

Торсионно-ориентационные процессы

Эткин В.А.

Д.т.н., проф.
(Израиль)

Обосновывается существование специфического класса ориентационных процессов, обусловленных зависимостью потенциальной энергии от взаимного расположения осей вращения тел. Предложено аналитическое выражение закона сохранения энергии, содержащее члены, ответственные за процессы кручения и ориентации. Подчеркивается, что самопроизвольное протекание таких процессов подчиняется энергодинамическому критерию минимума упорядоченной энергии.

Введение

К настоящему времени в естествознании накопилось достаточно много наблюдений, связанных с самопроизвольным упорядочиванием взаимного расположения вращающихся тел. Первыми на это обстоятельство обратили внимание астрономы, наблюдавшие выстраивание в одной плоскости колец Сатурна и орбит ряда планет. В макром мире это явление известно также давно и проявляется, в частности, в странном поведении «китайского волчка» – гироскопа, который, будучи внезапно перевернутым на 180 градусов, постепенно приостанавливает свое вращение и затем изменяет его на противоположное с практически той же угловой скоростью. Когда исследователям стало доступно наблюдение за поведением систем, ориентированных по классическому спину (собственному механическому моменту вращения элементарных частиц), подобного рода явления обнаружили и в микромире. Так, еще в первой половине XX столетия американские физики Ф. Блох (1936) и Д. Юз (1947) наблюдали более сильное рассеивание на намагниченной пластине нейтронов с ориентацией спинов, параллельной магнитному полю [1]. В 40-50-е годы Э. Пёрселл и Р. Паунд [2], а также А. Абрахам и У. Проктор [3] в опытах по ядерному магнитному резонансу обнаружили наличие специфического спин-спинового взаимодействия, приводящего к установлению при низких температурах единой ориентации ядерных спинов. В 60-е годы было экспериментально установлено, что при прохождении нейтронов через поляризованную по спину мишень возникает прецессия нейтронов, величина которой на несколько порядков выше той, которая могла бы быть вызвана магнитным полем [4]. В 80-е годы на установке для измерения лэмбовского сдвига были выявлены необычные особенности интерференции водорода в различных его спиновых состояниях [5] и обнаружено, что спиновая поляризация атомарного водорода препятствует его объединению в молекулы [6]. Тогда же в экспериментах с ^3He была обнаружена зависимость его теплопроводности от состояния ядерных спинов [7]. В 90-е годы было найдено также, что протоны с ориентацией спинов, противоположной спинам мишени, как бы «проходят сквозь» протоны мишени (без видимого взаимодействия), в то время как при одинаковой ориентации спинов в пучке и в мишени рассеяние их происходит в полном соответствии с теоретическими представлениями [8].

Эти и многие другие эксперименты указывали на зависимость энергии системы от ее суммарного спина. Поскольку же в этих экспериментах изменялась только ориентация спинов, а не их величина, речь здесь идет скорее не о торсионных взаимодействиях, которые состоят в передаче углового момента вращения (ускорении аксиального типа), а об особой категории процессов, которые уместно было бы назвать *ориентационными*. В [9, 10] мы показали, что такого рода процессы существуют на всех уровнях мироздания. С феноменологических позиций они обусловлены тем, что различная ориентация тел в механическом отношении не эквивалентна [11]. Однако изучению ориентационных процессов до недавнего времени уделялось, на наш взгляд, недостаточно внимания. Интерес к ним возрос только в последние десятилетия в связи с поиском так называемой «пятой силы» – взаимодействия, отличающегося от гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого. Чаше других на эту роль претендует торсионное взаимодействие, приписываемое гипотетическим полям сил инерции [12, 13]. Между тем огромное число фактов, лежащих в основе термодинамики необратимых процессов [14], свидетельствует о том, что любой реальный процесс возникает под действием не одной, а всех действующих в системе сил (принцип Онсагера), так что его характер и направление определяется соотношением этих сил и степенью их вовлеченности в тот или иной процесс. Особенно очевидно это для явлений на стыках различных научных дисциплин, когда указанные силы имеют различную физическую природу. Поэтому было бы правильнее говорить не о какой-то «пятой силе», порожденной неизвестным ранее фундаментальным взаимодействием, а о специфике тех процессов, которые возникают под действием уже известных сил, но приводят к специфическим изменениям состояния – упорядочиванию ориентации вращающихся систем и неподвижных тел с анизотропией формы. По причинам, которые станут понятны из нижеследующего, мы будем называть такие процессы *торсионно-ориентационными*, если это упорядочивание связано с передачей телам вращательного ускорения. Их рассмотрение целесообразно осуществить с позиций термокинетики как единой теории скорости процессов переноса вещества и внутренней энергии [15] и энергодинамики как её дальнейшего обобщения на процессы преобразования любых форм энергии независимо от их принадлежности к той или иной области знания [16].

Закон сохранения энергии для неоднородных сред с кручением

Как известно, еще классическая (равновесная) термодинамика выразила изменения внутренней (собственной) энергии системы U в каком-либо обратимом (квазистатическом) процессе в весьма общем виде произведения обобщенного потенциала Ψ_i (температуры T , давления P , химического потенциала k -го вещества μ_k и т.д.) на изменение обобщенной координаты θ_i (энтропии S , объема (с обратным знаком) $-V$, массы k -го вещества M_k и т.п.) [14,15]:

$$dU = TdS - PdV + \sum_k \mu_k dM_k = \sum_i \Psi_i d\theta_i. \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

Здесь члены TdS , PdV и $\mu_k dM_k$ характеризуют соответственно элементарный теплообмен системы δQ , элементарную работу расширения δW и элементарный

перенос энергии k -м веществом через границы равновесной системы (энергомассообмен) dU_k ; n - число степеней свободы равновесной системы.

В равновесных системах, к которым относится уравнение (1), изменение величины θ_i обусловлено исключительно переносом некоторого ее количества через границы системы. Это позволяет выразить изменение параметров θ_i во времени t известным выражением:

$$d\theta_i/dt = - \int \mathbf{j}_i \cdot \mathbf{n} df, \quad (2)$$

где $\mathbf{j} = \rho_i \mathbf{w}_i$ – плотность потока физической величины θ_i через замкнутую поверхность системы f в направлении внешней нормали \mathbf{n} ; $\rho_i = d\theta_i/dV$ – плотность величины θ_i ; $\mathbf{w}_i = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_m$ – скорость перемещения ее элемента $d\theta_i = \rho_i dV$ относительно центра массы элементарного объема dV ($\mathbf{v}_i = d\mathbf{r}_i/dt$, $\mathbf{v}_m = d\mathbf{r}_m/dt$, где \mathbf{r}_i , \mathbf{r}_m – радиус-векторы соответственно элемента i -й физической величины $d\theta_i$ и элемента массы dM в неподвижной системе отсчета).

Подставляя (2) в (1), имеем:

$$dU/dt = - \sum_i \Psi_i \int \mathbf{j}_i \cdot \mathbf{n} df \quad (3)$$

Нетрудно заметить, что уравнение (3) является следствием более общего выражения

$$dU/dt = - \sum_i \int \psi_i \mathbf{j}_i \cdot \mathbf{n} df \quad (4)$$

для частного случая однородной системы, когда локальное значение ψ_i обобщенного потенциала Ψ_i одинаково во всех точках системы и потому вынесено за знак интеграла.

Здесь $\psi_i \mathbf{j}_i$ представляет собой i -ю составляющую плотности потока внутренней энергии $\mathbf{j}_u = \sum_i \psi_i \mathbf{j}_i$ через элемент df поверхности системы, покоящейся относительно неподвижной системы координат.

Переходя в (3) на основании теоремы Остроградского-Гаусса к интегралу по объему системы, приходим к выражению закона сохранения энергии для произвольной области континуума, предложенному Н. Умовым в 1873 г.:

$$dU/dt = - \int \text{div} \mathbf{j}_u dV \quad (5)$$

Развернутую форму этого уравнения легко получить, представляя в нем $\text{div} \mathbf{j}_u = \sum_i \text{div}(\psi_i \mathbf{j}_i)$ в виде суммы двух слагаемых $\sum_i \psi_i \text{div} \mathbf{j}_i + \sum_i \mathbf{j}_i \text{grad} \psi_i$:

$$dU/dt = - \sum_i \psi_i \text{div} \mathbf{j}_i + \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{j}_i, \quad (6)$$

где $\mathbf{X}_i = - \text{grad} \psi_i$ - движущая сила i -го процесса, называемая в теории необратимых процессов «термодинамической силой в ее энергетическом представлении».

Это уравнение содержит по сравнению с (1) удвоенное число членов. Его дополнительные члены соответствуют процессам, не свойственным однородным

системам. Прежде всего, это процессы диссипации (рассеяния) энергии, приводящие к самопроизвольному изменению ряда термодинамических параметров (энтропии S , объема V , массы k -го вещества M_k и т.д.) вследствие трения, расширения в пустоту, химических реакций и т.п. В уравнениях баланса этих величин [14]

$$d\rho_i/dt = -\operatorname{div} \mathbf{j}_i + \sigma_i, \quad (7)$$

это учитывается введением плотности внутренних источников этой величины σ_i , в то время как $\operatorname{div} \mathbf{j}_i$ отражает изменение ρ_i вследствие переноса физической величины θ_i через границы системы (при теплообмене, объемной деформации, диффузии и т.д.).

С учетом (7) уравнение (6) принимает вид:

$$dU/dt = \sum_i \int \psi_i (d\rho_i/dt) dV + \sum_i \int \psi_i \sigma_i dV + \sum_i \int \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{j}_i dV \quad (8)$$

Нетрудно заметить, что в равновесных (внешне и внутренне) системах, где $\mathbf{X}_i = 0$, $\psi_i = \Psi_i$, а внутренние источники σ_i отсутствуют, это уравнение переходит в (1). Следовательно, члены третьей суммы (8) могут относиться только к работе W_i , совершаемой системой помимо работы расширения. Действительно, полагая для простоты \mathbf{X}_i и \mathbf{v}_i постоянными по объему системы и вынося их на этом основании за знак интеграла, имеем:

$$\int \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{j}_i dV = \int \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{v}_i d\theta_i = \mathbf{F}_i \cdot \mathbf{v}_i, \quad (9)$$

где $\mathbf{F}_i = \theta_i \mathbf{X}_i$. Это выражение соответствует определению секундной работы (мощности) i -го процесса $N_i = \delta W_i / \delta t$ как произведению результирующей силы \mathbf{F}_i на скорость перемещения \mathbf{v}_i объекта ее приложения θ_i . Тем самым \mathbf{X}_i приобретает простой и ясный смысл силы в ее обычном (ньютоновском) понимании, отнесенной к переносимой ею полевой величине ($\mathbf{X}_i = \mathbf{F}_i / \theta_i$).

Согласно (8) в процессе совершения работы энергия может переходить из одной ее (i -й) формы в любую другую (j -ю), в том числе тепловую (т.е. рассеиваться). Это обстоятельство делает уравнение (6) применимым к процессам с любой степенью диссипативности и позволяет непосредственно получить из (8) основополагающее в теории необратимых процессов выражение для скорости возникновения энтропии в стационарных процессах (где $dU/dt = 0$) [15]. Тем самым предложенная форма закона сохранения энергии отличается от применяемой в механике сплошных сред, электродинамике и термодинамике необратимых процессов [14] учетом дополнительных процессов *преобразования энергии*, сопровождающихся совершением полезной работы W_i и (или) рассеянием энергии.

Возникновение внутри системы потоков энтропии S , масс k -х компонентов M_k , зарядов θ_e , импульсов $M_k \mathbf{v}_k$ и т.п. представляет интерес потому, что приводит к *перераспределению* параметров θ_i по объему системы. Специфика таких процессов состоит в том, что они вызывают *противоположные по знаку* изменения свойств системы (параметров θ_i или ρ_i) в различных ее областях или элементах объема, т.е. приводят к *поляризации системы* в самом широком понимании этого термина. Согласно (6) число таких процессов в общем случае соответствует числу n степеней

свободы равновесной системы. Если, например, система термически неоднородна ($\mathbf{X}_i = -\nabla T \neq 0$), она приобретает способность проводить тепло (\mathbf{j}_i – плотность потока энтропии) и при этом преобразовывать часть его в полезную работу, что имеет место в термоэлектрических генераторах. Если $\mathbf{X}_i = -\nabla p \neq 0$, в системе возникают процессы фильтрации ($\mathbf{j}_i = \mathbf{v}_i$ – скорость фильтрации) с преобразованием части потенциальной энергии в кинетическую (как в струйных аппаратах). Аналогичным образом при $\mathbf{X}_i = -\nabla \mu_k \neq 0$ возникают процессы диффузии ($\mathbf{j}_i = \mathbf{j}_k$ – плотность потока k -го вещества) с преобразованием части химической энергии в механическую или электрическую (как в гальванических и топливных элементах).

Это положение распространяется также на случай движущихся или заряженных систем, а также систем, находящихся во внешних силовых полях. Если, например, система содержит свободные электрические заряды θ_e , то к правой части (1) добавляется член $\varphi d\theta_e$, характеризующий работу ввода электрического заряда в область с электрическим потенциалом φ . В таком случае во второй сумме (6) появится дополнительный член $\mathbf{X}_e \cdot \mathbf{j}_e$, ответственный за процессы электропроводности, где $\mathbf{X}_e = \mathbf{E} = -\nabla \varphi$ – напряженность электрического поля, \mathbf{j}_e – плотность электрического тока¹⁾. Точно так же, если к (1) добавляется член $\psi_g dM$, характеризующий работу ввода массы M в гравитационное поле с потенциалом ψ_g , то во второй сумме (6) появится дополнительный член $\mathbf{X}_g \cdot \mathbf{j}_m$, характеризующий преобразование гравитационной энергии, где $\mathbf{X}_g = -\nabla \psi_g = \mathbf{g}$ – напряженность гравитационного поля, \mathbf{j}_m – плотность потока вещества. Подобным же образом для системы, компоненты которой движутся поступательно со скоростью \mathbf{v}_k , к выражению (1) добавляются члены $\mathbf{v}_k d(M_k \mathbf{v}_k)$, где $M_k \mathbf{v}_k$ – импульс k -го компонента. В таком случае в (6) появляются члены $\mathbf{X}_w \cdot \mathbf{j}_w$, характеризующие преобразование кинетической энергии, где $\mathbf{X}_w = -\nabla \mathbf{v}_k$ – вектор-градиент скорости компонента, $\mathbf{j}_w = \rho_k \mathbf{v}_k \mathbf{w}_k$ – тензор плотности потока количества движения.

Используя подобие электрических и магнитных явлений (симметрию уравнений Максвелла), подобным образом можно учесть процессы в системе, располагающей магнитной степенью свободы. В этом случае в (1) появится дополнительный член $\psi_m dM_m$, определяющий работу ввода в систему с так называемым «магнитным потенциалом» ψ_m «магнитной массы» M_m [16]. При этом в правой части (6) появится член $\mathbf{X}_m \cdot \mathbf{j}_m$, где $\mathbf{X}_m = -\nabla \psi_m = \mathbf{H}$ – напряженность магнитного поля, $\mathbf{j}_m = \rho_m \mathbf{v}_m$ – плотность «магнитного тока смещения» [15].

Наконец, если система как целое вращается, то к правой части выражения (1) добавляется член $\sum \Omega_\alpha d\theta_{\omega\alpha}$, где Ω_α , $\theta_{\omega\alpha}$ – компоненты вектора угловой скорости $\boldsymbol{\Omega}$ ($\alpha = 1, 2, 3$) и момента количества движения $\boldsymbol{\theta}_\omega = I\boldsymbol{\Omega}$ (I – момент инерции тела). Соответственно во второй сумме (6) появляются члены $\mathbf{X}_{\omega\alpha} \cdot \mathbf{j}_{\omega\alpha}$, где $\mathbf{X}_{\omega\alpha} = -\nabla \omega_\alpha$, $\mathbf{j}_{\omega\alpha} = \rho_\omega \mathbf{w}_\omega$ – компоненты вектора-градиента угловой скорости $\nabla \boldsymbol{\Omega}$ и тензора плотности потока момента количества движения ($\rho_\omega = \partial \boldsymbol{\theta}_\omega / \partial V$; \mathbf{w}_ω – относительная скорость переноса момента количества движения). Эти члены характеризуют процессы переноса количества вращательного движения в системах с неоднородным полем угловой скорости вращения. Такого рода взаимодействие, строго говоря, и следует называть *торсионным* [12,13]. Следует заметить, однако, что согласно (6) перенос

¹⁾ В отсутствие свободных зарядов \mathbf{j}_e уступает место току смещения.

«завихренности» (в частности, турбулентный перенос импульса) возможен лишь в средах, обладающих моментом инерции ($I \neq 0$).

Дальнейшую детализацию протекающих в неоднородных системах процессов можно осуществить, учитывая, что радиус-вектор \mathbf{r}_i элемента $d\theta_i$ выражается произведением базисного (единичного) вектора \mathbf{e}_i , характеризующего его направление, на модуль r_i этого вектора. Поэтому его изменение в общем случае выражается двумя слагаемыми:

$$d\mathbf{r}_i = d_\varphi \mathbf{r}_i + d_r \mathbf{r}_i = \mathbf{e}_i dr_i + r_i d\mathbf{e}_i. \quad (9)$$

Здесь первое слагаемое правой части $d_\varphi r_i$ характеризует перенос элемента $d\theta_i$ без изменения направления переноса \mathbf{e}_i , а второе слагаемое – изменение направления этого вектора. Величину $d\mathbf{e}_i$ удобнее выразить через вектор угла поворота φ , нормальный к плоскости вращения, образованной векторами \mathbf{e}_i и $d\mathbf{e}_i$ [15]. Тогда $d\mathbf{e}_i$ определится внешним произведением векторов $d\varphi$ и \mathbf{e}_i , так что $r_i d\mathbf{e}_i = [d\varphi, r_i]$ и $\mathbf{X}_i \cdot [d\varphi, r_i] = d\varphi \cdot [r_i, \mathbf{X}_i]$. При этом уравнение (6) примет с учетом (7) и (8) вид:

$$dU/dt = \sum_i \int \psi_i (d\rho_i/dt) dV + \sum_i \int \psi_i \sigma_i dV + \sum_i \int \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{j}_i^c dV + \sum_i \int \mathbf{M}_i (d\varphi_i/dt) \rho_i dV \quad (10)$$

где $\mathbf{j}_i^c = \rho_i \mathbf{e}_i dr_i/dt$ – плотность потока смещения элемента $d\theta_i$ относительно центра массы системы; $\mathbf{M}_i = \mathbf{r}_i \times \mathbf{X}_i$ – момент силы \mathbf{X}_i ; $d\varphi_i/dt$ – угловая скорость вращения элемента $d\theta_i$ относительно центра масс системы.

Выражение (10) является наиболее общим и в то же время наиболее детальным из известных математических формулировок закона сохранения энергии. Помимо процессов рассеяния и переноса, рассматриваемых в теории необратимых процессов и физической кинетике, оно описывает процессы *переориентации* векторов смещения $d\mathbf{r}_i$, возникающие при наличии моментов \mathbf{M}_i термодинамических сил \mathbf{X}_i . При этом оно содержит два вида членов, ответственных за «кручение». Прежде всего, это члены третьей суммы (10), содержащие «торсионные» силы $\mathbf{X}_{\omega\alpha}$ – вращательные компоненты вектора-градиента угловой скорости $\nabla\Omega$. Эти члены характеризуют процессы переноса момента количества движения, обусловленные неоднородным распределением в пространстве плотности углового момента вращения тел или частей тела (равно как и их угловой скорости ω). На этом принципе работают, например, гидромуфты [17].

Иного рода члены четвертой суммы (10), содержащие моменты сил \mathbf{M}_i . Формально они имеют смысл работы, совершаемой моментом силы \mathbf{M}_i в единицу времени при переориентации элемента $d\theta_i$ со скоростью $\mathbf{X}_e \cdot \mathbf{j}_e$. Однако характерно, что в соответствии с (9) и (10) эти моменты исчезают, когда направление векторов \mathbf{X}_i и $d\mathbf{r}_i$ совпадает. Поэтому их следовало бы назвать не крутящими (вращающими), а *ориентационными*. В отличие от торсионных воздействий, ориентационные процессы не изменяют величины момента количества движения системы и ее кинетической энергии вращения, влияя лишь на ориентацию тел или элементарных частиц относительно внешних тел или полей (угол φ_i), т.е. на соответствующую часть их потенциальной энергии $U(\varphi_i)$, зависящую от их взаимной ориентации. В соответствии с термодинамическими принципами классификации процессов (различающими процессы не по причинам, их вызывающим, и не по физической природе

взаимодействия, а по их последствиям), такие процессы и следовало бы назвать *ориентационными*.

Причины возникновения ориентационных моментов

Особенностью неоднородных систем, как показано в [16], является смещение центра соответствующей экстенсивной величины θ_i относительно центра масс системы в целом. Известно, что положение этого центра (его радиус-вектор \mathbf{R}_i) определяется выражением:

$$\mathbf{R}_i = \theta_i^{-1} \int \mathbf{r}_i d\theta_i \quad (11)$$

Если за начало отсчета текущей (эйлеровой) координаты \mathbf{r}_i принять положение центра величины θ_i в однородной (равновесной) системе \mathbf{R}_{i0} , то $\Delta\mathbf{R}_i = \mathbf{R}_i - \mathbf{R}_{i0}$ будет определять смещение центра величины θ_i от центра масс системы \mathbf{R}_m , поскольку в полностью (внешне и внутренне) равновесной системе положение \mathbf{R}_m и \mathbf{R}_{i0} совпадает. Таким образом, под действием сил \mathbf{X}_i в неоднородной системе возникает некоторый «момент распределения» $\mathbf{Z}_i = \theta_i \Delta\mathbf{R}_i$ параметра θ_i :

$$\mathbf{Z}_i = \theta_i \Delta\mathbf{R}_i = \int \mathbf{r}_i d\theta_i \quad (12)$$

Этот процесс перераспределения параметров $\int \mathbf{r}_i d\theta_i$ может привести к тому, что часть действующих в системе сил окажется *нецентральными* по отношению к массе системы. Такие силы после приведения к центру массы системы образуют ориентационные моменты, стремящиеся переориентировать $\Delta\mathbf{R}_i$ таким образом, чтобы силы \mathbf{X}_i стали центральными.

Менее очевидной причиной может стать наличие в нестационарной системе нескольких разнонаправленных сил \mathbf{X}_j . Согласно основному положению теории необратимых процессов, каждый из потоков \mathbf{j}_j возникает под действием всех имеющихся в системе сил того же (или четного) тензорного ранга \mathbf{X}_j ($j = 1, 2, \dots, n$). Это находит отражение в феноменологических (основанных на опыте) законах Онсагера [13]:

$$\mathbf{j}_i = \sum_j L_{ij} \mathbf{X}_j, \quad (13)$$

где L_{ij} – так называемые «феноменологические» коэффициенты, характеризующие проводимость системы. Частными случаями (13) являются известные законы теплопроводности (Фурье), электропроводности (Ома), диффузии (Фика), фильтрации (Дарси), вязкого трения (Ньютона) и т.п.

Таким образом, согласно современным представлениям, число разнородных сил, порождающих тот или иной независимый процесс, в общем случае равен числу неравновесных степеней свободы системы, т.е. отнюдь не сводится к четырем известным типам «фундаментальных» взаимодействий. При этом уравнения (13) отражают взаимосвязь процессов, возникающую вследствие наложения разнородных сил \mathbf{X}_j . Такое «наложение» приводит к возникновению многочисленных эффектов (термомеханических, термохимических, термоэлектрических, термомагнитных,

электромеханических, гальваномагнитных и т.п.) [14,15]. Эти эффекты хорошо изучены, и в их существовании нет никаких сомнений. В частности, как следует из (13), процесс смещения какого-либо параметра θ_i (например, электрический ток) может возникнуть не только за счет сил электрической природы, но и под действием «термодвижущей силы» $\mathbf{X}_j = -\nabla T$. Последняя, как известно, наравне с магнитной составляющей силы Лоренца искривляет траекторию движения электрического заряда и приводит к появлению электрического поля \mathbf{E} в направлении силы \mathbf{X}_j (это явление называют термомагнитным эффектом) [13]. Аналогичным образом процесс перераспределения электрических зарядов могут вызвать и механические напряжения $\mathbf{X}_{\text{мех}}$ (пьезоэлектрический эффект). Таким образом, уравнения (6) и (10) вместо поиска единой теории поля предлагают единый метод нахождения явно различимых движущих сил разнообразных физико-химических процессов, включая процессы *переноса* и *преобразования* вращательного движения, а также процессы *переориентации* имеющихся в системе неоднородностей. Эти последние процессы возникают под действием моментов \mathbf{M}_i , стремящихся переориентировать векторы $\Delta\mathbf{R}_i$ в направлении их уменьшения. Поскольку векторы \mathbf{M}_i и $d\varphi_i$ явились результатом разложения второй суммы (6) и отражают две стороны одного и того же процесса перераспределения параметра θ_i , аналогичное (12) уравнение следует написать и для обобщенных скоростей процесса переориентации :

$$d\varphi_i/dt = \sum_j K_{ij} \mathbf{M}_j, \quad (14)$$

где K_{ij} – некоторые феноменологические коэффициенты, характеризующие «податливость» системы повороту.

Как и (13), эти уравнения отражают то обстоятельство, что процесс переориентации может быть вызван любым из моментов \mathbf{M}_j . В частности, это означает, что на процесс ориентационной поляризации электрических и магнитных диполей влияют не только электрические или магнитные поля, но и поля температур, напряжений, концентраций и т.п. Процессы переориентации могут вызвать также и так называемые торсионные поля (поля, характеризуемые антисимметричной частью тензора $\nabla\Omega$). Известно, что действие некоторых из моментов \mathbf{M}_i на вращающиеся тела или частицы вызывает возникновение их прецессии¹⁾. Известно также, что момент силы \mathbf{M}_i , который необходимо приложить к оси вращения, чтобы повернуть ее на угол $d\varphi_i$ за время dt , равен скорости изменения момента количества движения θ_ω [17] :

$$\mathbf{M}_i = |d\varphi_i/dt| \cdot \theta_\omega / \sin \varphi_i. \quad (15)$$

Отсюда следует, что при той же величине «возмущающего» момента \mathbf{M}_i угол φ_i тем меньше, чем выше момент количества движения θ_ω . Поэтому при сообщении телу дополнительного момента количества движения θ_ω угол φ_i уменьшается, т.е. ориентация осей вращения тел становится более упорядоченной. Таким образом, процесс обмена моментом количества движения также сопровождается переориентацией моментов количества движения вращающихся тел. Именно это мы и подчеркивали, говоря о торсионно-ориентационных процессах. Следует, однако, подчеркнуть, что «торсионные» взаимодействия отражают лишь часть феномено-

¹⁾ Прецессия – движение, при котором ось вращения тела описывает круговой конус

логии, связанной с процессами переориентации. В частности, в случае элементарных частиц, спины которых могут менять лишь свое направление, но не величину, имеет место чисто ориентационное их взаимодействие. Как показано в [16], эти процессы также подчиняются энергодинамическому критерию минимума упорядоченной энергии $E = \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{Z}_i$, т.е. минимуму превратимой (работоспособной) части внутренней энергии системы U . В отличие от известных термодинамических потенциалов типа свободной энергии Гельмгольца или свободной энтальпии Гиббса, которые не применимы к открытым системам, а в изолированных системах отражают лишь поведение её в целом, понятие упорядоченной энергии применимо для любых систем, а её величина E_i может быть найдена для любой степени её свободы. Это позволяет проследить за эволюцией каждой из них в отдельности. Как и для других термодинамических потенциалов, убыль упорядоченной энергии какой-либо степени свободы $E_i = \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{Z}_i$ соответствует приближению системы к «частичному» равновесию (i -го рода). В случае вращающихся тел самопроизвольный характер ориентационных процессов обусловлен стремлением к минимуму кинетической энергии системы вращающихся тел. Для спиновой системы это соответствует исчезновению их прецессионного движения и упорядочиванию взаимной ориентации спинов [18].

Такая тенденция к минимуму упорядоченной энергии характерна, как показано в [16], для каждой степени свободы поливариантной системы E_i , в том числе и для гравитационной энергии системы взаимодействующих тел. В этом можно убедиться, рассматривая потенциальную энергию в поле тяжести Земли тела, имеющего форму гантели [18].

Еще одной очевидной причиной возникновения ориентационных процессов является наличие у ряда веществ электрических или магнитных диполей, образовавшихся под действием внешних силовых полей в результате относительного смещения в пространстве противоположного знака зарядов или полюсов. Противоположный знак сил, действующих на эти заряды или полюса, приводит к появлению пары сил, вызывающих их ориентацию по полю (такая поляризация называется ориентационной) [19].

Обсуждение результатов

Как следует из выражения (10), все известные формы упорядочивающего энергообмена могут включать в себя составляющую, которая воспринимается неоднородными системами как их ориентационная поляризация. Это обстоятельство делает излишним привлечение неизвестных ранее видов дальнедействий для объяснения связанных с этим явлений. Согласно изложенному, существование торсионных и ориентационных взаимодействий непосредственно вытекает из закона сохранения энергии для пространственно неоднородных сред. Независимо от того, являются ли они сильными или слабыми, эти взаимодействия порождают процессы упорядоченного энергообмена (в форме работы) и потому в принципе не могут быть чисто информационными.

Предпринятое здесь рассмотрение торсионных и ориентационных процессов и соответствующих им взаимодействий носило чисто термодинамический (феноменологический) характер, который не претендует на полное описание всех

деталей процесса и потому не требует установления природы упомянутых взаимодействий, структуры системы и «механизма» передачи ею энергии. Будучи свободным от каких-либо гипотез или постулатов, такой подход способствует устранению недоверия «конвенциональной науки» к названным процессам. Вместе с тем предложенный подход позволяет провести четкую грань между торсионными и ориентационными воздействиями. С позиций энергодинамики торсионные взаимодействия порождены неоднородным полем угловых скоростей вращения сред, обладающих массой и определенным моментом инерции. Передача таких взаимодействий физическим вакуумом весьма проблематична. Напротив, ориентационное воздействие передается известными силовыми полями, так что их исследование может опираться на прочный фундамент современного естествознания.

Количественное описание ориентационных процессов представляется нам очередным шагом к изучению явлений структурообразования на любом уровне мироздания, начиная от ДНК и кончая галактиками. Во всяком случае, оно дает ключ к пониманию происхождения таких процессов, к нахождению их движущих сил и к выяснению их влияния на функциональные возможности неравновесных систем. Становится понятным, что при протекании в одних частях или степенях свободы поливариантной системы каких-либо релаксационных процессов другие их части или степени свободы могут удаляться от равновесия, что и обеспечивает возможность длительного развития таких систем, минуя состояние равновесия. Обусловлено это тем, что приближение системы к равновесию сопровождается не только рассеянием энергии, но и полезным преобразованием энергии, как это имеет место в колебательных контурах. Совершаемая при этом внутренняя работа и обуславливает поддержание в системе временного порядка, именуемого диссипативными структурами. Характерно, что такие полезные превращения энергии могут быть вызваны не только внешними силовыми полями (электромагнитными, гравитационными), но и полями температур, давлений (напряжений), концентраций и т.п. в самой неоднородной системе. Особенное значение приобретает это для понимания причин возникновения так называемых процессов «самоорганизации», которая в действительности обусловлена совершением полезной внутренней работы одних частей системы над другими при неизбежной необратимости (наличия потерь) в тех и других. В частности, уравнение (10) вскрывает причины возникновения так называемых «диссипативных структур», т.е. упорядоченных состояний, поддерживаемых протекающими в системе диссипативными процессами. В этом случае стационарное состояние частично упорядоченных систем возникает как результат взаимной компенсации двух противоположных процессов - ориентации (при совершении работы) и дезориентации (вследствие диссипации энергии). Особенно важно понимание того, что ориентационные процессы могут быть самопроизвольными (подобными явлению спонтанного намагничивания или упорядочения ориентации спиновых систем при низких температурах), т.е. возникать на фоне релаксации системы [18].

Термодинамический метод нахождения движущих сил и обобщенных скоростей ориентационных процессов имеет также немаловажное значение для изучения влияния относительной ориентации ядерных частиц, атомов и молекул на кинетику и катализ химических реакций [20]. Поскольку процессы переориентации могут вызвать деструкцию материалов, их изучение представляет интерес и для

материаловедения, а также для гидродинамики (в связи с возникновением и разрушением турбулентности).

Изучение процессов переориентации может пролить новый свет и на работу вращающихся устройств, якобы генерирующих свободную энергию. Практический интерес в этом плане представляет выяснение причин их самопроизвольного вращения. Здесь важно то обстоятельство, что благодаря взаимосвязи различных процессов, отраженной в законах (15), процессам переориентации неоднородности подвержены любые степени свободы системы, в том числе вектор смещения массы $\Delta \mathbf{R}_m$. Это означает, что процессы переориентации могут изменять и положение тела как целого. Этот процесс можно сделать в принципе непрерывным (переходящим во вращение), если своевременно изменять направление действия сил \mathbf{X}_j путем организации, например, колебательного процесса (изменяющего знак смещения $\Delta \mathbf{R}_i$) или периодическим чередованием сил различной природы (создающем имитацию «вращающегося» поля). Не исключено, что именно этот «механизм» лежит в основе самовращающихся технических устройств типа диска Сёрла [21].

Список литературы

1. Физический энциклопедический словарь, М., 1983, 928 с.
2. *Pursel E.M., Pound R.V.* // Phys. Rev., 1951. V.81. P.279.
3. *Абрагам А., Проктор У.* // В кн. «Проблемы современной физики», М.: Мир, 1959. С.111-144.
4. *Барышевский В.Г., Подгорецкий М.И.* Ядерная прецессия нейтронов. // ЖЭТФ, 1964, Т. 47, С.1050.
5. *Соколов Ю.Л., Яковлев В.П.* Изменение лэмбовского сдвига в атоме водорода ($n=2$). // ЖЭТФ, 1982, Т.83, Вып.1(7), С.15.
6. *Силвер А., Валравен Ю.* Стабилизация атомарного водорода. // УФН. 1983. Т.139. № 4. С.701.
7. *Lhuiller C.* Transport properties in a spin polarized gas, III. //J. Phys. (Fr.), 1983, V.44, № 1, P.1.
8. *Криш А.Д.* Столкновение вращающихся протонов. // В мире науки, 1987, №10, С.12.
9. *Эткин В.А.* Об ориентационном взаимодействии (<http://zhurnal.lib.ru/>), 22.05.2005.
10. *Эткин В.А.* К термодинамике ориентируемых систем (<http://zhurnal.lib.ru/>), 10.07.2005.
11. *Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Теоретическая физика. Т.1.- Механика. М., 1958.
12. *Акимов Ф.Е.* Феноменологическое введение торсионных полей и их проявления в фундаментальных экспериментах. / В кн. «Горизонты науки и технологий XXI века», с.139-167.
13. *Шипов Г.И.* Теория физического вакуума. М.: Наука, 1997.
14. *Де Гроот С., Мазур П.* Неравновесная термодинамика. М.: Мир, 1964.
15. *Эткин В.А.* Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии). Тольятти, 1999, 228 с.
16. *Эткин В.А.* Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). – С-Пб.: Наука, 2008, 409 с.

17. Эткин В.А. К математическому моделированию торсионных и ориентационных взаимодействий (<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4956.html>), 08.04.2003.
18. Эткин В.А. О термодинамической направленности процессов самоорганизации (<http://zhurnal.lib.ru/>), 13.10.2007.
19. Эткин В.А. Ориентационная поляризация спиновых систем . (<http://www.n-t.org/tp/ng/ssv.htm>), 05.08.2003.
20. Эткин В.А. Об ориентационном взаимодействии спиновых систем (<http://www.n-t.org/tp/ng/ov.htm>), 19.06.2002.
21. Рощин В.В. , Годин С.М. Экспериментальное исследование нелинейных эффектов в динамической магнитной системе. (<http://www.n-t.org/tp/ng/ov.htm>), 2001