

## ГЛАВА VI

### 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 множества<sup>1</sup> упорядочно-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 ( $\eta=0$ ). Основной принцип 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  $N_{\text{хаот}}$ .

<sup>1</sup> 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.

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

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

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

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 ( $0 < \eta < 1$ ):

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

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

Аналогично для мыслительной продукции

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

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

Безразмерные значения свободной энергии и энтропии  $\underline{\varphi}$  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

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

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

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

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

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

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

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

То же относится и к мыслительной продукции

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

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  $\underline{H}$  и  $\underline{H}$ , отвечающих упорядоченной операции и упорядоченной продукции ( $0 < \eta < 1$ )

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

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

$$\Phi_{\text{опер}} \geq \Phi_{\text{прод}} \quad (\text{VI.13})$$

(Здесь и далее будет идти речь об упорядоченной операции и продукции и поэтому индексы при  $\Phi$  и  $H$  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))

$$\Phi_{\text{опер}} > \Phi_{\text{прод}} \quad ? \quad (\text{VI.14})$$

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

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

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

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

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

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

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 опечаток, 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

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

Причем, как было показано для однозначного логического мышления.

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

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

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 тривиальности<sup>1</sup>.

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

---

<sup>1</sup> 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))

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

где  $|\tilde{S}|$  — 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 *понижить*, 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 акты<sup>1</sup>. 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.

<sup>1</sup> 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 отрицательной 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 сблизости в ней взаимно однозначное соответствие<sup>1</sup> 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 удастся 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 способна 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 машиной антиэнтропии*. Согласно анализу, проведенному в гл. III, путем высокой степени макроскопичности механизма  $\gamma_M$  и понижения его макроэнтропии  $S_M$  возможно создать механизм с малой систем-

<sup>1</sup> 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  $\gamma_M$ ,  $S_M$ ,  $S_{in}$ , 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 равномогущих 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.

Безэнтропность, т. е. практически неограниченная и точная повторяемость результатов, например, работы цифровых механических или электронных счетных машин, определяется символической цифровой записью полученных результатов, допускающей ее безэнтропное восприятие человеком или соответствующим прибором. В форме символического кода (цифр, букв и т. п.) человек передает машинам этого типа свою способность к безэнтропному 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 безэнтропность 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 безэнтропную 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 Клаузуса». 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.