью более, чем полсекунды, осознается примерно через полсекунды; г) такая стимуляция коры может приводить к «обратной маскировке» более раннего воздействия на кожу, показывая, что осознание этого воздействия, на самом деле, еще не имело места к моменту стимуляции коры; д) если стимуляция кожи произведена вскоре после такого воздействия на кору, то тогда реакция на стимуляцию кожи «сдвигается назад», хотя с реакцией на стимуляцию соматосенсорной коры этого не происходит

Во втором эксперименте Бенджамин Либет из Калифорнийского университета, в сотрудничестве с Бертрамом Фейнштейном из Нейрологического института в Сан-Франциско (Либет и др. [1979]) проводили опыты с добровольцами, которым по независимым причинам предстояла хирургическая операция на мозге и которые соглашались на имплантацию электродов в определенные точки соматосенсорной коры своего головного мозга. Эксперимент Либета показал, что между стимуляцией кожи этих пациентов и ее осознанием проходило примерно полсекунды, несмотря на то, что сам мозг должен был получить соответствующий сигнал примерно через одну сотую долю секунды; а заранее запрограммированный «рефлексивный» ответ на этот раздражитель (см. выше) мог быть выработан мозгом примерно через одну десятую

субъект, который ее составляет (т.е. испытуемый в эксперименте Корнхубера) не будет предусматривать в программе В немедленный запуск программы А (иначе где же тут «свобода воли»?). Значит, В должна сначала некоторое время поциклить, ничего не делая, а потом по какому-то признаку запустить А. Вот, В и циклит полторы секунды или даже больше, а потом ищет признак, по которому можно было бы, наконец, запустить А (как правило, таким признаком будет ее решение «я уже достаточно долго ждала!»). Как видите, работа программы В «свободной воли» довольно сложна; уж гораздо труднее, чем работа программы С, которой надо просто запустить программу А в ответ на вспышку света.

секунды (рис. 10.6).¹²² Более того: несмотря на такое «запоздалое» осознание стимулирующего воздействия, субъективное впечатление, возникавшее у пациентов, позволяло им утверждать, что не было вообще никакой задержки! (Некоторые эксперименты Либета предусматривали стимулирование зрительного бугра, см. с. 307.¹²³ Результат был тот же, что и при воздействии на сенсорную кору головного мозга.)

Напомним, что соматосенсорная кора – это область головного мозга, куда поступают сигналы от органов чувств. Так, электрическая стимуляция зоны соматосенсорной коры, соответствующей некоторому определенному участку поверхности кожи, воспринимается испытуемым в точности так, как если бы что-то действительно коснулось его кожи в этом месте.¹²⁴ Однако оказалось, что если эта электрическая стимуляция длится менее, чем примерно полсекунды, то испытуемый не получает никакого ощущения вообще.¹²⁵ В противоположность этому, прямая стимуляция точки на самой поверхности кожи может ощущаться даже в том случае, когда она мгновенна.¹²⁶

Теперь предположим, что сначала тронули кожу, а затем подвергли электрической стимуляции соответствующую точку в соматосенсорной коре. Что чувствует пациент? Если электростимуляция производится примерно через четверть секунды после касания кожи, тогда касание кожи не ощущается вообще!¹²⁷ Этот эффект получил название обратной маскировки. Каким-то образом стимулирование коры мозга препятствует осознанию обычного ощущения от касания кожи. Сознательное восприятие может быть предотвращено («замаскировано») более поздним событием, если это событие происходит не позднее, чем через полсекунды. Это говорит о том, что сознательное восприятие такого воздействия проявляется примерно через полсекунды после самого воздействия!¹²⁸

Однако, по всей видимости, испытуемые не осознавали столь долгой задержки своего восприятия.¹²⁹ Найти разумное объяснение этому удивительному открытию можно было бы, предположив, например, что «время» всех наших «восприятий» действительно отличается примерно на полсекунды от «реального времени» – как будто наши внутренние часы просто «неверны» и отстают на полсекунды или около того. Время восприятия некоторого события в этом случае должно всегда отстоять на полсекунды от того момента, когда указанное событие произошло. Это дало бы возможность представить последовательную, хотя и неудовлетворительно замедленную картину нашего чувственного восприятия.

Возможно, что-то подобное происходило во второй части эксперимента Либета, где он вначале стимулировал кору мозга, продолжая эту стимуляцию гораздо дольше, чем полсекунды – и касался кожи во время этой стимуляции, но ранее, чем через полсекунды после ее начала. И

¹²² В.Э.: Эту серию экспериментов трудно комментировать, потому что они недостаточно хорошо описаны. КАК, например, фиксировался факт, что пациент «осознал» событие (каким образом установили, что прошло именно полсекунды от стимуляции кожи до «осознания» и т.п.)? Вообще нормальный ход «осознания» при касании к коже состоит из таких основных этапов: 1) передача сигналов от кожи в кору головного мозга; 2) обработка этих сигналов в коре; 3) запись результатов обработки в память. Только когда завершен этап (3), можно с уверенностью говорить, что пациент «осознал» событие, так как он после этого будет способен об этом событии рассказывать, оценивать его и т.п. В экспериментах Либета в этот нормальный ход дела вмешивалась «стимуляция мозга», т.е. посторонние сигналы, в общем-то – сбивающие процесс с нормального русла.

¹²³ В.Э.: Эта страница относится к концу §9.1 выше в этом томе, но «зрительный бугор» там не упоминается.

¹²⁴ В.Э.: Но ниже Пенроуз скажет, что пациенты различали, когда стимулировался их мозг и когда было действительное прикосновение к коже. Значит, стимуляция воспринимается всё же не «в точности так, как если бы что-то действительно коснулось его кожи».

¹²⁵ В.Э.: Значит, примерно полсекунды мозгу нужно, чтобы переориентироваться с обработки нормальных сигналов от кожи на обработку этих необычных сигналов «стимуляции».

¹²⁶ В.Э.: Это показывает, что «стимуляция соматосенсорной коры» всё же для мозга не то же самое, что настоящие сигналы от кожи.

¹²⁷ В.Э.: Своей «стимуляцией» сбили нормальные сигналы от кожи и расстроили их обработку.

¹²⁸ В.Э.: Может именно этим путем и установили ту полсекунду, о которой я спрашивал выше? В таком случае требуется полсекунды, чтобы пройти все три этапа «осознания» и чтобы информация о событии записалась в память.

¹²⁹ В.Э.: Естественно – а как же они могут осознавать это? Это ж должна тогда была быть в мозговых программах специальная корректировка, учитывающая время отработки самих мозговых программ! Как (и зачем?) Естественный отбор мог такую корректировку встроить в своих творениях?

стимуляция коры, и касание кожи воспринимались отдельно, так что пациенту было ясно, какой именно стимул он воспринимал. Однако, когда его спрашивали, какой стимул он ощутил первым, он обычно отвечал, что это было касание кожи,¹³⁰ тогда как, на самом деле, стимуляция коры всегда предшествовало ему! Таким образом, испытуемый и вправду сдвигал свое восприятие прикосновения к коже назад во времени примерно на полсекунды (см. рис. 10.6). Однако это представляется не просто глобальной «ошибкой» внутреннего ощущения времени, но более тонкой структурной перестройкой временной шкалы восприятия событий. Поскольку в случае стимуляции коры (учитывая, что она в действительности воспринимается не позднее, чем через полсекунды после ее начала), такая задержка не наблюдается.¹³¹

Опираясь на данные первого из вышеописанных экспериментов, мы, по всей видимости, можем сделать вывод о том, что сознательному действию необходимо примерно около секунды или полутора секунд на то, чтобы быть приведенным в исполнение; а в соответствии со вторым экспериментом – что осознание внешнего события, по-видимому, не происходит раньше, чем через полсекунды после момента события. Представим себе, что происходит, когда человек реагирует на некоторое неожиданное внешнее событие. Предположим также, что ответ требует моментального сознательного действия. Если принять в расчет открытие Либета, то должно пройти полсекунды прежде, чем сознание «включится»; и после этого, как следует из опытов Корнхубера, потребуется еще секунда, а то и более, прежде чем человек «осознанно» отреагирует на это событие. Таким образом, весь процесс – от сенсорного восприятия до моторного отклика – занимает примерно две секунды! Очевидный вывод из этих двух экспериментов, если рассматривать их вместе, напрашивается сам собой: сознание вообще не может быть задействовано там, где ответная реакция на внешнее событие должна занимать не более пары секунд!

§10.15. Странная роль времени в сознательном восприятии

Можно ли доверять результатам этих экспериментов? Если это так, мы с необходимостью приходим к выводу, что мы действуем как «автоматы», когда, чтобы изменить реакцию, требуется менее одной или двух секунд. Становится несомненным, что сознание, по сравнению с другими механизмами нервной системы, работает довольно медленно. Я и сам замечал, как иной раз моя рука продолжала захлопывать дверцу машины еще несколько мгновений спустя после того, как я заметил, что в машине осталось что-то нужное, и как сознательный приказ остановить движение руки патологически не успевает за ним – так медленно всё это происходит. Но требует ли это и впрямь целую секунду, а то и две? Такой длительный промежуток времени кажется мне невероятным. Разумеется, мое сознательное восприятие забытой вещи в машине вместе с моим воображаемым «свободно-волевым» приказом остановить руку вполне могли случиться уже после обоих этих событий. Возможно, сознание – это просто наблюдатель, который воспринимает происходящее не иначе, как повторное исполнения всего спектакля. Аналогично, опираясь на результаты вышеописанных опытов, можно считать, что какая бы роль не отводилась сознанию, например, при отбивании теннисного мяча – не говоря уже об игре в пинг-понг – у него просто не хватило бы времени на ее исполнение! Несомненно, что у опытных игроков все наиболее важные приемы игры наиболее подробнейшим образом запрограммированы на уровне мозжечка. Но вот чтобы сознание не играло никакой роли в принятии решения относительно того, какой удар должен быть выполнен в конкретный момент – в это я могу поверить с большим трудом. Конечно, многое заложено в интуитивном угадывании следующего движения соперника, и наличии множества заранее просчитанных и приготовленных вариантов ответа на каждое из них – но такой сценарий, при котором сознание вообще не участвует в формировании ответной реакции, кажется мне неэффективным и маловероятным.¹³² Эти возражения были бы еще более уместны в случае обычного разговора. Здесь также собеседники могут частично догадываться, что скажет другой, но в ответах оппонента должно достаточно часто присутствовать что-то неожиданное, иначе беседа просто потеряла бы смысл! И вряд ли кто будет спорить, что в

¹³⁰ В.Э.: Ну понятно: мозг был настроен на обработку сигналов от кожи, поэтому не делал для них никакой предварительной подготовки, прошел обычный путь обработки и успел записать в память информацию о них первой; к обработке сигналов же «стимуляции» мозг готов не был, ему пришлось полсекунды переориентироваться на них, поэтому информацию о них в память записал позже.

¹³¹ В.Э.: Ошибочная интерпретация фактов.

¹³² В.Э.: Как путанно и бесперспективно всё получается, если рассуждать в категориях «сознания», и как всё просто и ясно, если представить себе ансамбль взаимодействующих мозговых программ!

обычном разговоре на то, чтобы ответить собеседнику, требуется куда меньше, чем две секунды времени!

Похоже, есть основания сомневаться, что в экспериментах Корнхубера сознанию «действительно» нужно полторы секунды для выполнения задуманного действия. Хотя усредненная по всем записям ЭЭГ задержка между возникновением намерения согнуть палец и непосредственным действием дает как раз такую величину, тем не менее может оказаться, что только в некоторых случаях намерение проявлялось столь рано – причем часто не приводило в действительности к сгибанию пальца; тогда как во многих других случаях сознание приводило палец в движение гораздо быстрее.¹³³ (На самом деле, более поздние эксперименты, см. Либет [1987, 1989], позволяют сделать иные, чем у Корнхубера, выводы. Однако загадки, связанные с временными аспектами сознания, так и остались нерешенными.)

Давайте представим себе на минуту, что результаты обоих экспериментов справедливы. Тогда с необходимостью следует признаться в том, что мы могли до сих пор идти по глубоко ошибочному пути, используя при изучении работы сознания обычные физические правила для времени! В самом деле, есть нечто весьма странное в том, как время входит в наше сознательное восприятие, и я думаю, что для интерпретации этого феномена в рамках наших традиционных представлений может понадобиться совсем иная концепция. Сознание – это, в конце концов, единственное известное нам явление, согласно которому время «течет»! Способ рассмотрения времени в современной физике не отличается по существу от способа рассмотрения пространства¹³⁴, так что, на самом деле, «время» в физических процессах не «течет» – вместо этого рассматривается статичное «пространство-время», где фиксируются события, происходящие в нашей вселенной¹³⁵! Однако, мы воспринимаем время текущим (см. главу 7). Я полагаю, что и здесь присутствует некая иллюзия, и что, на самом деле, время нашего восприятия не течет линейно в одном направлении (что бы это ни значило!). «Кажущуюся» временную упорядоченность воспринимаемых событий мы, по-моему, привносим в наши ощущения сами¹³⁶ для того, чтобы как-то согласовать их с единым для окружающего нас физического мира поступательным движением во времени.

Некоторые могли бы усмотреть в подобных замечаниях изрядную долю беспочвенного «философствования» – и их обвинения, конечно же, были бы справедливы. Как можно «ошибаться» относительно того, что ты действительно воспринимаешь? Ясно, что ощущения – это (по определению) то, что непосредственно осознается; поэтому они просто не могут быть «неправильными». Тем не менее, я думаю, что, на самом деле, мы все-таки «ошибаемся», когда воспринимаем время как движущееся вперед – несмотря на неадекватность доступных мне языковых средств для описание моего убеждения; и что существуют свидетельства, подтверждающие справедливость такой гипотезы (см. Черчланд [1984]).

Исключительно ярким примером (см. с. 342) является способность Моцарта «охватывать единым взглядом» всю музыкальную композицию, даже когда «она бывает довольно длинной». Исходя из описания самого Моцарта, можно предположить, что этот «взгляд» охватывал все существенные стороны произведения – и что, тем не менее, интервал времени (в обычном физическом смысле), необходимый для подобного сознательного восприятия композиции, оказывался заведомо короче того, который потребовался бы для ее исполнения.¹³⁷ Кто-то может

¹³³ В.Э.: Эти эксперименты фиксировали в основном работу вышеупомянутой программы В, а это программа главным образом – ожидания.

¹³⁴ Эта симметрия между временем и пространством становится еще более удивительной в случае двумерного пространства-времени. Уравнения двумерной физики пространства-времени оказываются существенно симметричны относительно взаимозамены координат пространства и времени – однако, в двумерной физике никто не стал бы требовать от пространства, чтобы оно «текло». Трудно поверить, что «реальное течение» времени в нашем восприятии окружающего мира обусловлено разве что асимметрией между числом измерений пространства (3) и измерений времени (1), характерной для нашего пространства-времени.

¹³⁵ В.Э.: Всё же физика тоже не может обойтись без чего-то, соответствующего «течению времени». Уравнения Эйнштейна и др. не показатель. Это просто математические конструкции, изоморфные реальности (но соответствующие ей только до некоторой степени).

¹³⁶ В.Э.: Субъективное, «человеческое» время – это порядок (последовательность) записи кадров в память.

¹³⁷ В.Э.: Пример с Моцартом в общем-то не имеет никакого отношения к восприятию времени. Моцарт «видел» (или «слышал») одновременно всё дерево своей мозговой программы (структуры данных),

считать, что всё воспринималось совсем по-другому, и Моцарт «видел» свое будущее произведение в форме пространственно-распределенных образов или, допустим, готовой музыкальной партитуры. Но и для внимательного прочтения партитуры таких размеров необходимо довольно много времени – и, к тому же, я сильно сомневаюсь в том, что исходное восприятие Моцартом своей композиции могло принимать указанную форму (иначе он бы наверняка об этом сказал!). Образное восприятие кажется более вероятным; однако, (как и в большинстве случаев визуализации в математике, с которыми я лично сталкивался) я сильно сомневаюсь, что в сознании Моцарта мог совершаться прямой перевод музыки на язык зрительных образов. Мне кажется, что интерпретировать «взгляд» Моцарта правильнее всего с чисто музыкальной точки зрения, с четким временным распределением, которое обычно возникает при прослушивании (или исполнении) музыкального произведения. Ведь музыка состоит из звуков, воспроизведение которых требует определенного времени – времени, которое, со слов самого Моцарта, «...*позволяет мое воображение*».

Послушайте четырехчастную фугу из последнего раздела *Искусства фуги* И.С. Баха. Знатоки Баха не могут не переживать стресс, когда музыка останавливается после десяти минут звучания, сразу же после вступления третьей темы. Кажется, что композиция каким-то образом всё еще существует «там, вовне» – просто сейчас она внезапно замерла. Бах покинул этот мир, не успев закончить свою работу и не оставив нам ни единого намека на то, как он намеревался продолжить ее. Однако, она начинается с такой уверенностью и бесспорным мастерством, что невозможно представить себе, чтобы у Баха в то время не было ясного представления о всех ключевых моментах своего будущего произведения. Нужно ли ему было мысленно исполнять композицию в обычном темпе, каждый раз «проигрывая» ее заново по мере возникновения новых идей и различных поправок? Я не могу себе представить, что это происходило таким образом. Как и Моцарт, он должен был представлять себе работу целиком, связывая в голове воедино как ее сложнейшую структуру, так и многочисленные замысловатые украшения – всё то, без чего не мыслимо создание фуг. При том, что и временные характеристики музыки важны никак не меньше. Ибо как музыка может оставаться музыкой, если она не исполняется «в реальном времени»?

Рождение замысла романа или истории можно было бы рассматривать как аналогичный (хотя, на первый взгляд, и менее непостижимый) процесс. Охватывая внутренним взором всю жизнь персонажа, необходимо продумывать различные события, которые автор, как кажется, просто не сможет вставить в сюжет, не проиграв предварительно в «реальном времени». Однако это далеко не всегда необходимо. Даже сохранившиеся в памяти впечатления от лично пережитых событий оказываются настолько «сжатыми», что их можно мысленно «пережить» вновь за доли секунды!

Видимо, существует определенное (и при том значительное) сходство между сочинением музыки и математическим мышлением.¹³⁸ Многие, вероятно, уверены, что математическое доказательство строится в виде цепочки последовательных утверждений, где каждый шаг вытекает из предыдущего. Но, на самом деле, замысел доказательства едва ли когда возникает подобным образом. Общее представление и лишь интуитивно понятное концептуальное содержание – вот что в действительности необходимо для построения математического доказательства; и это едва ли можно соотнести с тем временем, которое потребовалось бы в дальнейшем для его полного последовательного изложения.

Предположим далее, что мы допускаем отсутствие соответствия между внутренней шкалой времени нашего сознания – с одной стороны, и течением времени в окружающем нас физическом мире – с другой. Не рискуем ли мы при этом столкнуться с парадоксом? Предположим к тому же, что в природе наших сознательных действий заложено что-то неуловимо телеологическое, позволяющее будущим впечатлениям от действия в прошлом оказывать влияние на само это действие. Ясно, что это могло бы привести нас к противоречию, подобному парадоксальным следствиям из предположения о возможности распространения сигнала со скоростью, превышающей скорость света, которое мы рассматривали – и совершенно обоснованно отвергли – в конце главы 5 (см. с. [175](#)). Я считаю, что никакого парадокса здесь быть не должно – как это

кодирующее его музыкальную композицию (а не «пространственно-распределенные образы» или «готовую музыкальную партитуру»).

¹³⁸ В.Э.: Разумеется! Оба процесса представляют собой в первую очередь самопрограммирование (хотя конечный видимый результат – симфония или теорема – сами по себе не программы).

непосредственно следует из моих утверждений, касающихся самого понятия сознания и его возможностей. Если вы помните, я выдвигал предположение о том, что сознание, в сущности, есть способность «видеть» непреложную истину; и что оно может представлять собой своеобразный контакт с миром идеальных математических идей Платона. Напомню, что мир Платона сам по себе имеет вневременную природу. Восприятие истины Платона не несет подлинной информации – имея в виду технический аспект понятия «информации», связанный с возможностью ее передачи; так что, на самом деле, не будет никакого противоречия даже в том случае, если бы подобное сознательное восприятие распространялось обратно во времени!

Но даже если мы согласимся с тем, что сознание связано со временем таким причудливым образом – и что благодаря сознанию происходит своего рода контакт между нашим физическим миром и определенной вневременной сущностью – как тогда быть с физически обусловленным и упорядоченным во времени действием материального мозга? И снова мы, по-видимому, вынуждены отводить сознанию роль простого «зрителя» – в противном случае нам придется так или иначе подтасовывать физические законы, чтобы не нарушить естественное развитие событий. Однако я всё же отстаиваю активную роль сознания, которая дает ему преимущество в ходе естественного отбора. Ответ на эту дилемму, как мне кажется, может заключаться в том странном способе, как должна действовать ПКТГ, разрешая конфликт между двумя квантово-механическими процедурами U и R (см. с. [286](#), [297](#)).

Вспомним о проблемах со временем, которые возникали в результате наших попыток согласовать R-процедуру со (специальной) теорией относительности (главы 6, 8, с. [232](#), [301](#)). При описании этой процедуры в обычных пространственно-временных терминах она, кажется, вообще теряет всякий смысл. Рассмотрим квантовое состояние пары частиц. Как правило, такое состояние должно быть коррелированным (т.е. описываться не простым выражением $|\psi\rangle|\chi\rangle$, где каждый из сомножителей $|\psi\rangle$ и $|\chi\rangle$ описывает только одну частицу, но представляет собой сумму вида $|\psi\rangle|\chi\rangle + |\alpha\rangle|\beta\rangle + \dots + |\zeta\rangle|\sigma\rangle$). Тогда наблюдение за одной из частиц окажет на другую нелокальное воздействие, которое не может быть описано в обычных пространственно-временных терминах, согласующихся со специальной теорией относительности (ЭПР; эффект Эйнштейна–Подольского–Розена). Подобные нелокальные эффекты должны неявным образом присутствовать в предложенной мною «квазикристаллической» аналогии для роста и сокращения дендритов.

Под «наблюдением» я здесь понимаю усиление действия каждой наблюдаемой частицы до тех пор, пока не достигается некий уровень, соответствующий, например, «одногравитонному критерию» в рамках ПКТГ. В более «стандартной» терминологии «наблюдение» – это крайне нечетко определенное понятие; и, согласитесь, трудно себе представить, как можно начинать теоретические исследования в области квантово-механического описания работы мозга, если приходится считаться с необходимостью рассматривать мозг в качестве объекта, который постоянно «наблюдает сам себя»!

Моя собственная идея заключается в том, что концепция ПКТГ, напротив, должна дать нам объективную физическую теорию редукции вектора состояния (R-процедуры), которая никак не будет зависеть от нашего взгляда на сознание. У нас пока нет такой теории, но, по крайней мере, можно быть уверенным, что ее создатели не будут спотыкаться о фундаментальные вопросы, связанные с точным определением сознания!

Я полагаю, что именно после открытия теории ПКТГ у нас в конце концов появится возможность описания с ее помощью феномена сознания. Вообще говоря, я склонен считать, что априори предполагаемые свойства ПКТГ окажутся на самом деле еще менее удобными для их адекватного описания в обычных пространственно-временных терминах, чем упомянутые выше загадочные явления ЭПР в системе двух частиц. Если я прав, и сознание напрямую связано с будущей теорией ПКТГ, то лишь с большой натяжкой нам удастся применить к нему наши привычные пространственно-временные описания.

§10.16. Заключение: точка зрения ребенка

В этой книге я привел множество доводов, призванных показать несостоятельность точки зрения – как выясняется, одной из наиболее распространенных в современной философии – согласно которой наше мышление в основе своей идентично действию очень сложного компьютера. Когда в явном виде делается предположение о том, что простое выполнение алгоритма может привести к возникновению осознанного восприятия, то используется термино-

логия концепции «сильного ИИ» Серла. В другие термины (такие, как «функционализм») подчас вкладывают более широкий смысл.

Некоторые читатели, возможно, с самого начала считали «сторонников сильного ИИ» законченной деревенщиной¹³⁹! Разве не «очевидно», что обычные вычисления не могут вызвать удовольствие или причинить боль; что они не способны понимать поэзию, наслаждаться красотой вечернего неба или магией звуков; что они не могут надеяться, любить или отчаиваться; что у них не может возникнуть настоящей независимой цели существования? Однако наука, кажется, заставляет нас поверить в то, что все мы – просто ничтожные частички мира, полностью управляемого (пусть даже только вероятностно) очень точными математическими законами. Равно как и наш мозг, который, казалось бы, контролирует все наши действия, но, в свою очередь, точно так же подчиняется тем же самым законам. Возникает ощущение, что вся эта скоординированная физическая активность является, на самом деле, ничем иным, как выполнением некоторого всеобъемлющего (возможно, по своей природе вероятностного) вычислительного процесса – и, следовательно, наш мозг и наш разум нужно рассматривать исключительно в терминах такого вычисления. Может быть, когда степень сложности подобного алгоритма становится чрезвычайно высокой, он приобретает те поэтические или субъективные качества, которые мы привыкли ассоциировать с понятием «разум». Однако трудно избавиться от навязчивого ощущения, что в такой картине всегда будет чего-то не хватать.

В своих рассуждениях я пытался найти обоснование своей уверенности в том, что и вправду должно быть нечто важное и существенное, остающееся за рамками любой «алгоритмической» картины мира. Тем не менее, я по-прежнему связываю свои надежды на разгадку тайны разума с наукой в целом, и математикой в частности. Здесь возникает очевидная дилемма – однако, я старался показать, что из этой ситуации есть совершенно естественный выход. Свойство вычислимости – не то же самое, что математическая точность. Сколько тайны и красоты в точном математическом мире Платона – а ведь большая непознанная часть этого мира связана с понятиями, которые находятся за пределами той сравнительно небольшой его части, где располагаются алгоритмы и вычисления.

Сознание представляется мне таким важным явлением, что я просто не могу поверить в возможность его «случайного» возникновения в результате сколь угодно сложных вычислений. Ведь именно благодаря ему мы можем говорить о самом существовании вселенной. Некоторые считают, что вселенная, законы которой не допускают зарождение сознания, вообще не является вселенной. Я бы даже сказал, что все математические описания вселенной, которые до сих пор были сделаны, не должны удовлетворять этому критерию. Только сознание могло вызвать предполагаемую «теоретическую» вселенную к жизни!

Некоторые доводы, приведенные мной в этих главах, могут показаться чересчур сложными для понимания, другие представляются слишком спорными – хотя, по-моему, немало здесь и таких, которые, наоборот, никак нельзя оставить без внимания. Тем не менее, за всеми этими техническими рассуждениями стоит одно – ощущение «очевидности» предположения о том, что разум, наделенный сознанием, просто не может работать подобно компьютеру, несмотря на алгоритмическую природу многих составляющих нашей умственной деятельности.

Это тот тип очевидности, который доступен и ребенку – хотя со временем этот ребенок, став уже взрослым, будет вынужден поверить в то, что очевидные проблемы – это «не проблемы», что они могут быть сведены на нет при помощи тщательно подобранных рассуждений и удачных определений. Дети иногда ясно видят многие вещи, которые в более зрелые годы теряют для них свою очевидность. Мы часто забываем чувство восхищения, которое мы испытывали в детстве, когда впоследствии на наши плечи ложится груз повседневных забот «мира взрослых». Дети не боятся задавать самые элементарные вопросы из числа тех, которые нам, взрослым, задавать уже «стыдно». Что происходит с каждым из потоков нашего сознания после смерти; где было сознание до нашего рождения; могли бы мы стать, или уже были, кем-то еще; почему мы вообще воспринимаем мир; почему мы здесь; и почему, в конце концов, есть такая вселенная, в которой мы можем существовать? Это загадки, которые имеют обыкновение возникать в момент пробуждения способности осознавать в каждом из нас – и, несомненно, с первыми проблесками подлинного самосознания в любом живом существе.

¹³⁹ В.Э.: В оригинале: *a straw man*.

Я помню свои собственные попытки разрешить для себя многие из этих загадок, когда я был ребенком. Допустим, думал я, мое сознание имеет возможность внезапно поменяться с чьим-то другим – как в таком случае я могу быть уверен, что нечто подобное уже не произошло со мной раньше, предполагая, что каждый человек хранит в памяти только то, что относится к нему лично? Как я мог бы тогда объяснить такой опыт «обмена» кому-то еще? Или всё это вообще не имеет никакого смысла? А что если я просто проживаю те же самые десять минут жизни снова и снова – и каждый раз с одними и теми же впечатлениями? Может быть, для меня «существует» только настоящее? Может быть, «я» завтрашнего или вчерашнего дня – это в действительности совершенно иная личность с независимым сознанием? Может быть, я на самом деле живу «задом наперед» во времени, и мой поток сознания направлен в прошлое, так что моя память говорит не о том, что уже произошло со мной, но о том, что еще только должно произойти – и неприятности в школе еще впереди и, к сожалению, уже не за горами? Есть ли вообще какое-нибудь значимое различие между таким и обычным течением времени, которое позволило бы считать одно из них «правильным», а второе – нет? Для того, чтобы иметь принципиальную возможность получать ответы на подобные вопросы, необходима теория сознания. Но как можно даже начинать объяснять сущность таких проблем тому, кто сам не обладает сознанием?..

Эпилог

«...СЕБЯ ЧУВСТВУЕШЬ? О... весьма интересный вопрос, мой мальчик... э-э... я и сам хотел бы знать ответ», – сказал Главный конструктор. – «Давайте посмотрим, что может сказать наш друг об этом... странно... э-э... Ультроник говорит, что он не понимает, что... он не может даже понять, что ты имеешь в виду!» Отдельные смешки в аудитории переросли в громовой хохот. Адам чувствовал себя крайне неловко. Они могли отреагировать как угодно, но только не смеяться.

Литература

- Ааронов, Альберт [1981] Aharonov, Y. and Albert, D.Z. (1981). *Can we make sense out of the measurement process in relativistic quantum mechanics?* Phys. Rev., D24, 359–70.
- Ааронов, Бергманн, Лебовиц [1964] Aharonov, Y., Bergmann, P., and Lebowitz, J.L. (1964). *Time symmetry in the quantum process of measurement*. Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983; первоначально опубликовано в Phys. Rev., 134B, 1410–16.
- Адамар [1945] Hadamard, J. (1945). *The psychology of invention in the mathematical field*. Princeton University Press. (Рус. пер.: Адамар Ж. *Исследования психологии процессов изобретательства в области математики*. М.: Педагогика, 1970.)
- Аспект, Гранжьер [1986] Aspect, A. and Grangier, P. (1986). *Experiments on Einstein–Podolsky–Rosen-type correlations with pairs of visible photons*. Опубликовано в *Quantum concepts in space and time* (ed. R. Penrose and C.J. Isham), Oxford University Press.
- Аштекар, Балашандран, Санг [1989] Ashtekar, A., Balachandran, A.P., and Sang Jo (1989). *The CP problem in quantum gravity*. Int. J. Mod. Phys., A6, 1493–514.
- Барба [1989] Barbour, J.B. (1989). *Absolute or relative motion? Volume 1: The discovery of dynamics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Барроу [1988] Barrow, J.D. (1988). *The world within the world*. Oxford University Press.
- Барроу, Типлер [1986] Barrow, J.D. and Tipler, F.J. (1986). *The anthropic cosmological principle*. Oxford University Press.
- Бекенштейн [1972] Bekenstein, J. (1972). *Black holes and entropy*. Phys. Rev., D7, 2333–46.
- Белинский, Халатников, Лифшиц [1970] Belinskii, V.A., Khalatnikov, I.M., and Lifshitz, E.M. (1970). *Oscillatory approach to a singular point in the relativistic cosmology*. Adv. Phys. 19, 525–73.
- Белифанте [1975] Belinfante, F.J. (1975). *Measurement and time reversal in objective quantum theory*. Pergamon Press, New York.
- Белл [1987] Bell, J.S. (1987). *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*. Cambridge University Press.

- Бенасерраф [1967] Benacerraf, P. (1967). *God, the Devil and Gödel*. The Monist, 51, 9–32.
- Блэйкмор, Гринфилд [1987] Blakemore, C. and Greenfield, S. (eds.) (1987). *Mindwaves: thoughts on intelligence, identity and consciousness*. Basil Blackwell, Oxford.
- Блюм, Шуб, Смэйл [1989] Blum, L., Shub, M., and 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.
- Бови [1982] Bowie, G.L. (1982). *Lucas' number is finally up*. J. of Philosophical Logic, 11, 279–85.
- Бом [1951] Bohm, D. (1951). *The paradox of Einstein, Rosen and Podolsky*. Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983; первоначально опубликовано в *Quantum theory*, D. Bohm, Ch. 22, sect. 15–19. Prentice-Hall, Englewood-Cliffs.
- Бом [1952] Bohm, D. (1952). *A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden' variables, I and II*. Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983; первоначально опубликовано в Phys. Rev., 85, 166–93.
- Бонди [1960] Bondi, H. (1960). *Gravitational waves in general relativity*. Nature (London), 186, 535.
- Брукс, Мателски [1981] Brooks, R. and Matelski, J.P. (1981). *The dynamics of 2-generator subgroups of PSL(2, C), Riemann surfaces and related topics*: Proceedings of the 1978 Stony Brook Conference, edited by I. Kra and B. Maskit, Ann. Math Studies, 97. Princeton University Press, Princeton.
- Бэйлор, Лам, Яу [1979] Baylor, D.A., Lamb, T.D., and Yau, K.-W. (1979). *Responses of retinal rods to single photons*. J. Physiol., 288, 613–34.
- Вайнберг [1977] Weinberg, S. (1977). *The first three minutes: A modern view of the origin of the universe*. André Deutsch, London. (Рус. пер.: Вайнберг С. *Первые три минуты*. М.: Энергоиздат, 1981.)
- Вайскранц [1987] Weiskrantz, L. (1987). *Neuropsychology and the nature of consciousness*. Опубликовано в *Mindwaves* (ed. C. Blakemore and S. Greenfield), Blackwell, Oxford.
- Валтц [1982] Waltz, D.L. (1982). *Artificial intelligence*. Scientific American, 247 (4), 101–22.
- Вестфолл [1980] Westfall, R.S. (1980). *Never at rest*. Cambridge University Press.
- Вигнер [1960] Wigner, E.P. (1960). *The unreasonable effectiveness of mathematics*. Commun. Pure Appl. Math., 13, 1–14. (Рус пер.: Вигнер Э. *Непостижимая эффективность математики в естественных науках* // Вигнер Э. *Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии*. М.: Едиториал УРСС, 2002. С. 182–198.)
- Вигнер [1961] Wigner, E.P. (1961). *Remarks on the mind–body question*. Опубликовано в *The scientist speculates* (ed. I.J. Good), Heinemann, London. Перепечатано в E. Wigner (1967), *Symmetries and reflections*, Indiana University Press, Bloomington, и в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983.
- Вильсон, Ривз, Газзанига, Калвэр [1977] Wilson, D.H., Reeves, A.G., Gazzaniga, M.S., and Culver, C. (1977). *Cerebral commissurotomy for the control of intractable seizures*. Neurology, 27, 708–15.
- Виноград [1972] Winograd, T. (1972). *Understanding natural language*. Cognitive Psychology, 3, 1–191. (Рус. пер.: Виноград Т. *Программа, понимающая естественный язык*. М.: Мир, 1976.)
- Вуттерс, Цурек [1982] Wootters, W.K. and Zurek, W.H. (1982). *A single quantum cannot be cloned*. Nature, 299, 802–3.
- Газзанига [1970] Gazzaniga, M.S. (1970). *The bisected brain*. Appleton-Century-Crofts, New York.
- Газзанига, Леду, Вильсон [1977] Gazzaniga, M.S., LeDoux, J.E., and Wilson, D.H. (1977). *Language, praxis, and the right hemisphere: clues to some mechanisms of consciousness*. Neurology, 27, 1144–7.
- Галилей [1638] Galilei, G. (1638). *Dialogues concerning two new sciences*. Macmillan edn 1914; Dover Inc. (Рус. пер.: Галилей Г. *Диалог о двух главнейших системах мира – Птолемеевской и Коперниковой*. М.–Л.: Гостехиздат, 1948.)
- Ганди [1988] Gandy, R. (1988). *The confluence of ideas in 1936*. Опубликовано в *The universal Turing machine: a half-century survey* (ed. R. Herken), Kammerer & Unverzagt, Hamburg.
- Гарднер [1958] Gardner, M. (1958). *Logic machines and diagrams*. University of Chicago Press.
- Гарднер [1983] Gardner, M. (1983). *The whys of a philosophical scrivener*. William Morrow and Co., Inc., New York.
- Гарднер [1989] Gardner, M. (1989). *Penrose tiles to trapdoor ciphers*. W.H. Freeman and Company, New York. (Рус. пер.: Гарднер М. *От мозаик Пенроуза к надежным шрифтам*. М.: Мир, 1993.)
- Гёдель [1931] Gödel, K. (1931). *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I*. Monatshefte für Mathematik und Physik, 38, 173–98.
- Герох, Хартли [1986] Geroch, R. and Hartle, J.B. (1986). *Computability and physical theories*. Found. Phys., 16, 533.
- Гирарди, Римини, Вебер [1980] Ghirardi, G.C., Rimini, A., and Weber, T. (1980). *A general argument against superluminal transmission through the quantum mechanical measurement process*. Lett. Nuovo. Chim., 11, 293–8.
- Гирарди, Римини, Вебер [1986] Ghirardi, G.C., Rimini, A., and Weber, T. (1986). *Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems*. Phys. Rev., D34, 470.
- Грэгори [1981] Gregory, R.L. (1981). *Mind in science; A history of explanations in psychology and physics*. Weidenfeld and Nicholson Ltd.

Грюнбаум, Шепард [1981] Grünbaum, B. and Shephard, G.C. (1981). *Some problems on plane tilings*. Опубликовано в *The mathematical Gardner* (ed. D.A. Klarner), Prindle, Weber and Schmidt, Boston. (Рус. пер.: Грюнбаум Б., Шепард Дж.Ч. *Некоторые проблемы, связанные с плоскими мозаиками // Математический цветник: Сборник статей и задач*. М.: Мир, 1983.)

Грюнбаум, Шепард [1987] Grünbaum, B. and Shephard, G.C. (1987). *Tilings and patterns*. W.H. Freeman.

Гуд [1969] Good, I.J. (1969). *Gödel's theorem is a red herring*. Brit. J.Philos. Sci., 18, 359–73.

Гэйл [1987] Gayle, F.W. (1987). *Free-surface solidification habit and point group symmetry of a faceted icosahedral Al–Li–Cu phase*. J. Mater. Res., 2, 1–4.

де Бройль [1956] de Broglie, L. (1956). *Tentative d'interprétation causale et nonlinéaire de la mécanique ondulatoire*. Gauthier-Villars, Paris.

Де Витт, Грэхем [1973] De Witt, B.S. and Graham, R.D. (eds.) (1973). *The many-worlds interpretation of quantum mechanics*. Princeton University Press.

Дельбрюк [1986] Delbrück, M. (1986). *Mind from matter?* Blackwell Scientific Publishing, Oxford.

Деннетт [1978] Dennett, D.C. (1978). *Brainstorms. Philosophical Essays on Mind and Psychology*, Harvester Press, Hassocks, Sussex.

Джейнс [1980] Jaynes, J. (1980). *The origin of consciousness in the breakdown of the bicameral mind*. Penguin Books Ltd., Harmondsworth, Middx.

Дике, Грётцингер, Корнхубер [1976] Deeke, L, Grotzinger, B., and Kornhuber, H.H. (1976). *Voluntary finger movements in man: cerebral potentials and theory*. Biol. Cybernetics, 23, 99.

Дирак [1928] Dirac, P.A.M. (1928). *The quantum theory of the electron*. Proc. Roy. Soc. (Lond.), A117, 610–24; ditto, part II, *ibid.*, A118, 361. (Рус. пер.: Дирак П.А.М. *Квантовая теория электрона // Дирак П.А.М. К созданию квантовой теории поля*. М.: Наука, 1990. Ч. 1, 2. С. 113–141.)

Дирак [1938] Dirac, P.A.M. (1938). *Classical theory of radiating electrons*. Proc. Roy. Soc. (Lond.), A167, 148.

Дирак [1939] Dirac, P.A.M. (1939). *The relations between mathematics and physics*. Proc. Roy. Soc. Edinburgh, 59, 122. (Рус. пер.: Дирак П.А.М. *Отношение между математикой и физикой // Дирак П.А.М. К созданию квантовой теории поля*. С. 245–254.)

Дирак [1947] Dirac, P.A.M. (1947). *The principles of quantum mechanics* (3rd edn). Oxford University Press. (Рус. пер.: Дирак П.А.М. *Принципы квантовой механики*. М.: Наука, 1979.)

Дирак [1982] Dirac, P.A.M. (1982). *Pretty mathematics*. Int. J. Theor. Phys., 21, 603–5.

Дойч [1985] Deutsch, D. (1985). *Quantum theory, the Church–Turing principle and the universal quantum computer*. Proc. Roy. Soc. (Lond.), A400, 97–117.

Доукинс [1986] Dawkins, R. (1986). *The blind watchmaker*. Longman, London.

Дрэйк [1953] Drake, S. (trans.) (1953). *Galileo Galilei: dialogue concerning the two chief world systems – Ptolemaic and Copernican*. University of California, Berkeley, 1953.

Дрэйк [1957] Drake, S. (1957). *Discoveries and opinions of Galileo*. Doubleday, New York.

Дэвис [1974] Davies, P.C.W. (1974). *The physics of time-asymmetry*. Surrey University Press.

Дэвис [1988] Davis, M. (1988). *Mathematical logic and the origin of modern computers*. Опубликовано в *The universal Turing machine: a half-century survey* (ed. R. Herken), Kammerer & Unverzagt, Hamburg.

Дэвис и др. [1987] Davies, R.D., Lasenby, A.N., Watson, R.A., Daintree, E.J., Hopkins, J., Beckman, J., Sanchez-Almeida, J., and Rebolo, R. (1987). *Sensitive measurement of fluctuations in the cosmic microwave background*. Nature, 326, 462–5.

Дэвис, Браун [1988] Davies, P.C.W. and Brown, J. (1988). *Superstrings: a theory of everything?* Cambridge University Press.

Дэвлин [1988] Devlin, K. (1988). *Mathematics: the new golden age*. Penguin Books, London.

Кандел [1976] Kandel, E.R. (1976). *The cellular basis of behaviour*. Freeman, San Francisco.

Каройхази [1974] Károlyházy, F. (1974). *Gravitation and quantum mechanics of macroscopic bodies*. Magyar Fizikai Folyóirat, 12, 24.

Каройхази, Френкель, Лукач [1986] Károlyházy, F., Frenkel, A., and Lukács, B. (1986). *On the possible role of gravity on the reduction of the wave function*. Опубликовано в *Quantum concepts in space and time* (ed. R. Penrose and C.J. Isham), Oxford University Press.

Картан [1923] Cartan, É. (1923). *Sur les variétés à connexion affine et la théorie de la relativité généralisée*. Ann. Sci. Ec. Norm. Sup., 40, 325–412.

Катленд [1980] Cutland, N.J. (1980). *Computability: an introduction to recursive function theory*. Cambridge University Press.

Кин [1988] Keene, R. (1988). *Chess: Henceforward*. The Spectator, 261 (№8371), 52.

Клаузер, Хорн, Шимони, Холт [1969] Clauser, J.F., Home, A.H., Shimony, A., and Holt, R.A. (1969). *Proposed experiment to test local hidden-variable theories*. Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983; первоначально опубликовано в Phys. Rev. Lett., 23, 880–4.

Клос [1983] Close, F. (1983). *The cosmic onion: quarks and the nature of the universe*. Heinemann, London.

- Кнут [1981] Knuth, D.M. (1981). *The art of computer programming*, Vol. 2 (2nd edn). Addison-Wesley, Reading, MA. (Рус. пер.: Кнут Д. *Искусство программирования*. М.: Издательский дом «Вильямс», 2000.)
- Комар [1964] Komar, A.V. (1964). *Undecidability of macroscopically distinguishable states in quantum field theory*. Phys. Rev., 133B, 542–4.
- Комар [1969] Komar, A.V. (1969). *Qualitative features of quantized gravitation*. Int. J. Theor. Phys. 2, 157–60.
- Коэн [1966] Cohen, P.C. (1966). *Set theory and the continuum hypothesis*. Benjamin, Menlo Park, CA.
- Кузнецов [1980] Кузнецов Б.Г. *Эйнштейн: Жизнь. Смерть. Бессмертие*. М.: Наука, 1980.
- Леви [1984] Levy, D.W.L. (1984). *Chess computer handbook*. Batsford.
- Леду [1985] LeDoux, J.E. (1985). *Brain, mind and language*. Опубликовано в *Brain and mind* (ed. D.A. Oakley), Methuen, London and New York.
- Либет [1987] Libet, V. (1987). *Consciousness: Conscious subjective experience*. Опубликовано в *Encyclopedia of neuroscience*, Vol. 1 (ed.) G. Adelman. Birkhauser; pp. 271–5.
- Либет [1989] Libet, V. (1989). *Conscious subjective experience vs. unconscious mental functions: A theory of the cerebral process involved*. Опубликовано в *Models of brain function* (ed. R.M.J. Cotterill), Cambridge University Press, Cambridge; pp. 35–43.
- Либет, Райт, Файнштейн, Перл [1979] Libet, V., Wright, E.W.Jr., Feinstein, B., and Pearl, D.K. (1979). *Subjective referral of the timing for a conscious sensory experience*. Brain, 102, 193–224.
- Лоренц [1972] Lorenz, K. (1972). Цитируется по *From ape to Adam*, by H. Wendt, Bobbs Merrill, Indianapolis.
- Лукас [1961] Lucas, J.R. (1961). *Minds, machines and Gödel*. Philosophy, 36, 120–4. Перепечатано в Alan Ross Anderson (1964), *Minds and machines*, Englewood Cliffs.
- Льюис [1969] Lewis, D. (1969). *Lucas against mechanism*. Philosophy, 44, 231–3.
- Льюис [1989] Lewis, D. (1989). *Lucas against mechanism II*. Can. J. Philos. 9, 373–6.
- Майерс [1974] Myers, D. (1974). *Nonrecursive tilings of the plane, II*. J. Symbolic Logic, 39, 286–94.
- Майорана [1932] Majorana, E. (1932). *Atomi orientati in campo magnetico variabile*. Nuovo Cimento, 9, 43–50.
- МакКей [1987] MacKay, D. (1987). *Divided brains – divided minds?* Опубликовано в *Mindwaves* (ed. C. Blakemore and S. Greenfield), Basil Blackwell, Oxford.
- Максвелл [1865] Maxwell, J.C. (1865). *A dynamical theory of the electromagnetic field*. Philos. Trans. Roy. Soc. (Lond.), 155, 459–512. (Рус. пер.: Максвелл Дж.К. *Динамическая теория поля*. Ч. VI. *Электромагнитная теория света*. Избр. соч. по теории электромагнитного поля: М.: Гостехтеориздат, 1952.)
- Мандельброт [1986] Mandelbrot, B.B. (1986). *Fractals and the rebirth of iteration theory*. Опубликовано в *The beauty of fractals: images of complex dynamical systems*, Н.-О. Peitgen and Р.Н. Richter, Springer-Verlag, Berlin; pp. 151–60. (Рус. пер.: Мандельброт Б. *Фракталы и возрождение теории итераций* // Пайтген Х.О., Рихтер П.Х. *Красота фракталов*. М.: Мир, 1993.)
- Мандельброт [1989] Mandelbrot, B. B. (1989). *Some 'facts' that evaporate upon examination*. Math. Intelligencer, 11, 12–16.
- Мермин [1985] Mermin, D. (1985). *Is the moon there when nobody looks? Reality and the quantum theory*. Physics Today, 38 (№ 4), 38–47.
- Мизиер [1969] Misner, C.W. (1969). *Mixmaster universe*. Phys. Rev. Lett., 22, 1071–4.
- Мики [1988] Michie, D. (1988). *The fifth generation's unbridged gap*. Опубликовано в *The universal Turing machine: a half-century survey* (ed. R. Herken), Kammerer & Unverzagt, Hamburg.
- Мински [1968] Minsky, M.L. (1968). *Matter, mind, and models*. Опубликовано в *Semantic information processing*, (ed. M.L. Minsky), MIT Press, Cambridge, Mass.
- Мирс, Сперри [1953] Myers, R.E. and Sperry, R.W. (1953). *Interocular transfer of a visual form discrimination habit in cats after section of the optic chiasm and corpus callosum*. Anatomical Record, 175, 351–2.
- Моравец [1989] Moravec, H. (1989). *Mind children: the future of robot and human intelligence*. Harvard University Press.
- Моруцци, Магун [1949] Moruzzi, G. and Magoun, H.W. (1949). *Brainstem reticular formation and activation of the EEG*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 1, 455–73.
- Мотт [1929] Mott, N.F. (1929). *The wave mechanics of a-ray tracks*. Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983; первоначально опубликовано в Proc. Roy. Soc. (Lond.), A126, 79–84.
- Мотт, Месси [1965] Mott, N.F. and Massey, H.S.W. (1965). *The theory of atomic collisions*. Clarendon Press, Oxford. (Рус. пер.: Мотт Н., Месси Г. *Теория атомных столкновений*. М.: Мир, 1969.)
- Нагель, Ньюман [1958] Nagel, E. and Newman, J.R. (1958). *Gödel's proof*. Routledge & Kegan Paul Ltd.
- Нельсон, Халперин [1985] Nelson, D.R. and Halperin, B.I. (1985). *Pentagonal and icosahedral order in rapidly cooled metals*. Science, 229, 233.

Ньютон [1687] Newton, I. (1687). *Principia*. Cambridge University Press. (Рус. пер.: Ньютон И. *Математические начала натуральной философии* / Пер. с лат. А.И. Крылова. Петроград, 1916 (соврем. изд.: М.: Наука, 1989.))

Ньютон [1730] Newton, I. (1730). *Opticks*. 1952, Dover, Inc. (Рус. пер.: Ньютон И. *Оптика*. М.–Л., 1954.)

О'Кифи [1985] O'Keefe, J. (1985). *Is consciousness the gateway to the hippocampal cognitive map? A speculative essay on the neural basis of mind*. Опубликовано в *Brain and mind* (ed. D.A. Oakley), Methuen, London and New York.

О'Коннелл [1988] O'Connell, K. (1988). *Computer chess*. Chess, 15.

Окли [1985] Oakley, D.A. (ed.) (1985). *Brain and mind*, Methuen, London and New York.

Окли, Имз [1985] Oakley, D.A. and Eames, L.C. (1985). *The plurality of consciousness*. Опубликовано в *Brain and mind* (ed. D.A. Oakley), Methuen, London and New York.

Онода, Стайхардт, Ди Винченцо, Соколар [1988] Onoda, G.Y, Steinhardt, P.J., DiVincenzo, D.P., and Socolar, J.E.S. (1988). *Growing perfect quasicrystals*. Phys. Rev. Lett., 60, 2688.

Оппенгеймер, Снайдер [1939] Oppenheimer, J.R. and Snyder, H. (1939). *On continued gravitational contraction*. Phys. Rev. 56, 455–9.

Пайс [1982] Pais, A. (1982). *'Subtle is the Lord...': the science and the life of Albert Einstein*. Clarendon Press, Oxford.

Пайтген, Заупе [1988] Peitgen, H.-O. and Saupe, D. (1988). *The science of fractal images*. Springer-Verlag, Berlin.

Пайтген, Рихтер [1986] Peitgen, H.-O. and Richter, P.H. (1986). *The beauty of fractals*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg. (Рус. пер.: Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. *Красота фракталов*. М.: Мир, 1993.)

Парис, Харрингтон [1977] Paris, J. and Harrington, L. (1977). *A mathematical incompleteness in Peano arithmetic*. Опубликовано в *Handbook of mathematical logic* (ed. J. Barwise), North-Holland, Amsterdam.

Пенроуз [1965] Penrose, R. (1965). *Gravitational collapse and space-time singularities*. Phys. Rev. Lett., 14, 57–9. (Рус. пер.: Пенроуз Р. *Гравитационный коллапс и пространственно-временные сингулярности // Альберт Эйнштейн и теория гравитации*. М.: Мир, 1979. С. 390–395.)

Пенроуз [1974] Penrose, R. (1974). *The role of aesthetics in pure and applied mathematical research*. Bull. Inst. Math. Applications, 10, № 7/8, 266–71.

Пенроуз [1979a] Penrose, R. (1979a). *Einstein's vision and the mathematics of the natural world*. The Sciences (March), 6–9.

Пенроуз [1979b] Penrose, R. (1979b). *Singularities and time-asymmetry*. Опубликовано в *General relativity: An Einstein centenary* (ed. S.W. Hawking and W. Israel), Cambridge University Press. (Рус. пер.: Пенроуз Р. *Сингулярности и асимметрия во времени // Общая теория относительности*. М.: Мир, 1983. С. 233–295.)

Пенроуз [1987a] Penrose, R. (1987a). *Newton, quantum theory and reality*. Опубликовано в *300 years of gravity* (ed. S.W. Hawking and W. Israel), Cambridge University Press.

Пенроуз [1987b] Penrose, R. (1987b). *Quantum Physics and Conscious Thought*. Опубликовано в *Quantum Implications: Essays in honour of David Bohm* (ed. B.J. Hiley and F.D. Peat), Routledge and Kegan Paul, London & New York.

Пенроуз [1989a] Penrose, R. (1989a). *Tilings and quasi-crystals; a non-local growth problem?* Опубликовано в *Aperiodicity and order 2* (ed. M. Jarič), Academic Press, New York.

Пенроуз [1989b] Penrose, R. (1989b). *Difficulties with inflationary cosmology*. Опубликовано в *The Fourteenth Texas Symposium on Relativistic Astrophysics* (ed. E.J. Fenyves), N.Y. Acad. Sci., New York, 571, 249–64.

Пенроуз, Риндлер [1984] Penrose, R. and Rindler, W. (1984). *Spinors and space-time*, Vol. 1: *Two-spinor calculus and relativistic fields*. Cambridge University Press. (Рус. пер.: Пенроуз Р., Риндлер В. *Спиноры и пространство-время*. М.: Мир, 1988.)

Пенроуз, Риндлер [1986] Penrose, R. and Rindler, W. (1986). *Spinors and space-time*, Vol. 2: *Spinor and twistor methods in space-time geometry*. Cambridge University Press. (Рус. пер.: Там же.)

Пенфилд, Джаспер [1947] Penfield, W. and Jasper H. (1947). *Highest level seizures*. Research Publications of the Association for Research in Nervous and Mental Diseases (New York), 26, 252–71.

Перл [1985] Pearle, P. (1985). *'Models for reduction'*. Опубликовано в *Quantum concepts in space and time* (ed. C.J. Isham and R. Penrose), Oxford University Press.

Перл [1989] Pearle, P. (1989). *Combining stochastic dynamical state-vector reduction with spontaneous localization*. Phys. Rev. A, 39, 2277–89.

Пур-Эль, Ричардс [1979] Pour-El, M.B. and Richards, I. (1979). *A computable ordinary differential equation which possesses no computable solution*. Ann. Math. Logic, 17, 61–90.

Пур-Эль, Ричардс [1981] Pour-El, M.B. and Richards, I. (1981). *The wave equation with computable initial data such that its unique solution is not computable*. Adv. in Math., 39, 215–39.

Пур-Эль, Ричардс [1982] Pour-El, M.B. and Richards, I. (1982). *Noncomputability in models of physical phenomena*. Int. J. Theor. Phys., 21, 553–5.

- Пур-Эль, Ричардс [1989] Pour-El, M.V. and Richards, I. (1989). *Computability in analysis and physics*. Springer-Verlag, New York.
- Ракер [1984] Rucker, R. (1984). *Infinity and the mind: the science and philosophy of the infinite*. Paladin Books, Granada Publishing Ltd., London (first published by Birkhauser Inc., Boston, Mass., 1982.).
- Рауз Болл [1892] Rouse Ball, W.W. (1892). *Calculating prodigies*. Опубликовано в *Mathematical recreations and essays*.
- Резников, Уэллс [1984] Resnikoff, H.L. and Wells, R.O. Jr. (1973). *Mathematics and civilization*. Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York; перепечатано с дополнениями (1984) Dover Publications, Inc., Mineola, New York.
- Риндлер [1977] Rindler, W. (1977). *Essential relativity*. Springer-Verlag, New York.
- Риндлер [1982] Rindler, W. (1982). *Introduction to special relativity*. Clarendon Press, Oxford.
- Робинсон [1971] Robinson, R.M. (1971). *Undecidability and nonperiodicity for tilings of the plane*. Invent. Math., 12, 177–209.
- Рэй [1986] Rae, A. (1986). *Quantum physics: illusion or reality?* Cambridge University Press.
- Сакс [1962] Sachs, R.K. (1962). *Gravitational waves in general relativity*. VIII. *Waves in asymptotically flat space-time*. Proc. Roy. Soc. London, A270, 103–26.
- Серл [1980] Searle, J. (1980). *Minds, brains and programs*. Опубликовано в *The behavioral and brain sciences*, Vol. 3. Cambridge University Press. Перепечатано в *The mind's I* (ed. D.R. Hofstadter and D.C. Dennett), Basic Books, Inc., Penguin Books Ltd., Harmondsworth, Middx., 1981.
- Серл [1987] Searle, J.R. (1987). *Minds and brains without programs*. Опубликовано в *Mindwaves* (ed. C. Blakemore and S. Greenfield). Basil Blackwell, Oxford.
- Сквайерс [1985] Squires, E. (1985). *To acknowledge the wonder*. Adam Hilger Ltd., Bristol.
- Сквайерс [1986] Squires, E. (1986). *The mystery of the quantum world*. Adam Hilger Ltd., Bristol.
- Смит [1983] Smith, S.B. (1983). *The great mental calculators*. Columbia University Press.
- Сморински [1983] Smorynski, C. (1983). 'Big' news from Archimedes to Friedman. Notices Amer. Math. Soc, 30, 251–6.
- Сперри [1966] Sperry, R.W. (1966). *Brain bisection and consciousness*. Опубликовано в *Brain and conscious experience* (ed. J.C. Eccles), Springer, New York.
- Типлер, Кларк, Эллис [1980] Tipler, F.J., Clarke, C.J.S., and Ellis, G.F.R. (1980). *Singularities and horizons – a review article*. Опубликовано в *General relativity and gravitation* (ed. A. Held), Vol. 2, pp. 97–206. Plenum Press, New York.
- Трейман, Джекив, Зумино, Витген [1985] Treiman, S.B., Jackiw, R., Zumino, B., and Witten, E. (1985). *Current algebra and anomalies*, Princeton series in physics. Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Тьюринг [1937] Turing, A.M. (1937). *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*. Proc. Land. Math. Soc. (ser. 2), 42, 230–65; a correction 43, 544–6.
- Тьюринг [1939] Turing, A.M. (1939). *Systems of logic based on ordinals*. P. Lond. Math. Soc, 45, 161–228.
- Тьюринг [1950] Turing, A.M. (1950). *Computing machinery and intelligence*. Mind, 59, № 236. Перепечатано в *The mind's I* (ed. D.R. Hofstadter and D.C. Dennett), Basic Books, Inc.; Penguin Books, Ltd., Harmondsworth, Middx., 1981.
- Уилер [1983] Wheeler, J.A. (1983). *Law without law*. Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, pp. 182–213.
- Уилер, Фейнман [1945] Wheeler, J.A. and Feynman, R.P. (1945). *Interaction with the absorber as the mechanism of radiation*. Revs. Mod. Phys., 17, 157–81.
- Уилер, Цурек [1983] Wheeler, J.A. and Zurek, W.H. (eds.) (1983). *Quantum theory and measurement*. Princeton University Press.
- Уилл [1987] Will, C.M. (1987). *Experimental gravitation from Newton's Principia to Einstein's general relativity*. Опубликовано в *300 years of gravitation* (ed. S.W. Hawking and W. Israel), Cambridge University Press.
- Уиттекер [1910] Whittaker, E.T. (1910). *The history of the theories of aether and electricity*. Longman, London. (Рус. пер.: Уиттекер Э. *История теории эфира и электричества*. Ижевск: РХД, 2001.)
- Уолтер [1953] Grey Walter, W. (1953). *The living brain*. Gerald Duckworth and Co. Ltd.
- Уорд, Уэллс [1990] Ward, R.S. and Wells R.O. Jr. (1990). *Twistor geometry and field theory*. Cambridge University Press.
- Фейнман [1985] Feynman, R.P. (1985). *QED: the strange theory of light and matter*. Princeton University Press. (Рус. пер.: Фейнман Р. *КЭД, странная теория света и вещества*. М.: Наука, 1988.)
- Фейнман, Лейтон, Сэндс [1965] Feynman, R.P., Leighton, R.B., and Sands, M. (1965). *The Feynman Lectures*. Addison-Wesley. (Рус. пер.: Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. *Фейнмановские лекции по физике*. М.: Мир, 1977.)
- Феферман [1988] Feferman, S. (1988). *Turing in the Land of O(z)*. Опубликовано в *The universal Turing machine: a half-century survey* (ed. R. Herken), Kammerer & Unverzagt, Hamburg.
- Фодор [1983] Fodor, J.A. (1983). *The modularity of mind*. MIT Press, Cambridge, Mass.

- фон Нейман [1955] von Neumann, J. (1955). *Mathematical foundations of quantum mechanics*. Princeton University Press. (Рус. пер.: Нейман И. *Математические основы квантовой механики*. М.: Наука, 1964.)
- Фредкин, Тоффоли [1982] Fredkin, E. and Toffoli, T. (1982). *Conservative logic*. Int. J. Theor. Phys., 21, 219–53.
- Фридман, Клаузер [1972] Freedman, S.J. and Clauser, J.F. (1972). *Experimental test of local hidden-variable theories*. Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983; первоначально опубликовано в Phys. Rev. Lett., 28, 938–41.
- Хаггетт, Тод [1985] Huggett, S.A. and Tod, K.P. (1985). *An introduction to twistor theory*. London Math. Soc. student texts, Cambridge University Press.
- Хайли, Пит [1987] Hiley, B.J. and Peat, F.D. (eds.) (1987). *Quantum implications. Essays in honour of David Bohm*. Routledge and Kegan Paul, London & New York.
- Ханф [1974] Hanf, W. (1974). *Nonrecursive tilings of the plane*, I. J. Symbolic Logic, 39, 283–5.
- Харт [1982] Harth, E. (1982). *Windows on the mind*. Harvester Press, Hassocks, Sussex.
- Хартли, Хокинг [1983] Hartle, J. B. and Hawking, S.W. (1983). *Wave function of the universe*. Phys. Rev., D31, 1777.
- Хебб [1954] Hebb, D.O. (1954). *The problem of consciousness and introspection*. Опубликовано в *Brain mechanisms and consciousness* (ed. J.F. Delafresnaye), Blackwell, Oxford.
- Херкен [1988] Herken, R. (ed.) (1988). *The universal Turing machine: a half-century survey*. Kammerer & Unverzagt, Hamburg.
- Хехт, Шлейер, Пирэн [1941] Hecht, S., Shlaer, S. and Pirenne, M.H. (1941). *Energy, quanta and vision*. J. of Gen. Physiol, 25, 891–40.
- Ходжис [1983] Hodges, A.P. (1983). *Alan Turing: the enigma*. Burnett Books and Hutchinson, London; Simon and Schuster, New York.
- Хокинг [1975] Hawking, S.W. (1975). *Particle creation by black holes*. Commun. Math. Phys., 43, 199–220. (Рус. пер.: Хокинг С. *Рождение частиц на черных дырах // Альберт Эйнштейн и теория гравитации*. М.: Мир, 1979. С. 479–510.)
- Хокинг [1987] Hawking, S.W. (1987). *Quantum cosmology*. Опубликовано в *300 years of gravitation* (ed. S.W. Hawking and W. Israel), Cambridge University Press.
- Хокинг [1988] Hawking, S.W. (1988). *A brief history of time*. Bantam Press, London. (Рус. пер.: Хокинг С. *Краткая история времени*. СПб.: Амфора, 2000.)
- Хокинг, Пенроуз [1970] Hawking, S.W. and Penrose, R. (1970). *The singularities of gravitational collapse and cosmology*. Proc. Roy. Soc. (London), A314, 529–48.
- Хофштадтер [1979] Hofstadter, D.R. (1979). *Gödel, Escher, Bach: an eternal golden braid*. Harvester Press, Hassocks, Sussex. (Рус. пер.: Хофштадтер Д. *Гёдель, Эшер, Бах: эта бесконечная гуриянда*. Самара: Издательский дом «Бахрах-М», 2001.)
- Хофштадтер [1981] Hofstadter, D.R. (1981). *A conversation with Einstein's brain*. Опубликовано в *The mind's I* (ed. D.R. Hofstadter and D.C. Dennett), Basic Books, Inc.; Penguin Books, Ltd., Harmondsworth, Middx.
- Хофштадтер, Деннетт [1981] Hofstadter, D.R. and Dennett, D.C. (eds.) (1981). *The mind's I*. Basic Books, Inc.; Penguin Books, Ltd., Harmondsworth, Middx.
- Хьюбел [1988] Hubel, D.H. (1988). *Eye, brain and vision*. Scientific American Library Series #22.
- Чандрасекар [1987] Chandrasekhar, S. (1987). *Truth and beauty: aesthetics and motivations in science*. University of Chicago Press.
- Черч [1941] Church, A. (1941). *The calculi of lambda-conversion*. Annals of Mathematics Studies, № 6. Princeton University Press.
- Черчланд [1984] Churchland, P.M. (1984). *Matter and consciousness*. Bradford Books, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Шенк, Абельсон [1977] Schank, R.C. and Abelson, R.P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- Шехтман, Блех, Гратиас, Кан [1984] Shechtman, D., Blech, I., Gratias, D., and Cahn, J.W. (1984). *Metallic phase with long-range orientational order and no translational symmetry*. Phys. Rev. Lett., 53, 1951.
- Шрёдингер [1935] Schrödinger, E. (1935). *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik*. Naturwissenschaften, 23, 807–12, 823–8, 844–9. (Translation by J.T. Trimmer (1980). Опубликовано в Proc. Amer. Phil. Soc, 124, 323–38.) Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983.
- Шрёдингер [1967] Schrödinger, E. (1967). *'What is life?' and 'Mind and matter'*. Cambridge University Press. (Рус. пер.: Шрёдингер Э. *Что такое жизнь? С точки зрения физика*. 2-е изд. М.: Атомиздат, 1972.)
- Эверетт [1957] Everett, H. (1957). *'Relative state' formulation of quantum mechanics*. Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983; первоначально опубликовано в Rev. of Mod. Phys., 29, 454–62.
- Эйнштейн, Подольский, Розен [1935] Einstein, A., Podolsky, B., and Rosen, N. (1935). *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?* Опубликовано в *Quantum theory and measurement* (ed. J.A. Wheeler and W.H. Zurek), Princeton University Press, 1983; первоначально опубликовано в Phys. Rev., 47, 777–80.

Экклз [1973] Eccles, J.C. (1973). *The understanding of the brain*. McGraw-Hill, New York.

Эткинс [1987] Atkins, P.W. (1987). *Why mathematics works*. Oxford University Extension Lecture in series: Philosophy and the New Physics (13 March).

Иллюстративный материал, используемый в книге

- Рис. [4.6](#) и [4.9](#). Воспроизводится из *The Mathematical Gardner* (D.A. Klamer (ed.)) Wadsworth International, 1981.
- Рис. [4.7](#). Воспроизводится из *Tilings and Patterns* (B. Grünbaum and G.C. Shephard) © W.H. Freeman, 1987.
- Рис. [4.10](#). Воспроизводится из *Hermann Weyl 1885–1985* (K. Chandrasekharan) Springer, 1986.
- Рис. [4.11](#) и 10.3. Воспроизводится из *Pentalplexity: a class of non-periodic tilings of the plane*. The Mathematical Intelligence, 2, 32-7 (Springer, 1979).
- Рис. 4.12. Воспроизводится из *M.C. Escher: Art and Science* (H.S.M. Coxeter, M. Emmer, R. Penrose and M.L. Teuber (eds)) North-Holland, 1986.
- Рис. [5.2](#). Воспроизводится из *M.C. Escher: Heirs* © 2002 Cordon Art B.V. – Baarn – Holland. Все права защищены.
- Рис. 10.4. Воспроизводится из *Journal of Materials Research*, 2, 1–4 (Materials Research Society, 1987).

Все остальные рисунки (включая [4.10](#) и [4.12](#)) принадлежат автору.

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-PENRO5	1
Роджер Пенроуз	1
НОВЫЙ РАЗУМ КОРОЛЯ	1
Роджер Пенроуз. «Новый Разум Короля»	2
Глава 9. Реальный мозг и модели мозга.....	2
§9.1. Как же устроен мозг?.....	2
§9.2. Где обитает сознание?	8
§9.3. Эксперименты при разделенных больших полушариях мозга	10
§9.4. «Зрение вслепую»	12
§9.5. Обработка информации в зрительной коре	13
§9.6. Как работают нервные импульсы?	14
§9.7. Компьютерные модели.....	16
§9.8. Пластичность мозга	20
§9.9. Параллельные компьютеры и «единственность» сознания	21
§9.10. Имеет ли квантовая механика отношение к работе мозга?.....	22
§9.11. Квантовые компьютеры	23
§9.12. За пределами квантовой теории?.....	25
Глава 10. Где находится физика ума?	27
§10.1. Для чего нужны умы?.....	27
§10.2. Что в действительности делает сознание?.....	31
§10.3. Естественный отбор алгоритмов?	34
§10.4. Неалгоритмическая природа математической интуиции.....	37
§10.5. Вдохновение, озарение и оригинальность.....	39
§10.6. Невербальность мысли	44
§10.7. Сознание у животных?	45
§10.8. Соприкосновение с миром Платона	47
§10.9. Взгляд на физическую реальность	49
§10.10. Детерминизм и жесткий детерминизм.....	50
§10.11. Антропный принцип	52
§10.12. «Плиточные» структуры и квазикристаллы	53
§10.13. Возможная связь с пластичностью мозга	56
§10.14. Временные задержки в реакции сознания	57
§10.15. Странная роль времени в сознательном восприятии.....	60
§10.16. Заключение: точка зрения ребенка.....	63
Эпилог	65
Литература.....	65
Иллюстративный материал, используемый в книге	72
Оглавление	73