

УДК 621.382:612.82

И. И. Абрамов, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск,
Республика Беларусь,
e-mail: nanodev@bsuir.edu.by

МОЗГ — ОБЪЕКТ ОРГАНИЧЕСКОЙ ГИБРИДНОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ, ИЛИ ВЗГЛЯД СО СТОРОНЫ. ЧАСТЬ III.

Поступила в редакцию 24.07.2012

Приведена новая интерпретация функционирования мозга — объекта органической гибридной наноэлектроники, созданного Природой. Наиболее близкий аналог искусственной электроники — интегральная схема микро- и наноэлектроники. Проводится сопоставление нейронных цепей мозга и интегральных схем и устанавливаются их основные различия. Показано, что предложенная интерпретация и ее следствия позволяют не только более глубоко разобраться в принципах функционирования мозга, но и предложить перспективный комплексный подход его дальнейшего исследования, основанный на многоуровневом моделировании в сочетании с экспериментальными методами. В части III даны ответы на вопросы: "Достаточно ли для описания работы мозга, включая сознание, мысль, другие психические функции, квантовой механики? Как далее исследовать мозг?"

Ключевые слова: мозг, наноэлектроника, электронная интерпретация

Достаточно ли для описания работы мозга, включая сознание, мысль, другие психические функции, квантовой механики?

Прежде всего, отмечу, что квантовая механика здесь будет пониматься в широком смысле. Для пояснения этого приведу слова лауреата Нобелевской премии по физике Стивена Вайнберга, а именно [1]: "Все затейливые математические теории, которыми в последние годы занимаются физики, — квантовые теории поля, калибровочные теории, теории суперструн — все они формулируются в рамках квантовой механики". Таким образом, имеется в виду современный уровень квантовой физики, т. е. автор придерживается в данной работе точки зрения этого выдающегося американского физика.

До попытки ответить на поставленный вопрос сделаю несколько замечаний.

Во-первых, о полноте квантовой механики. Читая лекции студентам по квантовой механике с 1995 года, автор отмечает, что в легендарном споре о ее полноте между двумя великими физиками — Альбертом Эйнштейном и Нильсом Бором — правы обе стороны, но каждая по-своему¹, т. е. "у медали — две стороны". Так, Альберт Эйнштейн, оспаривая полноту квантовой механики, был прав в общепризнанном смысле. Математические модели² квантовой механики являются идеализациями, а следовательно, не могут полностью соответствовать более или менее сложному изучаемому объекту. Автор в работе [2] назвал эту проблему — проблемой "первого шага" (начало идеализации), и, по-видимому, она в общем случае неустранима в науке, основанной на математических моделях. Именно эта проблема может и будет являться "фундаментальной основой бесконечных спекуляций" в стиле: "В работе мозга мы чего-то не понимаем. Здесь есть что-то таинственное".

Таким образом, точное описание работы мозга с помощью квантовой механики современного уровня развития невозможно.

В чем же прав Нильс Бор и его многочисленные последователи? Они правы фактически в том, что возможные значения, включая результаты измерений, физических величин, описывающих поведение микрочастиц и их ансамблей, могут быть предсказаны с использованием формализма квантовой механики с достаточно высокой степенью точности, если такие измерения возможны в принципе³. Во всяком случае до сих пор очень многочисленные поиски каких-либо экспериментальных опровержений квантовой механики, осуществляемые как в прошлом [3], так и в более современных исследованиях (см., например, [4, 5]), не увенчались успехом. "Дело не только в том, что квантовая механика является основой всех наших представлений о материи и разных взаимодействиях и прошла невиданно жесткую экспериментальную проверку, более важно то, что никому не удалось придумать

¹ Замечу, что излагаемая далее точка зрения, в сущности, сформулирована с применением расширенного толкования концепции дополнительности Нильса Бора.

² Автор здесь пользуется принятым определением данного термина в русскоязычной литературе, см. Большую Советскую Энциклопедию, Физическую энциклопедию, Большую энциклопедию.

³ Вспомним, что некоторые величины согласно квантовой механике не могут быть одновременно измерены.

способ как-нибудь изменить квантовую механику, который сохранил бы все ее достоинства, но не привел бы к логическим противоречиям" [1]. Эта принципиально важная логическая завершенность квантовой механики была впервые убедительно показана Дж. фон Нейманом в ставшей легендарной монографии [6].

Во-вторых, о возможностях описания живых организмов с помощью физики. Хотя дискуссии на эту тему ведутся очень давно (см., например, [7]), Н. Бор и Э. Шредингер были первыми среди основателей квантовой механики, которые подняли этот вопрос в отношении "новой физики". Вопрос естественным образом перешел и на функционирование мозга. Более того, выдающийся советский и российский физик, лауреат Нобелевской премии Виталий Лазаревич Гинзбург "вопрос о возможности объяснить происхождение жизни и мышления на основе одной физики" отнес к одной из "трех великих" проблем современной физики" [8].

В целом, мнения ученых по данным вопросам и им подобным разделились. Так, только относительно мышления в настоящее время существует широкий спектр взглядов, теорий (см., например, [9–13]). Однако несмотря на это, все же выделяются две крайние, диаметрально противоположные точки зрения на рассматриваемую проблему. Согласно первой — биология принципиально несводима к физике. Здесь уместно заметить, что в настоящее время в психологии многими специалистами признается хотя бы следующее [10]: "Нет более важного принципа для современной психологии ..., чем этот: *Все психологическое является одновременно и биологическим*"¹. Согласно второй точке зрения — биологические явления могут быть в конечном итоге объяснены только с помощью физики (редукционизм). К сожалению, в литературе часто встречается "примитивный взгляд" на редукционизм. Убедительная критика этой опасной точки зрения проведена в статье выдающегося советского и российского биофизика М. В. Волькенштейна, а именно [14]: "Редукционизм, физикализация, математизация биологии воспринимается догматиками как злобная ересь. В действительности понятие о редукционизме здесь полностью лишено содержания. Речь идет не о редукционизме, но об интегратизме естествознания. Наука изучает целостный материальный мир, его многоуровневую систему"². Различные уровни исследования представлены во всех областях естествознания. Глубинный уровень — всегда физический, и именно это положение определяет содержательность и значи-

мость специфических уровней исследования в химии и биологии и перспективы их дальнейшего развития". Отмечу и интересное продолжение темы жизни с точки зрения физики на современном уровне ее развития, проведенное в статье [15], а также серьезный исторический экскурс в этом же направлении статьи [16].

Второй точке зрения в отношении сознания, мышления придерживаются многие физики, правда, иногда с некоторыми оговорками. Среди наиболее значимых работ последнего времени отмечу статьи и книги профессоров М. Б. Менского [17–20] и Р. Пенроуза [21, 22] и многочисленные последующие обсуждения прежде всего этих и других работ [13, 23]. Весьма интересной в этом плане является классификация Р. Пенроуза к "точкам зрения на отношения между процессами сознательного мышления и способностью к вычислениям" (см. табл. 3.1 книги [13]). При этом было выделено четыре подхода (A–D). Сам же Р. Пенроуз считает, что современной физике чего-то не хватает [21, 22] (подход C). Позиция автора ближе к подходу B, а именно: "Сознание является лишь одной из характеристик особенностей физической деятельности мозга. Как и любая другая физическая деятельность, сознание может моделироваться вычислительными операциями, но такое моделирование не является, строго говоря, самим сознанием" [13].

Итак, точка зрения автора формулируется следующим образом. *С одной стороны, психические функции мозга не могут быть описаны точно с помощью квантовой механики в принципе. С другой стороны, функционирование мозга может быть в принципе описано с высокой степенью точности (достаточной) с применением формализма квантовой механики на современном уровне ее развития.* Последнее утверждение формулируется лишь как гипотеза о достаточности квантовой механики (в качестве основы описания работы мозга, см. далее) в явном виде, которая не может быть доказана в настоящее время. Подчеркну, что и эта гипотеза сформулирована с применением расширенного толкования концепции дополненности Н. Бора.

Здесь приведу лишь некоторые аргументы в пользу данной гипотезы.

Во-первых, квантовая механика является надежной фундаментальной основой исследования физических свойств самых разнообразных объектов материального мира, а именно: элементарных частиц, атомов, молекул, различных систем данных частиц. Принципиально важно отметить, что при этом достигается хорошее согласование с экспериментом. Уже подчеркивалось, что до сих пор не удалось получить каких-либо экспериментальных опровержений квантовой механики. В то же

¹ Выделено автором этой блестящей книги.

² Вопрос о многоуровневости для нас будет иметь важное значение и в дальнейшем.

время мозг относится к материальным системам, состоящим из указанных выше частиц.

Во-вторых, глубинным уровнем описания основных процессов, определяющих функционирование мозга, т. е. электрических и химических (см. ранее), является квантовая механика. Что же касается химических процессов, то ограничусь лишь словами дважды лауреата Нобелевской премии, в том числе по химии, Лайнуса Полинга [1]: "нет ни одного раздела химии, который не зависел бы в своих фундаментальных основах от квантовых принципов".

В-третьих, глубинной основой современной физики твердого тела, электроники, включая ИС микро- и нанoeлектроники, является квантовая механика. Во всяком случае специалисты в этом несколько не сомневаются. Более того, такой детализации, как правило, и не надо. Во всяком случае для того, чтобы разработать компьютер, телевизор, ИС и, естественно, понять принципы, важные моменты их функционирования используются гораздо более простые закономерности, которые, однако, выводятся из квантовой механики.

В-четвертых, и, наверное, самое главное. Согласно данным современной нейрофизиологии и нейропсихологии мозг лишь приблизительно отражает действительность и обрабатывает поступающую информацию (см. также ранее). Например, хорошо известно, что мы не воспринимаем оптические сигналы в некотором диапазоне длин волн (см., например, [24]). В связи с этим возникает элементарный вопрос: "А надо ли описывать такое устройство, т. е. мозг, точно?" Ответ очевиден — нет!

Таким образом, квантовой механики вполне достаточно для описания работы мозга.

Как далее исследовать мозг?

Прежде чем отвечать на этот вопрос, целесообразно сделать замечания, связанные с необходимостью очень вдумчивой и сверхаккуратной работы с квантовой механикой — самой мощной теорией, когда-либо созданной Человеком. Ведь тут ошибались такие великие физики, как А. Эйнштейн и Э. Шредингер, т. е. ученые, относящиеся к ее творцам. Так как эта тема неоднократно и уже давно рассматривалась на страницах журнала "Успехи физических наук" (см., например, [25—27]), то здесь дам лишь краткие пояснения, полезные нам в дальнейшем.

Так, очень часто, кроме некоторых постулатов квантовой механики, забывается, что она предназначена для описания поведения закрытых систем, а также собственно предмет ее изучения, а именно [28]: "... предметом рассмотрения квантовой механики является движение микрочастиц". Имеется ввиду не только непосредственно сами микрочастицы, но и их ансамбли [28].

Требование закрытости системы может перерасти в достаточно серьезную техническую проблему. Ведь изучаемую систему необходимо дополнить до закрытой системы, а это, как справедливо отмечается в работе [29], может быть "остаток Вселенной", если последнюю считать закрытой системой, что, кстати, тоже проблематично. Итак, любое редуцированное описание изучаемой системы с помощью квантовой механики, строго говоря, приближенное, хотя бы по этой причине (см. также ранее). Почему же возникла эта проблема? С точки зрения автора, она является следствием сути, если хотите "соли", квантовой механики, которая заключается в простом и абсолютно точном утверждении: "Все¹ взаимодействует со всем!" Поэтому при работе с квантовой механикой мы вынуждены вводить явно или неявно приближения (следующий шаг идеализации) в целях возможности рассмотрения более простых изучаемых систем.

Забывчивость о предмете квантовой механики приводит некоторых авторов к утверждению, что она "не работает" для макроскопических тел. Действительно, "в лоб" и некорректно может не работать. Отсюда в основном и появляются различного рода парадоксы типа кота Шредингера. В связи с этим отмечу лишь два факта, известных из учебников.

1. Уравнения классической механики получаются из уравнений квантовой механики в определенных условиях (предположениях), которые, как правило, выполняются для макроскопических тел (см., например, [28]). Это значит, что эти условия (предположения) допустимы при переходе от строгой (квантовая механика) модели к более простой (классическая механика).

2. Вся физика твердого тела в сущности построена исходя из законов квантовой механики в определенных предположениях (см., например, [30]), справедливость которых традиционно устанавливается после сравнения соответствующей теории и эксперимента, т. е. фактически после проверки допустимости того или иного упрощающего перехода.

Таким образом, и в том и в другом случаях квантовая механика "работает", однако ее использование очень сложно, а часто просто технически не осуществимо (см. далее), т. е. она слишком детально во многих случаях. Необходимо, однако, все же подчеркнуть, что эта проблема технического², а не принципиального характера. Поэтому целесообразнее в отмеченных и им подобных случаях применять более простые и менее адекватные следующие из квантовой механики приближенные модели. Следовательно, использование квантовой механики

¹ Имеются в виду микрочастицы и их ансамбли.

² Она, конечно же, отличается от технической проблемы второго шага идеализации (см. ранее).

здесь в качестве физико-математической основы, по крайней мере, указанных двух дисциплин более чем достаточно.

Показательна в этом плане схема корректного применения квантовой механики в качестве основы при построении зонной теории твердых тел. Очень кратко она заключается в следующем (см., например, [31]). Кристалл, являющийся системой легких (электроны) и тяжелых (ядра) микрочастиц, описывается волновой функцией, зависящей от их координат. Далее записывается гамильтониан этой системы, учитывающий доминирующие взаимодействия. Соответствующее многочастичное стационарное уравнение Шредингера (даже без учета влияния спинов электронов и ядер) содержит $3(Z + 1)N$ координат частиц, где N — число атомов в кристалле, Z — порядковый номер элемента в таблице Менделеева. Если учесть, что согласно оценкам в 1 см^3 находится около $5 \cdot 10^{22}$ атомов, то для $Z = 14$ число переменных в этом случае $\sim 2 \cdot 10^{24}$ [31], т. е. фантастическое. Ясно, что даже после, как минимум, двух шагов идеализации (см. выше) получаемое уравнение Шредингера решить невозможно, по крайней мере, на современном этапе развития вычислительной техники, а также в обозримом будущем. Поэтому далее вводятся достаточно серьезные приближения (адиабатическое Борна—Оппенгеймера, одноэлектронное). В результате получается упрощенное одноэлектронное уравнение *вида* уравнения Шредингера для огибающей волновой функции. Отмечу, что для этой функции принцип суперпозиции уже может не выполняться. Прodelайте подобное последовательное рассмотрение для системы в парадоксе кота Шредингера (опишите кота, как ансамбль микрочастиц, и т. д.), выведите, если сможете, уравнение, позволяющее получить согласование с экспериментом, и убедитесь в том, что кот будет либо жив, либо мертв в зависимости от целостности ампулы с ядом¹.

Целесообразно также сделать замечание о редукции волновой функции. Это, действительно, очень удобный феноменологический прием, без которого в квантовой механике можно вполне обойтись (см., например, [32, 33]). Он удобен при рассмотрении измерений, так как может значительно упростить описание изучаемой системы в рамках составной (изучаемая система и измерительный прибор). Хотите более строго, пожалуйста, переходите к описанию на основе статистического оператора (матрицы плотности) или более сложной системы изначально для волновой функции. Важно отметить, что корректно этот вопрос

¹ Замечу, что в литературе обычно дается другое разъяснение парадокса.

впервые рассмотрел Дж. фон Нейман (см. его монографию [6], в частности главу V).

Несмотря на принятую вторую гипотезу о достаточности, строгое использование квантовой механики для описания работы мозга, как и для твердого тела (см. ранее), к сожалению, практически невозможно. Причина — точно такая же. В частности, число взаимодействующих молекул в 1 см^3 мозга имеет приблизительно тот же порядок, что и атомов в кристалле, т. е. около 10^{22} (см. ранее). Подобные по сложности задачи в математике называются труднорешаемыми класса NP . В связи с изложенным принимаем третью гипотезу: *строгое математическое описание работы мозга с помощью квантовой механики относится к труднорешаемым задачам класса NP* . Эта гипотеза, к сожалению, не может быть доказана² на настоящий момент времени.

Таким образом, *кроме двух шагов идеализации* (I-й шаг — неустранимый; II-й шаг — технический, см. ранее) *последующие идеализации, причем существенные, при теоретическом исследовании функционирования мозга на основе квантовой механики являются фактически вынужденными*. И дело даже не только в том, что, к сожалению, строгое рассмотрение работы мозга невозможно на уровне молекул. Оно практически неосуществимо и на гораздо более простом уровне взаимодействующих нейронов, ввиду, прежде всего, их колоссального числа (см. ранее).

Отмечу также еще две очень "тяжелые" проблемы. Во-первых, в режиме при внешнем воздействии (см. выше) необходимо исследовать взаимодействия в сложной составной системе, а именно: "объект — сенсорная система — мозг". Эта проблема начала рассматриваться еще классиками (В. Гейзенбергом, Н. Бором, Дж. фон Нейманом и др.) и представляет собой исключительно сложную проблему квантовой механики [17].

Во-вторых, в соответствии с принятой интерпретацией мозг является непростым набором нейронных нелинейных электрических цепей, так как многие из них могут модифицироваться в процессе функционирования. Замечу, что расчет даже элементарных не изменяющихся нелинейных электрических цепей достаточно непрост [35, 36].

Как же анализировать такой высочайшей сложности системы и возможно ли это? Признанный подход — исследование сложных систем по частям (декомпозиция). Методы декомпозиции эффективно используют при решении самых разнообразных задач (электродинамики [37], квантовой механики, исследования многоатомных молекул и др. [38]), включая ана-

² Это, кстати, характерно для подобного рода задач (см., например, [34]).

Уровни рассмотрения объектов

Мозг	Современные ИС
2. Нейропсихологический	6. Архитектурный 5. Конструкторско-топологический 4. Функционально-логический 3. Схмотехнический 2. Элементный
1. Нейрофизиологический	1. Технологический

лиз нелинейных электрических цепей [38], интегральных схем разной степени интеграции [39—42], что особенно важно для нас.

Так, в настоящее время с успехом разрабатывают и изготавливают УБИС с числом элементов на кристалле более 10^9 . Хотя эти цифры пока еще далеки даже от числа нейронов в мозге человека, как уже отмечалось, ИС является наиболее близким искусственным аналогом для него. Более того, задачу моделирования УБИС можно также отнести к труднорешаемым класса *NP*. Здесь уместно отметить, что у специалистов в области микро- и нанoeлектроники нет сомнений в том, что разработка ИС еще более высокой степени интеграции по сравнению с отмеченной будет успешно продолжаться близко к закону Мура и в дальнейшем [43].

Таким образом, приведенная информация позволяет сделать вывод о том, что у *Человека уже есть положительный многолетний опыт решения подобных, хотя и не столь сложных относительно рассматриваемой, задач в области микро- и нанoeлектроники*. Это, в частности, исследование¹ УБИС.

В связи с этим здесь уместно кратко описать хотя бы принципы моделирования (автоматизированного проектирования) современных ИС (для более подробной информации см., например, [39—43]). При декомпозиции описания ИС используются разные уровни (степень) детализации, причем на каждом из них может применяться иерархия моделей. Учитывая, что задача относится к труднорешаемым класса *NP*, такое разбиение не может быть однозначным. Поэтому невозможно создание единой универсальной методологии моделирования (автоматизированного проектирования), по крайней мере, ИС высокой степени интеграции, в частности УБИС, которая могла бы быть успешно реализована на современных ЭВМ. Результатом этого является большое разнообразие методологий, а следовательно, неоднозначность возможной структуры их систем автоматизированного проектирования. И, тем не менее, выделяются следующие основные уровни проектирования (моделирования) ИС [40, 42], приведенные в таблице. Нумерация проведена, на-

¹ Тут интересно заметить, что УБИС все же еще и изготавливает Человек в отличие от мозга. В этом плане задача для мозга, по крайней мере, на данном этапе проще.

чиная с нижних иерархических уровней (наибольшая степень детализации). Для сравнения в таблице также указаны основные уровни исследования мозга (фактически специальные дисциплины).

Таким образом, невозможность строгого решения задачи привела к тому, что *моделирование современных ИС является иерархическим в целом, т. е. между уровнями (многоуровневое), и, в частности, т. е. в рамках одного уровня обычно используется иерархия моделей*. При этом интенсивно применяются самые различные и современные экспериментальные методы и оборудование. Причин для этого много. Важнейшие — задание исходных данных и компенсация "потерь" в адекватности моделирования вследствие изложенного ранее, а также погрешностей моделей и др. Именно подобный комплексный подход, с точки зрения автора, и наиболее перспективен для дальнейшего исследования мозга, т. е. электрических цепей первого типа, несмотря на все отмеченные ранее серьезные проблемы.

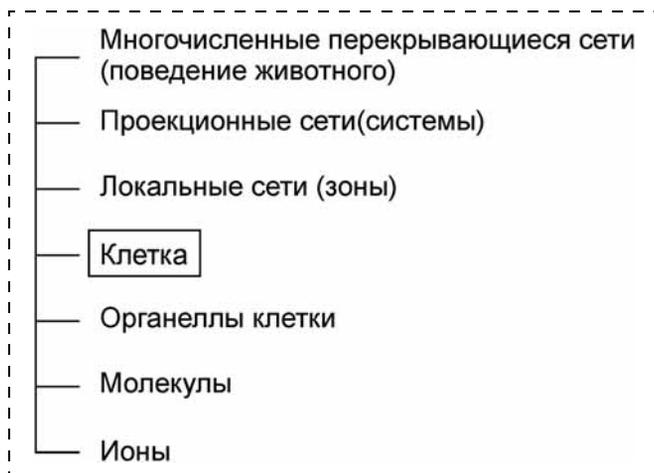
Однако вернемся к таблице. Как из нее следует, рассмотрение УБИС осуществляется на большем числе иерархических уровней. Причем ключевым является схмотехническое моделирование, т. е. по существу на уровне электрических цепей, и это важно (см. далее). Исследование мозга² проводится фактически только на двух уровнях, несмотря на то, что объект гораздо сложнее. Следовательно, деление в этом случае является достаточно грубым, что, кстати, отмечалось рядом исследователей мозга.

Результатом такого грубого деления на два уровня и является итог наших исследований мозга на сегодняшний день, который очень образно и красиво выражает следующая цитата [44]: "Все, что мы можем сделать сегодня, — это установить корреляцию: паттерн X соотносится с поведенческой моделью Y". В этом же плане очень показательна оценка одного из крупных специалистов когнитивной психологии Р. Солсо по поводу стиля работы в данной области, а именно [11]: "Многие когнитивные психологи невольно совершают подобные скачки от эмпирических данных к гипотетическим построениям, а некоторые, вполне сознательно и по доброй воле, делают на основании имеющихся данных различные выводы (так и являются самые разнообразные модели)".

И, тем не менее, автор не столь пессимистически настроен. В действительности, в нейрофизиологии, нейропсихологии и психологии в целом получены значительные и замечательные результаты³, которые могут и должны быть использованы в рамках комплексного иерархического подхода

² Имеются в виду, конечно же, только специальные дисциплины.

³ Отмечу, что без опоры на них эта работа просто не состоялась бы.



Уровни организации нервной системы [45]

исследования мозга. Конечно же, уровней должно быть больше. И тут, вообще говоря, много возможных вариантов декомпозиции, так как задача относится к труднорешаемым задачам класса *NP*. Отмечу, что могут быть различными даже принципы разбиения, например, исходя из взглядов на работу мозга.

Так, в рамках нейробиологии очень удачным, как мне кажется, является разбиение на уровни организации нервной системы, приведенное в учебнике выдающегося американского нейробиолога Г. М. Шеперда (рис. 1.6, [45]). Интересно, заметить, что, если отбросить тип носителей заряда на приведенном здесь рисунке, то и здесь число уровней равно шести (сравни с таблицей, правая колонка). Допустимы, конечно же, и другие варианты (см. далее).

Что же вселяет определенную уверенность в возможности успешного многоуровневого моделирования мозга? Кроме отмеченного, главная мысль в целом очень метко и образно выражается следующими словами Д. Хьюбеля — выдающегося исследователя мозга, а именно [24]: "... в чудовищной сложности нервной системы почти всегда можно усмотреть известную степень упорядоченности". Итак, в нейрофизиологии, нейропсихологии, нейрокибернетике установлено [7, 24, 46—53] (см. также ранее), что для мозга характерна определенная структурированность (иерархичность) его систем на разных уровнях с многочисленными вертикальными, горизонтальными и обратными связями. Все это свидетельствует о том, что у Природы, судя по всему, не было другого пути, так как без этого мозг просто не справился бы с еще более чудовищными потоками информации¹, поступающими в

¹ Так, согласно оценкам "только зрительная система может передавать в мозг $4,3 \cdot 10^6$ бит информации в секунду" [11].

него. Нужна была очень мощная иерархическая система обработки и хранения информации, к тому же чрезвычайно эффективная и очень экономичная, т. е. мозг.

Принципиально важными были исследования выдающегося американского нейрофизиолога В. Маунткасла, который показал, что кора головного мозга использует аналогичный принцип обработки сигналов различной модальности (зрительных, слуховых и др.).

Лучше всего предоставить ему же слово [54]: "Общая идея состоит в следующем. Крупные структуры в головном мозгу, известные как ядра (или области) новой коры, лимбическая доля, дорсальный таламус и т. п., сами состоят из повторяющихся *локальных нервных цепей*, модулей, которые варьируют от одной крупной структуры к другой по числу клеток, внутренним связям и способу обработки, но которые в пределах данной структуры в основном сходны (Szentagothai, Arbib, 1974; Szentagothai, 1975). Каждый модуль представляет собой локальную нервную цепь, которая обрабатывает информацию, передает ее со своего входа на выход и при этом подвергает ее трансформации, определяемой общими свойствами структуры и ее внешними связями. Модули объединяются в структуры — например в ядра или в области коры, — общей или доминирующей связью, потребностью в наложении функции на определенное топографическое представительство или каким-нибудь иным фактором. Группа модулей, составляющая структуру, сама может быть разбита на подгруппы разными связями с обособленными таким же образом подгруппами в других крупных структурах. Тесно и многократно взаимосвязанные подгруппы модулей в разных и часто далеко отстоящих друг от друга структурах образуют, таким образом, точно связанные, но распределенные системы. Сохранение соседних отношений между взаимосвязанными подгруппами топографически организованных структур создает "гнездные" распределенные системы. Такая распределенная система предназначена для обслуживания распределенной функции. Один модуль структуры может быть членом нескольких (но не многих) таких систем. Только в пограничном случае все модули совокупности могут иметь одинаковые связи.

Я намерен рассмотреть эти идеи, в особенности по отношению к новой коре, а также общее представление, что функция обработки, осуществляемая модулями новой коры, качественно сходна во всех областях".

Для нас также важно отметить, что В. Маунткасл обозначил "основную модульную единицу новой коры как мини-колонку", которая включает около 110—260 нейронов [54]. Существуют, одна-

ко, и гораздо большие "макроколонки", которых в новой коре около $6 \cdot 10^5$, "причем каждая из них содержит несколько сот мини-колонок" [54].

Каков же может быть принцип построения системы многоуровневого моделирования мозга, например психических функций, в соответствии с принятой электронной интерпретацией? Прежде всего оценим, хотя бы грубо, о какой сложности электрической цепи первого типа идет речь. Так, известно, что "при мыслительных процессах возбуждаются группы нервных клеток 10^5 — 10^6 нейронов" [55]. Можно сделать и более пессимистическую оценку. Уже отмечалось, что число зон, участвующих в мыслительной деятельности, около 10^3 — 10^5 . Если учесть, что зону могут формировать микро- или макроколонки по Маунткласу В. (см. ранее), то нижняя граница будет также 10^5 , а вот верхняя существенно выше — около 10^9 . Интересно отметить, что даже верхняя (пессимистическая) граница соответствует уровню интеграции современных УБИС. Следовательно, *можно сделать весьма осторожный прогноз о том, что задача моделирования мыслительной деятельности, в принципе, возможна.*

В связи с изложенным выше разумно начать с определенного симбиоза уровней, приведенных выше таблицы (правая колонка) и рисунка. Так, локальные сети (зоны) (по принятой терминологии — небольшие по числу нейронов электрические цепи первого типа), по-видимому, могут быть промоделированы на схемотехническом уровне¹. Для того чтобы это осуществить, необходимо, прежде всего, разработать библиотеку моделей элементов (в терминах микро- и нанoeлектроники). Фактически это осуществляется на уровне моделирования элементов — второй уровень таблицы (правая колонка). В частности, необходимо создать многочисленные электрические модели² следующих элементов (см. выше): ионных каналов, аксонов, дендритов, шипиков, синапсов, тел клеток и др. При этом, в принципе, может быть учтено влияние химических, тепловых и других значимых процессов. Далее после схемотехнического моделирования строятся макромоделли локальной цепи и мы переходим на следующий уровень моделирования, например, согласно рисунку — это проекционные сети (системы) и т. д.

Здесь сразу же отмечу, что наибольшей сложностью разработки при многоуровневом моделировании ИС характеризуются именно нижние иерархические уровни, т. е. уровни 1 и 2 (см. таблицу, пра-

¹ Если не удастся (велики требуемые вычислительные ресурсы ЭВМ), то цепь разбивается на цепи с меньшим числом элементов. Это обычная практика при моделировании ИС.

² Определение электрической модели может быть найдено в работах [40, 42].

вая колонка) [40, 42]. Так, достаточно отметить, что самый нижний технологический уровень 1 для мозга будет соответствовать уровню моделирования формирования нейронных цепей. Это фантастической сложности задача, так как фактически необходимо промоделировать всю предыдущую историю их формирования, включая указанные выше восемь главных стадий развития.

Достаточно высокой сложностью разработки будет характеризоваться и иерархический уровень 2, т. е. элементный (см. выше). Мировой опыт в области микроэлектроники, особенно нанoeлектроники, показывает, что подобные задачи по моделированию элементов характеризуются исключительно высокой степенью сложности и трудоемкости. Детальный анализ этой проблемы дан в цикле статей автора [2, 56]. Так, известная система NEMO моделирования некоторых приборов нанoeлектроники разрабатывается в США, начиная с 1993 г. (сейчас под эгидой NASA), и предназначена для использования на суперЭВМ. Под руководством автора разрабатывается система NANODEV моделирования нанoeлектронных приборных структур на эффектах одноэлектронного, резонансного туннелирования и квантовых проволоках, начиная с 1995 г. [57, 58]. Проблемы здесь, прежде всего, связаны с необходимостью разработки сложных комбинированных моделей, причем обычно встречающимися случаями являются взаимодействия наноструктур (активных областей) и макроскопических областей, т. е. имеют место квантовые измерения в традиционном для квантовой механики понимании. Специалистам известно, что это исключительно сложный вопрос. Кроме того, целесообразно разрабатывать иерархии моделей различной адекватности. В результате, работы характеризуются большой длительностью.

Согласно изложенному выше, важными элементами нейронных цепей являются ионные каналы — сложные нанoeлектромеханические системы. Для их детального анализа целесообразно использовать многоуровневое моделирование. Такой подход с успехом был реализован при моделировании другой достаточно сложной нанoeлектромеханической системы, в частности радиоприемника на основе углеродных нанотрубок [59]. Хотя и здесь требуется использование мощной вычислительной техники, однако важным моментом этого исследования являлось применение ранее разработанных лицензионных программ. Это позволило авторам оперативно решить такую достаточно сложную задачу.

Итак, что же мы получаем? Неужели отмеченный выше осторожный прогноз не сбудется? Автор уверен, что несмотря на отмеченные колоссальные сложности, особенно на нижних иерархических уровнях, это возможно. Но за это придется опять же

"заплатить" дальнейшими упрощениями (следующие шаги идеализации), во всяком случае на начальных этапах разработки. Здесь уместно отметить, что как известно специалистам, при моделировании ИС, уровни 1 и 2 обычно не реализуют в деталях, а "хитро" обходят. Для этого применяют комбинированные¹ (во многом эмпирические) модели элементов (типа BSIM2, ..., BSIM5 [60]). В этом случае, задавая ключевые конструктивно-технологические и другие параметры, осуществляют переход сразу на уровень 3, т. е. схемотехнического моделирования, минуя уровни 1 и 2. Таким образом, и при исследовании мозга целесообразно разработать подобные электрические модели основных элементов нейронных цепей в зависимости от морфологических, нейрофизиологических и других данных. Ясно, что и здесь должно использоваться самое современное оборудование.

Отмечу, что в настоящее время уже применяется широкий спектр экспериментальных методов и различных средств, а именно [10, 11, 46]: методы сканирования мозга (компьютерная томография, позитронно-эмиссионная томография, магнитно-резонансное отображение), электроэнцефалография, электрические раздражения мозга с помощью микроэлектродной техники, химические препараты и лекарства, исследования, основанные на разрушениях и патологиях мозга, и др. Здесь уместно заметить, что еще в 60-х годах прошлого века академиком Бехтеревой Н. П. и ее коллегами был предложен комплексный подход к изучению мозга, основанный на разнообразных экспериментальных исследованиях [49, 61]. И, тем не менее, автор считает, что качественно новые возможности появятся с более интенсивным использованием достижений в области нанoeлектроники, нанофотоники, нанотехнологий и наноматериалов. Очень впечатляющими примерами, подтверждающими это, являются применения оптогенетики и нанопроволок [44]. Одна из важнейших причин необходимости такого развития заключается в том, что многие экспериментальные данные специальных дисциплин о мозге должны быть либо уточнены, либо просто пересмотрены ввиду их явной противоречивости².

Итак, *после разработки электрических моделей элементов нейронных цепей с применением также*

¹ Отмеченные, строго говоря, комбинированные модели включают компоненты электрических, физико-топологических и формальных моделей при интенсивном использовании экспериментальных данных, однако базовыми все же являются электрические модели, так как предназначены для схемотехнического моделирования [42], поэтому в дальнейшем — просто электрические модели.

² К сожалению, многие из используемых даже на настоящий момент времени экспериментальных методов исследования мозга все еще достаточно грубы.

самого современного оборудования в соответствии с принятой электронной интерпретацией многое в поведении мозга можно будет промоделировать на схемотехническом уровне, т. е. нелинейных электрических цепей первого типа. После реализации данного ключевого этапа может быть осуществлен, как уже отмечалось, переход на более высокие иерархические уровни в целях моделирования более сложных функций. Отмечу, что в предлагаемой схеме многоуровневого моделирования могут использоваться не только подходы, методы, методики, отработанные при подобном исследовании ИС, т. е. накопленный в этой области опыт, но и многое разработанное программное обеспечение (инструментарий). Это чрезвычайно важно, так как может значительно ускорить процесс исследования мозга.

Полезны ли здесь будут многочисленные ранее разработанные модели в биофизике, нейрофизиологии, нейропсихологии, нейрокибернетике (см., например, [11, 12, 46, 49, 51—53, 61—81])? Несмотря на определенный хаотический характер в их разработке, бесспорно да. Уверенность автора связана с тем, что наиболее удачные модели в этих областях, а их немало, могут рассматриваться в свете изложенного, в том числе принятой второй гипотезы, в качестве макромоделей, которые скорее всего возможно получить в результате упрощений из более строгих в конечном итоге квантово-механических моделей. Следовательно, такие удачные модели могут быть "встроены" в схемы многоуровневого моделирования мозга. Ввиду исключительно высокой степени сложности задачи, к очень перспективному следует отнести синергетический подход [83, 84]. И, тем не менее, ситуация в целом может быть метко охарактеризована словами сорокалетней давности выдающегося американского нейрокибернетика М. Арбиба [52]: "... наши модели все еще весьма грубы и чрезвычайно упрощены по сравнению со сложностью настоящего мозга". К сожалению, на настоящий момент времени здесь много феноменологии и часто плохо обоснованных догадок.

Подводя итог проведенного рассмотрения, кратко отвечу на следующий вопрос "Что же вселяет уверенность в том, что задача более детального исследования функционирования мозга может быть решена?"

Выделю лишь три основных аргумента.

Во-первых, у нас есть уникальный и очень мощный аппарат в виде квантовой механики, который не давал "сбоев" при решении самых разнообразных и сложных задач при грамотном его использовании либо служил надежной базой для такого исследования. Во-вторых, приведенные сведения свидетельствуют о структурированности мозга,

иерархичности в его работе, наличии общих принципов при обработке поступающей информации различной модальности (зрительной, слуховой, обонятельной, вкусовой и тактильной). В-третьих, у нас уже накоплен значительный опыт решения подобных задач в области микро- и наноэлектроники. И здесь уместно вспомнить слова о мозге Дж. фон Неймана, написанные более шестидесяти лет тому назад, а именно: "У нас нет совершенно никакого предшествующего опыта относительно систем такой степени сложности" [63]. Сейчас он есть и мы можем выйти из "лягушатника" в исследовании мозга, выражаясь очень метким и образным словом этого великого ученого, написанным тогда же [63].

Считаю здесь полезным сделать два дополнительных замечания, вытекающих из отмеченного опыта. Во-первых, из проведенного рассмотрения следует, что очень детальное моделирование функционирования мозга вряд ли возможно. И, тем не менее, хотя мы и имеем суперсложную задачу электроники, в наиболее важных аспектах (механизмах) работы мозга удастся разобраться, так же как и с ИС высокой степени интеграции. Отмечу, что и в последнем случае всего мы не знаем и никогда не узнаем. Во-вторых, опыт в области микро- и наноэлектроники свидетельствует, что переход в область проектных норм менее 100 нм, т. е. наноэлектроники, оказался не столь фантастически сложным, как ранее казалось. Более того, специалистам известно, что "поход" даже в субмикронную область микроэлектроники вначале представлялся вряд ли возможным, не говоря уже о нанометровом диапазоне. Поэтому скорее всего и с мозгом все будет не столь сложно, как представляется сейчас. Самое главное нам целесообразно пойти по рассмотренному пути, т. е. многоуровневого моделирования мозга в рамках предложенной электронной интерпретации.

Список литературы

1. **Вайнберг С.** Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 256 с.
2. **Абрамов И. И.** Проблемы и принципы физики и моделирования приборных структур микро- и наноэлектроники. I. Основные положения // Нано- и микросистемная техника. 2006. № 8. С. 34—37.
3. **Джеммер М.** Эволюция понятий квантовой механики. М.: Наука, 1985. 384 с.
4. **Скалли М. О., Зубайри М. С.** Квантовая оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 512 с.
5. **Гринштейн Дж., Зайонц А.** Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики. Долгопрудный: Интеллект, 2008. 400 с.
6. **Фон Нейман И.** Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964.
7. **Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л.** Мозг, разум и поведение. М.: Мир, 1988. 248 с.

8. **Гинзбург В. Л.** "Физический минимум" — какие проблемы физики и астрофизики представляются особенно важными и интересными в начале XXI века? // УФН. 2007. Т. 177, № 4. С. 346.
9. **Столяренко Л. Д.** Основы психологии: учеб. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2003. 672 с.
10. **Майерс Д.** Психология. Минск: Попурри, 2006. 848 с.
11. **Солсо Р.** Когнитивная психология. СПб.: Питер, 2006. 589 с.
12. **Рапопорт Г. Н., Герц А. Г.** Биологический и искусственный разум. М.: ЛИБРОКОМ, 2011. Ч. I, 184 с; Ч. II, 296 с.
13. **Пенроуз Р., Шимони А., Картрайт Н., Хокинг С.** Большое, малое и человеческий разум. М.: Мир, 2004. 191 с.
14. **Волькенштейн М. В.** Дополнительность, физика и биология // УФН. 1988. Т. 154, вып. 2. С. 279—297.
15. **Иваницкий Г. Р.** XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики // УФН. 2010. Т. 180, № 4. С. 337—369.
16. **Реутов В. П., Шехтер А. Н.** Как в XX веке физики, химики и биологи отвечали на вопрос: что есть жизнь? // УФН. 2010. Т. 180, № 4. С. 393—414.
17. **Менский М. Б.** Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов // УФН. 2000. Т. 170, № 6. С. 631—647.
18. **Менский М. Б.** Концепция сознания в контексте квантовой механики // УФН. 2005. Т. 175, № 4. С. 413—435.
19. **Менский М. Б.** Квантовые измерения, феномен жизни и стрела времени: связи между "тремя великими проблемами" (по терминологии Гинзбурга) // УФН. 2007. Т. 177, № 4. С. 415—425.
20. **Менский М. Б.** Человек и квантовый мир. Фрязино: Век 2, 2005. 320 с.
21. **Пенроуз Р.** Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 400 с.
22. **Пенроуз Р.** Тени разума: в поисках науки о сознании / Москва—Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. 688 с.
23. **Отклики читателей на статью М. Б. Менского "Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов" // УФН. 2001. Т. 171, № 4. С. 437—462.**
24. **Хьюбел Д.** Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.
25. **Фок В. А.** Об интерпретации квантовой механики // УФН. 1957. Т. LXII, вып. 4. С. 461—474.
26. **Ахизер А. И., Половин Р. В.** Почему невозможно ввести в квантовую механику скрытые параметры // УФН. 1972. Т. 107, вып. 3. С. 463—487.
27. **Кльшко Д. Н.** Основные понятия квантовой физики с операциональной точки зрения // УФН. 1998. Т. 168, № 9. С. 975—1015.
28. **Блохинцев Д. И.** Основы квантовой механики. М.: Наука, 1976. 664 с.
29. **Панов А. Д.** О проблеме выбора альтернативы в квантовом измерении // УФН. 2001. Т. 171, № 4. С. 447—449.
30. **Ашкрофт Н., Мермин Н.** Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. Т. 1, 400 с.; Т. 2, 424 с.
31. **Киреев П. С.** Физики полупроводников. М.: Высш. школа, 1975. 584 с.
32. **Блохинцев Д. И.** Квантовая механика: Лекции по избранному вопросу. М.: Атомиздат, 1981. 96 с.
33. **Липкин А. И.** Существует ли явление "редукции волновой функции" при измерении в квантовой механике? // УФН. 2001. Т. 171, № 4. С. 437—440.
34. **Гэри М., Джонсон Д.** Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М.: Мир, 1982. 416 с.
35. **Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э.** Теория колебаний. М.: Наука, 1981. 568 с.
36. **Матханов П. Н.** Основы анализа электрических цепей. Нелинейные цепи. М.: Высш. школа, 1977. 272 с.
37. **Никольский В. В., Никольская Т. И.** Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. М.: Наука, 1983. 304 с.

38. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика). М.: Наука, 1972. 544 с.
39. Казеннов Г. Г., Соколов А. Г. Принципы и методология построения САПР БИС. М.: Высш. школа, 1990. 142 с.
40. Абрамов И. И. Лекции по моделированию элементов интегральных схем. Москва-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2005. 152 с.
41. Казеннов Г. Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 295 с.
42. Абрамов И. И. Лекции по моделированию элементов интегральных схем микроэлектроники: учеб. пособие. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 116 с.
43. International Technology Roadmap for Semiconductors: 1999 edition. Austin, TX: International SEMATECH, 1999; 2009 edition.
44. Хорост М. Всемирный разум. М.: Эксмо, 2011. 288 с.
45. Шеперд Г. Нейробиология: В 2-х т. Т. 1. М.: Мир, 1987. 454 с.
46. Николлис Дж. Г., Мартин А. Р., Валлас Б. Дж., Фукс П. А. От нейрона к мозгу. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 672 с.
47. Лурия А. П. Основы нейропсихологии. М.: Изд-во МГУ, 1973. 375 с.
48. Хомская Е. Д. Нейропсихология. М.: Изд-во Моск. университета, 1987. 288 с.
49. Бехтерева Н. П., Гоголицын Ю. Л., Кропотов Ю. Д., Медведев С. В. Нейрофизиологические механизмы мышления: Отражение мыслительной деятельности в импульсной активности нейронов. Л.: Наука, 1985. 272 с.
50. Мозг. М.: Мир, 1984. 280 с.
51. Иванов-Муромский К. А. Нейрофизиология, нейрокибернетика, нейробионика. Киев: Вища школа, 1985. 240 с.
52. Арбиб М. Метафорический мозг. М.: Мир, 1976. 296 с.
53. Сентаготтаи Я., Арбиб М. Концептуальные модели нервной системы. М.: Мир, 1976. 200 с.
54. Эделмен Дж., Маунткасл В. Разумный мозг. М.: Мир, 1981. 135 с.
55. Иванов-Муромский К. А. Нейроэлектроника, мозг, организм. Киев: Наукова думка, 1983. 175 с.
56. Абрамов И. И. Проблемы и принципы физики и моделирования приборных структур микро- и нанозлектроники // Нано- и микросистемная техника. 2006. ч. II. № 9. С. 26—36; 2007. ч. III. № 1. С. 36—47, ч. IV. № 2. С. 24—32, ч. V. № 3. С. 57—70, ч. VI. № 7. С. 10—24; 2009. ч. VII. № 7. С. 14—29, № 8. С. 7—23; 2010. ч. VIII. № 9. С. 27—37, № 10. С. 28—41, № 11. С. 29—42.
57. Абрамов И. И., Гончаренко И. А., Игнатенко С. А., Королев А. В., Новик Е. Г., Рогачев А. И. Система моделирования нанозлектронных приборов — NANODEV // Микроэлектроника. 2003. Т. 32, № 2. С. 124—133.
58. Abramov I. I., Baranoff A. L., Goncharenko I. A., Kolojcevtseva N. V., Bely Y. L., Shcherbakova I. Y. A nanoelectronic device simulation software system NANODEV: New opportunities // Proc. of SPIE. 2010. Vol. 7521. P. 75211E-1—75211E-11.
59. Barkaline V., Abramov I., Belogurov E., Chashynski A., Labunov V., Pletezhov A., Shukevich Y. Simulation of carbon nanotubes and resonant excitation of their mechanical vibrations by electromagnetic field for nanoradio applications // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2012. Vol. 15, N 1. P. 23—42.
60. Захаров С. М., Масальский Н. В., Шафигулин М. М. Проблемы схемотехнического моделирования интегральных схем // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 2. С. 43—50.
61. Бехтерева Н. П. Здоровый и больной мозг человека. Л.: Наука, 1988. 262 с.
62. Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент. Автоматы: Сб. статей. М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. С. 68—139.
63. Фон Нейман Дж. Общая и логическая теория автоматов. В кн.: Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М.: Гос. изд-во физико-матем. литер., 1960. С. 59—101.
64. Фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Мир, 1971. 384 с.
65. Нейман Дж. Вычислительная машина и мозг. Кибернетический сб. Вып. 1. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. С. 11—60.
66. Кашенко С. А., Майоров В. В. Модели волновой памяти. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 288 с.
67. Волькенштейн М. В. Биофизика. М.: Наука, 1981. 576 с.
68. Экклс Дж. Физиология нервных клеток. М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. 300 с.
69. Джордж Ф. Мозг как вычислительная машина. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. 528 с.
70. Росс Эшби У. Конструкция мозга. М.: Мир, 1964. 412 с.
71. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга. М.: Мир, 1965. 480 с.
72. Штейнбух К. Автомат и человек (кибернетические факты и гипотезы). М.: Советское радио, 1967. 496 с.
73. Катц Б. Нерв, мышца и синапс. М.: Мир, 1968. 221 с.
74. Бернс Б. Неопределенность в нервной системе. М.: Мир, 1969. 252 с.
75. Дейч С. Модели нервной системы. М.: Мир, 1970. 326 с.
76. Антомонов Ю. Г. Моделирование биологических систем. Справочник. Киев.: Наукова думка, 1977. 260 с.
77. Ходоров Б. И. Общая физиология возбудимых мембран. М.: Наука, 1975. 408 с.
78. Дунин-Барковский В. Л. Информационные процессы в нейронных структурах. М.: Наука, 1978. 167 с.
79. Соколов Е. Н., Шмелев Л. А. Нейробионика. Организация нейроподобных элементов и систем. М.: Наука, 1983. 280 с.
80. Иваницкий А. М., Стрелец В. Б., Корсаков И. А. Информационные процессы мозга и психическая деятельность. М.: Наука, 1984. 201 с.
81. Соколов Е. Н., Вайтквичюс Г. Г. Нейроинтеллект: от нейрона к нейрокомпьютеру. М.: Наука, 1989. 238 с.
82. Джаксон М. Б. Молекулярная и клеточная биофизика. М.: Мир, БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 551 с.
83. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. М.: ПЕР СЭ, 2001. 351 с.
84. Хакен Г., Хакен-Крелль М. Тайны восприятия. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 272 с.

Новая книга

И. Абрамов. Мозг как объект электроники. LAP LAMBERT Academic Publishing Saarbrücken, Germany, 2012. 80 с.

В монографии впервые дается последовательная интерпретация функционирования мозга человека как объекта электроники. Формулируются три гипотезы, которые, с одной стороны, помогают объяснить восприятие, мышление и иные важные психические функции, а с другой, — предложить перспективный комплексный подход детального исследования мозга, основанный на схемах многоуровневого моделирования в сочетании с экспериментальными методами. Поясняются принципы функционирования мозга с точки зрения специалиста в области электроники. Впервые дается четкое определение, что такое мысль. Монография будет интересна широкому кругу читателей, начиная от специалистов в области нейрофизиологии, нейропсихологии, нейрокибернетики, электроники и др. и заканчивая студентами, так как написана ясным языком без введения новых терминов.

С книгой можно ознакомиться и заказать, обратившись на сайт <https://www.ljubljuknigi.ru/>