

ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССА МЫШЛЕНИЯ НА
МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ

Как было установлено в III главе, фундаментальное термодинамическое свойство информации шенноновского типа состоит в том, что решение информационной задачи не является процессом самопроизвольным и необходимым, т. е. идущим с понижением свободной энергии, но, наоборот, требует затраты работы. В этом выражается то основное свойство информации, что *она невыводима из известных данных как умозаключение*, — иначе она вообще не была бы нужна, так как всегда могла бы быть получена из этих данных, — но дает новые независимые сведения, не обладающие заведомой достоверностью.

Однако набор таких независимых друг от друга и не выводимых один из другого, т. е. логически не связанных, данных не есть еще мышление: такой информацией обладают простейшие организмы и даже макромолекулы (например, нуклеиновые кислоты), в которых записан наследственный код или кодирован синтез белка или вирусов.

Мышление начинается там, где возникает акт суждения как результат сознательного отбора, исходных данных или посылок в виде некоторых сведений (информаций), самоочевидных положений (аксиом) или определенных допущений (гипотез) и применения к ним некоторого алгоритма, сконструированного в согласии с законами логики.

Мы знаем и пользуемся тремя основными типами мышления: логическим (дискурсивным), вероятностным и интуитивным, и ни один из них не может быть изъят без ущерба для всей нашей мыслительной деятельности. Здесь будет рассмотрена термодинамика главным образом первого типа мышления. Этот тип мышления складывается из двух компонент: 1) из способности к *постановке задачи* с отбором нужных данных для ее решения; 2) из способности к *ее решению* с помощью логического аппарата. Одна лишь способность к решению задачи полностью не выражает мышления, так как тогда постановку задачи пришлось бы отнести к какой-то иной (не мыслительной) способности. Поэтому

счетнорешающие механизмы еще не могут быть названы мыслящими.

Термодинамика двух стадий мышления, как увидим, существенно различна. Первая стадия — термодинамика задачи — будет рассмотрена позже. Здесь же будет разобрана вторая стадия — *термодинамика решения логической задачи*, так как именно она сопоставима с термодинамикой информационной задачи (гл. III)

Предельным видом суждения является формальное логическое суждение (например, категорический силлогизм), однозначно и необходимо вытекающий из принятых посылок¹. В этом смысле всякое логическое суждение, взятое на стадии решения, есть самопроизвольный процесс и может быть определено как «само-решаемая задача», поскольку исход этой задачи с необходимостью определяется заданными условиями и требует для своего осуществления лишь включения готового логического аппарата, способного к решению неограниченного числа таких задач.

Здесь имеется в виду только *термодинамическая* самопроизвольность процесса, т. е. освобождение его от каких-либо кинетических торможений и энергетических барьеров. Всякий такой самопроизвольный процесс способен давать работу (обобщенную) при обратимом проведении, но даст ли он ее фактически, зависит от условий его протекания. В физической химии известно множество случаев, когда затрата работы на самопроизвольный термодинамический процесс больше ее выигрыша от самого процесса. Поэтому, когда в дальнейшем будет говориться о том, что самопроизвольный логический процесс способен давать работу, то это, конечно, не значит, что он для своего фактического осуществления в мозгу не требует затраты усилий и идет сам собой. Здесь, как и всюду, будет идти речь только о термодинамической самопроизвольности процесса, т. е. о его протекании с понижением обобщенной свободной энергии или соответствующего присущего ему потенциала. Из следующей части будет видно, что затрата работы приходится на стадию постановки задачи и отбора данных.

Таким образом, *процесс логического мышления вполне подобен самопроизвольному термодинамическому процессу*: в обоих случаях исходная система частиц (или посылок) с необходимостью превращается в некоторую конечную систему новых частиц или логических выводов. Так как самопроизвольный процесс идет с понижением соответствующего потенциала (в термодинамике — свободной энергии), то он всегда приводит к более устойчивым состояниям. Поэтому необходимая и, следовательно, самопроизвольная логическая операция должна протекать с *понижением* свободной энергии и давать термодинамически устойчивый результат в виде вывода или умозаключения. Закрывающееся в этом фундаментальное отличие несамопроизвольного информаци-

¹ Эта работа посвящена не логике как таковой, а выяснению физико-химических возможностей мышления. Поэтому здесь не будет рассматриваться трехзначная логика: истинность (И) — неопределенность (Н) — ложность (Л), вообще многозначная логика, равно, как интуитивистская логика. Разбор классической двузначной логики: (И) — (Л) оказывается вполне достаточным для настоящей работы

онного процесса от необходимой и самопроизвольной дискурсии может быть выражено в термодинамическом соотношении

$$\text{работа информации } I_{\text{инф}} < 0; \Delta\varphi_{\text{инф}} < 0, \quad (\text{IV.1a})$$

$$\text{работа суждения (решения) } L_{\text{решен}} \gg 0; \Delta\varphi_{\text{решен}} \gg 0, \quad (\text{IV.1б})$$

где $\Delta\varphi$ — падение свободной энергии при акте информации или дискурсии¹.

Между этими двумя крайними случаями находится промежуточная область, в которой величина падения свободной энергии достаточно велика, чтобы процесс суждения шел самопроизвольно, но недостаточно велика для того, чтобы он был однозначен. Это — область *вероятностного неоднозначного мышления*.

В соответствии с указанным (уравнение (1a)) повышенном свободной энергии информации и отсюда ее неустойчивости, ее приходится сохранять в специальных противозатропийных устройствах — в памяти, в записях того или иного вида, включая разные коды и т. д., — иначе она неминуемо рассеется.

Кроме того, что информация представляет не необходимое и неустойчивое образование, она никогда не обладает заведомо полной достоверностью и поэтому всегда может быть принята или отвергнута, так как она не возникает в результате какого-либо необходимого и однозначного процесса, лежащего вне чьего-либо произвола и поэтому всегда может быть ошибочной или даже сознательно ложной.

В противоположность этому логическое суждение (решение) — это необходимое и самопроизвольное, возникающее из данных посылок образование, не зависящее от нашего произвола, способное давать работу и обладающее самостоятельной устойчивостью.

Диаграмма на рис. 19 наглядно иллюстрирует принципиальное отличие между информацией и логическим суждением (дискурсией). На оси абсцисс отложены номера Z возможных исходов, которые проявляются как информации ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_z$), и среди них один-единственный, возникающий как необходимый логический вывод или суждение. На оси ординат отложены вероятности p_i данного исхода. Вероятность формального логического суждения *при данных посылках* тождественно равна единице, и логическая точка (•) фиксирована на некотором одном определенном суждении (выводе). Информация не может быть представлена такой фиксированной точкой, но изобразится целой областью информации, заполненной точками (x_1, x_2 и т. д.) с вероятностями p_1, p_2, \dots, p_z , меньшими единицы и с суммарной вероятностью $P = \sum_i p_i = 1$.

Так как эти вероятности ничем не определяются, кроме указанных условий, то информационные точки будут беспорядочно заполнять область информации, представляя собой концы броуновских пробегов одной информационной точки в этой области. Если затратить работу информации, то каждую информационную точку можно поднять по оси ординат до вероятности, равной единице, и поместить ее на пунктирной линии (1 — — — 1), которую можно назвать *уровнем достоверности*, причем остальные точки соответственно опу-

¹ Как и ранее, изменение всех термодинамических величин отсчитывается, как в термохимии — от начального состояния, так же, как отсчитывается энтропия информации.

стятся до вероятности, равной нулю. Но и в этом случае информационная точка не будет фиксирована на каком-либо месте уровня достоверности, но сможет продолжать совершать одномерное броуновское движение по нему между положениями, выбор которых в пределах информационной задачи ничем не определен, пока не будет установлена жесткая связь информации с каким-либо суждением.

Только в том случае, когда приближение вероятности некоторого исхода к единице термодинамически и, следовательно, логически необходимо, информационная точка закрепляется на определенном месте уровня (1—1) и превращается в логическую точку.

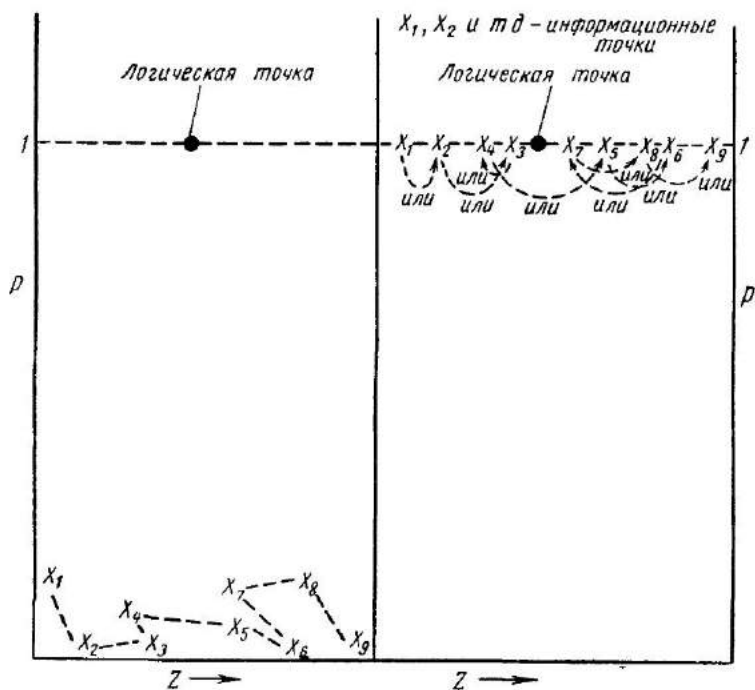


Рис. 19

Такую операцию можно иллюстрировать на примере небольшого, практически невесомого магнита, расположенного на пунктирной прямой (1—1), считая, что он защищен от действия внешнего магнитного поля. Положение такого магнита не будет ничем определено и стабилизировано и может отвечать любому значению Z . Если такой магнит может двигаться без трения по линии (1—1), то любое небольшое броуновское возмущение среды будет его толкать взад и вперед, и он станет одномерной броуновской частицей, которая с равным правом сможет занимать любое положение на линии достоверности. Это аналогично тому, что всякая единичная информация (посылка) сама по себе может быть вполне произвольной. Но если рядом с магнитом закрепить индуктивность, то поле магнита стабилизирует его положение в данной точке, так как всякое броуновское смещение магнита будет вызывать индукционный ток в соленоиде, создающем такой магнитный поток, который будет всегда препятствовать движению магнита. По существу, это — применение принципа Ле Шателье к системе (магнит+индуктивность).

При неограниченном усилении намагниченности в такой системе прекратится всякое броуновское движение магнита, и он будет точно фиксирован на оси (1 — — 1); информационная точка превратится в логическую. Этот пример показывает, что положение информационной точки, не связанной никаким логическим взаимодействием с другими точками, так же неопределенно на оси выводов (— — —), как положение единичного физического тела в пустом пространстве.

В силу сказанного не является реальной такая замкнутая система, которая только бы собирала информацию, т. е. тратила бы обобщенную работу, без логических операций, которые использовали бы эту информацию и возмещали эту работу: информация и логическое суждение — это сопряженные процессы. Если человек затрачивает работу, т. е. какие-то усилия, на собирание *необходимой* информации, то эта информация всегда используется им в качестве посылок для некоторых умозаключений, а в дальнейшем и каких-то действий. В этом случае затрачиваемая информация компенсируется получаемой работой суждения или вытекающего из них действия. Простое собирание информации без ее разумного использования в каком-либо виде не есть функция нормально работающего сознания. -

Примерно так же обстоит дело и у животных с той, однако, разницей, что информация для животного — посылка не для логического суждения, а для инстинктивного действия. Это действие, так же как и логическая операция, обладает свойством необходимости, самопроизвольности и в какой-то мере однозначности, и в качестве такого дает обобщенную работу, имеющую свой эквивалент в жизненно целесообразном действии животного. В этом смысле инстинкт — это стереотипная «видовая логика», приспособленная к ограниченному набору посылок.

Из сказанного следует, что логическую задачу, имеющую самопроизвольное и однозначное решение («саморешение»), нельзя задать в той же форме, как задачу информационную, т. е. в виде множества одинаковых «частиц-шансов», испытывающих броуновское движение, так, чтобы решению этой задачи отвечало собирание всех N шансов в одной из Z ячеек. Эта термодинамическая модель, пригодная для информации, негодна для мышления, во-первых, потому, что саморешение логической задачи путем самопроизвольного сгущения всех N шансов в одной ячейке не необходимое событие, но, наоборот, крайне невероятное, и, во-вторых, потому, что для формальной логической задачи возможно лишь одно решение и, следовательно, одна ячейка.

Представим, что в этой одной ячейке объема V сосредоточены все N «частиц-шансов» всех Z сортов, символизирующих Z решений логической задачи, из которых *только одно* некоторое k -тое решение (заранее не известное) является верным, т. е. необходимым, самопроизвольным и устойчивым. Подобное «саморешение» логической задачи может быть представлено только в виде самопроизвольного термодинамически-необходимого «химическо-

го» превращения всех N шансов Z сортов в один k -тый сорт, что может быть записано в виде

$$n_1x_1 + n_2x_2 + \dots + n_kx_k + \dots + n_zx_z = Nx_k + \Delta F^0, \quad (\text{IV.2})$$

где ΔF^0 — стандартное изменение (падение) свободной энергии при этом превращении.

Из сказанного следует, что затрата концентрационной работы сжатия газа, как в первых двух моделях информации, при решении логической задачи не является способом определения ее исхода: здесь решение задачи идет, наоборот, с получением работы и с полным превращением всех сортов «частиц-шансов» в один данный сорт. Эти два требования выражают условия однозначного решения задачи. Но термодинамика всегда допускает *равновесие* частиц разных сортов и, следовательно, не полностью однозначный исход. Это образует ту промежуточную область вероятностного мышления, лежащего между информацией (с любым заранее ничем не определяемым исходом) и формально логическим мышлением, о которой уже говорилось выше. Физико-химическая аналогия с самопроизвольным превращением «частиц-шансов» позволяет получить новые уравнения для этой промежуточной области и уже от нее перейти к предельному случаю чисто логического мышления.

Предпринимаемый анализ должен в качестве основного результата установить те физико-химические условия, которым должен удовлетворять молекулярный механизм мышления и на основе этого получить данные для решения во всех отношениях важного вопроса — *лежат ли в основе мышления процессы молекулярного или иного уровня?*

Представим, что объем сознания V в среднем равномерно заполнен «частицами-шансами» Z сортов при термодинамических концентрациях (численно равных математической вероятности данного решения)

$$p_1 = \frac{n_1}{N}; p_2 = \frac{n_2}{N}; \dots; p_z = \frac{n_z}{N}. \quad (\text{IV.3})$$

В результате написанного химического процесса (2), выражающего однозначное решение задачи, значение p_k , отвечающее этому решению, должно стать равным единице, а остальных — нулю. В этом случае общая форма решения информационной и логической задачи имеет, казалось бы, тождественный характер. Но здесь есть два принципиальных отличия, *первое* из которых уже было указано: это *несамостоятельность* информационного процесса («несаморешаемость») и отсюда термодинамическая неустойчивость информации. Поэтому ее самопроизвольное изменение может приводить только к уравниванию вероятностей различных исходов ($p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow \dots \rightarrow p_z \rightarrow \frac{1}{z}$) и переходу к максималь

но-вырожденному состоянию с наибольшей энтропией, но не к возникновению одного определенного исхода. Для логической же задачи самопроизвольный процесс как раз обратен и ведет к $p_k \rightarrow 1$ и $\sum_{i=1}^{Z-1} p_i (\text{кроме } k\text{-того}) \rightarrow 0$. Поэтому информационная задача допускает перенумерование вероятностей, для логической же это несовместимо с ее условиями.

Второе фундаментальное отличие информации от дискурсии заключается в точной и неограниченной повторяемости (воспроизводимости) логического вывода, что отвечает его *полной безэнтропийности*. Если задача задана в виде одной ячейки, содержащей различные *символические* шансы, а ее решение представляется в виде полного перехода всех этих символических шансов в один k -тый сорт, то безэнтропийное решение логической задачи будет отвечать условию

$$p_k = 1 \text{ и } H_k (\text{симв}) = 0. \quad (\text{IV.4})$$

Это условие легко выполнимо на бумаге путем записи однозначного решения задачи с помощью подходящей, всегда тождественной и, следовательно, лишенной энтропии символики. Однако символические «частицы-шансы», допуская принудительные операции над собой, не способны *самопроизвольно* переходить друг в друга. Это — свойство *реальных* частиц. Поэтому действительное условие однозначного решения на уровне молекулярных «частиц-шансов» будет существенно отличным от (4).

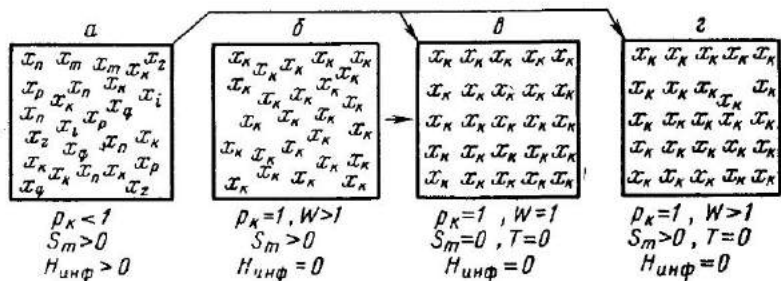


Рис. 20. Молекулярная модель процесса мышления

На рис. 20 представлена схема *молекулярного* решения логической задачи путем превращения исходной смеси системы «частиц-шансов» Z сортов, соответственно необходимым исходным данным (квадрат a), в конечное состояние — однозначный вывод, выражаемый однородным и вполне упорядоченным, следовательно, лишенным энтропии набором k -частиц (квадрат b). Как видно, в случае молекулярного решения задачи (производимой, например, физико-химической системой мозга) одно условие однородности $p_k = 1$ (квадрат b) недостаточно для безэнтропийности конечного состояния — и, следовательно, для однозначности вы-

вода — так как для неоднородной и неупорядоченной совокупности k -частиц (чему бы они ни отвечали: элементарным частицам, атомам, молекулам, макромолекулам, клеткам и т. п.) отвечает большое число микросостояний и высокая энтропия. Поэтому должно выполняться более общее условие для энтропии конечного вывода

$$W=1 \text{ и } H_{k(\text{молек})} = 0, \quad (\text{IV.4a})$$

включающее в себя и условие однородности (4) и условие *полной упорядоченности* k -частиц.

В условиях (4) и (4a) ясно выражается различие между теоретико-вероятностной и молекулярно-термодинамической трактовкой проблемы, поскольку множество математических (символических) шансов в отличие от множества физических частиц не представляет набора микросостояний и не обладает термодинамической энтропией.

Так как задачей проводимого анализа является установление условий мышления с помощью *молекулярных* механизмов, то нужно рассматривать не символические, а реальные *физические* «частицы-шансы». Тогда однозначности решения будет соответствовать равенство единице не математической, а *термодинамической вероятности*: $W=1$, что будет отвечать единичному микросостоянию «частиц-шансов», их полной упорядоченности и исчезновению энтропии (уравнение (4a), квадрат β на рис. 20).

Если в конечном состоянии появляется даже незначительное число дефектов, например, в виде k -частиц, сдвинутых в междоузлия (дефекты Френкеля) (см. квадрат β на рис. 20), то это уже внесет энтропию и не даст однозначного решения логической задачи.

Согласно теореме Нернста — Планка для молекулярных систем условие (4a) *возможно только при $T=0$ и при переходе частиц в идеальное нернстовское тело*. Только в этом случае осуществимо соотношение (4) и получение однозначного решения задачи не в символической (как в математике), а в молекулярной форме¹.

Безэнтропийность логического суждения (например, какой-нибудь теоремы) принципиально отличает его от информации, так как информация не теряет своего значения и ценности, если она не обладает полной достоверностью и однозначностью (см. гл. III).

¹ Если решение какой-либо задачи, например системы уравнений, записать в форме матриц, имеющих определенную структуру, например в виде обычных детерминантов, то наряду с математической вероятностью правильного решения, которая всегда предполагается равной единице, появляется структурная энтропия самой матрицы как символа, которая уже может внести неопределенность в решение, например, из-за нечеткого разбиения детерминанта на строчки или столбцы. Тогда энтропия решения не будет равна нулю, но составит $H_L = \log p_k + H_{\text{матр}} = H_{\text{матр}} > 0$.

Оговорим следующее. Здесь рассматриваются только такие задачи, которые по условию имеют достаточно исходных данных для однозначного решения и не включают свободных переменных, следовательно, они не относятся к области предикатов как к полному множеству логических возможностей, но умецаются в более узком множестве истинности [1]. Под безэнтропийностью логического суждения понимается возможность точного воспроизведения данного результата из данных посылок согласно данному алгоритму (на чем основана вся наука и весь логический обмен), но отнюдь не отсутствие дискуссионности в самих посылках или в характере алгоритма, которые могут широко варьироваться. При этом нужно подчеркнуть, что безэнтропийность относится только к *конечному* результату мыслительного процесса — к логическому умозаключению. Что касается самого реального пути мышления, то он может содержать энтропийную компоненту, от которой сознание, однако, способно освободить его, превратив в безэнтропийный логический вывод. Термодинамика, впрочем, не занимается самим путем процесса.

Условие безэнтропийности формально-логического суждения определяет характер термодинамического решения этой предельной задачи и возможности ее реализации с помощью молекулярных механизмов.

Это решение вытекает из излагаемых ниже рассуждений.

Найдем свободную энергию смеси N «частиц-шансов» Z сортов, заключенных в объеме V , выраженную в единицах RT и отнесенную к одному молю частиц

$$\begin{aligned} \varphi_{\Sigma} &= \sum_1^Z \frac{n_i}{N} \log \frac{n_i}{N} + \log P + \sum_1^Z \frac{n_i}{N} (\varepsilon_i - H^0) = \\ &= \sum_1^Z p_i \log p_i + \log P + \sum_1^Z p_i (\varepsilon_i - H_i^0), \end{aligned} \quad (\text{IV.5})$$

где P — общее давление «частиц-шансов» в системе. Соответственно энтропия такой системы составит

$$H_{\Sigma} = \varepsilon_{\Sigma} - \varphi_{\Sigma} = (\varepsilon_{\Sigma} - \sum_1^Z p_i \varepsilon_i) - \sum_1^Z p_i \log p_i - \log P + \sum_1^Z p_i H_i^0. \quad (\text{IV.6a})$$

Так как мы рассматриваем идеальную систему, внутренняя энергия которой не зависит от давления, и берем ее при постоянной стандартной температуре (например, 1°K), то полная энергия смеси частиц будет равняться сумме внутренних энергий компонент

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sum_1^Z p_i \varepsilon_i \quad (\text{IV.66})$$

и отсюда

$$H_{\Sigma} = - \sum_1^Z p_i \log p_i - \log P + \sum_1^Z p_i H_i^0. \quad (\text{IV.6b})$$

Свободная же энергия *одинаковых* частиц некоторого k -того сорта, отнесенная к их числу, при том же давлении P будет

$$\varphi_k = \log P + (\varepsilon_k - H_k^0). \quad (\text{IV.7a})$$

В случае образования конденсированной фазы из частиц k -того сорта при очень низкой температуре $H_k^0 \rightarrow 0$. Для энтропии этих индивидуальных k -частиц получим выражение

$$H_k = H_k^0 - \log P. \quad (\text{IV.76})$$

Стандартные величины свободных энергий в данном случае будут отвечать $P = 1$ и $T = 1^\circ \text{K}$. Так как превращение шансов идет без изменения числа частиц и, следовательно, без изменения P и V , то $\varphi_V = \varphi_P$.

В случае равенства стандартных энергий и энтропий всех сортов частиц, что отвечает их *энергетической неразличимости*, с сохранением различимости по меньшей мере по одному какому-либо признаку, получим

$$\sum_i^Z \frac{n_i}{N} (\varepsilon_i - H_i) = \bar{\varepsilon} - \bar{H}^0. \quad (\text{IV.8})$$

Эти средние значения в случае энергетической неразличимости частиц, очевидно, равны соответствующим величинам для отдельных компонент, т. е.

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon} &= \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \dots = \varepsilon_Z, \\ \bar{H}^0 &= H_1^0 = H_2^0 = \dots = H_Z^0. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что при условии (8) свободная энергия смеси различных частиц (уравнение (5)) будет лежать ниже, а энтропия — выше, чем для того же числа неразличимых частиц (уравнение (7a)), поскольку внутренняя энергия этих наборов равна

$$\varphi_k > \varphi_\Sigma \text{ и } H_k < H_\Sigma. \quad (\text{IV.9})$$

Тогда затрата работы и соответствующее падение энтропии при переводе смеси N изоэнергетических, но различных частиц¹ в набор N *вполне одинаковых* k -частиц и получение однозначного исхода для систем выразят *термодинамические уравнения информации*

$$I^0 = \varphi_\Sigma - \varphi_k = \sum_i^Z p_i \log p_i = I_{\text{Вин}} < 0, \quad (\text{IV.10a})$$

$$\Delta H = H_\Sigma - H_k = - \sum_i^Z p_i \log p_i = H_{\text{Шенн}} > 0. \quad (\text{IV.10б})$$

Нет неожиданного в том, что мы, как и раньше, получили простейшее уравнение Шеннона — Винера для энтропии и работы информации. Это произошло за счет того, что мы энергетически идентифицировали все «частицы-шансы», приписав им одинаковую стандартную внутреннюю энергию и энтропию.

¹ Примером таких частиц могут служить d и l — оптические изомеры асимметрических молекул, тождественные по своим энергетическим свойствам, или изотопы с большим атомным весом, почти тождественные по этим свойствам.

Здесь нужно указать, что полная энергетическая тождественность частиц не дает возможности построить термодинамический процесс для их разделения или превращения друг в друга за счет затраты работы по уравнению (10а). Но это не исключает возможности их разделения с участием человека (как, например, Пастер от руки разделял энантиоморфные формы винной кислоты) или с помощью сконструированного человеком аппарата, а также при участии бактерий, избирательно потребляющих одну из форм (например *d*-форму). Однако если «частицы-шансы» находятся на молекулярном уровне, то для разделения таких энергетически тождественных частиц понадобился бы уже «демон Максвелла», притом способный сортировать молекулы по их форме или симметрии. Поэтому, хотя возможно задать состояние информационной системы в виде смеси различных (например, разноцветных или право- и левовинтовых) частиц в *одной* ячейке, но нет естественной, без участия «максвелловского демона», термодинамической возможности привести эту молекулярно-информационную систему к определенному исходу. Поэтому модель с одной ячейкой и различными частицами не может служить для термодинамического моделирования информационного процесса. Наоборот, для логической задачи оказывается неприменимой система со многими ячейками.

Однако допущение об энергетической идентификации «частиц-шансов», справедливое для информации, не может иметь места для логической, т. е. саморешаемой, задачи, так как при совпадении соответственно ε и ε_k , H^0 и H_k^0 для «частиц-шансов» отсутствует термодинамическое условие перехода всех частиц в некоторый определенный сорт. При этом решение задачи не может стать самопроизвольным, необходимым и однозначным, так как работа перехода становится отрицательной (см. уравнение (10а)).

Поэтому в общем случае работа и энтропия информации и работа и энтропия решения (для работы решения или суждения примем знак L) будут выражаться различными уравнениями, причем в последнее необходимо войдут индивидуальные «энергетические» свойства «частиц-шансов». Тогда для работы L и энтропии G решения («саморешения») логической задачи получим выражения

$$L = \sum_i p_i \log p_i + [\sum_i p_i (\varepsilon_i - H_i^0) - (\varepsilon_k - H_k^0)], \quad (\text{IV.11})$$

$$G = - \sum_i p_i \log p_i + [\sum_i p_i H_i^0 - H_k^0]. \quad (\text{IV.12})$$

Так как

$$\sum_i p_i (\varepsilon_i - H_i^0) = \bar{\varepsilon} - \bar{H}^0 = \bar{\varphi}^0 \quad (\text{IV.13})$$

средняя величина стандартной свободной энергии 1 моля частиц в смеси различных «частиц-шансов», а $\sum_i p_i H_i^0 = \bar{H}^0$ — средняя энтропия 1 моля частиц в этой же смеси, то получим соотношения для L и G , выражающие *термодинамические уравнения мышления (решения)*

$$\text{работа решения } L = \sum_i p_i \log p_i + (\bar{\varphi}^0 - \varphi_k^0) = I_{\text{Вин}} + \Delta\varphi^0, \quad (\text{IV.14a})$$

$$\text{энтропия решения } G = - \sum_i p_i \log p_i + (\bar{H}^0 - H_k^0) = H_{\text{Шенн}} + \Delta H^0, \quad (\text{IV.14б})$$

Где

$$\Delta\varphi^0 = (\bar{\varepsilon} - \varepsilon_k) - (\bar{H}^0 - H_k^0).$$

Не следует отождествлять энтропию саморешения G (ее уменьшение при процессе возникновения логически необходимого суждения) с энтропией самого суждения как конечного продукта этого процесса H_k . Нужно также помнить, что этот процесс проводится изотермически, т. е. объем V не является изолированным от внешней среды. Возможен случай, что в этом объеме сознания сразу возникнет N шансов единственного нужного k -того сорта, отвечающего решению задачи. Тогда

$$\sum_i^Z p_i \log p_i = 0; \quad \bar{H}^0 = H_k^0; \quad \bar{\varphi}^0 = \varphi_k^0; \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_k. \quad (IV.15)$$

Откуда

$$\Delta H^0 = 0; \quad \Delta\varphi^0 = 0 \quad (IV.16)$$

и, следовательно,

$$L = 0; \quad G = 0; \quad \Delta\varepsilon = 0 \quad (IV.17)$$

Подобное спонтанное решение лежит вне термодинамической обусловленности, так как при этом не изменяется ни одна характеристическая функция. Поэтому оно не есть ни информация, ни дискурсия, но по своей термодинамике отвечает третьему типу мышления — *интуиции*.

Как видно, «саморешение» логической задачи возможно только за счет падения полной энергии «частиц-шансов» исходных сортов при их переходе в конечные k -частицы, т. е. за счет величины $(\varepsilon - \varepsilon_k)$. Это можно конкретизировать в виде того или иного экзотермического процесса, идущего без изменения числа частиц. Можно, например, считать, что исходные частицы $(Z-1)$ сортов суть возбужденные состояния k -частиц, которые переходят в них с указанным падением общей энергии $k^* \rightarrow k + \Delta\varepsilon$, или что исходные частицы переходят в k -частицы путем взаимодействия друг с другом, например, $A + B \rightarrow 2k + 2\Delta\varepsilon$. При термодинамическом анализе безразлично, какие именно процессы переводят начальное состояние системы в конечное. Но для термодинамики мышления существенно, что логический процесс, начатый от стадии отобранных частиц (состояний), заведомо способных переходить в некоторый один сорт, т. е. давать саморешения задачи, идет не только с уменьшением свободной энергии, но и с уменьшением общей энергии и энтропии, т. е. $\Delta\varepsilon_L = \Delta\varphi_L + \Delta H_L > 0$ (считая изменение всех величин от начального состояния), причем $\Delta\varphi_L > 0$ и $\Delta H_L > 0$. В отличие от этого для информационного процесса, как было показано: $\Delta\varepsilon_I = 0$; $\Delta\varphi_I < 0$; $\Delta H_I > 0$.

Таким образом, термодинамика логического и информационного процессов существенно различна, в связи с чем полученные выражения (14а) и (14б) также существенно отличаются от прежних (10а) и (10б) в двух отношениях: во-первых, наличием двух дополнительных членов $\Delta\varphi^0$ и ΔH^0 , во-вторых, тем, что отрицательная энтропия «саморешения» не равна работе этого решения, как в случае информации, так как дополнительные члены для них различны. Только если средние значения внутренних энергий и энтропий, а следовательно, и свободных энергий в ис-

ходной смеси частиц будут близки к значениям этих величин для k -того сорта частиц, выражающих термодинамическое решение задачи, то новое выражение переходит в прежнее. Но, как будет видно из дальнейшего, при этом условии решение логической задачи не может быть необходимым, самопроизвольным и однозначным. При нарушении же этого условия, уравнения (14а) и (14б) существенно расходятся с выражением Шеннона, вплоть до изменения знака этих величин. Действительно, если $\bar{\varphi}^0 \gg \varphi_k^0$, то величина $\Delta\varphi^0$ может оказаться значительно больше отрицательного слагаемого $\sum_i p_i \log p_i$, и тогда произойдет *самопроизвольный* переход смеси шансов Z -компонентной системы в набор преимущественно однородных шансов, например, k -того сорта, характеризующих термодинамически самопроизвольное решение задачи. Таким образом, уравнения (14а) и (14б) отвечают наиболее общему случаю *вероятностного мышления*, из которого в виде предельного случая могут быть получены выражения для процесса информации и для процесса однозначного логического мышления.

Термодинамическим условием того, что данная задача является информационной, будет

$$\Delta\varphi^0 = 0, \quad \Delta H^0 = 0. \quad (IV.18)$$

Таким образом, уравнения информации (10а) и (10б) получаются из уравнений мышления (14а) и (14б) как частные случаи; обратная же индукция не имеет места. Иными словами, *информация выводится из мышления, мышление же невыводимо из информации*.

Термодинамическим условием того, что данная система шансов является не информационной, а *логической* и способной к самопроизвольному переходу к одному преимущественному решению, будет

$$I < \Delta\varphi^0 > 0. \quad (IV.19)$$

Асимптотическое условие однозначности решения, т. е. того, что переход всех «сорт-шансов» в некоторый k -тый сорт единственно возможный и остальные переходы термодинамически запрещены ($p_k \rightarrow 1$), не покрывается соотношением (16), но требует дополнительного условия

$$\left. \begin{array}{l} (\bar{\varphi}^0 - \varphi_1^0) \\ (\bar{\varphi}^0 - \varphi_2^0) \\ \dots\dots\dots \\ (\bar{\varphi}^0 - \varphi_z^0) \end{array} \right\} \ll (\bar{\varphi}^0 - \varphi_k^0) = \Delta\varphi^0 \quad (IV.20a)$$

) кроме k -того

или в пределе

$$(\bar{\varphi}^0 - \varphi_k^0) - \sum_{i=1}^{z-1} (\bar{\varphi}^0 - \varphi_i^0)_{\text{кроме } k\text{-того}} \rightarrow \infty. \quad (IV.20b)$$

При неограниченном усилении неравенства (20а) и превращении его в (20б) переход статистической системы в определенное состояние возникает самопроизвольно без затраты работы и приводит к однозначному результату (см. ниже). Это означает, что начальная система с заданными вероятностями исходов p_1, p_2, \dots, p_z была термодинамически неустойчива и фактически некоторый, например, k -тый исход был уже термодинамически и, следовательно, логически предрешен. Этот случай, отсутствующий в математической теории информации, необходим в термодинамической физико-химической теории вероятностного мышления. Это обусловлено тем, что постановка любой задачи всегда предполагает отсутствие априорного знания, в каком именно направлении произойдет ее самопроизвольное решение, и поэтому заранее считается, что из всех Z сортов шансов, которыми оцениваются разные решения, все, за исключением некоторого k -того, наперед неизвестного, окажутся термодинамически неравновесными и полностью перейдут в этот k -тый сорт, что и будет представлять однозначное решение задачи. Следовательно, всякая задача в исходном состоянии представляется как статистическая, альтернативная и лишь ее «саморешение» показывает, что эта задача имеет термодинамически обусловленный, т. е. не информационный, а логический характер.

Разобранная четвертая термодинамическая модель с самопроизвольным (химическим) переходом Z -компонентной системы в однокомпонентную и однозначную определяет границы теории информации и отделяет ее от области логики. Поправки $\Delta\varphi^0$ и ΔH^0 к величинам $I_{\text{вин}}$ и $H_{\text{шени}}$ в уравнениях (14а) и (14б) необходимы для того, чтобы образовать мост между информацией и мышлением, имеющим своим предметом отыскание необходимого и в пределе однозначного решения. Для этого нужно термодинамически обусловленное, т. е. идущее с падением свободной энергии, превращение вероятности исхода в величину, достаточно близкую к единице, что может определяться только добавочным членом $\Delta\varphi^0$ в уравнении (14а), причем эта величина должна быть достаточно большой.

Чтобы установить условия такого превращения, разберем выражение для свободной энергии решения (измеренной в единицах RT), которую нужно написать, рассматривая переход всех сортов шансов (взятых при начальных концентрациях $C_1 = C_2 = \dots = C_z = 1$) в некоторый k -тый сорт (при конечной концентрации $C_k = 1$), как обычный химический процесс при температуре T . При написанных условиях

$$\frac{1}{N} \log K = - \frac{\sum_i^Z n_i \Delta\varphi_i^0}{N} = - \overline{\Delta\varphi^0}, \quad (\text{IV.21})$$

здесь K — константа равновесия между k -тым сортом и всеми

остальными, отвечающая процессу (2), который можно записать также в виде

$$\frac{1}{N} (n_1 x_1 + n_2 x_2 + \dots + n_z x_z) \xrightarrow{z} x_k; \quad (\text{IV.22})$$

$\Delta\varphi_i^0$ — стандартное падение свободной энергии при переходе одного «шанса» данного сорта в k -тый (включая в суммирование и $\Delta\varphi_k^0 = 0$), а $\overline{\Delta\varphi^0}$ — среднее падение свободной энергии при переходе одного «шанса» в k -тый. Тогда константа равновесия процесса (19) выразится

$$K^{1/N} = \frac{N - \bar{n}_k}{\bar{n}_k} = e^{-\Delta\varphi^0}, \quad (\text{IV.23})$$

где \bar{n}_k — равновесное количество k -тых шансов в объеме V . Из уравнения (23) следует, как это естественно согласуется с термодинамикой, что достижение полного перехода всех сортов шансов в данный k -тый сорт возможно только при бесконечно большом падении свободной энергии, отвечающем переходу одной средней частицы из всех сортов в k -тую частицу, т. е. практически нереализуемому условию: $\Delta\varphi^0 = \infty$. При конечном же значении падения свободной энергии одного среднего шанса при переходе в k -тый шанс степень этого перехода всегда будет меньше единицы. Следовательно, уравнение (23) при конечном значении обеспечивает только возможность *вероятностных* и *приближенных* решений. Переход же к предельному случаю — к однозначному логическому суждению — требует выполнения условия $\Delta\varphi^0 = \infty$ и $N_k = 0$.

Это значит, что формально-логическое мышление несовместимо с термодинамикой и статистикой *молекулярных* систем, для которых не существует устойчивых динамических равновесии, полностью смещенных в одну сторону, и состоянии, лишенных энтропии.

Но оба эти запрета касаются температур выше абсолютного нуля. При абсолютном нуле константа равновесия *независимо от величины* $\Delta\varphi^0 = \frac{\overline{\Delta F^0}}{RT}$ (если только $|\overline{\Delta F^0}|$ отлична от нуля и конечна) приобретает значение нуля или бесконечности, что отвечает полному превращению системы в ту или иную сторону

$$K_{T \rightarrow 0} = e^{\pm \frac{\overline{\Delta F^0}}{RT}} \rightarrow 0 \text{ или } \infty \quad (\text{IV.24})$$

и при этом одновременно обеспечивается требуемая безэнтропийность состояния k -частиц, которые могут быть получены в виде идеального однородного ($p_k = 1$) нернстовского тела. Неполнота превращения ($p_k < 1$), очевидно, исключает безэнтропийность конечного состояния даже при $T = 0$

Следовательно, предельный случай мышления — однозначное логическое мышление — термодинамически отвечает предельным условиям: $T = 0$; $p_h = 1$; $H_h = 0$ и $H_L = 0$, которым не может удовлетворять никакая атомно-молекулярная система, поскольку абсолютный нуль для нее недостижим. Единственной известной системой частиц, способной уже при обычных температурах приблизиться к фактически безэнтропийному состоянию, является вырожденный электронный газ Ферми, взятый при достаточной плотности. Но так как он неотделим от положительных остовов, то в целом эта система не будет обладать вырожденностью при обычных температурах и, следовательно, в отношении энтропии будет вести себя как обычная молекулярная система.

Отсюда вытекает вывод принципиальной важности, заключающийся в том, что *механизм мышления не может находиться на атомно-молекулярном уровне, осуществляемом известными нам частицами*. Этим дается ответ на вопрос, поставленный в начале книги.

Конечно, нельзя считать, что все виды частиц и статистик исчерпаны и не могут быть найдены новые легкие нейтральные частицы со свойствами и статистикой, обеспечивающими безэнтропийность их совокупности при обычных температурах и малой плотности. Нейтрино с полужелым спином (фермион), с отсутствием заряда и нулевой массой уже приближается к таким требованиям. Представляется возможным, что не только молекулярная биохимия и биофизика, но также ядерные процессы и их воздействие на молекулярную систему мозга участвуют в его деятельности. Этот вопрос в форме гипотетического построения (без чего здесь обойтись уже нельзя) разбирается в X дополнительной главе.

Существует много предельных состояний, практически недостижимых именно из-за наличия молекулярной и макроскопической статистики, т. е. того или иного вида неупорядоченности. Сюда относятся: идеальная механика, идеальные твердые и упругие тела, идеально-обратимые процессы и т. п.

Мышление представляет единственное природное явление, где *фактически* осуществляется переход к предельному случаю — к вполне безэнтропийному состоянию. *В этом настоящая загадка деятельности мозга*.

Она означает, что для мышления, и только для него, *может* не иметь места ни молекулярная, ни макроскопическая статистика, поскольку любая статистика исключает принцип тождества, который эквивалентен изъятию мышления из подчинения закону энтропии и принципу неопределенности.

Эта безэнтропийность мышления не гарантирует его истинности — она определяется выбранными исходными данными и алгоритмом для их переработки, но *она гарантирует отсутствие случайности и произвола* в логических операциях и, следовательно, их точную воспроизводимость и передачу.

Поэтому, как ни парадоксально, нормальное мышление совершенно нечувствительно к хаотическому тепловому движению молекулярного вещества мозга.

Безэнтропийность свойственна не только логическим выводам, где она выступает с явной необходимостью. Это более широкая и даже универсальная способность человеческого сознания: все истинно художественные формы также обладают безэнтропийностью особого типа, так как в них нет ничего случайного и лишнего. Это превосходно выражено в словах Флобера, приводимых Мопассаном: «Какова бы ни была вещь, о которой вы заговорили, имеется только *одно* существительное, чтобы ее назвать; только *один* глагол, чтобы обозначить ее действие и только *одно* прилагательное, чтобы ее определить... И нужно искать до тех пор пока [они] не будут найдены» (курсив наш. — Н. К.)¹. Иначе говоря, художественная форма — это единственное микросостояние художественного образа.

Как показал опыт человечества, указанной выше гарантии достаточно, чтобы сделать возможным создание науки и логического обмена между людьми.

Наоборот, вторжение в мышление любого вида статистики, т. е. случайности и неопределенности, вносит энтропию, а вместе с ней неповторимость в логические операции и в пределе ведет к логическому хаосу, аналогу молекулярного хаоса.

Нормально действующее сознание защищено глубоким и широким антиэнтропийным рвом от проникновения в него хаотических броуновских импульсов и для их гашения. Но такая защита все же проходима, и при большой частоте и интенсивности броуновских импульсов мышление может попасть во власть статистики вплоть до ее простейших молекулярных форм.

Это может привести к состоянию полной спутанности и асинхронности мышления (подобное наблюдается при некоторых заболеваниях и травмах, при действии некоторых наркотиков и т. п.).

В противоположность логической деятельности от информации не требуется полной однозначности, достоверности и воспроизводимости. Поэтому она не требует для себя безэнтропийных механизмов и может собираться и перерабатываться уже на уровне крупных молекул (вроде ДНК, РНК), как это, например, принимается для кодирования процесса синтеза белков, образования вирусов, передачи наследственных признаков, даже актов психического порядка.

Например, механизм запоминания информации (при обучении крыс) оказался связанным с изменением в соотношении оснований в ядерной РНК нейронов — в увеличении аденина и уменьшении урацила [2]. Энтропийная неупорядоченность в этих молекулах, конечно, искажает эту информацию, и кодовые «ошибки» (даже в одной «букве» в коде ДНК) могут иметь серьезные соматические последствия (вроде потери цветного зрения и т. п.), но все же эти энтропийные искажения не лишают информацию

¹ Мопассан. Собр. соч., т. 1. М., «Правда», 1958, стр. 4.

ее действенности. Однако слишком большая энтропия молекулы-кодоносителя («шум») может полностью разрушить «код», а вместе с ним информацию («сигнал»). Поэтому в качестве кодоносителей пригодны лишь молекулы с достаточно жесткой структурой и с пониженной молекулярной энтропией на один элемент кода. Соответственно небольшие молекулы менее пригодны для этой цели.

В соответствии с тем, что информация проявляется уже на макромолекулярном уровне, организованное же мышление возникает только на уровне весьма сложной биологической системы (например, у ребенка оно начинается с веса мозга порядка 1 кг). Обмен информацией как таковой (отдельными сведениями, данными, сигналами) стоит по своему значению ниже логического обмена. Это имеет то важное последствие, к которому мы еще вернемся, что увеличение информации является не всегда положительным фактом, так как сверх некоторой нормы она уже перестает перерабатываться логически, вытесняя высший мыслительный обмен более низким информационным.

Проведенный анализ показывает, что изучение молекулярного, т. е. собственно биохимического, механизма сознания (Л. Полинг, У. Эшби [3]) может оказаться весьма полезным для выяснения (и, возможно, устранения) энтропийных броуновских элементов, которые вторгаются в сознание из молекулярных уровней, но оно в принципе не способно создать основу для понимания высших безэнтропийных форм мышления и психики как системных процессов.

В этом аспекте делается понятным, почему кибернетические механизмы, имитирующие мышление и разумное поведение, пришли не из химии и биологии, а из механики, электроники, электротехники, где вещество с его молекулярной энтропией не имеет существенного значения, и молекулярные взаимодействия заменены связями и сигналами макроскопического уровня, подчиняющимися уже не молекулярной, а иной статистике.

Проведенный анализ показывает, что информация и мышление представляют два существенно различных явления и поэтому их термодинамическое моделирование требует двух существенно различных процессов.

Получение информации моделируется на основе общей термодинамики в виде процесса принудительного (за счет работы информации) перевода всех «шансов» в одну из Z ячеек, по которым они при постановке задачи как-то первоначально распределены.

Процесс мышления моделируется на основе химической термодинамики в виде самопроизвольного перехода ($Z-1$) сортов «шансов», сосредоточенных в одной ячейке, в один некоторый k -тый сорт с падением свободной энергии и энтропии, выражае-

мой уравнениями мышления

работа суждения (решения) $L = \sum_i^Z p_i \log p_i + \Delta\varphi^0 = I_{\text{виз}} + \Delta\varphi^0 > 0$,
энтропия суждения (решения)

$$G = \sum_i^Z p_i \log p_i + \Delta H^0 = H_{\text{шени}} + \Delta H^0 > 0.$$

Эти уравнения отвечают наиболее общему случаю вероятностного мышления, из которых, как предельный случай, могут быть получены выражения для процесса информации и для процесса однозначного логического мышления. Термодинамическим условием того, что данная задача является информационной, будет $\Delta\varphi^0=0$, $\Delta H^0=0$ и соответственно $L<0$, в результате чего уравнения мышления переходят в *уравнения информации* как в свой частный и предельный случай

$$\text{работа информации } I = \sum_i^Z p_i \log p_i < 0,$$

$$\text{энтропия информации } H_{\text{шени}} = - \sum_i^Z p_i \log p_i > 0.$$

Таким образом, информация выводится из мышления, как его частная и более простая асинтаксическая форма, обратная же индукция неосуществима. Соответственно этому у человека наблюдается вся гамма перехода от «человека разумного» с мощной способностью к образованию понятий и умозаключений до полных олигофреников (в просторечии — идиотов) с едва выраженной способностью к информационному общению, лежащему иногда ниже уровня животных. Такой спуск может вызвать мозговая травма, инфекция, алкоголь, наркотики, или же он может являться прирожденным уродством. Но ясно, что *соматическая* информационная способность самого развитого животного никаким обучением не может быть поднята до уровня *символической* информации, мышления. Здесь разрыв, для заполнения которого природа не дает нужного звена. Это тот же самый «missing link» Геккеля, который до сих пор не позволяет биологически сомкнуть человека с его животным предшественником. В этом факте выводы антропологии и термодинамики вполне совпадают.

Термодинамическим условием того, что данная задача является не информационной, а логической, т. е. способной к термодинамически самопроизвольному решению, является соотношение $I \ll \Delta\varphi^0 > 0$ и соответственно $L > 0$. Это условие отвечает вероятностному мышлению и обеспечивает самопроизвольность некоторого исхода, но не его полную однозначность.

Термодинамическим условием перехода к строго логическому, т. е. однозначному, мышлению является переход к предельным условиям: $T = 0$ и $H_k = 0$, что отвечает полному освобождению мышления от молекулярной статистики. Отсюда следует, что информация как статистически энтропийное явление, может осуществляться с помощью чисто физико-химических механизмов,

лежащих на молекулярном уровне (и выше) при обычных условиях. Мышление же в своей предельной безэнтропийной (логической) форме требует физико-химических условий, *не реализуемых на молекулярном уровне*; $T = 0$; $H_k = 0$.

Это показывает, что мышление не может осуществляться с помощью обычных молекулярных механизмов, и его нужно связать с особыми механизмами или особыми частицами, не подчиненными молекулярной статистике, для которых достижение безэнтропийности не включает температурного условия: $T = 0$. Термодинамические возможности таких механизмов разбираются в следующих главах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кемени Дж., Снелл Дж. Введение в конечную математику. М., ИЛ, 1963.
2. Надан, Томпсон, Ашкхаси. «Proc. Nation. Acad. of Science USA», 48, 1366, 1962.
3. Эшби У. Конструкция мозга. М., ИЛ, 1963

МОЛЕКУЛЯРНО-СИСТЕМНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТИПЫ
ИХ ОТОБРАЖЕНИЯ

В предыдущей главе было показано, что безэнтروпийность логической продукции мозга не может быть осуществлена, если физико-химический механизм мышления работает на *молекулярном* уровне, так как для этого он должен был бы существовать в термодинамических условиях, отвечающих температуре абсолютного нуля, который недостижим для молекулярных систем. Этим принципиально ограничивается возможность *молекулярного* моделирования мышления как упорядоченного кодируемого процесса. Условие $S_m = 0$ (S_m — молекулярная энтропия) равносильно освобождению процесса от молекулярной статистики, что очевидно, неосуществимо. Между тем в молекулярной системе мозга возникают особые процессы, ведущие к организованному мышлению. На парадоксальность этого факта указывает также Бриллюэн, когда он пишет, что «Размышление и работа мозга происходят в направлении, противоположном тому, в котором действуют обычные физические законы» [1]. Наибольшее приближение к написанному выше условию возможно благодаря участию в процессе мышления очень легких частиц (см. гл. X) и в какой-то мере путем перехода механизма на более высокий *системный уровень*, где элементами являются настолько крупные образования, что их температурное равновесие со средой ослаблено.

В некоторых реальных макросистемах вклад молекулярной энтропии в их поведение может быть настолько понижен, что они могут приближенно описываться как молекулярно безэнтропийные механизмы, подчиняющиеся уже главным образом системным закономерностям. Это относится и к биологическим системам в той степени, в которой они функционируют в виде достаточно сложных молекулярных организаций, подчиняющихся также системной энтропии, например, в виде энтропии информации. Если бы биологические функции определялись обычными молекулярными структурами, то молекулярная энтропия и энтропия их кодов внесли бы слишком большой хаос в выполнение

биологических функций, в результате чего вместо целесообразно направленных действий мы наблюдали бы преимущественно броуновские (стохастические) явления¹.

Поэтому функции биологической материи несомненно нельзя полностью охватить с обычного молекулярного уровня (хотя прогресс молекулярной биологии огромен) и они подчиняются иным низкоэнтропийным закономерностям. Нередкие факты достаточно точного воспроизведения наследуемых признаков в потомстве — показатель того, что биологический материал способен к процессам с малой кодовой энтропией. К таким низкоэнтропийным механизмам может быть отнесено, например, матричное воспроизведение белков и самовоспроизведение ДНК в клетках, позволяющее получать «копии» исходных прототипов. Сюда же относится запись наследственного кода в ДНК хромосом, несомненно обладающего пониженной системной энтропией сравнительно с молекулярной энтропией самих нуклеотидов. Иллюстрацией возможной точности такого кода является нередко встречающееся поразительное сходство однояйцевых близнецов, иногда распространяющееся не только на внешние признаки, но и на их далекую биологическую судьбу.

Например, Каудри [3] приводит случай, когда у таких близнецов уже в зрелом возрасте почти одновременно возникла карцинома одних и тех же органов. Много интересных данных в этой области приводит Канаев в своей книге «Близнецы и генетика» [4]. Но пониженная энтропия молекулярно-биологических кодов все же недостаточна для осуществления логического мышления, которое требует *тождественно-нулевой энтропии* для получаемого решения.

Поэтому на высшей ступени биологических форм — в мыслящем мозге должно происходить особенное снижение системной энтропии и, как увидим далее, вплоть до нулевого значения. Таким образом, если расположить органы по уменьшающейся системной энтропии, то на нижнем конце — с максимальной энтропией — найдем органы пищеварения, на верхнем конце — с минимальной и даже нулевой энтропией — органы мышления. Большое значение принципа иерархичности систем управления живых органов обосновано в работах Ляпунова [5]. В разбираемом случае эта иерархия функций и управления начинается с относительно простых молекул (липидов, гормонов, витаминов и т. п.) и через белковые (ферментные) молекулы доходит до макроскопических элементов мозга (нейронов, их дендритов, аксонов и всей нейронной сети).

¹ Можно найти немало примеров на макромолекулярном уровне. Так, если ввести фермент полирибонуклеотидфосфорилазу, выделенную Очоа [2] из *Azotobacter Vielandi*, в среду, содержащую рибонуклеотиды и ионы магния, но без матрицы, т. е. без кода, то получается полирибонуклеотид, в котором сочетание рибонуклеотидов оказывается совершенно случайным.

Когда рассматривается подобная система, функционирующая с помощью уже не молекулярных, а макроскопических элементов, то ее можно охарактеризовать *системной* энтропией $S_{\text{сист}}$, которая определится: во-первых, степенью макроскопичности системы γ_M , показывающей, какая *доля* вещества находится в макроскопическом состоянии, в виде макроскопических элементов работающей системы (для механизмов, например, таких, как зубчатая передача, коленчатый вал и т. п.; для организмов таких, как мышечное волокно, нервное волокно, кровеносный сосуд и т. п.); во-вторых, величиной макроскопической энтропии S_M единицы вещества; в-третьих, остаточной долей молекулярного состояния вещества $(1 - \gamma_M)$ и энтропией этого состояния S_m . Отсюда для системной энтропии работающего организма или механизма получим выражение

$$S_{\text{сист}} = \gamma_M S_M + (1 - \gamma_M) S_m. \quad (\text{V.1a})$$

Если вещество действующей системы полностью находится в виде ее макроскопических элементов, то

$$\gamma_M = 1 \text{ и } S_{\text{сист}} = S_M. \quad (\text{V.1б})$$

В этом случае энтропия системы будет иметь чисто макроскопический характер, и вклад молекулярной энтропии в системную энтропию будет равен нулю. Другой предельный случай отвечает тому, когда система функционирует только на молекулярном уровне, и тогда

$$\gamma_M = 0 \text{ и } S_{\text{сист}} = S_m. \quad (\text{V.1в})$$

Этот второй случай относится уже к чисто молекулярной термодинамике и статистике.

Очень большая область заполнена системами смешанного микро-макроскопического типа с $0 < \gamma < 1$. Сюда относятся биологические макромолекулы (ДНК, РНК, белки, хлоропласты), клеточные элементы — хромосомы, ядро, митохондрии и сама клетка в целом. Все системы, в которых осуществляется достаточно далекая миграция энергии (хлоропласты, люминофоры, некоторые катализаторы), или ориентация спинов в достаточно больших областях (например, в доменах ферро-магнетиков) должны рассматриваться как частично макроскопические системы с $\gamma_M > 0$

Что касается реальных работающих макроскопических систем, то для них будет справедливо общее уравнение (1а). Уравнение (1б) отвечает идеальному механизму, не реализуемому в физическом опыте. Следовательно, вмешательство молекулярной энтропии в работу макроскопической системы может быть ослаблено условием $\gamma_M \rightarrow 1$ или $T \rightarrow 0$. Оба эти условия предельные и полностью реализованы быть не могут. Все механизмы (паровая машина, двигатель внутреннего сгорания, электромотор и проч.) работают, практически как макроскопические системы и потому почти безраз-

лично к величине молекулярной энтропии материала, из которого они сделаны. К организмам это относится в значительно меньшей мере (в том числе потому, что у них γ_M меньше), но и для них этот фактор является важным в защите от молекулярной энтропии.

Следовательно, увеличение степени макроскопичности системы γ_M представляет, хотя и не полный, но общий способ защиты ее от влияния молекулярной энтропии и статистики.

Это одна из причин того, что мыслительная деятельность (от ее самой зачаточной формы — инстинкта), особенно уязвимая со стороны хаотизирующего действия молекулярной энтропии и статистики, возникает только у сложных организмов, действующих на достаточно высоком системном уровне ($\gamma_M \gg 0$). В общем, системный ранг организма и защищенность от молекулярной энтропии определяются степенью его макроскопичности в целом (γ_M) и возрастают параллельно с усложнением нервного аппарата. Однако в противоположность механизмам освобождения организма, в том числе мозга, от молекулярной энтропии не может быть столь полным, так как у организма γ_M всегда значительно меньше единицы и, следовательно, $(1 - \gamma_M)S_M > 0$. Это же относится и к системной энтропии, так как S_M всегда больше нуля, причем, если молекулярная энтропия может быть уничтожена в пределе при $T \rightarrow 0$, то для *уничтожения макроэнтропии нет никакого способа*. Эта энтропийная компонента является неустранимой даже в пределе. Это наглядно ясно из того, что нет способа изготовить два вполне тождественных макромеханизма. (Для микромира ограничение тождества объектов существует в виде второго начала термодинамики и принципа неопределенности Гейзенберга). Поэтому с помощью физических объектов и процессов, как молекулярного, так и системного уровня, *принципиально нельзя выразить и, следовательно, кодировать вполне безэнтропийное состояние, в том числе логическое суждение*. Здесь приходится прибегать к иным, символическим, способам выражения, обладающим совершенно особой термодинамикой и статистикой. *Следовательно, вполне безэнтропийных систем не существует ни на каком уровне, и мозг как физико-химическая система на каждом уровне своей деятельности (молекулярном, клеточном, гистологическом) обладает определенной и неустранимой энтропией и статистикой*.

Наглядным проявлением энтропии мозга является спектр биоэлектрических колебаний, начиная от медленных ритмов с частотами от нескольких единиц до нескольких десятков герц α -, Δ -, σ -ритмы, из которых особенно устойчив первый α -ритм, до высокочастотного γ -ритма с частотой до 1000 *гц*. Интенсивность этих ритмов меняется в широких границах (от нескольких микровольт до сотен микровольт). Но наибольшая интенсивность подробней всего изученных α -колебаний приходится на сравнительно узкую область частот. Используя этот факт и разработанный им обобщенный гармонический анализ, Винер [6] развил концепцию Тейлора об автокорреляции частот, результатом чего должно явиться их «стягивание» в некоторую группу с близкими частотами.

тами, т. е. самоорганизация колебаний. Если бы этот процесс достиг в мозгу полной законченности, то его биоэлектрические колебания стали бы вполне монохроматичными при постоянной интенсивности, т. е. вполне безэнтропийными. Но фактически этого нет и не может быть, и разброс биокосебаний в коре мозга по частотам и интенсивностям может служить условной мерой его энтропии. Однако устойчивость основного α -ритма указывает на существование некоторого механизма (возможно, в том числе «стягивания» частот), который стремится стабилизировать эти колебания, т. е. препятствовать увеличению энтропии мозга. Насколько известно, вопрос об оценке энтропии мыслящего мозга еще не ставился, но статистический анализ биотоков мозга может послужить к его постановке.

Нужно подчеркнуть, что никакой из известных механизмов не может лишить мозг как физико-химическую систему энтропии ни молекулярного, ни системного уровня.

Отсюда возникает тот фундаментальный факт, что *физически энтропийная система — мозг — способна производить безэнтропийное явление — мышление. Это можно назвать «термодинамическим парадоксом мышления».* Следовательно, принцип универсального броуновского рассеяния (см. гл. I) имеет очень важное и притом, по-видимому, единственное исключение — человеческое мышление. Оно может быть полностью лишено броуновской (энтропийной) компоненты, и любой его логический акт может быть закодирован и воспроизведен с полной точностью неограниченное число раз (вывод теоремы, решение уравнения, построение силлогизма и т. п.). Понимание этого совершенно особого факта требует решения двух задач: а) нахождения общего соответствия между физико-химической деятельностью мозга и деятельностью сознания и б) принципа сопоставления их термодинамических характеристик.

Путь решения этих задач, принятый здесь, заключается в использовании некоторых понятий теории множества для задачи а и обобщенной термодинамики для задачи б.

Но предварительно нужно точно установить, что будет пониматься под мышлением в отличие от психики в целом, которая выходит за рамки настоящего анализа.

Под мыслительной продукцией мозга будет пониматься такая его продукция, которая может быть точно закодирована, передана по каналу связи и, после освобождения от помех, с полной адекватностью воспроизведена на приемном пункте¹. Это определение вполне точно для *логической продукции*, по самой своей структуре не содержащей эмоциональной окраски, недоступной кодированию. Способы кодирования такого чисто логического мышления безразличны — для этого пригодна любая точно обусловленная символика: язык, графическая символика, математи-

¹ Под такое определение попадает и информация. Это, однако, не может вызвать каких-либо недоразумений, так как разделение информации от дискурсии было дано ранее в гл. III и так как мышление, если опускается его логический путь и дается только конечный результат, естественно, превращается в информацию.

ческая символика, в том числе символика математической логики, азбука и т. п.

Этим критерием мышление так, как оно будет здесь разобрано, четко отделяется от полного объема психической деятельности, включающей такие некодируемые явления, как эмоции, аффекты, инстинкты, подсознание. Наглядно ясно, что возможно точно кодировать и передать по каналу связи дискурсивное мышление человека, но невозможно передать тем же путем его психику.

Отношение между мозгом и мышлением определится как отношение между множеством физико-химических «операций» мозга и множеством производимой ими логической «продукции» сознания. Под единичной операцией будет пониматься такой комплекс физико-химических и соответственно физиологических актов в мозге, которые соответствуют возникновению в сознании некоторой единицы мыслительной продукции.

Для решения поставленной здесь задачи нет необходимости (и едва ли это возможно для общего случая) определять конкретный характер этих двух единиц. Достаточно, что они точно различимы по природе и образуют два разных множества.

В этой части работы будет разобрана только первая задача а. Она имеет вспомогательный характер, но без решения вопроса о соотношении множества физико-химических операций мозга и множества его мыслительной продукции нельзя приступить к термодинамической разработке проблемы мышления, взятого на любом уровне. Это так же затруднительно, как сравнивать как-либо физико-химические (в том числе термодинамические) характеристики двух множеств молекул, не зная, равны ли (равно мощны ли) они и какое из них больше.

Так как физико-химические акты совершаются между отдельными дискретными частицами (атомами, молекулами, радикалами, ионами, функциональными группами и т. д.) и состояние этих частиц квантовано, то множество физико-химических операций в мозге есть множество *конечное* и, следовательно, счетное. Это значит, что между этим множеством и множеством некоторой части ряда натуральных чисел имеется одно-однозначное или взаимно однозначное соответствие, при котором все физико-химические операции могут быть пересчитаны и перенумерованы с помощью ряда натуральных чисел, причем каждая операция может быть поставлена в соответствие с одним и только одним номером или членом этого множества. Количество натуральных чисел, использованных для такого пересчета, выразит мощность счетного множества таких физико-химических операций.

Но нельзя утверждать, что *полное* содержание психики, включая все ее проявления, мышление, эмоции, память, подсознание, ассоциации и т. п., — также представляет счетное множество, равно мощное множеству физико-химических операций мозга или какой-то его части. Вероятнее думать, что психика в целом не

есть множество дискретных элементов, каждый из которых в отдельности может быть выделен¹, занумерован и закодирован (скорее следует считать, что это невозможно), но имеет природу континуума, и соответственно с этим мощность психических актов отвечает по меньшей мере мощности континуума. Тогда психика представится несчетным множеством, которому будет отвечать по меньшей мере множество действительных чисел (а не только рациональных), т. е. числовой континуум какого-либо отрезка прямой. Мощность такого множества будет больше любого счетного множества, в том числе множества физико-химических актов мозга, и, следовательно, не будет находиться с ним во взаимно однозначном соответствии. Это как раз отвечает тому, что дискретная логическая продукция мозга точно кодируема с помощью языковой и математической символики, содержание же психики не поддается этой операции.

Для дальнейших целей здесь нужно уточнить вопрос о взаимно однозначном соответствии множеств, которое мы изложим, следуя известной книге Александра [7].

Взаимно однозначное соответствие между двумя множествами, называемое также взаимно однозначным *отображением* одного множества на другое, есть только частный случай общего понятия отображения: если каким-нибудь образом *каждому* элементу x множества X поставлен в соответствие определенный элемент y множества Y , то это отвечает отображению множества X во множество Y с помощью функции f , аргумент которой пробегает множество X , а ее значение $f(x)$ принадлежит множеству Y . Тогда говорят, что $y=f(x)$ есть *образ* элемента x при данном отображении f .

Если *каждому* элементу x множества X поставлен в соответствие элемент $y=f(x)$ множества Y , причем каждый элемент множества Y окажется поставленным в соответствие *хотя бы одному* элементу множества X , то считается, что имеет место отображение множества X на множество Y .

Полным прообразом элемента y при отображении f множества X на множество Y будет множество *всех* элементов множества X , которым при отображении f ставится в соответствие *данный* элемент $y \in Y$ (знак \in выражает, что y — элемент множества Y). Это множество обозначается через $f^{-1}(y)$. Очевидно, что не всякое отображение f одного множества на другое ведет к установлению между ними взаимно однозначного соответствия, т. е. равномощности. Отображение f множества X на множество Y тогда и только тогда взаимно однозначно, когда полный прообраз каждого элемента y множества Y состоит из *одного* элемента множества X .

Нет основания накладывать такое жесткое ограничение на отображение f_{Φ} множества физико-химических операций мозга X на множество психических состояний Y_{Φ} . Сама неповторимость психических состояний говорит против такого детерминизма и необходимости сводить полный прообраз психического акта $f_{\Phi}^{-1}(y_i)$ к одному элементу множества X .

Но в отношении мыслительной (логической) продукции мозга эта неопределенность в пределе устраняется тем, что элементы

¹ В связи с этим нужно вспомнить указание Бора на то, что всякая попытка регистрации психического акта сама уже вносит новый психический акт и поэтому не может в духе принципа неопределенности не нарушать — не увеличивать — мощности самого объекта операции.

этой продукции (суждения, понятия, силлогизмы и проч.) по природе своей также *дискретны* и *счетны*, как физико-химические операции в мозге. Так как число операций, осуществляемых комбинациями нескольких миллиардов нервных клеток коры головного мозга несомненно больше числа единиц логической продукции, то эта продукция будет представлять счетное множество Y_L , способное быть равномошным некоторой части (подмножеству) X_L этих операций и, следовательно, способное находиться с ним во взаимно однозначном соответствии.

В наименьшее необходимое (*логическое*) подмножество физико-химических операций мозга X_L войдут только такие операции, которые непосредственно соответствуют элементам логической мыслительной продукции. Тогда отображение f_L логического подмножества физико-химических операций мозга (независимо от того, что представляет такая единичная операция) на множество сознания Y_L даст для полного прообраза каждой единицы логической продукции¹ соотношение: $f_L^{-1}(y_i) = x_j$, выражающее условия взаимно однозначного соответствия этих двух множеств.

Это условие выражает идеализированный предельный случай, когда из полного множества физико-химических операций исключены все, не находящиеся в одно-однозначном соответствии с полученным множеством логической (безэнтропийной) продукции. Фактически из-за неидеальности физико-химического механизма мышления полному прообразу данной единицы логической продукции всегда отвечает некоторое множество физико-химических операций

$$f_L^{-1}(y_i) = X, \quad (V.2)$$

и только для идеального мышления

$$\bar{f}_L^{-1}(y_i) = x_j, \quad (V.3)$$

где $x_j \equiv X$.

¹ Точное определение единичной физико-химической операции и единичной логической продукции для проводимого анализа необязательно. Для физико-химической операции сейчас нет средств для такого определения, но они, наверное, со временем будут найдены. Для логической продукции уже сейчас можно точно указать ее некоторые единицы. Например, такими единицами являются: а) *суждения*, состоящие из субъекта суждения, предиката и отношения между ними; б) *понятия* как объединения субъекта, предиката и отношения; в) *силлогизмы* — умозаключения, содержащие не больше и не меньше трех элементов (терминов): большую посылку, малую посылку и средний термин и с необходимостью вытекающие из них сочетания и т. п. Привлечение математической логики может выделить целые классы таких логических единиц. Пока физико-химические операции непосредственно недоступны регистрации, они, согласно сказанному выше, только косвенно определяются как элементы физико-химического множества операций мозга, способных в пределе находиться во взаимно однозначном соответствии со множеством единиц его логической продукции.

Если представить неограниченно долго мыслящий мозг, то оба счетных множества (физико-химических операций и логической продукции) с необходимостью станут равномошными, так как все бесконечные счетные множества имеют одну и ту же мощность — мощность всех натуральных чисел (одно и то же кардинальное число «Алеф-нуль»). Следовательно, в этой области между физико-химической операцией и логической продукцией должно возникнуть взаимно однозначное соответствие и достигнуто условие (3), отвечающее предельной продуктивности мышления. Этим обобщается эмпирическое наблюдение, что отрывочное мышление малопродуктивно, длительное же мышление (или размышление) более продуктивно. Соотношение (3) дает также указание на то, что наиболее строгий детерминизм, естественно, свойствен сочетанию очень больших счетных множеств, охватывающих множества физико-химических объектов, в то время как множество континуума, по-видимому, свойственное психической деятельности, выпадает из этой тенденции.

Следовательно, мощность физико-химических операций мозга для реального случая будет всегда больше множества единиц точно закодированной логической продукции, которая отвечает наименьшему множеству физико-химических операций, кроме необходимых для логического кода. При этом необязательно, и даже физически невозможно, чтобы данному элементу логической продукции всегда отвечало одно и то же множество физико-химических операций мозга: это исключается прежде всего энтропией мозга. О парадоксе такого несоответствия между безэнтропийностью мыслительной продукции и энтропийностью операций уже говорилось выше. Разрешение этого парадокса будет предложено в следующей главе.

Но в эмоциональной сфере такого взаимно однозначного отображения множества внешних фактов на множество сознания нет даже и в пределе. Здесь полный прообраз данной эмоции или ощущения отвечает всегда некоторому множеству раздражителей. Следовательно, структура «мозг — сознание» построена так, что в ней осуществляется два типа отображений: первый — способный в пределе приводить к взаимной однозначности и, следовательно, к равномошности счетных множеств физико-химических операций мозга и его мыслительной продукции; из него возникает кодируемая логическая продукция; и второй — неспособный приводить к такому взаимно однозначному соответствию, дающий множество — континуум психики; из него возникает не кодируемая чувственно-эмоциональная продукция. Сортировка и преобразование множества раздражителей в данный тип ощущения или эмоций — антиэнтропийный процесс, осуществляемый аппаратом «мозга-сознания» (со значительным участием *Thalamus*). Без этого восприятие мира превратилось бы для нас в сплошной хаос — «шум». Уменьшение энтропии при превращении множественности в единичность в молекулярной области было сформулировано нами как общее правило для физико-химических процессов [8].

К сформулированным предельным условиям взаимно однозначного соответствия нужно добавить, что множество логической продукции по своему существу является упорядоченным, т. е. о-

носителю его любых двух различных элементов y и y' известно, что один из них предшествует другому, например, y предшествует y' : $y < y'$.

Следовательно, отвечающее ему необходимое логическое подмножество физико-химических операций X_L также должно быть упорядочено, причем не любым образом, а так, чтобы взаимно однозначное отображение упорядоченного подмножества X_L на множество Y_L дало бы подобное соответствие (соответствие подобия) этих двух упорядоченных множеств ($Y_L \cdot X_L$). Это означает, что соблюдение условия: $x < x'$ в множестве X_L должно отвечать выполнению условия: $y < y'$ в множестве Y_L .

Сказанное в достаточной степени выражает требование корреляции между физико-химическими операциями мозга и его мыслительной продукцией, чтобы сделать возможным достаточно полный термодинамический анализ процесса мышления. Введение каких-либо других специальных, например физиологических, условий для этого не требуется.

Необходимо ясно представить, что физико-химические операции мозга, отображающиеся в сознании, как его логическая (мыслительная) продукция, есть его *чисто комбинаторная* деятельность, которая единственно может находиться во взаимно однозначном, эквивалентном отношении с содержанием сознания, так как кроме комбинаторики отдельных физико-химических актов в мозге и мыслительных актов в сознании у них нет ничего сравнимого. Все вещественно-энергетические, физиологические и биохимические акты мозга имеют значение постольку, поскольку они участвуют в этой комбинаторике. Если для мыслительной деятельности мозга имеют значение различные энергетические или физико-химические состояния его элементов, например тело нервной клетки, ее дендриты, аксоны и т. д., то при комбинаторике они могут отображаться в сознании просто как *различные* элементы. Эти элементы могут быть мечены как энергией, так и другими признаками (структурой, размерами и т. п.) для отображения их комбинаторной деятельности в сознании это безразлично.

В этой главе даны обоснования для применения термодинамики к процессу мышления на системном уровне.

Общим способом подавления роли молекулярной энтропии в функциях органа, организма или механизма является увеличение степени макроскопичности γ_M его действующих элементов, в результате чего системная энтропия $S_{\text{сист}}$ начинает вытеснять молекулярную S_M : $S_{\text{сист}} = \gamma_M \cdot S_M + (1 - \gamma_M) S_m$.

Соотношение $\gamma_M = 1$ и $S_M = 0$ недостижимо, и поэтому мозг как физико-химическая система не может быть лишен энтропии ни молекулярного, ни системного уровня.

Мыслительная (логическая) продукция физико-химических операций мозга представляет такую продукцию, которая может

быть точно закодирована, передана по каналу связи и с полной адекватностью принята на приемном пункте. Такая продукция полностью лишена энтропии, как информационного, так и физического характера, в то время как производящий ее физико-химический аппарат мозга обладает физической энтропией молекулярного и системного уровня. Разрешению этого «термодинамического парадокса мышления» посвящена следующая глава.

Поскольку множество физико-химических операций мозга и множество образуемых им элементов логической продукции оба дискретны и счетны, то всегда возможно возникновение взаимно однозначного соответствия (равномощности) между множеством логической продукции и некоторым подмножеством физико-химических операций мозга.

Это предельное условие является достаточным для применения термодинамически-статистического метода анализа к процессу мышления не только на молекулярном (см. гл. IV), но и на системном уровне (см. гл. VI).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бриллюэн Л. УФН, 77, 337, 1962.
2. Ошоа S. «Federal. Proc.», 15, No. 2, 832, 1957.
3. Каудри Е. Раковые клетки. М., ИЛ, 1958, стр. 324—326
4. Канаев И. И. Близнецы и генетика. Л., «Наука», 1968.
5. Ляпунов А. А. «Вопросы философии», 1962, № 11, 146.
6. Винер Н. В. Новые главы кибернетики. М., «Советское радио», 1963
7. Александров П. С. Введение в общую теорию множеств и функций. М., Гостехиздат, 1948; Клини С. Введение в метаматематику. М., ИЛ, 1957.
8. Кобозев Н. И. ЖФХ, 22, 1002, 1948.

ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССА МЫШЛЕНИЯ НА МОЛЕКУЛЯРНО-СИСТЕМНОМ УРОВНЕ

Как было показано в главе V, дискретность физико-химических операций мозга и дискретность логической продукции сознания позволяют в *пределе* считать возможным установление равнозначности между множеством логической продукции и некоторым подмножеством физико-химических операций мозга, и это минимальное условие уже позволяет применить к этим двум множествам обобщенные принципы термодинамики (см. гл. II) и проанализировать обнаружившийся термодинамический парадокс мышления — получение от энтропийного физико-химического механизма (мозга) безэнтропийной продукции (логического мышления).

В главах I и II было показано, что в векторно-броуновской интерпретации термодинамики возникает та же проблема, которая является основной и для обобщенной термодинамики мышления — проблема сочетания и разделения упорядоченных и неупорядоченных операций. Для конечного множества¹ упорядоченно-неупорядоченных операций всегда возможно их разложение на два подмножества — вполне упорядоченное или векторизованное $N_{\text{вектор}}$ и вполне неупорядоченное или хаотическое $N_{\text{броун}}$. В дальнейшем под термином «векторизованные операции» будут пониматься вполне упорядоченные операции ($\eta=1$): под термином «упорядоченные операции» — частично упорядоченные операции ($0 < \eta < 1$) и под термином «броуновские или хаотические операции» — вполне неупорядоченные операции ($\eta=0$). Основным принципом такого разложения уже описан в главах I и II. Тогда полное число операций N выразится в виде суммы вполне упорядоченных векторизованных операций $N_{\text{вект}}$ и вполне неупорядоченных, хаотических или броуновских операций $N_{\text{броун}}$ или $N_{\text{хаот}}$.

¹ Если речь идет о конечном множестве, то его мощность будет совпадать с количеством элементов этого множества, выражаемым соответствующим натуральным числом. Мы все же оставляем здесь понятие мощности множества, чтобы сохранить общность терминологии и возможность перехода к бесконечным множествам операций.

$$N = N_{\text{вект}} + N_{\text{броуни}}. \quad (\text{VI.1})$$

Как уже указывалось, по своей структуре это уравнение представляет аналог уравнения Гиббса—Гельмгольца, которое является частным случаем (1),

$$\varepsilon = \Phi + H, \quad (\text{VI.2})$$

в котором каждая из величин имеет вполне определенный смысл в такой системе обобщенной термодинамики, указанный там же (гл. I и II).

Возможность указанного распределения элементов счетного множества между векторными и броуновскими группами, или подмножествами, распространяется на всю область дискретных действий.

Применим описанные принципы к счетным и в пределе равномогным множествам физико-химических операций мозга и мыслительной (логической) продукции сознания, получаемой путем отображения f_L множества физико-химических операций мозга на множество сознания (гл. V).

Напишем обобщенное уравнение Гиббса—Гельмгольца для некоторого конечного счетного и равномогного (одинакового числа) вполне неупорядоченных (хаотических) физико-химических операций мозга ($\eta=0$) и частично упорядоченных его операций ($0 < \eta < 1$):

$$\varepsilon_{\text{опер (упоряд)}} = \Phi_{\text{опер (упоряд)}} + H_{\text{опер (упоряд)}}, \quad (\text{VI.3a})$$

$$\varepsilon_{\text{опер (хаот)}} = \Phi_{\text{опер (хаот)}} + H_{\text{опер (хаот)}}. \quad (\text{VI.3б})$$

Аналогично для мыслительной продукции

$$\varepsilon_{\text{прод (упоряд)}} = \Phi_{\text{прод (упоряд)}} + H_{\text{прод (упоряд)}}, \quad (\text{VI.4a})$$

$$\varepsilon_{\text{прод (хаот)}} = \Phi_{\text{прод (хаот)}} + H_{\text{прод (хаот)}}. \quad (\text{VI.4б})$$

Безразмерные значения свободной энергии и энтропии Φ и H отсчитываются от общего для этих двух типов операций нулевого уровня, даваемого уравнениями (14 а, б) и (15) (см. ниже). Сравнение множества упорядоченных и хаотических операций должно вестись при их равномогности или равночисленности

$$N_{\text{опер (упоряд)}} = N_{\text{опер (хаот)}}, \quad (\text{VI.5a})$$

$$\varepsilon_{\text{опер (упоряд)}} = \varepsilon_{\text{опер (хаот)}}. \quad (\text{VI.5б})$$

Термодинамически это уравнение выражает тот факт, что поскольку рассматриваются чисто комбинаторные операции (см. гл. V), то множества хаотических и упорядоченных операций будут отличаться только по энтропии и свободной энергии и

будут вырождены по полной энергии. Отсюда и из уравнений (3а) и (3б) получим соотношение

$$\underline{\Phi}_{\text{опер (упоряд)}} - \underline{\Phi}_{\text{опер (хаот)}} = H_{\text{опер (хаот)}} - H_{\text{опер (упоряд)}}. \quad (\text{VI.6})$$

Обобщенная полная энергия равномошных и конечных множеств мыслительной продукции хаотического и упорядоченного вида выражается уравнением, аналогичным (5б)

$$\varepsilon_{\text{прод (упор)}} = \varepsilon_{\text{прод (хаот)}}. \quad (\text{VI.7})$$

Из комбинаций уравнений (4а, б) и (7) получим аналоги уравнения (6) для мыслительной продукции

$$\underline{\Phi}_{\text{прод (упоряд)}} - \underline{\Phi}_{\text{прод (хаот)}} = H_{\text{прод (хаот)}} - H_{\text{прод (упоряд)}}. \quad (\text{VI.8})$$

Теперь учтем два обстоятельства.

1. Вполне неупорядоченная (хаотическая) операция не обладает способностью понижать энтропию системы, над которой она производится, и, следовательно, ее свободная энергия равна нулю

$$\underline{\Phi}_{\text{опер (хаот)}} = 0. \quad (\text{VI.9a})$$

То же относится и к мыслительной продукции

$$\underline{\Phi}_{\text{прод (хаот)}} = 0. \quad (\text{VI.9б})$$

Таким образом, свободная энергия операции и продукции отсчитываются от их хаотических состояний.

2. Если есть много степеней порядка, то для изоэнергетических и бесспиновых явлений существует только единственный вид хаоса — закон случая, когда различные операции и соответствующие им элементы продукции с равной априорной вероятностью распределяются между различными Z -состояниями. Такое распределение будет отвечать максимальной и одинаковой энтропии для равномошных множеств хаотических операций и хаотических элементов продукции, а именно шенноновской энтропии максимально неопределенной информации

$$H_{\text{опер (хаот)}} = H_{\text{прод (хаот)}} = H_{\text{макс. Шенн}} = \log Z. \quad (\text{VI.10})$$

Как было разъяснено в главе V, полный прообраз единичного элемента мыслительного множества $f_L^{-1}(y)$ только в случае идеальной работы мозга будет отвечать единичной физико-химической операции x_j . Фактически же $f_L^{-1}(y) = X$, где X — некоторое множество физико-химических операций мозга, включающее кроме необходимого x_j также излишние и ошибочные (для решения поставленной задачи) операции. Поэтому эти два множества — множество мыслительной (логической) продукции и сопоставляемое ему множество физико-химических операций моз-

га — только в *пределе* будут равномошными. Для конечных множеств это выразится

$$N_{\text{опер}} > N_{\text{прод}} \quad (\text{VI.11})$$

Но для вполне хаотических операций и элементов продукции эти две мощности *совпадают*, поскольку в этих множествах отсутствует разделение на необходимые (упорядоченные) и излишние (хаотические или шумовые) элементы. Учтя первое и второе условия (уравнения (9а, б) и (10)), а также уравнения (6) и (7), получим следующее основное соотношение для термодинамических функций $\underline{\Phi}$ и \underline{H} , отвечающих упорядоченной операции и упорядоченной продукции ($0 < \eta < 1$)

$$H_{\text{прод}}(\text{упоряд}) = H_{\text{опер}}(\text{упоряд}) + [\underline{\Phi}_{\text{опер}}(\text{упоряд}) - \underline{\Phi}_{\text{прод}}(\text{упоряд})]. \quad (\text{VI.12})$$

Так как формирование продукции совершает только механизм, производящий операции, и за пределами этого механизма она уже не имеет других источников свободной энергии, то должно выполняться соотношение

$$\underline{\Phi}_{\text{опер}} \geq \underline{\Phi}_{\text{прод}} \quad (\text{VI.13})$$

(Здесь и далее будет идти речь об упорядоченной операции и продукции и поэтому индексы при $\underline{\Phi}$ и \underline{H} будут опущены.) Знак равенства в уравнении (13) отвечает *обратимому* воздействию операции на продукцию, когда свободная энергия первой *целиком* усваивается второй и может быть возвращена от нее механизму. Примером этого может служить обратимость (разумеется, в пределе): например, между периодической намагниченностью магнитофонной ленты и воспроизводимыми ею акустическими колебаниями.

Но при реальных, т. е. не вполне обратимых, процессах продукция никогда не воспринимает полностью затраченную на нее свободную энергию операции и поэтому (см. также уравнение (11))

$$\underline{\Phi}_{\text{опер}} > \underline{\Phi}_{\text{прод}} \quad \text{[VI.14]}$$

Таким образом, продукция способна только утрачивать какую-то часть свободной энергии, затраченной на нее механизмом, но не приобретать ее дополнительно. Подставив уравнение (14) в (12), найдем, что при реальном отношении между операцией и продукцией энтропия продукции может быть только *выше* энтропии производящей ее операции и лишь в предельном случае обратимости равна ей.

Случай А. Не вполне обратимое отношение: операция \rightarrow продукция

$$H_{\text{прод}} > H_{\text{опер}} \text{ и } \Delta H = H_{\text{прод}} - H_{\text{опер}} > 0. \quad (\text{VI.15})$$

Случай Б

$$H_{\text{прод}} = H_{\text{опер}} \text{ и } \Delta H = 0. \quad (\text{VI.16})$$

При этом, так как операции выполняются физико-химическими и, следовательно, энтропийными механизмами мозга, то

$$H_{\text{опер}} > 0 \quad (\text{VI.17})$$

и поэтому в любом случае энтропийным операциям должна соответствовать энтропийная продукция, т. е. должно выполняться условие (15), а следовательно,

$$H_{\text{прод}} > 0. \quad (\text{VI.18})$$

Обратная связь не может изменить этих соотношений, так как она воздействует только на механизм, но не на произведенную им конечную продукцию. Однако на промежуточных стадиях формирования продукции обратная связь играет большую роль, корректируя характер повторных операций в зависимости от выявляемых дефектов продукции и все время улучшая качество продукции — ее упорядоченность. Но термодинамика не имеет дело с путем процесса, а лишь с начальными и конечными состояниями системы и ее характеристических функций. В принципе можно допустить, что корректировка между операцией и продукцией с помощью обратной связи производится вполне точно и операция постепенно уничтожает все порождаемые ею же элементы неупорядоченности продукции. Но для этого механизм обратной связи сам должен быть способен действовать абсолютно упорядоченно, т. е. безэнтропийно. Следовательно, требование безэнтропийности при этом только переносится на обратную связь — требование нереализуемое, если эта связь осуществляется физико-химическими, т. е. также энтропийными механизмами. Поэтому *перемещение свойств безэнтропийности с одного физико-химического элемента процесса на другой не может создать такую физическую ситуацию, чтобы энтропийная операция произвела безэнтропийную продукцию.* Это также невозможно, как то, чтобы типографский оттиск содержал меньше печаток, чем матрица, с которой он сделан. Эти соотношения выполняются для всех механизмов и производимой ими продукции. *Но они несомненно нарушаются в отношениях между мозгом и мышлением, где*

$$H_{\text{прод}} (\text{мышл}) < H_{\text{опер}} (\text{мозг}). \quad (\text{VI.19})$$

Причем, как было показано для однозначного логического мышления,

$$H_{\text{прод}} (\text{мышл}) = 0 \text{ при } H_{\text{опер}} (\text{мозг}) > 0. \quad (\text{VI.20})$$

Дефицит энтропии продукции здесь очевиден и его ничем нельзя покрыть, если не допустить, что *мыслящий мозг способен снизить до нуля энтропию своих операций* $H_{\text{опер}} = 0$.

Но для этого должен существовать особый механизм уничтожения энтропии, не связанный с условием $T=0$ и $\gamma_M=1$. Следовательно, «термодинамический мозг», находящийся, как и все физико-химические системы молекулярного или макроскопического уровня, в «области Клаузиуса», т. е. в области положительной энтропии, не может быть способен к упорядоченному однозначному мышлению. Это мышление выходит за границы термодинамики и статистики.

Нужно ясно представить, что, оставаясь в области положительной энтропии, нельзя найти фактора или процедуры, способной свести к нулю энтропию физико-химических операций мозга, так как системная энтропия вообще неуничтожима, а уничтожение молекулярной энтропии требует нереализуемого условия $T=0$. Поэтому положительная энтропия не может быть уничтожена иначе, как только путем подвода отрицательной энтропии или антиэнтропии (гл. III).

Понятие отрицательной энтропии было впервые введено Шредингером [1] и является основным прецедентом для производимого здесь анализа. Но Шредингер не сделал решающего шага и не принял возможности существования энтропии как существенно отрицательной величины. Однако им был дан важный толчок мысли в новом направлении, которое продолжает развиваться.

Позже Бриллюэн [2] отождествил отрицательную энтропию с введенной им условно-отрицательной энтропией — негэнтропией, т. е. по существу с некоторым видом (возможностью) работы и этим внес в идею Шредингера элемент тривиальности¹.

Условно-отрицательная энтропия Шредингера оказалась ненужной в той области, куда он ее пытался применить, а именно в области питания живых организмов [3—5].

Но мозг как био-физико-химическая система, действительно, не способен организованно мыслить без существенно отрицательной энтропии или антиэнтропии S , выводящей его за границы второго начала и статистики.

Только если в процессе мышления энтропия физико-химических операций мозга молекулярного или системного уровней погашается подводимой антиэнтропией, только тогда эти операции могут стать безэнтропийными и производить безэнтропийную мыслительную продукцию и только так способен установиться

¹ Бриллюэн [26] пишет по этому поводу: «Система, способная производить механическую работу (или работу за счет электрических сил), должна рассматриваться как источник негэнтропии; примером таких систем может служить свернутая спиральная пружина, груз, поднятый над землей, заряженная батарея». Ясно, что такая отрицательная энтропия или негэнтропия эквивалентна, только в ином наименовании, свободной или потенциальной энергии системы. Поэтому она не представляет никаких новых возможностей для погашения энтропии физико-химических систем до нулевого значения.

необходимый баланс энтропии, нарушаемый в термодинамических соотношениях для мышления (уравнения (19) и (20))

$$H_{\text{прод}} = H_{\text{опер}} - |\check{S}| = 0, \quad (\text{VI.21})$$

где $|\check{S}|$ — модуль антиэнтропии. Подчеркнем, что применение каких-либо иных процедур для упорядочения мыслительных актов, кроме введения антиэнтропии, не может быть действительным. Например, этого нельзя добиться затратой какого бы то ни было вида работы, так как с помощью работы можно *понизить*, но не уничтожить энтропию какой-либо системы.

Не следует смешивать понижение, в том числе сведение к нулю, энтропии информации об объектах, определяемых изменением математической вероятности разных исходов, с понижением термодинамической энтропии самих объектов, о чем идет здесь речь. А. Ф. Капустинским была высказана мысль, что увеличение давления до чрезвычайно больших величин может быть эквивалентно понижению температуры в смысле понижения энтропии и приближения ее к нулевому значению. Действительно, поскольку $\frac{dS}{dP} \leq 0$, то отсюда, естественно, вытекает $\lim_{P \rightarrow \infty} S = 0$. Иными словами, затрата бесконечно большой работы в принципе способна понизить энтропию до нуля. Но так как бесконечно большое давление неосуществимо (как и достижение абсолютного нуля), то и этот путь не может привести к уничтожению энтропии физико-химических систем.

Таким образом, энтропия физико-химических систем и операций неуничтожима с помощью негэнтропии (см. сноску на стр. 121). Следовательно, здесь может быть речь о некотором «энтропийном вакууме» мозга, способном поглощать его неупорядоченные акты¹. В пределах обычной статистики энтропия не может быть существенно отрицательной величиной. Но этот вывод — в некоторой мере тавтологический результат самого метода молекулярной статистики, которая заранее предполагает положительную энтропийность рассматриваемых систем.

В действительности же природа содержит множество систем с отрицательной энтропией. Статистическая расшифровка смысла отрицательной энтропии (антиэнтропии) будет дана позже. Пока ограничимся формальным введением антиэнтропии как компенсатора обычной положительной энтропии (уравнение (21)). Этим, конечно, еще не раскрывается физико-химический механизм мыслительной деятельности мозга, но выделяется тот конкретный параметр — антиэнтропия, который отличает эту деятельность от других природных процессов и который удобнее анализировать, чем деятельность мозга в целом. Поиск конкретного источника антиэнтропии мозга — задача физиологии, гистологии и био-физико-химии, а также проблема бионики.

¹ В предыдущей главе была приведена иллюстрация антиэнтропийной деятельности психики и ее способности сводить полный прообраз $f^{-1}(y_i)$ множества раздражителей к одному типу ощущений или эмоций.

В своей брошюре «Мое отношение к кибернетике, ее прошлое и будущее» («Советское радио», М., 1969.) Н. Винер приводит один наглядный пример самоорганизации элементов системы, в некоторой мере эквивалентный подводу конденсаторной энтропии. Он рассматривает электротехническую систему, где многие генераторы переменного тока присоединяются к одной шине. В этом случае генераторы, стремящиеся вращаться быстро или с опережением фазы, будут нести большую нагрузку, чем нормальные, а вращающиеся медленно или с отставанием фазы — меньшую. Результатом будет ускорение медленных членов и замедление быстрых. Если ускорение и замедление отдельных членов регулируются приданными им специальными регуляторами, то вся система в целом будет содержать некоторый скрытый регулятор. Интересно отметить, что этот «скрытый регулятор» распределен по всей системе и не может быть локализован ни в одной ее части. «Это наводит на мысль, что во многих проблемах, и в частности в случае головного мозга, мы были, по-видимому, чрезмерно склонны предполагать резкую локализацию функций».

Конечно, такая комбинация этих генераторов не способна привести их к общей точно совпадающей частоте, т. е. безэнтропийности. Поэтому «скрытый регулятор» Винера, хотя и действует в направлении снижения энтропии, но не эквивалентен антиэнтропии, способной понижать энтропию системы до нуля.

При рассмотрении проблемы построения «мыслящих» автоматов нужно учесть, что, конструируя машину, человек обычно стремится возможно ближе соблюсти в ней взаимно однозначное соответствие¹ между элементами операции и элементами производимой продукции, т. е. избежать каких-либо излишних операций и соответственно получения ненужной побочной продукции, чего самому человеку обычно сразу не удается достигнуть в его собственной мыслительной деятельности. Таким образом, как уже говорилось, у человека полный прообраз какого-либо элемента из множества продукции отвечает некоторому *множеству* операций $f^{-1}(y_i) = X$ (X — это множество), у машины же $f^{-1}(y_i) = x_j$, т. е. элементу машинной продукции, как правило, отвечает некоторая *единичная* необходимая операция. В этом смысле машина, в пределах заданной ей программы, совершенней, безошибочней и экономичней человека, хотя он создает ее конструкцию и составляет для нее программу, и, конечно, быстрее и точнее человека способен выполнить эту программу. Иначе она вообще была бы не нужна.

За счет заложенной программы и ее допустимых вариаций (оптимизации) машина может, например, создать свою копию или даже более совершенную конструкцию. По-видимому, здесь можно идти достаточно далеко, и авторы научно-фантастических сюжетов на эту тему, возможно, не слишком перешагивают границы принципиально достижимого. Но эта граница ясно обозначается там, где возникает вопрос о *приобретении машинной антиэнтропии*. Согласно анализу, проведенному в гл. III, путем высокой степени макроскопичности механизма γ_M и понижения его макроэнтропии S_M возможно создать механизм с малой систем-

¹ Однако сейчас в теории надежности разрабатываются принципы построения надежно работающих систем из ненадежных элементов. Возможно, что это направление окажется ближе всего к вопросу о моделировании «частично антиэнтропийных» систем, способных не полностью, но в какой-то мере приблизиться в своей работе к соотношениям (19) и (20).

ной энтропией и с сильно подавленной ролью молекулярной энтропии. Но, как было там же показано, невозможно построение вполне безэнтропийных механизмов ни молекулярного, ни системного уровня и, следовательно, тем менее осуществимо создание антиэнтропийных механизмов. Здесь кончается возможность самостоятельного прогресса автоматов за счет улучшения термодинамических параметров γ_M , S_M , S_m , которые единственно имеются в его распоряжении. Это те же самые параметры, которыми располагает конструктор, создающий любую машину. Но мыслящий мозг обладает *по меньшей мере* одним дополнительным параметром S , который мы еще не умеем создавать в машине. Именно это образует глубокий разрыв между мозгом и любым механизмом, построенным из атомно-молекулярного материала и действующим в границах обычной статистики. Следует, однако, учесть, что антиэнтропия человеческого мозга и сознания, присущая отдельному индивидууму, в *полной мере развивается только в человеческом обществе*. Поэтому нужно сравнивать не отдельный мозг и отдельную кибернетическую машину, а два замкнутых равномошных множества «мыслящих механизмов» и «мыслящих существ» (людей) на временном интервале, достаточном для их прогресса. У Н. Винера возможность самостоятельного неконтролируемого машинного прогресса, как известно, возбуждала реальное опасение перед возможным столкновением человеческого и машинного общества в будущем. Но вопрос о возможности самостоятельного прогресса автоматов в конечном счете сводится к тому, возможно ли самопроизвольное появление у них антиэнтропии. Без этого свойства автоматы не смогут мыслить в нашем человеческом смысле слова и будут опасны для современного людского общества не более, чем дикие животные. У каждого отдельного, сделанного человеком автомата антиэнтропия отсутствует, и если она способна появиться, то только в коллективе автоматов. Мы не знаем, как это возможно, но допустим, что такой гипотетический процесс произошел. Однако если после этого изолировать автоматы друг от друга или нарушить установившееся между ними взаимодействие, то каждый отдельный автомат утратит свою антиэнтропию и будет представлять некоторую физико-химическую систему, подчиняющуюся законам макро- и микроскопической термодинамики и статистики. В этом принципиальное отличие любого автомата от человека, способного сохранять свою антиэнтропию даже в изолированном состоянии весьма длительное время, соизмеримое с временем его жизни. Неспособность единичного автомата приобрести индивидуальную антиэнтропию (или сохранить гипотетически полученную в результате коллективного взаимодействия в автоматном обществе, которое по существу также автомат) существенно меняет границы сравнения автомата с человеком.

Полученные критерии позволяют ясней анализировать высказывания о взаимоотношении между мозгом и машиной. Это отно-

сится, например, к следующему принципиальному тезису У. Эшби: «Мы знаем, каковы ограничения для мозга. Мы знаем также, что как для человеческого мозга, так и для машины эти ограничения одни и те же, поскольку они присущи любой системе, поведение которой упорядочено и подчинено определенным законам» (курсив наш. — Н. К.). Анализ, проведенный здесь, а также в предыдущих главах, показывает, что ограничения для упорядоченно мыслящего мозга и для машины, наоборот, существенно различны, и поэтому моделирование автоматов, «мыслящих» автономно от человека, связано с трудностями не технического, а принципиального порядка.

Безэнтропийность, т. е. практически неограниченная и точная повторяемость результатов, например, работы цифровых механических или электронных счетных машин, определяется символической цифровой записью полученных результатов, допускающей ее безэнтропийное восприятие человеком или соответствующим прибором. В форме символического кода (цифр, букв и т. п.) человек передает машинам этого типа свою способность к безэнтропийному решению алгоритмизированных задач и прочтению их решения. Для этого фазовая (опознавательная) ячейка символа должна быть достаточно большой, чтобы системная энтропия машины не выводила бы состояние символа за границы этой ячейки и не вносила бы этим неопределенность в его опознание. Но такая безэнтропийность лишь условна, поскольку полной замкнутой системой здесь является не машина, а машина + человек с его антиэнтропией.

Согласно гл. I и II уравнение Гиббса — Гельмгольца представляет частный случай разбиения упорядоченно-неупорядоченной совокупности энергии на сумму упорядоченной (свободная энергия) и неупорядоченной (связанная энергия) совокупностей. Это позволяет все случаи суммирования таких совокупностей представлять как обобщенное уравнение Гиббса — Гельмгольца. Термодинамика мышления на молекулярно-системном уровне подчиняется этому обобщенному уравнению.

Термодинамический анализ показывает, что процесс организованного мышления связан с нарушением баланса обобщенной энтропии: энтропийные физико-химические операции мозга ($H_{\text{операц}}(\text{мозг}) > 0$) способны давать безэнтропийную мыслительную логическую продукцию ($H_{\text{продукц}}(\text{мышл.}) = 0$). В этом состоит «термодинамический парадокс мышления».

В области положительной энтропии не существует фактора или процедуры, способных свести к нулю энтропию физико-химических операций мозга, как молекулярного, так и системного уровня. Положительная энтропия может быть погашена только введением отрицательной энтропии (по Шредингеру) или антиэнтропии \tilde{S} , которая восстанавливает баланс энтропии при мышлении

$$H_{\text{продукц}}(\text{мышл.}) = H_{\text{операц}}(\text{мозг}) - |\tilde{S}| = 0, \quad (|\tilde{S}| \text{ — модуль величины } \tilde{S}).$$

Организованно мыслящий мозг работает вне «области Клаузиуса». Он находится в области нулевой или отрицательной энтропии (антиэнтропия) — это принципиальное отличие упорядоченного мыслящего мозга от автомата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики. М., ИЛ, 1947.
2. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М., Физматгиз, 1960; УФН, 77, вып. 2, 337, 1962.
3. Кобозев Н. И. «Бюлл. МОИП», сер. биол., 53 (1), 1948.
4. Пасынский А. Г. Биофизическая химия. М., «Высшая школа», 1963.
5. Физический энциклопедический словарь, т. 1. «Биоэнергетика». М., «Советская Энциклопедия», 1963.

ПОЛНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУТЬ ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИИ И МЫШЛЕНИЯ

В предыдущих главах (III—VI) был разобран термодинамический процесс информации и мышления, начиная от «уровня задачи» и кончая «уровнем решения». Этот этап термодинамического пути двух процессов является наиболее характерным в том смысле, что именно на нем выявляется принципиальное различие между информацией и мышлением, о котором говорилось выше. В этом рассуждении за исходный уровень считался заранее данный «уровень задачи». Однако уровень задачи не является наиболее низким по свободной энергии и в этом смысле исходным уровнем. Наоборот, задача никогда не возникает самопроизвольно и, следовательно, требует для своей постановки затраты работы. Поэтому первым и самым низким по свободной энергии исходным уровнем является уровень того «материала»¹, который содержит некоторое множество исходных данных, в том числе необходимых для постановки задачи, включая сюда опытные данные, теории, экспериментальные и расчетные методы и проч.

Постановка задачи

Постановка задачи и отбор данных — это следующий, второй уровень на термодинамическом пути постановки и решения информационно-логической задачи.

В недавно вышедшем сборнике статей по кибернетике (см. введение) помещена статья У. Росс Эшби «Что такое разумная машина?». Хотя наша монография не ставит перед собой полемических задач, но все же здесь стоит остановиться на некоторых утверждениях Эшби. Например: «Не существует «истинного» разума. ...Если под этим понимать способность выполнять подходящий отбор без обработки соответствующего количества информации, то такого

¹ Понятие «материала» как всей совокупности имеющихся данных, включая сюда и чувственную подсознательную сферу, шире понятия информации как совокупности данных, могущих быть закодированными и переданными по каналу связи. Для логической задачи «материал» сужается до степени информации, и эти понятия становятся эквивалентными. Но так как нельзя предвидеть тех форм мышления, которые окажутся доступными обобщенному термодинамическому анализу, то здесь оставим для исходных данных более широкое понятие «материала».

«истинного» разума нет, это миф». (То, что отбор данных пуждается в их обработке, похоже на тавтологию, которую трудно оспаривать.) «Существует только один сорт разума, он проявляет себя тем, что производит подходящий отбор». (С этим нельзя согласиться, так как «подходящий» для себя отбор производят все живые существа, а не только разумные, т. е. люди.) Гения как особого уровня творческих способностей тоже нет: «Одной из причин, по которой кто-нибудь становится гением, является то, что он платит за это тяжелым трудом. Он вынужден обрабатывать необходимое количество информации».

Об этих утверждениях и некоторых других аналогичных иногда трудно сказать, правильны ли они или ошибочны, так как понятия, которые они содержат, у Эшби точно не определены.

Что, например, он понимает под «информацией»? Если, как принято считать, это некоторые данные, не обладающие заведомой достоверностью, но способные быть точно кодированными и переданными по каналу связи, то человеческий разум (сознание) оперирует неизмеримо более обширным «материалом», чем такая информация, вплоть до подсознательных образов, эмоций, мгновенных ассоциаций, сновидений и других психических факторов, которые недоступны машине. То, что машина «не видит снов», «не грезит», «не мечтает», «не воодушевляется», «не разочаровывается» и т. п., чрезвычайно обедняет ее интеллектуальные возможности прежде всего в самом зарождении и постановке задачи, в отборе материала и в создании гипотез (см. ниже).

В целях анализа приходится выделять мышление из всего объема психики, однако это возможно только для *формализованного дискурсивного мышления*. Мышление же в целом входит в общий психический комплекс, составляя лишь отчасти его автономную область. Задача и желание решить ее не могут возникнуть без воздействия психического фактора, воли, внутренней потребности и другого сложного мотива (любознательности, соревнования, честолюбия, выгоды и проч.), или без взаимодействия с другими людьми и с обществом в целом.

Далее, что такое «переработка информации»? Сортировка данных, их логическая комбинаторика, интуитивное обобщение? На эту тему мы у Эшби не найдем ответа.

Что значит «подходящий отбор»? Если подходящим считается тот отбор, который нужен для решения задачи, тогда, как говорилось ранее, во главу угла нужно поставить задачу и соответственно признать за разумом прежде всего способность ставить задачи, причем не только конкретно, но и логического уровня.

Теперь несколько слов о гениальности. Пушкин сказал, что «всякий талант неизъясним». Если Пушкин с его несомненной гениальностью и громадным ясным умом не смог разъяснить суть гениальности (впрочем, как и другие гении), то, следовательно, трудности здесь очень велики. Деятельность гения действительно часто сопровождается большим напряженным трудом, но никак нельзя считать, что гениальность может быть заработана большой трудоспособностью в «переработке информации». Для этого ценного качества нужно найти какое-то другое определение. Следует говорить о коэффициенте полезного действия мышления, т. е. о полезной работе, которую выдает наше сознание на воспринятый материал или информацию. Высокий творческий к. п. д. — несомненно одно из основных свойств гения, но этим, конечно, не исчерпывается суть гениальности, хотя это подкрепляется фактом высокой продуктивности недолго живших гениев: математиков — Галуа (22 года), Абеля (27 лет), индуса Рамануджана (33 года), Паскаля (39 лет), поэтов, композиторов, художников — Лермонтов (26 лет), Шелли (30 лет), Байрон (36 лет), Пушкин (37 лет), Моцарт (35 лет), Шопен (39 лет), Рафаэль (37 лет).

Интересно, что в этом перечне нет естествоиспытателей, для которых накопление и переработка информации действительно являются важным фактором продуктивности. Однако максимум этой продуктивности и у них приходится на возраст до 40 лет (см. ниже). Математики же, поэты, композиторы, художники, несомненно, творят по некоторому механизму, не связанному с

переработкой больших количеств информации. Поэтому правильной согласится с Пшкным и не объявлять гениальность фикцией, сводящейся (по Эшби) в своем существе к совмещению большой трудоспособности и счастливого случая.

Задача возникает или как внешняя необходимость в форме некоторого естественного развития науки, техники, общества, или как некоторая внутренняя потребность. Задача может иметь своим предметом увеличение упорядоченности в некоторой области (векторизацию), ее сохранение или нарушение (броунизацию). Затрата энергии на поставку этих различных задач однозначно не определяется их содержанием и в общем случае не может быть оценена. Можно сказать только, что уровень задачи в случае информации лежит *выше* уровня исходного материала и *ниже* уровня решения, а в случае дискуссии *выше* их *обоих* (см. ниже рис. 22 и 23, а также гл. III и IV).

Характер задачи всецело определяет отбор данных, которые существуют в наличии или которые нужно специально получить для того, чтобы сделать возможным ее решение. Этот отбор также не может произойти самопроизвольно и, следовательно, требует затраты обобщенной работы.

Упорядочение и систематизация исходного материала, содержащего N данных Z сортов, заключаются в том, что исходный, смешанный и неупорядоченный материал и содержащиеся в нем данные разделяются на ячейки Z сортов, по которым распределяются элементы этого материала (рис. 21, а, б, в). Эти операции — различение или распознавание данных, построение ячеек, распределение однородных данных (с общим индексом) по ячейкам — *можно произвести только с помощью человеческого сознания*. Никакой механизм принципиально не может проделать уже первую операцию, т. е. различение данных по их смыслу, а следовательно, их маркировку. Без этих же операций невозможно машинное распределение данных по ячейкам.

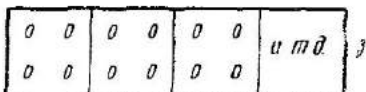
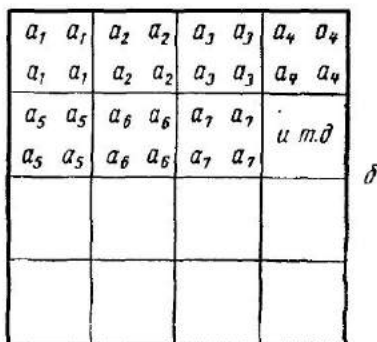
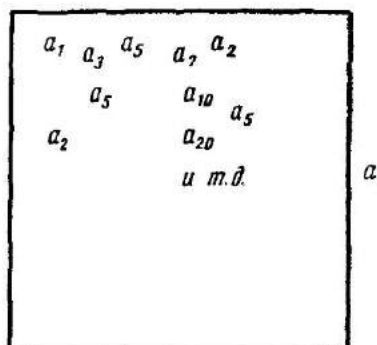


Рис. 21

Пусть у такого неупорядоченного материала вероятность выборки некоторого i -того сорта данных из смеси равняется p_i . Тогда энтропия информации такого материала, содержащего N данных, составит

$$H_{\text{неупоряд}} = -N \sum_i^Z p_i \log p_i \quad \left(p_i = \frac{n_i}{N} \right). \quad (\text{VII.1})$$

Здесь N выражает общее количество данных, а Z — их разнообразие. После распределения этих данных по определенным ячейкам вероятность выборки нужного сорта становится равной единице и энтропия информации снижается до нуля

$$H_{\text{упоряд}} = 0. \quad (\text{VII.2})$$

Следовательно, затрата работы сознания на такую систематизацию и упорядочение материала составит

$$I = -H_{\text{неупоряд}}. \quad (\text{VII.3})$$

Для больших N и Z эта работа будет велика. Сознание, которое удовлетворяется небольшим числом данных и не слишком большим их разнообразием, затратит значительно меньше обобщенной работы на создание уровня «задачи + отбора», чем то сознание, которое не экономно в своих требованиях к материалу. Такое избыточное мышление малопродуктивно.

Вспомним, какое относительно малое число данных потребовалось Д. И. Менделееву, чтобы создать свою периодическую систему и утвердить ее как фундаментальный закон природы — в основном знание атомных весов и высшей валентности по кислороду 64 известных тогда (1869 г.) элементов, из которых для восьми атомный вес даже еще не был надежно установлен. Всего на пяти аксиомах Евклид построил систему геометрии, просуществовавшую без особых изменений около двух тысяч лет (теперь эта аксиоматика, естественно, приведена к большей строгости, и число аксиом соответственно увеличилось). Всего три закона Кеплера и закон центростремительной силы понадобились И. Ньютону, чтобы вывести закон всемирного тяготения. Всего из нескольких точно продуманных операций состоял опыт М. В. Ломоносова, впоследствии в иной форме воспроизведенный Лавуазье, позволивший ему открыть закон сохранения вещества. Наконец, известно, что в основе всей термодинамики лежат только два закона и теорема Нернста — Планка, которую можно считать не имеющей столь общего характера, а в основе всей классической механики — всего три закона Ньютона и закон всемирного тяготения.

За такими классически правильными постановками задач и минимизацией нужных данных лежит высокая организация сознания за счет филогенетической «предпрограммы» (Эшби), требующая большого труда и постоянно направленной работы

мысли. Хранители больших запасов информации (эрудиты) сравнительно редко являются первооткрывателями. Этому отвечает тот известный факт, что большинство открытий делается учеными в относительно молодом возрасте, когда запас информации у них еще не слишком значителен, но аналитическая и комбинаторная способность мысли велика¹.

В затрату работы сознания, выражающуюся уравнением (3), входит и отбор необходимых данных. Это символизируется тем, что на диаграмме рис. 21, *в* ненужные данные имеют индекс «ноль» и отделены от остальных. Может возникнуть необходимость, и практически она очень часто возникает, собрать данные в более компактном виде, например выписать данные определенного сорта из нескольких карточек на одну. Такое сжатие всего объема V уже представляет физическую работу, которая может быть поручена машине и выразится уравнением

$$A = -\ln \frac{V'}{V}, \quad (\text{VII.4})$$

где V' — объем материала, до которого сжаты отобранные и систематизированные данные.

Естественно, что задача должна быть поставлена корректно в том смысле, чтобы для ее решения требовался отбор определенных, ограниченных в числе и принципиально доступных данных. При этом несущественно, имеются ли эти данные в наличном материале или же указывается, какие из них необходимо получить. Первое энергетическое состояние, с которого начинается информационно-логический процесс, представляет «уровень материала» $\Phi_{\text{мат}}$, характеризующийся определенной степенью упорядоченности этого материала. Чтобы пояснить, что здесь понимается под упорядоченностью материала как источника данных для решения различных задач, можно представить материал в виде справочников, расставленных на полках по вполне определенной системе. Обобщенная энтропия такого вполне упорядоченного материала будет равняться нулю. Если нарушить расстановку этих справочников и заменить ее случайной, то обобщенная энтропия материала возрастет, а его свободная энергия, выражающаяся в способности понижать энтропию других систем, понизится. Соответственно этому возрастет работа отбора нужных данных для постановки и решения выбранной задачи. Если все справочники разобрать по страницам и перемешать в кучу, энтропия материала поднимется еще выше. Если измельчить страницы до отдельных слов или букв, то «материал» как источ-

¹ У химиков такой возраст лежит в интервале 26—30 лет, у математиков — 30—34 года, у астрономов, геологов и бактериологов — 35—39 лет. Для писателей этот возраст меньше 45 лет, для поэтов он ниже на 10—15 лет. Наряду с этим собрано немало случаев создания выдающихся произведений в зрелом и даже старческом возрасте (см. Ф. Бурльер Старение и старость. М., ИЛ, 1962).

ник выборки исходных данных исчезнет, так как вполне хаотическая совокупность уже не является «материалом». В то же время для исходного материала характерна высокая степень вырожденности, т. е. энергетическая неразличимость¹ элементов этого материала в смысле их эквивалентности, так же, как эквивалентны различные справочники или различные буквы алфавита или числа. В этом смысле, в отношении полной энергии $\epsilon_{\text{мат}}$, элементы исходного материала нужно считать изоэнергетичными, поскольку всякий наудачу взятый элемент материала не имеет никаких преимуществ перед всяким другим и оба они могут войти в специально отобранные наборы, необходимые для решения различных задач. Например, то, что свободно падающее в пустоте тело проходит в поле земли в первую секунду 4,9 м, имеет не большее и не меньшее значение для решения логических задач определенного класса, чем то, что атом водорода ^1H состоит из протона и вращающегося вокруг него электрона в виде «облака» некоторой формы. Оба эти факта логически эквивалентны для решения тех задач, где они являются необходимыми. Иными словами, когда отбираются для решения задач независимые исходные данные (посылки, информационные сведения и т. д.), то сами по себе, независимо друг от друга и поставленной задачи, они не являются предпочтительными перед всяким другим набором каких-либо данных, хотя по своей абсолютной значимости в отношении более широкого круга вопросов они могут резко отличаться.

Нужно подчеркнуть, что постановка задачи и отбор нужных данных суть последовательные процессы, каждый со своим энергетическим уровнем, т. е. с затратой обобщенной работы. Можно найти много случаев, когда задача ставилась раньше, чем появлялся нужный материал для ее решения.

Классический пример этого — научные работы Леонардо да Винчи, являющиеся во многом правильно поставленными задачами без наличных данных для решения.

Поэтому на практике два этапа — постановка задачи и отбор данных для ее решения — могут быть значительно раздвинуты во времени. Но так как термодинамика время не учитывает, то эти два этапа можно считать за один акт «постановки задачи», включающий как формулировку задачи, так и отбор или получение данных, необходимых для ее решения.

Непрерывность «задачи» и «отбора» на приводимых ниже графиках (рис. 22) символизируется тем, что величины их уровней суммируются в общий «уровень задачи + отбора» путем наложения «уровня отбора» (верхний) на «уровень задачи» (нижний). Соотношение этих двух «подуровней» может широко варьировать

¹ Еще раз поясним, что энергетическая неразличимость в обобщенном смысле заключается в неразличимости изолированно взятых элементов по их обобщенной энтропии и свободной энергии. Эти параметры выясняются только при взаимодействии элементов, взятых в общей системе.

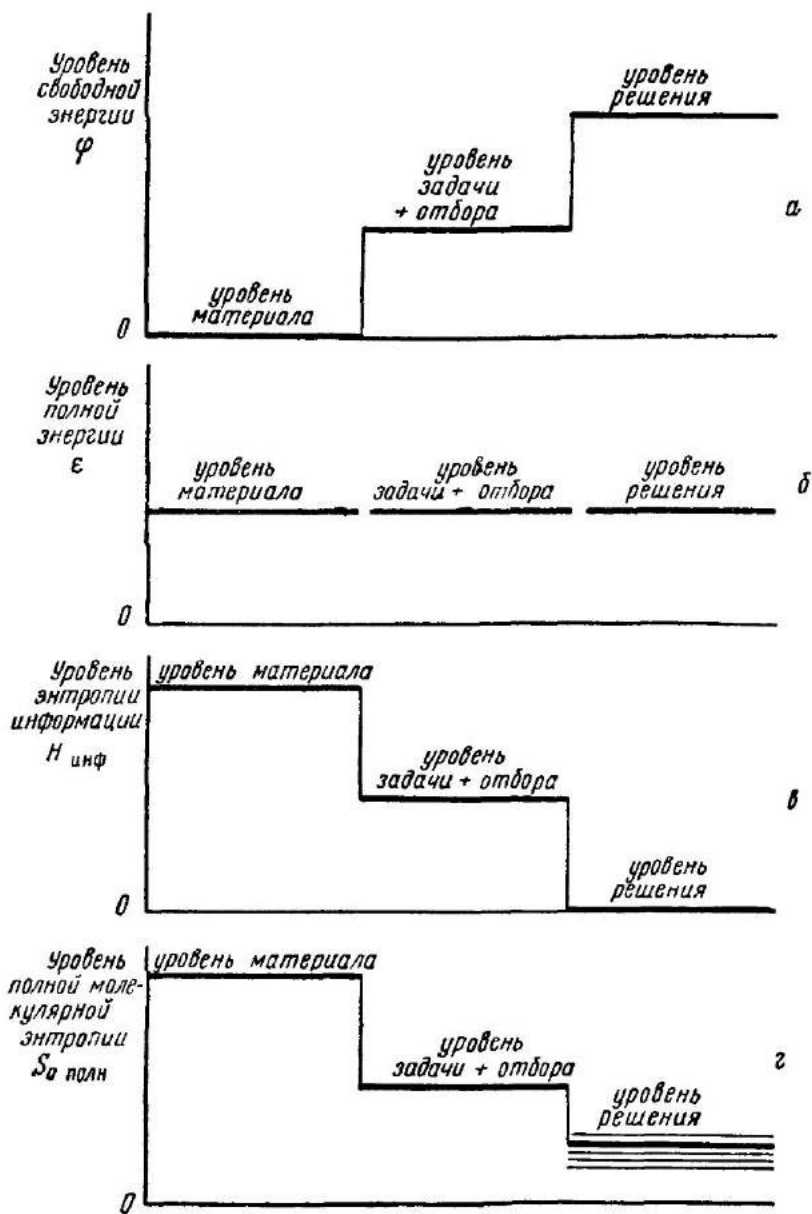


Рис. 22. Полный термодинамический путь процесса информации

вплоть до практического исчезновения «уровня отбора», но «уровень задачи» неустраним. Нельзя представить отбор нужных данных без предварительной постановки задачи, для решения которой он производится.

Поэтому, когда Эшби и некоторые другие авторы подчеркивают важность акта «отбора», не говоря о «задаче», они этим вносят неясность в проблему моделирования мыслительного процесса. Задача может быть отделена от отбора, не утрачивая своего смысла (в науке — это скорее правило, чем исключение), но отбор без задачи имеет значение только как обогащение эмпирического материала новыми данными. Поэтому тезис: «Разумной следует считать систему, способную выполнять подходящий отбор» (Эшби) неполон и его следует заменить на другой: «*Разумной следует считать систему, способную ставить и решать логические задачи*». Только эта способность является критерием разумности, так как решать *практические* или *информационные* задачи способны все живые существа. Понимая под разумностью способность производить подходящий отбор, Эшби благодаря такому ограничению преждевременно объявил, что «положение проблемы «разумной машины» прояснилось, и ответ на этот вопрос известен». В своих трудах он старается показать, что нужно расстаться с понятием разума как способностью мозга, независимой от наблюдаемого поведения системы. К той же системе мыслей примыкает «броский» афоризм Эшби, что «разумен тот, кто разумно действует»¹. Тавтологический характер этого тезиса выражает метод автора, который считает, что нет других способов определить разумность системы, кроме характера ее поведения (бихевиоризм), и в этом смысле автомат, действующий разумно, можно считать наделенным разумом. Разумно же то, что полезно для системы, что содействует ее выживанию и сохранению. Кроме элементов прагматизма — это дань осторожному позитивизму, который не хочет себя связывать никакой интроспекцией, никакими объективно не наблюдаемыми параметрами. Но что пригодно для автомата, то неплодотворно для мыслящего мозга человека с его основной функцией — сознанием и самосознанием. Нужно, однако, оговориться, что У. Эшби к названию своей книги «Конструкция мозга» дает многозначительный и ограничивающий подзаголовок «Происхождение *адаптивного* поведения» (курсив наш. — Н. К.). Поэтому, возможно, нужно считать, что ряд крайних высказываний Эшби не относится к сознанию и мышлению в собственном смысле слова.

Таким образом, полный термодинамический путь информационно-логического процесса состоит из фундаментальной триады:

¹ Никто, однако, не станет утверждать, что Сократ, который сутки безмолвно простоял на месте, размышляя о моральных проблемах своей философии, т. е. бездействовал и не выдавал информации, был в это время неразумен. И вся его жизнь, очевидно, была совершенно «неразумна», как отрицание адаптации и выживания

материал — (задача+отбор) — решение, которые могут быть охарактеризованы определенными термодинамическими уровнями свободной, полной энергии и энтропии, взятыми в обобщенной форме. Как уже говорилось, первый исходный уровень материала во всех случаях лежит ниже уровня задачи и уровня отобранных или специально полученных данных в соответствии с этой задачей.

Если обозначить обобщенную свободную энергию некоторого числа n случайно выбранных элементов материала через Φ^I , а свободную энергию того же числа специально отобранных элементов для данной задачи через Φ^{II} , то их разность составит величину работы, затраченной на отбор этих элементов в соответствии с поставленной задачей. Таким образом,

$$A = \Phi^I - \Phi^{II}. \quad (\text{VII.5})$$

В общем случае работа специального отбора необходимых данных будет зависеть не только от неупорядоченного состояния материала, но и от обрабатывающего его сознания или механизма и, следовательно, не будет полным дифференциалом. Однако всегда существует минимальное число операций, отвечающее минимальной затрате обобщенной работы, с помощью которых можно восстановить упорядоченное состояние материала. В этом случае работа A как разность свободной энергии отобранного материала и исходного материала уже будет полным дифференциалом, а следовательно, функция Φ будет характеристической, т. е. функцией только начального и конечного состояний.

Если исходный материал лишен всякой упорядоченности, то он не может понижать энтропию другой системы, и его свободную энергию нужно принять за нуль

$$\Phi^I = 0. \quad (\text{VII.6})$$

Практические и информационные задачи решают все живые существа, постановка же и решение логических задач совершаются в природе только при участии человеческого сознания — мозга и составляют его высшую функцию, которая делает возможным логический обмен между людьми и приведение множества индивидуальных сознаний к общеобязательным положениям или соглашениям. Можно предстать, во что превратилось бы общество в целом, если бы обмен между его членами исчерпывался одной информационной и эмоциональной областью. Тем более удивительно (хотя для этого автора, видимо, последовательно), что эта фундаментальная способность человеческого сознания, в ее индивидуальном и социальном плане, опущена Эшби в его книге «Конструкция мозга». На стр. 33—34 этой книги читаем: «Если наличие сознания — самый фундаментальный из всех фактов, то почему он не используется в этой книге? Ответ, я полагаю, состоит в том, что наука имеет дело — и может иметь дело — только

с тем, что один человек в состоянии *продемонстрировать* или *доказать* другому... Мы еще не знаем способа, с помощью которого он (обладатель сознания. — Н. К.) мог бы продемонстрировать свое переживание другому лицу. А пока такой способ или какой-либо его эквивалент не будет найден, факты сознания не могут быть использованы в научном методе». Этим Эшби устраивает из сознания всю его *логическую* деятельность, которая как раз дает возможность одному человеку *продемонстрировать* или *доказать* другому обязательность как фактов внешней действительности, так и своего собственного мышления в форме логических суждений. Такое условное сознание, ограниченное сферой переживаний, не есть сознание человека.

Термодинамический путь информации

Таким образом, производительная деятельность сознания начинается с работы над исходным материалом и может иметь как явный, так и скрытый характер. Но это различие не существенно и его можно не включать в наше рассмотрение.

Процесс отбора является процессом изоэнергетическим, поскольку изоэнергетичны все исходные данные (см. выше), но не самопроизвольным и требует затраты обобщенной работы A (уравнение (5)). Следовательно, для n выделенных данных и этих же n данных в исходном материале (в «смеси»)

$$e_n^{\text{II}} = e_n^{\text{I}}. \quad (\text{VII.7})$$

Отсюда, согласно уравнению Гиббса — Гельмгольца, получим для энтропии этих же данных

$$H^{\text{II}} - H^{\text{I}} = -(\varphi^{\text{I}} - \varphi^{\text{II}}) \quad (\text{VII.8})$$

и, учтя уравнение (5),

$$H^{\text{II}} = H^{\text{I}} - |A|, \quad (\text{VII.9})$$

т. е. энтропия специально отобранных данных, в переводе на общую единицу, ниже энтропии случайно взятых данных на работу этого отбора.

На рис. 23 графически изображен термодинамический путь информационного процесса. Первый уровень отвечает исходному и может быть обозначен как «уровень материала». Следующий за ним второй уровень, лежащий по свободной энергии выше исходного на величину $-A = \Delta\varphi^{\text{I-II}}$ по количеству затраченной работы, является «уровнем задачи», заключающим набор возможных Z исходов, из которых один должен реализоваться при решении информационной задачи¹. Как было показано в главе III, это решение идет всегда с затратой работы: Поэтому тре-

¹ Термодинамические величины, относящиеся к информационному процессу, будут обозначены индексом I , а логические — индексом L .

тий — «уровень решения», представляющий реализацию одного из исходов, например i -того, для информационного процесса всегда выше на величину $\Delta\varphi_I^{III-II}$ сравнительно с уровнем задачи.

Общая *затрата* работы и отвечающее этому *повышение* свободной энергии при получении информации, считая от исходного уровня материала, равняется сумме этих двух работ и составляет

$$|\Delta\varphi_I| = (\Delta\varphi_I^{I-II} + \Delta\varphi_I^{II-III}) > 0. \quad (VII.10)$$

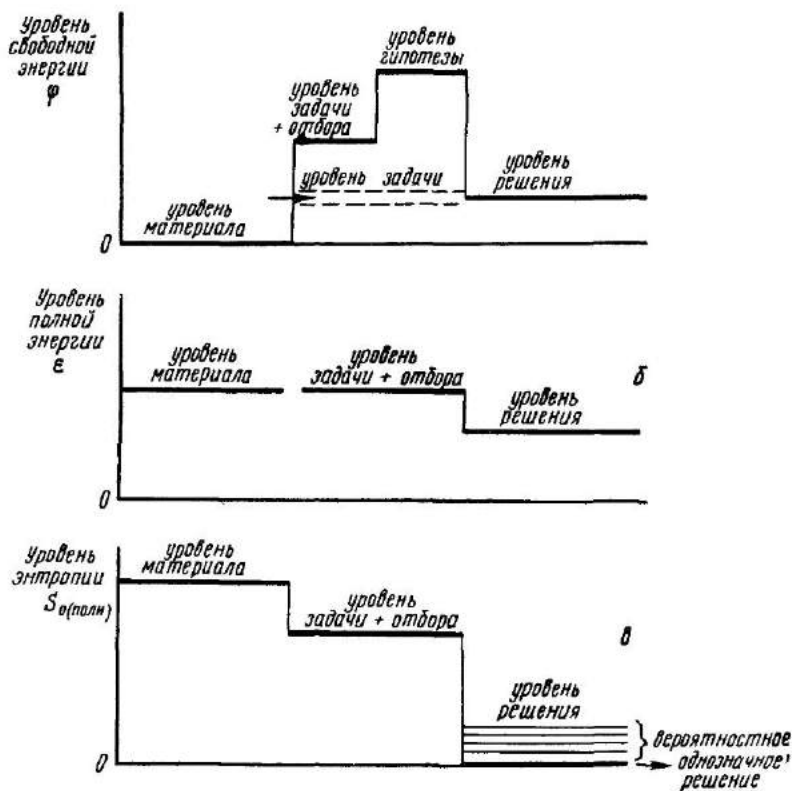


Рис. 23. Полный термодинамический путь процесса мышления

Таким образом, изменение свободной энергии в процессе информации изобразится двумя поднимающимися ступенями над уровнем исходного материала; так как полная энергия при информационном процессе остается постоянной (см. гл. III, горизонтальная прямая на рис. 22, б), то изменение энтропии будет обратное изменению свободной энергии и изобразится двумя спускающимися ступеньками (рис. 22, в), как бы зеркальным изображением рис. 22, а

$$\Delta H_I = -(\Delta H_I^{I-II} + \Delta H_I^{II-III}) < 0, \quad (\text{VII.11})$$

так как $\Delta H = -\Delta\Phi$.

Термодинамический путь мышления

На рис. 23, а, б, в изображен термодинамический путь логической задачи. Исходный «уровень материала» остается тем же. Следующий второй уровень представляет «уровень задачи», включающий отбор исходных данных, который делает возможным постановку и решение этой задачи. В главе IV это решение было символизировано частицами Z сортов, способными самопроизвольно переходить в один определенный k -тый сорт. Уровень задачи лежит *выше* уровня материала на величину $(-\Delta\Phi_L^{I-II})$, выражающую работу создания логической задачи, включающей, как уже говорилось, отбор исходных данных, а также установление алгоритма для их переработки

$$|\Delta\Phi_L^{I-II}| = -(\Phi_L^I - \Phi_L^{II}); \quad |A_L| = -\Delta\Phi_L^{I-II} > 0. \quad (\text{VII.12})$$

Поскольку «частицы-шансы» по условию логической задачи способны *самопроизвольно* переходить в конечные k -частицы (в чем уже заключен нужный алгоритм), то уровень решения по свободной энергии лежит *ниже* уровня задачи на величину, обозначенную ранее (см. гл. IV) через L . Таким образом, *затрата* работы сознания на постановку и решение логической задачи составит

$$A_L = -\Delta\Phi_{L(\text{решение})} = (\Phi_L^I - \Phi_L^{II}) + L < 0. \quad (\text{VII.13})$$

Следовательно, уровни свободной энергии при решении логической задачи располагаются в ряд

$$\Phi_L \text{ материал } (n) < \Phi_L \text{ задача+отбор } (n) > \Phi_L \text{ решение.}$$

Как видно, при решении логической задачи сознание всегда сталкивается с одним суммарным энергетическим барьером «задача+отбор».

На рис. 23, б показаны изменения полной энергии при логическом процессе: переход от исходного уровня к уровню задачи изоэнергетичен, так как отдельные исходные данные (отобранные «частицы-шансы») существуют в том же состоянии, как на неупорядоченном уровне I, так и в отобранном упорядоченном состоянии, на уровне II. Их отбор и перенос на уровень II требует затраты работы, но не меняет их обобщенной полной энергии. Переход же от уровня задачи к уровню решения уже не изоэнергетичен, так как при этом все исходные «частицы-шансы» превращаются в один определенный k -сорт с падением полной энергии (см. гл. IV).

На рис. 23, в изображены изменения энтропии при логическом процессе. Исходный неупорядоченный уровень материала, естественно, характеризуется высоким значением энтропии, которая уменьшается при переходе на уровень задачи. Так как здесь $\Delta\varepsilon=0$, то

$$\Delta H_L^{I-II} \equiv \Delta S_L^{I-II} = -\Delta\phi_L^{I-II} \quad (\text{VII.14})$$

Переход с уровня задачи на уровень решения, как было показано ранее, сопряжен с дальнейшим падением энтропии относительно уровня задачи на величину G , даваемую уравнением (гл. IV)

$$G = \Delta H_L = H_{\text{решен}} + \Delta H^0 = \sum_i^Z p_i \log p_i + \Delta H^0.$$

При этом энтропия полученного решения для строго логической задачи *точно доходит до нуля*. Если же решение имеет вероятностный характер, его энтропия не достигает нулевого уровня (см. пунктирные уровни на рис. 23, в).

В противоположность этому (см. гл. III) при решении информационной задачи может достигнуть нуля только *информационная* энтропия, но не термодинамическая S , так как сам физический предмет информации не может быть лишен энтропии.

Кривые рис. 22 и 23 демонстрируют принципиальное отличие информации от мышления: уровень решения логической задачи (уровень второй на рис. 23, а, б) может быть термодинамически неустойчив относительно уровня материала, но он всегда устойчив относительно уровня задачи, т. е. относительно своих посылок. В противоположность этому решение информационной задачи термодинамически неустойчиво относительно всех других уровней — уровня материала и уровня задачи.

Система энергетических уровней свободной энергии на рис. 23, а может быть неограниченно продолжена слева направо, так как полученное решение входит как некоторый новый элемент в тот материал, который может быть использован для решения следующей задачи со своим уровнем и т. д. Тогда последовательные уровни материала изобразятся как повышающиеся ступени по мере решения новых задач.

Однако в действительности далеко не всякое решение задач *непосредственно* увеличивает организованность материала, поднимая уровень его свободной энергии и снижая уровень энтропии (рис. 23, б). В качестве показательного примера можно вспомнить, что решение Планком задачи распределения энергии в излучении черного тела путем введения кванта действия h привело сначала к сильной дезорганизации материала физики. Аналогичное действие первоначально имел опыт Майкельсона — Морли.

Проведенный анализ относится только к решению строго ло-

гических, т. е. саморешающихся задач, решение которых представляется в виде термодинамически неизбежного спуска к совершенно определенному уровню решения, который всегда лежит ниже уровня задачи.

Расширим проблему в область формальнологически нерешаемых задач. Представим по-прежнему, что от уровня материала мы поднялись до уровня задачи, но логические операции над отобранными данными не приводят к решению задачи. Это весьма частый случай в области естествознания, и недаром говорят, что большинство фундаментальных уравнений теоретической физики не выведены, а открыты. С такой проблемой столкнулся М. Планк (см. выше), Д. И. Менделеев при построении периодической системы элементов, Л. Де-Бройль при выводе своего известного уравнения и т. д. Во всех этих случаях к поставленным задачам и отобранным данным присоединяется некоторое логически необязательное допущение, лежащее вне наличного опыта — *гипотеза* (в виде кванта действия, универсального соответствия между атомным весом и химическими свойствами элементов и т. д.). Этот новый «уровень гипотезы» термодинамически всегда лежит выше уровня самой задачи, поскольку переход с уровня задачи на уровень гипотезы никогда не происходит самопроизвольно, т. е. не вытекает с логической необходимостью из «задачи и материала»: здесь — догадка, интуиция, иногда формальный поиск нужной функции (уравнение излучения черного тела М. Планка). Переход же с уровня «задача + отбор + гипотеза» на уровень решения происходит уже логическим путем, т. е. термодинамически самопроизвольно с падением свободной обобщенной энергии. Следовательно, термодинамический путь таких физических задач, которые можно назвать логическими задачами 2-го рода, выразится диаграммой, изображенной на рис. 23, а. Это самый важный и распространенный случай мышления, когда сознание сталкивается не с одним барьером в виде «уровня задачи + отбора», а с двумя благодаря добавлению «уровня гипотезы». Уровень гипотезы не фиксирован относительно уровня задачи, и поэтому в виде широкого правила, при обогащении материала новыми данными и развитии теории, уровень гипотезы сливается с уровнем задачи, и задача преобразуется в чисто логическую, в задачу 1-го рода. Так, например, гениальная гипотеза Менделеева после определения ядерного заряда элементов (их порядкового номера) и строения электронных оболочек трансформировалась в логически решаемую задачу, но не нужно забывать — уже после создания периодической системы; аналогично теорема Нернста — Планка из самостоятельного постулата-гипотезы превратилась в частный случай статистики Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна, гипотезы-постулаты Бора логически вытекли из уравнения Шредингера и т. д. Таким образом, чисто логическая задача 1-го рода представляет частный случай более общей задачи — 2-го рода.

Об интуиции

Наряду с логическим решением задач существует их интуитивное решение путем *непосредственного* усмотрения результата — истины. Интуитивное мышление (мы его немного коснулись в гл. IV) продолжает оставаться загадкой, несмотря на усилия крупнейших мыслителей на протяжении больше чем двух тысячелетий.

Но наряду со своей загадочностью интуиция является не менее универсальной способностью сознания, чем дискурсия, логика. Их главное отличие в том, что мы *знаем*, при каких условиях можно с успехом применять логику, и она *всегда* к нашим услугам. По отношению к интуиции мы находимся в ином положении — она *не всегда под руками*, когда это нужно, и часто приходит *неожиданно* в результате какой-то скрытой подготовки, в форме наития. Но несомненно должен существовать общий механизм для осуществления столь общей способности.

Здесь уместно вспомнить о той двух- или даже трехслойности барьера, с которым встречается логическое решение задач 1-го и 2-го рода: это — «задача — отбор — гипотеза». Нужно считать, что при интуитивном решении этот барьер может проходиться особым образом — быть «разрезанным» по «уровню задачи», т. е. пройден по туннельному механизму сразу к уровню решения (рис. 23, а).

Такие туннельно-интуитивные решения, как правило, должны быть наиболее доступны в тех случаях, когда уровень задачи близок к уровню решения и главная часть барьера приходится на уровень отбора. Последний уровень доступен широкой вариации: для некоторых нужен большой материал, для других — минимальный. У этих людей отбор «задачи», т. е. при самой постановке задачи скрыто совершается минимально необходимый отбор материала, в том числе решающих операций. Таким, по-видимому, был индусский математик-феномен Рамануджан.

Минимизация необходимого материала несомненно принадлежит к *самым мощным методам при решении научных задач*. Вспомним, что для выяснения природы α -частиц Резерфорду путем примитивнейших опытов оказалось достаточно установить, что масса этих частиц больше двух, но меньше шести, и этим исключить все заряженные атомы, кроме гелия ${}^4\text{He}$.

Из области катализа примером такой минимизации материала может служить мультиплетная теория А. А. Баландина, для которой оказалось достаточной возможность без напряжения связей расположить молекулу бензола на гексагональной грани металлов платиновой группы.

В настоящей работе такой минимизацией является несовместимость законов тождества для мышления с законом энтропии для любых молекулярных множеств.

Возможно, что минимизация материала и является настоящей почвой для интуиции. Во всяком случае, потребность в обширном материале не свидетельствует о развитых интуитивных способностях.

Заметим, что туннельный переход от задачи к решению можно принимать не в переносном, а в прямом смысле слова, если предположить, что материальными участниками мышления являются сверхлегкие частицы (см. гл. X), сталкивающиеся с действительными энергетическими барьерами при мышлении и способными проходить их по туннельному механизму.

Второй весьма весомый вариант истолкования интуиции — компенсация недостатка материала с помощью гипотезы. Наряду с минимизацией материала это является вторым мощным средством научного исследования, и возможно даже, что их нужно считать эквивалентными, поскольку гипотеза всегда ведет к возможности экономии исходного материала для решения задачи. Таким образом, не входя в подробный разбор проблемы интуиции, все же можно на основе проделанного анализа выставить некоторые новые положения для того, чтобы лучше понять эту фундаментальную способность сознания и, может быть, сделать ее доступной усовершенствованию и тренировке.

Характер работы мозга и сознания на постоянном термодинамическом уровне

Сознание обладает способностью систематически создавать на основе вырожденного и не вполне упорядоченного материала упорядоченные образования в виде задач и гипотез с повышенной обобщенной свободной энергией и пониженной энтропией и выдавать точно кодированные решения. Но термодинамически самопроизвольными и в специальном, и в обобщенном смысле могут быть только процессы, идущие с *понижением свободной энергии* и соответственно с *повышением энтропии* при условии постоянства полной энергии. В действительности же в сознании идет множество процессов с понижением энтропии и с повышением свободной энергии. Такие процессы не могут быть самопроизвольными в пределах обычных термодинамических параметров и возможны только при сопряжении с другими процессами, идущими с падением свободной энергии и увеличением энтропии.

Это означало бы, что с каждым актом организации сознания в результате решения информационных и логических задач 1-го и 2-го рода должен быть сопряжен акт дезорганизации этого сознания, сопровождающийся по меньшей мере таким же увеличением обобщенной энтропии и падением свободной энергии.

Такое термодинамическое сознание будет находиться на *постоянном среднем уровне организации*, т. е. обобщенной энтропии, независимо от своей мыслительной деятельности, а все его состояния будут не только изоэнергетичны ($e = \text{const}$), но и изоэнтропийны ($S = \text{const}$) и эквипотенциальны ($\varphi = \text{const}$). Возникает важный вопрос: могут ли в таком «стабилизированном сознании» идти какие-нибудь процессы? Это не просто теоретический случай, так как именно такая стабилизированная психика свойственна животным и некоторым категориям психически больных людей. Поэтому здесь уместен более подробный анализ этого вопроса. Он дает положительный ответ: в таком сознании способны идти внутренние процессы, заключающиеся в периодическом перераспределении полной энергии между свободной энергией и энтропией, что можно выразить в виде равновесия

$$\varphi \rightleftharpoons S \quad (\text{VII.15})$$

Можно дать модель термодинамического механизма, совершающего подобные преобразования энергии, который сам будет находиться на постоянном среднем уровне термодинамических параметров. Он может быть представлен, например, в виде цилиндрического сосуда объемом V , наполненного газом при давлении P с общим числом молекул n . Сосуд разделяется для простоты пополам массивным поршнем, обладающим большой инерцией. Переместив поршень справа налево (например, **оттянув железный поршень магнитным полем**), совершим изотермическое сжатие газа в объеме от V_2 до V_2' и расширение объема

V_1 до V_1' с затратой работы, равной увеличению свободной энергии системы при этой операции (рис. 24)¹.

Пусть

$$V_2' = \frac{V_2}{\gamma} = \frac{V}{2\gamma} \quad (\gamma > 1), \quad (\text{VII.16})$$

$$V_1' = V - \frac{V}{2\gamma} = V \left(\frac{2\gamma - 1}{2\gamma} \right). \quad (\text{VII.17})$$

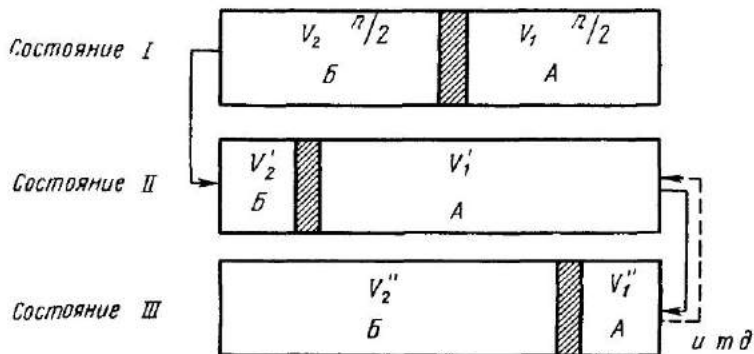


Рис. 24

Тогда свободная энергия начального состояния I будет

$$\varphi_1 = 2\varphi_1 = 2\varphi_2 = 2 \ln \frac{n}{V} + 2C$$

(C — аддитивная постоянная), а свободная энергия конечного состояния II выразится

$$\varphi_2' = \ln \frac{n/2}{V/2\gamma} + C = \ln \frac{n}{V} + \ln \gamma + C, \quad (\text{VII.18})$$

$$\varphi_1' = \ln \frac{n/2}{V \left(\frac{2\gamma - 1}{2\gamma} \right)} + C = \ln \frac{n}{V} + \ln \frac{\gamma}{2\gamma - 1} + C, \quad (\text{VII.19})$$

$$\varphi_{II} = \varphi_1' + \varphi_2' = 2 \ln \frac{n}{V} + \ln \frac{\gamma^2}{2\gamma - 1} + 2C \quad (\text{VII.20})$$

Работа перемещения поршня будет равна разности свободных энергий состояний I и II

$$A = \varphi_1 - \varphi_{II} = - \ln \frac{\gamma^2}{2\gamma - 1}.$$

¹ Здесь возможно использование и адиабатического процесса

(при $\gamma=1$ эта величина, как и требуется, превращается в нуль). Соответствующее увеличение свободной энергии составит

$$\Delta\varphi = -A = \ln \frac{\gamma^2}{2\gamma-1},$$

а уменьшение энтропии

$$\Delta S = -\Delta\varphi = -\ln \frac{\gamma^2}{2\gamma-1}.$$

При этом внутренняя энергия останется постоянной $\Delta\varepsilon=0$. Если поршень, приведенный в положение II, отпустить (например, выключить магнитное поле, которое удерживает его в этом состоянии), то газ в объеме B начнет расширяться, а в объеме A сжиматься, и система придет снова в положение I. Но если инерция поршня, т. е. его масса, велика, трение о стенки пренебрежимо мало и теплообмен со средой устанавливается практически моментально, то возникнет колебательная система, поршень будет длительно совершать колебания около положения равновесия наподобие маятника. Каждое колебание поршня будет сопровождаться перераспределением полной энергии газа между свободной и энтропийной частью по уравнению (16).

Для колеблющегося маятника аналогично совершается перераспределение энергий между потенциальной и кинетической $E_{кин} \rightleftharpoons E_{пот}$. Маятник часов не совершает внешней работы, но лишь регулирует ход стрелок, движущихся за счет раскручивания пружины или опускания гирь, и этим выдает определенную информацию о времени. Термодинамическая колебательная система также не будет совершать внешней работы и поэтому не будет входить в энергетический баланс организма и нарушать его. Но так же, как часовой маятник, она будет совершать работу информации: действительно, поскольку положение поршня будет менять соотношение частей цилиндра A и B , то все состояния от II до III будут отличаться по φ и S , а состояния, отличающиеся по этим параметрам, будут отличны и в информационном смысле (см. также гл. III о парадоксе Гиббса).

Чтобы описанная система могла совершать незатухающие колебания, она должна заключать в себе источник энергии, компенсирующей потери при колебании. Тогда получится устойчивая автоколебательная система, обладающая достаточно высокой добротностью. Такая простейшая автоколебательная термодинамическая система будет длительно и регулярно повторять свое состояние. При своем движении поршень может замыкать и размыкать ряд механических или биологических контактов, вмонтированных в стенки цилиндра, и этим включать и выключать определенные периодически действующие энергетические системы организма, например: сердце, дыхание, перистальтику и т. п. Регуляция этих функций представляет вид *информационной за-*

дачи нейрофизиологического уровня, и, как видно, она может быть решаемая механизмами, находящимися на постоянном среднем уровне своих термодинамических параметров с относительно небольшой затратой энергии, расходуемой на поддержание самого этого механизма, т. е. его потерь. Всякая задача, взятая от «уровня материала», как известно, требует затраты обобщенной работы и остается в памяти или в символической записи на повышенном энергетическом «уровне решения». Но в описанной колебательной системе решение периодически появляется и исчезает, т. е. в таком виде эта машина лишена устойчивой памяти. Чтобы она выдавала продукцию в виде закрепленного решения информационной задачи, необходимо часть свободной энергии Φ колебательной термодинамической системы тратить на молекулярное решение информационной задачи (см. гл. III). Для этого можно приключать к термодинамической системе в интервале от A до B небольшие информационные емкости разных сортов, например, разных форм, нумераций и т. п., в которые будут отбираться небольшие пробы газа «частиц-шансов» под давлением, отвечающим давлению в данном месте цилиндра.

При оценке этой информации возникает фундаментальное различие между символической человеческой информацией и соматической сигнальной информацией животных. Для человеческого сознания интенсивность информации не имеет значения, т. е. безразлично, сколько «частиц-шансов» будет отобрано в каждую емкость. Важно, что данная емкость заполнена некоторым числом этих частиц — различие может быть задано символически в виде формы этой емкости, ее цвета, нумерации и т. п. Это аналогично тому, что для человеческого сознания безразлично, с какой интенсивностью отпечатан текст, лишь бы его интенсивность превышала уровень фона, т. е. того листа бумаги, на котором он отпечатан. Поэтому человеческий мозг и сознание расходуют мало энергии на единицу информации.

Наоборот, для животного интенсивность информации физико-химического сигнала играет очень большую, часто решающую роль, и поэтому его мозг вынужден отбирать в информационные ячейки значительные порции «шанс-газа», а вместе с этим и свободной энергии. Это только частично компенсируется большей остротой соответствующих органов чувств — анализаторов (зрения, слуха, обоняния), тем более что у многих животных они весьма специализированны.

Полная невосприимчивость животных к символической информации настолько загружает их анализаторы в естественных условиях, что практически поглощает всю их психику, заполненную восприятиями и анализом звуков, цветов, запахов и оценкой их интенсивности и направленности.

Безэнтропийная символика, выработанная человеком, в огромной степени освобождает его сознание для деятельности более высокого уровня — логической, конструкторской, изобретатель-

ской, общественной, художественной и т. п. Электронные машины еще более разгружают его от чисто информационной работы.

Описанная термодинамическая машина способна лишь к повторению набора информационных операций и совсем не способна к логическому мышлению, требующему кроме затраты работы на этапе «материал — задача» еще подвода отрицательной энтропии на этапе «задача — решение».

Этот автоколебательный, термодинамический механизм, конечно, только эквивалентная схема некоторых действительных автоколебательных механизмов нейронной схемы, о конкретной природе которых нужно предоставить судить нейрофизиологии. Но целесообразность таких механизмов, осуществляющих процесс жизнедеятельности (уравнение (16)), несомненна, так как они автоматически поддерживают в организме ритмические процессы и дают информацию об их нарушении. Подобные колебательные системы в нейронных цепях обнаружены у многих животных, у которых они регулируют ритмические и вообще периодические процессы (ритмы сердца, хождения, плавания, полета и проч. [1]).

Вулдридж приводит интересный пример нейронной колебательной цепи, управляющей сердцем омара. Цепь, состоящая из девяти нейронов, соединенных в кольцо, генерирует периодические электрические импульсы, управляющие сокращением сердца. Это кольцо помещено прямо в сердце омара. Его можно, не повреждая, выделить из только что убитого омара и присоединить к измерительным приборам. Оказывается, что выделенная нейронная цепь продолжает генерировать около 60 импульсов в минуту в течение многих часов после изъятия из сердца омара.

Внешне подобное явление можно определить как «биологическую сверхпроводимость», но возможно, что и по существу нейронная цепь обладает в некоторой мере свойствами сверхпроводника, т. е. металлического проводника при очень низкой температуре ($\sim -270^\circ\text{C}$).

Судя по статье Пекелиса [2], идея о сверхпроводящих свойствах нервов была уже высказана в рукописи Б. Б. Кажинского, где он пишет, что «ряд весьма тонких измерений и сложных расчетов», сделанных им под руководством А. В. Леонтовича, привел к выводу, что живой проводник — нерв очевидно обладает сверхпроводимостью».

Однако в опубликованной книге Кажинского [3] я не нашел ссылки на измерения и расчеты в этом направлении.

Хотя в системе мозга может образоваться достаточно много описанных термодинамических механизмов, они могут лишь расширить цикл повторяющихся состояний, но не способны разомкнуть эти циклы и превратить их в единое направленное, векторизованное действие (мысли, психики, воли).

Цикличность информации, не выходящая за границы стандартных филогенетических построений и инстинктов, запрограммированных в генетическом коде, — типичная и основная черта жизни животного и его психики, которая вращается в узком круге повторяющихся явлений.

Такая термодинамическая машина, выражающая циклическую деятельность мозга и психики на постоянном среднем уровне их термодинамических характеристик v , φ и S , моделирует, в приближенном и огрубленном виде, устоявшуюся и неразвивающуюся психику животного.

Подобное обращение в круге повторяющихся упорядоченных и беспорядочных состояний может возникнуть и у человека при

некоторых психических заболеваниях (мономании, мозговых травмах, опьянении, отравлении наркотиками), когда сознание неспособно осуществлять направленную логическую деятельность. Но нормально действующее сознание неотделимо от этих функций, и, следовательно, оно способно постоянно производить логическую продукцию и ставить логически решаемые задачи 1-го и 2-го рода с пониженной энтропией и повышенной свободной энергией *без компенсирующего* повышения собственной энтропии и понижения собственной свободной энергии.

Наоборот, производство сознанием организованной продукции, как правило, понижает энтропию самого сознания, организует и упорядочивает его, повышая его свободную энергию, т. е. способность понижать энтропию тех систем, к которым оно прилагается. Следовательно, логическая работа сознания, выражающаяся в создании на основе даваемого материала логических задач 1-го и 2-го рода, *не подчиняется обобщенному принципу возрастания энтропии*. Наоборот, в нем осуществляется самопроизвольный процесс антиэнтропийного характера, идущий *обратно* самопроизвольным процессам в мертвой природе¹. Вместе с тем клеточный биохимический аппарат мозга и вся нейронная сеть постепенно стареют, увеличивая свою молекулярную энтропию. Нельзя понять такую устойчивую работоспособность и продуктивность мозга, не допустив определенного компенсирующего процесса в виде подвода *отрицательной энтропии* — единственного фактора, способного без затраты работы понижать энтропию мыслящей системы вплоть до нуля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вулдридж Д. Механизмы мозга. М., «Мир», 1965
2. Пекелис В. «Смена», 1968, № 4, 21.
3. Кажинский Б. Б. Биологическая радиосвязь. Киев Изд-во АН УССР, 1962.

¹ Напомним здесь мысль Бриллюэна, цитированную в главе IV.

ТЕРМОДИНАМИКА СИМВОЛА

Первичной основой всякого познавательного акта является *распознавание* объектов, образов, символов и отсюда возможность их отбора — необходимого этапа при постановке любой задачи. Поэтому первый вопрос, который здесь возникает, — это выяснение тех условий, при которых физико-химическая система, взятая в виде сочетания вещества, структуры и энергии (организм, машины), приобретает способность к такому распознаванию в границах, необходимых для мышления.

Сам акт распознавания представляет настолько универсальную функцию материи, что едва ли можно указать границу ее исчезновения, она исчезает вместе с самим веществом: элементарные частицы, атомы, молекулы «распознают» друг друга из-за различия взаимодействия. На основе этого же принципа работают сложные распознающие системы типа масс-спектрографов, хроматографов, оптических приборов и т. п.

Но все эти действия существенно отличаются от актов логической информации¹ и логического мышления тем, что молекулярное распознавание исчезает при уравнивании потенциалов взаимодействия между различными молекулярными объектами или между ними и опознающими их физико-химическими системами. В области мышления наблюдается иная картина. Для информации (см. гл. III) свойственна *изоэнергетичность* исходов $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \dots = \varepsilon_Z$, и поэтому ее характер и значение не определяются интенсивностью сигналов, т. е. числом «частиц-шансов», выражающих информацию: сообщение, передаваемое с различной интенсивностью, не меняет своего логического содержания².

В отличие от этого для биологической, вообще для всякой соматической информации интенсивность вещественного сигнала (света, звука, запаха и т. п.) является существенной для самого характера информации. Если бы мышление задержалось на уров-

¹ Под логической информацией понимается сообщение о результатах логических операций, но не о фактах внешней или психической действительности.

² Конечно, требуется, чтобы эта интенсивность достаточно превосходила уровень шума или фона.

не подобных энергетических и вещественных сигналов, то оно не приобрело бы безэнтропийного характера и остановилось на самом примитивном безязыковом уровне.

Однако в результате длительного развития человечество выработало некоторую универсальную безэнергетическую и безразличную к веществу форму для адекватного сообщения информации и логического обмена, которая в принципе представляет *единственно возможную безэнтропийную и объективную форму выражения деятельности сознания.* Это символическая форма — в виде букв, чисел, кодов и вообще любых знаков с точно обусловленным значением, подчиненным закону тождества ($2=2$, $A=A$ и т. д.). Только энтропия подобных условных знаков (символов), сконструированных самим сознанием, может быть доведена до нуля, и поэтому они могут быть использованы для точной записи и сколь угодно многократного и тождественного воспроизведения логического процесса. Этим путем с деятельности мышления было снято то термодинамическое «вето», которое, казалось бы, непреодолимо налагает на него физико-химическое вещество мозга.

Основной вопрос заключается в том, какой механизм позволяет заведомо энтропийному физико-химическому аппарату мозга создавать идеализированные безэнтропийные конструкции, осуществлять с их помощью логическое мышление, точное кодирование и безошибочное опознавание символической записи любой мыслительной продукции?

Приступая к анализу, нужно точно оговорить, что безэнтропийность символов должна пониматься только в том смысле, что их энтропия может доводиться до нуля при самом акте опознавания либо непосредственно сознанием, либо с помощью каких-нибудь опознающих, теперь уже существующих кибернетических приборов. Например, любой знак, цифра, структурная формула, изображенные разными почерками, шрифтами, выполненные из разного материала и т. п., для *привычного* сознания будут тождественны, практически независимо от способов изображения, т. е. будут лишены специальной *кодовой* энтропии. Вместе с тем ясно, что самой морфологической структуре символа в той же мере свойственна энтропия, как и всяким вещественным структурам, например молекулам, способным колебаться, вращаться, изгибаться по связям, т. е. менять свою геометрическую конфигурацию. Следовательно, безэнтропийно не само физико-химическое или морфологическое *тело* символа, а только его *опознание* сознанием или механизмом, которому придана функция этого сознания. Только эта способность нашего сознания делает возможным безэнтропийно распознавать символы и выражать с их помощью суждения, художественные образы, логические операции, кодировать информацию и проч. Однако всегда имеется граница этой безэнтропийности в виде такой нечеткости или искаженности изображения, или несоизмеримости его масштаба

с масштабом чувственного, например зрительного или машинного восприятия, что уже нельзя достоверно отождествить написанный знак с какой-либо буквой или цифрой. Важно, однако, то, что в противоположность биохимическому коду¹ для символического кода существует достаточно широкая граница морфологии, к которой его энтропия для воспринимающего сознания может быть практически доведена до нуля, т. е. опознание может быть полностью однозначным.

Отложив на оси абсцисс величину отступления некоторого параметра, символа или кода Δl от его стандартной величины, а на оси ординат энтропию этого символа $S_{\text{симв}}$, получим следующий иллюстративный график (рис. 25).

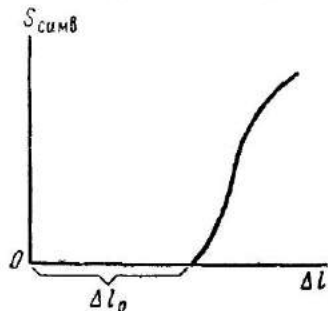


Рис. 25

Таким образом, для геометрического символа или знака всегда имеется достаточно широкая область вариаций параметра Δl_0 , внутри которой его энтропия может быть сведена к нулю и его опознание будет однозначно. Собственно, в этом и заключается сам принцип построения всякого квалифицированного буквенного, числового и других символов, так как малое значение Δl_0 делает символ неопределенным и непригодным для однозначной записи.

Из сказанного ясно, что, решая проблему безэнтропийности символа, мы фактически решаем проблему безэнтропийности мышления, в том числе его опознающей функции. Для ее решения нужно обратиться к анализу основной статистико-термодинамической проблемы создания безэнтропийных представлений в мышлении с помощью физико-химической системы мозга. Рассмотрению подлежит вопрос о той форме не энергетической и не вещественной, но более общей параметрической связи, которую можно обнаружить между энтропийным физико-химическим аппаратом мозга и продуцируемым им содержанием сознания, способного к состоянию полной безэнтропийности. Решение этого вопроса нужно искать в особой структуре фазового пространства мозга и сознания, отличающей его от структуры молекулярного μ -пространства.

¹ Важнейшие био-физико-химические процессы, как, например, синтез белков, воспроизведение РНК, вирусов, передача наследственных признаков, также кодированы сочетанием нуклеотидов на гигантских молекулах РНК и ДНК. Такой код обычно рассматривается так же, как вид символической (молекулярно-логической) записи. Но в отличие от истинно символических кодов молекулярный код принципиально не может быть лишен энтропии, хотя ее величина, как показывает, например, передача наследственных признаков, может быть достаточно малой. Возникает представление о двух логиках организма — о «Большой Логике» сознания и о «Малой Логике» генетических кодов, иногда с необходимостью, приближающейся к силлогистической, определяющих характер и биологическую судьбу организма.

Мы отвлечемся от специальной физико-химической и физиологической структуры мозга и уподобим его «черному ящику», в котором как-то происходит переработка информации¹. Информация, поступающая из внешней среды, всегда имеет корпускулярную структуру (атомы, молекулы, фотоны, космические лучи и т. п.) и поэтому находится в μ -пространстве.

Каждое явление, независимо от его конкретной природы (механической, физико-химической, макромолекулярной, клеточной, психической и проч.) может быть представлено как комплексия или сочетание из n элементов, воспроизведенное большое число Z раз с присущим данной системе статистическим распределением этих элементов по фазовым ячейкам.

Для преодоления корпускулярного характера поступающей из внешней среды информации достаточен перевод этих комплексий-информаций в соответствующее многомерие, в котором каждая комплексия представится в виде одной изображающей точки. Область блуждания такой информационно-точечной точки в этом многомерии выразит степень неопределенности самой информации и ее восприятия (см. рис. 19). Сортировка информации с помощью структуры мозга существенно понижает энтропию информации — раздражения (соответственно — ощущения) сравнительно с входящей корпускулярной информацией.

Более простые организмы, лишенные мышления, остановились в своем развитии на этом типе пониженно-энтропийного фазового пространства. Здесь еще нет устранения статистики и термодинамики, нет достижения безэнтропийности состояния и, следовательно, нет возможности превращения информационной точки в логическую (см. рис. 19).

Это происходит только при переходе к человеческому сознанию, которое, несмотря на близость биохимической, физико-химической и даже гистологической структуры мозга к позвоночным, особенно к приматам (антропоидам), знаменует переход к совершенно иному типу фазового Ψ -пространства, в котором уже не выполняются основные требования статистики. Поскольку вещество и энергия не характеризуют комплексии-символы, формируемые человеческим сознанием, то они имеют характер структур, лишенных динамических координат.

Выделим из всего μ -пространства некоторый «опознавательный объем» v_0 , в пределах которого наше сознание еще способно отождествлять воспринимаемые им комплексии (символические знаки, логические выводы и проч.). Этот опознавательный объем определяется тем, что символ, элементы которого лежат в этих границах координат (изображенного, например, на листе бумаги), еще может быть опознан и отождествлен. За этими граница-

¹ Здесь будет оставлен в стороне вопрос о машинном распознавании образов, ему посвящена большая специальная литература, но он лежит вне темы этой работы.

ми он уже превращается в случайную фигуру, не отождествляемую с каким-либо символом.

Лишение динамических координат, т. е. принцип геометризации комплексов или символов в высших областях мыслительной деятельности (во всех видах письменности, в науке и технике) настолько широко распространен, что его правомерность не нуждается в обосновании: геометрическое изображение траекторий, электронных орбит-облаков, валентностей с помощью черточек, структурных формул в химии, диаграмм состояний, географических карт, технических чертежей и т. д. является иллюстрацией этого универсального принципа уничтожения энтропии образов в Ψ -пространстве.

Нужно отметить, что в области физики весьма далеко идущую геометризацию проводит Д. Уиллер [1], который утверждает, что в физике можно не оставить «ничего, кроме длин», что масса, время и энергия в равной степени являются объектами чистой геометрии, как и электромагнитное поле. Таким образом, геометризация мыслительных образов-комплексов в Ψ -пространстве сознания представляет сопряженную операцию с геометризацией объективного физического мира.

Условием безэнтропийности мыслительной конструкции или акта опознания символа в Ψ -пространстве является объединение всех n фазовых ячеек размером σ , составляющих опознавательный объем μ -пространства ψ в одну Ω -ячейку, т. е. установление равенства

$$n\sigma = \Omega = \psi. \quad (\text{VIII. 1})$$

Физическим μ -пространством для графического символа может быть, например, лист бумаги, на котором изображен ряд каких-нибудь символов в виде цифр, букв и т. п. Однако в μ -пространстве выполнение условия (1) невозможно и символы не могут быть тождественны, так как при повторном воспроизведении неизбежно будут занимать различные фазовые ячейки. Конечно, можно постараться написать ряд цифр (например, «2»), очень похожих по размеру и форме. Еще лучше это можно сделать при помощи пишущей или типографской машины. Об этом говорится ниже. Но похожесть еще не тождество. А тождественными в кодовом смысле для сознания могут быть знаки, физически совершенно непохожие по размерам, по форме, по материалу, по цвету и т. п. Поэтому акт отождествления или «абстракция отождествления» (термин А. А. Маркова) происходит только в Ψ -пространстве сознания, в котором опознавательный объем ψ совпадает с фазовой ячейкой Ω , объединяющей некоторое множество n ячеек этого объема в μ -пространстве (см. уравнение (1)). Тогда при практически неограниченном воспроизведении комплексов-символов в μ -пространстве их изображающие точки будут попадать в одну и ту же фазовую ячейку Ψ -пространства (Ω) и, слипаясь в одну изображающую точку, запертую в

Ω-ячейке, погашать этим энтропию символа. Это представляет реализацию закона тождества, ослабленного принципом неопределенности, и отвечает переходу от микромира к макромиру, воспринимаясь как целое, что доступно только человеку, т. е. осуществимому только в Ψ-пространстве сознания. По-видимому, нельзя указать границу сложности тех безэнтропийных комплексий-символов, непрерывно усложняющихся с развитием науки, особенно математики, которыми способно оперировать сознание человека.

Человеческая речь, которая является главным рубежом между существами, лишенными сознания и наделенными им — между животным и человеком, — не эквивалентна такой безэнтропийности, так как она всегда включает эмоциональность и другие элементы с неуничтожимой энтропией. Речь же, записанная с помощью какой-нибудь азбуки, теряет свою эмоциональную окраску, но вместе с тем приобретает безэнтропийность. Поэтому возникновение письменности является вторым решающим рубежом в развитии сознания человека и знаменует принципиальное преодоление человеком статистики и термодинамики. От этого уже недалеко до создания логических, научных и технических систем самого высокого уровня.

От создания древнегреческой буквенной письменности до энциклопедий Аристотеля прошло только шесть с половиной веков, а от создания основ механики и анализа (Ньютон, Лейбниц) до наших дней — всего три века.

Таким образом, наряду с логическим суждением, которое, как было показано (гл. IV и VI), не может осуществляться без подвода отрицательной энтропии, символический код является вторым фундаментальным проявлением безэнтропийной структуры нашего сознания и нарушением им второго начала термодинамики. Символ можно считать даже наиболее общим выразителем отрицательной энтропии и одной из важнейших функций сознания, так как любая его деятельность — информация, мышление, наука, техника, поэзия, литература, музыка и даже бред шизофреника — для своей объективации нуждается в безэнтропийной однозначно читаемой или слышимой символике — азбуке¹.

Энтропия символа — это чисто геометрическая энтропия, из которой исключена неопределенность энергии или импульса. Геометрическая энтропия (см. гл. X) выражается соотношением

$$S_{\text{геом}}^0 = \ln \frac{v}{(\lambda/2)^3} = \ln \frac{v}{\sigma}, \quad (\text{VIII.2})$$

где λ — длина фазовой волны, v — объем, приходящийся на одну молекулу, а $(\lambda/2)^3$ — геометрический размер фазовой ячейки σ . Следовательно, условие геометрической безэнтропийности, согласно уравнению (1), будет

¹ Безэнтропийность символа, естественно, не зависит от его семантической ценности и смысла.

$$v = (\lambda/2)^3 = \sigma \text{ и } S_{\text{геом}\mu}^0 = 0. \quad (\text{VIII.3})$$

Это равносильно тому, что фактор вырождения газа, моделирующего акт распознавания

$$\rho = (\lambda/2)^3 \frac{1}{v} = 1 \quad (\text{VIII.4})$$

Условие (4) означает, что в каждой геометрической ячейке μ -пространства находится по одной частице, что отвечает нулевому значению¹ $S_{\text{геом}\mu}^0$.

Для газа, образованного из обычных молекулярных частиц, это условие невыполнимо — фактор вырождения такого идеального газа составляет при нормальных условиях всего лишь $\sim 3 \cdot 10^{-5}$ (Зоммерфельд). Чтобы осуществить условие геометрической безэнтропийности (3) с помощью частиц газа с атомным весом 12 (атом углерода), он должен бы иметь плотность, близкую к плотности вещества в «белых карликах», т. е. $\sim 1 \text{ т в } 1 \text{ см}^3$. Ясно, что молекулярный материал не способен при обычных температурах осуществить никакой вид безэнтропийного состояния, даже чисто геометрического, и выполнение условия (4) возможно только для сверхлегких частиц (см. гл. X). Поэтому геометрическая энтропия μ -пространства велика и неуничтожима

$$S_{\text{геом}\mu}^0 > 0. \quad (\text{VIII.5})$$

Эта энтропия может быть погашена только тем, что физическое тело символа будет отображено в такое Ψ -пространство сознания, в котором фазовые ячейки будут расширены до величины опознавательного объема v_0 (уравнение (1)). Это эквивалентно тому, что в μ -пространство будет подведена отрицательная энтропия

$$\check{S} = \ln \frac{\sigma}{\Omega} \quad (\text{VIII.6})$$

и этим общая энтропия символа будет доведена до нуля

$$S_{\text{симв}\Psi}^0 = S_{\text{геом}\mu}^0 + \check{S} = \ln \frac{v_0}{\Omega} = 0. \quad (\text{VIII.7})$$

Расширение фазовой ячейки в Ψ -пространстве есть общий универсальный механизм упорядочивания действительности, восприятие и оперирование с ней как с упорядоченной совокупностью.

¹ Это условие совпадает (при его перенесении из фазового в геометрическое пространство) с нормированием фазовой ячейки Гильберта — Энскога, согласно которому ячейка либо пуста, либо содержит одну частицу. Эта нормировка в дальнейшем получила более общее выражение в статистике Ферми — Дирака, учитывающей также спин частицы

Если попытаться представить физическую модель расширения элементарной геометрической ячейки в Ψ -пространстве, то нужно будет принять, что материальный аппарат сознания в отличие от молекулярного аппарата мозга функционирует с помощью очень легких частиц (см. ниже), обладающих длинной фазовой волны и соответственно величиной фазовой ячейки, огромными по сравнению с молекулярным материалом. Для атомов, из которых построен белок (N, C, O, H, S), $\lambda \sim 4 \cdot 10^{-9}$ см при $T=300^\circ\text{K}$. Для сверхлегких частиц, образующих структуру Ψ -пространства, эта длина \sim в 10^5 раз больше (см. гл. X), а объем геометрической фазовой ячейки соответственно больше \sim в 10^{15} раз.

Неполное уничтожение, но сильное уменьшение энтропии символов вполне достижимо и в μ -пространстве. Например, оттиск с хорошо изготовленного типографского шрифта обладает очень малой кодовой энтропией, его способен прочитать и отождествить ребенок 2—3 лет. Ниже изображены две строки знака цифры 2

I. 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
 II. 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2

В первом ряду (I) достаточно оставить один типографский значок «2», который будет *единственным* микросостоянием, способным выразить макросостояние (эту цифру) и которое будет соответствовать некоторому множеству знаков-символов в ряду (II).

Вспомнив то, что было сказано в главе I о «сжатии явления» в векторизационном поле, нужно сказать, что к системе II приложен векторизационный Ψ -потенциал, под действием которого объем состояния системы II сжат от v_0 до σ , за счет затраты обобщенной векторизационной работы

$$A = \ln \frac{V_{II}}{V_I} \quad (\text{VIII.8})$$

Соответственно этому энтропия второго ряда чисел понизится на $\Delta S^0 = A$ и множество нетождественных символов-знаков этого ряда преобразуется в стандартный знак первого ряда с сильно пониженной энтропией. Именно так работают пишущие и типографские машины, снижающие до очень низкого уровня энтропию рукописного, часто очень трудно читаемого текста. Эту затрату Ψ -работы производит не сама машина, а прежде всего конструктор, во-вторых, сделавшие ее рабочие и, в-третьих, машинистки и наборщики, разбирающие и отождествляющие писанный текст. Следовательно, на уровне физического отождествления отрицательная энтропия эквивалентна сжатию объема состояния в векторизационном поле с затратой соответствующей обобщенной Ψ -работы.

Однако затрата этой работы не может сделать символ полностью безэнтропийным так же, как никакое сжатие газа не мо-

жет уничтожить его энтропию (см. гл. I). Даже типографские оттиски с одной и той же матрицы нетождественны (интенсивность оттиска, краска, бумага и множество других микроотличий) и, следовательно, они сами нуждаются в абстракции отождествления. Если присоединить к этому различные виды шрифта, их различные размеры, часто применяемая теперь замена континуальных знаков дискретными на световых табло и проч., то необходимость опознавательных операций сознания даже этих символов вполне очевидна.

Конечно, близкое физическое сходство символов экономит затраты антиэнтропии на их отождествление сознанием, но только за счет уже той Ψ -работы, которая была ранее затрачена сознанием на «технологию» изготовления физически близких тел этих символов.

Наконец, учтем тот принципиальный факт, что абстрактный безэнтропийный символ обладает нулевым объемом фазовой ячейки, так как в абстракции закон тождества выполняется вполне строго, а не в виде, смягченном принципом неопределенности, как было принято выше. Примером может служить геометрическая точка, любая геометрическая линия, как несчетное множество (множество-континуум) точек. Поэтому работа сжатия объема состояния до нуля будет бесконечно велика и этим путем нельзя физическое тело символа полностью лишить энтропии. Следовательно, нет никакой другой процедуры для «абстракции отождествления», кроме *подвода отрицательной энтропии*, преобразующей энтропийное μ -пространство физико-химической системы мозга в безэнтропийное Ψ -пространство сознания.

В настоящей главе рассмотрена термодинамика символа в широком смысле слова (азбука, код, цифровые или потные записи и т. д.) как единственно возможного способа безэнтропийного выражения мышления. Символ — творение самого сознания и его объективация в материальных знаках; это способ закрепления продукции сознания и передачи его другим людям. Из физических объектов только символ способен быть безэнтропийным, вполне тождественным и воспроизводимым — он воплощает в себе основное и высшее свойство сознания. Он выражает собой закон тождества, присущий только сознанию *Homo sapiens* и отделяющий его от сознания предгоминид и даже неандертальцев. Наскальная живопись кроманьонцев — это совместное зарождение символа и вместе с ним первичной формы закона тождества (в виде отождествления предмета и его изображения), возникшее около 30—50 тыс. лет тому назад. Поэтому закономерно, что кроманьонская раса относится антропологами уже к «человеку разумному»: рука, которая смогла перенести на камень образы своего сознания, легко читаемые и отождествляемые нашим

сознанием, естественно, должна была управляться разумом, подобным нашему.

Для выяснения антропогенеза остается в силе огромная роль костной морфологии и орудий наших предшественников, фрагменты которых дают раскопки. Но возникновение искусства знаменует иное, уже кардинальное и качественное преобразование самого сознания, способного к символике и абстракции отождествления.

Современный человек все более совершенствует свою символику, которой уже теперь грозит опасность постепенно стать языком профессионалов-специалистов и оттеснить обычный язык. В первую очередь это относится к математической символике. Но в то же время это является сильным побудителем для всего естествознания и даже для филологии подтянуть свой уровень до возможности использования тонко разработанного символического аппарата математики.

Символ — продукт «абстракции отождествления» конкретных знаков в молекулярном μ -пространстве с некоторым идеальным стандартом. Эта операция есть отображение энтропийных объектов в μ -пространстве на безэнтропийное Ψ -пространство сознания. Это не может происходить самопроизвольно и возможно только путем *подвода отрицательной энтропии*. Так же как человек мыслит с постоянным подводом отрицательной энтропии, только так он способен объективировать свое мышление с помощью символической записи.

Возникает вопрос: возможна ли передача машине расширенной фазовой ячейки сознания? На это следует ответить утвердительно. В самом расширении пространственной фазовой ячейки нет ничего такого, что препятствовало бы ее передаче механизму. Фактически каждый механизм строится человеком именно так, чтобы он имел достаточно расширенную геометрическую фазовую ячейку по сравнению с атомно-молекулярной. Иначе механизм не смог бы работать, т. е. выполнять организованные действия, так как вся его векторизованность была бы поглощена молекулярной энтропией его материала. Так перестает работать и начинает переводить работу в тепло, в энтропию, любой двигатель, у которого не погашено в нужной мере трение в подшипниках. Мы не имеем возможности уменьшить молекулярную фазовую ячейку из-за квантовых ограничений. Но это возможно для *геометризированной ячейки макромеханизмов*. Например, линейный геометризированный размер фазовой ячейки (длина фазовой волны) для частицы с атомным весом порядка 100 и скоростью движения 10^2 см/сек составляет 10^{-7} см.

В пределах такого допуска Δl механизм физически неосуществим. Но если допустить, что он все же как-то изготовлен, то он все равно не смог бы работать из-за невозможности преодолеть молекулярную энтропию материала.

Геометрический размер фазовой ячейки реального механиз-

ма — это величина того допуска, в пределах которого он не выходит из нормального режима работы. Этот допуск для механических машин составляет миллиметры или их доли, что приблизительно в 10^6 больше длины фазовой волны вещества.

Таким образом, геометризованное фазовое пространство механизма имеет сильно увеличенные фазовые ячейки сравнительно с самим веществом. Статистика, которую мы таким образом навязываем механизму вопреки его веществу, — это наша собственная статистика, Ψ -статистика нашего сознания, созданная за счет антиэнтропии. В этом смысле можно сказать, что мы *очеловечиваем* машину.

В главе II было показано, что естественные и неупорядоченные процессы, идущие без участия механизмов и организмов, протекают в *обыкновенном* фазовом пространстве; организованные же, векторизованные процессы, осуществляющиеся машиной или организмом, протекают в *особом* фазовом пространстве, в котором единственно возможны частично обратимые низкоэнтропийные процессы.

Следовательно, всякие организмы или машины, отвлекаясь от их частной структуры или конструкции, представляют область особого, не молекулярного, фазового пространства, природного или созданного человеком, где процессы идут иначе, чем в молекулярных системах и протекают на значительно более низком уровне обобщенной энтропии.

Это относится и к машинному распознаванию символов. Только при достаточно большой величине фазовой ячейки Ω распознающего механизма ему будет искусственно сообщена одна из абстрактных способностей нашего сознания — отождествление образов.

Однако по второму началу термодинамики, равно как и по принципам статистики, молекулярная энтропия, т. е. броуновские процессы, неукоснительно будут делать свое дело, и эта способность *будет постепенно утрачиваться*. Поэтому всякие машины, в том числе и самообучающиеся, требуют механика — человека, периодически понижающего их энтропию.

В природе существует только один парадоксальный механизм — мозг с его нейронной сетью, который автономен и не нуждается в таком обслуживании. Это наводит на мысль, что, возможно, именно нервные клетки являются производителями или, во всяком случае, контейнерами отрицательной энтропии.

Ряд исследователей пришел к выводу об уменьшении числа нервных клеток с возрастом особи, причем это относится как к человеку, так и к более простым организмам, например пчелам. Броуди [2] подсчитал число нервных клеток в четырех областях головного мозга у людей и нашел уменьшение численности нейронов, особенно в верхней височной извилине. Согласно Эллису к старости исчезает примерно 25% клеток, Гарднер указывает близкую цифру — исчезновение примерно 30% клеток в 8- и 9-м грудных спинальных ганглиях. Эти данные можно найти в литературе [3—5].

Считая от начала сознательного возраста (10 лет), когда мозг уже достигает нормального веса (~ 1400 г), до глубокой старости и практического угасания активной умственной деятельности (95 лет), плотность нейронов в коре головного мозга согласно этим данным снижается приблизительно на 30—40%. Параллельно и даже несколько быстрее падает потребление мозгом кислорода на 40% от 10 до 68 лет. Таким образом, от начала активной умственной деятельности до ее практического угасания (10—95 лет) человек потребляет ~ 4 млрд. невозобновляемых корковых нейронов. Может быть, это и есть «биологическая плата» и соответствующий расход отрицательной энтропии за почти столетнюю работу «мозга-сознания». Это приблизительно отвечает уничтожению в среднем одного нейрона за 3—10 сек (из многих миллионов возбужденных нейронов, участвующих в передаче команд различным органам). В 1 сек нейрон успевает генерировать несколько десятков импульсов. Если подвод антиэнтропии, требуемый мыслительной деятельностью, совершается за счет гибели нейронов и перехода их импульсов в кванты отрицательной энтропии, то в 1 сек человеческий мозг в среднем может совершить до сотни мыслительных антиэнтропийных операций. Эта величина довольно правдоподобна. Сушественно, что скорость уменьшения плотности нейронов падает с возрастом. Так, между 10 и 20 годами она отвечает гибели 7 нейронов в 1 сек, т. е. в 4—5 раз больше, чем между 45 и 75 годами. Это соответствует большей интенсивности мыслительной деятельности в более раннем возрасте, а может быть, меньшей тренированности мышления и менее экономной трате нейронов. На основании изложенного можно предположить в качестве гипотезы, что при гибели нервной клетки, в отличие от деления и гибели соматических клеток, выделяется не свободная энергия, как полагал Бауэр [6], а антиэнтропия, необходимая для мышления, т. е. человек мыслит не с помощью, а за счет корковых нейронов и содержащихся в них особых элементарных частиц (см. гл. X).

Явление различного вида *Dementia* (олигофрении, старческого слабоумия и т. п.) и существование «живых мертвецов» в ряде клиник в результате затянувшейся клинической смерти и других причин показывает, что корковые нейроны во всяком случае дифференцированы по предполагаемой здесь способности служить «топливом» для мыслительной деятельности мозга (судя по данным Броуди, они немногим превышают половину всех нейронов).

Естественное исчерпание запаса таких активных нейронов или их случайная гибель полностью уничтожает мышление, но оставляет в некотором ограниченном объеме регуляторно-физические функции мозга, обеспечивающие возможность жизни самой сомы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уиллер Д. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., ИЛ, 1962
2. В году Н. J. *comp. Neural.*, **102**, 511, 1955.
3. Стрелер В. Время, клетки и старение. М., «Мир», 1964.
4. Блинков С. И., Глезер И. И. Мозг человека в цифрах и таблицах. Л., «Медицина», 1964.
5. Бурльер Ф. Старение и старость. М., ИЛ, 1962.
6. Бауэр Э. С. Теоретическая биология. М.—Л., ВИЭМ, 1935

ОБ АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ИСТОЛКОВАНИИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ (антиэнтропии)

В главах III, IV и VI было показано, что мыслительная деятельность физико-химического аппарата мозга не может осуществляться без подвода отрицательной энтропии. Хотя впоследствии понятие отрицательной энтропии было отождествлено Бриллюэном с понятием негэнтропии (потенциальной энергии или работы), но, думается, что такое упрощение мысли Шредингера является незаконным и что Шредингер имел в виду нечто большее, чем простой синоним работы или свободной энергии.

Чтобы не смешивать негэнтропию Бриллюэна с отрицательной энтропией, был введен термин антиэнтропия (гл. III), которая выражает энтропию как существенно отрицательную величину. В этой главе оба термина будем употреблять как эквивалентные. Содержание главы — анализ вопроса, как можно распространить метод исчисления комплексов или микросостояний в статистике Больцмана — Гиббса на отрицательно-энтропийные системы. Безразмерная энтропия¹ (измеренная в единицах R или k) выразится уравнением Больцмана — Планка

$$S^0 = \ln W. \quad (\text{IX.1})$$

Здесь W — термодинамическая вероятность данного макросостояния, т. е. то количество микросостояний или комплексов, с помощью которых оно осуществляется. В границах такого определения энтропия всегда величина существенно положительная, так как по самому определению W по меньшей мере равна единице, а фактически значительно больше (по теореме Нернста — Планка равенство $W=1$ недостижимо, так как оно отвечает условию $T=0$ и полной упорядоченности состояния).

¹ Здесь за энтропией оставлено ее обычное обозначение S^0 ; индекс 0 вверху означает, что она выражена в безразмерных единицах.

Уравнение (1) прием за определение энтропии при любых значениях W . Молекулярная статистика Больцмана — Гиббса не предусматривает существование систем с отрицательной энтропией, так как это отвечало бы термодинамической вероятности $W < 1$, а в такой статистике это эквивалентно невозможности существования состояния. При этом не имеет значения, насколько S^0 меньше единицы. Например, $W = 0$ и соответственно $S^0 = -\infty$ делают состояние столь же невозможным, как $W = 0,1$ и $S^0 = -2,3$.

Однако никакой критерий возможности или невозможности состояний не может претендовать на общность, поскольку он не рассчитан на еще неизвестные состояния. Классическим примером этого служат явления флюктуации, к которым оказался не применим вполне общий, как когда-то полагали, клаузиусский принцип возрастания энтропии во всякой замкнутой системе: $dS > 0$. Соотношение Больцмана (1), приписывающее всем системам положительную энтропию¹

$$W \geq 1 \text{ и } S \geq 0, \quad (\text{IX.2})$$

не имеет больше оснований рассчитывать на общность, чем принцип Клаузиуса. Это лишь самоограничение метода, заранее исключающего из рассмотрения отрицательно-энтропийные состояния, с которыми науке, несомненно, предстоит вплотную встретиться.

Вопрос, разбираемый в настоящей главе, заключается в том, как нужно обобщить понятие термодинамической вероятности, чтобы снять это ограничение и ввести отрицательно-энтропийные состояния в общую систему статистической термодинамики. В больцмановской статистике предполагается (это ее постулат), что, если данное состояние существует, то в наличии *всегда* имеется некоторое число микросостояний или, вообще говоря, *процедур* (по меньшей мере одна), способных полностью воспроизвести данное состояние из его элементов. Это действительно справедливо для простейших молекулярных систем, для которых, собственно, и была создана статистика Больцмана — Гиббса. *Существование полной процедуры для воспроизведения данного макросостояния — обязательный ограничительный постулат молекулярной статистики*².

¹ По существу энтропия имеет безразмерный комбинаторный характер. Именно поэтому она как мера неопределенности и неупорядоченности состояния была столь естественно перенесена на такие неэнергетические области, как теория информации. Обобщенный нетепловой характер энтропии виден из того, что даже в равновесиях физико-химических, т. е. энергетических систем, энтропия входит в показатель e -функции $e^{S/k}$ таким образом, что эта величина оказывается тож-

дественно равной самой термодинамической вероятности: $e^{S/k} = e^{\frac{k \ln W}{k}} = W$ (в этих уравнениях энтропия входит с размерностью k).

² Этот постулат получил свое развитие в эргодной и соответственно квазиэргодной гипотезе — в допущении периодической самопроизвольной повторяемости молекулярных состояний во времени.

Для распространения метода комплексий или микросостояний на область отрицательно-энтропийных явлений нужно снять это ограничение, обобщив понятие термодинамической вероятности в двух отношениях: во-первых, понимать ее как число *любых* процедур, осуществляющих макросостояние¹, т. е. данный вид состояний, причем эти процедуры только в частном случае совпадают с молекулярными комплексиями, в общем же виде они представляют набор любых операций над любыми объектами; во-вторых, не ограничивать теорию постулатом об обязательном существовании *полной* процедуры для воспроизведения наличных состояний ($W \geq 1$) и считаться со случаями, когда *такой полной процедуры не существует*, когда

$$W < 1 \text{ и } S < 0. \quad (\text{IX.3})$$

Этим анализ отрицательной энтропии непосредственно связывается с определением *воспроизводимости* макросостояний (их эргодности) и с определением *упорядоченности для любой совокупности объектов*.

Чтобы избежать неясности в этих основных определениях, следует считать, что воспроизводимы только такие состояния, процесс получения которых может быть выражен в виде *полного алгоритма*, т. е. точного (в пределах принципа неопределенности) и доступного кодированию предписания последовательности известных, возможных и доступных операций, приводящих к данному макросостоянию. Только это может считаться *полной* процедурой воспроизведения данного состояния, причем таких процедур может быть, конечно, несколько и даже очень много. Такая алгоритмируемая процедура может быть передана из одного места в другое по каналу связи от одного экспериментатора или автомата к другому, и в этом другом месте другой экспериментатор или автомат, следуя полученному алгоритму, сможет воспроизвести требуемое макросостояние (систему). Простейшие атомно-молекулярные системы в принципе доступны алгоритмизации, то есть имеют *полный* алгоритм процедуры, достаточный для воспроизведения системы². Относительно сложных молекулярных систем биологического уровня это уже менее достоверно.

Определение понятия макросостояния остается одинаковым, применительно к совокупности любых объектов, а именно: данное макросостояние объектов есть система с определенными значениями характеристических для нее параметров и с неопределенностью остальных параметров, не являющихся (или не считающихся) характеристическими. Такое ограничение параметров не-

¹ В дальнейшем под «состоянием» будет пониматься макросостояние.

² Например, молекулярный хаос является алгоритмируемым состоянием, поскольку все хаотические состояния из данного числа частиц при заданных внешних параметрах (P, V, T) эквивалентны. Соотношение между этими параметрами дается уравнением Менделеева — Клапейрона, которое служит полным алгоритмом для воспроизведения данного макросостояния

обходимо, так как далеко идущее уточнение макросостояний уничтожает само это понятие, сливая его с микросостояниями.

Это делает понятие макросостояния в некоторой мере условным. Например, для газообразного состояния оно определяется температурой T , давлением P и полной энергией системы $U_{газ}$, но в него не входит форма сосуда как параметр, несущественный для характеристики системы. Но для электронно-ионной плазмы, возникающей при прохождении электрического тока через газ, форма сосуда уже будет характеристическим параметром макросостояния (разряда), так как она определит зависимость между силой тока и распределением градиента потенциала, а следовательно, электронную и молекулярную температуру плазмы и ее энергию.

Понятие порядка для любой совокупности элементов также совпадает с известным статистическим определением для молекулярной совокупности. Именно: вполне упорядоченным макросостоянием, представляющим совокупность любых объектов, является то, которому отвечает *единственное* микросостояние этих объектов, т. е. их единственное сочетание в фазовом μ -пространстве. При этом для энергетически вырожденных систем отпадает координата импульсов. Подобное устойчивое и единичное макросостояние имеет полный алгоритм для своего воспроизведения и с его помощью оно может быть повторено неограниченное число раз в данном месте или любом другом, куда возможно передать этот алгоритм по каналу связи. Этот алгоритм или план сочетания объектов в пространстве — времени может быть создан с участием сознания человека или инстинкта животного, либо он может сложиться вследствие молекулярного (в том числе макромолекулярного) взаимодействия. Формально эти случаи совпадают, так как во всех них порядок всегда устанавливается принудительно — под влиянием Ψ -потенциала сознания (1.2), под действием инстинкта животного, под влиянием кулоновских, обменных, дисперсионных и т. п. сил.

При этом в отличие от молекулярных систем, упорядоченное состояние которых всегда связывается с некоторым видом симметрии, вполне упорядоченное состояние любой совокупности объектов может не быть связано этим условием и вообще условием какого-либо геометрического порядка. Например, фигуры, расположенные на шахматной доске в результате некоторого числа произвольных ходов, это — «шахматный беспорядок», который может эквивалентно осуществиться множеством таких ходов. Но геометрия фигур, образовавшаяся даже при правильно разыгранном дебюте, может носить характер, кажущийся беспорядочным тому, кто не знает условий игры и ее теории. Необязательность геометрического порядка есть общее свойство низкоэнтропийных систем, создаваемых человеком, который в своей деятельности не связан существованием центральных сил с шаровой или какой-либо другой симметрией, как в случае атомно-молекулярных систем. Поэтому его продукция часто носит супергеометрический характер. Этот же «супергеометризм» наблюдается и в важных биологических фрагментах, например в хромосомах, которые Шредингер определил, как «аперриодический кристалл», и в клетках в целом.

Но было бы необоснованным ограничением считать, что в природе существуют только одни алгоритмируемые состояния и не существует состояний, для которых нет *полной* процедуры их воспроизведения. Для иллюстрации можно указать на область

вышей психической деятельности — художественную, научную, изобретательскую и т. д. продукцию, — относительно которой можно сказать, что для нее безусловно не существует полного алгоритма. Также не существует полного алгоритма (практически только незначительная его часть) для такого распространенного и важного мыслительного акта, как интуиция. Следовательно, в пределах алгоритмического рассмотрения термодинамическая вероятность таких явлений будет меньше единицы, и соответственно их энтропия будет отрицательна $W < 1$ и $S^0 < 0$. Эта отрицательная энтропия будет тем больше, чем меньшая доля процедуры доступна для осуществления данного вида состояния

Если такая процедура вообще не существует, а не просто неизвестна в данный момент, то такое предельное состояние представится в виде бесконечно большого вместителя отрицательной энтропии

$$W = 0; S = -\infty; |\tilde{S}| = \infty.$$

Оговоримся, что здесь не имеются в виду состояния, термодинамически неустойчивые относительно наличных условий и образовавшиеся за счет когда-то затраченной свободной энергии, т. е. некоторые «термодинамические реликты». Речь идет о системах, способных к регулярному возникновению в данных условиях, т. е. имеющих достаточно массовый характер.

Существование систем отрицательно-энтропийного характера ведет к необходимости дать определение устойчивости более общее, чем это дает термодинамика. Отчасти такое обобщение уже было найдено в принципе Ле-Шателье, но его применение нуждается в контроле за реакцией системы на внешние воздействия, что для сложных систем часто невыполнимо. Здесь требуется иной критерий, применимый к любому виду систем и доступный прямому эмпирическому контролю. Таким критерием является *рост или размножение* данного вида систем: *устойчивы в данных условиях те системы, которые растут или размножаются, т. е. переводят в данный вид состояния новые количества материи, энергии и психики.*

Этот критерий в некотором смысле можно назвать *дарвиновским*, поскольку он относится не к индивидуальной системе, а к виду систем и поскольку критерием устойчивости является их размножение, т. е. некоторый эквивалент выживаемости.

Для таких систем можно написать

$$\frac{dN}{dt} > 0; \quad \frac{d^2N}{dt^2} \leq 0, \quad (\text{IX.4})$$

где N — число систем.

Эти уравнения выражают свойства систем *истинно устойчивых* при данных внешних и внутренних условиях. Число их в этих

условиях возрастает со временем с постоянной возрастающей или убывающей скоростью, т. е. с ускорением любого знака.

Скорость образования систем, *потерявших устойчивость* при данных условиях и, следовательно, неравновесных в общем смысле относительно этих условий, будет отрицательна, т. е. их число будет убывать со временем

$$\frac{dN}{dt} < 0, \quad (\text{IX.5})$$

Если данный вид системы на протяжении времени, доступного обозрению, не приобретает устойчивости, то *он исчезает*

$$\lim_{(t \text{ — велико})} N = 0. \quad (\text{IX.6})$$

Если, наоборот, он приобретает *полную*, т. е. *термодинамическую устойчивость*, то

$$\frac{dN}{dt_{(t \rightarrow \infty)}} = 0, \quad \text{и} \quad N = \text{const.}_{(t \rightarrow \infty)} \quad (\text{IX.7})$$

Подобная «вечная» устойчивость есть абстракция, которая в наибольшей мере реализуется в термодинамически равновесных системах, поддерживаемых в неизменных условиях. Но к ним могут приближаться и стационарные системы. Например, слой озона в верхних слоях атмосферы в течение периода геологического порядка поддерживается процессом образования озона в более длинноволновом ультрафиолете и его разложением в коротковолновом.

Приняв изложенный принцип устойчивости, можно обнаружить большие классы устойчивых систем, для которых, однако, не существует полной и доступной процедуры воспроизведения¹.

Например, принцип «клетка от клетки» фактически утверждает то, что не существует полной процедуры для воспроизведения простейшего элемента живой материи из молекулярного материала. Этот принцип Пастера—Вирхова за столетие своего существования выдержал испытание опыта. Если он удержится, тогда для клетки будет справедливо уравнение (3). Оно означает, что живая система не может возникнуть и существовать без отрицательной энтропии. Так можно алгоритмически истолковать шредингеровскую отрицательную энтропию и ее роль в жизненных процессах. Это, конечно, не означает, что живая система не содержит обычную положительную энтропию. Эта энтропия обя-

¹ Здесь не имеется в виду воспроизведение копии систем по их оригиналу. Это часто возможно, хотя отнюдь не всегда, и биологическая материя пользуется именно этим методом для воспроизведения клетки и всего ее физико-химического аппарата (ДНК, РНК, хромосом, белков и проч.). Но хотя митоз наблюдается визуально, его полная процедура остается неизвестной.

зательно обнаружится при изучении молекулярных фрагментов живого организма. К этому нужно добавить, что, исследуя ту же систему *обычными расчетными методами*, мы не найдем в ней какой-либо отрицательной энтропии, самое большее, что можно найти таким путем, — это некоторый дефицит положительной энтропии в виде несоответствия энтропии со строением и состоянием данных фрагментов системы. Возможно, что для непосредственного измерения отрицательной энтропии также не найдется способов, как ее нет и для положительной, и основным критерием ее наличия будет несуществование полной процедуры воспроизведения данного состояния. Такой критерий может показаться ненадежным из-за принципиальной разницы между незнанием (или ненахождением) необходимой полной процедуры и ее несуществованием. Но история закона сохранения энергии наглядно показывает, что упорное ненахождение нужной процедуры (в данном случае для осуществления перлетуум-мобиле первого рода) оказалось эквивалентным ее несуществованию, которое позже получило общую санкцию в законе сохранения энергии¹.

Возможно, что для живой материи существует именно такое положение, когда некоторый фундаментальный принцип (вроде первого начала) исключает существование полной процедуры для воспроизведения живого из физико-химического материала.

Обычная ссылка на то, что за миллиарды лет при подходящих условиях может осуществиться даже такое маловероятное событие, как возникновение клетки (А. И. Опариц, У. Эшби и др.), в точном смысле означает, что полная процедура воспроизведения клетки из неживого материала включает в себя временную экспозицию порядка 1—2 млрд. лет. В этом случае полная процедура воспроизведения клетки из неживого материала очевидно, неосуществима. Это не значит, что неосуществима частичная процедура, дающая фрагменты клеточных систем: различные аминокислоты, полипептиды, коацерватные сгустки и т. п. [2]. Такие процедуры частично уже осуществлены, но это, разумеется, не является гарантией существования *полной* процедуры воспроизведения клетки. Заметим, что экспозиция в миллиарды лет, казалось бы, может не считаться обязательной благодаря катализу. Однако самообразование активного и специфического катализатора — также очень маловероятный процесс, причем катализаторы способны вести систему только к термодинамическому равновесию, а не от него. Живые же клетки и их фрагменты термодинамически неравновесны, если не в самих условиях возникновения жизни, то, во всяком случае, в условиях ее развития: аэробная атмосфера, вода.

Нередко высказываемая уверенность в возможности искусственно воссоздать любую существующую в природе систему возникла на основе поразительных успехов химического синтеза, для которого оказалось доступно воспроизведение множества природных соединений и множества веществ, даже не существующих в

¹ Наверное, для некоторых случаев окажется возможным избежать такого эмпирического поиска и теоретически показать существование в системе антиэнтропийной компоненты, как это было сделано для мыслительной деятельности мозга на основе безэнтропийности логического мышления (см. гл. I, II, IV—VI). Очень низкоэнтропийные виды действий весьма обнадеживающе найти в поведении живых организмов, часто обладающих высокой степенью векторизации [1].

природе. Но эти успехи нельзя неограниченно экстраполировать¹.

Учитывая сказанное на стр. 166, представляется полезным в отношении био-физико-химических систем стать на этот путь и допустить возможность существования алгоритмически неосуществимых состояний, для которых не существует полной процедуры их воспроизведения.

Из трех основных термодинамических величин, как известно, только две могут быть измерены непосредственно — изменение полной и свободной энергии — энтропия же не измеряемая, а только вычисляемая величина. В отличие от энергии она сама по себе не может быть передана по каналу связи: по проводнику, волноводу, теплопроводящему стержню и т. п., и не способна находиться в потенциальном состоянии. Она всегда проявляется как характеристика *наличного* состояния и как мера его отступления от некоторого состояния, принимаемого за идеально-упорядоченное. В этом пункте обнаруживается принципиальное отличие обычной положительной энтропии от отрицательной, от антиэнтропии. Как уже говорилось, антиэнтропию нельзя определить подобным же образом, так как при обычных методах наблюдения, в любом наличном состоянии всегда обнаружится лишь некоторая степень неупорядоченности, которая будет выражать меру его обычной положительной энтропии. Но если предоставить дезорганизоваться замкнутой положительно-энтропийной системе, например, переходить кристаллам какой-нибудь соли в раствор, то такая система будет проявлять очень слабую буферность в отношении роста энтропии (в основном, только в меру роста $\ln C$, где C — концентрация раствора). Системы, обладающие отрицательной энтропией, к которым, можно думать, относятся живые организмы (см. ниже), обладают этой способностью: это системы с *резко выраженными энтропийно-буферными свойствами*, а антиэнтропийный аппарат мышления способен зафиксировать мыслительную продукцию даже на нулевом значении энтропии. Это свойство антиэнтропии означает, что она существует в организмах в виде *потенциальной отрицательной энтропии*, расходуемой на погашение различных неупорядоченных (броуновских) действий организма. Такой потенциальный характер антиэнтропии делает возможным ее кумуляцию в организме и передачу органам и клеткам, попавшим в состояние с избытком положительной энтропии, что всегда опасно для организма.

Всякая дегенерация органа связана с повышением его обобщенной энтропии [3] и может быть обозначена как «энтропийное заболевание». Основная часть смертности в высокоразвитых странах (~70%) сейчас приходится

¹ Отметим, что в математике обнаружено существование задач (А. А. Марковым, П. С. Новиковым, А. Черчем, Э. Постом и др.), для которых не только пока не найден, но вообще и не может существовать общий алгоритм, т. е. процедура или предписание их решения в общем виде — в форме точной последовательности определенных операций (осуществляемых, например, в универсальной логической машине Тьюринга с бесконечным числом ячеек).

именно на такие заболевания: заболевания сердечно-сосудистой системы, сосудов мозга, злокачественные опухоли.

Не представляется фантастичным, что, когда свойства и источники антиэнтропии будут достаточно выяснены, человечество действительно будет по Шредингеру «питаться отрицательной энтропией» и, вероятно, ею же лечиться. В свое время чисто калорийный взгляд на питание дополнился биохимическим. Возможно, что следующим этапом будет использование антиэнтропийных свойств пищи и лекарственных средств. Возникновение концепции «сыроедения», практически осуществляемое народностью Гунза, «не знающей болезней» [4], вплоть до питания мясом только что забитых животных (д-р Фердстон), возможно, представляют пока еще примитивное эмпирическое нащупывание этих возможностей.

Следовательно, положительная энтропия ($S > 0$) — это частичный или полный беспорядок; нулевая энтропия ($S = 0$) — полный порядок; потенциальная отрицательная энтропия ($\tilde{S} < 0$) — способность сопротивляться броунизации и создавать порядок вплоть до $S = 0$ ¹.

В плане алгоритмического истолкования термодинамической вероятности оба вида энтропий (положительная и отрицательная) выражаются общим уравнением (1), но с разными предельными условиями

$$\text{положительная энтропия } S^0 = \ln W \quad (W > 1), \quad (\text{IX.8})$$

$$\text{отрицательная энтропия } \tilde{S}^0 = \ln W \quad (W < 1).$$

В живом веществе молекулярный материал приобретает оба эти уровня энтропии: молекулярной положительной энтропии и отрицательной (потенциальной) энтропии. Можно представить, что элементы живой системы осциллируют между этими уровнями энтропии, охватывая интервал

$$\Delta S^0 = S^0 - \tilde{S}^0. \quad (\text{IX.9})$$

В результате такой осцилляции (или суперпозиции этих уровней) живая система занимает некоторый средний биологический уровень энтропии $S^0_{\text{биол.}}$, пониженный относительно энтропийного уровня ее молекулярного материала. При такой осцилляции молекулярный материал живой системы многократно проходит через нулевой уровень энтропии. Но именно это запрещается теоремой Нернста — Планка. Следовательно, частично антиэнтропийное состояние живых существ приводит к выводу, что их воспроизведение из энтропийного молекулярного материала требует подвода отрицательной энтропии, т. е. перестройки всей статистики организма.

¹ О тесной связи антиэнтропии с материальным субстратом биологических объектов на клеточном уровне говорит явно повышенная энтропия раковых клеток, сравнительно с нормальными, описанная в одной из наших работ [5].

Успешная химиотерапия психических заболеваний, вместе с издавна известной способностью химических веществ колебать (нарушать и восстанавливать) упорядоченность психики, говорит об особенно тесной связи антиэнтропии с нервными клетками и всей нейронной сетью. Мыслительная деятельность в этом отношении существенно отличается от эмоциональной: она также легко дезорганизуется химическими агентами, но труднодоступна искусственному физико-химическому упорядочению сверх своего нормального состояния (проявление некоторого «антиэнтропийного насыщения»).

Отметим, что проведенный в предыдущих главах анализ касался не проблемы живого в целом, а только высшего этажа жизни — мышления и то не в полном объеме. Поэтому сделанный вывод в прямом смысле относится к воспроизведению только мыслящих существ. Но эволюционная связь живых организмов даст основание обобщить этот вывод на процесс возникновения жизни (см. ниже табл. 5), если принять, что жизнь на всех своих уровнях содержит антиэнтропийную компоненту¹.

Здесь не имеется в виду предлагать какую-либо гипотезу о происхождении жизни. Но для этой проблемы важно иметь в виду, что теорема Нерста—Планка способна наложить общее термодинамическое ограничение на переход: молекулярная система → живая система. Нужно учесть, что эта теорема не есть специальный принцип, ограниченный рамками «тепловой» энтропии. Напротив, в теореме о недостижимости для системы нулевого значения энтропии выражен универсальный закон (исключая область мышления, как показано в гл. IV—VI), из которого следует недостижимость полной упорядоченности также и молекулярных систем. Хотя теорема Нерста—Планка говорит одновременно о недостижимости полной упорядоченности и о недостижимости абсолютного нуля, но только второй вывод имеет специальный молекулярный и квантовый характер, первый же имеет общее значение.

Соотношение $S_{T=0}=0$ представляет постулат Планка, обобщающий соответственно теорему Нерста $\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0$ на абсолютное значение энтропии.

В главе II и работе [5] дается вывод теоремы Нерста—Планка, исходя из равновесия векторно-броуновских форм энергии, и показывается, что существование такого равновесия и, следовательно, несуществование полностью векторизованных упорядоченных состояний при $T > 0$ эквивалентно постулату Планка и представляет его физическое обоснование.

Различие в знаке между обычной (существенно положительной) энтропией и антиэнтропией отвечает, как мы видели, их существенно различному физическому содержанию. В табл. 5 приведена схема, выражающая соответствие между видом энтропии и группой систем-носителей, содержащих данный вид энтропии.

Таблица 5

Вид энтропии	Характер упорядоченности	Группа систем и процессов-носителей данного вида энтропии
Положительная	неопределенность, частичный или полный беспорядок (хаос)	молекулярные системы и процессы поведения живых организмов, асинтаксическое мышление, нарушенная психика, (нормальная психика), информация
Нулевая	полная определенность, полный порядок	логическое мышление, интуиция (нормальная психика), (инстинкт), (информация)
Отрицательная или антиэнтропия	возможность полной самоупорядоченности, самоорганизации	мозг и сознание человека (живые организмы в целом)

¹ В связи с этим можно указать на несколько парадоксальную, но не лишнюю основательности мысль Бира [6] (см. также гл. II), «что наиболее вероятное следует считать и наиболее упорядоченным» и что «порядок более

естествен, чем хаос». На языке настоящей работы это значит, что природа наполнена отрицательной энтропией.

Дадим несколько пояснений к этой таблице. В группу с *положительной энтропией*, наряду с явно нарушенной психикой, в скобках отнесена и нормальная психика. Это означает, что и нормальная психика частично лежит в области положительной энтропии и частичной неупорядоченности. В эту же группу включена и информация, хотя ее математическая энтропия может быть доведена до нуля. Но, как уже говорилось (гл. III), полная энтропия акта информации об объекте не может достигнуть нуля. Единственное исключение составляет информация о логических актах (суждениях, выводах силлогизмах и т. п.), не обладающих собственной энтропией. Помещение в эту группу молекулярных систем и поведения живых организмов не нуждается в пояснении.

В группу с *нулевой энтропией* попадает вся область логического мышления (см. предыдущие главы). Сюда же (хотя нет общего доказательства ее полной определенности) включена интуиция как непосредственное усмотрение истины, которая во многих случаях может быть *a posteriori* обоснована логически. В этих случаях она представляет логический процесс со «скрытыми посылками». Психика также частично включается в эту группу, так как перекрывает всю область состояний от вполне упорядоченных до вполне хаотических. В эту же группу в некоторой своей части включаются инстинкты, представляющие по данному ранее определению «видовую логику» (см. гл. IV). Сюда же частично включается информация для случаев, когда она касается логических актов, а не физических состояний.

Третья группа с *отрицательной энтропией* или *антиэнтропией* существенно отличается от первых двух: она включает только человеческий «мозг — сознание» и воспроизведение живого из неживого, возможно, живые организмы в целом (они включены в скобках, как дискуссионные объекты), которые из известных природных систем являются единственными носителями антиэнтропии.

Критерий живого, однако, довольно неопределен. Являются ли, например, вирусы «живыми» или «неживыми» объектами? Видимо, нет, поскольку у них нет способности к саморазмножению вне клетки, но с таким выводом, вероятно, согласятся не все. Понятие жизни может быть сильно и довольно произвольно расширено.

Поэтому существенно дать критерий хотя бы того, что данный объект, во всяком случае, является «живым». Таким критерием является зависимость коэффициента диффузии объектов от их массы.

Кинетическая теория, как известно, дает убывающую зависимость коэффициента диффузии от массы частицы M

$$D_m = \frac{D_m^0}{M^n} \quad (n \sim 0,5). \quad (\text{IX.10})$$

Падение диффузии с массой есть *фундаментальнейшее* свойство мертвого вещества, связанное с температурным равновесием, в котором оно находится.

Исследование векторно-броуновского движения показывает (рис. 26), что для живых объектов картина совершенно иная: в этом случае коэффициент диффузии, наоборот, сильно *растет* с массой экземпляра, также по степенному закону, но с положительным показателем

$$D_{ж} = D_{ж}^0 M^n \quad (n \sim 0,67). \quad (\text{IX.11})$$

Как видно, этот закон хорошо оправдывается на исследованном материале от инфузории с массой $\sim 10^{-9}$ г до весьма крупных объектов с массой до 10^2 г.

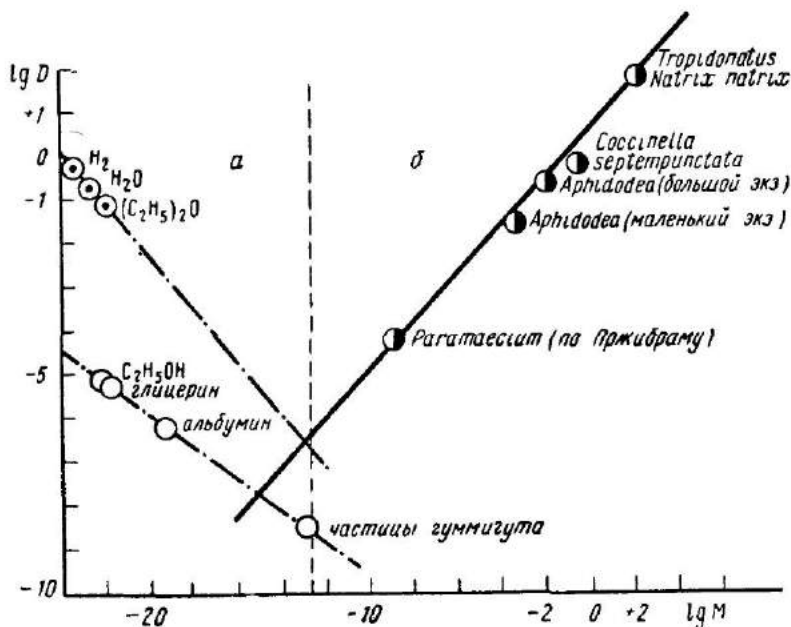


Рис. 26

- а — отрицательный эффект массы при диффузии «мертвого вещества» (газов, растворов, суспензий);
 б — положительный эффект массы при диффузии живых организмов

Рост коэффициента диффузии с массой организма обуславливается одновременно увеличением скорости движения и длины свободного пробега $D = \frac{u\lambda}{4}$. Величина коэффициента диффузии определяет непосредственным образом объем той области, которую способен охватить объект при чисто броуновском движении после некоторого числа импульсов (независимо от всякого целевого устремления).

Диаметрально противоположное влияние «мертвой» ньютоновской массы и массы «живой», биологической, на коэффициент диффузии представляет фундаментальное различие и дает экспериментальный критерий «живого»: *рост коэффициента диффузии с массой* в каком-либо ряду объектов, т. е. выполнение условия $\frac{dD}{dM} > 0$, с несомненностью означает их принадлежность к живой природе; однако невыполнение этого условия еще не означает, что они

принадлежат к мертвой материи, оно не определяет, где кончается область живой материи.

Согласно графику на рис. 26 «область живого» может распространяться до объектов с массой 10^{-12} – 10^{-14} г. Это доходит до вирусов, но еще не говорит об их «живой» природе. Только непосредственное определение для них коэффициентов диффузии может решить вопрос — есть в них хоть «нечто» от живого.

Возрастание коэффициента диффузии с «биологической массой» показывает, что эта масса не находится в термодинамическом равновесии со средой, причем эта неравновесность растет с величиной массы. Положительный эффект «живой массы» — эффект «биологической агравации» — обуславливает то, что диффузия живых существ неизмеримо обгоняет мертвые объекты; она превосходит по абсолютной величине даже диффузию предельно легкого вещества — водорода, и поэтому оказывается способной обеспечить наиболее эффективное перемещение материи. Огромная роль живых организмов при транспорте вещества в биосфере, которую так подчеркивал Вернадский [7], находит в этих данных количественное математическое обоснование.

В этой главе показывается, что система обладает антиэнтропией (отрицательной энтропией), когда для нее не существует полной процедуры воспроизведения (когда она неэргодна). Термодинамическая вероятность такой системы $W < 1$ и $S < 0$.

Полная процедура эквивалента существованию полного алгоритма в виде кодируемого предписания операций, выражающего эту процедуру. Молекулярная статистика простейших систем ограничивается только алгоритмируемыми системами. Природа в целом изобилует неалгоритмируемыми системами, к которым нужно отнести сознание и, вероятно, все живые организмы.

Это сближает системы, не имеющие полной процедуры для своего воспроизведения, с кругом задач, найденных в математике, не имеющих общего алгоритма для своего решения.

Если живые организмы лежат в области, содержащей компоненту отрицательной энтропии ($S < 0$), то *непосредственный* переход к ним от положительноэнтропийных молекулярных систем проходит через нулевое значение энтропии, что запрещается теоремой Нернста — Планка, и поэтому он должен быть связан с потреблением отрицательной энтропии.

Алгоритмическое истолкование отрицательной энтропии хотя и является чисто формальным, но еще не вскрывает ее физического содержания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобозев Н. И. «Бюлл. МОИП», 53 (1), 3, 1948.
2. Пасынский А. Г., Павловская Т. Е. «Успехи химии», 1964, № 10, 1198.
3. Кобозев Н. И. ЖФХ, 36, 21, 12, 1962.
4. Bicher R. Les Hanza — un peuple qui ignore la maladie. Edition Victor Attinger, Paris, 1962.
5. Кобозев Н. И. ЖФХ, 35, 2736; 2745; 36, 266, 1962.
6. Бир Ст. Кибернетика и управление производством. М., «Наука», 1965, стр. 277–285.
7. Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.—Л., Госиздат, 1927.

О «ФИЗИКЕ МЫШЛЕНИЯ»

До сих пор анализ информационно-мыслительной деятельности сознания проводился в достаточно жестких рамках термодинамического метода без специальных гипотез. Этим методом был выявлен тот фундаментальный факт, что среди всеобщей энтропийности природы существует *единственное* безэнтропийное, вполне упорядоченное явление — логическая продукция мозга и сознания. Это свойство не позволяет считать мышление, свойственное к тому же только человеку, непосредственной продукцией самого биохимического аппарата мозга, так как био-физико-химической системе любого уровня неизбежно присуща энтропия. Отсюда был сделан вывод, что мозг способен безэнтропийно мыслить только при подводе к нему «отрицательной энтропии» или «антиэнтропии».

Таким образом, отрицательная энтропия возникла не в виде *Deus ex Machina*, а как дополнительный параметр, необходимый для организованного мышления. Без этого нового фактора обычная атомно-молекулярная материя мозга неспособна обеспечить процесс мышления и даже простейший информационный процесс, если он связан с самой элементарной символической записью.

Но не может же биологическая материя совсем не участвовать в мышлении, не могут большие полушария мозга, его кора и вся нейронная сеть быть несущественным компонентом при производстве мышления. Здесь приходится либо остановить исследование, либо совершить дополнительный шаг от планомерного анализа к гипотезе, как это обычно делается в науке.

Физическая гипотеза, предлагаемая в последней главе монографии, не есть допущение *ad hoc*, но, наоборот, по своему методу лежит в плане настоящей работы.

В книге крупного антрополога-эволюциониста Тейяра де Шардена¹ «Феномен человека» [1], в главе «Возникновение мысли» имеется подзаголовок:

¹ Он был членом «общества Иисуса», но большинство его трудов из-за неканоничности подпало под интердикт (запрещение) и стало известно только после смерти автора.

«Парадокс человека». Цитирую этот абзац из книги Тейяра: «С чисто позитивистской точки зрения человек — самый таинственный и сбивающий с толку исследователей объект науки.

Человек в том виде, каким его удается воспроизвести сегодняшней науке — животное, подобное другим. По своей анатомии он так мало отличается от человекообразных обезьян, что современные классификации зоологии, возвращаясь к позиции Линнея, помещают его вместе с ними в одно и то же семейство гоминиодных. Но, если судить по биологическим результатам его появления, то не представляет ли он собой как раз нечто совершенно иное?

Ничтожный морфологический скачок и вместе с тем невероятное потрясение сфер жизни — в этом весь парадокс человека».

В настоящей работе этому отвечает «Парадокс мышления». По существу эти парадоксы близки, так как оба касаются мышления, но пути к ним были совершенно различны: с одной стороны, термодинамический, с другой — антропологический. Несомненно, возникнут и другие научные пути к этому парадоксу, которые осветят проблему сознания и мышления с новых сторон.

Следует исходить из того факта, что частицы или система частиц с отрицательной энтропией неизвестны, а известные частицы по своим свойствам не дают основания считать, что антиэнтропия может осуществляться через молекулярное множество с обычными свойствами, поскольку такое множество будет подчиняться какой-либо статистике в виде закона распределения и, следовательно, иметь энтропию.

Но логика не исчерпывает всех операций сознания. Имеется большая область до-логических операций, где закон тождества (он же закон безэнтропийности), необходимый для логики, существенно нарушается (например, в эмоциональной области) или соблюдается в ослабленном виде.

В своем анализе мы пока вынуждены отступить перед столь необыкновенным свойством мозга и сознания, как чисто логическое дискурсивное мышление и ограничиться более простой областью до-логических или около-логических операций. Отсекая логическую дискурсивную область мышления, мы, конечно, утрачиваем очень многое.

Можно было бы считать, что при этом вполне сохраняется вероятностное мышление, но это не так: ведь вероятность расценивается только по отношению к достоверности, и если критерий этой последней утрачен вместе с законом тождества и безэнтропийностью сознания, то уничтожается и понятие вероятности. Остается частично упорядоченное мышление, не способное оценивать степень своей собственной упорядоченности и даже ставить такой вопрос. Остается догадка, метод проб и ошибок, возможно, остается интуиция, хотя и здесь утрата дискурсии и закона тождества сильно подрывает ее основу — непосредственное усмотрение решения задачи, так как, где нет закона тождества, там нет понятия истинности решения. Однако при всех этих утратах не теряется эмоциональная сфера, так же как не теряются более простые операции сознания, как например, различение образов, предметов, соматических сигналов и т. п., т. е. восприятие информации. Словом, бездискурсивное сознание — это не уровень живот-

ного или олигофреника (имбецила, дебила¹), а нечто близкое к сознанию достаточно развитого ребенка, уже способного к до-логическому или около-логическому мышлению.

Как было показано ранее, мышление невыводимо из информации — это разные этажи сознания, возможен лишь обратный процесс. Поэтому, спустившись к до-логическому информационному уровню, нельзя надеяться *целиком* перенести полученные результаты на высший этаж, в область дискурсии. Зато, поскольку на информационном уровне действуют энтропийные статистические механизмы, здесь вполне закономерно ставить вопрос о природе частиц (см. гл. IV), способных осуществлять и моделировать до-логические функции сознания достаточно низкоэнтропийного, хотя не вполне безэнтропийного, уровня.

Схема рассуждений для выявления свойств таких частиц может быть такова. Возьмем идеальный газ, подчиняющийся квантовым условиям. Это значит, что на состояние его частиц наложено ограничение, связанное с принципом неопределенности. Принцип неопределенности не устраняет, но *ослабляет* закон тождества, поскольку все состояния частицы внутри данной квантовой фазовой ячейки считаются физически неразличимыми и только в этом смысле тождественными.

Безразмерная энтропия 1 моля такого одноатомного квантового газа будет выражаться уравнением Заккура — Тетроде

$$S^0 = \frac{S}{R} = \ln (2\pi mkT)^{3/2} \frac{v}{h^3} + \frac{C_P}{R}, \quad (X.1)$$

(где $v = V/N$ — объем, приходящийся на одну частицу), которое состоит из двух слагаемых. Второе слагаемое есть отношение теплоемкости к константе R и по внутреннему смыслу имеет энергетический характер.

После подстановки вместо kT соответствующего выражения через среднюю арифметическую скорость u , и так как $\lambda = \frac{h}{mu}$, получим следующий вид для безразмерной энтропии:

$$S^0 = \ln 8 \frac{v}{(h/mu)^3} + \frac{C_P}{R} = \ln \frac{v}{(\lambda/2)^3} + \frac{C_P}{R}. \quad (X.2)$$

Первое слагаемое в этом уравнении — отношение объема, приходящегося на одну частицу, к кубу дебройлевской полуволны, которая определяет объем геометрической элементарной ячейки. Смысл второго слагаемого указан выше. Таким образом, безразмерную энтропию квантового газа можно представить как сумму геометрической и тепловой энтропии

$$S^0 = S_{\text{геом}}^0 + S_{\text{тепл}}^0. \quad (X.3)$$

¹ Субъекты неспособные или с ограниченной способностью к образованию понятий.

Когда удельный объем v , приходящийся на одну частицу, оказывается меньше геометрического объема фазовой ячейки σ , то геометрическая энтропия становится отрицательной и фактор вырождения $\rho > 1$. Поэтому в рамках квантовой статистики для частиц атомной массы разделение полной энтропии S^0 на геометрическую (структурную) и тепловую при $\rho > 1$ утрачивает правомерность.

Но Ψ -пространство сознания должно обладать статистикой, делающей возможным переход $S^0_{\text{геом}}$ в отрицательную область. Какова эта статистика — вопрос дальнейшего анализа. Здесь можно указать лишь на ее самый общий результат. Всякое расширение фазовой ячейки с сохранением за ней квантовых свойств, т. е. соотношения неопределенности, эквивалентно либо увеличению в этом новом Ψ -мире кванта действия h_{Ψ} , либо «конденсации» некоторого множества частиц (охваченных Ω -ячейкой в μ -пространстве) в статистически единственный экземпляр — «облако», «каплю», «микрористалл». (Эта фазовая геометрическая «конденсация» частиц, конечно, не совпадает с Бозе—Эйнштейновской, которая происходит в пространстве импульсов.)

Можно видеть, что и то и другое ведет к смещению первого слагаемого в уравнении (2), т. е. $S^0_{\text{геом}}$ в отрицательную область: в первом случае это непосредственно видно из уравнения (2), во втором — оно является результатом уменьшения числа статистических экземпляров в системе с расширенными фазовыми ячейками. Все атомные частицы, включая самую легкую ^1H , обладают положительной геометрической энтропией; все сверхлегкие частицы, приведенные ниже, лежат в области отрицательной $S^0_{\text{геом}}$ и могут служить ее источником.

Теплоемкость очень легких частиц должна быть близка к нулю. Такой подход закономерен для безэнергетических комплексов (геометрических символов, кодов и проч.). Тогда энтропия будет выражаться первым членом уравнений (2) и (3). Но мы не станем вводить этого ограничения и будем рассматривать полную энтропию (уравнение (2)). Первый член в уравнениях (1) и (2) равен отрицательному логарифму фактора вырождения [2, 3]

$$S^0_{\text{геом}} = -\ln \rho = \alpha, \quad (\text{X.4})$$

где

$$\rho = \frac{h^3}{v} \cdot \frac{1}{(2\pi mkT)^{3/2}} = \frac{h^3}{(2\pi mkT)^{3/2}} \cdot n = \frac{1}{8} \lambda^3 n \quad (\text{X.5})$$

(n — число частиц в см^3). Условие $S^0_{\text{геом}} = 0$ отвечает фактору вырождения, равному единице. Этот фактор очень велик для идеального газа, для которого эта вырожденность, согласно Зоммерфельду [2], отвечает $\sim 3 \cdot 10^{-5}$, но он еще недостаточен, чтобы полная энтропия газа оказалась достаточно малой.

Высокой вырожденности в принципе могут достигать оба газа: Бозе — Эйнштейна и Ферми — Дирака. Но так как в первом случае $\alpha \geq 0$, то вырождение молекулярного Бозе-газа происходит только при весьма низких температурах. Поэтому этот случай не может нас интересовать при отыскании частиц, способных создавать низкоэнтропийные конструкции при температуре функционирования физико-химической системы мозга. В случае статистики Ферми — Дирака достаточным условием сильного вырождения и низкой энтропии является малая масса и достаточная

концентрация частиц. Это следует из того, что фактор вырождения ρ растет при увеличении концентрации частиц n , при уменьшении их массы m и при понижении температуры (см. уравнение (4)). Практически вырождение наблюдается лишь для электронного газа в металлах уже при обычных температурах за счет малой массы электронов и их большой концентрации в решетке. Фактор вырождения электронов проводимости в меди по Зоммерфельду [2] составляет ~ 5000 , а электронная часть теплоемкости имеет порядок $0,03 \text{ кал/}^\circ\text{К}$, т. е. оставляет меньше 1% от теплоемкости меди. Соответственно молекулярная энтропия такого электронного газа не должна превышать $0,03 \text{ кал/}^\circ\text{К}$ против $S_{\text{Cu}} = 8 \text{ кал/}^\circ\text{К}$ для металла.

Безразмерная молярная энтропия сильно вырожденного газа Ферми выразится ¹

$$S^0 = \frac{\pi^2}{h^2} \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{2/3} \frac{mkT}{n^{2/3}} \approx \frac{4(2\pi mkT)}{h^2 n^{2/3}}. \quad (\text{X.6})$$

Учтя уравнение (5), найдем

$$S^0 \sim \frac{4}{\rho^{2/3}}. \quad (\text{X.7})$$

Заметим, что у сильно вырожденного газа Ферми энтропия достигает нуля только при $T=0$ и здесь оправдывается теорема Нернста — Планка. Поэтому *полностью* безэнтропийного состояния ($S^0 \equiv 0$), требуемого для силлогистического дискурсивного мышления, нельзя получить и с помощью Ферми-газа.

Приняв для электронного газа в металле указанный фактор вырождения, найдем, что его безразмерная молярная энтропия составит

$$S^0 \sim 10^{-2} \text{ или } S \sim 2 \cdot 10^{-2} \text{ э. е.} \quad (\text{X.8})$$

Только для более легких частиц энтропия может быть еще ниже (при $T=300^\circ\text{К}$).

Поэтому, оставаясь в пределах периодической системы Менделеева, нет возможности осуществить условие, требуемое для создания низкоэнтропийных состояний мозга и сознания в реальных условиях работы мозга, т. е. при температуре несколько выше комнатной. Действительно, взяв наиболее легкие элементы первой строки периодической системы Менделеева: ^1H , ^3He , ^4He , можно убедиться, что даже при критических условиях, т. е. при достаточно низких температурах, у всех этих газов $v > (\lambda/2)^3$ и, следовательно, фактор вырождения $\rho \ll 1$ и $S \gg 0$ (порядка нескольких э. е.). Таким образом, не может быть речи о том, чтобы низкоэнтропийные процессы осуществлялись самим биохимическим

¹ У Шефера [3] в переводе допущена опечатка и $n^{2/3} = \left(\frac{N}{V} \right)^{2/3}$ стоит не в знаменателе, а в числителе.

материалом мозга, состоящим из тяжелых и сложных молекул, для которых молекулярные объемы в миллионы раз превосходят величины геометрических фазовых ячеек. Поэтому здесь можно говорить только о некоторых *элементарных частицах*, возможно еще неизвестной природы.

Если пересчитать энтропию вырожденного газа по Больцману на термодинамическую вероятность, т. е. на число микросостояний, которыми осуществляется данное макросостояние, то получим, что в случае газа с фактором вырождения¹ $\rho \sim 14$ и с энтропией $S^0 \sim 0,7$, число комплексов или микросостояний ~ 2 . Это значит, что макросостояние распределяется между двумя микросостояниями, которые можно считать равновероятными и равнопригодными для выражения данного макросостояния, т. е. два разных, периодически возникающих микросостояния считаются одинаковыми. Подобная степень неопределенности возможна только для биопсихических актов весьма низкого уровня (со степенью векторизации $\eta \sim 0,5$). Организм, который вместе с системой своих органов, раздваивается в своих действиях при каждой альтернативе, не способен к организованной деятельности, тем более мышлению, и нежизнеспособен. Тропизмы у простейших и инстинкты у более высших животных имеют всегда $\eta \gg 0,5$. Механизм с такой энтропией, направленный на решение логических задач, выдавал бы в среднем два различных равновероятных решения, т. е. не давал бы никакого решения².

Если взять «сильно» вырожденный электронный газ с теми значениями ρ и S^0 , которые указывались выше, то больцмановская термодинамическая вероятность в этом случае составит 1,01, т. е. на 100 некоторых повторяющихся решений или состояний будет приходится одно случайное. Это уже приемлемая точность для многих психофизических действий (конечно, кроме действий логических, где $S^0 = 0$ и $W = 1$).

Нужно пояснить, что условие $W \sim 1$ применительно к системе, воспринимающей и реагирующей на информацию, следует принимать или как искажение данного макросостояния (это уже будет переход к другому макросостоянию), или как появление в большом ряду «нормальных» микросостояний, совпадающих с макросостоянием некоторого отличного «аномального» микросостояния, которое представляет «ошибку» в поведении или реакции живой системы на информацию. Такой ошибкой будет, например, нарушение безусловного рефлекса, скажем, не отдергивание руки от обжигающего предмета или источника напряжения, а, наоборот, прижатие к ним и т. п. Такие ошибки очень редки, и именно в этом смысле целый класс до-логических информационно-реактивных функций (подсознания, инстинкта, тропизмов и т. д.) является весьма низкоэнтропийным. Это конечно, не означает, что все правильные реакции в то же время вполне тождественны.

¹ В случае молекулярного фермионного газа (например ${}^3\text{He}$) при обычной температуре (300° K) такое вырождение отвечало бы сжатию газа до нескольких сот тысяч атмосфер.

² Это в равной мере относится к любой логике (однозначной, многозначной, вероятностной), поскольку все они лежат в области дискурсивного мышления с вполне точно воспроизводимыми формулировками и выводами, основанными на законе тождества.

Однако электронный газ непригоден для создания низкоэнтропийных структур, поскольку он всегда связан с положительными остовами в кристаллах или положительными ионами в плазме, имеющими достаточно большую энтропию при обычной температуре.

Здесь нами ставится вопрос об общем характере того корпускулярного множества из x -частиц, отображение которого на множество сознания способно создавать в нем низкоэнтропийные конструкции, а отображение на клеточное множество организма способно обеспечить его достаточно упорядоченные функции.

Представим сильно разведенный Ферми-газ из x -частиц (физическая природа которых пока не будет уточняться), распределенный в виде некоторого «облака» по нейронной сети коры головного мозга с ее примерно 10 млрд. клеток. Низкоэнтропийное состояние этого x -газа дает программу действия для этой сети, при выполнении которой могут появиться «сбои», ошибки с соответствующим возрастаянием энтропии и неточностью действия сети. Поэтому в общем случае $S_{\text{сети}}^0 > S_{x\text{-газа}}^0$ и состояние x -газа должно обеспечить лишь достаточно малую величину ΔS . Если допустить, что на каждую нервную клетку приходится Z_x таких частиц, то отсюда можно оценить массу этих частиц и длину фазовой волны в зависимости от степени заполнения этими частицами нейронной сети. Для этого может служить уравнение (6) для сильно вырожденного газа Ферми, выражающее безразмерную энтропию такого газа, как функцию массы частиц m_x (в g), их концентрации n (част/см³) и температуры. После подстановки всех констант в уравнение (6) получим

$$S^0 \sim 2 \cdot 10^{40} \cdot m_x n^{-2/3} \quad (\text{при } T = 300^\circ K). \quad (X.9)$$

Если положить молярную безразмерную энтропию $S^0 = 10^{-3}$, то по Больцману, это будет отвечать 1,001 микросостояниям, т. е. неопределенности или «ошибке» всего 0,1%.

Для многих до-логических психофизических актов даже высокого уровня такая степень упорядоченности может считаться уже достаточной¹. Тогда m_x определится из уравнения

$$\lg m_x \sim \frac{2}{3} \lg n - 43. \quad (X.10)$$

Длина фазовой волны в случае термического равновесия частиц с системой выразится уравнением

¹ Подчеркнем еще раз — за исключением логического процесса, так как признание сколь угодно малой, но конечной вероятности логической ошибки разрушает всю логику, допуская в принципе возможность различного решения формальнологической задачи. Это близко тому, если бы мы считали статистическим закон сохранения (материи — энергии) и допускали возможность его редкого, но систематического нарушения, как это пытался сделать Н. Бор при β -распаде на еще до-нейтринном этапе теории этого явления

$$\lambda_x = \frac{23,8\text{А}}{\sqrt{6 \cdot 10^{23} m_x T}}, \quad (\text{X.11})$$

откуда путем комбинации с уравнением (10) получим

$$\lg \lambda_x \sim 1,75 - \frac{1}{3} \lg n. \quad (\text{X.12})$$

Скорость частиц может быть найдена по уравнению Де-Бройля.

Если это уравнение дает $u_x > c$, то, значит, частица с данной массой физически неприемлема¹. Из табл. 6 видно, что физически возможными являются частицы с $Z_x > 10^7$, с $m_x > 10^{-7} m_e$ и с длиной фазовой волны меньшей 10^{-3} см. Это отвечает концентрации частиц в нейронной сети $n > 10^{14}$ част/см³.

Применение написанных уравнений дает следующие значения для m_x , λ_x и u_x при разных значениях Z_x и n (см. табл. 6).

Таблица 6

Z_x $\frac{x\text{-частиц}}{\text{нейрон}}$	Концентрация x -частиц, $n/\text{см}^3$	Масса $\lg m_x, \text{г}$	Масса x -частиц в долях m_e	Длина фазовой волны, см	$u_x, \text{см/сек}$
1	$2 \cdot 10^6$	-38,8	$10^{-11,7}$	0,45	10^{13}
10^3	$2 \cdot 10^9$	-36,8	$10^{-9,8}$	$10^{-1,4}$	$10^{11,8}$
10^5	$2 \cdot 10^{12}$	-34,8	10^{-8}	$10^{-2,4}$	10^{12}
10^{7*}	$2 \cdot 10^{14}$	-33,4	$10^{-7,4}$	10^{-3}	$10^{10,2}$
10^{8*}	$2 \cdot 10^{15}$	-32,8	10^{-6}	$10^{-3,4}$	10^{10}
10^{9*}	$2 \cdot 10^{16}$	-32,2	$10^{-5,1}$	$10^{-3,6}$	$10^{9,6}$
10^{10*}	$2 \cdot 10^{17}$	-31,4	$10^{-4,4}$	10^{-4}	$10^{9,2}$

* Физически возможные частицы.

Степень заполнения нейронов x -частицами, или их термодинамическая концентрация γ , выразится в виде отношения числа x -частиц к полному числу частиц (атомов) в нейроне

$$\gamma = \frac{Z_x}{Z_{\text{ат}} + Z_x} \sim \frac{Z_x}{Z_{\text{ат}}}. \quad (\text{X.13})$$

Считая средний объем нейрона [4] в высших отделах головного мозга $\sim 10^{-7}$ см³ и того же порядка его массу в г, а средний вес атомов нервного вещества близким к среднему из атомных весов азота, кислорода, углерода и водорода, т. е. ~ 10 а. е., получим $Z_{\text{ат}} \sim 6 \cdot 10^{15} - 10^{16}$ атомов. Отсюда область величины γ для x -частиц с $u_x < c$ будет $10^{-9} - 10^{-6}$.

¹ c — скорость света; m_e — масса электрона.

Таким образом, «облако» x -газа, пронизывающего нейронную сеть, будет состоять из сверхлегких частиц с массой ($10^{-7}m_e - 10^{-3}m_e$) при концентрации ($10^{14} - 10^{17}$ x -част/см³), что отвечает плотности $\sim (10^{-19} - 10^{-14})$ г/см³.

У газа при нормальных условиях эта плотность составляет (для H_2) $8 \cdot 10^{-5}$ г/см³, т. е. в $10^{10} - 10^{15}$ раз больше плотности x -частиц. По закону передачи импульса термическое равновесие сверхлегких частиц с молекулярным материалом будет устанавливаться медленно, и поэтому необязательно связывать себя этим условием. В случае более медленных x -частиц (с до-тепловой скоростью) за счет уменьшения скорости u_x должна возрасти длина фазовой волны. Таким образом, вычисленные значения λ_x можно считать нижним пределом этой величины.

Пока, по-видимому, нет возможности идентифицировать x -частицы с какими-либо известными элементарными частицами — такие частицы еще не наблюдаются¹. Но новые частицы открываются регулярно, и поэтому представляет важность вопрос: возможны ли вообще частицы со свойствами x -частиц, т. е. фермионы с массой $\sim (10^{-7} m_e - 10^{-4} m_e)$, и какими особыми свойствами они будут обладать? На основании схемы строения и периодизации элементарных частиц Герловина [5] на этот вопрос следует ответить положительно: такие сверхлегкие частицы возможны, и их особым свойством являются большие геометрические размеры, на порядки превышающие линейные размеры атомов. Благодаря этому им должна быть свойственна очень малая «внутренняя» плотность вещества в частице. Например, если в атоме водорода (в нормальном состоянии) эта плотность составляет $4,26$ г/см³, то у x -частиц с массой $10^{-5} m_e$ она составит всего 10^{-15} г/см³. По сравнению с атомной материей такие частицы будут представляться областями почти полного «вещественного вакуума». Благодаря большому размеру этих частиц ($\sim 10^{-6}$ см) достаточно уже $\sim 10^8$ x -частиц, чтобы охватить или заполнить весь объем клетки².

Проделанный термодинамический анализ процессов до-логического информационного уровня показывает, что нейронную сеть, осуществляющую подобные процессы, можно представить как заполненную или «адсорбировавшую на себе» сверхлегкие

¹ Ближе всего к x -частицам стоит нейтрино (также фермион). Но, по-видимому, нулевая масса покоя нейтрино препятствует их отождествлению. Кроме того, нейтрино практически не взаимодействует с веществом. Гипотезу о «нейтринной природе души» в форме фантастического памфлета высказал известный писатель-фантаст А. Днепров (канд. физ.-мат. наук А. Мицкевич). Он же, но уже как физик, привел и возражение против такой гипотезы (см. [6]).

² Как известно, пока не существует достаточно завершенной и общепринятой теории элементарных частиц. Схема Герловина помимо охвата существующих элементарных частиц и хорошо оправдывающегося прогнозировании вновь открываемых интересна тем, что предвидит возможность особых, как будто физически «лишних» частиц с очень низкой энергией (массой) и необычными свойствами. Но именно эти «лишние» частицы, не даваемые другими теориями, могут как раз найти место в «физике мышления» и в био-психических процессах в целом.

подвижные частицы со сверхнизкой внутричастичной плотностью. По характеру их функций такие частицы можно назвать « Ψ -частицами»¹. Такая комбинированная « Ψ -нейронная» сеть будет обладать способностью к производству достаточно низкоэнтропийных операций, которые могут считаться свойственными психике в целом, и к передаче информации (возбуждения) по сети. Сверхлегкие частицы кроме указанных свойств будут обладать еще одной очень важной и даже необходимой для моделирования психики особенностью — большой фазовой волной и большой временной неопределенностью или временной амплитудой. Нижняя граница этой амплитуды дается соотношением неопределенности

$$\tau_x = \frac{h}{m_x c^2}. \quad (\text{X.14})$$

Для частиц с массой (10^{-4} — 10^{-6}) m_e временная амплитуда составит (10^{-16} — 10^{-14}) *сек*, в то время как для атомов она имеет порядок 10^{-24} *сек*, а для электронов² 10^{-20} *сек*.

Таким образом, по сравнению с атомно-молекулярным материалом нервной сети Ψ -частицы обладают примерно на 10 порядков большим опережением во времени³. Поэтому при всяком предстоящем процессе в нервной сети они *первые* и *раньше*, чем молекулярный материал нервных клеток, встречаются с новым фактором и могут заранее дать о нем информацию нейронной сети⁴.

Опережение во времени имеет эквивалент опережения по пространству. Учтя, что движение фазовых волн происходит подобно движению волн по оптически плотному волноводу (по схеме полного внутреннего отражения), сдвиг по пространству составит около половины длины фазовой волны

$$\Delta l \approx \frac{1}{2} \lambda_x \quad (\text{X.15})$$

и для Ψ -частиц будет иметь порядок $>10^{-3}$ — 10^{-4} *см*. Следовательно, Ψ -частицы будут воспринимать поток информации *раньше* по времени и *дальше* по пространству, чем сама клетка. Это — пространственно-временные «радары» клеток⁵. Оба эти свойства

¹ Здесь не будет рассмотрен вопрос о возможном испускании x -частиц нейронной сетью.

² Существование колебательно-дисперсионного времени частиц [7] и [8], как показано в [9], вызывает виртуальное расщепление электрона в атоме на множество субэкземпляров, образующих электронное облако. Масса таких экземпляров, например, для электрона в атоме водорода, составляет $\sim 10^{-32}$ г, т. е. близка по порядку величины к приведенным в табл. 6 массам x -частиц.

³ О временном опережении в физико-химических процессах см. [10].

⁴ Для системы частиц временная амплитуда $\tau_{\text{сист}}$ значительно больше, чем для свободных частиц. Например, для свободного электрона $\tau_e \sim 10^{-20}$ *сек*, а для системы (электрон+протон) $\tau = 1,5 \cdot 10^{-16}$ *сек*.

⁵ Передача фазы — уже информация. Мысль о роли «опережающей волны» в явлениях жизни высказал также Фантаппи и другие (см. [12]).

очень важны для подготовки физико-химической системы нервных и соматических клеток для восприятия информации и для ответной реакции. Нейрофизиологический аспект временного опережения («упреждения») развит в работах Анохина [11]. Без такого опережения живая материя не могла бы выдержать конкуренции с преобладающей массой мертвого вещества и его броуновскими силами. Иными словами, без большого опережения, способного создаваться только сверхлегкими частицами, не могла бы существовать и сама жизнь. Антиэнтропия, необходимая для жизни и для сознания, должна быть тесно связана со свойствами и опережением Ψ -частиц.

Полный алгоритм воспроизведения живого, кроме создания клеточной структуры, должен включать в себя получение Ψ -частиц с большим опережением и их комбинацию с нервной сетью в действующую систему. Может ли быть уверенность в нахождении такого алгоритма? Существует ли он вообще? Или это неалгоритмируемый процесс? Все эти вопросы — дело дальнейшего теоретического и экспериментального исследования.

Приведенные здесь расчеты со сверхлегкими частицами представляют обещающее начало. На этом пути можно получить более детальное представление о природе таких Ψ -частиц (их можно было бы назвать «психонами»), об их зарождении, взаимодействии с нервными и соматическими клетками и т. д.

Наконец, эта нить приводит к возможности рассматривать «вакуум» как необходимый компонент сознания и жизни.

Словом, здесь может быть ослаблена жесткая связь жизни и сознания с так называемой «косной» атомно-молекулярной материей, в которую никак не вписываются основные свойства этих явлений.

Участие элементарных частиц чрезвычайно расширяет возможности психической деятельности мозга не только путем снижения его энтропии, но и в других важных отношениях: элементарные частицы, подчиняющиеся релятивистской квантовой механике, могут превращаться в другие частицы, размножаться, «исчезать», переходя в состояние «вакуума» (состояние с наименьшей энергией и нулевой энтропией) и появляться вновь. Все это недоступно атомно-молекулярной материи, жестко связанной законом сохранения массы. Эта материя пригодна лишь для построения сомы, носителей же психических функций и необходимой для жизни антиэнтропии нужно искать в области элементарных частиц и связанных с ними полей. Именно здесь проходит осязаемый физический водораздел между сомой и психикой.

Мы живем в нейтринной Вселенной и, наверно, во Вселенной, заполненной целой большой генерацией столь же, а может быть, еще более трудно уловимых частиц.

Нейтрино появилось поначалу как чисто гипотетическая недоступная обнаруживанию частица, допущение которой диктовалось лишь необходимостью объяснить особенности β -распада.

Только потом удалось констатировать эту частицу, о которой мы и сейчас знаем очень мало, даже о ее массе.

Мышление и психика, несомненно, более сложны, чем ядерные превращения. И если наш анализ приводит к необходимости допустить участие в них неизвестных, но теоретически возможных сверхлегких частиц, то этот шаг сейчас не менее закономерен, чем была в свое время гипотеза Паули о нейтрино.

Вероятно, такие частицы после их обнаружения не вполне совпадут по своим свойствам с описанными здесь, но некоторые основные их качества (малая масса и плотность, большое пространственно-временное опережение) с необходимостью должны быть им присущи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М., «Прогресс», 1965.
2. Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика. М., ИЛ, 1955.
3. Шефер К. Теория теплоты, ч. II. М.—Л., Госиздат, 1933.
4. Вулдридж Д. Механизмы мозга. М., «Мир», 1965.
5. Герловин И. Л. Некоторые вопросы систематизации элементарных частиц. ГАО АН СССР, 1966. (Депонент ВИНТИ № 111-67); Систематизация элементарных частиц и соображения об основах будущей теории. Препринт ИТФ-69-53. Киев, 1969.
6. Милкевич А. «Техника молодежи», 1966, № 9, 7.
7. Кобозев Н. И. ЖФХ, 29, 1989, 1955.
8. Кутюлин С. А. К сущности многовременного формализма. Новосибирск, 1967.
9. Кобозев Н. И. «Вести. Моск. ун-та», сер. химия, 1961, № 4, 70.
10. Кобозев Н. И. ЖФХ, 28, 20676, 2234, 1954.
11. Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М., «Медицина», 1968.
12. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М., «Мир», 1966.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя после каждой главы приводилось краткое резюме, но полезно дать суммирующие выводы из всей работы.

Монография посвящена термодинамике процессов информации и мышления и возможности их осуществления с помощью молекулярных множеств, в первую очередь молекулярного вещества мозга.

Проблема рассматривается на основе двух фундаментальных законов природы: *закона энтропии* для молекулярных множеств любого уровня ($S > 0$ при $T > 0$) и *закона тождества* для мышления ($A = A$), из которого следует безэнтропийность и неограниченно точная воспроизводимость любого логического вывода ($S = 0$).

Эти законы несовместимы, и отсюда возникает «парадокс мышления» — способность энтропийной системы мозга производить безэнтропийное логическое мышление (в форме категорических силлогизмов, математических выводов и т. п.) с возможностью совершенно точного и неограниченного повторения этих процессов. Такова основная проблема, которая решается в монографии наряду с другими, с нею связанными.

Разработка этих вопросов началась автором в 40-х годах и, естественно, сосредоточивалась вначале на параметре энтропии, которая выделяет термодинамику из всех других методов рассмотрения явлений. Здесь научная мысль работала параллельно: в 1948 г. автор одновременно с К. Шенноном ввел понятие обобщенной безразмерной энтропии (К. Шеннон — для энтропии информации, автор — для энтропии броуновского движения).

В I главе монографии показывается, что эти выражения идентичны (и формально, и по своему смыслу), чем устанавливается связь между векторно-броуновскими процессами и процессами информационно-мыслительными. В той же главе приводятся наблюдения, сделанные в лаборатории автора относительно влияния энтропии информации на энтропию поведения (движения) живых объектов, обработанные методом теории векторно-броуновских процессов и теории информации. Показывается, что подвод информационной энтропии дезорганизует объекты, полностью

уничтожая векторизованность и увеличивая этим энтропию их поведения. Эта же глава подводит монографию к вопросам, важным для всего дальнейшего изложения: к понятиям обобщенной энтропии и обобщенной свободной энергии.

В главе II дается термодинамическое истолкование этих обобщенных параметров и устанавливается тождественность степени векторизации процесса со степенью его термодинамической обратимости. Здесь же выводится выражение для равновесия между векторными и броуновскими элементами процесса.

Отсюда следует, что полностью векторизованный процесс — в то же время процесс полностью обратимый, и поэтому оба они являются нереализуемыми с помощью любых молекулярных множеств. Этот вывод особенно существен потому, что процесс *логического мышления* является процессом вполне упорядоченным и, следовательно, нарушает запрет, налагаемый вторым началом и статистикой на возможность полной векторизации или полной обратимости процесса. Так как энергия является скалярной величиной, то для процессов направленного характера — процессов информации и мышления — ее использование представляет трудности.

Поэтому II глава в значительной мере посвящена векторной интерпретации термодинамических функций: свободной энергии, полной энергии и энтропии. При этом показано, что вектор, сопоставляемый со свободной энергией, является точно направленным по определенной оси, а аналогичный вектор для энтропии является полностью броунизированным в плоскости, перпендикулярной к вектору свободной энергии.

Первые две главы монографии по существу являются теоретическим введением ко всей монографии.

В III главе разбирается уже собственно термодинамика процесса информации с точки зрения возможности его осуществления с помощью молекулярных механизмов. Здесь методом классической термодинамики показывается, что молекулярное множество способно обеспечить процесс информации, и выводится уравнение для энтропии информации, которое Шеннон, как известно, принял по интуитивным соображениям и из-за удобства логарифмической функции.

Здесь же автором впервые анализируется особый вид не шенноновской стохастической информации, которая ставится в связь с парадоксом Гиббса. Если шенноновская информация является устойчивой в пределах той ячейки, в которой она заключена, то информация не шенноновского типа не обладает такой устойчивостью, видоизменяясь в результате макрофлюктуаций и, следовательно, зависит от времени наблюдения.

Парадокс Гиббса для емкостей, различаемых как информационные ячейки, уже перестает быть парадоксом, и распределение газа по таким ячейкам уменьшает его энтропию на величину энтропии информации, дающей определенные сведения о системе.

В IV главе автор приступает к термодинамике процесса мышления, которому посвящен ряд последующих глав монографии.

В них решается вопрос: возможно ли осуществление процесса мышления в его вполне однозначной силлогистической форме с помощью молекулярных механизмов мозга и дается отрицательный ответ: поскольку логический процесс и его результат (умозаключение) вполне упорядочены, т. е. безэнтروпийны, то, следовательно, молекулярный механизм мозга, создающий эту логическую продукцию, также должен находиться в безэнтропийном состоянии. Согласно теореме Нернста — Планка это невозможно для любого молекулярного множества при температуре выше абсолютного нуля, в том числе для молекулярных механизмов мозга. Дальнейший термодинамический анализ приводит к выводу, что организованное мышление не может протекать *без подвода отрицательной энтропии*, которая способна компенсировать неупорядоченное состояние решающих систем мозга.

После рассмотрения термодинамики процесса мышления от уровня задачи до уровня решения автор в главе VII разбирает *полный* термодинамический путь логической и информационной задачи, начиная от исходного материала, через постановку задачи и отбор нужного материала до решения задачи.

После этого анализа в той же главе ставится вопрос: каким образом мозг может образовывать безэнтропийные конструкции в виде логических суждений без компенсации этого процесса увеличением энтропии этой же системы в каком-то другом ее участке. В случае подобной компенсации, которая теоретически возможна, окажется, что мозг работает на *постоянном* среднем уровне всех своих термодинамических параметров: свободной энергии, полной энергии и энтропии. В связи с этим разбирается важный вопрос: какие же функции способен выполнять такой термодинамически *стабилизированный* мозг? Анализ приводит к выводу, что при этом в механизме мозга могут создаваться автоколебательные системы, переводящие свободную энергию в связанную (в энтропию) и обратно с некоторой подпиткой на небольшое рассеяние энергии в таких автоколебательных устройствах с достаточной добротностью, аналогично часовому маятнику, переводящему потенциальную энергию в кинетическую и обратно.

Такие автоколебательные устройства, естественно, будут обращаться в кругу повторяющихся состояний и, хотя их может образовываться в мозгу достаточно много, они все же не способны вывести сознание за пределы этого круга.

Автор приходит к выводу, что такая система совершенно не подходит для моделирования *человеческого сознания*, но она близко приближается в несколько огрубленном виде к психике животных, которые действительно не выходят из круга повторяющихся инстинктивных филогенетических действий и не обладают ни индивидуальным, ни видовым интеллектуальным прогрессом.

Поскольку такая компенсация безэнтропийности мыслитель-

ных операций для сознания человека является неприемлемой, единственный путь обеспечения возможности направленного, векторизованного движения человеческой мысли и психики следует искать в подводе *отрицательной энтропии*. Эта отрицательная энтропия компенсирует положительно-энтропийные действия мозга и, таким образом, позволяет совершать сознанию вполне упорядоченные действия.

В следующей VIII главе автор ставит весьма существенный для всей работы вопрос о *термодинамике символа*. Задача эта особенно существенна тем, что только при помощи практически безэнтропийной, точно отождествляемой символики человеческое сознание может кодировать свои результаты в таком виде, в каком они могут быть сохранены и *адекватно* восприняты другим человеческим сознанием и человеческим обществом. Без этого каждое индивидуальное сознание было бы замкнуто в самом себе, без возможности развития, обмена и коллективного мышления — науки.

Автор считает, что вследствие безэнтропийности символов они не могут находиться в фазовом μ -пространстве, так как в этом пространстве отсутствует закон тождества и даже изображения очень похожих символов не могут быть отождествлены друг с другом. Для этого требуется операция, которая, согласно А. А. Маркову, может быть названа «абстракцией отождествления». Она отвечает отображению символа, находящегося в μ -пространстве (например, на листе бумаги), в Ψ -пространстве человеческого сознания, где этот символ, несмотря на многие частные визуальные несходства (особенности почерка, шрифта и т. п.) может быть отождествлен с некоторым стандартом.

Общим принципом такого отождествления является расширение фазовой ячейки в Ψ -пространстве, в результате чего изображающие точки различных похожих, но не тождественных символов, оказываются в одной общей ячейке, что достаточно для уничтожения их энтропии, и они оказываются уже неразличимыми, т. е. отождествленными (в пределах принципа неопределенности). Подобная операция тоже не может быть самопроизвольна, и для этого как в термодинамике мышления, так и в термодинамике символа, которые теснейшим образом связаны друг с другом, необходим *подвод отрицательной энтропии в Ψ -пространство сознания*.

В монографии (гл. IX) дается только алгоритмическое истолкование отрицательной энтропии, но не раскрывается ее физическое содержание и ее источники, так как автор сейчас не может достаточно полно ответить на эти вопросы. Однако есть основания для уверенности, что это разрешимый вопрос и что решение его много даст для познания нашего мышления, происхождения жизни, ее поддержания, для борьбы со смертью нашей сомы и в первую очередь нашего мозга.

Термодинамика как решение вопроса о том, что может и что

не может произойти с некоторым корпускулярным множеством, это первый и необходимый этап при анализе поведения таких множеств. Эта монография не исчерпывает термодинамики процесса информации и мышления, но, думается, она отчетливо ставит эту проблему и доводит ее решение до определенных выводов.

Но завершение термодинамического анализа означает всегда лишь начало следующего этапа с многочисленными разветвлениями: кинетикой, катализом, элементарными процессами и т. д.

Это задача будущих исследований, но начало их уже заложено в заключительной главе X. В ней ставится вопрос: если атомно-молекулярная материя мозга не может обеспечить мышление, но выполняет для органов только нейрофизиологические функции в форме регуляторной и коммуникационной сети, то какая же форма материи способна к выполнению мыслительных операций, хотя бы в упрощенной до-логической форме, т. е. с малой, но конечной энтропией?

Термодинамика сильно вырожденного газа Ферми дает ответ: с помощью сверхлегких фермионных частиц с массой $\sim 10^{-7} m_e - 10^{-4} m_e$, т. е. $\sim 10^{-34} \text{ г} - 10^{-31} \text{ г}$.

Может быть нейтрино? По массе и по полуделому спину оно может подойти; но нейтрино практически не взаимодействует с веществом. Однако систематика элементарных частиц (см. [6] в гл. X) допускает существование целого спектра сверхлегких частиц, общие свойства которых описаны в последней главе. Они обладают сверхмалой плотностью и способны удволять многим нужным условиям, чтобы стать основой *физики мышления*. Их, конечно, не найдет биохимик или цитолог в нервных клетках, но рано или поздно они должны быть обнаружены, как теперь обнаруживается нейтрино, долгое время бывшее совершенно неуловимым.

Мы живем в нейтринной Вселенной, но было бы неправдоподобно, если бы нейтрино была *единственная* сверхлегкая¹, практически неуловимая частица. Мыслящий человеческий мозг и его сознание — это системы не меньшего ранга (разумеется, не в смысле размеров) по значимости и загадочности, чем галактики. Вполне правомерно, если в этой «субгалактике» встретятся новые частицы, а вместе с ними тесное соприкосновение механизма мышления с процессами в «вакууме».

Было бы невероятно, если бы там не было ничего, кроме набора элементов средней массы, занимающих в основном верхнюю часть таблицы Д. И. Менделеева, с добавкой некоторых металлов в виде микроэлементов.

Презумпцией для всех идей создания искусственного мыслящего мозга является *достаточность* для этого существующих материалов; основная задача заключается только в создании *нужной схемы*.

¹ Возможно, даже с нулевой массой покоя.

Вывод из монографии иной: коммуникационная схема сама по себе не может создать механизм, подобный мыслящему мозгу, так как для этого необходимо ввести в любую схему особые сверхлегкие частицы. Возможно ли это? Существует ли для этого полная алгоритмируемая процедура или же сознание — это явление искусственно неповторимое, и здесь необходим процесс эволюции с заключительным «мутационным взрывом»?

Теперь взглянем на информацию и мышление с другой стороны (со стороны их роли для человека в современном мире) в порядке общего обсуждения проблемы.

На протяжении всей монографии проводилась и аргументировалась мысль, что информация — это значительно более низкий уровень мыслительной деятельности, чем дискурсивная логическая деятельность сознания. Не думаю, чтобы кто-нибудь стал это оспаривать. Однако сейчас есть тенденция устранить само понятие *мышление*, заменив его *переработкой информации*. Это нарушает естественное разграничение между информацией и разными формами мышления. Например, сортировка аннотированных карточек по алфавиту есть переработка информации, но не мышление, это — работа для машины. Сортировка же их по содержанию (по областям науки, по смыслу выводов и т. п.) — уже операция сознания, мышление. Нельзя одно заменить другим: информация дает посылки для суждений, сознание преобразует их в логические выводы, в вероятностные суждения, в гипотезы, нередко в недоуменные вопросы. Но информация бывает привлекательна сама по себе — здесь уже начинается область личных склонностей и оценок.

В монографии анализ информации и мышления был проведен с чисто научных позиций.

Следующий небольшой заключительный раздел является не анализом информации, а ее общим комментарием. Читатель может его опустить — это не повредит книге в целом. Но думается, что такой комментарий может быть полезен для лучшего понимания места информации и мышления в нашей жизни.

Информация и мышление всегда составляли необходимый комплекс человеческой психики, но отношение их весов непрерывно изменялось: в группе предгоминид информация главным образом в виде соматических сигналов, чрезвычайно сильно перевешивала мышление. При появлении *Homo sapiens* мышление начало теснить информацию, и сама информация стала кардинально меняться, все более приобретая символический — языковой и графический характер.

Эллинская культура дала невиданный подъем мышления, информация же мало изменилась по своим средствам: непосредственное личное общение, слабый обмен корреспонденций на небольшие расстояния, и это почти все. На протяжении около 2,5 тысячелетий средства обмена информацией остаются почти

на постоянном уровне, и только книгопечатание существенно упростило и расширило информационно-мыслительный обмен. Появление прессы дало уже мощный толчок увеличению массовости и доступности информации.

Последнее столетие (с половины XIX в. до нашего времени) принесло изобретение телеграфа, телефона, радио, телевидения, развитие пароходного, железнодорожного и воздушного транспорта и выдвинуло информацию в число определяющих факторов общественной жизни. Пресса, радио, телевидение стали особой «державой мира». Информация сейчас явно теснит мышление. Наш век, устами Н. Винера, уже прямо получил название «Века связи и информации».

Информацию можно оценивать не только в битах, но и более наглядно — в числе средств информации.

Вот статистика на 1964—1965 гг. [1]: во всем мире на 3,2 млрд. людей приходилось 450 млн. установленных радиоприемников, не считая портативных транзисторных, 144 млн. телевизоров, 143 млн. телефонов, 180 тыс. киноустановок. Разовый тираж газет составил 245 млн., годовое количество почтовых отправлений 130 млрд., количество телеграмм около 500 млн. На фоне этих огромных цифр годовая книжная продукция в 196 тыс. названий выглядит довольно скромно.

Таким образом, сейчас существует больше миллиарда постоянно действующих источников информации. При этом из них только около 15% падает на двустороннюю телефонную связь, остальные источники информации: радио, телевидение, печать — односторонние виды связи. Мы воспринимаем через них информацию, но не в состоянии на нее ответить, мы вынуждены переживать ее сами, в лучшем случае поделившись с кем-нибудь, но у нас нет возможности провести диалог (или хотя бы поплодировать артисту на экране телевизора). Эта односторонность информации не может не действовать на психику современного человека, видоизменяя эмоциональные реакции, отучая от диалога, от сосредоточенности и размышления.

Колоссально возросло также производство научной информации. В своей книге [2] М. А. Блох насчитал за 2500 лет (до 1900 г.) всего несколько тысяч научных работ, открытий и изобретений в химии и смежных областях. Сейчас по химии выходит в год более 30 тыс. статей, т. е. примерно в 10 раз больше, чем за все предшествующие тысячелетия.

Нужно помнить, что информация — это статистическое понятие и по самому своему смыслу не обладает заведомой достоверностью. Поэтому огромный поток информации, который обрушивается на людей, неизбежно противоречив. Часто это не информация, а дезинформация.

Так как информация в противоположность суждению может не иметь достаточного основания, то оценить ее достоверность

путем чисто мыслительного анализа представляется часто практически невозможным. Люди вынуждены доверять или не доверять ей, довольствоваться дилетантскими обсуждениями, мнениями комментаторов, слухами и т. д.

Избыточность вместе с непроверяемостью информации способны превратить ее в один из сильных факторов дезорганизации мышления. Это усугубляется легкостью производства, распространения и дешевизной информации, ее доступностью и возможностью чисто пассивного восприятия. Отсюда — много людей, которые в свободное время смотрят телевизоры и слушают радио. Сейчас наибольший интерес и распространенность представляет обмен не мыслями, не суждениями, а информацией. Это широкое явление. Но никакие сожаления на эту тему не изменят того, что развитие информации есть неизбежный ход вещей, такой же, как развитие промышленности, автотранспорта, роста городов. Каждый шаг цивилизации несет свои вредные последствия: выхлопные газы, радиоактивные осадки, загрязнение водоемов. Однако это более решимые задачи, чем те отрицательные эффекты, которые несет с собой колоссальное нарастание информации. Если можно очистить воду рек, опреснить морскую воду, перейти на автотранспорт без выхлопных газов, то пока нет никакого разумного рецепта как-то регулировать информацию, кроме выработки у людей способности к такой саморегуляции. По-видимому, нет опасности того, что информация может просто заполнить клетки головного мозга. Информационная емкость 10 млрд. клеток коры мозга для этого достаточно велика. Здесь вопрос не вместимости, а переработки информации и затраты на это рабочего времени мозга.

Дело также в том, что восприятие и выдача информации значительно легче мышления, она проще, доступней и часто увлекательней.

Мышление, творчество, наука, искусство и т. д. — не только потребители отрицательной энтропии, но и в то же время ее источники. Информация — один из важных факторов, способных избирательно действовать в сторону повышения общей энтропии организма, в том числе мозга и сознания, а это требует расхода отрицательной энтропии для восстановления их нормального состояния.

Информация, конечно, никогда не составит конкуренции мышлению, идеям, при открытии новых путей человечеству в науке, технике, в организации общества.

В этом отношении мышление ничем не заменимо. Но было бы тяжелым ущербом для человечества, если бы мышление стало привилегией узкой профессиональной группы — некоторой элиты, а масса людей отказалась бы от мыслительной работы и мыслительного обмена ради насыщения (и даже наслаждения) информацией.

Для многих информация — это особый вид «гедонизма», за

который человек расплачивается высшими этажами своей психики. Но здесь имеется и другая сторона: на современного человека обрушивается, помимо информации, мощный поток положительной биологической энтропии. Различные болезни и прежде всего болезни дегенеративного характера, связанные с видоизменением и старением клеток или с потерей ими своей естественной организации и превращением в необузданно размножающиеся биологические образования — все это различные формы энтропии. Около 70% людей гибнет в развитых странах от подобных «энтропийных» заболеваний.

Одним из главных факторов увеличения биологической энтропии организма являются вирусы, которые разрушают РНК и ДНК клеток, подменяя их. Вирус действует только при проникновении в клетку, причем эти пути многообразны, включая нервную сеть (глазной, тройничный нерв и др.). Патология клеток, в которые проник вирус, варьирует от их временного усиленного, но ограниченного размножения — пролиферации, которая заканчивается выздоровлением или простой гибелью ограниченного числа клеток, до столь сильной дезорганизации клеток, что они уже не поддаются регуляции и начинают неудержимо и неорганизованно размножаться — анаплазия, раковое перерождение органа.

В одной из наших работ по кинетике и термодинамике размножения показано, что именно те клетки, в которых возникает повышенная энтропия информации, проявляют склонность к повышенному неорганизованному, практически неудержимому размножению [3].

Пока еще неизвестно, как действует поток информации на подобного рода процессы — здесь может быть действие обоих знаков.

В главе I было показано, что поведение (движение планарии *Dugesia*) сильно дезорганизуется подводом информации со значительной энтропией. Это же может происходить не только с движением как таковым, но и с другими функциями организма. Поэтому самостоятельным вопросом (он, конечно, выходит за рамки нашей работы и может быть решен только на основе специальных исследований) является вопрос о том, как действует информация на жизнь организма в целом и на его клеточную структуру. Тут нужно отметить одно многозначительное совпадение, может быть, случайное, а возможно, имеющее внутреннюю связь. Именно за несколько последних десятилетий возникло так называемое явление акселерации, т. е. ускорение роста организма, ускорение полового созревания людей, увеличение их роста и прочих показателей их зрелости. Сущность и причины этого явления не раскрыты, но не лежат ли они в той насыщенности информацией, которую получает современный человек с двух-трех-летнего возраста в виде радио, телевидения и проч.? А там, где

имеется ускоренное развитие, там может быть и аномальное развитие.

Поэтому информацию мы должны представлять не только как фактор научный, психологический, общественный, социальный, но и как *фактор биологический*. Ни в коем случае нельзя сказать, чтобы информация вообще отрицательно действовала на психику и соматическое состояние человека. Человеку неестественно и, вероятно, невозможно жить без информации. Но должна существовать (с естественными индивидуальными отклонениями) некоторая *нормальная* «терапевтическая» доза информации, которую каждому небезопасно переступить в отношении психики, а вероятно, и сомы.

Из сказанного, во всяком случае, не следует делать вывод, что информация является отягощающим бременем для человека. Это — *необходимая компонента его жизни*. Но поскольку мы научились создавать ее искусственно в колоссальных количествах, то нам же следует подумать о рациональной автодозировке этого мощного средства.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Страны социализма и капитализма в цифрах», изд. 2. М., Полигиздат, 1966.
2. Блох М. А. Хронология важнейших событий в области химии. М., Госхимиздат, 1940.
3. Кобозев Н. И. ЖФХ, 36, 21, 32, 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава I. Теория векторно-броуновских процессов и ее связь с термодинамикой информации и мышления	9
Равновесие векторно-броуновских элементов явления	10
Объем состояния и обобщенная энтропия явления	15
Изоэнергетичность процесса векторизации в Ψ -поле	19
Энтропия информации и энтропия поведения	20
Роль векторной и броуновской компонент явления	29
Изоморфизм векторно-броуновских процессов	31
Глава II. Обобщение принципов термодинамики	36
Об обратимости термодинамических процессов	36
Векторное преобразование термодинамических функций	43
Векторное изображение термодинамических функций	45
Формы векторизации энергии	54
Глава III. Термодинамика процесса информации	63
Общая термодинамика информации	66
Первая термодинамическая модель информации	70
Вторая термодинамическая модель информации	74
Типы информационных систем	76
Термодинамика не шенноновской информации и парадокс Гиббса	79
Глава IV. Термодинамика процесса мышления на молекулярном уровне	85
Глава V. Молекулярно-системные процессы и типы их отображения	105
Глава VI. Термодинамика процесса мышления на молекулярно-системном уровне	116
Глава VII. Полный термодинамический путь процесса информации и мышления	127
Постановка задачи	127
Термодинамический путь информации	136
Термодинамический путь мышления	138
Об интуиции	141
Характер работы мозга и сознания на постоянном термодинамическом уровне	142
Глава VIII. Термодинамика символа	148
Глава IX. Об алгоритмическом истолковании отрицательной энтропии (антиэнтропии)	160
Глава X (дополнительная). О «физике мышления»	173
Заключение	185

Николай Ивалович Кобозев

ИССЛЕДОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ТЕРМОДИНАМИКИ
ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИИ И МЫШЛЕНИЯ

Тематический план 1970 г. № 123

Редактор *Л. Н. Лукиных*

Переплет художника *Н. Ф. Зыкова*

Технический редактор *Г. И. Георгиева*

Корректоры *А. С. Аполчина, Н. Я. Корнеева*

Сдано в набор 7.X 1970 г.

Подписано к печати 27.IV 1971 г.

Л-115169

Формат 60×90^{1/16}

Бумага тип. № 1

Физ. печ. л. 12.25

Уч. изд. л. 13.50

Изд. № 1119

Зак. 918

Тираж 2 500

Цена 1 р. 39 к.

Издательство Московского университета

Москва, ул. Герцена, д. 5/7.

Типография Изд-ва МГУ. Москва, Ленинские горы.