

ГЛАВА IX

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 незакономерным 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 комплексий 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 комплексий, 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) примем 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 большинской 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 незнергетические 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 тождественно равной самой термодинамической вероятности: $e^{S/k} = e^{-k} = W$ (в этих уравнениях энтропия входит с размерностью k).

² Этот постулат получил свое развитие в эргодной и соответственно квази-эргодной 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, следя 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 — Клайперона, 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 $U_{\text{газ}}$, 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 осуществляться 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. Необходимость 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 «апериодический кристалл», и в клетках в целом.

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

высшей 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 вместилища 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

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

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

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

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

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

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 оригиналам. 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 большое, 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 несуществования. Но история закона сохранения энергии наглядно показывает, что упорное ненахождение нужной процедуры (в данном случае для осуществления перпетуум-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. Опарин, 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 выраженным* 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 ($\sim 70\%$) 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 «пытаться 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 нашупывание этих возможностей.

Следовательно, положительная энтропия ($S > 0$) — это частичный или полный беспорядок; нулевая энтропия ($S = 0$) — полный порядок; потенциальная отрицательная энтропия ($S < 0$) — 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

$$\begin{aligned} \text{положительная энтропия } S^0 &= \ln W \quad (W > 1), \\ \text{отрицательная энтропия } \check{S}^0 &= \ln W \quad (W < 1). \end{aligned} \quad (\text{IX.8})$$

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

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

В результате такой осцилляции (или суперпозиции этих уровней) живая система занимает некоторый средний биологический уровень энтропии $S_{\text{биол.}}^0$, 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 говорят 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 искусственноому 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 дает основание обобщить этот вывод на процесс возникновения жизни (см. виже 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 Нернста—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 Нернста—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 Нернста $\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0$ на абсолютное значение энтропии.

В главе II и работе [5] дается вывод теоремы Нернста—Планка, исходя из равновесия векторно-брюновских 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 лишенную 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 упорядченных 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 неопределенен. 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-брюновского 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

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

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

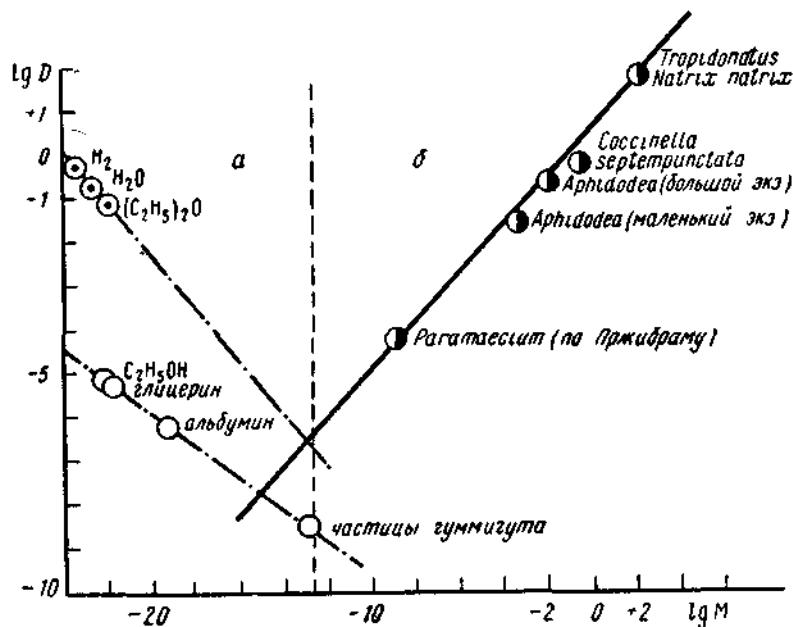


Рис. 26
а — отрицательный эффект массы при диффузии «мертвого вещества»
(газов, растворов, суспензий);
б — положительный эффект массы при диффузии живых организмов

Рост коэффициента диффузии с массой организма обусловливается одновременно увеличением скорости движения и длины свободного пробега $D = \frac{\pi \lambda}{4}$. Величина коэффициента диффузии определяется 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 мертвоте материи, оно не определяет, где кончается область живой материи.

Согласно графику на рис. 26 «область живого» может распространяться до объектов с массой $10^{-13} \div 10^{-14}$ 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 «чечто» 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 эквивалентна существованию полного алгоритма в виде кодируемого предписания операций, выражающей 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 не 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 malade. Edition Victor Attlinger, 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.