



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; 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* ($Li_{связ}$), так как она связана с изменением хаотической (тепловой) формы энергии, которую непосредственно нельзя превратить в работу.

$$Q = Li_{связ} = T\Delta S \quad (02)$$

где ΔS - 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 (ΔS) 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 $Li_{связ}$:

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

Согласно уравнению (03) термодинамическая единица энтропии (Дж/моль \cdot 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 (ΔS) в результате процесса численно равно разности значений энтропии системы в конечном ($S_{кон}$) и начальном ($S_{нач}$) состояниях:

$$\Delta S = S_{кон} - S_{нач}$$

Возрастание энтропии в процессе характеризует увеличение динамической хаотичности и необратимо рассеянную при этом ее внутреннюю энергию, т. е. ее диссипацию [2, 3, 8, 9, 18 - 22]. Поскольку понятие *динамическая 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 \cdot К $^{-1}$); 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: $0 < W < \infty$.

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

где $S \cdot N_A = S$ - молярная энтропия, относящаяся к 1 моль вещества, а $k \cdot N_A = R = 8,3145$ Дж \cdot моль $^{-1}$ \cdot К $^{-1}$ - универсальная молярная газовая постоянная.

Таким образом, в термодинамике энтропия¹ (S) - статистическая функция состояния системы, характеризующая её общую динамичную хаотичность. Энергия общей динамичной хаотичности, т.е. $u_{связ}$, 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 ($u_{связ}$) 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 *негэн-тропия*, 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 ($u_{своб}$). Изменение этой функции ($Lu_{своб}$) в процессе, согласно законам термодинамики, характеризует работу (A), выполняемую системой при данном процессе.

$$L_{u_{общ}} = Q_A = Lu_{связ} - Lu_{своб} \quad (06)$$

где $Q = Lu_{связ} > A = Lu_{своб}$.

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 вза-

¹ 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.

имодействии и расположении ее частиц, так и в их согласованном перемещении, 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 ($u_{своб}$), 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 (I) в процессе воспользуемся подходом Р. Клаузиса для вычисления (I).

Однако, вместо теплоты процесса (Q) используем значение работы ($A_{равн}$), совершаемой системой при ее стремлении к состоянию равновесия в изотермическом обратимом процессе [22] за счет изменения общей энергии всех видов организованных форм движения, разделив $A_{равн}$ или (Iu^{TM}) на температуру:

$$I = A_{равн}/T = \Delta u / T \quad (07)$$

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 ($I_{кон}$) и начальном ($I_{нач}$) состояниях:

$$\Delta I = I_{кон} - I_{нач}$$

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 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 \mathbb{Q} - вероятность конкретной микроскопической динамической организованности системы, которая по данным [7, 21] очень малая величина:

$$i = \kappa \cdot \ln \mathbb{Q} \text{ (Дж/К)} \quad (08)$$

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:

$$i \cdot N_A = I = \kappa \cdot N_A \cdot \ln \mathbb{Q} = R \cdot \ln m \quad (09)$$

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:

$$I_{\text{общ}} = 2^R \cdot \ln \mathbb{Q} i$$

Статистическое вычисление в термодинамике общей информации реальной системы - задача непростая из-за множественности её организованной динамичности. При необходимости оценить изменение общей информации ($A_{\text{общ}}$) 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 $Z_{равн} = max, usяз = max$. В то же время значения информации, свободной внутренней энергии и общей внутренней энергии при равновесии принимают минимальные значения $I_{равн} = Min, U^{об} = Min, u^{общ} = Min$. Вследствие устойчивости системы в равновесном состоянии, значения всех ее энергетических функций во времени становятся постоянными (const), поэтому сумма равновесных значений связанной ($u_{равн}$) и свободной ($u_{рвоб}$) энергий системы, а также сумма значений ее энтропии ($S_{равн}$) и информации ($I_{равн}$) в состояниях равновесия будут равны const:

$$u_{PBз} + u_{PPOб} = const \quad (10)$$

Уравнение (11) согласуется с данными (11) 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:

$$U_{своб} + U_{связ} = \text{const} \quad (12)$$

$$\int_{своб}^I + \int_{связ}^I = \text{const} \quad (13)$$

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 $u_{связ}$ и $u_{своб}$, полностью соответствует требованиям философии - науки всех наук.

Раскроем смысл функции свободная внутренняя энергия системы ($u_{своб}$) 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 (ΔF) в процессе равны [2, 8, 19]:

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

$$\Delta F = \int u_{общ} \cdot T^{\Delta S} = \Delta u_{общ} - \Delta u_{связ} = \Delta u_{своб} \quad (15)$$

Следовательно, свободная энергия по Г. Гельмгольцу (F) и ее изменения в процессе (ΔF) 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]:

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

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

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 (ΔG) в процессе равны [2, 3, 8, 9, 19 - 22]:

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

Следовательно

$$G - pV = u_{общ} - TS = u_{своб} \quad (19)$$

или

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

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:

$$u_{\text{своб}} \sim G$$

При изобарно-изотермических процессах в конденсированных системах изменения функции (AG) будет равно:

$$AG = AH - TAS = Au_{\text{общ}} + pAV - A\zeta^{\wedge 3} - AU^{\wedge} - A\zeta^{\wedge 3} - AU_{\text{своб}} \quad (21)$$

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

$$V, T = \text{const} \quad AI^V = AF/T \quad (22)$$

$$p, T = \text{const} \quad AT = AG/T \quad (23)$$

Формулы (22), (23) в некоторых учебниках [3, 8, 9] используют для вычисления изменения энтропии (AS). При этом авторы не учитывают, что AF и AG характеризуют изменения в системе энергии ее динамичной организованности ($AU_{\text{своб}}$), а не динамичной хаотичности ($AU_{\text{свх3}}$), 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 ($AI < 0$), свободной энергии ($AU^{\wedge} < 0$), общей внутренней энергии ($AU_{\text{общ}} < 0$) и динамичная организованность системы, естественно, будут уменьшаться. Следовательно, условиями самопроизвольности процесса в системе являются:

$$AU^{\wedge} < 0, AU^{\wedge} < 0, AU_{\text{свд}} > 0, AI < 0, AS > 0, AF < 0, AG < 0$$

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.

$$AU^{\wedge} > 0, AU^{\wedge} > 0, AI > 0, AF > 0, \quad AG > 0$$

Самопроизвольная работоспособность системы (A) определяется значением изменения ее свободной внутренней энергии ($AU_{\text{своб}}$), т.е. энергией динамичной организованности, а теплотворная способность системы (Q) - значением изменения ее связанной внутренней энергии (AU^{\wedge}), 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 :

$$i = I/S = U^{\wedge}/U^{\wedge} = G/TS \text{ при } p, T - \text{const};$$

$$i = I/S = U^{\wedge 0}/U^{\wedge} = F/TS \text{ при } V, T - \text{const}.$$

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

$$p, T = \text{const} \quad Am^p = \quad XG = AU_{\text{своб}}$$

$$P \quad AS \cdot TAS \cdot AU_{Связ}$$

$$p, V = \text{const} \quad A^v = \wedge \wedge V = A^F_v = A^U V^{E06}$$

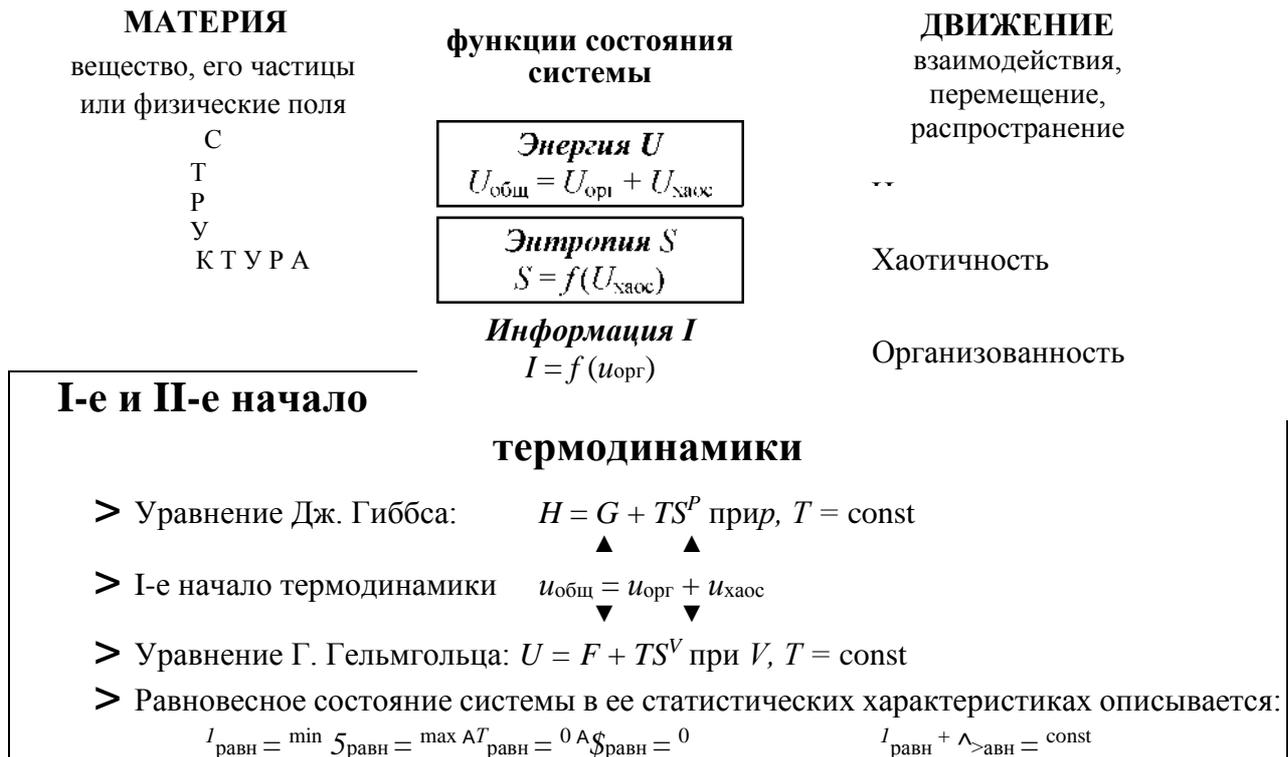
$$P \quad AS^v \quad TAS^v AU_{Vw}$$

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 $z_{\text{стац.с}} = I/S = \text{const}$. 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*. Словосочетание *энергоинформационный* было придумано в конце XX века экстрасенсами в погоне за тем, 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 (AI) и энтропии (AS). 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).

Схема. ВЗАИМОСВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИИ И ДВИЖЕНИЯ



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 ($L.u_{\text{общ}} \ll 0$), 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-динамической системе локального процесса сопряженного перераспределения $u_{\text{связ}}$ $u_{\text{своб}}$, при чём $|Du_{\text{связ}}| = |Du_{\text{своб}}|$ 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 ($Au_{\text{обмена}}$), которым открытая система постоянно обменивается с окружающей средой, не говоря уже о значении общей внутренней энергии системы ($u_{\text{общ}}$), что им можно пренебречь.

$$u_{\text{иниц}} \ll Au_{\text{обмена}} \ll u_{\text{общ}}$$

Структурные фазовые переходы II рода в открытых нелинейных структурно-динамических системах происходят при наличии их инициаторов. При этом их общие внутренние энергии фактически не изменяются ($Du_{\text{общ}} \sim 0$), 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 $|Au_{\text{связ}}| = |Au_{\text{своб}}|$. Она сопровождается самоорганизацией или саморазрушением в зависимости от характера сигнальной информации инициатора. Резонансный этап продолжается пока есть инициатор и в системе есть или возникают динамические 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-динамические конденсированные системы. Данные воздействия, хотя могут быть в 100-150 раз слабее тепловых колебаний (кТ) 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 ($U_{общ}$) структурно-динамической 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° С. 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 ($\epsilon \sim 10^3$) 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 получаются 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 $T = 2,17$ К, 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 ($E - 20$ 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 $Q = \text{Л}u_{\text{хаос}}$, $A = \text{Л}u_{\text{орг}}$, а так же ЛS и ЛI). 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. Мушкамбаров 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.