ГЛАВА IV

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 посылок[1]. В этом смысле всякое логическое суждение, взятое на стадии решения, есть самопроизвольный процесс и может быть определено как «самрешаемая 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. Заключающееся 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

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

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

где $\Delta\varphi$ — падение свободной энергии при акте информации или дискурсии [1].

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 (1а)) повышением свободной энергии информации и отсюда ее неустойчивости, ее приходится сохранять в специальных противоэнтропийных 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 информация ($x_1, x_2, x_3, \ldots, x_Z$), 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 $p_1, p_2, \ldots, p_Z$, меньшими единицы и с суммарной вероятностью $P = \sum_1^Z p_i = 1$.

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.

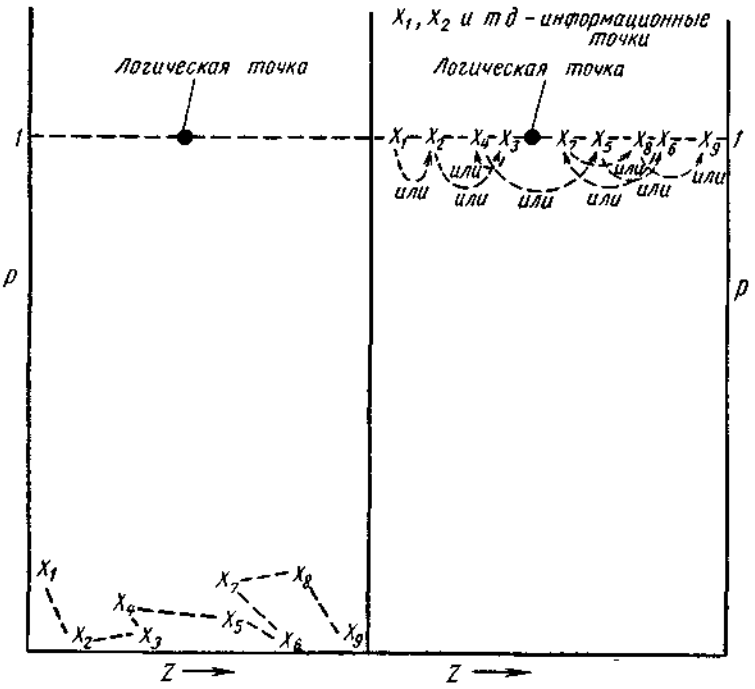

Рис. 19

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 (I — — — I); 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 «химического» превращения всех N шансов Z сортов в один k-тый сорт, что может быть записано в виде

$$n_1x_1 + n_2x_2 + \ldots + n_kx_k + \ldots + n_Zx_Z = Nx_k + \Delta F^0, \qquad (IV.2)$$

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)

$$p_1 = \frac{n_1}{N};\ p_2 = \frac{n_2}{N};\ \ldots;\ p_Z = \frac{n_Z}{N}. \qquad (IV.3)$$

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 *несамопроизвольность* информационного процесса («несаморешаемость») и отсюда термодинамическая неустойчивость информации. Поэтому ее самопроизвольное изменение может приводить только к уравниванию вероятностей различных исходов $\left(p_1 \to p_2 \to \ldots \to p_Z \to \frac{1}{Z}\right)$ 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 $p_k \to 1$ и $\sum_1^{Z-1} p_{i(\text{кроме } k\text{-того})} \to 0$. 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 повторимости (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

$$p_k = 1 \text{ и } H_{k\,(\text{симв})} = 0. \qquad \text{(IV.4)}$$

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 отлично от (4).

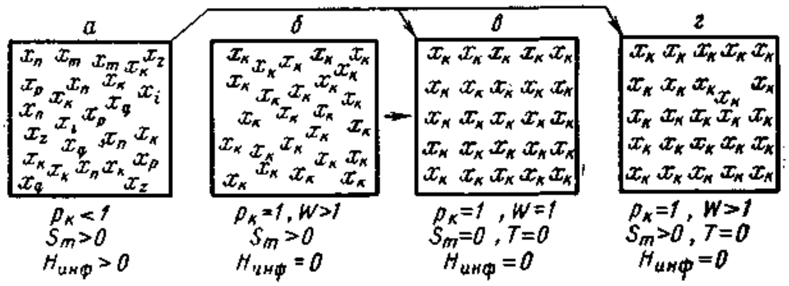

Рис. 20. Молекулярная модель процесса мышления

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

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

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

В условиях (4) и (4а) 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 (4а), квадрат *в* на рис. 20).

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

Согласно теореме Нернста — Планка для молекулярных систем условие (4а) *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 форме[1].

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 умещаются 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

$$\varphi_\Sigma = \sum_1^Z \frac{n_i}{N} \log \frac{n_i}{N} + \log P + \sum_1^Z \frac{n_i}{N} (\varepsilon_i - H^0) =$$

$$= \sum_1^Z p_i \log p_i + \log P + \sum_1^Z p_i (\varepsilon_i - H_i^0), \qquad \text{(IV.5)}$$

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

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

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

$$\varepsilon_\Sigma = \sum_1^Z p_i \varepsilon_i \qquad \text{(IV.6б)}$$

и отсюда

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

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

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

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

$$H_k = H_k^0 - \log P. \qquad \text{(IV.7б)}$$

Стандартные величины свободных энергий в данном случае будут отвечать $P = 1$ и $T = 1°$ К. 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

$$\sum_1^z \frac{n_i}{N}(\varepsilon_i - H_i) = \bar{\varepsilon} - \overline{H^0}. \qquad \text{(IV.8)}$$

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

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \ldots = \varepsilon_Z,$$

$$\overline{H^0} = H_1^0 = H_2^0 = \ldots = H_Z^0.$$

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

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

Тогда затрата работы и соответствующее падение энтропии при переводе смеси N изоэнергетических, но различимых частиц[1] в набор N *вполне одинаковых* k-частиц и получение однозначного исхода для систем выразят *термодинамические уравнения информации*

$$I^0 = \varphi_\Sigma - \varphi_k = \sum_1^Z p_i \log p_i = I_{\text{Вин}} < 0, \qquad \text{(IV.10а)}$$

$$\Delta H = H_\Sigma - H_k = -\sum_1^Z p_i \log p_i = H_{\text{Шенн}} > 0. \qquad \text{(IV.10б)}$$

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 лево-винтовых) 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

$$L = \sum_1^Z p_i \log p_i + [\sum_1^Z p_i (\varepsilon_i - H_i^0) - (\varepsilon_k - H_k^0)], \qquad (IV.11)$$

$$G = -\sum_1^Z p_i \log p_i + [\sum_1^Z p_i H_i^0 - H_k^0]. \qquad (IV.12)$$

Так как

$$\sum_1^Z p_i (\varepsilon_i - H_i^0) = \bar{\varepsilon} - \bar{H}^0 = \bar{\varphi}^0 \qquad (IV.13)$$

средняя величина стандартной свободной энергии 1 *моля* частиц в смеси различных «частиц-шансов», а $\sum_1^Z p_i H_i^0 = \bar{H}^0$ — средняя энтропия 1 *моля* частиц в этой же смеси, то получим соотношения для L и G, выражающие *термодинамические уравнения мышления (решения)*

работа решения $L = \sum_1^Z p_i \log p_i + (\bar{\varphi}^0 - \varphi_k^0) = I_{\text{Вин}} + \Delta\varphi^0$, (IV.14а)

энтропия решения $G = -\sum_1^Z p_i \log p_i + (\bar{H}^0 - H_k^0) = H_{\text{Шенн}} + \Delta H^0$, (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

$$\sum_1^Z p_i \log p_i = 0; \; \bar{H}^0 = H_k^0; \quad \bar{\varphi}^0 = \varphi_k^0; \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_k. \tag{IV.15}$$

Откуда

$$\Delta H^0 = 0; \quad \Delta\varphi^0 = 0 \tag{IV.16}$$

и, следовательно,

$$L = 0; \quad G = 0; \quad \Delta\varepsilon = 0 \tag{IV.17}$$

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 $k^* \to k + \Delta\varepsilon$, или что исходные частицы переходят в k-частицы путем взаимодействия друг с другом, например, $A + B \to 2k + 2\Delta\varepsilon$. 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 исходной 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 $\sum_1^Z p_i \log p_i$, 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

$$\Delta\varphi^0 = 0, \quad \Delta H^0 = 0. \tag{IV.18}$$

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

$$I < \Delta\varphi^0 > 0. \tag{IV.19}$$

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

$$\left.\begin{array}{c} (\bar{\varphi}^0 - \varphi_1^0) \\ (\bar{\varphi}^0 - \varphi_2^0) \\ \cdots\cdots\cdots \\ (\bar{\varphi}^0 - \varphi_Z^0) \end{array}\right\}_{\text{кроме } k\text{-того}} \ll (\bar{\varphi}^0 - \varphi_k^0) = \Delta\varphi^0 \tag{IV.20а}$$

или в пределе

$$(\bar{\varphi}^0 - \varphi_k^0) - \sum_1^{Z-1} (\bar{\varphi}^0 - \varphi_i^0)_{\text{кроме } k\text{-того}} \to \infty. \tag{IV.20б}$$

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 $p_1, p_2, \ldots, p_Z$ 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 $H_{\text{Шенн}}$ 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 $C_1 = C_2 = \ldots = C_Z = 1$) в некоторый k-тый сорт (при конечной концентрации $C_k = 1$), как обычный химический процесс при температуре T. При написанных условиях

$$\frac{1}{N}\log K = -\frac{\sum_1^Z n_i \Delta\varphi_i^0}{N} = -\overline{\Delta\varphi^0}, \qquad \text{(IV.21)}$$

здесь K — константа равновесия между k-тым сортом и всеми остальными, отвечающая процессу (2), который можно записать также в виде

$$\frac{1}{N}(n_1 x_1 + n_2 x_2 + \ldots + n_Z x_Z) \rightleftarrows x_k; \qquad (IV.22)$$

$\Delta\varphi_i^0$ — 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

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

где $\overline{n}_k$ — 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 $H_k = 0$.

Это значит, что формально-логическое мышление несовместимо с термодинамикой и статистикой *молекулярных* систем, для которых не существует устойчивых динамических равновесий, полностью смещенных в одну сторону, и состояний, 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

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

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: $T = 0$; $p_k = 1$; $H_k = 0$ 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 полуцелым 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 асинтаксичности 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, выражаемой *уравнениями мышления*

работа суждения (решения) $L = \sum_1^z p_i \log p_i + \Delta\varphi^0 = I_{\text{Вин}} + \Delta\varphi^0 > 0$,

энтропия суждения (решения)

$$G = \sum_1^z p_i \log p_i + \Delta H^0 = H_{\text{Шенн}} + \Delta H^0 > 0.$$

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

$$\text{работа информации } I = \sum_1^z p_i \log p_i < 0,$$

$$\text{энтропия информации } H_{\text{Шенн}} = -\sum_1^z p_i \log p_i > 0.$$

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. Hadan, Tompson, Ashkhasi. «Proc. Nation. Acad. of Science USA», 48, 1366, 1962.
3. Эшби У. Конструкция мозга. М., ИЛ, 1963