

# PHYSICAL SCIENCES

## ON THE DIALECTIC UNITY OF EVOLUTION AND INVOLUTION

**Etkin V.A.**

*D-r Sc. Techn.*

*Togliatti State University (Rus. Fed.)*

## О ДИАЛЕКТИЧЕСКОМ ЕДИНСТВЕ ЭВОЛЮЦИИ И ИНВОЛЮЦИИ

**Эткин В.А.**

*Д.т.н., проф.*

*Тольяттинский государственный университет (РФ)*

### Abstract

In the article, based on the principle of counter-directionality of nonequilibrium processes and the law of conservation of energy, it is shown that evolution processes in some parts (areas, phases, components) of an isolated system are impossible without involution of others. The simultaneity and opposite direction of these processes is proved, confirming their dialectical unity and the creative tendency inherent in nature. The inapplicability of entropy as a criterion for evolution is emphasized, and its non-entropy criteria are proposed both for systems as a whole and for each degree of their freedom. Examples of "coupled" processes of evolution and involution in objects of animate and inanimate nature are given. The erroneousness of the concept of the origin of "order" from "chaos" and the inapplicability of the concept of "arrow of time" to the Universe as a whole are substantiated.

### Аннотация

В статье на основе принципа противоположности неравновесных процессов и закона сохранения энергии показано, что процессы эволюции в каких-либо частях (областях, фазах, компонентах) изолированной системы невозможны без инволюции других. Доказана одновременность и противоположность этих процессов, подтверждающая их диалектическое единство и присущую природе созидательную тенденцию. Подчёркнута неприменимость энтропии в качестве критерия эволюции и предложены её неэнтропийные критерии как для систем в целом, так и для каждой степени их свободы. Приведены примеры «сопряжённых» процессов эволюции и инволюции в объектах живой и неживой природы. Обоснована ошибочность концепции происхождения «порядка» из «хаоса» и неприменимость понятия «стрелы времени» ко Вселенной в целом.

**Keywords:** evolution and involution, their criteria and unity, parameters of nonequilibrium, laws of conservation and transformation of energy.

**Ключевые слова:** эволюция и инволюция, их критерии и единство, параметры неравновесности, законы сохранения и превращения энергии.

### 1. Введение.

Несмотря на некоторые успехи в изучении причин и закономерностей процессов эволюции живой и неживой природы с позиций неравновесной термодинамики, синергетики и биоэнергетики, «вопиющее противоречие термодинамики с теорией биологической эволюции» [1] сохраняется. Это противоречие не ограничивается принципом возрастания энтропии, навязывающем Вселенной в целом «тепловую смерть», а любой ее замкнутой части - деградацию. Противоречащими эволюции оказываются и законы сохранения импульса, его момента и заряда, поскольку они исключают возможность их возникновения в процессах эволюции. Попытки решить проблемы эволюции с помощью энтропии (Р. Клаузиус) [2], подмена закономерных причинно-следственных процессов «флуктуациями» (Л. Больцман) [3], концепция возникновения «порядка» из «хаоса» (И. Пригожин) [4] и «объяснения» эволюции потреблением «негэнтропии» (Э. Шрёдингер) [5] не дали удовлетворительных результатов.

Возникает необходимость создания теории эволюции, которая не противоречила бы современному объему знаний. Классическая (равновесная) термодинамика для этой цели не пригодна, поскольку базируется на понятии энтропии, которая не изменяется, когда эволюция системы осуществляется благодаря совершению над ней работы «против равновесия» [6]. Это относится и к термодинамике необратимых процессов (ТНП) исключающей из рассмотрения обратимую составляющую реальных процессов [7]. В результате применение равновесной или локально равновесной термодинамики для анализа проблем эволюции оказываются попыткой с заведомо непригодными средствами.

Для исследования проблем эволюции на строгой физико-математической основе необходимы параметры или функции неравновесного состояния, характеризующие удаление системы от внутреннего равновесия. Эту задачу и решает локально неравновесная термодинамика, предложенная в докторской диссертации автора [8] на основе мо-

нографии «Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии» (Саратов, СГУ, 1991) и развитая далее в монографиях «Термокинетика» (Тольятти, 1999) и «Энергодинамика» (СПб, 2008) [9]. Она исходит из понимания энергии как наиболее общей меры всех форм движения (поступательного, вращательного и колебательного) и взаимодействия (гравитационного, электромагнитного и т. п.) всех элементов материальной системы независимо от того, представляет ли она собой континуум или совокупность частиц. Это позволило распространить методы ТНП на локально неравновесные системы, совершающие полезную (обратимую) работу и дополнить её анализом эффективности и производительности процессов полезного преобразования энергии.

**2. Специфика энергодинамики в приложении к процессам эволюции**

Стремление сохранить основное достоинство классического термодинамического метода (непреложную справедливость его следствий) обусловило построение энергодинамики на тех же методологических принципах дедуктивной (изучающей объект от общего к частному) и феноменологической (опирающейся на опыт) теории. Это выражается в рассмотрении в качестве объекта исследования всей совокупности взаимодействующих (взаимно движущихся) материальных объектов типа Вселенной в целом, для которых и были сформулированы все законы сохранения. Для изолированных систем понятия внешней кинетической  $K$  потенциальной  $\Pi$  энергии, зависящей от движения и положения системы относительно внешней среды, лишены смысла, поскольку вся их энергия является собственной (внутренней)  $U$ . Поэтому закон сохранения полной энергии системы  $E$  как их суммы

$$E = K + \Pi + U = const \tag{1}$$

оказывается для таких систем неприемлемым. По этой причине энергодинамика базируется на более общем выражении закона сохранения внутренней энергии  $U$ , предложенном Н. Умовым (1873) [10]:

$$dU/dt + \oint j^e df = 0, \tag{2}$$

где  $j^e$  (Вт м<sup>-2</sup>) – плотность потока энергии через векторный элемент  $df$  замкнутой и неподвижной поверхности  $f$  (границы системы) в направлении внешней нормали  $n$  (рис. 1).

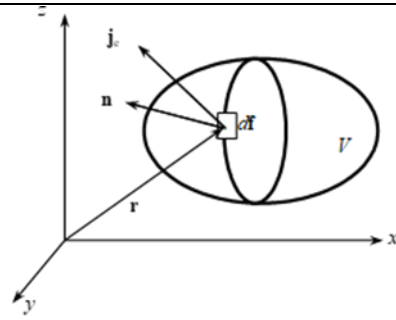


Рис. 1. Поток энергии через границы системы.

Согласно заложенной в это уравнение концепции близкодействия, энергия системы  $U$  не просто исчезает в одних точках пространства и возникает в других, а переносится через границы системы какими-либо материальными энергоносителями  $\Theta_i$  ( $k$ -ми веществами в количестве  $N_k$  молей, их массами  $M_k$ , зарядами  $Q_k$ , энтропией  $S_k$ , импульсами  $P_k = M_k v_k$  и т. п.).

Учтём теперь, что поток энергии  $j^e$  через границы системы складывается из потоков энергии  $j_i^e$  всех  $i$ -х энергоносителей  $\Theta_i$ , каждый из которых в свою очередь выражается произведением потока самого  $i$ -го материального энергоносителя  $j_i = \rho_i v_i$  на его потенциал  $\psi_i = dU_i/dM$  (удельную энергию), где  $\rho_i = d\Theta_i/dV$  – плотность  $i$ -го энергоносителя;  $v_i$  – локальная скорость его переноса через неподвижные границы системы:

$$j^e = \sum j_i^e = \sum \psi_i j_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \tag{3}$$

Преобразуем теперь  $\oint \psi_i j_i \cdot df$  на основании теоремы Гаусса-Остроградского в интеграл  $\int \nabla \cdot \psi_i j_i \cdot dV$  по объему системы  $V$ . Тогда после разложения  $\nabla \cdot (\psi_i j_i)$  на независимые составляющие  $\sum \psi_i \nabla \cdot j_i + \sum j_k \nabla \psi_i$  закон сохранения энергии (2) примет вид:

$$dU/dt + \sum_i \int \psi_i \nabla \cdot j_i dV + \sum_i \int j_i \nabla \psi_i dV = 0, \tag{4}$$

Если в (4) ввести понятие локальной термодинамической силы  $x_i = -\nabla \psi_i$  и вынести за знак интеграла некоторое среднее значение  $\Psi_i$  потенциала  $\psi_i$  и среднее значение  $X_i$  силы  $x_i$ , то уравнение (4) можно выразить через параметры системы в целом, как это принято в классической термодинамике:

$$dU/dt = \sum_i \Psi_i J_i + \sum_i X_i \bar{J}_i, \tag{5}$$

где  $J_i = -\oint j_i \cdot df = -\int \nabla \cdot j_i dV$  – скалярный поток  $i$ -го энергоносителя в систему;  $\bar{J}_i = \int j_i dV = \Theta_i \bar{v}_i$  – импульс смещения этого энергоносителя в границах системы;  $\bar{v}_i$  – усреднённая скорость этого смещения.

Как видим, учёт нестатичности (конечной скорости) реальных процессов ( $v_i, \bar{v}_i > 0$ ) неизбежно сопровождается возникновением локальной неоднородности  $\nabla \psi_i$ ; полей температур, давлений, химических, электрических, гравитационных и т. п. потенциалов, т. е. появлением дополнительных параметров  $x_i$  и  $X_i$ , имеющих смысл напряжённости этих полей. Это обстоятельство вскрывает

внутреннюю противоречивость ТНП, базирующейся на гипотезе локального равновесия и допускающей возможность описания неоднородного континуума тем же набором переменных, что и в равновесии.

Выражение (5) акцентирует внимание на существовании двух принципиально различных форм энергообмена системы с окружающей средой. Первая сумма (5) характеризует работу  $dW_i'$ , совершаемую над системой за единицу времени при вводе в неё некоторого количества массы  $M$  при массообмене, некоторого количества молей  $k$ -х веществ  $N_k$  при диффузии, заряда  $Q_k$  при электризации и т. п.:

$$dW_i'/dt = \sum_i \Psi_i J_i, \quad (6)$$

К этому виду работ энергодинамика относит и кондуктивный теплообмен, понимая под ним работу ввода в систему энтропии  $S$  как меры количества хаотического движения. Все виды работ ввода не вызывают перемещения системы в пространстве и потому относятся энергодинамикой к *неупорядоченной форме работы*. Эта работа пополняет ту часть энергии системы, которая не способна к энергопревращению и потому называется для краткости *анергией*  $\bar{U}$ . Иного рода работа  $dW_i''$ , совершаемая векторными силами  $\mathbf{x}_i$  или  $\mathbf{X}_i$ , подобными термодинамическим силам в ТНП. Они создают внутренний направленный поток смещения энергоносителя  $\mathbf{J}_i = \Theta \bar{\mathbf{v}}_i$  со скоростью  $\bar{\mathbf{v}}_i = d\mathbf{R}_i/dt$ , где  $\mathbf{R}_i$  – радиус-вектор центра величины  $\Theta_i$ . Эта форма энергообмена связана с перераспределением энергоносителя и его смещением внутри системы на величину  $\Delta\mathbf{R}_i$ , что создаёт в ней некоторые «моменты распределения  $\mathbf{Z}_i = \Theta_j \Delta\mathbf{R}_i$  энергоносителя  $\Theta_j$ . Этот процесс связан с переносом энергоносителя  $\Theta_j$  в неоднородном поле потенциала  $\psi_i$  и с преодолением сил  $\mathbf{F}_i = \Theta_j \mathbf{X}_i$  в их общезначимом понимании. При этом совершается работа  $dW_i'' = \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{R}_i = \mathbf{X}_i \cdot d\mathbf{Z}_i$  «против равновесия» в системе []. Она пополняет неравновесную (*упорядоченную*) часть энергии системы  $\tilde{U}$ , именуемую в энергодинамике для краткости *инергией*<sup>1</sup>:

$$d\tilde{U}/dt = \sum_i dW_i''/dt = \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i, \quad (7)$$

Эта работа, называемая в классической термодинамике полезной или технической, связана с превращением энергии из одной ( $i$ -й) формы в другую,  $j$ -ю. Благодаря этому *инергия* как функции работоспособности системы дает исследователю общую меру удалённости системы в целом от внутреннего равновесия, изменение которой может служить универсальным критерием как приближения системы к равновесию, так и удаления от него.

### 3. Альтернатива энтропийным критериям эволюции

Согласно постулату Р. Клаузиуса [2], все термодинамические системы (обладающие в той или иной мере внутренней тепловой энергией) стремятся к термодинамическому равновесию, характеризующемуся прекращением в них каких-либо макроскопических процессов. Поскольку понятие силы и условие равенства сил в термодинамике отсутствовало, в качестве критерия такого равновесия он ввёл новый параметр энтропию  $S$ , изменение которого при теплообмене  $TdS$  играет по отношению к тепловой энергии ту же роль, что и импульс  $\mathbf{P}_k = M_k \mathbf{v}_k$  – при увеличении кинетической энергии  $\mathbf{v}_k d\mathbf{P}_k^2$ . Естественно поэтому, что энтропия возрастает при любых процессах в изолированных системах, в которых упорядоченные формы энергии переходят в неупорядоченную (тепловую), т. е. рассеиваются (диссипируют). Вследствие этого уменьшается и работоспособность тепловой энергии, обусловленная наличием в системе источников и приемников тепла с различной температурой. Не видя исключений из этого обстоятельства, Р.Клаузиус возвел его в ранг 2-го начала термодинамики, дав ему название принципа возрастания энтропии и распространив его на Вселенную в целом. Наиболее ярко это проявилось в его крылатой фразе «энергия Вселенной неизменна, энтропия Вселенной возрастает». Паралогизм этого утверждения, получившего название «тепловой смерти Вселенной», породило множество попыток доказать либо опровергнуть этот принцип. Однако все они оказались на поверку столь нестрогими, что научное сообщество усмотрело в этом «неисправимый логический изъян». Лишь со временем обнаружилось факты, свидетельствующие о том, что диссипация отнюдь не ограничивается возникновением источников тепла. Известно, например, что при резании металлов часть затраченной работы диссипативного характера переходит во внутреннюю энергию стружки и превышает количество выделяемого тепла трения  $Q^A$ . То же наблюдается в процессах дробления тел, при которых часть работы тратится на увеличение поверхностной энергии порошка. В технике оба этих эффекта учитываются введением «коэффициента выхода тепла», меньшего единицы. Известен также «непрямой удар» тел, когда часть затраченной на ускорение поступательного движения энергии увеличивает импульс вращательного движения. Подобным же образом ведут себя числа молей  $N_k$   $k$ -х продуктов химических реакций, тензоры деформации пластических материалов и т. д., которые также изменяются в необратимых процессах наряду с энтропией. С этих позиций сама идея Р.Клаузиуса описать все процессы диссипации параметрами лишь одной (термической) степени свободы выглядит по меньшей мере странной.

<sup>1</sup> Инергия  $\tilde{U}$  является антиподом *анергии*  $\bar{U}$ , как и эксергия  $E_x$ , но в отличие от неё характеризует способность системы совершать не *внешнюю* (техническую) а внутреннюю работу (против равновесия).

<sup>2</sup> За это свойство энергодинамика называет энтропию «термоимпульсом» - импульсом, утратившим векторную природу вследствие хаотичности теплового движения.

Действительно, изменение в неравновесных системах количества любого энергоносителя  $d\Theta_i/dt$  обусловлено не только переносом его через границы системы ( $d_e\Theta_i/dt = -J_i$ ), но и наличием у него «внутренних источников»  $d_u\Theta_i/dt = \int \sigma_i dV$  с плотностью  $\sigma_i$ . Это обстоятельство учитывается в ТНП уравнением баланса  $d\Theta_i = d_e\Theta_i + d_u\Theta_i$ , которое в дифференциальной форме имеет вид [7]:

$$d\rho_i/dt + \nabla \cdot \mathbf{j}_i = \sigma_i. \quad (8)$$

Рассматривая (8) совместно с (5), находим, что для изолированной системы (где  $J_i = 0$ )

$$dU/dt = \sum_i \Psi_i d\Theta_i/dt - \sum_i \int \psi_i \sigma_i dV + \sum_i \int \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{j}_i dV. \quad (9)$$

Поскольку в равновесии

$$dU = \sum_i \Psi_i d\Theta_i, \quad (10)$$

то из (9) следует неизвестная ранее связь источников энергоносителей  $\sigma_i$  с локальными термодинамическими силами  $\mathbf{x}_i$ :

$$\sum_i \Psi_i \sigma_i = \sum_i \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{j}_i, \quad (11)$$

В ТНП, как и в классической термодинамике, наличие источников  $\sigma_i$  признавалась только у энтропии  $\sigma_s$ , что сводило выражение (11) к диссипативной функции  $T\sigma_s = \sum_i \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{j}_i$  и превращало энтропию в «козла отпущения» за любую необратимость [7]. Между тем согласно (11) внутренние источники должны существовать в принципе у любых энергоносителей  $\Theta_i$ . В частности, они имеются у всех  $k$ -х веществ, числа молей  $N_k$  которых изменяются в ходе химических реакций, а также у их импульсов  $\mathbf{P}_k = M_k \mathbf{v}_k$ , изменяющихся в процессах взаимной диффузии компонентов гетерогенной смеси и внутреннего трения в закрытых системах. В противном случае новые степени свободы в системе не могли бы возникнуть, если их нет в окружающей среде.

Более того, из соотношения (11) непосредственно следует, что в локально равновесных системах ( $\mathbf{x}_i = 0$ ) возникновение каких-либо новых форм энергии  $\psi_i \sigma_i$  исключено ( $\sum_i \Psi_i \sigma_i = 0$ ). Это означает, что эволюция изолированных систем возможна только в результате превращения в ней различных форм энергии, когда  $\sum_i \mathbf{x}_i \cdot \mathbf{j}_i \neq 0$ , т. е. если их энергоносители обмениваются между собой импульсами  $\mathbf{j}_i$ . Однако это невозможно, эти импульсы подчиняются законам сохранения их массы, импульса, его момента, заряда и т. п. Следовательно, в противоречие с законами эволюции вступает не только принцип возрастания энтропии, но и законы сохранения энергоносителей. Не случайно эти законы доказаны только для однородных систем

( $\mathbf{x}_i = 0$ ), когда возникновение внутренних источников  $\sigma_i$  исключено.

Также не случайно отсутствие в классической термодинамике строгих доказательств принципа возрастания энтропии. Дело в том, что таких доказательств в рамках равновесной термодинамики вообще быть не может. Действительно, пусть мы имеем равновесную систему, обладающую двумя степенями свободы: термической (характеризующейся энтропией  $S$ ) и деформационной (характеризующейся объемом  $V$ ). Внутренняя энергия такой системы  $U$  как функция её состояния имеет вид  $U_{\text{из}} = U(S, V)$ . В таком случае, рассматривая

энтропию  $S$  как обратную функцию  $S_{\text{из}} = S(U, V)$ , найдем, что в изолированных системах ( $U, V = \text{const}$ ) энтропия остается неизменной:

$$S_{\text{из}} = S(U, V) = \text{const}, \quad (12)$$

С физической точки зрения такой вывод довольно очевиден: в равновесной системе никакие процессы в том числе и процессы диссипации, возникнуть не могут. Они возможны только в отсутствие равновесия, когда в число параметров, характеризующих энергию системы  $U$ , входят и параметры неравновесности, например, силы  $X_i$ , способные изменяться в изолированных системах, т. е.  $U_{\text{из}} = U(S, X_i, V)$ . Тогда и энтропия такой системы может изменяться вместе с  $X_i$ . Однако в этом случае и сам принцип возрастания энтропии будет не нужен, поскольку сами параметры  $X_i$  могут выполнять роль критериев, эволюции, притом намного более простых, понятных, легко вычисляемых и информативных, поскольку они способны отразить не только инволюцию, но и эволюцию системы, и не только системы в целом, но и каждой степени её свободы в отдельности:

$$dX_i < 0 \text{ (инволюция); } dX_i > 0 \text{ (эволюция)}. \quad (13)$$

Если же исследователь желает выяснить поведение системы в целом, то и здесь альтернативой энтропии может служить инергия системы  $\tilde{U}$ , которая также способна отразить как её эволюцию, так и инволюцию:

$$d\tilde{U}/dt = \sum_j X_j J_j < 0 \text{ (инволюция); } d\tilde{U}/dt = \sum_j X_j J_j > 0 \text{ (эволюция)}. \quad (14)$$

Это выражение, как и (13), позволяет установить причину необратимости и оценить вклад в процесс диссипации каждого реального процесса, что чрезвычайно важно при анализе путей его совершенствования.

#### 4. Возникает ли «порядок» из «хаоса»?

В последние десятилетия стало популярным представление о том, что процесс эволюции носит характер «самоорганизации» системы и что «порядок» в системах, далеких от равновесия, возникает за счет «хаоса» [4]. При этом нередко встречаются утверждения о возможности самоорганизации не только открытых, но и изолированных систем, что находится в ещё большем противоречии с термодинамикой. Как правило, это делается без каких-либо доказательств ошибочности или ограниченности термодинамики, т. е. по существу постулируется так же, как и представление о равновесии как о молекулярном «хаосе». В результате представление о возникновении порядка из хаоса не только не устраняют противоречия термодинамики с эволюцией, но расходятся уже с ними обеими.

Между тем само противопоставление «хаоса» «порядку» чисто интуитивно. Чаще всего под «хаосом» понимают беспорядок, непредсказуемость, случайность. Однако необходимо различать, к чему мы относим эти понятия: к состоянию или к процессу. Если к состоянию, то в нем признаками хаоса являются изменчивость соотношений между параметрами, характеризующими это состояние,

их непостоянство. Если же мы говорим о процессе, признаками его хаотичности (стохастичности) будет непредсказуемость характера этого процесса, т. е. его траектории в пространстве упомянутых переменных. Понятия состояния и процесса настолько различны, что их смешение может произойти только от недопонимания.

В частности, когда мы говорим об энтропии как мере “беспорядка” и “хаоса”, то имеем в виду хаотичность теплового движения, т. е. непредсказуемость траектории каждой частички в отдельности. Тем самым понятие “хаоса” относят к вполне детерминированным состояниям термического, механического, химического, электрического и т.п. равновесия. Не случайно однородное состояние в последнее время всё чаще именуют “равновесным порядком”, который существует благодаря неоднородному, и тем не менее наиболее вероятному и вполне прогнозируемому “максвелл – больцмановскому” распределению частиц по скоростям и импульсам.

Не менее противоречиво представление об эволюции как о «самоорганизации» системы. Этимология этого термина указывает на самопроизвольность этого процесса, т. е. на отсутствие какого-либо внешнего принуждения. Между тем, согласно основному постулату классической термодинамики (принципу самоненаушимости равновесия) никакая система, достигшая равновесия, самопроизвольно выйти из него не может. С другой стороны, в изолированных системах самопроизвольны все внутренние процессы. Поэтому более правильным будет говорить не о «самоорганизации» системы как целого, а об отдельных процессах, протекающих в изолированных системах в направлении удаления от состояния равновесия. Действительно, согласно закону сохранения (5), для закрытых систем, у которых отсутствует перенос какого-либо энергоносителя  $J_i$  через границы системы, справедлив и закон сохранения энергии при взаимопревращениях:

$$dU/dt = \sum_i X_i \cdot J_i. \quad (15)$$

Это означает, что в изолированных неравновесных системах ( $dU/dt \neq 0$ ;  $X_i, J_i \neq 0$ )

$$\sum_i X_i \cdot J_i = 0, \quad (16)$$

т. е. содержит члены  $X_i \cdot J_i$  различного знака, характеризующие работу  $dW''/dt$  как против сил рассеяния, так и против равновесия. Иными словами, в процессах взаимопревращения энергии некоторые виды работ совершаются против равновесия за счет инергии  $\tilde{U}_i$  других степеней свободы. Это означает, что вопреки представлениям И. Пригожина порядок в таких степенях свободы системы возникает не из хаоса, а из «порядка» в других, в том числе и за счет инергии окружающей среды, заключенной в её силовых полях. Анализ таких процессов целесообразно начать с весьма распространённого процесса кристаллизации.

**4.1. Кристаллизация как удаление от равновесия.**

Процесс образования монокристаллов можно представить как разновидность процессов фазового превращения, связанных с образованием элементарных объемов  $V_j$  новой фазы [6]. Представим себе монокристалл объемом  $V$  как сумму объемов  $V_j$  воображаемых пирамид с высотой  $h_j$ , вершины которых находится в некоторой общей «точке Вульфа» внутри кристалла, а основанием которых служит соответствующая  $j$ -я грань монокристалла с площадью  $f_j$ . При этом образование монокристалла предстанет как процесс роста кристаллической фазы объемом  $V = \sum_j V_j = \frac{1}{3} \sum_j f_j h_j$ , удовлетворяющий закону Вульфа

$$\sigma_j/h_j = \text{const}, \quad (17)$$

где  $\sigma_j$  - поверхностное натяжение граней. Согласно этому закону, устойчивая форма монокристалла характеризуется тем, что его грани удалены от общей вершины пирамид на расстояние, пропорциональное поверхностным натяжениям граней. Согласно этому закону, скорость нарастания отдельных граней монокристалла пропорциональна поверхностным натяжениям  $\sigma_j$ .

Нетрудно заметить, что в такой модели процесса кристаллизации центры объема каждой из пирамид оказываются смещённым относительно центра монокристалла (точки Вульфа) в среднем на величину  $dR_i = \frac{2}{3}h_j$  под действием движущей силы  $F_j = \sigma_j$ . Поэтому образование монокристалла требует затраты некоторой работы  $dW_j''$  [17]:

$$dW_j'' = F_j \cdot dR_j = \frac{2}{3} \sigma_j h_j > 0, \quad (18)$$

что приводит к соответствующему увеличению инергии монокристалла  $\tilde{U}$  в соответствии с критерием эволюции (14).

#### 4.2. Появление новых степеней свободы упорядоченного движения

Рассмотрим теперь пример, когда эволюция системы выражается в возникновении в системе ещё одной формы упорядоченного движения. Пусть мы имеем неподвижную в целом систему, макроскопическая часть которой ( $k$ -й компонент) вращается подобно неуравновешенному волчку (рис.2). Момент количества движения такого волчка  $L_k$  не совпадает с собственной осью его вращения, в результате чего он помимо вращения вокруг собственной оси с угловой скоростью  $\Omega_k$  испытывает прецессию с угловой скоростью  $\omega_k$ . Если совместить ось  $x$  с осью симметрии волчка, а ось  $y$  - с плоскостью, образованной векторами  $L_k$  и  $\Omega_k$ , то угловую скорость вращения волчка вокруг собственной оси  $\Omega_k = |\Omega_k|$  и угловую скорость его прецессии  $\omega_k = |\omega_k|$  можно выразить соотношением:

$$\Omega_k = L_k \cos \varphi / I_x; \quad \omega_k = L_k / I_y, \quad (19)$$

где  $L_k = |L_k|$ ;  $I_x, I_y$  - моменты инерции волчка относительно осей  $x$  и  $y$ ;  $\varphi$  - угол, образованный векторами  $L_k$  и  $\Omega_k$ . Этим угловым скоростям соответствуют внутренние кинетические энергии основного  $U_k^c = L_k^2 \cos^2 \varphi / 2I$  и прецессионного  $U_k^p = L_k^2 / 2I_y$  вращения, так что суммарная кинетическая энергия рассматриваемого волчка  $U_k = L_k^2 (\cos^2 \varphi + 1 / I_y) / 2I_x$  является в общем случае функцией не

только количества движения  $L_k$ , но и угла  $\varphi$ , определяющего ориентацию оси его собственного вращения в пространстве. Сопоставляя ее с величиной  $U_{\text{ко}} = L_k^2/2I_x$  при  $\varphi = 0$ , находим, что она превышает таковую в отсутствие прецессии (при  $\varphi = 0$ ) на величину:

$$U_k - U_{\text{ко}} = L_k^2 (I_x/I_y - \sin^2\varphi)/2I_x. \quad (20)$$

Это соответствует критериям эволюции (14) и означает, что новые степени свободы в обычной (барионной) материи возникают по мере удаления системы от состояния равновесия за счет совершения работы «против равновесия». В изолированных системах эту работу могут совершать только те степени свободы системы, которые сами не находятся во внутреннем равновесии, т. е. упорядоченны. Следовательно, «порядок» в одних степенях свободы изолированной системы может возникать только за счет «порядка» в других, но только не за счет «хаоса», как это утверждает [11].

#### 4.3. Антисипативные процессы в биосистемах

Приложение ТНП к биосистемам наталкивается на серьезные трудности. Одни из них состоят в том, что согласно законам Онзагера

$$J_i = \sum_j L_{ij} X_j, \quad (21)$$

все слагаемые «потока»  $J_i$  (обобщенной скорости  $i$ -го релаксационного процесса) имеют один и тот же знак и исчезают одновременно с наступлением полного равновесия. В результате эти уравнения описывают только процессы инволюции и оказываются неприменимыми к анализу эволюционных процессов. Более того, для релаксационных процессов они противоречат опыту, согласно которому потоки  $J_i$  исчезают не одновременно, а один за другим по мере «вырождения» соответствующих степеней свободы, т. е. в очередности, обратной их появлению по мере эволюции системы. Это выражается в прохождении системой по мере приближения к равновесию так называемых «стационарных состояний меньшего порядка», проще говоря, состояний «частичного» (неполного) равновесия.

Далее, согласно принципу взаимопревращения энергии (16) даже после изоляции биосистем от окружающей среды в ней наряду с процессами релаксации, в которых  $X_i \square J_i < 0$ , протекают «антисипативные» процессы, в которых  $X_j \square J_j > 0$ . Это выражается в различных знаках отдельных слагаемых (21). К таким процессам относится, в частности, перенос вещества в область с его повышенной концентрацией (так называемый «активный транспорт» веществ)<sup>3</sup>, а также так называемые «сопряженные» химические реакции, идущие в противоположных направлениях по отношению к их средству, в том числе «химические часы» (реакция Белоусова – Жаботинского) [12,13]. Эти явления играют, как известно, решающую роль в обеспечении жизнедеятельности биосистем. Именно благодаря совершению работы

против равновесия замедляется приближение биосистемы к равновесию (физической смерти). Здесь и лежит ключ к пониманию основного закона эволюции биосистем - «принципа выживания», согласно которому дольше живут те биоорганизмы, у которых доля работы «против равновесия» выше.

#### 4.4. Процесс волнообразования в первичной материи Вселенной

Из закона сохранения энергии в форме (5) следует, что любые силы, как  $X_i = \nabla\psi_i$ , так и  $F_i = \Theta_i X_i$ , порождены пространственной неоднородностью среды. Это относится и к той подавляющей части массы Вселенной, которую в течение трёх столетий именовали эфиром, а после его изгнания из теоретической физики – «скрытой массой», «физическим вакуумом», «тёмной материей», «небарионной материей» и. т. п. В энергодинамике она именуется первичной материей (протовеществом), чтобы не связывать её свойства с какой-либо конкретной моделью. Плотность этой «первичной» материи, из которой образовались все виды вещества Вселенной, колеблется от  $10^{-27}$  г/см<sup>3</sup> в «войдах» до  $10^{18}$  г/см<sup>3</sup> в звёздах типа «белых карликов», т. е. распределена в ней крайне неравномерно. поскольку из неё образовались все виды обычного (наблюдаемого) вещества Вселенной. Поэтому в ней неизбежно возникают колебания, связанные с образованием стоячих волн между какими-либо небесными телами или кольцевых волн, замкнутых сами на себя [14].

Образование таких волн связан с переносом некоторого её количества  $M$  из положения с радиус-вектором  $r'$  в положение  $r''$ , т. е. смещением центра массы  $M$  на длину полуволны  $\lambda_i/2$  (рис.3). Скорость этого смещения  $v$  изменяется от нуля в пучности волны до максимума в её узлах. Поэтому процесс образования стоячих волн неразрывно связан с преодолением ньютоновских сил инерции  $F_i = -dP_i/dt$  и с совершением работы [15].

Величину этой работы несложно вычислить, если учесть, что модуль смещения  $|r'' - r'|$  радиус-вектора центра массы  $M$ , равный длине полуволны  $\lambda_i/2$ , происходит за полупериод волны  $\tau_i/2 = (2\nu_i)^{-1}$ , так что средняя скорость этого смещения  $\bar{v}_i$  равна:

$$\bar{v}_i = \lambda_i \nu_i. \quad (22)$$

Эта величина определяет, как известно, скорость распространения колебаний в рассматриваемой среде  $c_i$ . В отсутствие дисперсии, когда эта скорость не зависит от частоты  $c_i \neq c_i(\nu) = c$ , искомая работа определяется особенно просто:

$$W_i = \int v_i \square dP_i = \int c^2 dM = Mc^2. \quad (23)$$

Отсюда следует, что «конденсация» первичной материи в условиях  $c = const$  связана с увеличением энергии обычной (барионной) материи на величину  $dU = c^2 dM$ . Эта энергия и расходуется затем на все разновидности эволюционных процессов в ней, начиная от образования ядер будущих атомов и до метagalactic. Таким образом, единственным источником упорядоченной энергии (инергии) для барионной материи Вселенной

<sup>3</sup> В объектах неживой природы примером таких процессов является «восходящая диффузия») перенос вещества в сторону его повышенной концентрации.

оказываются колебательная составляющая гравитационной энергии её протоматерии [16].

Она настолько велика, что в процессах синтеза вещества её избыточное количество выделяется в виде излучения, ошибочно принимаемого за энергию «холодного» или «горячего» синтеза в продуктах конденсации.

Факт наличия такого излучения легко объяснить, если принять смещение  $|r'' - r'| = \lambda_i/2$  за половину амплитуды продольной волны  $A_k$ . Это медленно приведёт к известному выражению плотности энергии волны [17]:

$$\rho_v = \rho_i v_{ik}^2/2 = \rho_i A_i^2 v_i^2/2, \text{ Дж м}^{-3}. \quad (24)$$

Мощность этого излучения  $dU_r/dt$  выражается аналогично другим видам работы произведением некоторой «радиационной» силы  $X_r$  на поток  $J_r$  её энергоносителя [17]:

$$dW_r/dt = X_r \square J_r. \quad (25)$$

Благодаря наличию в этом изучении глубокопроникающей составляющей неэлектромагнитной природы оно становится ответственным и за синтез всего живого.

## 5. Сопряжение процессов эволюции и инволюции

Энергия системы  $U$  и любой из её экстенсивных параметров  $\Theta_i$  может быть представлен интегралом от её (его) плотности  $\rho_u = dU/dV$  и  $\rho_i = d\Theta_i/dV$   $\Theta_i$ . С другой стороны, те же параметры могут быть выражены через их среднее значение  $\bar{\rho}_u = U^{-1} \int \rho_u dV$  или  $\bar{\rho}_i = \Theta_i/V = \Theta_i^{-1} \int \rho_i dV$ . Следовательно,

$$\int [d(\rho_u - \bar{\rho}_u)/dt] dV \equiv 0 \quad (26)$$

Обращение в нуль этого интеграла при  $\rho_u \neq \bar{\rho}_u$  возможно лишь тогда, когда в объеме системы  $V$  имеются *подсистемы* (области, фазы, компоненты), в которых скорости  $d(\rho_u - \bar{\rho}_u)/dt$  любого  $i$ -го процесса энергопревращения имеют противоположный знак. Иными словами, *в любой неравновесной системе имеются подсистемы, одновременно и противоположным образом изменяющие своё состояние* [18]. Это важнейшее положение, именуемое в энергодинамике «*принципом противонаправленности процессов*», справедливо как для изолированных, так и неизолированных систем. Благодаря своей общности тождество (26) может служить математическим выражением диалектического закона «единства и борьбы противоположностей».

Приложение этого принципа к процессам эволюции Вселенной как целого вносит кардинальные изменения в наши представления о происхождении и эволюции Вселенной. Если удаление от равновесия (эволюция)  $d(\rho_u - \bar{\rho}_u)/dt > 0$  одних её областях неизбежно сопровождается приближением к равновесию (инволюция) других  $d(\rho_u - \bar{\rho}_u)/dt < 0$ , то в протоматерии Вселенной неизбежно возникают акустически колебания её плотности. Это означает, что в любой неоднородной изолированной системе *всегда имеются области, в которых изменение*

*энергии и направлении процессов носит противоположный характер*. Иными словами, эволюция видимого (наблюдаемого) вещества Вселенной (начиная от ядер атомов и кончая метagalacticками) неизменно сопровождается инволюцией той части её скрытой массы (протоматерии), которое ещё не вовлечено в колебательное движение. Это обстоятельство, иллюстрируемое рис.3, обеспечивает перманентную концентрацию вещества в одних её областях (вплоть до сингулярности) и расширение («большой взрыв», «большой разрыв» - в других, что и обеспечивает неограниченное во времени существование Вселенной.

Чтобы показать, что однородное распределение вещества во Вселенной неустойчиво, представим модуль ускорения свободного падения  $g = GM/R^2$  в законе всемирного тяготения Ньютона как функцию плотности  $\rho$  гравитационного поля, записав этот закон для сферы единичного объема  $V$  с радиусом  $R$  и массой  $M = \rho V$ :

$$g = (GV/R^2)\rho, \quad (28)$$

где  $G$  – гравитационная постоянная,  $R$  – расстояние от центра массы  $M$  до точки на его поверхности с потенциалом  $\psi_g = -GM/R$ .

Согласно этому выражению, удельная сила тяготения  $g$  на поверхности единичной сферы пропорциональна плотности заключённого в ней вещества и возрастает с её увеличением. Это означает, что если в какой-либо области Вселенной спонтанно возник какой-либо градиент плотности вещества, то силы тяготения ведут к дальнейшему его возрастанию, т.е. к уплотнению одних, и разрежению других областей Вселенной с последующей «конденсацией» протоматерии в областях повышенной плотности и образованием из него барионной (структурированной) материи с другими формами энергии (тепловой, деформационной, химической, электрической, ядерной и т.п.) и его последующему уплотнению [19].

В этих «сопряженных» процессах гравитационная энергия протоматерии  $U_g$  уменьшается на величину суммарной энергии  $\sum_j U_j$  всех вновь приобретённых барионной материей  $j$ -х форм, не нарушая закона сохранения энергии. При этом процесс, являющийся для барионной материи эволюционным, для протоматерии является релаксационным. Этот вывод не зависит от каких-либо физических моделей барионной или небарионной материи.

Нетривиальными следствиями такого подхода является подтверждение не только принципа взаимопревратимости энергии (16), но и принципа противонаправленности процессов в барионной и небарионной части материи Вселенной, не требуя привлечения ОТО и не выходя за рамки ньютоновской теории гравитации. В тоже время энергодинамика не исключает возможности возникновения во Вселенной сингулярностей и «больших взрывов», являющихся причиной кругооборота материи и энергии во Вселенной. Последнее означает, что понятие «стрелы времени» к ней как целому неприменимо.

Единовременность (сопряжения) процессов эволюции и инволюции вскрывает их диалектическое единство и обнажает принципиальную недопустимость постулирования Д. Гильбертом, А. Эйнштейном и А. Фридманом единого уравнения гравитации для Вселенной в виде постулата о пропорциональности тензора кривизны пространства  $G_{\mu\nu}$  тензору энергии-импульса  $T_{\mu\nu}$  [20]:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}. \quad (27)$$

где  $G$  - гравитационная постоянная, служащая в этом уравнении коэффициентом пропорциональности.

Достаточно было учесть противонаправленность процессов эволюции в различных областях безграничной Вселенной и ограничить это соотношение (с  $\Lambda$ - членом или без него) теми областями, где эти процессы синфазны, чтобы математический анализ этого соотношения, данный А. Фридманом, привёл бы к вполне согласующемуся с наблюдениями выводу о неизбежности концентрации вещества в одних её областях, и его рассеяния - в других. Это предотвратило бы появление абсурдной «стандартной модели» эволюции Вселенной, утверждающей рождение всей Вселенной из некоей единой «сингулярности».

#### Литература

1. Пригожин И. Время, структура и флуктуации (нобелевская лекция 1977 года) // Успехи физических наук. 1980. Т. 131. С.185–207.
2. Klausius R. Die mechanische Wärmetheorie. Draudschweig, Bd.I, 1876.
3. Boltzmann, L. The second law of thermodynamics (1886).
4. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986.
5. Schrödinger, E.. What is Life?: London: Cambridge University Press, 1944.
6. Базаров И.П. Термодинамика. Изд. 4-е, М.: Высшая школа, 1991. 375с
7. Де Грот С.Р., Мазур П. Неравновесная термодинамика. М.: Мир, 1964.
8. Эткин В.А. Синтез и новые приложения теорий переноса и преобразования энергии: Дисс. ... доктора технических наук: 05.14.05 - Теоретические основы теплотехники. М., МЭИ, 1998. – 213 с.
9. Эткин В.А. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии) – СПб.: «Наука», 2008; Etkin V. Enerгодynamics (Thermodynamic Fundamentals of Synergetics).- New York, 2011.
10. Umov A. I. Selected Works. M.L., 1950. p. 203.
11. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986
12. Белоусов Б. П. Периодически действующая реакция и её механизм. Сб.: Автоволновые процессы в системах с диффузией. — Горький: Изд-во ГГУ, 1951, с.76
13. Жаботинский А. М. «Концентрационные колебания». М.: Наука, 1974.
14. Jeans J.H. The New Background of Science. — London, 1933.
15. Etkin VA. On Wave Nature of Matter. // World Scientific News **69**, 220-235 (2017).
16. Etkin V. Gravitational repulsive forces and evolution of universe. // Journal of Applied Physics (IOSR-JAP), 8(6), 2016. 43-49 (DOI: 10.9790/4861-08040XXXXX).
17. Крауфорд Ф. Берклеевский курс физики. Т.3: Волны. М.: Мир, 1965. 529 с.
18. Эткин В.А. О потенциале и движущей силе лучистого теплообмена. //Вестник Дома ученых Хайфы, 20(2010).2-6.
19. Etkin V. Principle of non-equilibrium processes counter directivity. // Reports by independent authors, 37(2016), 86 – 92.
20. Мизнер, Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. Т.3.— М.: Мир, 1977.

## FLICKER-NOISE PROCESSES IN STRUCTURALLY-DISORDERED SILICON SYSTEMS

**Makoviichuk M.**

*PhD in Physics and Mathematics*

*Valiev Institute of Physics and Technology of Russian Academy of Sciences, Yaroslavl Branch*

## ФЛИККЕР–ШУМОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В СТРУКТУРНО-НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ КРЕМНИЕВЫХ СИСТЕМАХ

**Маковийчук М.И.**

*Канд. физ.-мат. наук*

*Ярославский Филиал Физико-технологического института им. К.А. Валиева Российской АН*

### Abstract

The successful use of flicker noise spectroscopy as a diagnostic tool in microtechnology is largely determined by the level of development of fundamental studies of flicker noise processes in structurally disordered semiconductor systems. The review analyzes the basic laws of flicker-noise processes in structurally disordered semiconductor materials (for example, silicon). As an example of the practical implementation of flicker noise spectroscopy, the capabilities of the method for the development of new generation gas sensors are analyzed.