

ПРИНЦИП ПРОТИВОНАПРАВЛЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ

Эткин В.А.

Показано, что в пространственно неоднородных системах существует особая категория процессов, которая вызывает противоположные изменения свойств в её частях. Эти процессы придают системе неаддитивные свойства, делающие их способными к внутреннему движению и эволюции. Тем самым предложено физическое обоснование диалектического закона единства и борьбы противоположностей

PRINCIPLE OF PROCESSES COUNTERDIRECTIVITY

Etkin V.A.

It is shown, that in spatially non-uniform systems there is a special category of processes which lead to opposite changes of properties in its parts. These processes give to system not additive properties doing them capable to internal movement and evolution. Thereby the physical substantiation of the dialectic law of the unity and conflict of opposites is given

Введение. Возможность применения в естествознании одного из основных законов материалистической диалектики, утверждающего единство и борьбу противоположностей, подвергается в настоящее время не вполне оправданной критике [1]. Она основана на расплывчатости таких основных понятий диалектики, как «противоречие», «борьба», «отрицание» и т.п., что угрожает перерождением диалектического материализма в софистику. В связи с этим вполне понятно стремление облечь этот весьма плодотворный способ анализа явлений и исторического хода развития научной мысли в строгие математические формы. В настоящей статье предлагается осуществить это путем доказательства общефизического принципа, весьма близкого по содержанию упомянутому закону, на основе энергодинамики как единой теории процессов переноса и преобразования энергии, обобщающей термодинамику на любые формы энергии [2].

1. Доказательство принципа. Рассмотрим сначала случай изолированной системы, включающей в себя всю совокупность взаимодействующих (взаимно движущихся) тел или их макроскопических частей (областей, фаз, компонентов). Такая система по определению закрыта (т.е. не обменивается веществом с окружающей средой) и замкнута (т.е. не подвержена действию внешних сил \mathbf{F}), так что в силу законов сохранения её энергия E , а также экстенсивные параметры состояния Θ_i (масса покоя M , заряд Z , числа молей k -х веществ N_k , импульс \mathbf{P} , его момент \mathbf{L} и т.п.) остаются неизменными во времени t ($dE/dt = 0$; $dM/dt = 0$; $dZ/dt = 0$; $d\mathbf{P}/dt = 0$; $d\mathbf{L}/dt = 0$).

Разбивая рассматриваемую систему на элементы объема dV , для которых понятие плотности $\rho_i = d\Theta_i/dV$ указанных параметров, в том числе плотности энергии $\rho_e = dE/dV$, еще сохраняет свой смысл, и представляя эти параметры в виде интеграла по объему системы V , найдем в условиях его постоянства:

$$d\Theta_i/dt = \int (d\rho_i/dt)dV = 0. \quad (1)$$

Интеграл (1) обращается в нуль в двух случаях: когда во всех элементах объема V изолированной системы $d\rho_i/dt = 0$, т.е. отсутствуют какие-либо процессы, и тогда, когда про-

изводные $d\rho_i/dt \neq 0$, но их знак в различных областях системы противоположен. Такая «противонаправленность» процессов в различных частях изолированной системы касается не только её энергии, но и любого другого параметра, подчиняющегося закону сохранения (массы M , заряда Z , импульса \mathbf{P} и его момента \mathbf{L}).

Обобщим теперь это доказательство на случай неизолированных систем.

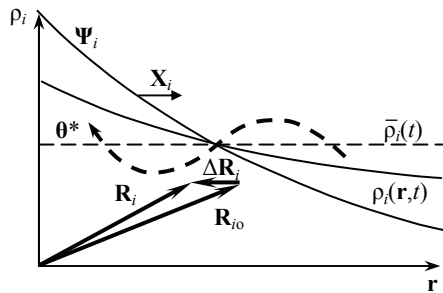


Рис. 1. К образованию момента распределения.

С этой целью рассмотрим рис.1, на котором изображено произвольное распределение какого-либо экстенсивного параметра Θ_i (массы M , энтропии S , заряда Z , числа молей k -го вещества N_k и т.д.) по объему системы V . Это распределение характеризуется на рисунке сплошной линией, выражающей плотность $\rho_i(\mathbf{r}, t) = d\Theta_i/dV$ величины Θ_i как функции пространственных координат (радиус-вектора \mathbf{r}) и времени t . Пунктирная линия на этом же рисунке характеризует среднее значение этой плотности как функции времени $\bar{\rho}_i(t) = \Theta_i(t)/V = V^{-1} \int \rho_i dV$. Из рисунка непосредственно следует, что в

рассматриваемой системе имеются области, в пределах которых плотность $\rho_i(\mathbf{r}, t)$ больше и меньше средней $\bar{\rho}_i(t)$. При этом становится совершенно очевидным, что при удалении распределения любого экстенсивного параметра Θ_i от однородного или при приближении к нему плотность $\rho_i(\mathbf{r}, t)$ в одних частях системы убывает, а в других – возрастает.

Однако если система не является замкнутой, закрытой и изолированной, т.е. подвержена действию внешних сил и обменивается с окружающей средой веществом и энергией, средняя величина $\bar{\rho}_i(t)$ параметра Θ_i в ней также не остается постоянной. Тем больший интерес представляет убедиться в том, что и в этом случае $\rho_i - \bar{\rho}_i$ изменяется в разных частях системы противоположным образом. С этой целью разобьем изолированную систему на области с объемом V' и V'' , в пределах которых плотность $\rho_i(\mathbf{r}, t)$ больше или меньше $\bar{\rho}_i(t)$. Тогда в силу очевидного равенства $\int \rho_i dV = \int \bar{\rho}_i dV = \Theta_i$ имеем:

$$\int_{V'} [\rho_i'(\mathbf{r}, t) - \bar{\rho}_i(t)] dV' + \int_{V''} [\rho_i''(\mathbf{r}, t) - \bar{\rho}_i(t)] dV'' = 0. \quad (2)$$

Отсюда следует, что и в неизолированной системе имеются *подсистемы* (области, фазы, компоненты), в которых разности $(\rho_i' - \bar{\rho}_i)$ и $(\rho_i'' - \bar{\rho}_i)$, а также скорости их изменения $d(\rho_i' - \bar{\rho}_i)/dt$ и $d(\rho_i'' - \bar{\rho}_i)/dt$ имеют противоположный знак. При этом избыток величины Θ_i в одной части системы компенсируется её недостатком в другой её части. Предложенное доказательство не зависит от того, справедливы ли для параметров Θ_i законы сохранения, какие физико-химические свойства системы они характеризуют, какова скорость протекающих в ней процессов и т.д. Это позволяет утверждать существование *общезначимого принципа противонаправленности процессов*, согласно которому «*среди процессов, протекающих в пространственно неоднородных системах, всегда имеются такие, которые вызывают противоположные изменения её параметров*» [3].

Чтобы показать, что этот принцип имеет непосредственное отношение к упомянутому выше закону материалистической диалектики, рассмотрим некоторые следствия этого принципа.

2. Противонаправленность как источник системных свойств. Рисунок 1 наглядно показывает, что удаление системы от состояния внутреннего равновесия (однородного состояния) сопровождается переносом некоторого количества Θ_i^* величины Θ_i из одной части системы в другую в направлении, указанном на рис. 1 стрелкой. Обратный характер имеет процесс релаксации системы. Фундаментальные дисциплины, оперирующие параметрами Θ_i , такого рода внутренние процессы переноса не рассматривали. Поэтому эти процессы до сих пор оставались вне сферы их внимания.

Между тем именно противонаправленные процессы ответственны за появление у объекта исследования свойств, которыми не обладает ни одна из её частей в отдельности, т.е. *новых степеней свободы*. Дело в том, что такие процессы приводят к особым, качественно отличным и несводимым к другим изменениям состояния. Чтобы найти параметры, характеризующие эти изменения, обратим внимание на положение центра какой-либо экстенсивной величины Θ_i , изменяющееся в процессе её перераспределения. Это положение, задаваемое радиус-вектором \mathbf{R}_i , определяется известным выражением:

$$\mathbf{R}_i = \Theta_i^{-1} \int \rho_i(\mathbf{r}, t) \mathbf{r} dV, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

В однородном состоянии той же системы положение \mathbf{R}_{i0} центра величины Θ_i можно найти, вынося в выражении (3) $\bar{\rho}_i(t) = \text{const}$ за знак интеграла:

$$\mathbf{R}_{i0} = \Theta_i^{-1} \int \bar{\rho}_i(t) \mathbf{r} dV = V^{-1} \int \mathbf{r} dV. \quad (4)$$

Вычитая (4) из (3), находим, что состояние пространственно неоднородной системы в целом отличается возникновением в ней специфических «моментов распределения» \mathbf{Z}_i параметра Θ_i :

$$\mathbf{Z}_i = \Theta_i(\mathbf{R}_i - \mathbf{R}_{i0}) = \int [\rho_i(\mathbf{r}, t) - \bar{\rho}_i(t)] \mathbf{r} dV. \quad (5)$$

Величина этих моментов определяется произведением распределяемой величины Θ_i на плечо $\Delta\mathbf{R}_i = \mathbf{R}_i - \mathbf{R}_{i0}$, названное нами *вектором смещения*. Они характеризуют удаление системы в целом от однородного состояния. Примером таких параметров являются моменты, возникающие в процессах поляризации, диссоциации, ионизации, намагничивания и т.п., и состоящие в возникновении и разделении в пространстве противоположных зарядов или магнитных полюсов [4]. Таковы же и векторы электрического смещения, введенные впервые Максвеллом.

Легко видеть, что изменения состояния неоднородной системы, вызванные протеканием в ней противонаправленных процессов, *неаддитивны*, поскольку экстенсивные параметры Θ_i остаются в ходе этих процессов неизменными. С особой очевидностью неаддитивность параметров \mathbf{Z}_i проявляется в том, что в соответствии с (5) они обращаются в нуль при «стягивании» системы в материальную точку ($dV \rightarrow 0$), когда $\rho_i(\mathbf{r}, t) \rightarrow \bar{\rho}_i(t)$. Этим и объясняется отсутствие таких параметров при изучении систем на основе гипотезы локального равновесия [5]. Между тем именно они объясняют, почему совокупность элементов континуума, рассматриваемая как неравновесная в целом система, обладает дополнительными степенями свободы.

Типичным примером неоднородного распределения в пространстве какой-либо величины Θ_i является волна. Если в выражении (2) под V' и V'' понимать область пространства, в пределах которой отклонения плотности какой-либо среды $\rho_m(\mathbf{r}, t)$ от его среднего значения $\bar{\rho}_i$ имеют противоположный знак (положительная и отрицательная полуволна), то момент распределения массы этой среды \mathbf{Z}_m для одиночной волны также можно представить в виде $\mathbf{Z}_m = M' \Delta\mathbf{R}_m$, где $M' = \int \rho'_m(\mathbf{r}, t) dV'$; $\Delta\mathbf{R}_m = \mathbf{R}'_m - \mathbf{R}''_m$ – аналог плеча электрического или магнитного диполя, определяемого в данном случае разностью координат центра массы положитель-

ной и отрицательной полуволны. Поэтому возникновение волны эквивалентно процессу поляризации среды её распространения, что обуславливает силовой характер взаимодействия волны с погруженными в эту среду телами [6].

Нахождение неаддитивных параметров состояния является неременным условием системного подхода, принятого в настоящее время за эталон научного исследования. Как известно, системный подход – это методология исследования, требующая рассмотрения объекта исследования как единой совокупности взаимодействующих тел или частей тела сл всеми присущими им взаимосвязями. Именно эти «системообразующие» связи придают объекту исследования в целом свойства, которыми не обладает ни одна из его отдельно взятых частей. Иными словами, «системообразующие» свойства неаддитивны по самой сути этого понятия. Поэтому одним из требований системного подхода является изучение объекта исследования «от целого к части» во избежание утраты упомянутых «системообразующих» связей.

Одним из таких свойств является способность неравновесных систем совершать полезную работу, которой не обладает ни одна их однородная часть. В отношении тепловых машин это положение было осознано еще С. Карно (1824), который заложил его в исторически первой формулировке принципа исключенного вечного двигателя 2-го рода, положенного затем Р.Клаузиусом в основание новой дисциплины - термодинамики. Согласно ему, «живой силой», т.е. способностью к совершению полезной работы, обладают лишь термически неоднородные среды, в которых имеется перепад температуры (т.е. существуют подсистемы, способные играть роль источников и приемников тепла).

Другим неаддитивным свойством пространственно неоднородных сред является протекание в них внутренних релаксационных процессов, приводящих к выравниванию плотностей, концентраций, электрических зарядов и т.п. в различных частях такой системы. Такие (векторные) процессы релаксации отсутствуют в любом элементе однородного континуума.

Еще одним очевидно неаддитивным свойством является момент импульса системы L , который может отсутствовать в системе как целом, но отличным от нуля для любой её вращающейся части. Неаддитивны также силы гравитационного или электростатического притяжения, пропорциональные произведению взаимодействующих масс или зарядов, а не их сумме. Более того, неаддитивна и сама *внешняя* (взаимная), которая принадлежит, строго говоря, лишь совокупности взаимодействующих тел и лишь в простейших случаях может быть приписана достаточно малому «пробному» телу, как бы находящемуся в «поле» другого тела.

Далее, к неаддитивным свойствам следует отнести способность ряда систем к «самоорганизации», отсутствующая у любой ее однородной части и возникающую лишь на определенном иерархическом уровне организации системы. (С.Кеплен, Э.Эсиг, 1968; И.Пригожин, 1973, 1986), а также явления «синергетизма» (коллективного действия), результат которого по определению отличен от суммы усилий отдельных «индивидуумов» (компонентов системы). Сказанное относится вообще к любым структурированным системам, специфические свойства которых обусловлены взаимным расположением и взаимной ориентацией функционально обособленных элементов системы и исчезают при расчленении объекта исследования на эти элементы (Г.Гладышев, 1988). Многие из таких элементов (как, например, макромолекулы и клетки), будучи обособленными, остаются пространственно неоднородными (локально неравновесными) даже при их микроскопических размерах, и представляют собой своего рода «микрокосмос». Все это требует обязательного учета противонаправленности при исследовании любых реальных процессов.

Вряд ли необходимо доказывать, насколько далеки от такого подхода фундаментальные дисциплины типа механики сплошных сред, гидро-и газодинамики, теории тепло-и массопереноса, электродинамики и других полевых теорий, так или иначе базируются *на гипотезе локального равновесия* (И.Пригожин, 1960) [5]. Эта гипотеза предполагает наличие равновесия в элементах пространственно неоднородных (и в общем случае континуальных) сред (несмотря на протекание в них макропроцессов); возможность описания их

состояния тем же набором переменных Θ_i , что и в равновесии (несмотря на фактическое использование дополнительных параметров – градиентов температур, давлений и т.п.) и справедливость для этих элементов всех соотношений равновесной термодинамики в форме равенства (несмотря на неизбежный переход их в неравенства в случае необратимых процессов) [7].

В соответствии с гипотезой локального равновесия исследование сплошных сред осуществляется путем их деления на бесконечно большое число элементарных объемов dV , предполагаемых однородными, в надежде отразить в дальнейшем свойства системы как целого с помощью подходящих интегралов. Однако такой поход, имеющий целью упрощение математического исследования явления, с очевидностью неприменим к неаддитивным свойствам. В этом и состоит, по мнению А.Пуанкаре (1974), «самое большое и самое глубокое потрясение, которое испытала физика со времен Ньютона». Оно состоит в том, что «физические явления перестают подчиняться законам, которые можно выразить с помощью дифференциальных уравнений».

3. Противонаправленность как источник движения. Учет моментов распределения любых экстенсивных параметров состояния $\mathbf{Z}_i = \Theta_i \mathbf{R}_i$ дают более полную характеристику свойств пространственно неоднородных сред, указывая на протекание в них двух независимых категорий процессов. Одни из них выражаются изменением \mathbf{Z}_i в условиях постоянства \mathbf{R}_i и выражаются в равномерном изменении $\rho_i(\mathbf{r}, t)$ во всех точках системы. Таковы, в частности, равновесные системы, рассматриваемые классической термодинамикой. Иного рода процессы *перераспределения* параметров Θ_i , обусловленные противонаправленностью процессов и характеризующиеся изменением координат \mathbf{R}_i или \mathbf{Z}_i в условиях постоянства Θ_i . Такие изменения состояния сопровождают релаксацию системы или противоположные её процессы совершения в системе внутренней работы против равновесия. Такая работа совершается, например, в процессах активного транспорта веществ в биосистемах или в явлениях типа «восходящей диффузии» [8]. Наличие двух групп процессов со своими координатами Θ_i и \mathbf{R}_i означает, что энергия E пространственно неоднородной системы является функцией не только параметров Θ_i , но зависит и от положения \mathbf{R}_i центра их величины, т.е. $E = E(\Theta_i, \mathbf{R}_i)$, так что её полный дифференциал может быть представлен в виде:

$$dE = \sum_i \psi_i d\Theta_i - \sum_i \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{R}_i, \quad (6)$$

где $\psi_i \equiv (\partial E / \partial \Theta_i)$ – обобщенные потенциалы типа абсолютной температуры T , давления p , химического потенциала k -го вещества μ_k , его электрического потенциала ϕ_k и т.д.; $\mathbf{F}_i \equiv -(\partial E / \partial \mathbf{R}_i)$ – силы в их обычном (ньютоновском) понимании.

От основного уравнения термодинамики необратимых процессов (ТНП) [9] эта форма представления закона сохранения энергии отличается наличием второй суммы, позволяющей находить основные величины, которыми оперирует эта теория (термодинамические силы $\mathbf{X}_i = \mathbf{F}_i / \Theta_i = -\nabla \psi_i$ и потоки $\mathbf{J}_i = d\mathbf{Z}_i / dt$) без составления громоздких уравнений баланса энергии, массы, заряда, импульса и энтропии [10]. Кроме того, уравнение (6) носит характер тождества и потому сохраняет силу во всем диапазоне реальных процессов – от чисто диссипативных до обратимых. Такой подход позволяет обобщить термодинамический метод исследования на другие области знания, получив все важнейшие принципы, законы и уравнения классической и квантовой механики, классической и неравновесной термодинамики, теории тепло-и массообмена, гидро-и аэродинамики, электростатики и электродинамики как непосредственное следствие энергодинамики без каких-либо дополнительных гипотез и постулатов [11]. Огромный массив экспериментально подтвержденных следствий этих фундаментальных наук наилучшим образом подтверждает справедливость принципа противонаправленности процессов, лежащего в основании энергодинамики.

Однако для нас сейчас более важным обстоятельством является то обстоятельство, что производные по времени от параметров \mathbf{R}_i характеризуют скорость $\mathbf{v}_i = d\mathbf{R}_i / dt$ переноса

i -го энергоносителя Θ_i . В свою очередь скорости переноса \mathbf{v}_i определяют еще более важную величину – потоки i -го энергоносителя \mathbf{J}_i

$$\mathbf{J}_i = d\mathbf{Z}_i/dt = \Theta_i \mathbf{v}_i, \quad (7)$$

характеризующие обобщенную скорость i -го процесса перераспределения параметра Θ_i , связанного с обсуждаемой противонаправленностью процессов. В теории необратимых процессов [9] потоки имеют совершенно иной смысл, и характеризуют однонаправленные релаксационные процессы, приближающие систему к равновесию. Они находятся на основе выражения для скорости возникновения энтропии в системе, имеют иную размерность и никак не связаны с отмеченной выше противонаправленностью процессов. Эта особенность потоков в теории необратимых процессов (ТНП) сохраняется и после обобщения ТНП на векторные процессы.

В отличие от ТНП, потоки \mathbf{J}_i в энергодинамике отражают и противоположные релаксационным (антирелаксационные) изменения состояния системы, связанные с совершением в ней работы против равновесия. Такие потоки напоминают движение лавины как целого или транспортные потоки на железнодорожных узлах. Их размерность отлична от размерности расхода жидкости или газа и ближе к понятию общей количественной меры движения, понимаемого в диалектике в самом широком смысле как любое изменение свойств. Это позволяет в свою очередь столь же четко отразить в естествознании понятие «борьбы» противоположностей.

В 1933 г. будущий нобелевский лауреат Л.Онсагер постулировал принцип взаимности, утверждающий всеобщую взаимосвязь движущих сил и скоростей реальных (протекающих с конечной скоростью) процессов. В теории необратимых процессов (ТНП) это положение постулируется в форме так называемых «феноменологических» законов Онсагера [9]:

$$\mathbf{J}_i = \sum_j L_{ij} \mathbf{X}_j \quad (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad (8)$$

где \mathbf{J}_i – потоки тепла, вещества, заряда, импульса и т.п.; L_{ij} – феноменологические (подлежащие экспериментальному определению) коэффициенты пропорциональности, число которых равно $n(n+1)/2$; \mathbf{X}_j – термодинамические силы, вид которых устанавливается на основе выражения баланса энтропии системы.

Согласно (8), каждый из потоков \mathbf{J}_i возникает под действием всех имеющихся в системе термодинамических сил \mathbf{X}_j , а его составляющие $L_{ij} \mathbf{X}_j$ пропорциональны этим силам. Это положение можно обосновать достаточно строго, если в соответствии с принципом противонаправленности рассматривать внутренние силы $\mathbf{F}_j = \mathbf{F}_j(\Theta_i, \mathbf{R}_i)$ как функции состояния неоднородной системы. Тогда, рассматривая обратную функцию $\mathbf{R}_i = \mathbf{R}_i(\Theta_i, \mathbf{F}_j)$, немедленно приходим к выводу, что скорость любого процесса $\mathbf{v}_i = d\mathbf{R}_i/dt$ и соответствующий ей поток энергоносителя $\mathbf{J}_i = d\mathbf{Z}_i/dt = \Theta_i \mathbf{v}_i$ зависят в общем случае от всех действующих в системе сил \mathbf{F}_j . Некоторые из этих сил являются причиной возникновения любого движения (процесса) и называются движущими силами \mathbf{F}_j , другая часть противонаправлена им и именуется силами реакции. Тем самым «борьба противоположностей» приобретает вполне конкретный смысл процессов, связанных с преодолением в ходе противонаправленных процессов каких-либо сил \mathbf{F}_j .

Характерно, что энергодинамика, определяющая силы \mathbf{F}_j на более общей основе закона сохранения энергии (6) и допускающая их непосредственное суммирование, позволяет существенно упростить законы переноса (8) путем приведения их к так называемой «диагональной» форме (без перекрестных коэффициентов L_{ij}) [12]:

$$\mathbf{J}_i = L_i \sum_j \mathbf{F}_{ij}, \quad (9)$$

где L_i – аналоги коэффициентов теплопроводности, электропроводности, диффузии, трения и т.п., число которых равно n ; $\mathbf{F}_{ij} = \Theta_j \mathbf{X}_j$ – компоненты силы $\mathbf{F}_j = \sum_j \mathbf{F}_{ij}$. Некоторые со-

ставляющие \mathbf{F}_{ij} результирующей силы \mathbf{F}_j противонаправлены, и именно этим обстоятельством объясняются в энергодинамике многочисленные эффекты «наложения»: термомеханические, термохимические, термодиффузионные, термоэлектрические, электрокинетические, термогальваномагнитные и т.д. [10].

Согласно кинетическим уравнениям (9), эти эффекты возникают вследствие взаимной компенсации компонент $\mathbf{F}_{ij} = \Theta_i \mathbf{X}_i$ результирующей силы \mathbf{F}_j . При этом $\Theta_i \mathbf{X}_i = -\Theta_j \mathbf{X}_j$, откуда непосредственно следуют определенные соотношения термодинамических сил в момент наступления частичного равновесия i -го рода:

$$\mathbf{X}_i/\mathbf{X}_j = -\Theta_j/\Theta_i. \quad (10)$$

В ТНП такого рода эффекты выражаются через эмпирические коэффициенты L_{ij} и потому трактуются не как условия частичного равновесия, а как условия стационарности определенного порядка. Такие состояния объясняются как проявления некоего «синергетизма» (содействия, взаимного усиления, «увлечения» и т.п.) разнородных процессов. Такое «объяснение» диаметрально противоположно идее «борьбы противоположностей» и не выдерживает критики в связи с тем, что потоки \mathbf{J}_i в уравнениях (8) и (9) заведомо независимы.

4. Противонаправленность сил как суть взаимодействия. Нетрудно заметить, что 3-й закон Ньютона, утверждающий равенство сил действия и противодействия, тем самым отражает противонаправленность сил. Таким образом, принцип противонаправленности в его приложении к силам лежит неявным образом в основе современной парадигмы, утверждающей идею взаимодействия. Однако из этого принципа следует и нечто большее, а именно утверждение о том, что силы или их моменты возникают и исчезают только парами. Для доказательства этого рассмотрим общий случай системы, включающей в себя любую совокупность взаимодействующих тел. Для такой системы все действующие в ней силы любой j -й природы являются внутренними, а их сумма не имеет, как известно, результирующей \mathbf{F}_j . Таковы, например, внутренние силы давления газа p (Н/м²) на элемент замкнутой поверхности df . Рассматривая систему в целом, на основании теоремы Гаусса о градиенте находим, что результирующая сил давления на замкнутую поверхность равна нулю:

$$\mathbf{F}_p = \int p df = \int \nabla \cdot p dV = 0. \quad (11)$$

Это означает, что если в одном элементе dV объема такой системы термодинамическая сила $\mathbf{X}_p = -\nabla p$ отлична от нуля, то в другом элементе объема она должна иметь противоположный знак. Это доказательство можно распространить на внешние силы и их моменты, поскольку их всегда можно свести к внутренним, включая в понятие системы окружающую среду, т.е. рассматривая так называемые «расширенные» системы. Таким образом, любая сила или её момент уже при самом своем возникновении имеет компенсирующую её (его) противодействующую. Это означает, что в механике и любой другой дисциплине, оперирующей понятием силы, правильнее всегда иметь в виду пару сил или моментов, одновременно действующих на разные объекты независимо от того, насколько они разнесены в пространстве. В таком сила должна уступить место более общему понятию «напряжения» в системе (её напряженного состояния).

Сказанное имеет непосредственное отношение к явлению «квантовой запутанности». Известны случаи взаимозависимости двух или большего числа объектов, выходящая за рамки скорости распространения известных видов взаимодействия и сохраняющаяся даже тогда, когда эти объекты разнесены в пространстве на значительное расстояние. Примером является «запутанное» состояние двух фотонов, когда при измерении спина одного из них его спиральность оказывается положительной, в то время как спиральность второго всегда оказывается отрицательной (и наоборот).

С точки зрения принципа противонаправленности процессов это явление является непосредственным следствием того, что любые силы (и в том числе те, что действуют на фотоны в процессе измерения их спина) возникают и исчезают одновременно и только парами.

Для далекодействующих сил или моментов эти элементы объема или «населяющие их» частицы могут быть как угодно разнесены в пространстве. Поэтому, когда мы говорим о действии на фотон какой-либо силы или момента в процессе измерения его спина, мы должны иметь в виду, что речь в действительности идет о паре сил или моментов, приложенных к двум разлетающимся противоположно ориентированным по спину фотонам. Таково, в частности, действие сил, исходящих от уединенной волны (солитона), передний и задний фронт которой порождают пару сил, разнесенных на расстояние полу-волны [13].

В настоящее время в физике безраздельно господствует корпускулярная теория взаимодействия материальных объектов, наиболее полно отраженная в Стандартной модели элементарных частиц. В ней все виды элементарных частиц делятся на фермионы (носители материи, обладающие массой покоя) и бозоны (носители взаимодействия, не обладающие массой покоя и распространяющихся в пространстве с постоянной (предельной) скоростью, минуя стадию ускорения и торможения. При этом взаимодействие рассматривается как результат попеременного обмена между телами или частицами материи бозонами, а энергообмен между ними – как результат неравенства потоков испущенных и поглощенных безмассовых бозонов. Законы механики, оперирующей понятиями силы, ускорения, длительности, инерции и сопротивления среды и т.п., считаются к таким процессам не применимыми¹⁾.

Между тем согласно (1), знак производных dp_i/dt противоположен в любой момент времени t . Это означает, что «противонаправленность» изменений состояния в различных частях системы нельзя трактовать как результат попеременного (сколь угодно мало разнесенного во времени) обмена между частицами ними какими-либо «субчастицами» или некоей «информацией» со сверхсветовыми скоростями. Единственный логически непротиворечивый вывод из отмеченной одновременности состоит в признании существования некоторой материальной среды (как бы мы её ни называли – физическим вакуумом, эфиром или полем), поляризация которой (понимаемая в самом общем смысле как её отклонение от внутреннего равновесия) порождает пару сил или их моментов, одновременно действующую на разнесенные в пространстве тела или частицы в полном соответствии с принципами близкодействия. Типичным проявлением такой пары сил является гидродинамическая волна, сила воздействия которой определяется в энергодинамике выражением $F_m \equiv -(\partial E/\partial \Delta R_m)$, единым для всех сил.

Сказанное имеет непосредственное отношение и к случаю действия магнитной составляющей силы Лоренца, которая приложена к движущемуся электрону по нормали к направлению движения. То, что такая сила не совершает работы, еще не означает, что её не совершает крутящий момент, образованный парой сил Ампера.

5. Противонаправленность как источник силы. Согласно (6), любые силы определяются в энергодинамике как производные от энергии системы E по координате соответствующего процесса R_i , что придает силам любой природы единый физический смысл и единую размерность [14]. Такое определение обобщает понятие силы в механике, делая его пригодным для любых сил – внешних и внутренних, далекодействующих и короткодействующих, полезных и диссипативных, активных и пассивных (инерционных), механических и немеханических. В этом отношении энергодинамику вполне можно было бы назвать обобщенным учением о силах. Такой подход значительно расширяет число признаков классификации сил по сравнению с традиционным делением их только на гравита-

¹⁾ Очевидно также, что само понятие элементарной (неделимой) частицы в этом случае становится неопределенным, поскольку частицы – носители взаимодействия предполагаются входящими в их состав.

ционные и электромагнитные, сильные и слабые. Он позволяет найти около трех десятков движущих сил независимых процессов [14].

Тем самым энергодинамика противопоставляет неудачным попыткам Великого объединения единый метод нахождения явно различимых сил. Наряду с этим возвращение силе изначального смысла причины возникновения какого-либо процесса и её количественной меры позволяет вернуть теоретической физике во многом утраченные ею объяснительные функции.

Другим следствием единого определения силы является понимание того, что любые силовые поля порождены не массами, зарядами или токами самими по себе, а их неравномерным распределением в пространстве. Это непосредственно следует из данного выше определения понятия силы F_i , поскольку параметры R_i характеризуют отклонение системы в целом от однородного состояния. Подтверждением справедливости этого положения служат законы Кулона и Ньютона, согласно которым силы электростатического или гравитационного взаимодействия исчезают при обращении в нуль «пробного» заряда или массы, т.е. в отсутствие их пространственного разделения. Это означает ошибочность всех современных представлений о происхождении и силовых полей, и в том числе ОТО как теории гравитации, предполагающей искривление пространства одиночной массой [15]. Становится очевидной также несостоятельность отнесения полей к особой форме материи, поскольку силовое поле может исчезнуть и тогда, когда масса или заряд остаются неизменными.

Далее, различение сил по их природе вносит ясность в вопрос о причинах возникновения процесса превращения энергии из одной формы в другую. С изложенных позиций становится понятным, что процесс «энергопревращения» имеет место тогда, когда действующей силе i -го рода F_i противостоит «чужеродная» сила F_j . В противном случае наблюдается лишь перенос энергии в одной и той же форме, как это происходит в процессах теплообмена, объемной деформации, диффузии и т.п. Это позволяет обобщить методы неравновесной термодинамики на нестатические процессы полезного преобразования энергии [10,11].

Наконец, то обстоятельство, что любой i -й процесс связан с преодолением всех имеющихся в системе сил, проливает новый свет на проблему необратимости процессов. Возникает понимание того, что необратимость обусловлена не только превращением упорядоченных форм энергии в неупорядоченные (когда активной силе F_i противостоят силы рассеяния), но возникает и в консервативных системах (т.е. в отсутствие диссипации). Это происходит, когда активной силе i -го рода F_i противостоят несколько сил F_{ij} , в результате чего происходит «ветвление» траектории процесса, т.е. процесс осуществляется сразу с нескольких направлений в пространстве переменных Θ_i, R_i . Тогда для возвращения системы в исходное состояние даже в отсутствие диссипации уже недостаточно обратить знак всех сил F_j , поскольку каждая из них в свою очередь вызовет «ветвление» траектории обратного процесса. Таким образом, поливариантную систему нельзя вернуть в исходное состояние не только в силу 2-го начала термодинамики (по причине неполной превратимости теплоты в работу), но и по причине ветвления траектории процесса. В таком случае необратимыми оказываются любые процессы, подчиняющиеся причинно-следственным отношениям (поскольку следствие не может породить его причину) [16]. Нетривиальность этого положения оправдывает постановку задачи построения причинной механики [17].

6. Противонаправленность как причина развития. В теории эволюции до сих пор господствует парадигма, согласно которой любой самопроизвольный процесс ведет к установлению в изолированной системе внутреннего равновесия и к обесценению (девальвации) её энергии ввиду утраты системой способности к совершению работы (к энергопревращению). Это положение, известное как 2-е начало термодинамики, «находится в вопиющем противоречии с теорией биологической эволюции» (И.Пригожин). Это вынуждает искать неклассические пути обоснования явления «прогрессивной эволюции» живой и неживой природы, понимаемой как их усложнение, развитие и совершенствование.

В соответствии с теорией диссипативных структур И.Пригожина [18], возникновение «порядка» из «хаоса» осуществляется за счет внешнего принуждения, т.е. совершения над

системой полезной работы. Такое «принуждение» сопровождается «производством энтропии», которое может быть минимизировано поддержанием стационарного состояния. Однако большинство существующих в природе упорядоченных структур существует и без совершения над системой работы против равновесия. Кроме того, упорядочивание систем таким путем нельзя назвать их «самоорганизацией», поскольку приставка «само» указывает на самопроизвольность процесса. Это свидетельствует о серьезной ограниченности концепции И.Пригожина. Принцип противонаправленности процессов вносит существенные коррективы и в эти представления.

Согласно ему, приближение к равновесию одних частей или степеней свободы неоднородной системы с необходимостью порождает удаление от равновесия других степеней её свободы. С особой ясностью это следует из закона сохранения энергии (6) для случая изолированной системы ($dE = 0$) в отсутствие в системе диссипации энергии ($\sum_i \psi_i d\Theta_i = 0$). В таком случае при приближении системы к равновесию i -го рода ($\mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{R}_i > 0$) сопровождается совершением в системе внутренней работы j -го рода (против равновесия) $\mathbf{F}_j \cdot d\mathbf{R}_j < 0$, что приводит к удалению её от равновесия j -го рода. В более общем случае протекания в системе процессов рассеяния (диссипации энергии) направление к равновесию преобладает (что отражает принцип возрастания энтропии), такая противонаправленность процессов в ней сохраняется. Тем самым учет «антирелаксационных» процессов позволяет совершенно иначе взглянуть на причины самопроизвольного упорядочивания систем при протекании реальных процессов.

Начнем с того, что согласно энергодинамике равновесие поливариантной системы практически никогда не наступает одновременно по всем степеням её свободы. Состояние полного равновесия обычно достигается как результат последовательных стадий *частичного равновесия*, характеризующихся прекращением какого-либо одного из n протекающих в ней релаксационных процессов (т.е. обращением в нуль какого-либо потока \mathbf{J}_i) [19]. Как следует из (10), частичное равновесие характеризуется определенным соотношением термодинамических сил \mathbf{X}_i и \mathbf{X}_j . Последнее означает, что при релаксации одной из степеней свободы системы в ней самопроизвольно возникают противоположные, антирелаксационные процессы, приводящие к удалению системы от равновесия по другим, j -м степеням её свободы. Энтропия как критерий необратимости не может отразить протекание таких процессов, поскольку она, как известно, не изменяется, когда удаление системы от состояния равновесия обусловлено совершением над ней работы против равновесия (подводом к ней свободной энергии).

Понимание этого обстоятельства облегчается при введении понятия упорядоченной энергии системы $\check{E}_j = \mathbf{X}_j \cdot \mathbf{Z}_i$, выраженной исключительно через параметры пространственной неоднородности. Как и параметры \mathbf{Z}_i , эта часть энергии системы не аддитивна, т.е. не равна сумме упорядоченных энергий отдельных частей неравновесной системы. Этим она отличается от равновесной части энергии системы $\bar{E} = \psi_i \Theta_i$, называемой обычно «внутренней энергией» [20]. Тогда становится ясным, что эволюция системы к равновесию отнюдь не сводится в возрастанию равновесной (неупорядоченной) части энергии системы и росту её энтропии – наряду с этим с необходимостью возникают противонаправленные процессы её упорядочивания, которые и обуславливают возможность усложнения её структуры и появления у системы новых свойств. Энтропия системы S как один из параметров, определяющих неупорядоченную часть энергии системы, не в состоянии отразить эту особенность эволюции поливариантных систем и потому не может служить её критерием [16]. Непонимание этого обстоятельства обусловлено подменой термодинамической энтропии её статистическим аналогом, отличающимся именно этим обстоятельством. В связи с этим на роль критерия эволюции поливариантных систем энергодинамика выдвигает упорядоченную энергию системы, которая, как и все её составляющие $\check{E}_i = -\mathbf{X}_i \cdot \mathbf{Z}_i$, может как убывать (в процессе релаксации системы), так и возрастать (при удалении её от равновесия) [21]:

$$d\check{E} = -\sum_i \mathbf{X}_i \cdot d\mathbf{Z}_i < 0; d\check{E}_i = -\mathbf{X}_i \cdot d\mathbf{Z}_i < 0. \quad (11)$$

Примерами самопроизвольных процессов, подчиняющихся критерию (11), является образование кристаллических структур (закон Вульфа), неоднородное распределение масс во Вселенной, установление единой ориентации осей вращающихся тел и т.п. [22].

Одним из ярких приложений принципа противонаправленности процессов является рассмотрение проблемы эволюции Вселенной в целом. Если под ней понимать всю совокупность материальных тел, находящихся в "пустом" пространстве, то такая система закрыта, и её масса M остается неизменной во времени. Поэтому, когда в одних областях Вселенной происходит увеличение плотности (сжатие), в других её областях должны наблюдаться обратные процессы её расширения. Это означает, что космологическое уравнение Эйнштейна, связывающее тензор энергии-импульса $\rho_{\mu\nu} = \partial T_{\mu\nu} / \partial V$ с тензором кривизны пространства $G_{\mu\nu}$, следует записывать в интегральной форме, учитывая различный знак изменения плотности $\rho_{\mu\nu}$ в разных областях Вселенной:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G \int \rho_{\mu\nu} dV. \quad (12)$$

В таком случае доказанную А.Фридманом нестационарность Вселенной следует понимать не как расширение или сжатие её границ (которых у бесконечной во времени и в пространстве Вселенной попросту не существует), а как непостоянство основных параметров в её внутренних областях, т.е. в полном соответствии с содержанием этого понятия. При этом в соответствии с принципом противонаправленности процессов и анализом, данным А.Фридманом, в областях Вселенной с плотностью большей критической вещество Вселенной будет сжиматься вплоть до коллапса, а в областях с плотностью меньшей критической – расширяться. Такое понимание вполне согласуется с представлениями о "пульсирующей" Вселенной, которых придерживались еще тысячи лет назад индийские, а затем и римские философы. Естественно, ни о каком "Большом взрыве" при этом речь идти не может, поскольку предшествующий ему процесс «самосборки» Вселенной в единую сингулярность противоречит законам естествознания [23].

В качестве другого приложения принципа противонаправленности процессов рассмотрим вопрос об основном законе прогрессивной эволюции биологических систем. Существующие теории эволюции пытались установить этот закон, не рассматривая её кинетики, т.е. не учитывая скорости приближения биосистемы к равновесию, и подобно термодинамике ориентируясь лишь на конечный результат этого процесса. Между тем, когда в системе наряду с релаксационными процессами, приближающими её к равновесию, протекают антирелаксационные процессы, то приближение системы к равновесию замедляется, а продолжительность жизни биосистем возрастает. Здесь и находится ключ к пониманию общей направленности эволюции биологической системы, понимаемой как переход от простого к сложному. Чем сложнее система, тем большее число сил действует в ней, и тем больше число промежуточных состояний частичного равновесия, которые она вынуждена проходить на пути к полному равновесию. Такая "отсрочка" наступления в биосистемах равновесия, достигаемая за счет протекания в них антидиссипативных процессов, имеет те же последствия, что и дарвиновский принцип "борьбы за существование". Однако в энергодинамике она является следствием чисто физических причин, и не связана с проявлениями «высшего разума» или антагонизма биоорганизмов. Такая направленность эволюции обусловлена исключительно стремлением систем к минимальной диссипации энергии и связана с проблемой выживания видов лишь условием достижения максимальной продолжительности жизни биосистем. Это положение в энергодинамике формулируется как "принцип выживания": *"Эволюционные процессы, возникающие в биологических системах, направлены в сторону увеличения продолжительности их жизни"*. Будучи не столь прямолинейным и жестким, как дарвиновский принцип борьбы за существование, указанный принцип может стать одним из основополагающих принципов неodarвинизма [24].

Таким образом, принцип противонаправленности процессов, положенный в обоснование необходимости перехода к рассмотрению пространственно неоднородных сред как

целого, имеет глобальные последствия и должен приобрести основополагающее значение при поиске новых концепций естествознания.

Литература

1. *Поппер К. Р.* Что такое диалектика? //Вопросы философии РАН. – М.: 1995. В. 1. С. 118-138.
2. *Эткин В.А.* Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии).- СПб., "Наука", 2008.- 409 с.
3. *Эткин В.А.* Принципы противонаправленности процессов. http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/. 20/03/2011
4. *Etkin V.A.* Parameters of spatial heterogeneity of non-equilibrium systems (Параметры пространственной неоднородности неравновесных систем) [viXra.org](http://arxiv.org/abs/1205.0087v1) > [Classical Physics-1205.0087v1](http://arxiv.org/abs/1205.0087v1). 22.05.2012.
5. *Пригожин И.* Введение в термодинамику необратимых процессов. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960, 128 с.
6. *Эткин В.А.* О потенциале и движущей силе лучистого энергообмена / Вестник Дома Ученых Хайфы, 2010.-Т.2, с.2-6.
7. *Эткин В.А.* Об одной из фундаментальных гипотез. <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7568.html>. 08.06.2004.
8. *Эткин В.А.* На стыке естественных наук. // Вестник Дома Ученых Хайфы, 2005.-Т.5, с.42-43.
9. *Де Грот С.Р., Мазур П.* Неравновесная термодинамика. –М.: Мир, 1964.-456 с.
10. *Эткин В.А.* Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии. –Тольятти, 1999, 228 с.
11. *Эткин В.А.* Синтез основ инженерных дисциплин. – Saarbrücken, “Lambert Acad. Publ.”, 2011.-290 s.
12. *Etkin V.A.* To the thermodynamic theory of non-linear irreversible processes.// Russian Journal of Physical Chemistry, 1985, **59**(3), pp. 2246-2249 (*translated from Zhurnal Fizicheskoi Khimii*, 1985, **59**(3),560-567).
13. *Эткин В.А.* К волновой теории взаимодействия http://zhurnal.lib.ru/editors/e/etkin_w_a/. 14.12.2011.
14. *Эткин В.А.* О единстве и многообразии сил в природе. http://zhurnal.lib.ru/editors/e/etkin_w_a/. 01.08.2009.
15. *Etkin V.A.* To the Absoluteness Theory (К теории абсолютности). viXra: [Relativity and Cosmology](http://arxiv.org/abs/1205.0095) 1205.0095 от 24.05.2012.
16. *Эткин В.А.* Многоликая энтропия. //Вестник Дома ученых Хайфы, 2007.–Т.11, С.15-20.
17. *Козырев Н.А.* Причинная, или несимметричная механика. Пулково,1958.
18. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой. – М.: Прогресс, 1986.
19. *Эткин В.А.* Равновесие: порядок или хаос? http://zhurnal.lib.ru/editors/e/etkin_w_a/). 27.09.2009.
20. *Эткин В.А.* Энергия упорядоченная и неупорядоченная. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10904.html>. 24.02.2011
21. *Эткин В.А.* Неэнтропийные критерии эволюции сложных систем. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9816.html>). 13/09/2007.
22. *Эткин В.А.* О термодинамической направленности процессов самоорганизации. http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_shtml. 14.08.2009.
23. *Эткин В.А.* Энергодинамика и эволюция Вселенной. <http://www.vixri.ru/>. 01.06.2010.
24. *Эткин В.А.* К термодинамике биологических систем. http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/ 15.01.2011.