

## ИНФОРМАЦИЯ В ТЕРМОДИНАМИКЕ И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ ВТОРОГО РОДА

В. И. СЛЕСАРЕВ

*В. И. Слесарев* – Заслуженный работник высшей школы РФ, д.х.н., профессор Международного Университета Фундаментального Образования, СПб. [valivsles@yandex.ru](mailto:valivsles@yandex.ru); моб. +7-921-982-04-58

*Slesarev V. I.* – Honoured Worker of RF Higher School, Doctor of Chemistry, Professor of International University of Fundamental Studies.

*Закон сохранения и превращения энергии* – фундаментальный закон нашего материального мира и первое начало термодинамики. Однако, что такое *энергия*? Четкого определения этого термина практически нет. Еще великий Пуанкаре заметил: «Мы не можем сказать об энергии ничего сверх того, что существует нечто, остающееся неизменным». В XXI веке Нобелевский лауреат Р. Фейнман в своих знаменитых лекциях по физике пишет: «Важно понимать, что физике сегодняшнего дня неизвестно, что такое энергия» [24]. В данной статье энергия рассматривается как функция *интенсивности* различных форм движения во всех видах материи, включая как перемещение ее частиц, так и их взаимодействие между собой.

Термодинамика главное внимание уделяет функции общая внутренняя энергия системы ( $U_{\text{общ}}$ ), значение которой нельзя измерить экспериментально [2, 3, 8, 9, 19 – 22]. В то же время обмен энергиями при взаимодействии систем между собой или с окружающей средой, происходящий в виде теплоты ( $Q$ ) и работы ( $A$ ) измеряется экспериментально. Определяемые энергетические характеристики энергообмена ( $Q$  и  $A$ ) описывают процессы данных взаимодействий, но не систем [2, 3, 8, 9, 19 – 22, 27]. Согласно принятой в термодинамике системе знаков, энергия, поступающая в систему, всегда считается положительной. Поэтому теплота, поступающая в систему, положительна ( $+Q$ ), так как энергия системы при этом возрастает, а работа, совершаемая системой против внешних сил, считается отрицательной ( $-A$ ), поскольку энергия системы при этом уменьшается. В соответствии с первым началом термодинамики в закрытой системе изменение ее общей внутренней энергии ( $\Delta U_{\text{общ}}$ ) при процессе равно разности между поступающей в нее теплотой ( $Q$ ) и совершаемой при этом системой работой ( $A$ ) против внешнего воздействия и выражается уравнением, учитывающим принятую систему знаков для  $Q$  и  $A$  :

$$\Delta U_{\text{общ}} = Q - A, \quad (01)$$

При этом теплота ( $Q$ ) – энергетическая мера изменения хаотических форм движения, а работа ( $A$ ) – энергетическая мера изменения всех видов организованных форм движения в процессе взаимодействия системы с окружающей средой [2, 3, 8, 9, 19 – 22, 27].

Основная черта *хаотического движения* в системе, т.е. ее *динамической хаотичности*, состоит в отсутствии в течение некоторого интервала времени, даже длительного, закономерности и согласованности между перемещениями всех частиц системы, имеющих случайный характер.

В термодинамике теплота процесса, по предложению Г. Гельмгольца, характеризуется изменением *связанной внутренней энергии* ( $\Delta U_{\text{связ}}$ ), так как она связана с изменением хаотической (тепловой) формы энергии, которую непосредственно нельзя превратить в работу.

$$Q = \Delta U_{\text{связ}} = T\Delta S, \quad (02)$$

где  $\Delta S$  – изменение *энтропии*.

Энтропия ( $S$ ), была введена в 1865 году одним из основоположников термодинамики Р. Клаузиусом [2, 3, 8, 9, 19–22]. Для вычисления изменения этой новой термодинамической функции состояния системы ( $\Delta S$ ) при обратимом изотермическом процессе с позиции подведенной при этом теплоты, необходимой для достижения состояния равновесия ( $Q$ ), он предложил известную формулу, в которой  $Q$  согласно уравнению (02) можно заменить на  $\Delta U_{\text{связ}}$ :

$$\Delta S = Q/T = \Delta U_{\text{связ}}/T \quad (03)$$

Согласно уравнению (03) термодинамическая единица энтропии (Дж/моль·К) равна изменению в изотермическом процессе связанной внутренней энергией системы, приходящейся на один градус Кельвина. Значение энтропии, как функции состояния системы, не зависит от того, каким путем система оказалась в данном состоянии, а её изменение ( $\Delta S$ ) в результате процесса численно равно разности значений энтропии системы в конечном ( $S_{\text{кон}}$ ) и начальном ( $S_{\text{нач}}$ ) состояниях:

$$\Delta S = S_{\text{кон}} - S_{\text{нач}}$$

Возрастание энтропии в процессе характеризует увеличение динамичной хаотичности и необратимо рассеянную при этом ее внутреннюю энергию, т. е. ее диссипацию [2, 3, 8, 9, 18 – 22]. Поскольку понятие *динамичная хаотичность* относится к системе с множеством частиц, то для количественной ее оценки требуется статистический подход.

Впервые статистический подход к энтропии предложил Л. Больцман в 1872 г. в своем знаменитом уравнении для вычисления энтропии микросостояния ( $s$ ) [2,3,8,9,19 – 22]:

$$s = k \cdot \ln W \text{ (Дж} \cdot \text{К}^{-1}) \quad (04)$$

где  $k$  – постоянная Л. Больцмана ( $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж·К<sup>-1</sup>);  $W$  – термодинамическая вероятность реализации данного состояния системы, пропорциональная числу всех возможных микросостояний, которыми может быть реализовано данное макросостояние системы. Для сложных систем эта величина очень большая:  $0 \leq W < \infty$ .

Для вычисления значения молярной энтропии ( $S$ ) умножаем и левую, и правую части уравнения (04) на число Авогадро ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>):

$$s \cdot N_A = S = k \cdot N_A \cdot \ln W = R \cdot \ln W, \quad \text{т. е.} \quad S = R \cdot \ln W \text{ (Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}), \quad (05)$$

где  $s \cdot N_A = S$  – молярная энтропия, относящаяся к 1 моль вещества, а  $k \cdot N_A = R = 8,3145$  Дж·моль<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> – универсальная молярная газовая постоянная.

Таким образом, в термодинамике энтропия<sup>1</sup> ( $S$ ) – статистическая функция состояния системы, характеризующая её общую динамичную хаотичность. Энергия общей динамичной хаотичности, т.е.  $U_{\text{связ}}$ , в основном определяется кинетической энергией хаотического движения частиц в системе, включая их тепловое движение. Поскольку термодинамика зародилась для объяснения тепловых процессов, то основное внимание уделялось связанной внутренней энергии системы ( $U_{\text{связ}}$ ) и статистической функции энтропии ( $S$ ). В то же время любая система и любое движение, кроме динамичной хаотичности, всегда имеет ту или иную *динамичную организованность*. Впервые на это обратил внимание Л. Больцман, предложив понятие *негэнтропия*, т. е. *отрицательная энтропия*. По Л. Больцману, отрицательная энтропия Солнца необходима для уменьшения энтропии Земли, чтобы поддерживать ее организованности [2, 8, 20]. Особенно это стало важно, когда термодинамику стали применять к живым системам, в которых при их жизни организованность всегда превышает хаотичность. В 1943 году Э. Шредингер активно поддержал понятие *негэнтропия* для описания живых систем, сформулировав очень важный тезис: «Жизнь – это борьба с энтропией» [26]. Понятие *негэнтропия* не надо понимать как функцию состояния, характеризующую ее организованность, а как величину, понижающую энтропию системы.

В 1948 году К. Шеннон вводит термин *информационная энтропия* ( $H$ ) – мера неопределенности источника сообщений, определяемая вероятностями появления тех или иных символов при их передаче. Эта характеристика используется в теориях кибернетики и информатики [25, 28], но она не является термодинамической функцией состояния системы. Негэнтропийный принцип информационной энтропии четко подметил Л. Бриллюэн [3] и сформулировал очень важный *принцип сопряжения*: «Количество накопленной и сохраненной в структуре системы упорядоченности (организованности, авт.) равно уменьшению ее энтропии (хаотичности, авт.).»

Для характеристики общей динамичной организованности системы, то есть организованного движения ее частиц, не надо искать и вводить новую величину, так как в термодинамике есть такая функция состояния, но она не в явной форме, это – *свободная внутренняя энергия* системы ( $U_{\text{своб}}$ ). Изменение этой функции ( $\Delta U_{\text{своб}}$ ) в процессе, согласно законам термодинамики, характеризует работу ( $A$ ), выполняемую системой при данном процессе.

$$\Delta U_{\text{общ}} = Q - A = \Delta U_{\text{связ}} - \Delta U_{\text{своб}}, \quad (06)$$

где  $Q = \Delta U_{\text{связ}}$ , а  $A = \Delta U_{\text{своб}}$ .

Работа – энергетическая мера изменения всех организованных форм движения частиц в процессе взаимодействия системы с окружающей средой [20 – 22]. Организованное движение частиц в системе характеризуется наличием различных видов упорядоченности и закономерности как во взаимодействии и расположении ее частиц, так и в их согласованном переме-

<sup>1</sup> Понятие «энтропия» используется не только в термодинамике, но и в кибернетике, информатике, математике, лингвистике и даже для характеристики интеллектуальности, при этом смысл энтропии в каждом случае уточняется, причём по своему.

щении, что способствует в рассматриваемый период времени возникновению в системе тех или иных временных локальных структур, т.е. её общую *динамичную организованность* [22]. Следовательно, свободная внутренняя энергия системы ( $U_{\text{своб}}$ ), являясь термодинамической функцией её состояния, характеризует общую энергию всех видов её динамичной организованности.

Описание общей динамичной организованности подобно общей динамичной хаотичности требует свою статистическую характеристику. В статистической физике для описания организованности используется термин *информация* ( $I$ ) [14, 15].

**Информация** – основное понятие кибернетики и информатики, статистически характеризующее организованность сложной системы и лежащее в основе управления ее развития. В кибернетике различают два вида информации: *структурную* и *сигнальную* [11 – 13]. Структурная информация отражает накопление в системе организованности, а ее количество определяет возможность самопроизвольного перехода динамичной системы на новый уровень организованности. Инициатор, источник сигнальной информации, инициирует данный переход. Количественно информация в кибернетике измеряется в *битах*, а получение информации всегда связано с затратой времени и энергии. Последнее позволяет вернуться к термодинамике.

В термодинамике, основу которой составляет внутренняя энергетика систем с множеством частиц, информацию предлагается рассматривать как статистическую функцию состояния системы, характеризующую её общую динамичную организованность. В термодинамике для вычисления изменения значения информации ( $\Delta I$ ) в процессе воспользуемся подходом Р. Клаузиса для вычисления ( $\Delta S$ ). Однако, вместо теплоты процесса ( $Q$ ) используем значение работы ( $A_{\text{равн}}$ ), совершаемой системой при ее стремлении к состоянию равновесия в изотермическом обратимом процессе [22] за счет изменения общей энергии всех видов организованных форм движения, разделив  $A_{\text{равн}}$  или ( $\Delta U_{\text{своб}}^{\text{равн}}$ ) на температуру:

$$\Delta I = A_{\text{равн}}/T = \Delta U_{\text{своб}}^{\text{равн}}/T \quad (07)$$

Согласно уравнению (07) информация в термодинамике измеряется в тех же единицах, что и энтропия (Дж/моль · К). Термодинамическая единица информации равна изменению в изотермическом процессе свободной внутренней энергии системы, приходящемуся на 1 градус К. Поскольку информация – функция состояния системы, то изменение её значения в результате процесса численно равно разности значений информации в конечном ( $I_{\text{кон}}$ ) и начальном ( $I_{\text{нач}}$ ) состояниях:

$$\Delta I = I_{\text{кон}} - I_{\text{нач}}$$

В кибернетике и информатике информация измеряется в *битах*. Один *бит*, согласно [6, 7], требует затраты работы  $kT \cdot \ln 2$ , что при  $T = 300$  К составит 1 бит =  $2 \cdot 10^{-21}$  Дж. Смысл термина **информация** и в кибернетике, и в термодинамике заключается в статистической характеристике организованности системы, но в термодинамике, в основном, – с позиции внутренней

энергии организованных форм движения в системе [21], а в кибернетике – структуры данной системы [5, 28].

Для статистического вычисления значения информации микросостояния системы, имеющей конкретную структуру этого микросостояния ( $i$ ), воспользуемся уравнением Л. Больцмана, но подставим в него  $\omega$  – вероятность конкретной микроскопической динамической организованности системы, которая по данным [7, 21] очень малая величина:

$$i = k \cdot \ln \omega \text{ (Дж/К)} \quad (08)$$

Для вычисления молярной информации ( $I$ ) системы с конкретным микросостоянием необходимо уравнение (08) умножить на число Авогадро ( $N_A$ ), и с учетом, что  $k = R/N_A$ , получим:

$$i \cdot N_A = I = k \cdot N_A \cdot \ln \omega = R \cdot \ln \omega \quad (09)$$

В реальных системах ее общая организованность представлена множеством различных микросостояний, отличающихся по структуре и характеру организованного движения, поэтому значение общей информации системы ( $I_{\text{общ}}$ ) будет равно:

$$I_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n R \cdot \ln \omega_i$$

Статистическое вычисление в термодинамике общей информации реальной системы – задача непростая из-за множественности её организованной динамичности. При необходимости оценить изменение общей информации ( $\Delta I_{\text{общ}}$ ) в процессе можно термодинамически, используя уравнение (07). При этом энергия общей динамической организованности, т.е.  $U_{\text{своб}}$ , определяется потенциальной энергией системы и кинетической энергией всех видов организованных форм движения её частиц. Поэтому  $A_{\text{равн}}$  учитывает общую работу за счет изменения общей энергии разных видов ее динамической организованности.

Таким образом, в термодинамике к понятиям энтропия и информация есть и статистический, и термодинамический подходы. Здесь уместно вспомнить определение информации отца кибернетики Н. Винера: «Информация есть информация, а **не материя и не энергия**» [5]. На основе этого определения можно сформулировать более общее определение:

*Информация и энтропия – статистические функции динамической организованности и динамической хаотичности системы, соответственно, а не материя и не энергия.*

С позиции термодинамики при взаимодействии систем друг с другом между ними всегда происходит материально-энергетических обмен без какого-либо информационно-энтропийного обмена, так как информация ( $I$ ) и энтропия ( $S$ ) – статистические характеристики [22].

К сожалению, в биологии, биохимии, биофизике и других дисциплинах в последнее время принято считать, что при взаимодействии системы обмениваются материей, энергией и информацией [10, 20]. Обоснование наличия обмена информации между взаимодействующими системами, скорее всего, сформировалось на примерах взаимодействия педагог – обучаемый или автор

книги – читатель. При этом забывается или не учитывается, что все участники этих взаимодействий, прежде всего, работают, из-за чего идут процессы изменения их динамичной организованности, а следовательно, в них изменяются значения свободных внутренних энергий системы и поэтому изменяются значения информации. Однако одновременно изменяются значения связанной внутренней энергии и энтропии. Итак, устойчивое изменение информированности обучаемого является следствием его работы, а не прямого обмена информацией. Все сказанное подтверждается резким различием в успеваемости обучаемых при одних и тех же источниках информации и тем, что преподаватель, проводя занятие или читая лекцию, т.е. работая, свою информированность по предмету не снижает, а повышает.

В генетике в основе так называемого обмена информацией в действительности лежит работа по обмену материей, приводящая к изменению состава биосубстратов и, как следствие, изменению их организованности и хаотичности, а следовательно, значения информации и энтропии. Таким образом, обмен энергией и материей между взаимодействующими системами является причиной изменения их свойств, а изменение значений их информации, энтропии и других характеристик – следствие указанного обмена. Выражение «обмен информацией», естественно, сохранится в разговорной речи, но его, подобно выражению «обмен энтропией», не должно быть в учебной и естественно-научной литературе, где термины «информация» и «энтропия» – статистические функции динамичной организованности и хаотичности системы, соответственно.

При достижении равновесия в замкнутых системах значения энтропии и связанной внутренней энергии возрастают, достигая *максимальных* значений  $S_{\text{равн}} = \max$ ,  $U_{\text{связ}}^{\text{равн}} = \max$ . В то же время значения информации, свободной внутренней энергии и общей внутренней энергии при равновесии принимают минимальные значения  $I_{\text{равн}} = \min$ ,  $U_{\text{своб}}^{\text{равн}} = \min$ ,  $U_{\text{общ}}^{\text{равн}} = \min$ . Вследствие устойчивости системы в равновесном состоянии, значения всех ее энергетических функций во времени становятся постоянными (const), поэтому сумма равновесных значений связанной ( $U_{\text{связ}}^{\text{равн}}$ ) и свободной ( $U_{\text{своб}}^{\text{равн}}$ ) энергий системы, а также сумма значений ее энтропии ( $S_{\text{равн}}$ ) и информации ( $I_{\text{равн}}$ ) в состояниях равновесия будут равны const:

$$U_{\text{связ}}^{\text{равн}} + U_{\text{своб}}^{\text{равн}} = \text{const} \quad (10)$$

$$S_{\text{равн}} + I_{\text{равн}} = \text{const} \quad (11)$$

Уравнение (11) согласуется с данными статистической физики [14, 15].

В отличие от замкнутых систем открытые самоорганизующиеся системы при сбалансированном обмене веществом и энергией с окружающей средой и при фиксированных внешних и внутренних параметрах находятся в *стационарном состоянии*, т.е. не изменяемом в рассматриваемом интервале времени. Согласно теореме И. Пригожина [18], такие системы стремятся минимизировать изменения значений своих функций во времени. С учетом этого, суммы значений их функций в стационарном состоянии будут стремиться к const:

$$U_{\text{связ}}^{\text{стац}} + U_{\text{своб}}^{\text{стац}} \rightarrow \text{const} \quad (12)$$

$$S_{\text{стац}} + I_{\text{стац}} \rightarrow \text{const} \quad (13)$$

Это важно для космических и живых систем, так как жизнедеятельность последних, благодаря гомеостазу, направлена на поддержание значений своих функций и параметров на определенном уровне. Аналогичное явление характерно для космических систем.

Уравнения (10 – 13) наглядно демонстрируют один из основных законов диалектики: единства и борьбы противоположностей. Диалектическая пара – *организованность* и *хаотичность* – являются всеобщими философскими категориями. Организованность зарождается в недрах хаотичности, как результат разрешения ее внутренних противоречий, а хаотичность возникает в недрах организованности как разрешение внутренних противоречий последней. Таким образом, термодинамика, явно учитывающая наличие сопряженных диалектических пар  $S$  и  $I$ , а также  $U_{\text{связ}}$  и  $U_{\text{своб}}$ , полностью соответствует требованиям философии – науки всех наук.

Раскроем смысл функции свободная внутренняя энергия системы ( $U_{\text{своб}}$ ) в зависимости от условий в терминах, используемых в термодинамике. При изохорно-изотермических процессах свободная внутренняя энергия называется свободной энергией по Г. Гельмгольцу ( $F$ ). Она и ее изменения ( $\Delta F$ ) в процессе равны [2, 8, 19]:

$$V, T = \text{const} \quad F = U_{\text{общ}} - TS = U_{\text{общ}} - U_{\text{связ}} = U_{\text{своб}} \quad (14)$$

$$\Delta F = \Delta U_{\text{общ}} - T\Delta S = \Delta U_{\text{общ}} - \Delta U_{\text{связ}} = \Delta U_{\text{своб}} \quad (15)$$

Следовательно, свободная энергия по Г. Гельмгольцу ( $F$ ) и ее изменения в процессе ( $\Delta F$ ) характеризуют энергию динамичной организованности системы и ее изменения в процессах при  $V, T = \text{const}$ .

При изобарно-изотермических процессах ( $p, T = \text{const}$ ), при которых, принято считать, протекает жизнедеятельность живого, для характеристики общей внутренней энергии используется функция *энтальпия*. Энтальпия ( $H$ ) – термодинамическая функция, характеризующая общую внутреннюю энергию системы и функцию  $pV$  [2, 3, 8, 22]:

$$p, T = \text{const} \quad H = U_{\text{общ}} + pV \quad (16)$$

$$\Delta H = \Delta U_{\text{общ}} + p\Delta V \quad (17)$$

Функция  $pV$  учитывает изменение энергетики системы за счет изменения ее объема при  $p, T = \text{const}$ . При изобарно-изотермических условиях свободная внутренняя энергия называется свободной энергией по Дж. Гиббсу ( $G$ ). Она и ее изменения ( $\Delta G$ ) в процессе равны [2, 3, 8, 9, 19 – 22]:

$$p, T = \text{const} \quad G = H - TS = U_{\text{общ}} + pV - U_{\text{связ}} \quad (18)$$

Следовательно

$$G - pV = U_{\text{общ}} - U_{\text{связ}} = U_{\text{своб}} \quad (19)$$

или

$$G = U_{\text{своб}} + pV, \text{ или } U_{\text{своб}} = G - pV \quad (20)$$

Значения функции ( $pV$ ) и ее изменения ( $p\Delta V$ ) важны для газовых систем, а для конденсированных систем они малы, что позволяет их не учитывать при условиях, близких к стандартным, и поэтому:

$$U_{\text{своб}} \approx G$$

При изобарно-изотермических процессах в конденсированных системах изменения функции ( $\Delta G$ ) будет равно:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = \Delta U_{\text{общ}} + p\Delta V - \Delta U_{\text{связ}} \approx \Delta U_{\text{общ}} - \Delta U_{\text{связ}} \approx \Delta U_{\text{своб}} \quad (21)$$

Поскольку изменение свободных энергий по Г. Гельмгольцу ( $\Delta F$ ) и по Дж. Гиббсу ( $G$ ) характеризуют изменения энергии динамичной организованности системы, то эти функции позволяют вычислять изменение информации ( $\Delta I$ ) в системе при данных процессах:

$$V, T = \text{const} \quad \Delta I^V = \Delta F/T \quad (22)$$

$$p, T = \text{const} \quad \Delta I^p = \Delta G/T \quad (23)$$

Формулы (22), (23) в некоторых учебниках [3, 8, 9] используют для вычисления изменения энтропии ( $\Delta S$ ). При этом авторы не учитывают, что  $\Delta F$  и  $\Delta G$  характеризуют изменения в системе энергии ее динамичной организованности ( $\Delta U_{\text{своб}}$ ), а не динамичной хаотичности ( $\Delta U_{\text{связ}}$ ), тем самым допускают серьезную ошибку.

В ходе самопроизвольных процессов, совершаемых без подвода энергии из окружающей среды, производимая системой работа, согласно принятым знакам в термодинамике будет иметь знак *минус* ( $-A$ ). При этом значение изменения информации ( $\Delta I < 0$ ), свободной энергии ( $\Delta U_{\text{своб}} < 0$ ), общей внутренней энергии ( $\Delta U_{\text{общ}} < 0$ ) и динамичная организованность системы, естественно, будут уменьшаться. Следовательно, условиями самопроизвольности процесса в системе являются:

$$\Delta U_{\text{общ}} < 0, \quad \Delta U_{\text{своб}} < 0, \quad \Delta U_{\text{связ}} > 0, \quad \Delta I < 0, \quad \Delta S > 0, \quad \Delta F < 0, \quad \Delta G < 0$$

Работа, производимая системой за счет энергии, поступающей в систему, будет иметь знак *плюс* ( $+A$ ), так как при этом происходит увеличение динамичной организованности системы и значений ее энергетических функций, включая информацию.

$$\Delta U_{\text{общ}} > 0, \quad \Delta U_{\text{своб}} > 0, \quad \Delta I > 0, \quad \Delta F > 0, \quad \Delta G > 0$$

Самопроизвольная работоспособность системы ( $A$ ) определяется значением изменения ее свободной внутренней энергии ( $\Delta U_{\text{своб}}$ ), т.е. энергией динамичной организованности, а теплотворная способность системы ( $Q$ ) – значением изменения ее связанной внутренней энергии ( $\Delta U_{\text{связ}}$ ), т.е. энергией динамичной хаотичностью.

Для одновременного учета наличия в сложных системах и организованности, и хаотичности полезно ввести объединяющую безразмерную функцию состояния системы – *уровень организованности системы* [21], обозначаемый буквой  $i$ :

$$i = I/S = U_{\text{своб}}/U_{\text{связ}} = G/TS \quad \text{при } p, T - \text{const};$$

$$i = I/S = U_{\text{своб}}/U_{\text{связ}} = F/TS \quad \text{при } V, T - \text{const}.$$

Изменение этой безразмерной функции состояния в процессе ( $\Delta i$ ) является его характеристикой с позиции изменения соотношения между организованностью и хаотичностью в системе:



$$p, T = \text{const} \quad \Delta i^p = \frac{\Delta I^p}{\Delta S^p} = \frac{\Delta G}{T \Delta S^p} = \frac{\Delta U_{\text{своб}}^p}{\Delta U_{\text{связ}}^p}$$

$$p, V = \text{const} \quad \Delta i^V = \frac{\Delta I^V}{\Delta S^V} = \frac{\Delta F}{T \Delta S^V} = \frac{\Delta U_{\text{своб}}^V}{\Delta U_{\text{связ}}^V}$$

В самоорганизующихся объектах, включая всё живое, энергия организованных форм движения всегда больше энергии хаотических форм и поэтому их уровень организованности больше единицы ( $i > 1$ ) и поддерживается в стационарных состояниях на определенном уровне  $i_{\text{стац.с}} = I/S \rightarrow \text{const}$ . Только при глубоких патологиях и на стадии умирания живого значение этой характеристики резко изменяется, причём в конце концов обязательно уменьшается. Все живое постоянно поддерживает свой необходимый уровень организованности благодаря регулярному питанию и дыханию, т. е. сбалансированному обмену материей и энергией с окружающей средой. Внутренняя энергия любого вещества в конденсированном состоянии, включая продукты питания, – это прежде всего их потенциальная энергия, которая характеризуется большим запасом свободной энергии. За счет использования этой энергии и ее переработки живой объект совершает работу по поддержанию своего уровня организованности, необходимого для жизнедеятельности [6, 10, 21]. Обычно это называется борьбой живого с ростом его энтропии.

В последнее время некоторые исследователи при описании непонятных им процессов и явлений часто используют термины: *энергоинформационные процессы, взаимодействия, свойства, матрицы*. Слово сочетание *энергоинформационный* было придумано в конце XX века экстрасенсами в погонах для того, чтобы придать некий физический статус своим загадочным способностям. Это словосочетание для многих людей звучит настолько научнообразно и впечатляюще, что даже затмевает понимание его научной абсурдности. К сожалению, оно быстро и широко распространилось. В действительности, любые процессы, сопровождаемые изменением внутренней энергии системы, всегда и обязательно сопровождаются одновременным изменением ее и организованности, так как совершается работа, и хаотичности, так как происходит теплообмен, а следовательно, изменением статистических функций ее состояния: информации ( $\Delta I$ ) и энтропии ( $\Delta S$ ). Процессов, при которых в реальной системе изменялась бы только внутренняя энергия или только ее организованность (свободная энергия), или только ее хаотичность (связанная энергия) – в природе НЕТ! Поэтому термин «энергоинформационные» только вводит в заблуждение и его употребление необходимо исключить, несмотря на его широкую распространенность.

Для полного описания систем основными функциями, определяющими их состояние наряду с массой, являются: энергия, энтропия и информация (см. схему).



**I-е и II-е начало термодинамики**

- Уравнение Дж. Гиббса:  $H = G + TS^p$  при  $p, T = \text{const}$
- I-е начало термодинамики  $U_{\text{общ}} = U_{\text{орг}} + U_{\text{хаос}}$
- Уравнение Г. Гельмгольца:  $U = F + TS^V$  при  $V, T = \text{const}$
- Равновесное состояние системы в ее статистических характеристиках описывается:

$$I_{\text{равн}} = \min \quad S_{\text{равн}} = \max \quad \Delta I_{\text{равн}} = 0 \quad \Delta S_{\text{равн}} = 0 \quad I_{\text{равн}} + S_{\text{равн}} = \text{const}$$

При описании очень простых (где мало частиц) систем достаточно использовать массу и энергию. Для многочастичных изолированных и закрытых систем, где их частицы слабо взаимодействуют друг с другом, необходимо использовать и массу, и энергию, и энтропию, а для открытых сложных динамических систем, где не только очень много частиц, но они активно взаимодействуют друг с другом, – и массу, и энергию, и энтропию, и информацию, т. к. в них могут протекать процессы и самоорганизации, и саморазрушения.

Для любых сложных, особенно структурно-динамических систем, их статистические характеристики не менее важны, чем их энергетические характеристики. Только совокупность и тех, и других характеристик позволяет дать полное описание структурно-динамических конденсированных сред.

Открытые самоорганизующиеся структурно-динамические нелинейные системы, при условиях близких к стандартным, могут находиться в различных стационарных состояниях [8, 9, 16, 22]. Эти состояния системы являются термодинамически неравновесными из-за нескомпенсированности межмолекулярных и межчастичных взаимодействий как в них, так и с окружающей средой [17]. Поэтому самоорганизующиеся нелинейные системы при наличии внешней инициации даже с ничтожным энергетическим воздействием способны к локальным структурным переходам в другие стационарные состояния с

практически тем же значением общей внутренней энергии ( $\Delta U_{\text{общ}} \approx 0$ ), но отличающиеся по структуре в отдельных областях [16, 22].

Данные превращения называются *структурными фазовыми переходами II рода*. Они происходят в системах за счет электронно-колебательных и других межколебательных взаимодействий в них, а также их мощных внутренних полей, которые в конденсированной системе скомпенсированы [17]. На языке кибернетики подготовка к данным переходам заключается в накоплении системой структурной информации до необходимого уровня для их совершения, а инициируются они инициатором с определенной сигнальной информацией С позиции термодинамики накопление структурной информации – это накопление системой свободной внутренней энергии до необходимого уровня. А инициатор – источник сигнальной информации необходим для инициации в открытой структурно-динамичной системе локального процесса сопряженного перераспределения  $U_{\text{связ}} \rightleftharpoons U_{\text{своб}}$ , при чём  $|\Delta U_{\text{связ}}| = |\Delta U_{\text{своб}}|$  или в сторону увеличения организованности системы, или ее уменьшения благодаря возникновению в системе соответствующего *резонанса*. Следовательно, инициатор данного процесса – носитель необходимой сигнальной информации, точнее, уровня организованности ( $i$ ) и энергии инициации ( $U_{\text{иниц}}$ ). Энергетический вклад инициатора обычно настолько незначителен по сравнению с энергоматериальным обменом ( $\Delta U_{\text{обмена}}$ ), которым открытая система постоянно обменивается с окружающей средой, не говоря уже о значении общей внутренней энергии системы ( $U_{\text{общ}}$ ), что им можно пренебречь.

$$U_{\text{иниц}} \ll \Delta U_{\text{обмена}} \ll U_{\text{общ}}$$

Структурные фазовые переходы II рода в открытых нелинейных структурно-динамичных системах происходят при наличии их инициаторов. При этом их общие внутренние энергии фактически не изменяются ( $\Delta U_{\text{общ}} \approx 0$ ), поэтому их можно считать самопроизвольными. Они приводят к постепенному изменению структур в системах. Инициатор индуцирует в системе обычный или стохастический резонанс, из-за чего в ней очень быстро происходит локальная структурная перестройка и сопряженно изменяются  $|\Delta U_{\text{связ}}| = |\Delta U_{\text{своб}}|$ . Она сопровождается самоорганизацией или саморазрушением в зависимости от характера сигнальной информации инициатора. Резонансный этап продолжается пока есть инициатор и в системе есть или возникают динамичные структуры, способные к данному резонансу. В процессе фазового перехода и после него в системе-инициаторе значения ее статистических и термодинамических функций не изменяются

После быстрого резонансного этапа фазового перехода II рода начинается его *релаксационный* этап. На данном этапе система, сохранив свой структурный динамизм, медленно возвращается в стационарное состояние, предшествующее резонансу. Вследствие замедленной релаксации в системе наблюдается *структурно-временной гистерезис*. На языке обывателя это явление называется структурной памятью системы о воздействии на неё инициатора. Структурные фазовые переходы II рода можно назвать *информационно-энтропийными переходами*, поскольку при них сопряжено изменяются

значения статистических функций состояния системы, и обозначать их как I,S – переходы. Таким образом, при фазовых переходах II рода хотя и происходит локальное изменение значений статистических и термодинамических функций за счёт их сопряжённого превращения, но общая внутренняя энергия системы при этом практически сохраняется.

Инициатором фазовых переходов II рода обычно являются физические поля: магнитное, электрическое, электромагнитное и упругих деформаций среды, включая акустическое или ультразвуковое [16], содержащие сигнальную информацию, необходимую для этих переходов.

Предлагаемая концепция структурных фазовых переходов II рода позволяет объяснить высокую эффективность воздействия очень слабых полей ( $h\nu$ ) на структурно-динамичные конденсированные системы. Данные воздействия, хотя могут быть в 100-150 раз слабее тепловых колебаний (kT) молекул указанных систем [23], но, благодаря инициации в них стохастического резонанса на первом этапе, они эффективны, а на втором, релаксационном, этапе, им характерен структурно-временной гистерезис. Таким образом, решается почти вековой спор физиков и биофизиков: почему живые организмы чувствительны к очень слабым внешним и внутренним воздействиям и почему они имеют пролонгированный эффект к этим воздействиям, т.е. структурно-временной гистерезис.

Фазовые переходы II рода могут инициироваться определенными значениями интенсивных параметров: температурой, давлением и концентрацией, т.к. они влияют на значение общей внутренней энергии ( $U_{\text{общ}}$ ) структурно-динамичной системы, определяющей особенности локальных структур ее стационарных состояний и характеристики её собственных излучений, которые в действительности являются инициаторами данных фазовых переходов II рода. Классическими примерами фазовых переходов II рода являются структурные изменения при переходах парамагнетик-ферромагнетик или диэлектрик-сегнетоэлектрик, или -пьезоэлектрик, или –пироэлектрик [16].

Железо и другие ферромагнетики под действием инициатора – внешнего магнитного поля – даже слабого, способны быстро и сильно намагничиваться и сохранять это состояние после удаления магнитного поля достаточно долго. В кристаллах ферромагнетиков имеются разделенные между собой небольшие структурные фрагменты с определенной структурой размерами  $10^{-2}$  см, называемые *домены*, в которых вектора намагниченности их магнитных диполей ориентированы хаотично и объект в целом не намагничен. Внешнее магнитное поле инициирует быстрый поворот векторов намагниченности доменов вдоль поля, в этих областях устанавливается определённая спиновая организованность и объект становится намагниченным. После удаления внешнего поля домены сохраняют ориентацию своих магнитных диполей. Однако под действием теплового движения они релаксируют в исходное хаотическое состояние очень медленно, т.к. они не только разрушаются, но и воспроизводятся под действием ими же созданного магнитного поля объекта, а возможно, и под воздействием магнитного поля Земли. При повышении температуры скорость релаксации доменов возрастает и при температуре,

называемой точкой Кюри, они разрушаются, полностью теряя самопроизвольный порядок. Для железа эта температура равна  $770^\circ\text{C}$ . Следовательно, кристаллические твердые ферромагнетики с характерной для них металлической связью в магнитном поле самопроизвольно намагничиваются, а в электрическом поле им характерна высокая электропроводность. Это указывает на высокий структурный динамизм металлической связи даже в кристаллах за счет наличия в ней очень подвижных электронов.

Кристаллические диэлектрики (полупроводники), имеющие очень большую диэлектрическую проницаемость ( $\xi \approx 10^3$ ) при инициации внешним воздействием способны к фазовым переходам II рода [16]. Они связаны с локальными самопроизвольными структурными изменениями в доменах с размерами порядка  $10^{-5} - 10^{-3}$  см. При этом неполярная структура доменов диэлектрика локально поляризуется и превращается в полярную. Это характерно для кварца, титаната бария, сегнетовой соли, турмалина и др. Из диэлектрика при инициации электрическим полем получают сегнетоэлектрики, если инициатор – поле упругих напряжений, то образуются пьезоэлектрики, а в случае температуры возникают пироэлектрики. В присутствии инициатора процесс поляризации доменов происходит быстро, а при его удалении объект медленно релаксирует в неполярное состояние. При повышении температуры скорость релаксации возрастает, и в точке Кюри объект опять становится диэлектриком. Следовательно, в кристаллах диэлектриков, где химическая связь в основном носит ковалентный характер, она может при инициации проявлять определенный динамизм и поляризоваться локально, создавая и изменяя свойства доменов и всей системы в целом.

Рассмотрены структурные фазовые переходы II рода в твердых материалах, где действуют сильные химические связи – металлическая или ковалентная. Однако, этот переход происходит и в жидком гелии при  $T = 2,17\text{ K}$ , где действует очень слабая дисперсионная межмолекулярная связь. Следовательно, рассматриваемые переходы могут происходить в материалах как с сильными, так и с очень слабыми химическими связями. Поэтому, в жидкой и твердой воде, где действуют в основном межмолекулярные водородные связи ( $E \approx 20$  кДж/моль) при наличии инициатора могут происходить и происходят структурные фазовые переходы II рода. Именно с учетом этих информационно-энтропийных переходов и их особенностей следует рассматривать свойства воды и живых систем. Живое содержит свыше 98 % воды по молекулярному составу, а по массе содержание воды от 40 % до 98 % (медуза). Поскольку фазовые переходы II рода не требуют дополнительной энергии, в биосистемах они основа их жизнедеятельности и эволюции.

В заключение, предлагается заменить термин «связанная внутренняя энергия» ( $U_{\text{связ}}$ ) на термин *внутренняя энергия хаотических форм движения в системе* ( $U_{\text{хаос}}$ ), кратко – *энергия динамичной хаотичности* или просто *хаотичности системы*. Термин «свободная внутренняя энергия» ( $U_{\text{своб}}$ ) предлагается заменить на термин *внутренняя энергия организованных форм движения в системе* ( $U_{\text{орг}}$ ), кратко – *энергия динамичной организованности*

или просто *организованности системы*. Тогда первое начало термодинамики для изолированных систем можно описать обобщенным уравнением:

$$U_{\text{общ}} = U_{\text{связ}} + U_{\text{своб}} = U_{\text{хаос}} + U_{\text{орг}} = \text{const}$$

Предлагаемое изменение терминологии позволяет правильно, более естественно и наглядно охарактеризовать постоянно существующие в системе виды движения её частиц. Тем самым подготовить к правильному восприятию важных термодинамических терминов, характеризующих процесс: теплота и работа, а также какие энергетические и статистические функции системы при этом изменяются в процессе (так  $Q = \Delta U_{\text{хаос}}$ ,  $A = \Delta U_{\text{орг}}$ , а так же  $\Delta S$  и  $\Delta I$ ). Кроме того, новые термины четко указывают на постоянное наличие в любой системе диалектического дуализма: и *хаотичности*, и *организованности*, которые при её самопроизвольных процессах изменяются сопряжённо, причем в противоположных направлениях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алесковский В. Б. Информация как фактор самоорганизации и организации вещества // Журн. общ. хим. – 2002. 72, № 4. – С. 611–616.
2. Базаров И. П. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1991.
3. Беляев А.П., Кучук В.И. Физическая и коллоидная химия. – М.:ГЕОТАР-Медиа, 2014.–752 с.
4. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. – М.: ГИФМЛ, 1960. – 392 с.
5. Винер Н. Кибернетика. М.: Советское радио, 1985. – 236 с.
6. Волькенштейн М. В. Биофизика. – М.: Наука. 1981. – 575 с.
7. Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. – М.: Наука. 1986. – 191 с.
8. Вольхин В. В. Общая химия. В 3 кн. – СПб.: Изд-во «Лань», 2008.
9. Горшков В.И., Кузнецов И.А. Основы физической химии. – М.: БИНОМ, 2011. – 407 с.
10. Дульнев Л., Крашенюк А. И. От синергетики к информационной медицине. – СПб.: Ин-т биосенсорной психологии, 2010. – 168 с.
11. Ершов Ю. А. Термодинамика квазиравновесий в биологических системах. – М.: ВИНТИ, 1983. Т. 5. – 140 с.
12. Ершов Ю. А. Мушкхамбаров Н. Н. Кинетика и термодинамика биохимических и физиологических процессов. – М.: Медицина, 1990. – 208 с.
13. Ершов Ю. А. Энергетика и кинетика информационных взаимодействий // Ж. Физ. Х. – 1999. Т. 73, № 10. – С. 1817–1823.
14. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация // Усп. физ. наук. – 1994. 164, № 5. – С. 449–530.
15. Климонтович Ю. Л. Энтропия и информация открытых систем // Усп. физ. наук. – 1999. 169, № 4 – С. 443–452.
16. Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. – М, 1982.
17. Попов И. В. Принципы физики слабых воздействий на конденсированные среды. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 288 с.
18. Пригожин И. Р. Современная термодинамика. От теплового двигателя до диссипативных структур. М.: Мир, 2002. – 461 с.
19. Русанов А. И. Термодинамические основы механохимии. – СПб.: Наука, 2006. – 228 с.

20. *Самойлов В. О.* Медицинская биофизика. – СПб.: Спецлит, 2004. – 496 с.
- 21 *Слесарев В.И.* Информация в термодинамике и фазовые переходы II рода. – Труды Конгресса – 2014 «Фундаментальные проблемы естествознания и техники», СПб., том 36-3. С 271-284
22. *Слесарев В. И.* Химия: Основы химии живого. 7 изд. – СПб.: Химиздат, 2017. – 784 с.
23. *Тамбиев А.Х., Кирикова, Н.Н. Бецкий О.В. и Гуляев Ю.В.* Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы. – М.: Радиотехника, 2003. – 175 с.
24. *Фейман Р.* И др. Феймановские лекции по физике. Вып. 1. Современная наука о природе. Законы механики. Изд. 5 – М.: Изд-во ЛКИ, 2007 – 74 с.
25. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетики. М.: Издательство ИЛ, 1963. – 259 с.
26. *Шредингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физика? – М.: Издательство ИЛ, 1997.
27. *Эткин В. А.* Энергодинамика. – СПб.: Наука, 2008. – 409 с.
28. *Эшби У. Р.* Введение в кибернетику. М.: Издательство ИЛ, 1959. – 144 с.