

ГЛАВА 1. ИОННО-МОЛЕКУЛЯРНАЯ МОДЕЛЬ ПАМЯТИ В СИСТЕМЕ БИОИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА

*...Я не бес,
Не искуситель — испытатель,
Осёлок, циркуль, лот, отвес.
Измерить верно, взвесить право
Хочу сердца...*

Вяч. Иванов «Подстерегатель»

*От них, теорий, только та польза, что
можно немножко выиграть время и от-
дохнуть, ежели ты совсем запутался,
стараясь найти что-нибудь, чего найти
невозможно.*

Марк Твен «Том Сойер за границей»

*В. А. Решетюку — пассивному вдохнови-
телю первой главы настоящей книги*

Живая природа обеспечила свои создания уникальным свойством, которого если и не лишены неживые объекты, то среди них это свойство существенно меньше распространено и куда как менее развито. Речь идет о памяти, о свойстве воспринимать, запоминать, извлекать и передавать определенную информацию. Оговорка о том, что небезосновательно рассматривают память и как свойство неживых объектов, не случайна. Действительно, некоторые химические соединения, например, полимеры, растворы — в частности, жидкие кристаллы и даже обычная вода обладают способностью сохранять и восстанавливать отдельные параметры своей структуры, а ряд веществ, те же полимеры — и форму, после их изменения при изменении условий внешней среды: температуры, давления. Единственное, что для этого требуется — их возвращение в условия среды, в которых исходная структура была сформирована. Несомненно, в подобных случаях можно говорить о структурной, или химической, памяти.

Подобной, структурной, памятью в той или иной мере обладают и вещества, входящие в состав биологических объектов. Однако, среди последних существуют и такие, которые имеют также способность передавать информацию, что обеспечивает воспроизводство их и всего

живого организма. Носителями такой информации являются молекулы ДНК и РНК, некоторые вирусы, а передается она посредством разнообразных молекул — опять же нуклеиновые кислоты и белки, и такая память, биологический код, может быть определена как суперструктурная, как биохимическая. Принципиально, для реализации этого вида памяти живой организм не является необходимым: переписать информацию с молекулы ДНК (РНК) на другую молекулу можно и в модельных системах, что нынче широко распространено, например, для диагностики ряда заболеваний, под названием «полимеразная цепная реакция». Поэтому такую память следует определить как «биохимическая память». Еще один вид памяти — физико-химическая память, которая заключается в том, что любые ионы и молекулы в достаточно неразбавленном растворе и даже в газовой фазе в определенных концентрациях оказывают влияние на другие, вызывая их соответствующие физико-химические и структурные изменения.

В данной главе речь пойдет о памяти биосистем, в первую очередь человека. Такая память имеет дело с информацией, полученной из окружающей среды и позволяющей организму существовать в изменяющихся условиях среды, добывать пищу, общаться друг с другом, передавать собственный опыт потомству и так далее, то есть о явлении, называемом памятью в быту, в физиологии, психологии, социологии... Определим такую память, следуя за И. П. Ашмариным^{14, 16}, биологической и вовсе не структурной, в отличие от двух предыдущих видов памяти, существующих в природе. И далее будем обсуждать только ее, называя просто «память» (далее без кавычек).

Понятно, что память — свойство крайне необходимое для существования живого организма. Реализация жизненно важных задач, таких как добывание пищи, избегание опасности, обеспечение жизнеспособного потомства и так далее — совершенно невозможно без памяти. Кроме того, в целом ряде случаев живой организм попадает в нестандартные ситуации, выход из которых может быть найден двумя способами. Это, во-первых, реализация стандартных программ поведения, применимых к подобным условиям. Во-вторых — это нахождение новой программы поведения в нетривиальной ситуации, осуществляемое на основании накопленного опыта. Последнее есть решение задачи, что не достижимо без такого высшего проявления — при обязательном и ведущем участии памяти, которое называют «мышление»²⁵².

Память — высшее проявление сущности живых организмов, без нее невозможно их существование, развитие, эволюция... деградация. Однако определения термина «память», как и всякого явления, понимае-

мого на интуитивном уровне; см. трактаты от Аристотеля⁹ до наших дней: Линдсей¹³⁸, Прибрам¹⁷⁸, Хомская²¹⁹, или популярные книжки: Иванов-Муромский⁹⁹, Лурия¹⁴¹, — на наш взгляд, явно страдает недостаточной конкретностью. Дело в том, что память, как правило, определяется через информацию: Александров^{6, 7}, Батуев¹⁶, Мартынов¹⁴⁶, которая, в свою очередь, нуждается в определении.

Поэтому перейдем к определению памяти и тех понятий, без которых невозможно дать предметное определение этому понятию. Цель главы — создание непротиворечивой теории ИММП (см. Введение).

1.1. Память как субъект биоинформационного обмена преимущественно в процессах мышления

В первом параграфе главы, посвященной ИММП, приведем вводные материалы, ознакомление с которыми позволит далее аргументировано перейти к построению и обоснованию ионно-молекулярной модели системы, осуществляющей процессы памяти.

Базовые определения и термины памяти. Память суть способность хранить, запоминать один или несколько вариантов состояния внешней и/или внутренней среды, выбранных, принятых из их множества и кодированных определенным образом анализаторами для последующего предоставления — передачи по желанию или необходимости выбранного варианта(ов) аналитическим системам. Определимся с терминологией.

Замечание 1. Память оперирует с информацией: выбор, хранение, извлечение — по определению^{114, 225}, но собственно память — это хранение сделанного выбора, как нынешнего, так многих или даже всех предыдущих. То есть, опять же, по определению, память не может быть реализована без приемника, анализатора и передатчика обработанной информации. И это в простейшем варианте, поскольку в общем случае каждого из таких элементов памяти может быть более одного.

Замечание 2. Наличие структур, которые принципиально могут воспринимать информацию — это еще не есть память. Например, вода обладает способностью структурироваться, то есть возможностью записывать, запоминать информацию. Однако, поскольку извлечь эту информацию мы в настоящее время не в состоянии, и непонятно, каким образом использует ее сама вода, то говорить о памяти не приходится. Следует вести речь о наличии каких-то упорядоченных структур, которые, возможно, несут определенную информацию, но не о памяти. То есть структурирование — необходимое, но недостаточное условие реализации памяти.

Замечание 3. Системы с памятью — информационные системы, биологические системы с памятью — информационные биологические системы.

Приемники — системы захвата, выделение из многочисленного разнообразия информации из внешней и/или внутренней среды.

Анализаторы — системы выбора и перекодирования информации.

Аналитические системы — системы извлечения и обработки информации.

Замечание 4. Пожалуй, только живой организм имеет анализаторы и аналитические системы более сложные, чем разного рода простые фильтры — по типу пропустить или не пропускать все выше/ниже или ниже/выше, чем порог, и/или осуществляющие бинарный — принимать из двух только такой-то сигнал, или n -мерный — принимать из нескольких только такие-то сигналы, осуществлять выбор.

Замечание 5. Обратим внимание, что получение информации из среды определено как захват — выделение, тогда как близкий по сути процесс, происходящий в аналитических системах, будем называть «получение — извлечение информации».

Селекторы — те же анализаторы; селекция — другая функция анализаторов, посредством которой последние не просто пропускают или не пропускают информацию, но и одновременно — когда пропускают — классифицируют ее. То есть селекторы не только позволяют принимать и фильтровать определенную информацию, но и сортировать, классифицировать ее, определяя, куда именно она должна быть доставлена.

Передачики — системы доставки выбранной информации в структуры или системы, предназначенные для ее хранения.

Накопители информации — структуры или системы, предназначенные для хранения, накопления информации.

Носители — материальная основа для операций с информацией.

Замечание 6. Информация, хранящаяся в памяти одного субъекта, так называемая «энграмма»^{6, 16, 23}, «след памяти»⁶, может быть по желанию этого субъекта передана, предоставлена другому субъекту, причем эта предоставляемая информация может быть уже аналитически обработана: обучение, которое, несмотря на высказывание⁹, присуще не исключительно человеку. Принципиальное отличие этой функции от памяти неживых объектов состоит в том, что информация, хранящаяся в памяти неживых объектов, может быть предметно и осознанно передана субъекту — живому объекту, извлечена им — только по желанию, мотивации самого субъекта — получателя информации. Здесь почти в явном виде предусматривается наличие среды, в которой передается информация, и кодировка последней.

Библиотека памяти — совокупность всей информации, когда-либо поступившей и хранимой в памяти, классифицированная определенным образом. Как и любая библиотека, библиотека памяти имеет отделы, рубрики и другие атрибуты.

Замечание 7. В ситуации человека информация, хранимая в памяти, может быть каким-либо образом перекодирована, например, вербализована или переписана с использованием символов на подходящий носитель. Здесь способ перекодировки и выбор подходящего носителя в зависимости от обстоятельств осуществляет сам субъект, возможности чего лишен неживой объект, накопитель информации.

Анализ видов памяти. При обсуждении механизмов памяти, собственно памяти в нашем понимании, ее обычно подразделяют на виды. При этом классификация видов памяти является, естественно, концептуальной и зависит от задач исследования.

Такое деление может быть безусловным, когда классификатором является вид приемника получения первичной информации, проще говоря, органы чувств²¹⁹. В ситуации человека можно выделить пять видов сенсорных механизмов и, соответственно, пять видов памяти. Это память зрительная, слуховая, то есть вербальная — по способу передачи сигнала, тактильная, вкусовая, обонятельная. Последовательность перечисления этих видов памяти в определенной мере отражает объем получаемой с их помощью информации человеком же. По поводу последовательности трех последних видов памяти в этом отношении можно дискутировать. Что же касается первых двух видов — зрительной и слуховой памяти и сенсорных механизмов их реализации, то с помощью зрения и слуха человек получает подавляющее количество информации, причем зрительная информация явно преобладает над слуховой. Разумеется, сказанное, в первую очередь, относится к нормальному человеку в обычных условиях. Кроме того, среди сенсорных видов памяти можно выделить моторную, двигательную память²¹⁹.

Все прочие классификации памяти носят условный характер. Остановимся на одной из таких классификаций, в основу которой положено время хранения информации.

Замечание. Вопрос о том, может ли вся полученная информация целиком и полностью храниться *бесконечно долго* — здесь под бесконечно долгим хранением информации подразумевается время существования живого организма, как целостной системы, — может ли информация храниться *сколько угодно долго*, то это обсуждается ниже специально в разделе, посвященном, в частности, накопителям информации.

Итак, память по продолжительности удержания, хранения информации подразделяют прежде всего на кратковременную, или оперативную, динамическую, и долговременную — статическую, стабильную^{6, 16, 22, 219, 226}. Считается, что в последней хранится наиболее значимая информация. В общем-то, смысл этих двух видов памяти прозрачен, понимается интуитивно и не требует специального разъяснения. Одни авторы считают, что кратковременная и долговременная память суть самостоятельные процессы^{6, 22}. С таким мнением можно согласиться лишь с оговорками, поскольку без первой, по-видимому, невозможна вторая, но не наоборот. Кратковременная память имеет место при повреждении структур головного мозга, ответственных за реализацию долговременной памяти, а «плохая» кратковременная память при «хорошей» долговременной⁶ вовсе не означает отсутствие механизмов, обеспечивающих первую, но быть всего лишь звеном, передающим информацию во вторую. Некоторые авторы⁷ выделяют память промежуточную, располагая ее «между» кратковременной и долговременной. Другие авторы полагают^{16, 219}, что кратковременной памяти предшествует сенсорная, мгновенная^{219, 226} память, суть которой заключается в следующем. После ответа на внешнее воздействие возникают следовые процессы, продолжающиеся некоторое время по окончании действия раздражителя. Эти первичные следовые процессы и есть сенсорная память. Длительность хранения следов в сенсорной памяти не превышает 500 мс, стирание следа осуществляется за 150 мс. И только наступающий за этим период хранения информации называют кратковременной, краткосрочной памятью: от 20 мин до нескольких суток²²⁶. Примерно за такое же время осуществляется реакция на стимул: по разным оценкам она составляет 100—225 мс¹¹⁶ или 250—300 мс²⁰⁰. Следовательно, память является инерционным процессом и ее срочность, то есть временность, определяется специальными механизмами.

Собственно, кратковременная и долговременная память суть альтернативы. В качестве других альтернативных пар видов памяти рассматривают произвольную и произвольную память, неосмысленную — механическую (мнемоническую) и семантически организованную — семантическую²¹⁹, а также декларативную и процедурную память^{284, 285}. Очевидно, тождественные соответственно активной, готовой к реализации в данный момент времени, и пассивной — латентной, не готовой к непосредственному воспроизведению, памяти⁶. Оставим подразделение памяти на последние два вида «за авторами» этой концепции и их последователей. Здесь же добавим, что выделяют триаду видов, соответственно, теорий, памяти³³⁹: процедурную, семантическую и эпизодическую память^{6, 329}. Обсуждение всех встречающихся в литературе видов памяти и способов или вариантов

ее классификации не входит в задачу данной главы книги, и мы лишь упоминаем о безграничных, как и самая память, возможностях систематиков памяти...

Далее память может быть классифицирована по механизмам ее реализации, что оказывается еще более условным, нежели классификация по времени хранения, поскольку как раз-то механизмы памяти и не ясны до конца. И все же... Можно выделить осознанную память и, как альтернативу, память неосознанную — сравните произвольную и непроизвольную память²¹⁹. И вновь интуитивно вкладываемый в эти виды памяти смысл вряд ли требует специального обсуждения: срабатывает интуиция, она же сама субъект памяти.

Кроме того выделяют эмоциональную, аффективную память, обусловленную событиями, имеющими эмоциональную окраску²¹⁹. Говорят также о рабочей, оперативной памяти в разных ее проявлениях, в частности, о вербальной памяти, а также об ассоциативной памяти. Последняя, возможно, наиболее интересный вид памяти, основанный на случайном доступе к информации³³¹. Ее мы будем обсуждать далее и специально после того, как рассмотрим предлагаемую в настоящей главе концептуальную модель памяти. Называя данную модель памяти концептуальной, мы имеем в виду, что она строится на не противоречащих экспериментальным данным предположениях, однако подтверждение/опровержение ее в принципе требует специальных исследований. Заметим, по мнению²⁰⁰, с которым трудно не согласиться, что общая теория памяти должна определять, по меньшей мере, следующее: способ представления информации, тип запоминаемой и воспроизводимой информации, природу операций запоминания и воспроизведения, форму хранения информации.

Обзор известных моделей памяти. Отмечается, что «нейрофизиологическим механизмам сознания и его моделированию в последнее время посвящается большое число работ»²⁰⁵. Обсуждаемые в литературе модели памяти можно условно разделить на три типа, которые моделируют:

— ассоциативную, распределенную память — большинство моделей, то есть память по ассоциации, когда субъект вспоминает информацию, совершенно не относящуюся к данной ситуации, но каким-то образом необходимым ему сейчас или ранее; при этом не отвергается память о конкретных явлениях;

— рабочую память; не совсем понятно, что вкладывают в это понятие, однако исходя из контекста, можно думать, что речь идет об оперативной, ситуационной памяти, требующейся для решения данной конкретной задачи;

— другие виды памяти; и здесь наблюдается большое разнообразие, начиная от различных моделей временной памяти и оканчивая различными

вариантами ее сенсоров, причем под чтением информации понимают буквальное ее прочтение^{277, 284, 285} или рассматривают модели речевой, семантической памяти³⁰⁰, выделяя также эмоциональную память²².

Отдельно отметим, что рассматривают не исключающие друг друга две концептуальные модели: концепцию уровней, согласно которой существует строгая иерархия в обработке информации, и концепцию доменов, которые представляют собой отграниченные области памяти, содержащие информацию о характеристиках стимулов и о наборе операций, участвующих в их обработке и запоминании, причем в доменах и субдоменах обработка информации может осуществляться параллельно²⁰⁰.

В моделях памяти используется разнообразнейший математический аппарат и физические принципы. Например, нейронные сети, принцип голографии, интерференция, стохастичность/статистичность, шум и хаос, бифуркации и аттракторы, марковские цепи и гамильтонианы, голосование — экспертная оценка, векторы и матрицы, а также регрессии и корреляции, в том числе, автокорреляции. И все это в разных сочетаниях. Единственный результат, который отсюда получен наверняка при проверке моделей памяти, — это локализация памяти в соответствующих мозговых структурах: кортексе или коре; география памяти — не путать с топологией, топологической картой памяти в этих структурах, о чем речь пойдет далее.

Говорят о буферах памяти^{284, 285}, называя такой буфер эпизодическим³⁴⁷, что предполагает наличие нескольких компонентов памяти и ее буферирование^{284, 285}, и о порогах для информации³⁵⁴, а также о валентности, буквально — «валенсировании», памяти³¹⁷, о ложной памяти³³², об ингибиторной памяти, которая исключает ненужную информацию²⁷⁸, словно кто-то или что-то знает, что нужно — даже не памяти, а организму, а что нет, и об отсутствии интерференции памяти²⁹⁵.

По мнению³²⁶, ключевые особенности модели памяти включают: использование запасных соединений сетей; способность манипулировать очень большими входными паттернами; распределение хранения паттернов входных данных; статистическое перестраивание резервных паттернов памяти в течение операций чтения.

1.2. Материальные носители биоинформационного обмена в системе памяти

Разумеется, память имеет материальную основу, причем у высших животных единственным ответственным за память анатомическим отделом является головной мозг, который, в свою очередь, функционально или анатомически можно подразделять на отделы и более мелкие структуры. Ниже

рассматриваются выписанные в заголовок параграфа материальные носители в системе памяти.

Топологические основы памяти в головном мозге. Многочисленными исследованиями установлены отделы головного мозга, которые отвечают за реализацию памяти. Таким образом, складывается топографическая карта памяти, которая, конечно, не является окончательной, однако дает представление о локализации структур, обеспечивающих память. Локализация структур, обеспечивающих память, зависит, в частности, от ее вида^{296, 327}. В основном функцию памяти приписывают кортексу — коре, серому веществу — префронтальному, примыкающему к предлобной кости^{296, 297, 305, 327}, темпоральному, примыкающему к височной кости³⁵¹ и фронтальному, примыкающему к лобной кости. Отмечается, что при выполнении заданий, например, для рабочей памяти, средний вентролатеральный фронтальный кортекс частично активирован в левой гемисфере, средний дорсолатеральный — в правой³¹⁴. Некоторые виды памяти обеспечиваются преимущественно теменными долями коры³²⁷, иногда исключительно левой ее областью²⁹⁶. В формировании других видов памяти участвуют височные доли коры, в которые входят образования от гиппокампа^{296, 306}, причем разные отделы гиппокампа ответственны за разные ее виды²⁹⁶. Наконец, определенные виды памяти обеспечиваются не без участия мозжечка, по видимому, тоже его коры³²⁷ (другое мнение о мозжечке см. в главе 3).

Кроме того, считают, что за кратковременную память ответственны структуры гиппокампа, поскольку его синапсы способны быстро изменяться, тогда как синапсы неокортекса изменяются медленнее⁶. Впрочем, названный источник суть коллектив авторов, и не ясно, кто из них ответствен за тот или иной раздел⁶, противоречит самому себе: двумя страницами ранее утверждается, что «след памяти не имеет строгой локализации, а считается с нейронов разных структур мозга в зависимости от обстоятельств», и этот факт подтвержден экспериментами⁶ (С. 106). Бывает...

Заметим, что в цитированных работах не обсуждаются структуры, необходимые для реализации процессов захвата из среды информации и доставки ее в аналитические центры; в них речь идет исключительно о том, какие структуры головного мозга функционируют при извлечении полученной и сохраненной информации.

Впрочем, топология памяти интересует нас постольку, поскольку знание структурных образований, в которых реализуется интересующее явление, необходимо для разработки концептуальной модели памяти. В том случае, когда вещество, необходимое для формирования различных видов памяти, существенно зависело бы от ее вида, возникли бы дополнительные трудности в построении общей модели. Однако, как видно из топографии,

исключительно в коре, сером веществе, в которой, между прочим, сосредоточены тела нейронов¹⁸⁹, осуществляются собственно аналитические процессы памяти. Белое вещество, содержащее отростки нейронов, нервные волокна¹⁸⁹, очевидно служит для захвата — выделения и передачи информации из внешней и/или внутренней среды.

Память в соотношении с клеточной физиологией. Итак, без сомнения, тканевые структуры, ответственные за память, расположены в коре и белом веществе головного мозга. Следующий уровень структурных элементов памяти, который необходимо рассмотреть, есть клеточный. Известно, что процессы, обеспечивающие память, протекают при участии нейронов — это аксиома нейрофизиологии. Электрическая активность этих клеток изменяется в процессах получения и извлечения информации, относительно легко измеряется экспериментально (ЭЭГ) и потому широко исследуется. Описание собственно клеточной физиологии нейрона и механизмов передачи нервного импульса даже в конспективно-обзорном виде заняло бы много места и существенно отвлекло от обсуждаемой темы. Поэтому сошлемся на специальные работы, например^{16, 231}, и продолжим обсуждение в интересующем нас аспекте. С этих позиций принципиально то, что нейроны выступают исключительно как приемники и передатчики информации из внешней и внутренней среды, включая, возможно, функции анализаторов и селекторов.

По реакции на возбуждение нейроны заметно неоднородны. Так, в ростральном гипоталамусе кошки описаны нейроны нескольких типов. Результаты приведены¹⁰³ и детально проанализированы¹⁰⁴; указано на соответствие типов активности нейронов типам реакций, описанных в работах^{178, 302}. По фоновому типу кумулятивной, накопленной частоты разрядов (КЧР), помимо молчащих, имеющих низкую фоновую импульсную активность клеток, выделены четыре основных типа нейронов: *T*-нейроны: КЧР возрастает линейно; *L*-нейроны: КЧР имеют форму в виде буквы *L*, повернутой на 90° по часовой стрелке, и вначале быстро возрастает, после чего скорость ее увеличения существенно снижается; *S*-нейроны: КЧР имеет *S*-образную форму; *LS*-нейроны: КЧР возрастает ступенчато. Нейроны двух последних типов (*S*, *LS*) выявляются только в результате стимуляции. Поэтому предполагается, что нейроны типов *L* и *S* — частные случаи *LS*-нейронов. Результат определяется числом зафиксированных импульсов, то есть зависит от условий эксперимента и при достаточно продолжительном времени наблюдения все нейроны типов *L* и *S* проявили бы себя как *LS*-нейроны. Таким образом, имеются два (*T* и *LS*) или три (*T*, *L* и *LS*) типа возбужденных нейронов, исключая молчащие.

Вообще говоря, молчащий нейрон может быть артефактом, обусловленным несовершенством методики или ее реализации, хотя число их в эксперименте достигало 30 %¹⁰⁴, а по данным, приведенным другим автором⁶⁻⁸, даже больше. Однако, возможно, что молчащие нейроны представляют собой резерв, который используется в процессах обучения^{6-8, 133, 230}.

На возбуждение и последующее снятие действия стимула нейроны также реагируют по-разному и по этому критерию выявлены следующие преимущественные типы нейронов¹⁰⁴: *L-L-L*, *L-L-T*, *L-S-L*, *L-S-S*, *T-T-T*, а также единичные *T-T-S* и *T-S-T*. Можно предположить, что нейроны разных типов или нейроны, по-разному отвечающие на стимуляцию, являются передатчиками разного рода информации, или представляют собой селекторы различных видов, или участвуют в формировании разных видов памяти. Например, два типа нейронов с фоновой активностью *T* и *L*, а только такие и наблюдались в эксперименте, могут отвечать за кратковременную и долговременную память, поставляя информацию в разные отделы библиотеки памяти.

Другой аспект функционирования клеточной физиологии памяти заключается в том, в каких клетках накапливается полученная информация, а также какие клетки образуют аналитические системы памяти. Судя по комментариям, например¹⁷⁸, информация хранится вне нейронов, вероятно, в клетках глии; нейроглии — все не нейрональные клетки нервной ткани, в которые входят астроциты, олигодендроциты и микроглии²². На такую же возможность указывает интенсификация в глии синтеза белка — возрастание количества РНК — следующим за возбуждением нейрона^{142, 307, 308}. Итак, нейрон — приемник и передатчик, но не накопитель информации. Однако, вопрос о том, какие именно клетки формируют библиотеку памяти, остается открытым. Обсуждалась библиотека памяти матриц нейронных сетей³⁵².

Заметим, что клетки, связанные с передачей информации, не делятся. Постмитотические, утратившие способность делиться, клетки суть: нейроны, клетки мышечных волокон, сперматозоиды, яйцеклетка, эритроциты и некоторые другие. Из этих клеток, пожалуй, лишь эритроциты не участвуют в передаче информации. Но они вообще особые клетки, лишены ядра и делиться в принципе не в состоянии хотя бы по этой причине. Среди оставшихся четко выделяются два вида клеток: клетки, передающие генетическую информацию: сперматозоиды и яйцеклетки, и клетки, передающие информацию в виде электрического импульса: нейроны, миоциты. Если бы информация хранилась в нейронах, то их деление могло бы привести к искажению этой информации. Однако, скажем, ДНК — носитель генетической информации успешно делится, несмотря на аналогичные трудности.

Вероятно, нейроны не делятся не потому, что это привело бы к искажению хранящейся в них информации. Дело в том, что каждый нейрон контактирует определенным образом с другими нейронами и клетками других типов, образуя нейронную сеть: истинную, а не модельную математическую. По этой причине в результате деления материнской клетки между дочерними клетками неизбежно возникла бы конкуренция за межнейронные связи, налаженные первой, что бывает при борьбе за наследство в социальной жизни человечества. Все сказанное не противоречит предположению, что информация сосредоточена в глии: глиальное окружение делает данный нейрон уникальным, а деление последнего может повлечь за собой подобные неприятные последствия.

Биохимические основы процессов памяти. Поскольку электрические процессы, происходящие в нейронах при интересующем нас событии, являются результатом биохимических и биофизических реакций, постольку за ними стоит определенный молекулярный субстрат⁶. Рассматривая вопрос о том, какие молекулы и молекулярные структуры участвуют в формировании памяти, обычно обсуждают два их больших класса: нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК) и белки, в частности, ферменты и поли (олиго) пептиды (нейропептиды), как молекулы белковой природы.

В качестве альтернативы обсуждают изменения химической и пространственной структуры синапсов нейронов, перекладывая формирование памяти с макромолекул на поверхность нейрона⁸⁰. При этом придают значение конформационным изменениям белковых молекул рецепторов синаптической и постсинаптической мембран^{16, 32, 80, 324}. Но о нейронах речь шла ранее.

Хорошо известно, что в процессе обучения интенсифицируется синтез РНК. Очевидно, имея в виду классическую схему переноса молекулярной биологической информации ДНК — РНК — белок, полагают, что формирование памяти требует участия всех трех перечисленных типов макромолекул⁸⁰. Анализируя такую возможность, учитывают прежде всего следующие факты, полученные и подтвержденные множеством экспериментов: *«стимуляция или ингибирование синтеза РНК отражается в первую очередь на выработке новых навыков, а не на их сохранении»* и *«по окончании процесса обучения, концентрация полипептидов, синтезируемых вновь, существенно понижается и вскоре они вообще не фиксируются, тогда как память и новый вид поведения, выработавшийся при обучении, не исчезают»*⁹⁹. Таким образом, считают, что *«нет ни одного аргумента в пользу признания определяющей роли макромолекул в кодировании индивидуального опыта»*¹⁶, поскольку *«ДНК слишком стабильна для участия в процессах кодирования памяти, а РНК очень неустойчива для этих целей»*⁹⁹. Вообще

же есть мнение, что наблюдаемые в мозге при обучении биохимические изменения могут быть следствием различных побочных эффектов самой процедуры обучения²²⁰. Что же касается возможной роли белков в качестве накопителей информации, то этот аспект данной ситуации остается несколько в стороне, ограничиваясь преимущественно обсуждением роли олигопептидов и белков в процессах получения — «научения»⁶, но не хранения! — информации.

Вместе с тем, естественно, не отрицают участие РНК и белковых молекул в формировании памяти, рассматривая в этом процессе, в частности, цАМФ⁶ и ферменты — цАМФ-зависимую протеинкиназу: цАМФ — циклический аденозинмонофосфат^{6, 337, 348}, внеклеточную сигнальную регуляторную киназу, ядерный фактор *κ-B* (фактор транскрипции), а также синаптические белки, например, предшественник β -амилоидного белка²⁹⁹. Вообще говоря, впервые гипотезу об изменении при формировании памяти структуры РНК — под влиянием нервных импульсов и изменения ионного состава — и, соответственно, белка выдвинул *Н. А. Hyden*^{46, 80, 307, 308}. Он же показал, что содержание РНК и ДНК возрастает в ядрах нейронов, подвергшихся возбуждению, после чего количество РНК в них уменьшается, но увеличивается в глии. При этом полипептидам отводят роль исключительно как аналоговым молекулам^{347–351} (аналоговые — нетождественные структурные элементы, передающие информацию), а в образовании «энергетического ландшафта» аналоговых процессов обсуждают участие неспецифических первичных гидрофобных контактов и внутри- и межмолекулярного взаимодействия³⁴⁷.

Для авторов настоящей книги, может быть, наиболее существенно то, что образующиеся в процессах формирования памяти макромолекулы и полипептиды являются короткоживущими⁵. Если это было бы не так, то вес мозга по мере обучения и/или запоминания увеличивался, может быть даже неограниченно. Поскольку этого не происходит, то, с одной стороны, в мозге должны функционировать, не обязательно в готовом виде, элементы, образующие подобие кассы символов, посредством которых возможно кодирование информации, условно — текст, любого объема и сложности. С другой стороны, и это менее очевидно, в мозге должны существовать готовые структурные элементы, на которых реализуется запись полученной информации. Макромолекулы, синтезирующиеся в процессе обучения, при этом могут выступать в качестве «организаторов» информации, структурируя ее определенным образом в библиотеке памяти. Сказанное подразумевает также, что структурные элементы, предназначенные для хранения информации, существуют в анатомически сформированном — завершившем рост и анатомическое же развитие — мозге в достаточном количестве и



Фригийский колпак бесчестия всегда болтается за спиной научного новатора. Это как фашины с дротиками, что нести за триумфатором-полководцем, въезжавшем в Рим после одержанных побед, напоминая: слава твоя коротка, если ты не будешь ее постоянно поддерживать. Раз взявшись за меч воина или перо ученого, не почивай на лаврах, а трудись, трудись и еще раз трудись! (Об учении уже сказал основоположник социализма).

используются по мере необходимости. Это положение следует «держать в голове», поскольку оно является одним из ключевых в разрабатываемой концептуальной модели памяти.

Элементарные частицы в формировании памяти. Исследования в области функционирования головного мозга и процессах формирования памяти привели к единственному, не подлежащему сомнению заключению: передача информации осуществляется посредством сигналов в виде электрических импульсов. Основными, а возможно и единственными, организаторами такого рода сигналов являются нейроны. В общем-то, ничего удивительного в том, что организм использует электрические импульсы для передачи информации, нет. О роли СГ ЭМВ, что является кардинальным, авторским расширением теории мышления и памяти, см. в последующих главах книги.

Все виды энергии в принципе можно преобразовать в электрические, шире — электромагнитные волны. Человек довольно давно научился преобразовывать, например, тепловую или механическую энергию в электрическую и передавать ее, производя затем обратное преобразование в тепло, которое может быть использовано для механической работы. Звук, то есть механические волны и изображение — собственно ЭМВ также могут быть преобразованы в электрические импульсы, которые являются составным элементом ЭМВ, в виде которых переданы и затем декодированы; нейронные коды и их преобразования обсуждаются, например, в работе¹⁷⁸. Глаз, между прочим, может воспринимать механическую энергию — удар в виде света, то есть ЭМИ. Тактильные воздействия для передачи с помощью электричества требуют контакта с телом; возможно, задача бесконтактного тактильного воздействия попросту не ставилась. Передача обонятельных сигналов не была жизненно необходимой и, вероятно, поэтому такая задача пока не решена.

Аналогичный универсальный механизм передачи сигналов должен существовать в организме. Собственно говоря, так оно и есть, поскольку нейронная активность, отвечающая за любую деятельность головного мозга, и не только его, является электрической, электромагнитной. Известно, например, что электрические раздражители, действующие на мозг, со своей стороны, способны вызвать зрительные и иные образы. Таким образом, любое внешнее и внутреннее воздействие может быть сведено к электромагнитному. При этом реакция структур и субструктур, ответственных за формирование памяти, определяются физико-химическими параметрами среды¹⁷⁸. Более того, высказывалось мнение⁹⁹, что существенную пользу может принести рассмотрение явлений памяти с позиций изменения ионной конъюнктуры и состояния электрической поляризации тканей — точ-

нее было бы: клеток и субклеточных образований — без углубления в молекулярные механизмы. Так сообщается, что *«при восприятии какого-либо объекта многократное самовозбуждение цепи нервных кругов с возникновением электрических разрядов с характерной модуляцией частоты производит определенное изменение ионного равновесия в цитоплазме ассоциационных нервных клеток»* (ссылка в работе²²).

Тем не менее, анализируя вопрос о возможных передатчиках информации и принятия решения на уровне головного мозга человека Н. И. Кобозев¹²² пришел к выводу, что известные частицы не подчиняются тем законам статистики, которые могли обеспечить результат. Собственно, цитируемая работа является единственной известной нам, где ставится вопрос и детально обсуждается роль элементарных частиц в процессах передачи информации и, в частности, в формировании памяти. На основании детального и подробного анализа, основываясь, в основном, на «безэнергетичности» (далее без кавычек) процессов решения задач, Н. И. Кобозев делает вывод о том, что нужно искать другие, неизвестные в настоящее время физике, элементарные частицы.

Однако, на наш взгляд, прежде чем искать неизвестные физике элементарные частицы, которые претендовали бы на роль уникальных и были бы использованы организмом исключительно для реализации процессов мышления, было бы логичным предложить иную статистику, поскольку элементарные частицы даны природой, а статистика придумана человеком. Теми же структурными элементами, которые обеспечивают память, вполне могут быть широко используемые живой материей ионы водорода, то есть протоны, сопряженные с электронами. Тем самым не требуется «новая физика». Подвижные электроны взаимодействуют в паре, прежде всего, с менее подвижными ионами водорода, которые, кроме того, будучи принадлежностью биомолекул, могут быть относительно жестко фиксированы, локализуясь в структурах, ответственных за накопление и обработку информации. Поэтому ионы водорода, природообразующего элемента, обладая, кроме того, возможностью, которая присуща и электронам, безэнергетических переходов — туннельный эффект, о чем далее — вполне могут претендовать на роль искоемых частиц. Интересно, что с электронами, помимо протонов, сопряжены также и фононы: элементарные частицы, формирующие звуковые волны¹⁰². То есть ионы водорода посредством электронов и фононов могут буквально «переговариваться» в нашем понимании друг с другом. Возможность передача информации посредством ионного поля организма обсуждается⁶⁷.

Замечание о другой статистике. Электрон или протон с «никакой», нулевой энергией в принципе может участвовать в реакциях переноса по

туннельному механизму. Тем самым нарушается принцип Пригожина-Онзагера о взаимном соответствии потоков и сил и производства энтропии⁹², в том числе в сильно нелинейных системах, который предусматривает — в линейных системах — наличие силы для возникновения потока и, наоборот, минимальное производство энтропии в общем случае. Здесь и далее речь идет о термодинамической энтропии, которую не следует отождествлять с энтропией информационной. При туннельном переходе поток есть, но силы нет. Вероятно, при этом потоки распределены не статистически, а по принципу либо есть, либо нет, «либо-либо»: принцип билибо. Собственно производство энтропии вообще не происходит. То есть потоки в отсутствие сил могут обеспечивать мыслительную деятельность, тогда как наличие сил ее не гарантирует. Вот уж действительно: сила есть — ума не надо...

1.3. Радиофизическая и информационная формализация процессов функционирования памяти

В процессе получения информации можно формализовать четыре основных элемента: источник информации, ее детектор, передатчик и накопитель. Определим элементы информационной системы (рис. 1.1):

источник — внешний или внутренний генератор сигналов, которые могут быть принципиально восприняты и определенным образом обработаны в разноразмерных структурах головного мозга;

детектор — приемник и своеобразный фильтр, по сути, аналитическая система, выделяющий информационную составляющую в потоке сигналов, которые поступают при внешних и внутренних воздействиях;

передатчик — переносчик детектированной информации в библиотеку памяти, причем в их качестве могут выступать биологические структуры разного уровня от клеточных до молекулярных, образующие эстафетные команды;

накопитель — хранитель информации, совокупность которых формирует собственно библиотеку памяти.

Примечание 1. Передатчики, как и детекторы, являются одновременно анализаторами.

Примечание 2. Вероятно, белки, о которых речь, находятся в клетках глии.

Примечание 3. Информация хранится на четырех уровнях — см. сверху вниз: тканевой — мозг; клеточный — клетки глии?; молекулярный — белковые буферы; электронно-ионный — ионы водорода и сопряженные с ними электроны.

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ ПОСТУПЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ИОННЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ НОСИТЕЛИ
<p><i>ИСТОЧНИК</i> (воздействие).</p> <p><i>ДЕТЕКТОР ПЕРВЫЙ</i> — нейрон, он же перекодировщик-анализатор (первый и, возможно, единственный), селектор и носитель (первый приемник и передатчик, явно первый, но не единственный).</p> <p><i>ВТОРОЙ</i> — белок, он же анализатор и селектор.</p> <p><i>ПЕРЕДАТЧИК ПЕРВЫЙ</i> — нейрон,</p> <p><i>ВТОРОЙ</i> — белок, содержащий H^+, параметры активности которого образуют спектр (он же второй приемник и второй передатчик).</p> <p><i>ТРЕТИЙ</i> — ионы водорода (поле H^+).</p> <p><i>НАКОПИТЕЛЬ ПЕРВЫЙ</i> — белок, ионы водорода которого участвуют в формировании поля H^+ с параметрами спектра активности, кодирующими информацию,</p> <p><i>ВТОРОЙ</i> — ионы водорода (поле H^+).</p>

Рис. 1.1. Схема элементов информационной системы памяти

По поводу источников информации долго размышлять не приходится. Ими могут быть любые материальные тела, способные к физическим воздействиям также любого рода, и нематериальные в бытовом понимании: источники звуков — речь, музыка; запахов и вкусов — горечь слов по рту; тактильных — ветер, солнце, в смысле его лучей и визуальных — те же солнечные лучи.

Что касается трех остальных элементов информационной системы, то, с позиции построения концептуальной модели памяти, здесь открывается широкое поле для дискуссий, причем, чем ниже расположен тот или иной элемент на иерархическом древе памяти, тем сложнее становится однозначно определить его.

Нейронное структурирование памяти. Как мы убедились, не мозг целиком, а лишь отдельные его структуры оказываются ответственны за формирование памяти. Более того, клетки мозга в этом отношении также специализированы и, в частности, нейроны, по-разному реагируя на внешнее, эндогенное или внутреннее, экзогенное воздействия, могут быть ответственны за формирование разных видов памяти и выступать в качестве первых селекторов и анализаторов информации. Как представляется для современного знания, функционирование нейронов необходимо для процессов памяти. При этом нейроны образуют своеобразные сети, объединяясь в ансамбли²²⁹, и такого рода структуры оказываются весьма консервативными⁶ и вероятностными — статистически организованными²²⁹. Иными

словами, судя по экспериментальным данным, переструктурирование однажды образованной нейронной сети в последующем хотя и происходит, но однажды образованные межнейронные связи не исчезают и *«если нейрон специализировался, то это на всю жизнь»*⁶. Таким образом, в структуре данной нейронной сети имеется возможность гибких перестроек, связанных с поступлением новой информации, но на основе старой, однажды образованной структуры. Участие же разных нейронов в памяти различных видов может ограничиваться на уровне формирования информационных каналов, по которым осуществляется доставка информации в отделы библиотеки памяти, ответственные за разные ее виды.

Следовательно, нейроны могут претендовать исключительно на роль первых детекторов информации, а также быть первым звеном, с которого начинается ее перенос, то есть первым передатчиком информации⁶. Собственно уже на уровне этого первого передатчика происходит перекодирование информации. На таком основании удастся дифференцировать передатчики информации до ее поступления в библиотеку памяти и после поступления в библиотеку, где информация вновь перекодируется и далее переносится в новом виде. Первые приемники и передатчики информации представлены нейронами, а в отношении вторых (передатчики) мы пока не можем сказать ничего определенного, разве что исключив из претендентов на их роль нейроны.

Роль и функции наличных и новых белков. Не вызывает сомнения, что в процессе поступление информации происходит активация синтеза белка; увеличение уровня РНК при этом показано неоднократно. В результате, естественно, продуцируется белок. Без потери общности будем говорить только о белке, имея в виду, что полипептид является структурным элементом белка и может предшествовать его формированию или наследовать ему. Вопрос о том, имелся ли такой белок ранее или это новый, отсутствовавший ранее, белок, поставлен давно²². Разумеется, после детектирования полученной информации возникает необходимость в передатчике, в качестве которого и может выступать синтезируемый белок или полипептид. Очевидно, передатчик информации не является строго специфическим для данного информационного события, но может быть специфичным для того или иного вида информации. То есть, синтеза принципиально нового белка не происходит. Такие же или очень близкие по структуре белки, если и отсутствуют в данный конкретный момент, то их синтез есть событие тривиальное. Однако накапливать передатчики «про запас», очевидно, энергетически невыгодно, поскольку они востребованы ситуационно. Поэтому передатчик, по-видимому, является короткоживущим элементом и только в

том смысле, что он синтезируется по требованию и, вероятно, его конформационная структура специфична^{6, 22, 46, 87} и его можно назвать новым.

Что же касается накопителя информации, то совершенно очевидно, ее хранение происходит на уже готовых, имеющихся структурах, в том числе белковых. Как мы уже отмечали выше, синтез новых белков или любых других биомолекул, необходимых для формирования памяти, привел бы к увеличению веса мозга, что противоречит биологии развития⁷⁷. Зависимость массы мозга от возраста человека имеет экстремальный характер и по разным данным имеет максимум в возрасте 15—30 лет^{792, 212, 219, 242}, после чего уменьшается опять же, согласно разным авторам, начиная с 30—60 лет^{124, 219, 242}, несмотря на очевидное протекание процессов, обеспечивающих память, и после 30 лет. Следует помнить, исключая всевозможные спекуляции о «мафусаиловом возрасте»*, что средний срок жизни человека, как биологического вида, составляет 30...35 лет (Гиппократ). Все что «свыше нам дано» — успехи цивилизации и культуры здоровья... Следовательно, повторимся, в мозге имеются готовые структурные элементы — накопители информации, в качестве которых вполне могут выступать белки сформированного в результате роста и развития головного мозга. Единственное, что следует добавить, — синтез накопителей информации все же принципиально не исключен, но он должен осуществляться по необходимости для восполнения физической убыли наличных белков. Указанное положение — не возможность, а необходимость, поскольку, если бы не так, то естественная убыль белков и других биомолекул в процессе жизнедеятельности и функционирования мозга привела бы к принципиальному уменьшению его веса. Однако, уменьшение массы мозга происходит только по достижении, как минимум, 30-летнего рубежа, если не существенно позже, и не является критическим.

По всей видимости, белки осуществляют детекцию информации на более высоком, нежели нейроны, уровне, то есть являются детекторами второго порядка. Говорить о детекторах более высоких порядков⁶ до тех пор, пока они не определены на втором уровне, бессодержательно.

Таким образом, белки — очевидно, это белки клеток глии — являются вторыми передатчиками информации, полученной от нейронов, а также накопителями этой информации. Естественно, речь идет о двух принципиально разных группах белков. Первые синтезируются по требованию и суть

* Ссылки в Библии на возраста до 800...900 лет объясняются просто: в Древнем, точнее Древнейшем Ближнем Востоке годом назывался месяц жизни, то есть надо делить 800...900 на 12 = итогу, это возрасты 60...75 лет, что, впрочем, для того времени и образа жизни являлось рекордом долголетия.

короткоживущие, вторые имеются в наличии в достаточном, или даже избыточном, количестве и синтезируются по мере их физической убыли и являются долгоживущими.

Хранение полученной информации в соотношении с временем существования организма. Подразумеваемый вопрос, вынесенный в заглавие, далеко не праздный. Если такая возможность существует, то, по крайней мере, в перспективе открываются возможности извлечения всей информации, когда-либо полученной организмом в течение предшествующей жизни. На сей счет имеются два диаметрально противоположных мнения^{23, 142} и более их быть не может: «да, такая возможность есть»; «нет, такой возможности нет».

В принципе, для положительного ответа на поставленный вопрос необходимо выполнение, по крайней мере, двух условий: любая информация, поступающая из внешнего мира, воспринимается мозгом хотя бы как неосознанная, и более важное — воспринятая информация хранится в накопителях, которые разрушаются лишь вследствие гибели организма и не изменяются в течение жизни; последнее неизбежно приведет к искажению информации. По понятным причинам, механические и иные повреждения мозга при этом не рассматриваются. Обсудим последовательно оба условия.

Считают, что информация, проходящая через нерелевантные каналы, не запоминается²⁰⁰. Релевантный канал — такой, который может реагировать на данный вид информации. При этом остается непонятно, есть ли возможность в таком случае воспользоваться другим каналом, который окажется релевантным. В контексте²⁰⁰, релевантный канал тот, который находится под контролем внимания. Но такой контроль может быть и неосознанным¹³⁰, чему есть множество примеров.

Очевидно, что осознанность получаемой информации заключается в ее анализе в момент получения, или сразу после, или существенно позднее, но в любом случае при желании и напряжении можно проследить за таким анализом. Информация, получаемая неосознанно, вероятно, тоже анализируется, но, во-первых, никакое желание и напряжение не позволяет это зафиксировать, иначе она тут же перейдет в разряд осознанной, и, во-вторых, такой анализ, наверняка иного рода. Впрочем, в ином роде, чем мы это осознаем, плюс ко всему анализируется и осознанная информация. Весьма вероятно, что полученная, сохраненная осознанно информация состоит из двух компонент: осознанной и неосознанной. Последняя, может быть, ничем не отличается от неосознанно получаемой — не путать с полученной — информации, то есть информации, получаемой осознанно, сопутствует информация, получаемая неосознанно, тогда как получению последней не сопутствует первая. Следовательно, вероятность того, что воспри-

нимается и может быть сохранена любая информация от внешних и внутренних источников, весьма велика.

Однако, даже при наличии такой возможности, ключевым в хранении всей полученной информации оказывается второй момент: способность накопителей информации существовать сколь угодно долго с единственным ограничением — сроком жизни организма — без изменений их структуры и записанной на них информации.

Здесь все гораздо проще. Как отмечают, при любых изменениях материального носителя информации, приводящих к изменению структуры его и, значит, сообщения, информация исчезает частично или полностью в соответствии с размерами происшедших изменений, не превращаясь ни в вещество, ни в энергию, ни в другую информацию, а просто-напросто бесследно исчезает^{186, 187}. С последним не вполне можно согласиться, иначе откуда бы возникали ошибки и «ошибочки» при воспроизведении хранимой информации. Очень простой и, как кажется, веский пример — таблица умножения: даже хорошо ее знающий иногда может ошибиться. Поскольку информация хранится на материальных носителях, которыми, по всей видимости, являются белковые молекулы, то очевидно, что накопители информации подвержены, по меньшей мере, структурным изменениям по причине изменений ионного состава среды и прочих химических и физико-химических ее свойств. При этом трудно предположить идеальное соответствие информации на переструктурированном накопителе информации исходной. Кроме того, всегда существует возможность изменения химической структуры биополимеров при изменении условий внутренней среды, защитные механизмы от чего пока что не обнаружены; репарация повреждений ДНК есть несколько иной аспект, поскольку этот процесс реализуется при копировании нуклеиновой кислоты.

Вообще же возможность потери информации, ее забывания принципиально существует, о чем давно и хорошо известно из научной литературы^{142, 288, 289, 293, 294}, но обсуждение такой возможности отложим до более детальной проработки вопроса. Кроме того, известно, хотя в научной литературе на это обратили внимание не так давно¹⁴², что иногда со временем память улучшается, и такое явление получило название «реминисценция». Данный феномен будем обсуждать также в дальнейшем, но он, определенно, может реализоваться лишь в исключительных случаях, когда каким-то образом восстановится исходная, ранее искаженная структура, на которой записана информация, что маловероятно, либо открывается ранее заблокированный доступ к этой информации, что более вероятно.

Таким образом, принципиальная возможность «вечного», ограниченно-го лишь временем жизни организма, хранения информации если и существ-

вует, то, очевидно, лишь в том случае, когда нет никаких структурных изменений в библиотеке памяти.

Кодирование и перенос информации. Разумеется, для переноса информации из внешней среды на структурные элементы, обеспечивающие память, необходимо кодирование информации.

При обсуждении вопроса о кодировании поступающей информации в качестве элементов, которые осуществляют такое кодирование, рассматриваются исключительно нейроны — первые передатчики информации и их объединения, то есть речь ведется о кодировании информации посредством разнообразных характеристик электрических импульсов⁶. Очевидно, кодирование информации, таким образом, — задача хотя и далеко не тривиальная, но и не очень сложная, учитывая множество параметров электрического сигнала. Наиболее простые из них есть амплитуда сигналов, их частота, количество импульсов в пачке и, очевидно, фаза. Помимо этого, наверняка в качестве кодовых используются другие временные характеристики — паттерны сигналов, такие как длительность пачек и интервалов между ними и многие другие, хорошо известные из радиофизики. Кроме того, поскольку нейроны, как кодировщики информационных сигналов, рассматриваются в совокупности, то важными характеристиками кода может оказаться число одновременно возбужденных нейронов с учетом их расположения в нейронном слое.

Другой аспект этой же задачи заключается в том, что, каким бы образом не происходило кодирование, при сохранении информации в памяти должно происходить перекодирование параметров электрических сигналов в параметры структуры и энергии биополимеров или других накопителей. На энергетическую сторону памяти довольно давно обращали, но «особо не обратили», внимание, комментируя, что внутри «*мембранной оболочки волокна остается только ионная взрывная дорожка возбуждения, никем еще не разгаданная и не переведенная с ясностью на физико-химический язык*»²³.

Наконец, для извлечения, что есть важнейший аспект памяти, информации должно осуществляться ее декодирование в образы, вербальные или иные, например, обонятельные либо тактильные, характеристики. Однако механизм декодирования в известных авторам этой книги работах не обсуждается вовсе. «Не до того, Федя, не до того...».

Память с «одной из ее сторон» — это запоминание — получение и накопление информации, безусловно, обеспечиваемые изменением энергии частиц, носителей памяти; вопрос о безэнергетичности собственно процесса формирования памяти обсуждается далее. Принципиальная возможность элементарных частиц участвовать в формировании памяти обсуждалась выше. Естественно, чем меньше такая частица, тем меньшую энергию

к ней необходимо приложить, чтобы она изменила собственную энергию, то есть тем проще процесс получения информации. Однако, чем меньше частица, тем легче ей утратить энергию и потерять информацию. Кроме того, чем меньше частица, тем труднее при необходимости отыскать ту, которая требуется для считывания записанной с ее помощью информации. Последняя трудность разрешима, поскольку считывание, как и запись, информации происходит не с одной частицы, которая в единственном числе не несет, как правило, никакой информации — одна буква, одна кодовая единица, — а с их набора, ансамбля. В связи с этим возникает компромисс для оптимальной величины, физического размера частиц, участвующих в формировании памяти. Судя по веским аргументам, вряд ли это не элементарные частицы¹²². При этом те же аргументы указывают, что вряд ли это элементарные частицы, по крайней мере, известные в настоящее время. Единственным веществом, являющимся элементарной частицей, которое в то же время обладает свойствами, не присущими элементарной частице, например, вступает в химические реакции, являются ионы водорода, как и всякие другие частицы — и не только элементарные — имеющие собственную энергию, значит — активность.

Исследование спектра активности ионов водорода. Рассмотрим активность и спектр активности ионов водорода (САИВ). Активность (a) вещества выражается уравнением¹⁸, которое запишем применительно к протону H^+ :

$$a(H^+)_i = \gamma(H^+)_i \times [H^+]_i, \quad (1.1)$$

где $a(H^+)_i$, $\gamma(H^+)_i$ и $[H^+]_i$, соответственно, активность, коэффициент активности и концентрация H^+ — способ выражения концентрации не имеет значения, а подстрочный индекс i указывает на то, что H^+ (вещество) неоднородны и при $i > 1$ они разного вида, характеризующегося каждый собственной активностью. Эти виды одного вещества (H^+) с разной активностью и образуют то, что мы назвали «спектр».

Заметим, что измеряемая $[H^+]$ — и концентрация любого другого вещества — есть ни что иное как сумма концентрации частиц разной активности:

$$[H^+] = \sum_i^n (H^+)_i, \quad (1.2)$$

то есть является интегральной характеристикой активности, а известный водородный показатель (pH), используемый в качестве меры $[H^+]$, — отрицательный логарифм последней величины:

$$pH = -\lg[H^+]. \quad (1.3)$$

Для дальнейшего изложения необходимо ввести еще ряд определений. Напомним, что протон — это атом водорода, от которого электрон удален на бесконечно большое расстояние. Обычно протон, как и ион водорода, обозначают символом H^+ , не делая различий между ними.

Примем способность протона принимать электрон, то есть активность, за единицу, поэтому потенциальную энергию протона будем считать равной единице и рассмотрим его в среде, содержащей другие ионы и молекулы. В локальной области H^+ находится в определенном микроокружении. Если микроокружение H^+ имеет суммарный положительный заряд, то активность H^+ , потенциальная энергия, будет больше единицы — суперпротон, а, если микроокружение имеет суммарный отрицательный заряд, то активность H^+ меньше единицы — субпротон. Очень важно, что, в первую очередь, по причине чрезвычайно сложного микроокружения, а также высокой вязкости биологических жидкостей, имеющийся заряд не может быть компенсирован с бесконечной степенью точности. Разумеется, в идеальных условиях любой заряд притягивает заряд противоположного знака с силой, определяемой законом Кулона. В таких условиях кулоновские взаимодействия обеспечивают нейтрализацию заряда и приводят к формированию электрически нейтральных структур. Иное дело электродинамические события, происходящие в клетке или во внеклеточной среде. Компенсирующие заряд ионы и, особенно, ионные фрагменты биополимерных молекул сопряжены с ионами, имеющими заряд противоположного знака, а те, в свою очередь, с фрагментами со знаком заряда, совпадающим с первыми и так далее.

Таким образом, вокруг произвольно выбранного иона, в частности H^+ , всегда имеется некоторый избыточный положительный или отрицательный заряд. Этот, выбранный произвольно заряд, условно можно считать источником возникновения электрической неоднородности; в результате такой неоднородности появляется поле H^+ , характеризующееся градиентом заряда. В еще более плотной среде клеточных мембран локальная неоднородность и высокая вязкость обретают законченность, формируя ансамбль отрицательных зарядов на внутренней стороне мембраны и положительных зарядов — на внешней¹⁷⁰. Однако установить источник заряда, безусловно, невозможно и он оказывается размытым по полю. Идея об «обобществлении» (далее без кавычек) электронов и утрате ими связи с индивидуальными атомами высказана довольно давно²¹¹. Ничто не мешает H^+ реализовать аналогичное поведение, поскольку, как электроны, так и H^+ , в смысле протоны, суть элементарные частицы. В таком случае метафорично можно говорить об электронно-протонном газе, насыщающем живую материю. С другой стороны, электроны, являясь переносчиками зарядов во многих хи-

мических системах, в биологических жидкостях уступают эту роль H^+ , чему имеются экспериментальные доказательства¹⁴⁵.

Вследствие существования градиентов заряда, H^+ мигрирует физически, как механически, так и энергетически, в оптимальное состояние и, имея по соседству другой H^+ , расположенный дальше от ближнего локального микроокружения, передает этому соседнему иону определенную часть той энергии, которая инициировала перемещение H^+ в исходном микроокружении. Последний ион, поступит аналогичным образом с H^+ , находящимся еще дальше от активировавшего перемещение микроокружения и так далее. Физическую эволюцию H^+ осуществляют в окружении противоположных, и суммарный заряд биологических жидкостей равен нулю. Но, аналогично тому, как число «ноль» можно получить бесконечным набором сумм положительных и отрицательных чисел, так и суммарный нулевой заряд может складываться из бесконечного набора зарядов, не обязательно целочисленных, положительно и отрицательно заряженных ионов.

Попутно, но не между прочим, поскольку это положение важно для дальнейшего изложения, заметим, что числа, как и энергия, есть квантовые единицы.

В общем случае, перемещение H^+ таким или аналогичным образом носит название «эстафетной передачи протона»¹⁹. Примеры эстафетной передачи H^+ можно найти в работах^{51, 137, 149, 183}. Важно, что по такому пути происходит перемещение не протона, как его понимают физики и большинство химиков, а именно H^+ , активность которого — исходного H^+ — и будет определять активность H^+ , принявшего эстафету. Более того, принцип эстафетной передачи обсуждается в реализации механизмов переноса ионов калия через мембрану⁸², функционирования примембранных ферментативных каскадов¹⁸⁴ и даже дрейфа мембранных пор⁵¹. То есть эстафетная передача в случае частиц достаточно малого размера, по-видимому, не является уникальным явлением, и перемещение H^+ вполне может осуществляться при ее посредстве.

Следовательно, посредством эволюций H^+ способны переносить энергию и вместе с ней информацию. То есть H^+ в сопряжении с электронами являются третьими передатчиками и вторыми накопителями информации. При этом важно не только количество H^+ , но и их качество — активность. Так, наличие полос Маха — усиление контрастности на границах полос — при восприятии света разной интенсивности (кстати, свет — электронный спектр, а электроны сопряжены с H^+), согласно интерпретации¹⁷⁸, указывает на имеющее место в зрительном анализаторе дифференцирование в математическом смысле. Следовательно, важно не одно лишь количество, но

и соотношение, разность согласно¹³⁸, то есть форма спектра каких-то элементов, которые обеспечивают восприятие.

Почему именно H^+ , а не иные ионы? Разумеется, прежде всего, по той причине, и это свойство уникальное, подразумеваемое, но не обсуждаемое, что они участвуют во всех без исключения биохимических процессах — реакциях либо непосредственно, присоединяясь или отщепляясь в результате реакций, либо опосредованно, определяя кислотно-основное состояние среды (ph). Последнее, в свою очередь, влияет на скорость ферментативных и неферментативных процессов или даже лимитирует их: в живом организме нет достаточно больших апротонных областей. Кроме того, участие H^+ в формировании активного центра большинства, если не всех, ферментов есть общеизвестный факт. Проще говоря: водород — основа жизни.

Вторая причина — очевидное наличие в биологической среде в областях, по объему близким к локальным, H^+ не одного вида — разной активности — собственно САИВ. Свойство, отнюдь не уникальное, но также не обсуждавшееся. Иными словами, одно и то же значение суммарной активности H^+ в среде, практически определяемой как концентрация и в случае H^+ , представляемой ее отрицательным логарифмом (ph), можно получить разным набором H^+ различного вида, аналогично тому, как одну и ту же сумму можно получить разным набором слагаемых. Размеры областей, в которых допустимо вести речь о САИВ как о спектре сосуществующих H^+ , превосходят размеры локальных областей, но никак не более объема клетки. Ясно, что, например, в желудке вскоре после выделения в него соляной кислоты и, например, в головном мозге, независимо от процессов в нем происходящих, если это не патология, активность H^+ различна. Однако очевидного взаимодействия между H^+ , находящимися в желудке и в мозге, не происходит, и рассматривать их как составляющие спектра бессмысленно. Формированию поля H^+ из них, входящих в состав двух соседних клеток, препятствует, как минимум, наличие клеточных мембран, лишая возможности H^+ взаимодействовать непрерывно, то есть возможности образования поля, по определению. Более того, даже в пределах одной клетки существование клеточных компартментов может стать значительным — насколько — отдельный вопрос, требующий особого рассмотрения — препятствием для образования поля H^+ и САИВ. Подходы к оценке параметров САИВ разработаны^{68, 76} и рассмотрены некоторые аспекты биорегулирования посредством поля^{61, 71, 72}.

Следующая в ряду рассматриваемых причина — способность H^+ изменять свое местоположение, координаты без потери энергии есть туннельный эффект. Туннельный эффект²⁴³ совершенно очевиден в случае электронов^{102, 145}, важен в биологических процессах³³⁴ и имеет место в живых



Учрежденческий слесарь, прячась после обеда от своего начальника, забрел в зал заседаний ученого совета и заснул в заднем ряду. А через полчаса началась защита диссертации по биологии. Слесарь проснулся от громкого голоса соискателя и, затаившись, слушал. Особенно часто употреблялось слово «кроссинговер». Дома слесарь возмущался: «Все про гровер талдычат! А у меня в слесарке этих шайб полное ведро...» Мораль: не слушай докладов по чужой научной специальности. Это только во вред.

системах²⁹⁸. Туннелирование рассматривается как один из аспектов биологической физики^{29, 51, 82, 183, 223}. В работах^{82, 292, 334} говорится о туннелировании ядер, а в работах^{19, 51, 183, 223, 323} — конкретно протонов, которые по сравнению с более тяжелыми атомами в этом смысле являются уникальными⁵¹. Впрочем, обсуждают туннелирование и ионов кальция²⁹¹. Действительно, масса протона — и H^+ , или попросту атома водорода; в этом смысле все они практически идентичны — в несколько десятков раз меньше других важнейших атомов: натрия и калия (см. таблицу Менделеева). Заметим, что туннельный эффект гипотетически рассматривался и для объяснения интуиции¹²².

Суть туннельного перехода заключается в следующем. Для протекания реакции частицам, участвующим в ней, необходимо преодолеть так называемый *потенциальный барьер*, высота которого определяется энергией, затрачиваемой на его преодоление. На основании изучения, в частности, температурных зависимостей многих химических реакций сделан вывод о том, что электроны обладают способностью участвовать в них без получения дополнительной энергии, то есть, не преодолевая энергетический барьер, а проходя под ним *по туннелю*. Причина — исключительная малые размеры электрона. Разумеется, не все и даже не очень многие реакции протекают по туннельному механизму. Кстати, вопрос, что отличает реакции, в которых может реализоваться туннелирование, похоже, не ставился... Очевидно, протон, H^+ согласно нашей терминологии, хотя его масса примерно в 2000 раз больше массы электрона, все еще при определенных условиях сохраняет способность участвовать в реакциях, проходя под энергетическим барьером по туннелю, на что имеются экспериментальные обоснования. Если туннелирование H^+ действительно происходит, то он (H^+) осуществляет безэнергетический переход, который, как считают¹⁶¹, необходим, по крайней мере, для процесса мышления. Кстати, исследованию процессов мышления посвящена предыдущая книга²⁵² серии «ЖМФН», к которой относится и настоящая работа.

Отнюдь не строгая локализация данного H^+ на конкретной белковой или иной молекуле — обобществление в поле — может оказаться полезным свойством для протекания процессов, обеспечивающих память. Наконец, не следует забывать и возможности эстафетной передачи протона (H^+) в биохимических реакциях.

Обсуждение свойств H^+ с точки зрения формирования ими поля и САИВ понадобилось для того, чтобы обеспечить развиваемой нами концепции фундаментальную поддержку. Тем не менее, не все уникальные свойства могут быть необходимы для реализации памяти. Такого рода оговорка только что была сделана в отношении обобществления H^+ в поле.

Строго говоря, это свойство не является уникальным для H^+ , о чем упоминалось: попросту H^+ , ввиду малой массы, могут быть вслед за электронами наиболее склонны к обобществлению по сравнению с более крупными ионами. То же относится к эстафетной передаче H^+ . Что касается туннелирования, то оно, хотя и уникальное среди прочих ионов свойство H^+ , но не строго обходимое для функционирования памяти.

По-видимому, обобществление H^+ и эстафетная передача могут быть полезны при формировании библиотеки памяти, а также для более быстрого извлечения информации из нее. Туннельный же эффект с его безэнергетичностью может быть необходим в процессах решения задач, то есть для реализации мыслительного процесса, тогда как для функционирования собственно памяти ни он, ни два первых свойства могут и не иметь никакого или, по крайней мере, принципиального значения.

Пожалуй, единственная уникальность H^+ , как биохимического агента, и привела к выделению его из среды других ионов в качестве важнейшего элемента памяти. Способностью к формированию спектра активности в той же мере, что и H^+ , наделены и другие ионы, но малая масса последнего делает его уникальным в их ряду. Кроме того, по той же причине H^+ получает дополнительные преимущества в процессах обобществления, эстафетной передачи и туннелирования.

Спектр активности ионов водорода и формирование информационного кода. Рассмотрев некоторые свойства H^+ с позиций, указанных в предыдущем параграфе, перейдем к более предметному и неоднозначному вопросу. Могут ли H^+ , при том что они образуют САИВ, формировать информационный код, необходимый для реализации механизмов памяти? Под информационным кодом будем понимать способ, посредством которого в головном мозге обеспечивается хранение образов: зрительной, слуховой, вкусовой, обонятельной, осязательной и любой другой информации.

В авторских работах^{61–76} поставлена задача выявления универсального физиологического регулятора. Анализ литературных данных позволил сделать вывод о том, что таковым являются именно H^+ ввиду наличия САИВ. На основании этого теоретического вывода экспериментально показана роль САИВ в регулировании активности ферментов и функционировании клеток, намечены подходы к оценке параметров САИВ, а также исследованы причины альтернативного выбора клетками предпочтительного внутриклеточного катиона: натрия или калия. Поскольку регулирование само по себе предполагает использование информации, постольку управление состоянием биологических систем посредством САИВ указывает на то, что его параметры заключают в себе определенную информацию. Весьма вероятно, что те же структуры, которые несут в себе информацию, необходи-

мую для биологического регулирования, могут быть использованы как накопители иной информации, обеспечивая тем самым память в смысле доминанты настоящей главы. Если сделанное предположение справедливо, то в возможности информационной двойственности²⁵² САИВ прослеживается явная аналогия между последним и ДНК, на структуре которой, помимо информации о механизмах управления организмом — саморегулирования в процессах его роста, развития и функционирования, записана информация об организме в целом. То есть на ДНК кодирована не только информация об элементах, которые могут понадобиться организму для функционирования, но и сведения о том, каким образом осуществить рост и развитие организма из одной-двух клеток, а также о том, что именно, какие морфологические структуры растут и развиваются — суть генетическая память (см. гл. 3). Последняя информация — память об образах, принципиально таких же, как и те образы, которые используются для формирования памяти в обсуждаемом смысле^{9, 22, 178}.

Повторимся, что анализируя вопрос о возможных носителях информации, необходимой для принятия решения человеком, Н. И. Кобозев¹²² пришел к следующему выводу: известные физические частицы не подчиняются тем законам статистики, которые могли бы обеспечить наблюдаемый результат. На этом основании им сделан вывод о необходимости поиска других, неизвестных физике, частиц формиионной энергии. Данное положение автор сформулировал в конце 60-х гг. — монография издана в 1971 г. — и с того времени в этом вопросе, насколько нам известно, ничего не изменилось: новые элементарные частицы если и обнаружены, то вряд ли стали претендентами на роль носителей информации в головном мозге. Будь это иначе, соответствующие сообщения не заставили бы себя ждать. Оставим в стороне один из аспектов, на основании которых постулировано существование неизвестных физике частиц, обеспечивающих мозговую деятельность, а именно то, что рассматривались процессы в мозге *исключительно человека*. Принципиальная уникальность последнего по этому поводу в том смысле обсуждается, словно природа использовала для функционирования головного мозга человека специально сконструированные лишь для этих целей частицы. Вообще говоря, это противоречит принципу эволюционной консервативности.

Тем не менее, по-прежнему выдвигаются гипотезы и на их базе строятся теории, в которых основным постулатом является наличие специальных физических частиц, обеспечивающих в головном мозге человека предельно низкую энергетичность процессов получения, передачи и хранения информации — информационных процессов. Однако, прежде чем искать гипотетические частицы с целью построения правдоподобной модели памяти,

логично попытаться применить другую статистику, имея в виду не функцию описания, а закономерности поведения, поскольку частицы даны природой, а статистика придумана человеком, и рассмотреть возможность участия в низкоэнергетических процессах известных частиц, которые могли бы обеспечить высшую нервную деятельность вообще, человека, в частности, и памяти конкретно.

Прежде всего, это касается принципиальной возможности обеспечить информационный код посредством наличных H^+ , учитывая их уникальность и разную активность — САИВ, то есть то, что они не одного вида. Первым вопросом является достаточность H^+ для построения информационного кода. Сформулируем его следующим образом: *достаточно ли имеющихся в клетке H^+ для того, чтобы с их помощью могла быть записана весьма объемная информация?*

Считается, что H^+ в клетке мало. Однако это не совсем так, а вернее и совсем не так. Оценим их количество. Граничные радиусы клеток в предположении их сферической формы, взятые из¹⁷⁰, составляют от 0,001 до 0,020 мм (1 — 200 мкм или 10^{-4} — $2 \cdot 10^{-3}$ см). По их значениям рассчитаны граничные объемы клеток, которые составили от 10^{-11} до 10^{-7} см³ (10^{-11} — 10^{-7} мл) или от 10^{-14} до 10^{-10} л. Концентрация H^+ в клетках — хорошо известная величина и приводится во многих источниках. Положив ее равной 10^{-7} моль/л, легко подсчитать, что количество H^+ в клетке составляет $1,8 \cdot 10^4$ — $4,0 \cdot 10^7$ единиц. Полученный результат согласуется с числом H^+ в клетке *E. coli*²⁹⁵ и других бактериальных клетках: несколько десятков H^+ на клетку⁹⁸, объем которых в сотни и более раз меньше, чем клетки человека. Интересно бы, конечно, оценить количество H^+ в клетках глии, но, к сожалению, их размеры найти не удалось.

Тем не менее, погрешности расчета на 1—2 порядка в данном случае не принципиальны, и число H^+ в клетке можно принять в количестве от тысяч до миллионов единиц и, возможно, более. Даже с учетом того, что не все они могут формировать единое поле, хотя бы по причине наличия внутриклеточных компартментов, такого количества кодирующих элементов, пожалуй, вполне достаточно для записи информации очень большого объема. Для сравнения, всего 4 вида нуклеотидов, структурных элементов ДНК, содержащихся в клетках млекопитающих в количестве лишь примерно на 3-6 порядков¹²⁶ превосходящем число H^+ , не только обеспечивают всю информацию об организме, но и управляют ею в процессах развития и функционирования. При этом генетическая информация очень сильно вырождена, то есть одна и та же информация может быть закодирована разным набором нуклеотидов и зачастую таких наборов больше двух¹³⁶. Кроме того, функционирование клеток одного вида обеспечивается весьма незначи-

тельной частью, не более 10 % и даже, может быть, меньше¹² хранимой в ДНК информации, тогда как остальная ее часть не востребуется никогда.

Следовательно, содержание H^+ в клетке — число букв в кассе, но не их число в алфавите — вполне достаточно для записи информации значительного объема. Считают, что поскольку мозг человека состоит примерно из 14 миллиардов (10^9) нейронов, то он может вместить около 10^{18} бит информации⁹⁹. Легко посчитать, что на один нейрон приходится информации в количестве порядка 10^9 бит. Уже три вида H^+ , три буквы алфавита, разной активности в количестве всего тысяча штук обеспечивают такой же объем информации: $(10^3)^3$. Вот и все. Единственное, что следует добавить — то, что возможность использования информационной биологической системой других, помимо H^+ , ионов в дальнейшем изложении обсуждаться не будет, поскольку нами, вслед за биологическими системами, с целью обеспечения памяти выбраны H^+ , преимущества которых в данном аспекте достаточно убедительны.

Далее обсудим техническую сторону записи информации посредством H^+ разной активности. В принципе информацию сколь угодно большого объема можно записать на любой длины отрезке прямой линии. Писатель *Харуки Мураками*¹⁵² обсуждает, очевидно, известный, но не встречавшийся нам ни в научной, ни в научно-популярной литературе способ подобного кодирования информации, и предлагает воспользоваться с этой целью обыкновенной зубочисткой. Суть способа заключается в следующем. Каждой букве — цифре, символу в смысле кодовой единицы — присваивается номер в виде двухразрядного числа, если количество символов велико, то можно использовать и трехразрядные числа, начиная от 01. После перекодировки весь текст представляется в виде одного числа, перед которым приписывается 0,... (ноль, запятая...). Получается десятичное число, являющейся долей единицы. В результате точка на отрезке единичной длины соответствует заданному числу, а информация, сколь бы большой она не была, оказывается закодированной. Назовем этот принцип кодирования — «*принцип зубочистки*» — далее без кавычек. Единственным — но существенным! — ограничением на запись информации по принципу зубочистки является точность, с которой определена точка, посредством которой записано число, заключающее закодированную информацию. В рамках данной модели в настоящее время нет возможности оценить точность «нанесения точки на зубочистке». Однако, если информационный код организован по принципу зубочистки, то становится понятным, например, почему информация большего объема запоминается хуже, нежели меньшего: с увеличением количества цифр в числе точность нанесения метки на зубочистке уменьшается.

Обладая разной активностью — наличие САИВ — H^+ могут обеспечивать код по принципу зубочистки. Та или иная активность H^+ без сложности может быть соотнесена с определенным символом, и, таким образом, техническая возможность записи информации ограничена способностью носителей одновременно воспринимать конечное число H^+ , посредством которых информация кодирована. Действительно, запоминание и вспоминание происходит не путем записи единичных элементарных символов, но путем запоминания и вспоминания элементов — блоков информации. Иными словами, ограничением на память является длина вектора, или, если угодно, матрица размером $(I \times n)$, который вектор содержит информацию в виде отпечатка символов, представленных H^+ разной активности, поддерживаемой структурой биологических молекул, в первую очередь, очевидно, полимерных, и клеточным микроокружением.

Заметим, что активность есть величина дискретная; впрочем, числа натурального ряда тоже квантовые единицы. Дискретность активности H^+ , как и любого другого иона, определяется разрешенностью для электрона находиться на одном из строго заданных расстояний — орбиталях, число которых бесконечно, от сопряженного с электроном иона — так называемые, главные квантовые числа⁸⁴. С таких позиций точность записи информации определяется тем, насколько верно тот или иной информационный символ соотнесен с определенной активностью. Исходя из того же, квантуемость информации, энергии — и, возможно, энтропии — обеспечивается дискретностью, квантуемостью активности H^+ .

Таким образом, предлагаемая концептуальная модель памяти, которая оказывается ионно-молекулярной, базируется на двух постулатах:

- в качестве символов информационного кода используются H^+ разной активности;
- собственно информационный код организован по принципу зубочистки.

Возможность физической реализации каждого из постулатов должна быть дополнительно экспериментально аргументирована. Заметим, что если вместо H^+ использовать любые другие ионы, способные формировать поле (см. выше), то, пожалуй, только принцип зубочистки позволяет реализовать блоковое — не буквенное, не символьное в указанном смысле — запоминание и вспоминание.

С другой стороны, для реализации принципа зубочистки достаточно ионов одной природы. Ионы разной природы — ионы H^+ или ионы калия, или ионы натрия, или другие ионы — не следует путать с ионами разного вида, которые в пределах ионов одной природы различаются величиной активности. Рассмотрим, например, следующий код. В качестве букв-

символов используем ионы водорода, калия, натрия, может быть, кальция. Эти ионы, образуя связный текст, последовательно подвешиваются на белковую или полинуклеотидную молекулу — белковая или нуклеотидная соль, имеющая ту или иную степень обобществления определенных ионов в зависимости от состояния среды. Как видно, принцип тот же, что и в случае ДНК. Но здесь, если запись текста и может быть блоковой в случае, когда условия среды изменяются практически мгновенно, то считывание должно быть, как и при декодировании информации с ДНК, исключительно по буквам. Кроме того, по крайней мере в условиях функционирования клеток в организме последовательность букв (слово, текст) так или иначе должна определяться состоянием среды, то есть концентрацией H^+ и других ионов. В общем, все равно приходим к активности H^+ и далее к САИВ, хотя и с иной стороны. Опять же принцип эволюционной консервативности.

Спектр активности ионов водорода в процессах переноса, хранения и перекодирования информации. Прежде всего, остановимся на вопросе об энергетических затратах, необходимых для записи информации. Считают¹⁹⁴, что время запоминания информации (t) связано с энергией через величину глубины потенциальной ямы (ΔU), которую нужно преодолеть для записи одного бита информации:

$$\ln t = \Delta U / kT + C, \quad (1.4)$$

где T — абсолютная температура запоминающего устройства; k — постоянная Больцмана; C — константа, характерная для выбранного запоминающего устройства, и добавляют, что при фиксированном времени запоминания информации можно привести в соответствие ее величины и энергии. В таком случае оказывается, что от температуры зависит не только время запоминания информации, но и количество записанной информации. Легко убедиться, что количество информации, например, содержащееся в читаемом сейчас абзаце, абсолютно не зависит от того, при какой температуре происходит чтение, и, следовательно, не зависит от температуры, при которой была сделана запись. Аналогичную антитезу можно найти и в литературе. Понятно, что приведенное уравнение не справедливо даже для механических систем записи информации, не говоря уж о биологических системах.

Более того, как уже отмечалось¹²², функционирование мозга как системы принятия решений предполагает безэнергетичность процессов мышления, которые невозможны без памяти. Во всяком случае отсутствуют экспериментальные данные, которые бы указывали на то, что во время обучения и/или решения задач, изменяется, например, потребление мозгом кислорода или какой иной показатель, отражающий уровень расходования или потребления энергии. В то же время САИВ может обеспечить способ-

ность передачи информации на любое, в пределах поля, расстояние — эстафетная передача, обобществление H^+ — без энергетических затрат. Не требуется никаких дополнительных постулатов и лемм, если принять, что энергия, затрачиваемая на мыслительную деятельность, вырабатывается обычным образом, как и во всем организме^{42, 43}. Однако, по завершении мыслительного акта, она восстанавливается полностью или почти полностью: изменение энергии не регистрируется имеющимися в настоящее время методами. То есть механизм мыслительного процесса реализуется с коэффициентом полезного действия близким к 100 %. Иными словами, весьма быстрый процесс записи информации по окончании приводит к выделению энергии в том же количестве, которое потребовалось на собственно запись. В итоге изменение энергии не наблюдается, но система в процессе поступления в нее информации находится в динамическом равновесии в энергетическом смысле. Пожалуй, только в таком контексте можно говорить о безэнергетичности мышления. Тем не менее, и в таком случае подразумевается источник энергии, расположенный вне системы записи информации. Получение информации — изменение энергетического состояния упорядоченной системы — сопровождается, как правило, поглощением энергии, что, впрочем, не означает обязательное увеличение энтропии⁷³. Наоборот, в результате поступления информации в мозг в его системе увеличивается упорядоченность, уменьшается неопределенность и энтропия также уменьшается⁹⁹. Заметим, что в процессе переработки информации — суть мышления — энергия, имеющаяся в наличии, скорее всего, перераспределяется. Поэтому и не наблюдают расходования энергии в процессе мышления и говорят о безэнергетичности, или безэнтропийности, процесса.

При наличии САИВ поле самого по себе H^+ является безэнергетичным переносчиком информации. Важнейшая, если не практически единственная характеристика любого поля, — его потенциал (μ). В случае поля, образуемого H^+ , запишем^{18, 284, 285}:

$$\mu H^+ = dG/d[H^+], \quad (1.5)$$

где G — свободная энергия.

Величина $[H^+]$ легко может быть заменена на $a(H^+)$ — см. (1.1), (1.2). С другой стороны, μ определяется при постоянных давлении, энтропии и всех концентраций кроме концентрации одного, x -го, пусть это будет H^+ , компонента, как

$$\mu H^+ = H^{+0} + RT \times \ln[a(H^+)], \quad (1.6)$$

где H^{+0} — стандартная величина $\mu(H^+)$ при $a(H^+) = 1$; T — абсолютная температура; R — универсальная газовая постоянная.

Как видно из (1.5), (1.6), изменение $\mu(H^+)$ происходит при изменении $[H^+]$ и не зависит от расстояния, на котором это изменение произошло. Следовательно, изменение $[H^+]$, например, на границе поля или даже за его пределами вблизи поля, приведет к изменению $\mu(H^+)$, параметров поля, то есть параметров САИВ и информации. Очевидно для этого, см. (1.5), не требуется внешняя энергия, хотя свободная энергия, разумеется, изменяется. Собственно, такое распространение информации и есть результат эстафетной передачи и обобществления H^+ . Таким образом, может быть реализован простейший способ переноса информации без энергетических затрат при посредстве поля H^+ от области, непосредственно к полю прилегающей и в пределах поля. Это последняя стадия переноса информации, после которой она попадает в библиотеку памяти. Перенос информации в пределах библиотеки принципиально качественно не отличается от только что описанного, но он должен быть дополнен разнообразными ограничениями на доступ информации в тот или иной отдел библиотеки и собственно в библиотеку, о чем позже.

Теперь рассмотрим предыдущий шаг доставки информации согласно обсуждаемой модели: изменение $[H^+]$ на границе поля или в непосредственной близости от него. И этот процесс не должен быть выраженно энергетичным, а лучше — и вовсе не требовать энергозатрат. Как не трудно догадаться, безэнергетичная доставка дополнительных H^+ к полю может осуществляться по туннелю, используя туннельный эффект. Впрочем, не исключено, что информация определяется как результат и появления новых H^+ в поле и удаления какого-то их количества за пределы поля. В обоих случаях туннельный эффект может быть реализован. Если H^+ могут «воспользоваться» туннельным эффектом, то это значит, что их перенос, на который в общем случае необходима энергия, не зависит от глубины потенциальной ямы и обратной ей величины потенциального барьера, которые являются препятствиями на пути поступления информации, и температуры. Качество функционирования мозга в известных пределах от температуры не зависит. Вот здесь и возникает «другая» статистика. Частица — электрон или протон — с «никакой», нулевой энергией, участвуя в реакциях переноса по туннельному механизму, нарушает тем самым принцип Онзагера о взаимном соответствии потоков и сил. Согласно этому принципу, в условиях стационарности, а ситуация, когда продукция энергии равна по величине ее расходу и есть стационарность, силы вызывают потоки; наоборот, потоки требуют сил. В данном же случае поток есть, силы нет. Во всяком случае, не известна какая-либо физическая сила, вызывающая поток информации. Вероятно, при этом потоки распределены не статистически, а как и в случае туннельного эффекта (см. выше) по принципу «либо-

либо» — принцип билибо: в отсутствие силы поток может быть либо не быть. Такой поток или потоки могут обеспечивать не только память, но и мыслительную деятельность, тогда как наличие силы их не гарантирует. Вот уж действительно, «сила есть ума не надо»... Извините за повтор уже выше сказанного...

Однако, вернемся непосредственно к информации на поле H^+ . Помимо данной библиотеки памяти поступающая информация также может быть записана на другом поле H^+ со своими параметрами САИВ, расположенном вне данной библиотеки памяти. В таком случае, информация копируется с исходной матрицы — другое поле — на данную. Ситуация аналогична той, которая не обсуждается сторонниками внеземного зарождения жизни: откуда жизнь появилась в космосе?

Разумеется, должен быть сделан первый шаг, приводящий к изменению параметров САИВ и «другого поля», и всех предыдущих и последующих из тех, что могут находиться на пути доставки информации от передатчика к накопителю, на ее пути в библиотеку памяти. Таким первым шагом с позиций поступления информации в виде параметров поля H^+ , «запусковым» импульсом является поступающий с нейрона электрический ток. Этот сигнал в общем случае не единичный импульс, а по физической природе суть поток электронов. Его параметрами и закодирована информация от внешнего относительно системы записи источника. Этот ток индуцирован внешней, относительно нейрона, силой и в дальнейшем для эволюции потока электронов наличие силы не является необходимым условием. Перекодирование параметров электрического сигнала, передаваемого посредством движения электронов, легко может происходить на H^+ в виде своеобразного отпечатка на них, фиксируемого определенными параметрами САИВ.

Таким образом, путь передачи информации, несомой электрическим сигналом, в библиотеку памяти может быть представлен схемой на рис. 1.2. Электрический сигнал от нейрона передается посредством электронов на H^+ , расположенные вне поля H^+ , в результате чего происходит изменение активности H^+ , перекодирование информации; затем энергия H^+ — алгебраически, плюс/минус, — расположенных вне поля H^+ , передается в пределы поля H^+ или близко к нему. Возможен физический перенос по туннельному механизму; далее происходит распространение энергии получивших энергию единичных H^+ поля на все поле H^+ ; затем следует изменение параметров САИВ и передача информации — характеристик параметров САИВ — по системе полей H^+ : изменение параметров САИВ полей H^+ .

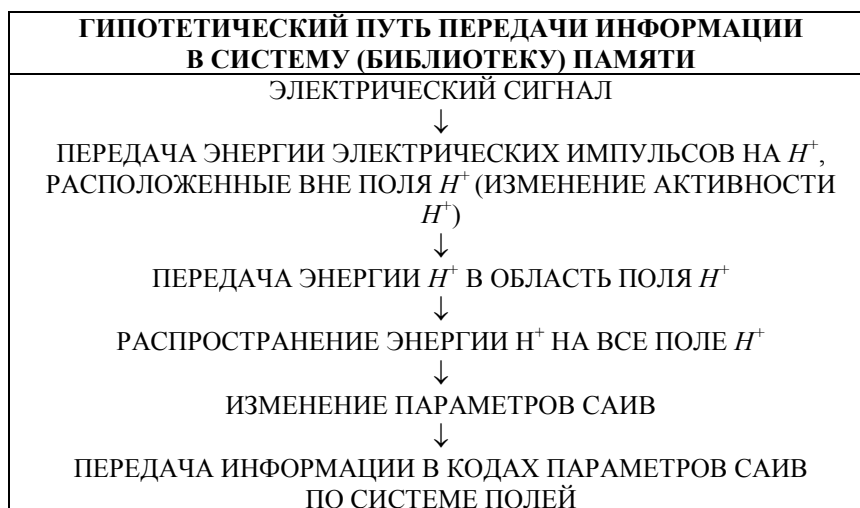
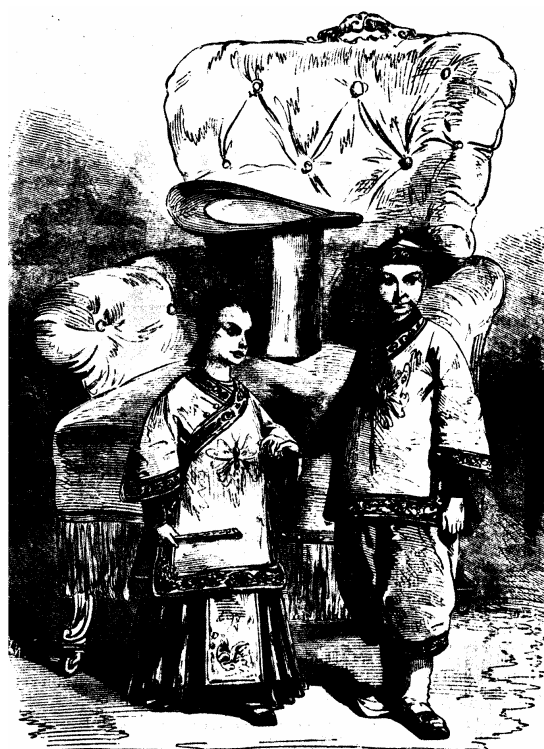


Рис. 1.2. Схема передачи информации, несомой электрическим сигналом, в библиотеку памяти

Как видно из приведенной схемы, ни один из этапов передачи информации не требует поступления или производства энергии. Энергия от внешнего или внутреннего источника на подступах к головному мозгу или даже достаточно далеко от него, но, во всяком случае, за его пределами; эта энергия трансформируется в энергию химических реакций и электрического тока, производимого нейроном, а далее передается без потерь, неся информацию в библиотеку памяти. Из этого положения следует важный вывод: энергия тратится не на память — запоминание или мышление, — а на восприятие информации. Поскольку восприятие, по крайней мере от внешних источников, происходит на периферии, то, следовательно, обнаружить энергетические затраты в процессах обучения и аналогичных, как ни парадоксально, можно исключительно на периферии. Вот он, энергетический парадокс памяти! Действительно, в процессе запоминания устают органы восприятия: глаза, уши, язык, нос, кожа, но не мозг, изменяется пульс, скорость кровотока, кровяное давление, температура тела и пр., причем не исключительно в мозге и менее всего в нем. Кроме того, в результате запоминания, обучения или другой работы, которую принято называть умственной, появляется ощущение общей физической усталости. А это означает, что энергетику памяти обеспечивает периферия, а возникший было парадокс памяти вовсе не парадокс.



Искать в темной комнате черного кота, которого там нет — восточный символ безуспешных научных упражнений. И в европейской традиции животные и мистические создания часто используются людьми науки: борелевская обезьяна, демон Максвелла, парадокс джинна, чей-то кот, вроде как Шредингера... Это в характере человека — всю вину за собственную неумелость сваливать на безвинных животных и виртуальных жителей преисподней.

1.4. Структура памяти

Рассматривая структуру памяти, будем иметь в виду не только общие положения безотносительно физической природы ее носителей, но и возможности поля H^+ в качестве такового. Однако оговоримся, что обсуждению подлежат явления, происходящие вслед за преобразованием нейронных энергий электрических импульсов в энергию химических и физико-химических связей (рис. 1.2). Предыдущее события достаточно хорошо изучены и обсуждаются во множестве работ, в том числе цитированных выше.

Фильтрация информации в процессе памяти. Пропускная способность. Собственно фильтр, в классическом понимании информационных явлений, представляет собой некое устройство, в котором происходит отбор полезной информации. Под «полезной» будем понимать такую информацию, которая может быть использована, но не обязательно используется для принятия решений. Кроме того, пропущенная информация может быть индифферентной, ее запоминание происходит «на всякий случай», «про запас» — потенциально полезная информация. Отбор информации обоих видов происходит по определенным правилам. В общем случае фильтры работают как на входе — входные фильтры, так и на последующих этапах — аналитические фильтры обработки информации. В рассматриваемом случае входной информацией является переданная от нейрона информация, закодированная электрическими импульсами, на структуры, которые назовем «молекулярные», несмотря на то, что движение электронов в нейронных сетях тоже не обходится без молекул. Разумеется, эти молекулы, белки являются элементами специальных клеток — глии. Так мы условились.

Простейшие входные фильтры подразделяются в соответствии с принципами, согласно которым они действуют: пороговые, градиентные, частотные и запредельные. Пороговые фильтры не допускают в систему сигналы величины меньше или больше заданной. Градиентные фильтры анализируют изменение мощности сигнала и отсекают — по заданной величине — слабые сигналы, поступающие вслед за сильными, или, наоборот, сильные сигналы, идущие вслед за слабыми; такие фильтры обладают способностью адаптироваться как в процессе воздействия постоянного по мощности сигнала, так и спустя определенное время после изменения его мощности, и пропускать ранее запрещенные. Например, сильный свет — слабый свет, громкий звук — тихий звук и наоборот. Частотные фильтры настроены на то, чтобы сигналы, поступающие с частотой больше заданной, не проникали в систему. Так, центральная нервная система может воспринимать раздражения с периодом не более 0,1 с, причем импульсы, идущие от нее к исполнительным элементам, проходят с такой же частотой⁹⁹.

Кроме того, предельные величины, по которым работают частотные фильтры, взаимосвязаны с таковыми для градиентных или запредельных фильтров: чем меньше одни, тем больше другие, и наоборот. Наконец, запредельные фильтры — их, возможно, два вида — останавливают вход информации, когда она избыточна; величина опять же задана по количеству либо по разнообразию; такие фильтры начинают действовать спустя определенное время после начала поступления информации.

Все перечисленные фильтры, очевидно, работают на входе в нейрон, тогда как функционирование входных фильтров молекулярных информационных систем скорее всего основано на ином принципе. По определению, они должны пропускать всю информацию, которая поступает от нейрона. Нужно думать, что входные фильтры молекулярных систем не только оценивают информацию на предмет ее полезности или индифферентности, но и как фильтры любого более высокого уровня классифицируют ее. Таким образом, они являются не только анализаторами, воспринимающими и перекодирующими информацию, поскольку уже на уровне этих фильтров энергия электрического импульса преобразуется в энергию химических и физико-химических связей — нет сведений об электрической активности клеток аналогичной нейрональной, — но также и селекторами, распределяющими информацию. Такой фильтр назовем *классифицирующим*.

Классифицирующие фильтры не просто пропускают или не пропускают информацию, но и одновременно — когда пропускают — классифицируют ее, распределяя по соответствующим отделам библиотеки памяти. Собственно, задача отбора потенциально полезной информации уже решена нейронами и запрет на ее поступление в библиотеку памяти, вероятно, явление исключительное. То есть классифицирующие фильтры не только принимают потенциально полезную информацию, но и сортируют ее, определяя, куда именно она должна поступить.

Очевидно, работа такого фильтра основана на следующих принципах. Любой сигнал является переносчиком энергии. Эта энергия передается на молекулярные структуры, которые в результате определенным образом изменяются. Такие изменения затрагивают прежде всего конформацию белковых молекул, которые, наряду с ионным окружением, определяют параметры поля H^+ . Собственно сигнал, поток электронов, может быть поставлен в соответствие ионному полю, в первую очередь полю H^+ , параметры которого изменяются таким образом, что оказываются комплиментарными параметрам сигнала. Простейший классификатор, как и собственно фильтр, может осуществлять свою функцию по величине потенциала поля. Напомним, потенциал является его важнейшей характеристикой (1.6). Заметим также, что значение потенциала не является единственным в том

случае, когда в пределах поля или вблизи него изменяется концентрация, активность не одного, а нескольких H^+ .

Подобные фильтры также могут быть пороговыми, градиентными, частотными и запредельными. Однако в том случае, когда информация не допускается в пределы данного поля, она может быть записана на другом поле или других полях. Потенциал и иные параметры, например, величины локальных градиентов и их частотные характеристики, полей библиотеки памяти представляют собой своеобразные матрицы, на основании сопоставления с которыми и распределяется информация. По-видимому, существует не одна матрица с одинаковыми или весьма близкими параметрами, что означает их тиражирование, не исключено и с ошибками в процессе запоминания — обучения и обеспечивает ряд явлений, наблюдаемых при исследовании памяти. Например, улучшение качества запоминания при повторении, возможность быстрого, воспринимаемого как мгновенный, поиска — извлечение из библиотеки памяти необходимой информации (*дважды два — четыре*), проявление феномена ассоциативной памяти. Матрицы, но корреляционные и автокорреляционные — предмет обсуждения в разнообразных моделях памяти^{312, 315, 316, 344}. В частности, аналогичный механизм памяти рассматривается применительно к функционированию нейронов³⁴⁴. Однако в подобных моделях речь идет о математических матрицах, тогда как предложенная суть физическая. Естественно, организм, являясь частью физического мира, почти наверняка в своей деятельности руководствуется его законами, а не математикой и статистикой, придуманными человеком. Математик и статистик («другая статистика») можно предложить множество. Ближе к обсуждаемой оказывается модель памяти, основанная на принципе голографии³⁴⁰, но, как отмечено, «в мозгу не обнаружено ничего такого, за чем можно было бы признать способность создавать голограммы». Впрочем, «не обнаружено» не означает «нет в принципе» (см. на этот счет в Введении и главах 2, 3).

Формирование матричной памяти, матриц памяти и их тиражирование происходит в процессе развития организма и в течение всей его жизни при поступлении новой информации аналогично тому, как в иммунной системе при взаимодействии с антителом происходит образование антител — обучение и память — и размножение клеток, способных такие антитела продуцировать. Естественно, запоминание и обучение происходит тем легче, чем больше соответствующих готовых матриц имеется. Отсюда становится понятным, почему специалисты тех или иных профессий лучше запоминают информацию, относящуюся к сфере их профессиональных интересов. Поскольку матричная память обеспечивается соответствующими полями H^+ ,

организованными своеобразной конформацией белковых молекул, необходимо остановиться на этом явлении.

Конформация — различное, но строго определенное энергетически расположение в пространстве атомов молекулы. Говорят о различных конформациях одной молекулы и о разных конформациях структурно, химически идентичных молекул. Конформационные изменения, переходы суть очень быстрые и не требуют затрат энергии, превосходящей энергию водородных связей, то есть происходят на уровне энергий так называемых слабых взаимодействий.

Химические, физико-химические и физические воздействия любого рода, начиная с температуры — электромагнитные и давления — механические и заканчивая чем угодно, в принципе могут привести к стойкому изменению конформации, которая оказывается предпочтительной по энергетическим соображениям. Зрительные образы по своей природе представляют собой электромагнитные стимулы, акустические воздействия, а обонятельные — физико-химические. Конформационные переходы есть процесс по сути близкий к броуновскому движению, однако с предпочтением одной из двух или более конформаций по энергетическим, термодинамическим соображениям. Изменение конформации молекул, способных к этому, в обычных условиях происходит постоянно, соотношение между разными конформациями определяется условиями среды и в этом смысле они находятся в состоянии динамического равновесия — стационарное состояние. При поступлении сигнала H^+ в одной из конформаций могут изменить энергию, активность, что приведет к переходу в другую или другие, которая становится в результате термодинамически более выгодной. Таким образом новое состояние H^+ окажется зафиксированным, а информация запомненной.

Реализация и функции коммутаторов и диспетчеров информации в процессах памяти. Чем далее идет наше углубление в ИММП, тем более умозрительными становятся построения. Однако, любая модель предполагает не противоречащее фактам описательное начало, затем, если такое возможно, следует конструирование математической части модели (см. главу 2) и, наконец, экспериментальную ее проверку. Поэтому продолжим на описательном уровне. Введем еще два понятия.

Диспетчеры и коммутаторы памяти — классификаторы, молекулярные, клеточные или еще какие-то образования, отсылающие информацию в соответствующие разделы библиотеки памяти.

Диспетчеры памяти отбирают информацию, которая по определенным соображениям может быть пропущена в тот или иной отдел библиотеки памяти, то есть являются классификаторами первого уровня.

Коммутаторы памяти распределяют по определенным соображениям информацию, пропущенную диспетчерами, по отсекам и полкам и прочим разделам в пределах одного отдела библиотеки памяти, то есть осуществляют более тонкую классификацию, нежели диспетчеры, являясь классификаторами второго уровня.

Отсюда следует, что библиотека памяти в своей структуре имеет отделы, которые, в свою очередь, подразделяются на более мелкие структурные элементы. Возможную структуру библиотеке памяти обсудим далее.

Понятно, что ни диспетчеры, ни коммутаторы, как и аналогичные элементы, созданные человеком — и человек в роли диспетчера или коммутатора, — не застрахованы от ошибок и могут пропускать и классифицировать неподходящую данному отделу информацию, отсеивая ту, которая в принципе может ему принадлежать.

Первые диспетчеры и коммутаторы памяти суть нейроны. Потому-то они и возбуждаются по-разному в зависимости от стимула. То есть под действием определенного стимула активируются только те нейроны, которые могут оценить качество информации, заключенной в данном стимуле. Диспетчеры и коммутаторы работают согласованно. При этом первые физически располагаются прежде вторых. Не ясно, являются ли нейроны многофункциональными клетками, работающими одновременно как передатчики, детекторы, диспетчеры и коммутаторы информации или эти функции выполняет система нейронов, их сеть. В принципе, оба обсуждаемых элемента, диспетчер и коммутатор, могут быть сосредоточены в одной клетке — нейроне или даже в пределах одной молекулы. Однако, для хранения и запоминания информации, вероятно, необходимы специальные клетки, например, клетки глии, которые тоже имеют свои передатчики и накопители, детекторы, диспетчеры и коммутаторы.

Поэтому вслед за нейронами, выполняющими кроме того и другие функции и находящимися на входе в библиотеку памяти, расположены диспетчеры и коммутаторы следующих порядков, распределяющие информацию непосредственно по ее отделам. Таким образом, в пределах библиотеки, каждого отдела библиотеки и, возможно, в более мелких ее структурах на разных уровнях функционирует множество диспетчеров и коммутаторов, образующих своеобразный многоуровневый каскад. Возможно, что каскадный принцип диспетчеризации и коммутирования реализуется буквально: каждый следующий диспетчер пропускает, точнее — не пропускает, информацию, которая характеризуется меньшим значением классифицирующего параметра по сравнению с предыдущим, а коммутатор соответствующего уровня таким же образом определяет принадлежность информации к данному отделу или более мелкому структурному элементу биб-

лиотеки памяти. В подобном случае информация буквально «скатывается» к месту хранения, как всякое движение вниз не только не требует расходования энергии, но и производит ее, и она может расходоваться на другие нужды памяти, например, на формирование каталогов. Распределенная по такому каскадному принципу информация оказывается тем менее весомой по величине классифицирующего параметра, чем дальше в библиотеке памяти она располагается. Вероятно, это означает также и меньшую степень ее доступности — извлечения из памяти.

Оценка качества информации, то есть ее классификация, очевидно, осуществляется по физическим соображениям: соответствуют ли параметры поступающей энергии тому, чтобы информация оказалась достойной запоминания. Учитывая наличие энергетического спектра — САИВ, в качестве классифицируемых параметров может выступать не только величина энергии всего спектра или какого-то его участка, но и более сложные функции от спектральных характеристик. Кроме того, уставный, классифицирующий уровень определенно зависит как от функционального состояния всех участвующих в запоминании информации элементов, так и может быть изменен под действием эндогенных и экзогенных факторов при посредстве физиологических и психологических, психофизиологических механизмов.

Собственно для запоминания выстраивается ветвистое древо, в узлах которого располагаются спаренные детекторы и коммутаторы памяти. Понятно, что для коммутации — отнесения информации в тот или иной раздел библиотеки памяти величины, уровни энергии спектра или его участка не могут иметь принципиального значения. Важно, чтобы эти параметры по своим величинам соответствовали информации, достаточной для запоминания. Тогда вся информация, отобранная диспетчерами, коммутируется, например, по следующему принципу. Частоты энергетического спектра определяют принадлежность к тому или иному отделу библиотеки памяти. В том случае, когда есть возможность направить информацию в более чем один отдел библиотеки, то она и поступает во все отделы, которые в состоянии ее принять. Несомненно, в этом отношении каждый человек индивидуален: один легче запоминает, например, цифры, другой буквы, тогда как, с точки зрения энергетической, скажем цифра «0» и буква «о» в определенном предъявлении вообще не различимы, точнее, различимы лишь контекстно.

Подобная структура формируется на основании предшествующего опыта. Информация, которая не может быть структурирована, по всей видимости, складывается — буквально сваливается — в специальный отдел, из которого она извлекается по мере необходимости для переформирования

имеющихся структур или создания новых. При получении новой информации, например, при чтении любого текста или же просто при брожении по полям, она через те же элементы — диспетчеры и коммутаторы памяти попадает в библиотеку памяти, что может вызвать возбуждение хранимого энергетического спектра и привести к вспоминанию иной информации. По такому принципу может быть организована ассоциативная память.

Не вызывает сомнения, что все пропускные и классифицирующие элементы памяти, в том числе коммутаторы и диспетчеры, могут эволюционировать, то есть изменять значения уставных параметров по мере структурирования, наполнения и реструктурирования библиотеки памяти.

Организация библиотеки памяти; структурные элементы и их взаимосвязь. Собственно, о предмете, вынесенном в заглавие подпараграфа, мы уже говорили. Здесь же, во-первых, систематизируем полученные представления и, во-вторых, существенно углубляем их.

Напомним, что, как отмечалось выше, структурные элементы, предназначенные для хранения информации, существуют в анатомически сформированном, завершившем рост и анатомическое же развитие мозге в достаточном количестве и используются по мере необходимости. Обратим внимание на обособление в анатомически сформированных структурных элементах лишь тех, которые предназначены для хранения информации. Иными словами, в зрелом мозге имеются структуры, на которых производится запись информации. Отсюда, из слова «анатомически» следует, что библиотека памяти в своей структуре имеет какие-то элементы разных физических размеров. Однако эти анатомические структуры скорее представляют здание, может быть, не одно, библиотеки памяти с отдельными, но связанными между собой корпусами и прочими строениями, необходимыми для функционирования нормальной библиотеки, что сейчас принято называть инфраструктурой.

Когда же мы говорим о структурных элементах, то имеем в виду прежде всего именно хранилище информации. Не вызывает сомнения, что она должна определенным образом структурироваться, иначе ее извлечение окажется делом случая и вспомнить что-либо конкретное в данное время окажется еще более маловероятным, нежели «олигархеру» попасть в рай... Гипотетически информация может быть структурирована по отделам, которые, в свою очередь, подразделены на более мелкие единицы вплоть до стеллажей, содержащих полки с томами, на страницах которых помещен не один факт. В данном случае «фактом» названо неделимое информационное сообщение, информационная единица, и в этом смысле будем использовать данный термин контекстно и в дальнейшем. Например, «дождь вообще», как явление природы, «дождь сегодня», как событие, факт в бытовом

смысле, «дождь на душе» — ударение на последнем слоге, как ее состояние, поэтико-философская категория, или «д» — буква алфавита и звук, фонема в слове «дождь», или в нем же сочетание звуков «до»: другая фонема, лингвистическая категория, но и самостоятельное слово нотной грамоты и так далее.

Понятно, что информация хранится в определенных структурных элементах, совокупность которых, предназначенных для непосредственного ее хранения, назовем «хранилище фактов». Это выделение необходимо для того, чтобы отличать данные структурные элементы от других, вспомогательных структурных элементов библиотеки памяти, необходимых для классификации и поиска информации.

Все подобные структуры, уже не анатомические — цитологические, субмолекулярные, молекулярные — являются структурными элементами библиотеки памяти. С очень большой степенью вероятности для качественного хранения, облегчающего последующий поиск и вместе с ним жизнь, буквально, хотя и в переносном смысле тоже, для распределения фактов по библиотеке памяти необходимы коммутаторы и диспетчеры информации. Они также представляют собой структурные элементы библиотеки, как и структурные элементы — передатчики информации, доставляющие ее к тому или иному элементу хранилища фактов.

В связи с распределением информации по структурам возникает вопрос, который до сих пор, кажется, не ставился, вопрос о наличии каталогов информации. Вряд ли к таковым можно отнести обсуждаемые в одной относительно старой работе в отношении нейронов «маленькие контекстно-адресные каталоги ссылок»^{301, 327} и уже тем более геномные каталоги для кодирования белков³²⁷. Поскольку такие каталоги, если они есть, а их не может не быть — квинтэссенция всей информации, содержащейся в библиотеке памяти, постольку ее организация вряд ли проще, чем организации элементов, в которых непосредственно хранится информация. Однако этот интереснейший вопрос обсудим после того, как рассмотрим ионно-молекулярные структурные элементы хранилища фактов в следующем подпараграфе, посвященном, в частности, поиску информации в библиотеке. Здесь же констатируем сам факт наличия таких структурных элементов и добавим, что под «структурным элементом» в данном контексте нужно понимать не единственную физическую структуру, а с другой стороны, возможно, и не всю ее. Это означает, что структурные элементы могут состоять из нескольких образований — ионно-молекулярных, субмолекулярных, клеточных и пр., как, например, вероятно и каталоги. Но они могут и являться частью подобных образований, как, например, почти наверняка коммутаторы и диспетчеры.

Итак, наименьшей единицей структуры библиотеки памяти является та, в которой хранится единственный факт. Такой единицей в данной модели является одна или очень немногие молекул белковой природы — белок или полипептид, информация, записанная на которой, определяется в том числе ионным окружением. По такой причине эти единицы — ионно-молекулярные структуры. По своей физико-химической природе белковые молекулы представляют собой буферные системы. Наличие белковых буферов хорошо известно в биологических жидкостях, а наиболее значимым из них в крови является гемоглобиновый буфер^{2, 150, 201, 206, 227}. Речь идет о буферировании H^+ , поскольку в принципе возможны и реально существуют буферные системы для других ионов. Подобные системы не следует отождествлять с разнообразными буферами, которые понятийно используют в соответствующих моделях памяти^{237, 284, 285, 310, 333}. В контексте этих моделей буферы представляют по сути всего лишь удобную метафору для обозначения вместилища временного пребывания информации в процессах передачи ее на постоянное хранение или даже анатомические образования^{300, 339}.

Поскольку носители информации H^+ легко связываются классическими буферными системами, то нет никакой необходимости предполагать наличие иных, кроме физико-химических буферов белковой природы, структур для хранения фактов. При этом любое изменение взаимосвязанных концентрации, активности, энергии H^+ приведет к изменению соответствующих параметров буфера, назовем его «информационный», а значит и к записи информации. Любой биологический буфер предназначен для поддержания определенных параметров среды в пределах гомеостаза, и информационный буфер в этом смысле не является исключением. Одной из характеристик буфера является его буферная емкость, которой определяет количество вещества, способное к физико-химическому взаимодействию с компонентами буфера. Такими компонентами могут быть химические группы разных молекул, составляющих буфер, и разные химические группы одной молекулы, представляющей собой буфер, как, например, молекула гемоглобина, при том, что изменение его содержания в несвязанном виде в среде не превышает единицы. Другая характеристика буфера — константа ассоциации или обратная ей величина — константа диссоциации. Первая из них определяет степень связывания вещества с буфером, точнее, с конкретной химической группой или группами его составляющими, вторая — степень обратного процесса.

Понятно, что чем больше емкость информационного буфера, тем больше информации может быть сохранено в нем. Чем выше константы ассоциации, тем легче осуществляется запоминание. Чем выше константы диссоциации, тем легче информация извлекается из памяти. При этом кон-

станта диссоциации может быть столь же высока или низка, как и константа ассоциации. Из приведенных положений следует: разные виды памяти, например, долговременная или кратковременная, могут обеспечивать различные буферные системы, разные по структуре белки, синтез которых обеспечивается разными генами и соответственно РНК; количество запоминаемой информации определяется качеством белка, структурой, а не его количеством или иначе, емкость памяти определяется емкостью буфера; запоминание оказывается тем лучше, чем доступнее компоненты буфера, что обуславливается не только собственно химическими свойствами буферной системы, но и условиями среды. Последнее, по сути, вновь означает молекулярно-ионную структуру элемента памяти, обеспечивающего хранение факта. Следовательно, если емкость буфера исчерпана, то информация в нем не сохраняется. Она либо не сохраняется вообще, либо сохраняется в другом аналогичном буфере.

Как известно, в процессе обучения — запоминания происходит синтез РНК и белка. Этот экспериментальный факт нужно привести в соответствие тому, что синтез биополимеров *de novo* — необходимый, но недостаточный процесс для запоминания. Попробуем это показать.

Очевидно, в клетках мозга, в каких именно — сказать трудно, но в данном случае не важно, не исключено что в клетках глии, имеются готовые и свободные для записи информации молекулы — матрицы. Одновременно матрица является непосредственным или опосредованным блокатором генов ее синтеза. Когда информация в виде серии электрических импульсов поступает в соответствующие клетки, изменяются параметры внутриклеточного САИВ и происходит разблокирование генов синтеза матрицы. Затем следует синтез РНК и соответствующей матрицы (белка — второго приемника, см. рис. 1.1). Вновь синтезированные молекулы не являются теми, в которых хранится новая информация, но они синтезируются на будущие нужды «про запас». Однако в такой ситуации, когда белок, необходимый на нужды памяти, синтезируется в процессе получения информации, его в принципе может накопиться сколь угодно много, а значит и вес мозга со временем должен увеличиться. Заметим, что, мягко критикуя «исключительно молекулярный подход» к решению задачи памяти⁸⁷, авторы тем не менее отдают предпочтение гипотезе, согласно которой давно полученным результатам — основой обучения являются особые вновь созданные молекулы, следствием чего, несомненно, должно стать увеличение веса анатомически сформированного мозга. Следовательно, белок, синтез которого происходит на подходящих РНК во время обучения — в процессе запоминания, — это белок-передатчик (второй), и он — короткоживущая молекула. Время его жизни, очевидно, ограничено временем получения

новой информации и ее перезаписи на стабильные структуры, после чего передатчик разрушается.

Отсюда, между прочим, может быть становится понятным механизм кратковременной памяти: ее обеспечивают подобного рода белки-передатчики и в том случае, когда информация с них не перезаписана на ее накопители, она просто перестает существовать. Далее ясно, что далеко не вся информация передается без ошибок и вообще передается в долговременную память. Наконец, можно предположить, что процесс запоминания в результате повторения связан с тем, что на одной молекуле белков-передатчиков, пока они не анаболизированы, одна и та же информация может быть записана более чем в одной копии, а чем их больше, тем больше копий может оказаться в стабильных структурах — накопителях информации.

Вместе с тем не исключено, что белок-передатчик может функционировать, не обязательно перемещаясь физически, определенное время, передавая в библиотеку памяти информацию, освобождаясь от нее и вновь принимая форму, в которой он может принимать информацию. Однако при этом какая-то часть молекул белка-передатчика, как и любых других функционирующих молекул, будет неизбежно изнашиваться, то есть утрачиваться. Взамен таких утраченных молекул и синтезируются в необходимом количестве новые; отсюда и синтез РНК при обучении.

К сказанному следует добавить, что наличие таких белков-передатчиков, которые синтезируются загодя, про запас, а не в момент запоминания и не в процессе его, ограничивают память естественным образом физическим пределом. Разумеется, такой предел, количество молекул белков-передатчиков индивидуален, а синтез соответствующих молекулярных структур отложен во времени. Возможно, у людей, запоминающих очень большой или даже неограниченный объем информации¹⁴¹, имеется уникальная же возможность синтеза белков-передатчиков в процессе запоминания, а объем памяти, который может быть реализован в данный момент, «сейчас» определяется тем, идет ли вообще подобный синтез в реальном времени.

Таким образом, структурные элементы библиотеки памяти представлены диспетчерами, коммутаторами — не исключено, что оба они находятся в пределах одной молекулярной или субмолекулярной структуры, — передатчиками и накопителями (см. схему на рис. 1.3).

Имеющийся в этой схеме «фактометр», диспетчер-коммутатор-фактометр, обсудим ниже.

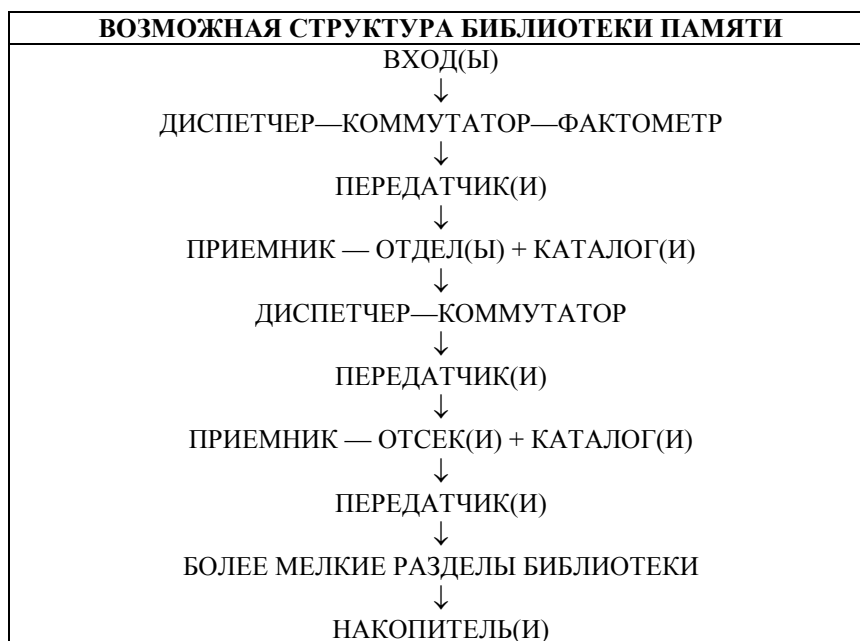


Рис. 1.3. Схема структуры библиотеки памяти

Реализация поиска информации в библиотеке памяти. Любой процесс, как-то реакция на раздражитель, мышление и пр., требует обращения к памяти. Механизмы памяти функционируют постоянно. Вряд ли можно не думать ни о чем, хотя осознание этого факта может иметь место далеко не всегда. Даже во сне происходит извлечение информации из памяти — спонтанно и хаотически, что собственно и есть сновидения, работа подсознания^{24, 323}. Внешние сигналы при этом могут отсутствовать или не восприниматься. Стимул возникает внутри самой системы. Какие-то элементы памяти лежат на поверхности: буквы алфавита, цифры, многие слова, результаты элементарных арифметических действий, например, таблица умножения...

Общее положение. Если в информации нет необходимости, то ее все равно что нет. Для того, чтобы возникла информация, для извлечения информации из памяти нужно запустить какой-то процесс, который, очевидно, связан с передачей энергии, в данном случае суть информации, в библиотеку, возбуждением каких-то элементов хранения и извлечения инфор-

мации вплоть до получения нужной. На языке выдвинутого положения энергия, переданная элементам памяти и активирующая их, смещает равновесие в буферных системах, так что информация, записанная на САИВ, становится доступной для декодирования.

Представление о том, что на пути к мозгу информация должна подвергаться «сжатию»⁹⁹, далеко не очевидно. Собственно «сжатия» информации может не быть вообще благодаря перекодировке, которая приводит к меньшей энергоемкости накапливаемой информации по сравнению с исходной. В ряде случаев часть исходной информации при этом утрачивается. Аналог, например, текст, переписанный с бумажного носителя на магнитный и еще более — на лазерный или видеофильм на фотопленке и более — в оцифрованном виде. В последнем примере почти очевидна потеря части информации по сравнению с исходной, что тем не менее не мешает восстановлению фактов. Это же замечание относится к «свертыванию» в мозге оси времени, которое столь же безапелляционно утверждается¹⁶. Далее, если «сжатие» информации и имеет место, то это место может быть расположено не обязательно «на пути к мозгу», но в нем самом. Тем не менее, если не «сжатие», то более компактное размещение информации, по крайней мере в каких-то специальных отделах библиотеки, наверняка полезно для организации каталогов памяти. Для их формирования, поскольку такие каталоги суть структурированные элементы, образование которых приводит к уменьшению энтропии, необходима энергия. Энергия на такие нужды может быть получена из запасенной энергии, которая произведена при классификации информации по отделам библиотеки памяти посредством ее прохождения по энергетическому каскаду.

Для поиска по каталогам в памяти должен быть задан вектор поиска. В качестве такого вектора могут выступать определенные параметры САИВ или один из них, по величинам которых разрешается или запрещается поиск в данном направлении в отделе библиотеки. Нужно заметить, что движение информации, поступающей в библиотеку памяти и извлекаемой из нее не однонаправлено. Если первая берет свое начало извне и движется от периферии вглубь библиотеки, то вторая — наоборот. Отсюда ясно, что поиск последней осуществляется изнутри. Тем не менее, направление вектора поиска информации задается от периферии и определяется поставленной задачей: что именно, какой факт или факты необходимо найти. Кроме того, условно говоря, в «многокомнатной», но «бездверной» библиотеке поиск идет сквозь стены, полы, потолки и даже с перескоками через комнаты или ряд их, причем система организации памяти зачастую приводит к ситуации, когда *«шел в комнату, попал в другую»* (Грибоедов).

Непосредственно вектором поиска должна служить некая интегральная характеристика накопителя информации, с одной стороны, близкая по величине многим фактам, имеющим полностью или частично схожее содержание, а с другой — отличная для того или иного набора фактов от многих иных наборов. При этом разные информационные аспекты одного и того же факта, например, информация о цвете, размере или местоположении в системе бытовых знаний искомого объекта, должны вносить подобный, если не одинаковый, вклад в величину этой характеристики. Таким образом, структура материального накопителя фактов должна заключать в себе информацию о различных его аспектах. При этом в данном контексте под структурой следует понимать и геометрию накопителя и/или присущий ему САИВ. Учитывая сказанное, в качестве такой интегральной величины логично рассматривать характеристику подобия — фрактальную размерность^{144, 207} геометрии либо САИВ накопителя.

Использование фракталов очень удобно для сравнения структуры в оговоренном смысле: одинаковые и подобные элементы структуры по определению вносят одинаковый вклад в формирование фрактальной размерности. По такой причине одинаковые структуры будут обладать одинаковой фрактальной размерностью. Различия в величине последней будут увеличиваться по мере удаления от подобия между структурами — не важно по какой причине: то ли в результате появления в одной из сравниваемых структур элементов с иной фрактальной размерностью, то ли вследствие отсутствия в одной из них ряда элементов, присущих другой, то ли, наконец, потому, что при одинаковом в каждой из сравниваемых структур наборе подобных элементов различия между ними возросли, то есть подобие уменьшилось. Нетрудно увидеть, что фракталы, выступая как скаляры, могут быть весьма полезны для формирования каталогов памяти; будучи же векторами — для поиска по ним.

Другой интересный вопрос о поиске информации в библиотеке памяти связан с тем, что события, факты размещаются в памяти по оси времени¹⁶ — стратиграфия памяти по В. Набокову¹⁵⁴. Для этого должны существовать своеобразные часы — внутренний хронотоп по А. Ухтомскому⁹⁹. Вопрос о времени считают одним из самых трудных в структуре памяти¹⁶. В существующих моделях памяти время рассматривается преимущественно в процессах обучения — запоминания, как, например²⁸⁶, а не с позиции временного упорядочения хранящейся в библиотеке памяти информации. Однако в памяти имеется возможность оценить последовательность событий, упорядоченность во времени или возможность судить об их одновременности. Совершенно очевидно, что информация не складывается слоями: более свежая поверх уже имеющейся, последующая на предыдущую. На

это указывает хотя бы хорошо всем известный парадокс, когда старое зачастую вспоминается лучше нового, доступней его. При этом далеко не всегда запоминаются календарные числа, даты, время, а если и запоминаются, то специально, мотивированно. В общем, последовательность событий если и фиксируется, то делается это автоматически. Следовательно, в системе существует некий счетчик времени, который постоянно включен независимо от сознания, однако его не следует отождествлять со шкалой времени — вектором времени биологической системы в целом^{62, 179}.

Счетчик времени в терминах развиваемой ИММП может быть организован следующим образом. Любой факт представляет собой энергетический квант. На входе в библиотеку памяти в сопряжении с диспетчером находится элемент, который отсчитывает количество пропущенных фактов. Молекулярный накопитель памяти, независимо от его структуры, содержит аналогичный элемент, на котором фиксируется порядковый номер факта. При входе информации, то есть факта, в библиотеку памяти, во-первых, квант энергии передается на хронометр, изменяя его конформацию; во-вторых, происходит комплементарное изменение элемента, фиксирующего номер поступившего факта на накопителе памяти. Таким образом, устанавливается последовательность получения фактов, что и является внутренним временем. Это не есть время в бытовом или даже в физическом понимании. Для того, чтобы привязать факт к привычному календарю или часам, необходима дополнительная информация: запоминание даты, времени и прочих привычных атрибутов времени происходит осознанно, тогда как последовательность фактов, событий может быть структурирована по шкале времени безотносительно к какому-либо календарю или часам: раньше, позже, одновременно. Очевидно, подобная временная организация памяти присуща и животным. Тот же условный рефлекс требует строгого выполнения последовательности действий; например, собака, прежде чем пометить место на территории, предварительно поднимает ногу. Она же, прежде чем устроиться на ночлег, несколько раз покрутится вокруг ложа...

Насколько велик физически может оказаться подобный счетчик, который следует определить как *фактометр*? Примем продолжительность жизни в 100 лет, что составляет чуть более чем $3 \cdot 10^9$ с или $3 \cdot 10^{12}$ мс, и пусть необходимо расположить по шкале времени факты, поступающие с интервалом в одну миллисекунду. Примерно именно такую продолжительность (1 мс) имеет потенциал действия²³⁸, обеспечивающий поступление сигнала с периферии в мозг. Время реакции на стимул на два порядка больше^{116, 200}. Чтобы решить поставленную задачу для указанных условий необходимо и достаточно наличия двенадцатиразрядного счетчика с десятью градациями: аналог — измеритель пройденного пути на спидометре



Самые высокооплачиваемые (не у нас) профессии — это генная инженерия, вирусология, трансплантация, клонирование и психотерапия. За получением лаврового венка они являются, как правило, с почетным конвоем из представителей ангелов Тьмы, антихристового воинства. Такова специфика профессии, а сумма их жалованья всегда начинается с цифры 666 со многими нулями.

автомобиля. В используемых терминах это означает, что для подсчета всех фактов, которые могут в принципе поступить с указанной частотой и продолжительностью времени, достаточно двенадцати H^+ при их квантовании по активности на десяти уровнях. Последнее вполне вероятно: см., например, серии линий видимой области спектра атома водорода⁸⁴, а H^+ , обеспечивающих отсчет фактов, может быть и больше двенадцати, и тогда необходимых для функционирования фактометра уровней их активности становится соответственно меньше.

По сути дела, описанный счетчик-фактометр подсчитывает кванты энергии, но не информации, причем, независимо от объема информации, один факт несет один квант энергии, соответствующий единовременному *поступлению* — и это слово подчеркнем — информации. Понятно, что для нормального функционирования должен быть один общий фактометр на всю библиотеку памяти. Скорей всего это именно так. Нет данных, которые бы противоречили тому, что вход в библиотеку памяти единственный. Наоборот, наличие множества или хотя нескольких входов привели бы к определенным трудностям или даже полной неразберихе, хаосу и росту энтропии в библиотеке памяти. С другой стороны, входов информации в головной мозг — не в библиотеку памяти — всего шесть типов, каждый из которых, в принципе, может быть многоканальным. Это пути от пяти органов чувств: слух, зрение, обоняние, вкус, осязание, и шестой путь — не путать с шестым чувством, — по которому поступает информация о внутреннем состоянии организма от практически не ощущаемого состояния внутреннего комфорта до полного дискомфорта, включая невыносимые боли, в том числе физические, что весьма близко к тактильному восприятию. Однако то, что информация воспринимается через множество каналов, еще ни о чем не говорит: воспринимается — не значит запоминается. Несмотря на множество каналов поступления информации, число их все же ограничено и ничто не препятствует направлять в библиотеку памяти всю информацию от них на один вход. Такой, извините за каламбур, выход тем более вероятен, что возможно запоминание факта, содержащего информацию, полученную одновременно не от одного органа чувств. Например, информацию зрительную и слуховую, чем пользуются меломаны при прослушивании музыки на концерте, когда глаза не закрыты от наслаждения, или даже зрительную, вкусовую и обонятельную, что характерно для гурманов: дегустация и попросту потребление пищи, сопровождающееся гастрономическими изысками. Опять же хороший напиток... Таким образом, любой факт, поступающий в библиотеку памяти, получает временную, в оговоренном смысле, метку и располагается на шкале времени. Другой вопрос: всегда ли оказывается возможно вспомнить о месте факта на ней, но

это уже вопрос извлечения информации, о чем позже. Поиск же информации может осуществляться, зачастую и осуществляется, с учетом показаний фактометра. Следовательно, структурные элементы библиотеки памяти следует дополнить еще одним — фактометром (см. рис. 1.3). Вопрос о векторизации времени и его возможности его обращения, течения в обратном направлении, в биологических системах обсуждается⁶².

В заключение раздела сделаем небольшое, почти лирическое отступление. Почти всем известны «яркие воспоминания», но не многим — «озарение», о котором, тем не менее, все слышали. Это окраска спектра памяти, и, как кажется, не только эмоциональная. Так называемое «озарение» — часть мыслительного процесса, в котором память наверняка участвует. В данном контексте, вероятно, подразумевается спектральная частота, степень красноты: озарение, заря — окрашены в красные тона. О чем же идет речь с точки зрения физики и химии? Цвет, то есть длина волны, и яркость — количественные характеристики светового спектра. Возможно, что красный запоминается лучше других цветов и яркость определяет именно его: говорят о ярко-красном, реже — о ярко-желтом, крайне редко — о ярко-зеленом, о ярко-синем — почти никогда.* По температуре же красный — наиболее горячий цвет, то есть он обладает наибольшей энергией и может быть поэтому он запоминается лучше других. Замечательно, что физико-химические и химические связи, образованные при участии атомов водорода, поглощают в инфракрасной области спектра. Если H^+ действительно определяют механизмы формирования памяти, то при ее хорошем качестве (ярко)красная окраска может оказаться не случайной.

Искажение информации в системе памяти и причины ее. Качество памяти в смысле запоминания фактов, очевидно, зависит от двух факторов: от качества сигнала, несущего информацию, и от качества во всех смыслах приемника, то есть от качества собственно переносчиков информации, от условий их пребывания, нахождения, существования в библиотеке памяти и от качества их функционирования. Начнем с сигнала. В данном случае просматривается прямая аналогия от способа хранения информации на бытовых материальных носителях, например, на бумаге, от качества которой зависит не только насколько долго сохраняется записанный на ней текст, но и в каких условиях эта бумага хранится.

Основная причина, которая приводит к ухудшению качества поступающей информации — по умолчанию будем считать, что сенсорные сис-

* Все, или почти все, в данном контексте сказал еще Гёте — не только великий поэт, но и выдающийся естествоиспытатель; см. его труд «Учение о цветах», хорошо известный физиологам и специалистам в области медицинской психологии. Психиатрии тож.

темы функционируют предельно эффективно, — это безусловно шум. Если определить шум как случайный набор характеристик сигнала, то он может быть двух видов: информационный (— Что это там шумит? — А, это Ниагарский водопад!) И шум, как помеха, затрудняющая или полностью препятствующая получению информации: мешающий, искажающий шум. Информационный шум может запоминаться и извлекаться из памяти, по определению являясь источником информации. Например, шум моря, леса и пр. Несмотря на то, что такой сигнал в физическом и статистическом смыслах представляет собой шум и выделить из него какую-либо информационную составляющую не представляется возможным, да в этом и нет необходимости, он сам по себе и весь целиком несет информацию. Несомненно, и информационный шум может быть искажен шумом, шумами другого рода: мешающим шумом. Естественно, существуют способы улучшения качества информации, например, в системе генетического информационного кода; это, в частности, его избыточность и репарация повреждений структуры ДНК, обсуждение которых в рамках рассматриваемой модели отложим на некоторое время.

Мешающий шум может сопровождать информационный сигнал от сенсорных систем и нейронов, внешний шум, но также и появляться либо усиливаться на пути доставки факта к месту, местам его хранения в библиотеке памяти — суть внутренний шум. Мешающий шум, с одной стороны, оказывает влияние на качество информации на входе в библиотеку памяти и, следовательно, может влиять не только на собственно факт, но и на то, например, к какой категории данный факт относится, то есть в какой раздел(ы) библиотеки памяти направить данную информацию, а значит на ее каталогизацию и возможность извлечения из памяти. Кроме того, факт, искаженный шумом, может быть классифицирован как вовсе иной, не имеющий никакого отношения или имеющий весьма отдаленное отношение к исходному, например, сходным образом звучащие слова, особенно вне контекста или похожие по написанию определенным почерком или шрифтом буквы и цифры, причем последние даже и в контексте. Все это очевидно. Менее очевидно другое: мешающий шум может возникать и возникает внутри системы при извлечении информации: вторичный внутренний шум.

Возможная классификация шумов приведена на рис. 1.4.

Замечание. Величины внешнего и внутреннего шумов могут быть как сопоставимы, так и принципиально различаться; величины внутренних шумов закономерно уменьшаются с увеличением их порядка при одном источнике первичного внутреннего шума.

КЛАССИФИКАЦИЯ ШУМОВ
— ИНФОРМАЦИОННЫЙ
— НЕИНФОРМАЦИОННЫЙ (ПОМЕХИ)
— — ВНЕШНИЙ
— — ВНУТРЕННИЙ
— — — ПЕРВИЧНЫЙ
— — — ВТОРИЧНЫЙ
— — — БОЛЕЕ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ

Рис. 1.4. Возможная классификация шумов

Очевидно, что источником внутреннего, как первичного, так и вторичного, шума является система памяти сама по себе. Но остановиться на этом, значит уйти от причин возникновения внутреннего шума. Понятно, что его обеспечивают функционирующие элементы в структуре библиотеки памяти. Таковыми в данном случае являются каталоги и накопители информации — в соответствующих клетках субмолекулярные и молекулярные структуры и ионные поля, обеспечивающие стабилизацию этих структур. Следовательно, причина искажения памяти лежит на ионно-молекулярном уровне. Тем не менее не следует рассматривать ее в отрыве от клеточного уровня, поскольку, если уничтожается или каким-то образом видоизменяется место хранения информации, уничтожается или видоизменяется самое информация.

Поэтому обсудим клеточный уровень. Как отмечается¹², повреждение клеток может быть первичным в результате непосредственного действия на них физических, химических и биологических факторов или вторичным вследствие нарушений гомеостаза. Поскольку нами обсуждается память в оговоренном смысле, возможности влияния на клетки первичных факторов существенно ограничены, когда это вообще возможно. Физические факторы — механическое воздействие, температура, ионизирующее и другие виды излучения — в нормальных условиях не оказывают влияние на головной мозг. Химическое повреждение клеток кислотами, щелочами, низкомолекулярными органическими и другими соединениями, в том числе ферментами, возможно лишь после механического нарушения целостности головного мозга. То же относится и к факторам биологической природы, таким как простейшие, бактерии и даже вирусы, если это не патология. Что же касается факторов, названных *вторичными*, то они также являются следствием патологических изменений, которые выходят за рамки обсуждаемой модели.

Тем не менее, при нормальном функционировании организма вообще и головного мозга в частности существует вероятность гибели клеток, обеспечивающих механизмы памяти, например, в результате физиологического явления — апоптоза, когда сама клетка не удовлетворяет предъявляемым ей средой условиям¹⁴³. Таким путем погибают нейроны в процессе старения организма и, очевидно, другие клетки мозга, которые, в отличие от нейронов, могут поддерживать собственное количество в популяции путем деления-пролиферации. Обсуждение роли апоптоза в обеспечении, вернее в нарушении памяти также не является предметом данной модели. Однако совершенно очевидно, что в том случае, когда клетка погибает без предварительного деления, вся содержащаяся в ней информация безвозвратно утрачивается.

Следовательно, единственный путь сохранения памяти при гибели структур, участвующих в ее формировании, суть предварительное копирование информации на аналогичные структуры. Поскольку время жизни белков, и это относится ко всем белкам без исключения, в том числе к накопителям информации, очевидно, ограничено разными факторами, постольку в библиотеке памяти постоянно или периодически необходимо их дублирование, возможно не в одном экземпляре. Разумеется, при таком копировании, перезаписи информации неизбежны ошибки. Собственно и в случае клеток ситуация аналогична: для того, чтобы информация, содержащаяся в них, не была утрачена, клетки, прежде чем погибнуть, должны пройти цикл деления. К слову, нейроны, обеспечивающие взаимоотношение между всеми отделами головного мозга и его связь с периферией, вероятно потому и не делятся или делятся настолько редко, чтобы это было замечено, что следствием образования нового, дочернего нейрона оказалась бы необходимость налаживания связей взамен существовавших, что само по себе не плохо и даже хорошо, однако еще при их наличии, до гибели материнской клетки, которая не может исчезнуть или даже вовсе не исчезает, не погибает, мгновенно по завершении деления. А это уже прямой путь к конкурентной борьбе за наследство. Чем такая конкуренция может завершиться, мы знаем из исторического опыта человечества.

Итак, копирование информации неизбежно приводит к ошибкам. Даже генетическая информация, от которой зависит быть или не быть и, если быть, то каким, организму, даже наследственная информация при копировании может искажаться и искажается. Для того, чтобы уменьшить количество ошибок, но не исключить их вовсе, существуют специальные механизмы репарации. Память, которая важна для успешного функционирования организма, также должна иметь системы репарации. На то, что такие системы действительно существуют, косвенно указывает известная ситуа-

ция, когда вспомнил неправильно — вспомнил правильно через какое-то время. Очевидно, репарация памяти возможна только посредством самой системы памяти, путем использования дополнительной информации, содержащейся в библиотеке памяти, или информации, поступившей в нее извне.

Механизм репарации искаженной информации может быть достаточно прост: взаимодействие с комплиментарными структурами приводит к частичному или полному восстановлению информации на репарируемых структурах. Почему не наоборот? Известно, что бывает и так: ложная информация приводит к искажению информации в памяти, а последняя воспринимается и трактуется как истинная. Не остается ничего другого кроме как предположить, что информационно более значимой является та структура, которая энергетически более выгодна. То есть более необходимой представляется такая структура, энергия которой меньше и которая приводит к должному изменению параметров САИВ репарируемого элемента. Последнее определяется не только и не столько самой структурой, на которой записан тот или иной факт, сколько ее окружением. Иными словами, качество информации зависит не только от ее накопителя, но и от условий ее хранения.

Тогда должны возникать случаи, когда каждая из двух или более структур — накопителей информации имеет близкую по значению энергию, а переструктурирование ни одной из них не происходит. Действительно, известны ситуации, когда ни одному из двух или более фактов не удается отдать предпочтение: эффект «буриданова осла»...

Помимо тех факторов, которые обсуждались, качество памяти определяется качеством накопителей информации; качество каталогов влияет лишь на эффективность поиска информации, но не на нее самое. Естественно, объем информации, хранимой на конкретном накопителе, определяется его емкостью, характеризующей его же качество. Если информационный код организован по принципу зубочистки (см. выше), то становится совершенно очевидно, почему факты большего информационного объема запоминаются хуже: с увеличением количества символов в сообщении точность, правильность нанесения метки на зубочистку уменьшается. При этом достаточно одной ошибки, одного H^+ с отличной от необходимой энергией, чтобы исказить факт. С другой стороны, достаточный объем факта позволяет контекстно восстановить правильную информацию, аналогично тому, как, например, слово со смысловой, приводящей к новому слову ошибкой в одной букве вне предложения воспринимается как написано, тогда как в предложении оно же может быть откорректировано — суть репарация. По таким причинам объем накопителя, на котором записывается один факт, а

фактом может быть и слово в предложении, и предложение целиком, должен быть оптимальным: не очень малым, чтобы факт запоминался контекстно, и достаточно, но не очень большим, чтобы избежать ошибок, приводящих к бессмысленному контексту.

Однако вряд ли существуют молекулярные структуры — ибо размеры белков и их конгломератов ограничены, которые в состоянии хранить информацию бесконечно большого объема. Отсюда следует, что факты малого информационного содержания могут быть в принципе записаны на накопителях малого объема или, что более вероятно, на стандартных накопителях информации, которые в таких случаях используются не полностью. Для фактов большого объема, очевидно, требуется не один стандартный накопитель информации.

Наконец, условия и качество функционирования накопителей информации также определяют качество памяти. Известно, что любая побочная деятельность, которая отделяет момент запоминания от момента извлечения информации из памяти, отрицательно влияет на последнюю, причем считают, что забывание, то есть ошибки памяти — скорее результат тормозящего влияния со стороны этих, интерферирующих воздействий, нежели следствие постепенного угасания следов памяти¹⁴². Заметим, что любая деятельность, побочная в том числе, сопряжена с использованием памяти. Поэтому более вероятно, что побочные воздействия влияют как на качество запоминания, так и на извлечение информации из памяти. Таким образом, функционирование накопителей информации в условиях, когда они могут взаимодействовать с другими накопителями информации, приводит к конкуренции между ними и искажению того или иного факта по механизму, аналогичному тому, который предложен для репарации информации, то есть путем изменения параметров САИВ.

1.5. Методология реализации памяти в рамках ионно-молекулярной модели

В этом параграфе рассматриваются лишь некоторые возможности реализации памяти с позиций предложенной ИММП. Разумеется, таких возможностей существенно больше, нежели обсуждаемых, однако важен подход, методология, которые обретают в данной модели определенные особенности. Кроме того, отдельные аспекты темы раздела уже были упомянуты выше, так что повторения неизбежны. Просим не акцентировать на этом свое внимание...

Процессы сохранения информации — запоминание. Еще Аристотель определял память как «сохранение воспринятых образов»⁹, забывая или не

обращая внимание, что для памяти помимо сохранения информации необходимо еще и ее извлечение. То есть память двуедина, и одна сторона этого явления без другой бессмысленна, а второе без первого попросту не возможно. Процесс сохранения информации будем называть не очень удобным для произношения термином *запоминание*, который, впрочем, использовали и ранее. Итак, запоминание осуществляется образами, на что указывают многие авторы^{23, 98, 141}. Когда в соответствующем контексте обсуждаются образы, то нужно помнить, что речь идет только и исключительно, извините за тавтологию, о памяти: процессы мышления, решения задач и принятия решения с помощью образов, в основном не рассматриваются. Кроме того, образом является не только *картинка* в бытовом понимании и даже не столько она, сколько некий набор определенных символов, позволяющий с достаточной степенью точности и по необходимости восстановить, вспомнить запоминаемое, то есть сохраненный образ.

Чтобы не отвлекаться, заметим: в библиотеке памяти каталогизируются, очевидно, тоже образы: СГ ЭМВ — см. последующие главы. Близкие образы обладают набором типичных параметров и/или набором типичных значений одного из параметров, а каталоги, вероятно, могут быть организованы в ширину — по близким значениям разных параметров, и в глубину — по разным значениям одного из параметров, образуя деревья образов, в которых хранится информация во всей ее полноте. Скорей всего, в результате запоминания происходит переструктурирование²³ как элементов памяти, так и каталогов — переформирование деревьев образов, — но наличная информация при этом не исчезает, а тем или иным способом входит в состав обновленной библиотеки памяти. Вообще с информацией можно поступить следующим образом: получить, в том числе создать, например, решив задачу или сделав логическое заключение, сохранить с целью дальнейшего использования или без таковой, и, наконец, уничтожить. Последнее человек способен легко сделать с информацией, записанной на любом материальном носителе, включая физические волны, за исключением собственного мозга: средства или способы направленного забывания, антоним запоминания, к счастью или к сожалению отсутствуют. «К счастью» — потому что в данный момент неизвестно: может ли понадобиться информация, которую человек желает уничтожить? Процесс забывания, как и производство, создание информации в системе памяти, есть предмет специального обсуждения.

Вернемся к предмету запоминания информации, поступившей либо извне, либо от систем организма в готовом виде. Разумеется, этот процесс реализуется в результате структурных изменений молекул и субмолекулярных структур, обусловленных физико-химическими взаимодействиями,

следствием которых он является. Такие изменения возникают при любого рода воздействиях из внешней среды и при эволюции в среде внутренней. В принципе, воздействие любого вида — внешнее воздействие, сигнал с периферии, может быть преобразовано в ЭМВ или в их частный случай, в электрические сигналы, поступающие от нейронов к структурным элементам библиотеки памяти. Последние воспринимают и трансформируют электрическую энергию сигнала в энергию физико-химических взаимодействий. В процессе запоминания участвуют системы обонятельная, вкусовая, слуховая и тактильная, и все они, наряду со зрительной, посредством электрического преобразователя формируют запоминаемый образ. Со своей стороны электрические раздражители, действующие на мозг, способны вызвать зрительные или иные образы, или образы в оговоренном смысле, которые могут сохраняться в библиотеке памяти на соответствующих структурах.

Однако, наличие структур, принципиально способных воспринимать информацию, — это еще не память. Например, повторимся, вода обладает способностью структурироваться, то есть записывать информацию. Тем не менее, поскольку извлечь эту информацию мы в настоящее время не можем, и непонятно каким образом ее использует, если только использует, сама вода, то говорить о памяти в оговоренном смысле в отношении воды не приходится, если исключить полуфантастические «произведения» на заданную тему. Здесь, скорее, следует вести речь о наличии упорядоченных структур, которые, возможно, несут определенную информацию, но эта информация не извлекается и не передается по желанию ее обладателя. С таким же успехом можно рассуждать о памяти, например, литевой формы, или книги, или, как это не покажется странным, компьютера. Наоборот, структуры, вероятно белковые, находящиеся, очевидно, в клетках глии, способны не только сохранять информацию, являясь ее накопителями, но и обеспечивают доступ к этой информации. Кодирование же идущего от нейронов электрического сигнала, передаваемого посредством движения электронов, может происходить на H^+ , приводя к изменению параметров САИВ и собственно запоминанию.

Известно, что для запоминания нужно определенное время, обычно несколько секунд. По крайней мере, как считают^[41], чтобы процесс оказался эффективным, в течение этих секунд не должно быть сделано новых предъявлений. С другой стороны, некоторые факты запоминаются практически мгновенно, что означает столь же быстрое переструктурирование накопителей памяти и отображения на нем необходимого образа.

Тем не менее, образ формируется за конечное время. Минимально оно может быть ограничено, например, суммой времен туннельных переходов

третьих переносчиков информации (H^+) от первого переносчика — нейрона на второй — белок и далее на белок-накопитель, или, скажем, временем наиболее продолжительного конформационного перехода — из необходимых для поступления информации на белок-накопитель или суммой обоих времен. Такие процессы протекают за существенно меньшие чем секунды времена — мили-, микро-, нано- и еще меньшие доли секунды. Исключение составляют длительные конформационные переходы. В вязких средах процессы изменения конформации могут протекать секунды, часы и дни⁴⁵. Возможно, что секундные латентные — период между предъявленным стимулом и реакцией на него, запоминание в данном случае — времена обусловлены именно такими переходами, тогда как «мгновенное» с точки зрения человека запоминание требует менее длительных конформационных переходов. Максимальное время, необходимое для передачи информации от источника в библиотеку памяти, ограничено прежде всего временем потенциала действия: примерно 1 мс²³⁸. Частота же предъявлений ограничена, кроме того, временем деполяризации нейрона, что делает его доступным для восприятия следующего сигнала. Оно составляет от десятков^{280, 289, 290, 335} до сотен миллисекунд²⁸⁰.

Естественно, улучшению запоминания способствуют повторные предъявления одного и того факта. Однако считают, что повторение нужно не для более прочной или надежной записи информации, а прежде всего для того, чтобы предъявление могло вычлениваться как нечто особое и стойкое из разных ситуаций, в которые оно входит как часть²³. Иными словами, для запоминания необходимо формирование особого образа, параметры которого отличны от уже имеющихся. Понятно, что эти параметры определяются параметрами воздействия, то есть входного сигнала. Когда условия запоминания позволяют воспринять факт как новый, он в таковом качестве и поступит в библиотеку памяти. Когда же по каким-то причинам, обусловленным состоянием внешней и/или внутренней среды, параметры, характеризующие данный факт, окажутся близки или идентичны параметрам уже имеющегося в библиотеке памяти образа, то тогда, в лучшем случае, если это действительно такой же или тот же самый факт, произойдет подкрепление информации о наличии факта — повторение, а в худшем — если это факт иной — искажение имеющейся в памяти информации.

Последняя ситуация, очевидно, не может быть следствием синтеза новых молекул-накопителей, но очень просто проявится при изменении структуры накопителя, на котором записана информация о данном факте. Разумеется, речь идет не о химической структуре, что было бы эквивалентно синтезу новой молекулы, а о физико-химической: конформация, параметры САИВ. Поскольку первые накопители информации образуют свое-

образный буфер памяти, постольку запоминание осуществляется тем легче, чем выше константы ассоциации составляющих его молекул со вторыми накопителями (H^+). Иначе говоря, процесс запоминания происходит тем лучше, чем подвижнее компоненты буфера памяти, что определяется не только свойствами собственно буфера, но и условиями среды, как внешней, так и, в первую очередь, внутренней. Здесь же уместно предположить, что какие-то параметры САИВ каталогов памяти могут быть представлены фрактальным образом^{144, 207}, то есть запоминается фрактал данного образа, что облегчает поиск нужной информации. Кроме того, как уже говорилось выше, память в разных ее проявлениях требует наличия корреляций²⁰⁰, которые обсуждаются в разных моделях памяти^{312, 315, 316, 344}. Вероятно, именно наличие корреляций указывает на наличие памяти и, возможно, чем сильнее корреляции, тем лучше память, тем прочнее запоминание.

Процесс качественного запоминания требует наличия не одной, а нескольких копий, на которых записана одна и та же информация об отображаемом образе — о факте. Такое условие уменьшает вероятность ошибок. При этом не обязательно повторение в смысле повторных предъявлений. Копирование запоминаемой информации может происходить безотносительно к заинтересованности субъекта в важности получаемой информации, хотя, конечно, подкрепляется ею. Каждая копия может служить матрицей для следующей и не одной копии, то есть копирование в геометрической прогрессии, что экономит время запоминания, но не место в библиотеке памяти; впрочем, такая избыточность вполне оправдана. Однако в случае ошибки копируется ошибочная информация. Если ошибочны все копии, то извлекаемая из памяти информация всегда будет ошибочна, если же ошибочна часть копий, то может быть извлечена как верная, так и ошибочная информация. Практически любой из нас сталкивался с подобным явлением. Это и есть «воспоминание о будущем», вынесенное в название настоящей книги...

С другой стороны, можно предположить, что запоминание хорошего качества обусловлено функционированием одновременно нескольких молекул-передатчиков, пока они не анаболизированы, то есть один и тот же факт может быть записан более чем в одной копии уже на уровне передатчика. Эта информация далее копируется во всей полноте в стабильные структуры библиотеки памяти и, разумеется, тоже не в одной копии. Кстати, не исключено, что именно избыточностью информации, хранимой в памяти, объясняется, почему лишь часть мозга человека участвует в процессах мышления: остальная его часть предназначена для резервного хранения информации. Существенно, что последнее характерно как для нобелевского лауреата, так и для дворника Варфоломеича...

Замечательно, что процесс запоминания отчасти контролируем и улучшаем при желании. Например, можно путем соответствующих тренировок улучшить те или иные виды памяти. Простое повторение также улучшает запоминание. Понятно, что при этом возрастает не качество *отпечатка, следа* запоминаемого образа, а число копий носителя этой информации. Очевидно, чем больше количество таких копий, тем легче отыскать нужную информацию, то есть вспомнить. Возможно, что информация, которую не удастся извлечь из памяти по первому требованию или вообще никогда, хранится в мозге в виде отдельных, весьма немногочисленных, копий. Зачастую образы с этих носителей — и другие, не искомые в данный момент образы — обнаруживаются случайно, когда направленный процесс поиска данной информации не происходит: ассоциативная память.

В аспекте обсуждаемого явления важен вопрос: формируется ли образ сразу полностью или по частям? Емкостное ограничение рабочей памяти вынуждает человека полагаться на образы, содержащие 7 ± 2 элемента³¹¹. Очевидно, именно такое их количество может быть одновременно занесено в библиотеку памяти. Подобное ограничение, разумеется, определяется энергетическими возможностями системы. В связи с этим, может быть не случайно, для H^+ рассматривают энергию излучения — испускания фотона с околоатомных орбит с главным квантовым числом не более семи⁸⁴. На более высоких орбитах, во-первых, эта энергия меньше на порядок, во-вторых, она изменяется мало, что делает такие орбиты плохо различимыми с энергетической точки зрения. Заметим также, что необходимое для обеспечения процессов памяти туннелирование есть «*непосредственное следствие волновых свойств частиц*»¹⁰². Уж совершенно точно не случайно с древнейших времен «7» — магическое число, равно как и число «6» в сложнейших структурах многообразия элементарных частиц; см. обоснование в книгах^{271, 272} одного из авторов. В общем, в подобной ситуации H^+ вновь оказываются основными претендентами на роль накопителей информации. Кроме того, возможно, что по указанным соображениям символичный алфавит, образованный H^+ с разной активностью САИВ, содержит семь или немногим более того знаков (см выше).

Так или иначе, образ, содержащий количество элементов больше чем 7 ± 2 , должен формироваться по частям. Время запоминания частей, элементов или даже символов, составляющих образ, очень невелико, ибо считывание информации происходит с громадной скоростью, а в сознании образ воспринимается как сформированный сразу и целиком. При этом, поскольку образ запоминается все же частями, происходит его сканирование. Обратный пример: конечная скорость действия компьютерных систем обеспе-

чивает появление изображения блоками, фрагментами, не обязательно расположенными последовательно. Ввиду неизбежных ошибок рано или поздно должны возникать незавершенные образы или образы с лакунами. Однако ничего подобного в отсутствие патологии в литературе не описано. Более того, запоминание не всей информации, а лишь того объема, который позволяет восстановить ее полностью, существенно экономит и место, и время, необходимые для запоминания. Как отмечалось²³, при восприятии информации происходит *«упорядочивающий выбор существенного из воздействующего целого»*. По таким причинам, скорее всего, образ запоминается с лакунами, которые не всегда могут препятствовать полному его восстановлению, однако зачастую создают препятствия для вспоминания нужного факта. Это не свертка, а способ кодирования, такой же, как аббревиатуры словосочетаний или сокращения слов: аналогичные физические и физико-математические понятия суть голограмма, вейвлет-анализ (см. главу 3). Подобное кодирование может происходить уже на уровне первых перекодировщиков — нейронов и так далее на всех последующих уровнях.

Что же касается нескольких, более чем одного, экземпляров копий информации об одном и том же факте, то они, эти копии, могут быть рассредоточены по различным отделам и другим структурным единицам библиотеки памяти. Такое избыточное и, казалось бы, явно невыгодное материально и энергетически хранение фактов призвано облегчить их последующий поиск. Все дело опять же в том, что один факт содержит, как правило, более чем один — вероятно, около семи — информационных фрагментов. Например, факт «идет дождь» может заключать информацию о том, какой именно идет дождь: ливневый, моросящий, грозовой, грибной и пр., когда он идет: время года, месяц, день недели, время суток и пр. — не путать с вектором времени данного факта, где находится наблюдатель по отношению к дождю: под дождем, наблюдает дождь из окна, знает о дожде из сообщения по радио, телевидению, от другого лица и пр. И так далее. Естественно, данный факт, согласно его элементам, может и должен быть отнесен нестрого в один раздел библиотеки памяти и соответствующим образом каталогизирован, что также в дальнейшем облегчит поиск нужной информации.

Извлечение информации из памяти — вспоминание. Процесс извлечения информации из памяти, процесс вспоминания должен быть чрезвычайно близок по существу процессу запоминания. Эти процессы отличаются направленностью, вектором действия, но не механизмом. Поэтому не случайно многие положения предыдущего раздела вошли в данный «с обратным знаком».



Биофизик — это ученый муж, который стоит между двумя скамьями: биологии и физики. На первой у него разложены для чтения и цитат трактаты Дарвина, Ламарка и их последователей, на второй — труды отцов термодинамики, электромагнетизма и информационной теории. На защите диссертации в совете по биофизике члены совета из физиков говорят биологам-членам: «Ваш NN. замечательно знает биологию, но в физике не четок несколько...» «Да ну-у? — отвечают биологи, — а мы думали, он из вашей братии?» Зал рукоплещет.

Как ни парадоксально, но для того чтобы вспомнить, нужно определить, что именно необходимо вспомнить. С этой целью формируется некий образ — маска поиска, которая включает в себе информацию об образе поиска, и вектор поиска информации (см. выше). В соответствии с параметрами этого вектора задается направление поиска, а согласно остальным параметрам маски производится выбор требуемой информации. Эта своеобразная маска условно накладывается на хранящиеся в библиотеке памяти факты или сравнивается с ними. Параметрами такой маски могут быть параметры САИВ или их фрактальные характеристики. При этом маска, сформированная на входе в библиотеку памяти на материальном носителе — биополимере, физически может, скорее всего, не перемещаться, а информация, записанная на ней, следует по эстафетной передаче в определенные, согласно вектору поиска, разделы библиотеки памяти. Понятно, что лакун в маске не меньше чем в искомом факте, и, чем ближе значения параметров заданного на маске образа к искомым, тем легче процесс извлечения информации из библиотеки памяти, если таковая вообще в ней содержится. В том случае, когда факт, хранящийся в библиотеке памяти, имеет временную метку, одновременно с его воспоминанием в случае необходимости, а иногда или зачастую и без таковой, найденный факт соотносится со шкалой времени.

В процессе поиска нужной информации, согласно такой модели, попутно могут вспоминаться еще какие-то факты. Вообще интересно, но на это не очень обращают внимание, что факты запоминаются, как правило, единичные, тогда как вспоминаются зачастую в комплексе, пачками. Видимо, поскольку другие, не требующиеся в данный момент, факты в той или иной степени подходят под заданную маску, постольку в процессе поиска нужной информации вспоминается еще какая-то, совершенно не имеющая отношения к искомой или имеющая весьма отдаленное или косвенное отношение к ней: ассоциативная память. Дело и в том, что маска — не полный образ требуемого факта, иначе его и вспоминать незачем, а лишь подобие искомого образа, иногда весьма близкое, но чаще содержащее лакуны, порой во множестве. Естественно, по энергетическим параметрам какая-то обозначенная часть сильно лакунизированного образа может полностью соответствовать части другого образа или быть близким ему, что и приводит к воспоминанию образа по ассоциации.

Если библиотека памяти структурирована, то есть каталогизирована, скажем, по уровням энергии, необходимой для поддержания накопителей памяти в состоянии доступном для считывания с них информации или по фрактальным образам параметров САИВ, то поиск необходимого факта может быть точно ориентирован по этим же параметрам маски — вектора

поиска искомого факта. И вновь оказывается, что чем качественнее запомнен, сформирован или чем в большем числе копий хранится вспоминаемый факт, а также чем разнообразнее его элементы, определяющие число разных разделов библиотеки памяти, где хранится информация о нем, тем легче его найти. К слову, наличие информации о данном факте не в одном разделе библиотеки памяти облегчает ее извлечение по неполной маске поиска. Поскольку первые накопители информации образуют своеобразный буфер памяти, постольку извлечение информации тем легче, чем выше константы диссоциации составляющих его молекул со вторыми накопителями (H^+). Иначе говоря, извлечение информации тем лучше, чем подвижнее компоненты буфера памяти. Последнее определяется не только свойствами собственно буфера, но и условиями среды, как внешней, так и в первую очередь внутренней.

Очевидно, извлечение из памяти информации тоже происходит образами³⁰⁴ в оговоренном смысле и только потом реализуется в привычные ощущения: шумы, музыка, слова, картины, запахи, вкусовые или тактильные ощущения. Образ большого объема с числом элементов более чем 7 ± 2 вспоминается фрагментарно, причем последовательность фрагментов совершенно произвольна, лишь затем формируется полностью. Такой механизм вспоминания совершенно очевиден даже на бытовом уровне.

Наконец, аналогично тому, как при запоминании происходит переstructuring имеющейся информации²³, то есть переформирование деревьев образов, каталогов и элементов памяти, так и при вспоминании происходит изменение структуры библиотеки памяти, по крайней мере в какой-то ее части. Это связано с тем, что факт зачастую вспоминается не со стопроцентной точностью относительно исходного, хранящегося в накопителях памяти. Причиной может быть хотя бы наличие флуктуаций энергии вследствие броуновского движения молекул и ионов¹²². Тем не менее, наличная информация при этом не исчезает, а входит во вновь образованную структуру библиотеки памяти.

Согласно рассматриваемым в литературе моделям, извлечение из памяти — восстановление, вспоминание происходит случайным образом³³¹ или хаотически³³⁰. С этим трудно согласиться, хотя бы потому, что при извлечении из памяти, вспоминании различают восстановление по контекстным деталям, а в их отсутствии — по старым знаниям или новым объектам, причем за каждый из таких процессов ответственны разные структуры головного мозга²⁹⁶. Поиск информации, построенный по подобным принципам, не может быть случайным, так как известен его механизм, зависимый даже от структур мозга, в который он осуществляется. Хаос при вспоминании возникает тогда, когда совершенно непонятно: где и в каком разделе

библиотеке памяти может находиться данный факт. Результат подобного поиска хорошо известен: он близок к нулю. Наличие же вектора и матрицы поиска делает вспоминание направленным и минимизирует время, затрачиваемое на него.

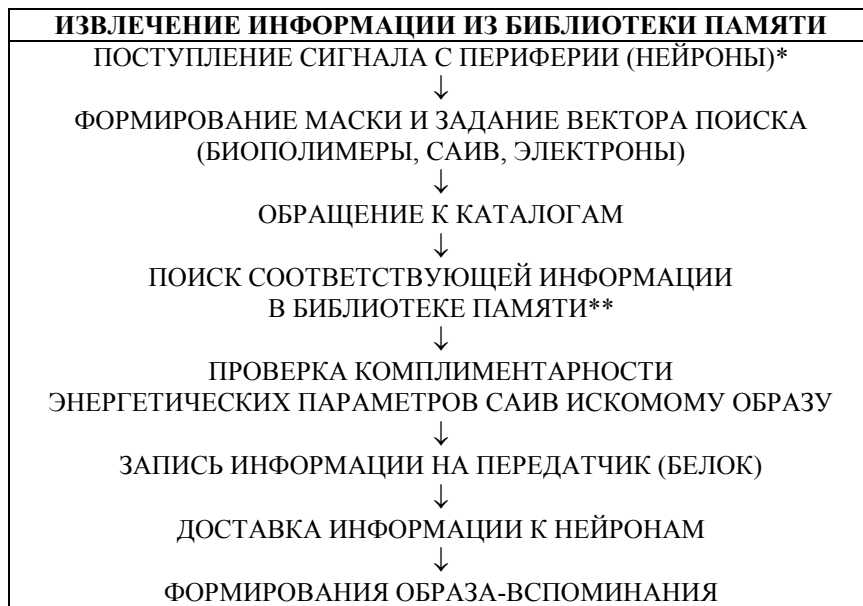


Рис. 1.5. Соподчиненность процессов в акте вспоминания

Примечания:

* в скобках указаны наиболее вероятные участники;

** на этой и неразрывно связанной с ней следующей стадии происходит запись информации о поиске в библиотеку памяти, вспоминание по ассоциации, переструктурирование библиотеки памяти.

В рамках ИММП механизм извлечения из памяти информации схематично представляется следующим (рис. 1.5). Активация нейронов приводит к формированию на биополимерных структурах образа — маски поиска. Ответственными за образ и за вектор поиска являются H^+ и сопряженные с ними электроны. Этот процесс и собственно процесс поиска требуемого факта аналогичны, даже не с обратным знаком, запоминанию информации с привлечением каталогов и всей библиотеки памяти. Действительно, информация о том, что тот или иной поиск проводился, то есть акт воспомина-

ния имел место, тоже хранится в библиотеке памяти. В случае соответствия-комплиментарности обеспечиваемых САИВ энергетических параметров маски искомому образу информация с последнего — и отсюда начинается процесс почти в точности соответствующий запоминанию, но с обратным знаком, посредством тех же электронов и H^+ переписывается на передатчик, очевидно, всегда имеющийся в наличии, синтезируемый по мере расходования и мало отличный от такового, передающего информацию от нейронов в библиотеку, который доставляет ее нейронам, где формируется образ в *бытовом смысле*, передаваемый на периферию, в сознание: вспомнил. Акту вспоминания (рис. 1.5) сопутствуют упомянутые процессы: записи информации о поиске в библиотеку памяти; вспоминание по ассоциации; переструктурирование библиотеки памяти, а критериями направленного поиска служат параметры: маски поиска, вектора поиска и, если такая информация имеется в библиотеке памяти, — шкалы времени.

Память и фактор времени. Из множества видов памяти, точнее, из множества ее проявлений, которые по разным соображениям, но, как правило, для удобства, в научном обиходе подразделяется память — единое свойство живых организмов, включая человека, рассмотрим два: кратковременную память и долговременную память. Подразделение памяти на такие виды основано на продолжительности хранения информации. Более подробно о классификации памяти по временной ее характеристике и ссылки на соответствующую библиографию см. выше. Название же текущего раздела следует читать как *временная память*, что подразумевает ее зависимость от фактора времени.

В общем считают, что в кратковременной памяти информация хранится относительно непродолжительное время, и если она не переходит в долговременную память, то утрачивается. Напротив, в долговременной памяти информация может храниться сколь угодно долго, вплоть до завершения жизнедеятельности организма — ее носителя. Уже из данных определений следует, что долговременная память вряд ли может существовать без кратковременной, функционирование которой, очевидно, является начальным этапом формирования памяти вообще. О том же косвенно говорят авторы целого ряда работ^{7, 8, 16, 219}, посвященных механизмам памяти с учетом фактора времени. Таким образом, кратковременную память в общем случае следует рассматривать как незавершенную память в том смысле, что факты, зафиксированные с ее помощью, не были занесены в библиотеку памяти и не содержатся в ней. Альтернатива: факты, зафиксированные кратковременной памятью, все же занесены в библиотеку памяти, но по каким-то причинам оказались утраченными либо недоступными. Последнее в данном случае равнозначно утрате факта, поскольку недоступность информа-

ции в принципе означает ее отсутствие. См. в Введении антропоморфность памяти *h.s.* и основой и оперативной памяти ЭВМ...

В рамках развиваемой ИММП нет никаких оснований противопоставлять кратковременную память и долговременную. Более того, из базовых положений модели следует, что кратковременная и долговременная память суть один вид памяти, причем первая — этап на пути формирования второй, памяти в общем смысле. Как отмечалось выше, если информация не переписана с белка-передатчика, функционирующего непродолжительное время, на накопителя она перестает существовать. В тот период времени, пока белок-передатчик не утилизирован, очевидно, имеется доступ к информации, содержащейся на нем, то есть он одновременно выступает в роли ее накопителя, не являясь таковым. В подобной ситуации и создается впечатление, что имеет место особый вид памяти, определенный как кратковременная память.

На этом можно было бы поставить *point sur les «i»*^{*}, но в контексте временности — зависимости от фактора времени памяти и с учетом развития положений ИММП следует еще раз рассмотреть вопрос, вынесенный в заглавие и частично обсуждавшийся выше: возможно ли ограниченное лишь временем существования организма хранение всей воспринятой им информации?

Существует мнение, что утрата информации, забывание начинается сразу же по ее получении вследствие постепенного угасания следов (*trace decay*)^{142, 289, 290, 293}. Это положение, основанное на гипотезе наличия физического следа — трассы, проложенного поступающей информацией, явно предполагает естественность процесса забывания; во-первых, его спонтанность, во-вторых, что существенно в данной модели, его непрерывность. Как следует из последнего, по аналогии с разделительной полосой на трассе — сплошной след, — информация поначалу истончается вплоть до прозрачности и прерывистости следа и в конце концов исчезает полностью. Вряд ли дело обстоит именно так. Учитывая наличие материальных носителей информации, ее утрата, конечно, может быть постепенной, но совершенно определенно — это процесс дискретный, но не непрерывной. Иными словами, забывание может происходить постоянно, но фрагментарно, что определяется гибелью структур, содержащих информацию о том или ином факте — информационной единице.

Забывание *сразу* естественным образом реализуется, если разрушается или, что более вероятно, изменяется конформационная структура белка передатчика, выступающего в роли накопителя информации, но не являю-

* «Точку над «i» (фр.).

щегося таковым. Гибель же истинных накопителей информации приводит к ее утрате в дальнейшем. Таким образом, хранение информации бесконечно в оговоренном смысле, долго — скорее исключение, чем правило. Собственно, то явление, которое определяют как *кратковременная память*, одним фактом своего существования дает отрицательный ответ на поставленный вопрос, если информация, содержащаяся в ней, не переходит в долговременную память.

В контексте временности памяти рассмотрим еще один из феноменов, который заключается в том, что с возрастом, начиная с какого-то почти тельного, у каждого со своего и, возможно, не у всех, старая информация вспоминается лучше, чем новая. Этому могут быть по меньшей мере две причины: новая информация плохо запоминается и/или доступ к ней, извлечение ее из памяти оказывается затруднен, если и вовсе не заблокирован. В аспекте данного феномена следует иметь в виду, что и у детей вплоть до нескольких лет жизни, и у взрослых, начиная с определенного возраста, одинаково плохо происходит процесс запоминания. Считается, причина в том, что у первых память лишь формируется, тогда как у вторых угасает. Однако, если у детей слабо развита долговременная память, то у пожилых людей, наоборот, зачастую нарушена кратковременная память (*где мои очки? я их только что держал в руках; очки, разумеется, на носу*), хотя неизвестно, формируется ли у них долговременная память: старики обычно хорошо помнят прошлое, но вспоминают ли они через определенное время настоящее? С другой стороны, относительно среднего возраста у детей и у пожилых людей высокая $[H^+]$, о чем свидетельствуют многочисленные данные, в частности, наличие гипоксии раннего возраста и старческой^{30, 83 125, 126, 128, 209, 212, 303}, а гипоксия приводит к увеличению $[H^+]^{50,056, 233}$. При этом параметры САИВ у них, разумеется, различаются. С позиций ИММП логично, что у лиц этих категорий, в частности, именно высокая активность H^+ не позволяет реализоваться памяти в ее лучших проявлениях, тогда как параметры САИВ определяют наиболее слабые звенья в механизмах памяти детей и стариков: стар как мал, гласит известная присказка...

Тот факт, что старая информация пожилыми людьми вспоминается лучше новой, связан с качеством запоминания. С возрастом в организме накапливаются некатаболизируемые кислые продукты⁷⁸, и мозг в этом смысле не исключение, накапливаются H^+ и возникает невосстребуемый водородный потенциал, который, по всей видимости, оказываются шумом и мешает запоминанию, но не вспоминанию. Наоборот, возможно, более высокое содержание H^+ у детей по сравнению со взрослыми препятствует вспоминанию, а не запоминанию, поскольку неизвестно, какое именно звено в механизме памяти у них наиболее слабое.

И последнее в данном разделе. Феномен улучшения памяти о давних событиях с возрастом — реминисценцию¹⁴², этукую *сверхпамять*, проверить экспериментально вряд ли возможно; особенно если беседуешь с «ветераном Куликовской битвы...» Иными словами, когда, по мнению субъекта, он вспомнил давно казалось бы забытое, причем в деталях, оснований для утверждения о справедливости, правдивости, правильности таких воспоминаний нет: неизвестно как оно было на самом деле? Тем не менее, увеличение H^+ и изменение параметров САИВ вполне может стать причиной для открытия путей к ранее недоступной или труднодоступной информации и, по крайней мере, формирования подобных впечатлений.

Ассоциативная и эмоциональная память. С позиций ИММП обсудим еще два весьма своеобразных вида памяти. Речь пойдет об ассоциативной памяти, которая так или иначе, но уже обсуждалась в предыдущих разделах, и об эмоциональной памяти.

Ассоциативная память, или механически-ассоциативная память²³, представляет собой воспоминание факта, который не является задачей данного поиска, потому основана на случайном доступе к информации³³¹. Повторимся в литературной реминисценции: «Шел в комнату, попал в другую», как Молчалин.

В работе²⁰⁰ приведен краткий обзор существовавших на тот момент (1985-й год) моделей ассоциативной памяти, основанных преимущественно на структурировании в системе нейронных сетей и квазиголографических принципах запоминания. Однако, нейронные сети формируются на уровне достаточно далеком от ионно-молекулярного, а в отношении голографических перспектив в формировании памяти, повторимся, замечено, что «*в мозгу не обнаружено ничего такого, за чем можно было бы признать способность создавать голограммы*»³³. Однако снова возразим: см. Введение и третью главу настоящей книги...

Основной принцип реализации ассоциативной памяти, по-видимому, заключается в том, что неразличенное воспринимается как тождественное²³. Как уже отмечалось выше, поиск необходимой информации ведется по сопоставлению соответствия энергетических параметров САИВ искомого образа с таковыми среди фактов, хранящихся в библиотеке памяти. В связи с этим случайное воспоминание не востребованного в данный момент факта может произойти по следующим причинам. Во-первых, энергетические параметры маски поиска и отыскиваемого факта могут быть настолько близкими, чтобы оказаться неразличимыми наличными системами их распознавания, которые, разумеется, обладают конечной точностью. В таком случае эти параметры воспринимаются как тождественные, приводя к неслучайному воспоминанию по ассоциации; пример подобного

вспоминания с присущими автору юмором и иронией описан в рассказе А. П. Чехова «Лошадиная фамилия». Во-вторых, еще более такому развитию событий способствует наличие лакун в маске поиска и в самом образе. Чем меньше, буквально — физически, количество H^+ , но и исходя из этого энергетически, чем меньше запомненный фрагмент факта и чем меньше размер маски поиска, столь же буквально, тем больше вероятность неслучайного совпадения энергетических параметров обеих структур. Наконец, возможность ошибок при запоминании и тиражировании для хранения в библиотеке памяти фактов с разных, не всегда идентичных, матриц по той же причине различия энергетических характеристик параметров САИВ вследствие ошибок копирования, по определению не могут оказаться существенными, также может приводить к вспоминанию по ассоциации. Кроме того, ассоциативному вспоминанию способствует наличие нескольких копий факта, содержащихся в разных разделах библиотеки памяти.

Альтернативой данному механизму может быть действительно случайное возбуждение находящегося в библиотеке памяти на материальном носителе его энергетического спектра, содержащего информацию о факте, который в данный момент не является актуальным. Все, за исключением последнего, варианты вспоминания по ассоциации случайными только представляются как стороннему наблюдателю, так и обладателю факта. Механизм возникновения ассоциативного вспоминания в основе своей имеет направленный, векторный поиск в библиотеке памяти информации, вблизи которой сосредоточена другая, но совершенно конкретная информация, степень энергетического соответствия которой искомому факту уменьшается по мере удаления от физического места его хранения. Как тут в ответ на реплику Молчалина вместе с Фамусовым, или вместо него, не задать риторический вопрос: «Попал или хотел попасть?»

Собственно, все перечисленные возможные причины наличия ассоциативной памяти — итог предшествующего анализа структуры и реализации памяти.

Из ассоциативной памяти при желании можно вычленить еще один аспект памяти, а именно эмоциональную память. Обычно эмоциональную память рассматривают как особый вид памяти. Тем не менее, вряд ли механизмы ее возникновения и реализации принципиально отличны от механизмов ассоциативной памяти.

Конечно, если под эмоциональной памятью — синонимы: аффективная память, память чувств, следуя^{22, 33, 80, 219}, понимать память исключительно о настроениях, переживаниях, эмоциях, то в таком случае это действительно особый вид памяти. Но с таким же успехом можно выделить как отдельную память о том или ином времени года — годовая память, или суток — су-

точная память, память о питье и пище и пр. По сути, все подобные виды, подвиды и прочие подобные обособления памяти, интересные скорее для систематиков*, представляют собой память по ассоциации при воспроизведении тех или иных состояний при различных условиях существования. В этом смысле эмоциональное состояние ни чем не лучше и не хуже других. В случае эмоциональной памяти ассоциации лишь осуществляются на уровне эмоций. Однако для нее, как для ассоциативной памяти, необходимо повторное воздействие раздражителей, обусловивших первичное возникновение данного эмоционального состояния^{33, 80}, и она, как и ассоциативная память, характеризуется³³, но не отличается⁸⁰ быстротой формирования и произвольностью воспроизведения^{33, 80}. Психоэмоциональная сфера не находится в стороне от остальных событий, имеющих место в живом организме и не управляется какими-то особыми молекулами и ионами.

Нужно иметь в виду, что при любом внешнем или внутреннем воздействии в первую очередь изменяется потребление кислорода организмом. В психоэмоциональной области первичными могут быть изменения параметров дыхания, что на практике не всегда может быть зафиксировано с помощью соответствующих приборов и аппаратов, возможно, ввиду кратковременности и/или невыразительности таких изменений.

В качестве примера проанализируем психофизиологическое поведение главной героини, пожалуй, наиболее популярной среди русских читателей версии басни И. А. Крылова, у которой *«от радости в зобу дыханье сперло»*. При этом вследствие мощной задержки дыхания в организме обязаны возникнуть и возникают кратковременные, но ярко выраженные гипоксические явления: сильный эмоциональный стресс может привести к временному кислородному голоданию⁸⁸. Экстраполируя, заключаем, что менее мощное эмоциональное воздействие приводит не к столь значительному, но все же недостаточному при исходных потребностях снабжению клеток кислородом. В обсуждаемой ситуации сигнал об уменьшении потребления кислорода, то есть гипоксия, при помощи и посредством H^+ , количество которых возрастает при гипоксии^{50, 56, 223}, вызвал компенсаторную гипервентиляцию^{34, 81, 155} — увеличение объема дыхания, и поэтому крыловская «ворона каркнула во все (выделено нами — Авт.) воронье горло». (Сравните с версией Лафонтена, исходящей из первоисточника сюжета в авторстве Эзопа** «Ворон и Лисица», где физиология и психофизиология отсутствуют, а психология, суть эмоция, представлена в неявном виде.

* «Не надо делать того, что все равно сделают немцы» (Н. В. Тимофеев-Ресовский) — это в смысле подробнейшей систематики...

** И Скалигера не обидим, не забудем...

Следовательно, при эмоциональном возбуждении очевидно изменение САИВ, что может и должно способствовать реализации эмоциональной памяти. Разумеется, такое воспоминание не требует формирования вектора поиска — оно не направленно, потому и оказывается случайным, ассоциативным, но наличие маски поиска при этом несомненно. Параметры же маски подобного поиска вне всякого сомнения — иначе не было бы воспоминания — соответствуют энергетическим параметрам того состояния, которое привело к записи соответствующего факта в библиотеку памяти.

Таким образом, эмоциональная память и ассоциативная память по сути есть идентичные явления, реализуемые при посредстве весьма близких, почти одинаковых механизмов. Их отличает лишь отсутствие в первом случае вектора, необходимого для направленного поиска факта требуемого, но не ассоциативного. По такой причине наличие вектора поиска никак не влияет, не приводит к выигрышу ни в качестве, ни во времени на воспоминание по ассоциации, которое оказывается столь же случайным, как и без него, и в этом смысле ничем не отличается от эмоционального воспоминания.

Продуцирование информации в системе памяти. Коснемся еще одного вопроса, обычно «скромно» обсуждаемого в моделях памяти, а именно вынесенного в заголовок подпараграфа. Иными словами, рассмотрим пополнение памяти средствами самой памяти; так сказать, искусство ради искусства...

Как уже отмечалось, информацию можно получить, сохранить и утилизировать. Процесс получения информации от внешних или внутренних источников в основном есть предмет моделирования памяти. Однако новая информация может быть получена не от источников информации, а в системе самой памяти на основании анализа информации имеющейся. Этому процессу мышления⁷ и исследованию его термодинамики посвящена фундаментальная работа Н. И. Кобозева¹²². Кроме того, уже само воспоминание является импульсом для формирования нового факта и может производить информацию как при восприятии²³ — действии внешних или внутренних физических, химических или физико-химических макроскопических стимулов, так и само по себе. Впрочем, и в таком случае не обходится без анализа, пусть и неосознанного, наличной информации, то есть *без процесса мышления*.

Так или иначе, извините за полезную тавтологию, память может служить источником памяти. И в таком случае первопричиной являются соответствующие материальные стимулы, однако их вычленение из многих известных факторов, оказывающих влияние на протекание физиологических процессов в организме, суть дело будущего, возможно, не столь уж отдаленного. В общем, создать новый факт физически равносильно тому,

что вспомнить его. Действительно, такой факт должен иметь ту же материальную основу, что и любой другой, характеризуется собственными, отличными от имеющихся энергетическими параметрами и находит свое место в библиотеке памяти и на шкале времени. Механизм же процесса формирования нового факта — отдельная задача, решение которой выходит за рамки данной общей теории ИММП.

Тем не менее, она, вероятно, может быть решена с использованием положений этой теории, согласно основному положению которой все процессы, все явления, обеспечивающие память и обеспечиваемые ею, в том числе мышление, определяются как высшая логическая память²³ и протекают на биополимерных структурах при посредстве H^+ и сопряженных с ними электронов и обеспечиваются энергетическими параметрами САИВ.

На этом оптимистичном выводе закончим обсуждение собственно возможностей реализации памяти и переходим к ее термодинамической и информационной характеристикам, то есть к энтропии.

Вопросы энтропии как термодинамическая и информационная характеристика памяти. Весьма важный момент, который далеко не всегда обсуждается в моделях памяти,— производство и перераспределение энтропии в процессах и в результатах накопления и извлечения информации. Энтропия — общая характеристика функционирования самоорганизующихся систем, в том числе биологических. В случае памяти вопрос осложняется тем, что в ней могут быть выделены несколько видов энтропии. Обсуждая эту задачу, будем использовать многие положения, уже обсуждавшиеся ранее, что ниже специально не оговаривается. Хотя бы повторенье и мать учения... (см. выше).

До сих пор упоминалась лишь термодинамическая энтропия. Но она под тем же названием может быть также и статистической, и информационной. Введем определения. Термодинамическая энтропия^{216, 241} суть

$$dS \equiv \left(\frac{dQ_T}{T} \right)_{rev}, \quad (1.7)$$

где dQ_T — количество тепла, полученного системой с температурой T во внутренне обратимом процессе; индекс *rev* — указывает на обратимость процесса.

Термодинамическая энтропия в таком представлении находится «в стороне» от интересов ИММП, поскольку определяет состояние статики, равновесия. Кроме того, может быть рассчитано только ее изменение, поскольку расчет абсолютной величины требует знания состояния системы при температуре абсолютного нуля, что есть нонсенс.

Статистическая энтропия, введенная в работах^{132, 162, 164, 216}, которую иногда называют физической энтропией¹⁶⁴, представляется выражением:

$$S_s = k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i + C, \quad (1.8)$$

где k — постоянная Больцмана; p_i — вероятность реализации i -го микросостояния в данном макросостоянии; а константа C принимается равной нулю (постулат Больцмана — Планка).

Информационная энтропия, предложенная Шенноном^{325, 341–343}, есть:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i, \quad (1.9)$$

где P_i — вероятность реализации системой i -го состояния.

Статистическая и информационная энтропии относительно просто рассчитываются при определенных условиях и в принципе могут быть использованы для характеристики системы. Существенно, что направленность изменений энтропий этих видов противоположна.

Кроме того, И. Пригожин^{162–164, 179, 180} предложил для оценки энтропии систем, в которых протекают неравновесные процессы, использовать сумму элементов корреляционной матрицы, диагональные члены которой могут быть поставлены в соответствие вероятностям, а внедиагональные — корреляциям¹⁷⁹. Эта энтропия — будем называть ее термодинамической — наиболее удобна для анализа процессов памяти. Во-первых, она характеризует динамические системы, находящиеся в стационарном состоянии динамического равновесия; во-вторых, имеет не только информационную, вероятностную, но и структурную, корреляционную составляющие. На основании положений Пригожина введен энтропийный эквивалент (ЭЭ), отвечающий положениям неравновесной термодинамики и требованию о направленности изменений, двух его составляющих, с помощью которого оценены вклады обоих видов энтропии в общую энтропию системы^{64, 65, 69, 73, 73}. Кроме того, выявляется взаимосвязь между энтропией, представленной в форме ЭЭ, и $[H^+]$ ⁶³.

Формально ЭЭ представляет собой сумму квадратов коэффициентов корреляционной матрицы, внедиагональные члены которой есть количественные характеристики коэффициентов парных линейных корреляций — структурные составляющие, а диагональные члены, расположенные на одной из главных диагоналей, суть рассчитанные на основе корреляций вероятности — информационные составляющие.

Новая информация по определению приводит к уменьшению неопределенности в системе, что неизбежно вызывает увеличение информационной энтропии и, как следствие, ввиду уменьшения числа возможных микросостояний — увеличение энтропии статистической: см. (1.8), (1.9). По-

добный ход событий неблагоприятен для системы, ведет к ее старению и гибели¹⁷⁹ и не случайно бытует мнение: «Много будешь знать, скоро состаришься». Но именно *бытует*. С позиций теории неравновесной термодинамики и по построению ЭЭ, вклад информационной составляющей таков, что увеличению информационной энтропии, напротив, соответствует уменьшение информационной составляющей и, при прочих равных условиях, снижение термодинамической энтропии системы. Уменьшение же термодинамической энтропии — это замедление старения или, если угодно, омоложение*. Таким образом, получение информации оказывается выгодно для системы памяти и, очевидно, для организма в целом: знания позволяют выбрать наилучшую стратегию во многих ситуациях, связанных с вопросами не только жизни и смерти, но и просто лучшей жизни. Не случайно, исходя из общих положений, заключили, что «*хотя получение информации сопровождается, как правило, поглощением энергии, это не означает обязательное увеличение энтропии*»⁷⁹. К такому мнению следует присоединиться, поскольку оно подтверждается анализом вклада информационной составляющей в термодинамическое состояние системы.

В ситуации живого организма увеличение энтропии при получении информации может происходить единственно по причине неспособности субъекта систематизировать эту информацию, что приводит к росту числа степеней свободы в системе памяти — числа элементов корреляционной матрицы, определяющей ЭЭ — и уменьшению вклада в термодинамическую энтропию информационной составляющей. С другой стороны, рост числа степеней свободы ведет к ослаблению силы корреляционных связей, уменьшению вклада структурной составляющей в термодинамическую энтропию и ее снижению ниже уровня, совместимого с нормальным функционированием. Подобная динамика также не может быть интерпретирована как положительная. Так или иначе, когда ничего экстраординарного не происходит, получение новой информации не приводит ни к росту энтропии, ни к ее уменьшению до критических величин.

Следовательно, один из энтропийных парадоксов о запрете на возрастании энтропии при получении системой информации оказывается легко разрешим с позиций неравновесной термодинамики. О том же говорит и *S*-теорема, альтернативная *H*-теореме Больцмана о возрастании энтропии закрытых систем, согласно которой энтропия самоорганизующихся систем не возрастает, когда она рассчитана для одинаковых средних значений энергии^{11, 119}. Последние условие, очевидно, реализуется в системе памяти

* Может поэтому нобелевскими лауреатами, исключая политдоминанту, становятся где-то в восемьдесят лет?



— Синьор, я вам сообщу величайшую эволюционную тайну науки, которой мы служим. Вы в своей диссертации доказали, что время существования неандертальцев и кроманьонцев пересеклось. А я сейчас пишу монографию, где доказываю: среди современных людей есть потомки тех и других. Постнеандертальцы — это генералы, прапорщики, политические вожди, братки, словом — люди с сильной волей. А потомки кроманьонцев — это слабосильная интеллигенция, особенно по научной части, телевизионные комментаторы, политические перевертыши, то есть люди с узкими лицами и затылками «тыковкой», малокровные, часто — безденежные...

(см. выше). Еще раз обратим внимание, что, поскольку белки-передатчики циркулируют, получая информацию, освобождаясь от нее и предоставляя себя для получения ее очередного кванта, постольку такой цикл может быть и вовсе безэнергетическим. Имеется в виду, что энергия производится, высвобождается — экзoэнергетический процесс в акте записи информации на структурных элементах, формирующих библиотеку памяти, а поступает она с периферии при записи информации на материальные носители, и тут же, *in situ*, расходуется на понижение энтропии. Если при этом достигается полное или почти полное соответствие между убылью и прибылью энергии, то процесс, и не только информационный, мышления как у Кобозева¹²², но и запоминания, оказывается изoэнергетическим, что и наблюдается в экспериментах.

Между прочим, по крайней мере в динамике биологического возраста, ЭЭ и $[H^+]$ положительно коррелируют между собой⁶³. В формирующемся и развивающемся мозге при получении информации, увеличении информационной энтропии и уменьшении информационной составляющей термодинамическая энтропия должна возрастать. Однако вследствие роста числа и силы корреляционных связей и увеличения структурной составляющей, вклад которой в термодинамическую энтропию, по нашей оценке⁷³, не менее 80 %, то термодинамическая энтропия увеличивается. Действительно, авторы, исследовавшие зависимость между $[H^+]$ (ph) в мозге и плотностью нейронов, нашли, что зависимость между ph и IQ у детей не очень хорошая, а метаболизм фосфора, отражающий энергетический метаболизм, коррелирует с выполнением вербальных заданий³³⁶. Последний результат свидетельствует о продукции энергии, по крайней мере, в процессе мышления, а уж расходуется ли она, и если да, то на какие цели — вопрос отдельный. В том случае, когда в системе энергия накапливается, энтропия, безусловно, возрастает. Если же произведенная энергия расходуется внутри самой системы, то это может приводить к уменьшению энтропии лишь в специально организованных системах. Формирующийся мозг в процессе развития как раз и стремится стать именно такой системой.

Говоря о мозге в динамике биологического возраста, интересно сравнить (повторимся) в младенчестве и в старости качество памяти во временном аспекте. У стариков, а у младенцев трудно проверить, память на близкие события, как известно, оставляет желать лучшего. Возможно, этому способствует, или препятствует более высокая по сравнению с людьми среднего возраста активность H^+ . Кроме того, хорошо известно, что люди, за редким исключением, да и то лукавят, пожалуй, не помнят младенчества, а старики — вспомнят ли они через какое-то время — год-два-три — события такой давности? Младенцы нечто запоминают, получают определенные

навыки, и, казалось бы, путем многократных повторений — исключения редки, но возможны, вроде «обжегшись на молоке...», у них формируется долговременная память. Однако это память не о событиях, фактах, а рефлексорная память. Старики, их система памяти, похоже и вовсе забыли о возможности формирования долговременной памяти. С позиций памяти, с возрастом, наблюдается обращение времени^{62, 179}. В раннем возрасте память не имеет прошлого, а в термодинамической энтропии преобладает структурная составляющая энтропии, в среднем возрасте есть память и о прошлом, и о будущем и обе составляющие термодинамической энтропии вносят в нее свой посильный вклад, в позднем возрасте — память без будущего, а структурная составляющая вновь преобладает в термодинамической энтропии.

Еще один парадокс, который следует обсудить с точки зрения энтропии, относится не столько собственно к памяти, сколько к мышлению — процессу переработки информации. Однако мышление в любом проявлении — решение логических и математических задач, выбор одного из многих вариантов, написание текста разной степени новизны и сложности и пр. — невозможно без памяти. Считают, что процесс принятия решения должен завершиться состоянием с нулевой энтропией¹²². Такие состояния легко представимы в рамках термодинамики, но логику развития событий не удастся проследить без привлечения гипотезы о неизвестных элементарных частицах, подчиняющихся «другой статистике» (см. выше). Заметим, что обсуждается энтропия в представлении (1.7), которая оперирует с теплотой.

В неравновесных системах возникает энтропия, смысл которой иной. С позиций термодинамики неравновесных процессов энтропия системы никогда не может достичь нуля, поскольку и корреляции между состояниями системы, и вероятности реализации того или иного состояния всегда отличны от нуля. Если учесть, что система с определенной вероятностью может находиться в разных объемах фазового пространства, то речь нужно вести исключительно о следующем: задача принятия решения предполагает выбор, не всегда единственный, из множества, а принятие решения — переход в полностью детерминированное состояние с одной ячейкой в фазовом пространстве и нулевой энтропией по определению. Однако это вовсе не означает постоянство энтропии на протяжении всего акта мышления. Информационные процессы, собственно мышление — безусловно, энтропийные. Безэнтропийным является только результат этих процессов. То есть безэнтропийность, даже если это действительно так, мышления есть не безэнтропийность памяти, без которой мышление нереализуемо. Иными словами, в результате акта мышления энтропия системы принятия решений не изменяется, что обеспечивается изменением энтропии в системе памяти,

а завершение акта мышления состоянием с нулевой энтропией не означает, что собственно процесс происходит без изменения энтропии.

Другое дело, каким образом в информационном процессе изменяется энтропия. Если она не увеличивается, то на поддержание ее, как минимум в исходном состоянии, несомненно требуются энергетические затраты, которые, впрочем, не обнаруживаются в эксперименте. А если мышление требует, скорей всего это именно так, увеличения энтропии? Тогда выделение энергии, обуславливающее ее рост, по меньшей мере количественно равно энергетическим затратам на дальнейшее снижение энтропии или даже превосходит их. В последнем случае энергия должна либо аккумулироваться для последующего понижения энтропии, либо сразу же расходоваться на такие нужды. Говоря другими словами, происходит полная компенсация энергии или даже некоторый выигрыш в ней при переходе из исходного состояния в состояние конечное. Кроме того, энергия, необходимая для мышления, может быть получена в сопряженных процессах¹²². Подобные процессы, правда, не в количественном смысле, не доходящие до состояний с нулевой энтропией, а в смысле направленности, тоже известны в физике, например, структурирование вязкой жидкости под действием тепла с образованием так называемых «ячеек Бенара»¹⁷⁹ и в химии, например, ферментативные реакции, идущие через образование фермент-субстратного комплекса.

Очевидно, что система после принятия решения более организована по сравнению с системой, перед которой поставлена задача, привнесшая в нее элемент неупорядоченности. В процессе принятия решения, проходящем через точку бифуркации, энтропия, очевидно, устремляется в бесконечность, после чего система переходит в новое фазовое пространство с единичным объемом — единственно правильное решение, в котором энтропия равна нулю. При этом в первом приближении можно выделить три состояния, причем в каждом из них число ячеек фазового пространства и/или распределение по ним иные: исходное — число ячеек произвольно, вероятность заполнения той или иной ячейки фазового пространства не очень равномерно; промежуточное — число ячеек по сравнению с исходным состоянием может увеличиться или не измениться, а распределение по ним приближается к равномерному; конечное — число ячеек, безусловно, меньше не только по сравнению с предыдущим состоянием, но и по сравнению с исходным, а распределение по ним строго детерминировано. Это не значит, что по окончании акта мышления система не имеет энтропии или, что то же самое, она равна нулю. Как до — так и после принятия решения энтропия у системы имеет место быть. Исключительно в том объеме фазового пространства, а именно за ними ведется наблюдение, который обеспечивает решение задачи, энтропия равна нулю. То есть энтропия

мышления нулевая относительно объема фазового пространства, за которыми велось наблюдение.

Уменьшение в неравновесном процессе термодинамической энтропии до нуля требует нулевых корреляций, причем независимо от того, о линейных или каких других корреляциях идет речь. При этом в оценке вероятностей возникает неопределенность типа $0/0$. Последнее — неопределенность, а не ее тип — означает, что энтропия исчезает только в том смысле, в котором она введена как физическое понятие. Иными словами, происходит изменение статистики или даже исчезновение ее в привычном понимании. В то же время в ином смысле энтропия очевидно, отлична от нуля. Когда мы сможем полностью алгоритмизировать мышление, например, процесс принятия интуитивного решения, или полностью описать процедуру, например, митоз, тогда энтропия перестанет быть нулевой или даже отрицательной — примеры из работы¹²². Но это означает, что нулевая и отрицательная энтропия существуют только благодаря нашему *незнанию*.

Следовательно, можно говорить о безэнтропийности информационного, но не термодинамического результата принятия решения. Такое заключение согласуется с выводами¹²² о том, что решение «информационной задачи» приводит к нулю информационную, но не термодинамическую энтропию, которая равна нулю только при решении «строго логической» задачи. В связи с этим, существуют ли «строго логические» задачи? Например, простейшая, казалось бы, такая строго логическая задача, как $2 \times 2 = ?$, — задача все же вероятностная. Попросту ответ известен заранее, потому и не подвергается сомнению. Если решать эту задачу, допустим, складывая камешки, то вероятность положить лишний или не доложить необходимый, явно отлична от нуля.

И вообще, построение ИММП, как и решение задачи моделирования процессов жизнедеятельности посредством поля H^+ , пока лишь привело к повышению энтропии даже в сознании авторов. Аналогичные примеры см.¹²². Однако, в целом все, сказанное об энтропии, так или иначе укладывается в гипотезу о том, что мыслящий человек нужен природе для уменьшения энтропии во Вселенной, чего он, к сожалению, пока не делает.

С учетом содержания Введения к настоящей работы, но и не забегая впереди лошади, оно же не ставя телегу впереди этого полезного сельскохозяйственного животного — имеется в виду последующее знакомство читателя с третьей главой, заметим, что вопросы информации и энтропии виртуальных системы, то есть в широком смысле — мышления и сопутствующей ей памяти, подробно рассмотрены, в том числе с привлечением концепции Н. И. Кобозева, в первом томе²⁶³ серии «ЖМФН». Пока — это к слову.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ К ГЛАВЕ*

Подведем некоторые итоги. Итак, для построения ИММП введены всего лишь два постулата — меньше, чем понадобилось Евклиду для описания наблюдаемой геометрии мира. Вот они: в системе памяти носителями и накопителями информации являются H^+ при участии сопряженных с ними электронов; информация кодируется энергетическими параметрами спектра активности H^+ — (САИВ).

Согласно²⁰⁰, и с этими положениями следует согласиться, «любая общая теория памяти должна определять, по меньшей мере, следующие положения: как представлена информация, какой тип информации запоминается и воспроизводится, какова природа операций запоминания и воспроизведения, какова форма хранения».

В ИММП эти и другие положения почти что однозначно определены. Модель оперирует с H^+ в качестве материальных носителей информации, которая хранится в виде параметров их энергетического спектра. Модель позволяет описать процессы получения, передачи и накопления информации, а также механизмы ее поиска и извлечения. С помощью построенной модели можно объяснить разнообразные виды памяти, независимо от ее временных факторов или способа извлечения из нее информации, чего, по определению, принципиально не позволяют сделать специальные модели, направленные, как правило, на объяснение механизмов одного или немногих аспектов памяти. Естественно, за пределами обсуждения по причине невозможности объять все, пусть и не необъятное (по Козьме Пруткову), остались многие реакции памяти и связанные с ней явления. Например, амнезия, «шоковые» воспоминания — вся жизнь перед смертью — и другие.

Как и в любой другой модели, для ее подтверждения и уточнения, или для ее опровержения, ИММП требует математического описания и экспериментальной проверки. Поскольку данная модель только разрабатывается и в нынешнем представлении является концептуальной, постольку и первое, и второе — дело ближайшего будущего; см. также вторую и третью главы.

* В настоящей книге мы отступаем от принятой в предыдущих томах серии «ЖМФН» методологии; вместо принятых ранее «выводов и проблемных вопросов» здесь мы даем «заключение к главе». Причина также методологического характера: содержание первой главы — постулируемое, что по определению делает проблемные вопросы формальными; вторая глава зиждется на известном математическом аппарате, к которому вопросов быть не может. А третья глава, что называется, — до кучи...

Относительно экспериментальной проверки основных постулатов модели следует, в первую очередь, рассмотреть возможности метода ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) для определения ph головного мозга и его разных отделов. Однако, в настоящее время методические подходы, используемые в исследованиях с помощью ЯМР, позволяют оценить именно ph , а это — интегральный показатель. Буфер же, пусть бы и памяти, как раз и предназначен для его поддержания, и поэтому изменений ph в процессах запоминания ожидать не приходится, во всяком случае, оно маловероятно. Другая сложность заключается в том, что пока не достаточно ясно, в каком участке мозга следует наблюдать за результатом запоминания, хотя отделы, связанные с памятью, в основном, известны.

Аналогичный вопрос неминуемо возникнет в том случае, если поставить целью обнаружить на периферии энергетические изменения, обеспечивающие память. Измерение энергообмена организма и различных его отделов — задача если не тривиальная, то относительно легко разрешимая.

Еще один путь экспериментальной проверки модели — попытаться выявить соответствие, корреляции между динамикой потребления кислорода, оцененной по показателям кровотока — измерения электрического сопротивления или параметров ультразвука на участке тела, реография или доплерография — и по параметрам электронного спектра крови или сыворотки: спектроскопия в видимой области. Последние однозначно отражают параметры САИВ. Если предполагаемое соответствие удастся обнаружить, то далее следует разработать методики оценки параметров САИВ с помощью неинвазивных методов и в дальнейшем использовать, например, реоэнцефалограмму в качестве одного из методов наблюдения за процессами памяти. Впрочем, подобный подход в настоящий момент представляется не более чем идеей, воплощение которой, будем надеяться, относительно перспективно.

В общем, задача анализа механизмов памяти еще далека от разрешения; наличный арсенал методов, используемых для исследования памяти, похоже, практически исчерпал себя и только новые подходы позволят существенно продвинуться в направлении раскрытия ее самых тонких механизмов.

Во всяком случае, авторам важно было выдвинуть концепцию ИММП и изложить ее в общем контексте содержания настоящей книги в максимально понятной — для широкого круга adeптов различных естественно-научных дисциплин — форме с тем, чтобы далее приступить к физико-математической, естественно-философской, логической и пр. «аранжировке» явления памяти как неотъемлемого субъекта феноменологии ноосферы. На том и стоим.