

ЕДИНЫЙ МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ СИЛ И ИХ ПОЛЕЙ

(доклад)

Д.т.н., проф. В.А. Эткин

Аннотация

На основе энергодинамики предложено наиболее общее определение силы как меры неравновесности состояния и найдены аналитические выражения движущих сил большого числа независимых процессов эволюции и инволюции, включая ряд не известных ранее сил. Тем самым предложена альтернатива единой теории поля Эйнштейна путём замены её единым методом нахождения явно различимых сил и их полей.

1. Введение.

Понимание силы как причины возникновения движения пришло к нам из трудов основоположников «кинетизма» Р. Декарта и Г. Лейбница [1]. Первый считал, что весь мир находится в движении, причём его «Создатель» позаботился о сохранении его количества $P = Mv$ как произведения количества вещества M на его скорость v . Его современник Г. Лейбниц полагал, однако, что существует более общая мера движения Mv^2 , которую он в отличие от Декарта называл «живой силой». Это послужило причиной почти двухсотлетней дискуссии их сторонников.

И. Ньютон, основатель другого направления – «динамизма» – переосмыслил роль силы, считая её «первопричиной» движения тел [2]. Поскольку в то время понятия вектора не существовало, он определил силу F как скорость изменения количества движения, различая ускорение и торможение лишь по их знаку:

$$F = dP/dt \quad (1)$$

При этом его первый закон динамики – закон инерции – гласил, что «всякое тело сохраняет своё состояние покоя или движения, покуда какие-либо силы не выведут его из этого состояния» [2]. Это определение относилось как к «приложенной» (активной), так и к противодействующей ей силе реакции, названной им силой инерции, и включало понятие времени t , что делало силу F функцией *процесса* (ускорения).

В то же время он предложил и другое определение силы как меры взаимодействия двух тел с точечными «массами» M_1 и M_2 , расположенных на расстоянии R друг от друга, т. е. как функции *состояния*:

$$F_g = GM_1M_2/R^2 \quad (2)$$

Такая двойственность в определении понятия силы также послужила причиной длительных дискуссий, приведших фактически к отказу от понятия силы. В термодинамике это выразилось в рассмотрении равновесных систем и квазистатических (бесконечно медленных) процессов, для которых понятие силы стало излишним. Квантовая механика в своей «Стандартной модели» подменила силу понятием «обменного взаимодействия», осуществляемого путем испускания и поглощения частиц-носителей взаимодействия. Общая теория относительности (ОТО) заменила силы гравитации кривизной пространства-времени [3]. В результате эти теории, претендующие на роль основополагающих, практически утратили способность объяснять суть наблюдаемых явлений и предсказывать их, что является главной задачей науки.

Цель настоящего доклада – с позиций энергодинамики как единой теории мощности реальных процессов переноса и преобразования любых форм энергии [4] обобщить понятие силы и предложить единый метод нахождения явно различимых сил.

2. Сила как мера пространственной неоднородности

Особенностью энергодинамики как междисциплинарной теории силы -является рассмотрение в качестве объекта исследования (системы) всей совокупности взаимодействующих (взаимно движущихся) тел или их частей, поскольку именно для таких (замкнутых) систем и были установлены все законы сохранения [1]. Для неё все действующие в ней силы F , все вызванные ими процессы, и вся энергия U являются внутренними. Поэтому для неё не применимы методы механики точки, которая исключает из рассмотрения внутренние процессы и оперирует исключительно понятием внешней энергии E , внешних сил и процессов внешнего энергообмена. Поэтому переход к исследованию замкнутых (изолированных) систем типа Вселенной в целом потребовал разработки нового метода исследования, который противоположен механике точки и не лишал бы объект исследования внутренней структуры и пространственной протяжённости. Такой метод и предлагает энергодинамика, впервые вводя в обиход физики параметры «неравновесности» (пространственной неоднородности).

В противовес классической (равновесной) термодинамике Р. Клаузиуса, которая опирается на противоречивое понятие «равновесный процесс», энергодинамика исключает возможность протекания каких-либо процессов в однородных системах. Это станет очевидным, если представить любой экстенсивный параметр системы Θ_i (массу M , число молей k -х веществ N_k , энтропию S , заряд Q , импульс P , его момент L и т. п.) интегралом от его локальной $\rho_i = d\Theta_i/dV$ и средней $\bar{\rho}_i = \Theta_i/V$ плотности выражением $\Theta_i = \int \rho_i dV = \int \bar{\rho}_i dV$. В таком случае

$$d\Theta_i/dt = \int [(d\rho_i - \bar{\rho}_i)/dt] dV \equiv 0. \quad (3)$$

В однородной среде, где разность $(\rho_i - \bar{\rho}_i)$ обращается в нуль повсеместно, интеграл (3) тождественно обращается в нуль, т. е. *невозможны никакие процессы $d\Theta_i/dt$* [4]. С другой стороны, тождество (3) выполняется только *при протвонаправленном протекании процессов в разных частях системы*, т. е. эволюции одних ($d\rho_i/dt > 0$) и инволюции других ($d\rho_i/dt < 0$) её степеней свободы. Эти два принципа энергодинамики (*неравновесности и протвонаправленности процессов*) требуют введения нового класса параметров неоднородности. Их несложно найти, учитывая, что при неравномерном распределении энергоносителя Θ_i по объёму системы V плотность его ρ_i становится функцией точки поля \mathbf{r} и времени $\rho_i = \rho_i(\mathbf{r}, t)$, а положение \mathbf{r}_i центра величины Θ_i смещается от его изначального положения \mathbf{r}_{i0} , соответствующего однородному состоянию с плотностью $\bar{\rho}_i(t)$ и определяется в текущем и однородном состоянии известными выражениями:

$$\mathbf{r}_i = \Theta_i^{-1} \int \rho_i(\mathbf{r}, t) \mathbf{r} dV; \quad \mathbf{r}_{i0} = \Theta_i^{-1} \int \rho_{i0}(t) \mathbf{r} dV, \quad (4)$$

где \mathbf{r} - бегущая (эйлерова) пространственная координата; t - время.

При этом возникает некоторый «момент распределения» энергоносителя Θ_i :

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

с плечом $\Delta \mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{i0}$, имеющим смысл «вектора смещения» [4].

Моменты \mathbf{Z}_i подобно векторам поляризации являются мерой пространственной неоднородности системы. Появление у любого i -го энергоносителя Θ_i момента распределения \mathbf{Z}_i с плечом $\Delta \mathbf{r}_i$ делает любую i -ю форму «парциальной» (частичной) энергии системы U_i функцией двух переменных Θ_i и \mathbf{r}_i (при $\mathbf{r}_{i0}=0$), т. е. $U_i = U_i(\Theta_i, \mathbf{r}_i)$. В таком случае $U = \sum_i dU_i = \sum_i U_i(\Theta_i, \mathbf{r}_i)$, а её полный дифференциал можно представить в виде тождества [4]:

$$dU \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i - \sum_i \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r}_i, \quad (6)$$

где $\Psi_i \equiv (\partial U_i / \partial \Theta_i)_r$ – обобщённый потенциал системы (химический μ_k , электрический ϕ , гравитационный ψ_g ; температура T , давление, скорость \mathbf{v} , и т. п.); $\mathbf{F}_i \equiv -(\partial U_i / \partial \mathbf{r}_i)_{\Theta}$ – силы в их общезначимом понимании.

Т.о., силы $\mathbf{F}_i(\mathbf{r}_i)$ приобретают в энергодинамике единый смысл меры неоднородности поля энергоносителя Θ_i , единую размерность и единый способ нахождения как градиента соответствующей формы энергии. Это должно положить конец длительным дискуссиям о происхождении силовых полей, об их материальности, о разнообразии их природы, о «механизме» взаимодействия (контактном или обменном), о дальности действия, о сильном или слабом взаимодействиях и т. п. Силовое поле приобретает близкий к фейнмановскому смысл функции распределения какой-либо силы \mathbf{F}_i в пространстве в данный момент времени. Такое поле напоминает изменяющийся ландшафт местности с её возвышениями и впадинами, который никуда не движется и потому никуда не запаздывает.

Приобретает смысл и понятие потока \mathbf{J}_i в теории необратимых процессов нобелевского лауреата Л. Онзагера, где он определялся производной по времени от неизвестных физике отклонений α термодинамических параметров от их равновесной величины. Теперь потоки приобретают смысл импульса энергоносителя \mathbf{J}_i и находятся как производные по времени от моментов распределения $\mathbf{Z}_i = \Theta_i \Delta \mathbf{r}_i$:

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

Это приводит к пониманию величины Θ_i как экстенсивной меры носителя i -й формы энергии U_i (i -го энергоносителя). Приобретает единый смысл напряжённости поля и понятие «термодинамической силы»

$$\mathbf{X}_i \equiv -(\partial U_i / \partial \mathbf{Z}_i) = \mathbf{F}_i / \Theta_i = -\nabla \Psi_i, \quad (8)$$

которая выражается антиградиентом соответствующего потенциала Ψ_i и представляет собой удельную силу \mathbf{F}_i / Θ_i . Т. о., напряжённости поля приходят на смену термодинамическим силам как производным от одной неопределённо величины (энтропии системы S) по другой неизвестной величине α [5]. В энергодинамике 2-я сумма тождества (6) выражает работу W_i , которую совершают внутренние силы системы, двояким образом:

$$dW_i = -dU_i = \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r}_i = \mathbf{X}_i \cdot d\mathbf{Z}_i. \quad (9)$$

В этом выражении силы \mathbf{F}_i в их обычном (ньютонском) понимании и напряжённости силовых полей \mathbf{X}_i могут быть механическими, термическими, электрическими, химическими, ядерными и т. п. в зависимости от того, какая форма энергии убывает при этом. Они могут быть внутренними или внешними, эволюционными или инволюционными, полезными или диссипативными, активными или реактивными. В

Такова, в частности, ньютоновская ускоряющая сила $F = dP/dt$. В данном случае кинетическая энергия $U^v = Mv^2/2$, $dr = vdt$, поэтому

$$F = (dU^v/dr) = (v \cdot dP/vdt) = dP/dt. \quad (10)$$

В дальнейшем мы ещё раз убедимся в её универсальности путём нахождения сил для самых разнообразных процессов. Благодаря этому единству энергодинамика становится как бы обобщённой теорией силы [6] и альтернативой единой теории поля, призванной объединить гравитацию с электромагнетизмом.

3. Приложение энергодинамики к нахождению неизвестных ранее сил и их полей

С позиций энергодинамики становится предельно ясным, что преобразование энергии из одной формы в другую связано со сменой её материального носителя¹⁾. Поскольку же таким энергоносителем может стать не только любое k -е барионное вещество в любом его агрегатном состоянии, но и небарионная (тёмная) материя, именуемая также «скрытой массой», «эфиром» или «физическим вакуумом». Поэтому число встречающихся в природе сил отнюдь не исчерпывается четырьмя известными видами взаимодействия. Уникальность энергодинамики и состоит в разработке универсального метода нахождения разнообразных сил природы [6]. Рассмотрим это на ряде примеров.

3.1. Напряжённость гравитационного поля

Ньютоновский закон гравитации (2) описывает парное взаимодействие двух небесных тел в условиях наличия в окружающей их среде бесконечного количества других небесных тел. Совершенно очевидно, что при их равномерном распределении в пространстве результирующая сил притяжения любого из тел ко всем остальным будет равна нулю. Следовательно, закон Ньютона отражает только отклонение распределения масс в окрестности «пробного тела», а не истинную напряжённость гравитационного поля. Для её нахождения воспользуемся принципом эквивалентности массы и энергии, который в применении к любой (барионной и небарионной) материи массой M имеет вид $E_g = Mc^2$. Поскольку для полевых величин удобнее относить все экстенсивные величины к системе единичного объёма, удобнее оперировать понятием плотности энергии $\rho_g = \rho c^2$ (Дж/м³), где ρ – плотность вещества. Тогда по аналогии с электрическим и магнитным полем E и H для характеристики гравитационного поля можно ввести понятие его напряжённости $X_g = \nabla \rho_g$, которая в условиях $c = const$ равна:

$$X_g = c^2 \nabla \rho. \quad (11)$$

Согласно этому выражению, гравитационная сила F_g может иметь в разный знак в зависимости от знака градиента плотности, т. е. быть как силой «притяжения», так и силами «отталкивания». Можно показать, что эти силы на десятки порядков превышают ньютоновские и не уступают ядерным силам [7].

3.2. Движущие силы лучистого энергообмена.

Явления фотосинтеза, фотоэффекта, фотоионизации, фотолюминесценции, фотоядерные реакции, фотоакустические эффекты и т. п. свидетельствуют о том, что

взаимодействие излучения с веществом связано с превращением энергии из одной формы в другую, а не с переносом её в той же форме от одного тела (частицы) к другому (ой), как это трактуется в КМ с её концепцией «обменного взаимодействия». Тем более лучистый энергообмен между телами не сводится и к теплообмену, который ограничен узким диапазоном длин волн от 0,4 до 4 мк. Такие волны диссипируют практически в любых телах и потому воспринимаются ими как теплота. Поэтому закон Стефана-Больцмана, согласно которому интенсивность лучистого теплообмена пропорциональна разности четвертых степеней абсолютных температур тел T , не может быть распространён на весь диапазон лучистого энергообмена, а температура не может трактоваться как потенциал лучистого энергообмена. Это ставит вопрос о нахождении истинной движущей силы этого вида энергообмена, единой для всех материальных объектов.

Согласно тождеству (6), каждой форме энергии соответствует свой энергоноситель Θ_i и его потенциал ψ_i . Следовательно, энергопревращение всегда связано со сменой энергоносителя¹ Найти их несложно, если исходить из волновой концепции лучистого энергообмена и считать излучение процессом модуляции в окружающей среде бегущих волны. Плотность энергии волны ρ_v на частоте ν определяется выражением [8]:

$$\rho_v = \rho A^2 \nu^2 / 2, \quad (11)$$

где ρ – плотность светонесущей среды; ν , A – частота и амплитуда волны, равная согласно рис.1 для продольных волн её длине λ .

В соответствии с тождеством (6) полный дифференциал ρ_v (11) можно представить в виде произведения некоторого потенциала лучистого энергообмена ψ_v на изменение его энергоносителя Θ_v :

$$d\rho_v = (A\nu)d(\rho A\nu). \quad (12)$$

Сопоставляя это выражение с членами 1-й суммы тождества (6), находим, что потенциалом ψ_v в случае лучистого энергообмена служит величина $\psi_v = A\nu$, названная нами ранее амплитудно-частотным потенциалом [9]. Это означает, что движущей силой процесса лучистого энергообмена является градиент амплитудно-частотного потенциала

$$X_v = \nabla(A\nu). \quad (13)$$

Согласно этому выражению, в поглощающих средах поток лучистой энергии ослабевает как в отношении амплитуды волны, так и вследствие понижения его частоты, что делает необходимым учёт «усталости света» наряду с доплеровским «красным смещением».

3.3. Движущие силы нуклеосинтеза и эволюции Вселенной

У эфира и подобных ему сред, у которых отсутствуют «возвращающие» силы, волны плотности могут быть только продольными. Для таких волн их амплитуда A_v равна длине волны λ , так что потенциал волны $\psi_v = \lambda\nu$ приобретает смысл скорости распространения возмущения в этой среде (скорости света c_v). В таком случае и величина $\rho A_v \nu$ в (12) приобретает простой и ясный смысл плотности импульса волны ρc_v .

В поглощающих средах эта скорость зависит от оптической плотности среды. Кроме того, согласно известному явлению разложения излучения в спектр (дисперсии света), эта скорость c_v зависит от показателя преломления среды n и в общем случае различна для волн разной частоты, т. е. $c_v = c_v(\nu)$. Лишь для истинной пустоты, не

¹ Не случайно энергию сравнивают с наездником, меняющим лошадей в длительном путешествии.

обладающей никакими физическими свойствами, эта величина может быть принята постоянной. Однако в пустоте не может быть и фотонов, что свидетельствует о внутренней противоречивости концепции ФВ, который представляется в КМ как пространство, заполненное только «виртуальными» частицами. Т. о., для постулирования постоянства скорости света в небарионной материи не было и нет никаких оснований. Это подтверждает и открытие сверхсветовых скоростей, а также эксперименты по «торможению света» в поглощающих средах. Т. о., в сплошных поглощающих средах $\psi_v = c_v \neq \text{const}$, и движущая сила лучистого энергообмена выражается градиентом её скорости

$$X_v = \nabla c_v. \quad (14)$$

Падение скорости как потенциала лучистого энергообмена является движущей силой не только лучистого энергообмена, но и «конденсации» небарионной материи в процессе её превращения в барионное вещество (овеществления), поскольку скорость света в барионном веществе с показателем преломления $n > 1$ всегда меньше, чем в небарионной материи ($c_v < c$). Этот перепад скоростей ($c - c_v$) и является *движущей силой эволюции Вселенной*, начинающейся с процессов нуклеосинтеза и формирования оядер более тяжёлых элементов, и заканчивающейся «взрывами сверхновых».

3.4. Напряжённости разнообразных силовых полей

Носители упорядоченных форм энергии – импульсы $\mathbf{P} = M\mathbf{v}$ и их моменты $\mathbf{Z}_i = \Theta_i \mathbf{r}_i$ - имеют векторную природу. Тогда согласно тождеству (6) и их потенциалы $\psi_i \equiv (\partial U_i / \partial \Theta_i)_r$ являются векторами. Таковы гидродинамические потенциалы типа скорости k -го вещества $v_k \equiv (\partial U / \partial \mathbf{P}_k)_r$ или электродинамические потенциалы $\psi_m \equiv (\partial U / \partial \mathbf{P}_k)_r$. Для них силы X_i выражаются вектор-градиентами обобщённых потенциалов, т. е. $X_i \equiv \nabla \psi_i \equiv \text{Grad } \psi_i$. Эти силы являются тензорами 2-го ранга, которые могут быть разложены на симметрическую $X_i^s = (\nabla \psi_i)^s$, антисимметрическую $X_i^a = (\nabla \psi_i)^a$ часть и на след тензора $X_i^o = \nabla \cdot \psi_i$ [5]. Первая представляет собой аксиальный вектор и характеризует силу, порождающую поступательное движение энергоносителя, вторая – характеризует силу, порождающую его вращательное движение, а третья, выраженная дивергенцией тензора – скалярную силу, подобно давлению порождающую сжатие или расширение энергоносителя. Т. о., вектор-градиенты потенциала описывают силы, ответственные за все три вида движения энергоносителя. В процессах вязкого трения таким векторным потенциалом является скорость жидкости \mathbf{v} , так что три упомянутые силы выражаются составляющими тензора $\nabla \mathbf{v}$: $X^s = (\nabla \mathbf{v})^s$, $X^a = (\nabla \mathbf{v})^a$, $X^o = \nabla \cdot \mathbf{v}$, которые ответственны соответственно за явления сдвиговой, турбулентной и объёмной вязкости [5] (см. таблицу 1). В гидродинамике вектор $X^a = (\nabla \mathbf{v})^a$, равный удвоенной угловой скорости ω , именуется «вихревым».

В токонесущих системах, где энергоносителем является импульс заряженных частиц (электрический ток) $\mathbf{I} = Q\mathbf{v}_e$, потенциалом вектор скорости заряда \mathbf{v}_e , а движущей силой X_e – вектор-градиент $\nabla \mathbf{v}_e$ этой скорости \mathbf{v}_e . Три компонента этого вектора также характеризует три вида движения заряда и три вида создаваемых этим движением магнитных полей. Поступательное движение заряда порождает продольное магнитное поле $\mathbf{H} = X_e^s = (\nabla \mathbf{v}_e)^s$, которое принимается за «внешнее», вращательное движение заряда – порождает вихревое поле $\mathbf{B} = X_e^a = (\nabla \mathbf{v}_e)^a = \text{rot } \mathbf{H}$, трактуемое как «индукция» поля \mathbf{H} (которое вопреки здравому смыслу может на порядки превышать причину) [10].

Существование же скалярной силы, выражаемой следом $\nabla \cdot \mathbf{v}_e$ тензора $\nabla \mathbf{v}_e$ вообще не предсказывалось, пока они не проявились в Николаева [11]. Тем не менее споры о существовании скалярного поля этих сил длятся уже не один десяток лет. Ещё дольше длится выяснение физического смысла векторного магнитного потенциала A , введённого Ампером в 1820 на основании опыта. Между тем этот потенциал на поверку оказывается экстенсивной величиной со смыслом момента импульса электрического тока как мерой вращательного движения заряда [10].

3.5. Силы гироскопической тяги и их моменты

В последнее время привлекают пристальное внимание процессы взаимодействия вращающихся тел. Сам по себе факт обмена между подсистемами количеством вращательного движения не является чем-то новым: на этом принципе работают, в частности, гидромурфы. Факт наличия такого взаимодействия обнаружен и в космосе, что нагляднее всего проявляется в единой ориентации осей вращения большинства галактик. Однако в «физическом вакууме» КМ как среде, заполненном лишь «виртуальными» частицами, перенос «завихрённости» исключён. Тем больший интерес представляет подход с позиций энергодинамики как дисциплины, которая избегает использования модельных представлений в основаниях теории. Вместе с тем в ней учитываются моменты M_i , возникающие при изменении направления векторов поляризации Z_i . В гироскопах эти моменты возникают как реакция на попытки изменить ориентацию оси их вращения, поэтому в энергодинамике такие моменты названы «ориентационными», как и само взаимодействие такого рода [4]. В тождестве (6) их вклад учитывается угловой скоростью ω как вращательной составляющей тензора скорости $\nabla \mathbf{v}$. В случае неоднородности поля угловых скоростей в любой среде возникает сила, порождающая процесс обмена между отдельными областями системы моментом импульса L . Как показано в [12], эта сила выражается градиентом угловой скорости вращения тела $X_\omega = \nabla \omega$ как частью тензора скорости $\nabla \mathbf{v}$.

Однако наличие в системе вектор-градиента скорости $\nabla \mathbf{v}$ порождает не только перенос завихрённости. В среде с неоднородным полем скорости \mathbf{v} возможно и взаимопревращение энергии поступательного движения во вращательное и наоборот. Этот процесс может оставлять величину $\nabla \mathbf{v}$ неизменной, что соответствует закону сохранения импульса. Практической реализацией этого процесса могут служить инерциды Толчина, машина Дина и т. п.

Другим следствием неоднородности поля скоростей является возникновение так называемой «гироскопической тяги», т. е. продольной силы $X^s = (\nabla \mathbf{v})^s$, действующей в направлении оси гироскопа. Эффект её возникновения демонстрировал ещё в 1974 году Э. Лэйтвэйт [13]. В этом опыте раскрученный гироскоп весом 10 кг подвешивался за один из концов ротора к вертикальной струне и, будучи отпущенным, приходил к движению по спирали, как будто был оснащён пропеллером. При этом нить его подвеса отклонялась от вертикали, что свидетельствовало о возникновении некоторой подъёмной силы. Возникновение такой силы при вращении гироскопа наблюдалось во множестве экспериментов, причём в некоторых из них подъёмная сила оказывалась достаточной для левитации гироскопа.

3.6. Движущие силы «избирательного массообмена»

В открытых системах (обменивающихся веществом с окружающей средой) существует класс процессов, обусловленных полупроницаемостью границ системы. В энергодинамике эти процессы названы «избирательным массообменом». От обычного *конвективного* массообмена эти процессы отличаются изменением состава системы. К ним относятся процессы *диффузии* через границы системы, сопровождающиеся изменением числа молей вводимых k -х веществ N_k в отсутствие теплообмена и объёмной деформации компонентов системы ($s_k, v_k = \text{const}$), процессы *осмоса*, отличающиеся от диффузии наличием тепловых и объёмных эффектов смесеобразования, электроосмоса заряженных k -х веществ, фильтрации, седиментации (осаждения взвешенных примесей под действием сил тяготения), центрифугирования (разделения веществ под действием центробежных сил) и т. п. В классической термодинамике, основанной на соотношении Гиббса

$$dU = TdS - pdV + \sum_k \mu_k dN_k, \quad (15)$$

все они описываются с использованием химического потенциала μ_k , что делает эти процессы неразличимыми. Между тем, как показано нами в [], энтропия многокомпонентной системы $S = \sum_k s_k N_k$ и её объём $V = \sum_k v_k N_k$ с необходимостью изменяются при изменении состава системы даже при неизменной массе M вследствие различия парциальных молярных энтропий s_k и объёмов v_k . В таком случае потенциал вводимого вещества как частная производная $\psi_k = (\partial U / \partial N_k)$ не может оставаться одной и той же величиной, равной химическому потенциалу системы μ_k [14].

Учёт этого обстоятельства приводит к тому, что в случае изобарно-изотермической диффузии ($s_k, v_k = \text{const}$) потенциал $\psi_k^{\text{диф}}$ равен молярной энергии вещества u_k , а в случае осмоса через жёсткую мембрану ($s_k, V = \text{const}$) приобретает смысл парциальной молярной энтальпии $h_k = u_k + p v_k$. В отсутствие же полупроницаемой мембраны, т. е. в условиях конвективного переноса массы без изменения состава системы последняя сумма (15) примет вид $u dM$, и конвективный потенциал $\psi^{\text{конв}}$ становится тождественным удельной энергии смеси $u = \sum_k u_k$. Соответственно этому будут различными и движущие силы этих процессов $X_k = -\nabla \psi_k$. Ввиду многообразия таких процессов в таблице 1 приведены только некоторые из них.

3.8. Движущие силы поточных химических реакций

Химические реакции обычно описывают как чисто скалярный процесс, координатой которого служит «пробег» (степень завершенности) какой-либо независимой r -й реакции $0 < \xi_r < 1$. Этот пробег отражает относительное количество прореагировавших веществ, которое и является координатой реакции, т. е. экстенсивной величиной, изменяющейся в ходе реакции. В таком случае и движущая сила реакции становится скалярной величиной, именуемой её «средством» A_r . Однако такой характер химических реакций свойственен лишь необратимым реакциям, в которых химическая энергия превращается в теплоту. «Обратимые» химические реакции, протекающие в «ящиках Вант-Гоффа», химических и топливных элементах, а также в реакторах поточного типа и биологических мембранах, имеют векторную природу. В них совершается полезная работа «против равновесия» в системе. Для этого реагенты и продукты реакции разделяют

в пространстве, вследствие чего появляются градиенты $X_r = \nabla A_r$ или перепады $X_r = \Delta A_r$ химического сродства A_r . В таком случае реакции приобретают направленный (векторный) характер, как того и требует выражение работы $F_i \cdot dr_i$ в энергодинамическом тождестве (6). Таким образом, энергодинамика позволяет различать термодинамически обратимые и необратимые химические реакции по их тензорному рангу и находить истинные движущие силы процессов эволюции живых и неживых систем, при которых они удаляются от равновесия [15]. Для большего удобства и наглядности аналитические выражения движущих сил разнообразных процессов сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Активные и релаксационные силы разнородных процессов

№	Природа силы	Аналитическое выражение	Примечание
1	Гравитационная сила	$X_g = -c^2 \nabla \rho$	ρ – плотность среды
2	Ускоряющая сила	$X_w = \nabla u$	u – поступательная скорость.
3	Сила инерции	$X_u = -\nabla u$	c_v – скор. распротр. возмущ.
4	Центробежная сила	$X_\omega = \omega^2 R$	R – рад. вращ.; ω – угл. скор.
5	Гидродинамическая сила	$X_p = -\nabla p$	p – абсолютное давление
6	Движущая сила излучения	$X_\nu = -\nabla \psi_\nu$	$\psi_\nu = A\nu$ – амплит.-част. пот.-л
7	Движущая сила конвекции	$X^k = -\nabla u$	u – удельная внутрен. энергия
8	Движущая сила диффузии	$X_k^d = -\nabla \mu_k$	μ_k – хим. пот.л k -го вещества
9	Движущая сила осмоса	$X_k^{oc} = -\nabla h_k$	h_k – моляр.энтальпия k -го в-ва
10	Седиментационная сила	$X_k^c = c_k \nabla \psi_g$	ψ_g – гравитационный пот.-л
11	Движ. сила поточной реакции	$X_r = -\nabla A_r$	A_r – сродство r -й хим. р.-ции
12	Сила электростатич. поля	$X_e = -\nabla \phi = E$	ϕ – электрический потенциал
13	Электрохимич. сила	$X_{ek} = -\nabla \mu_{ek}$	$\mu_{ek} = \mu_k + e_k \phi$ – электрохим. п.-л
14	Продольное магн. поле	$X_M = -(\nabla \omega_e)^s = H$	H – напряж. прод. магн. поля
15	Вихревое магнитн. поле	$X_M^a = -(\nabla \omega_e)^a = B$	ω_e – углов. скор. вращ. заряда
16	Гальваномангнитная сила	$X_{em} = -a_x (\nabla \omega_e)^s$	a_x – постоянная Холла
17	Термодвижущая сила	$X_q = -\nabla T$	T – абсолютная температура
18	Термоэлектрич. сила	$X_{eq} = -s_e^* \nabla T$	s_e^* – энтропия переноса эл.-на
19	Термодиффуз. сила	$X_{kT} = -s_k^* \nabla T$	s_k^* – энтроп. переноса k -го в-ва
20	Бародиффузион. сила	$X_{kp} = -v_k^* \nabla T$	v_k^* – молярн. объём k -го в-ва
21	Сила объёмной вязкости	$X_v^o = -\nabla \cdot v$	$\nabla \cdot v$ – след тензора скор. ∇v
22	Сила сдвиговой вязкости	$X_v^c = -(\nabla v)^s$	$(\nabla v)^s$ – сим. часть тензора ∇v
23	Сила турбул. вязкости	$X_v^t = -(\nabla v)^a$	$(\nabla v)^a$ – антисим. часть ∇v
24	Сила гироскоп. тяги	$X_\omega^s = -(\nabla \omega)^s$	ω – угл. скор.
25	Сила переноса «завихрённости»	$X_\omega^a = -(\nabla \omega)^a$	$(\nabla \omega)^a$ – антисим. часть $\nabla \omega$

Следует отметить, что число процессов, помещённых в эту таблицу, отнюдь не исчерпывает их реального количества. Это становится очевидным, если учесть, что аналогичны упомянутым в ней аналитические выражения существуют для любого независимого компонента системы в каждой из его независимых фаз, равно как и движущие силы химических реакций – для любого химически активного элемента в любой из его реакций, а движущие силы лучистого энергообмена – на любой частоте спектра излучений. Это означает, что общее число подобных выражений неограниченно, так что

существующее деление всего многообразия сил взаимодействий на 4 категории совершенно недостаточно.

3.9. Заключение

Как видим, согласно энергодинамике движущие силы процессов эволюции и инволюции системы) имеют тот же смысл и тот же векторный характер, отличаясь только знаком. В этом отношении энергодинамика кардинально отличается от теории необратимых процессов (ТНП) [5], в которой постулируется, что обобщённая скорость (поток) любого из них зависит от всех действующих в системе термодинамических сил X_i . Естественно, что поиск всех таких сил чрезвычайно затруднён. Поэтому приложение энергодинамики к необратимым процессам сулит кардинальное упрощение описания их кинетики. Это открывает возможность синтеза всех фундаментальных дисциплин, включая термодинамику, а не только теории гравитации и электромагнетизма. В этом отношении предложенный единый метод их нахождения может стать реальной альтернативой поиску единой теории поля, о которой мечтал А.Эйнштейн.

Литература

1. *Розенбергер И.* История физики. Ч.1.- М.; Л.: Гостехиздат, 1933.
2. *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии. Пер. с лат. А.Н. Крылова, Петроград, 1916.
3. *Утияма Р.* К чему пришла физика. (От теории относительности к теории калибровочных полей). М., Знание, 1986, 224 с.
4. *Эткин В.А.* Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии).- СПб.: Наука, 2008. 409 с.
5. *Дьярмати И.* Неравновесная термодинамика. Теория поля и вариационные принципы. – М.: Мир, 1974.
6. *Эткин В.А.* О единстве и многообразии сил природы. // Проблемы науки, 8(44).2019.6-15.
7. *Эткин В.А.* Биполярный закон гравитации. // Доклады независимых авторов, 53(2021).146-156.
8. *Крауфорд Ф.* Берклеевский курс физики. Т.3: Волны. М.: Мир, 1965. 529 с.
9. *Эткин В.А.* О потенциале и движущей силе лучистого теплообмена. // Вестник Дома ученых Хайфы, 2010.–Т.ХХ. – С.2-6.
10. *Эткин В.А.* О смысле векторного магнитного потенциала. // Вестник Дома Ученых Хайфы, 34(2014).7-13.
11. *Николаев Г.В.* Непротиворечивая электродинамика. Теории, эксперименты, парадоксы. ТПУ, 1997.
12. *Эткин В.А.* О взаимодействии вращающихся тел. // Журнал формирующихся направлений науки, 3(2013).6-14.
13. *Lathwaite E.* <http://www.youtube.com/watch>.,1974.
14. *Эткин В.А.* Паралогизмы термодинамики. – Saarbrücken, Palmarium Ac. Publ., 2015.
15. *Эткин В.* Энергодинамическая теория поля. // Global Journal of Science Frontier Research: A Physics and Space Science, 21(2).2021.1-29.