

О ЕДИНСТВЕ И МНОГООБРАЗИИ СИЛ ПРИРОДЫ

В.А.Эткин



Тольяттинский государственный университет (РФ, Тольятти). Научно – исследовательский центр. Советник проректора по науке.

Аннотация

Показано, что любые силы в их общефизическом понимании возникают как следствие пространственной неоднородности исследуемых систем. Предложено универсальное выражение внешних и внутренних, механических и немеханических, далекодействующих и короткодействующих, активных и реактивных, полезных и диссипативных сил как отрицательных градиентов соответствующего потенциала. Такие (энергодинамические) силы найдены для большого числа известных и ряда неизвестных процессов. Сделан вывод о том, что единый метод нахождения явно различимых сил может служить альтернативой теории единого поля.

Ключевые слова: поля и силы, их единство и многообразие, классификация и способы нахождения, унификация смысла и размерности, новые виды.

1. Введение.

Понятия «движущей силы» (лат. *Impetus*), «количества материи», поступательного и вращательного движения, скорости и ускорения были известны ещё до эпохи возрождения (XV – XVII века). Однако представление о божественном происхождении сил и возникновении движения в этот период не подвергалось сомнению, о чём свидетельствуют труды Р. Декарта, Г. Лейбница и И. Ньютона [1]. В частности, Р. Декарт, основоположник «кинетизма», рассматривал движение абстрактной геометрической точки в протяжённом пространстве как нечто данное свыше, ставя своей задачей лишь нахождение математических соотношений между мерами этого движения. Такой мерой он считал количество движения, определяя его как произведение количества вещества m на его скорость v . При этом он полагал, что

«Создатель» позаботился не только об организации движения, но и о сохранении этого его количества $P = mv$.

Основоположник другого направления – «динамизма» И. Ньютон, также строил механику на основе кинематики. Однако он не дал общего определения понятия силы, а введённые им понятия «силы инерции» $F = dP/dt$ (лат. *vis insita*) и «силы тяжести» $F_g = Gm_1m_2/R^2$ (лат. *vis impressa*) описывали силу в первом случае как функцию процесса ускорения, а во втором - как функцию состояния, определяемую взаимным расположением двух точечных «масс» m_1 и m_2 , удалённых друг от друга на расстояние R . [2]. Такая двойственность послужила причиной нескончаемых дискуссий о том, являются ли силы причиной или следствием процесса (т. е. функцией состояния или функцией процесса), и существуют ли силы инерции, если они возникают только в процессе ускорения. Эти споры стали особенно оживлёнными к концу XIX столетия, с переходом к исследованию дискретных процессов в микромире и с возникновением квантовой механики (КМ) [1]. Они привели к выводу, что понятие силы в КМ должно быть заменено понятием «обменного взаимодействия» в связи с существованием безмассовых частиц и процессов излучения, протекающих «вне времени». «Стандартная модель» КМ делит всё многообразие частиц (свыше 350) на частицы-носители материи (фермионы) и частицы-носители взаимодействия (бозоны), различая взаимодействия по величине константы связи (сильное и слабое), и по природе (гравитационное и электромагнитное). Однако подмена силы обменным взаимодействием повлекла за собой отказ КМ от выполнения важнейшей функции науки - объяснения на основе понятия силы причин всего многообразия явлений окружающего нас мира, заложенного ещё Р. Бошковичем (1758). Помимо этого возникла проблема несовместимости механики с электродинамикой, а по существу – квантовой и релятивистской теории как двух основных направлений развития физики. Появилась потребность создания «единой теории поля», получившая звучное название «Великого объединения». Однако эта проблема не нашла своего решения и спустя столетие после её провозглашения (Г. Вейль, 1917). Тем больший интерес представляет альтернатива этому направлению, состоящая в разработке единого метода нахождения явно различимых сил.

2. Единый метод нахождения движущих сил разнообразных процессов

Некоторого прогресса в понимании единства сил любой природы сил удалось достичь, когда стало ясно, что причиной возникновения процессов является неоднородность системы (отсутствие в ней внутреннего равновесия).

Возникла термодинамика необратимых (неравновесных) процессов (ТНП), пролившая новый свет на процессы эволюции живой и неживой природы и на происхождение взаимосвязей разнородных процессов и [3-5]. Естественным её продолжением стала единая теория процессов переноса и преобразования энергии [6], обобщившая ТНП сначала на локально-неравновесные системы [7], а затем и на системы, совершающие полезную внешнюю или внутреннюю работу [8].

Энергодинамика [8] принимает во внимание, что неравномерное распределение плотности $\rho_i(\mathbf{r}, t) = d\Theta_i/dV$ какой-либо независимой экстенсивной величины Θ_i (массы M , числа молей k -х веществ N_k , энтропии S , электрического заряда Q , импульса P , его момента L и т. п.) по объёму системы V ведёт к смещению положения её центра \mathbf{r}_i , определяемого известным выражением:

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

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

В однородном состоянии положение этого центра \mathbf{r}_{i0} всегда совпадает с центром объёма V , занимаемого системой. Поэтому перераспределение энергоносителя Θ_i при отклонении системы от однородного (внутренне равновесного) состояния сопровождается возникновением некоторого «момента распределения»

$$\mathbf{Z}_i = \Theta_i \mathbf{r}_i \quad (2)$$

с плечом \mathbf{r}_i , названным нами «вектором смещения» [6, 9]. Это плечо стремится к нулю при $\rho_i \rightarrow \bar{\rho}_i$ или по мере «стягивания» системы в «материальную точку» с тем же количеством энергоносителя Θ_i .

Благодаря введению таких параметров энергия U неоднородной системы становится функцией не только равновесных (термостатических) параметров Θ_i , но и векторов их смещения \mathbf{r}_i . Если её энергию U представить в виде суммы «парциальных» энергий (от лат. *partialis* – частичный), т. е. положить $U = \sum_i U_i(\Theta_i, \mathbf{r}_i)$, то выражению полного дифференциала внутренней можно придать вид тождества:

$$dU \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i + \sum_i \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r}_i, \quad (3)$$

где $\Psi_i \equiv (\partial U_i / \partial \Theta_i)$ – потенциал i -й формы энергии; $\mathbf{F}_i \equiv (\partial U_i / \partial \mathbf{r}_i)$ – силы в их общезначимом понимании, которые приобретают в энергодинамике *единый смысл градиента парциальной энергии, единое математическое выражение и единую размерность*.

Важнейший вывод, который следует из тождества (3), состоит в том, что *любые силовые поля порождены не массами, зарядами и токами самими по себе, а их неоднородным распределением в пространстве*¹⁾.

Чтобы установить связь сил F_i с известными «термостатическими» параметрами состояния системы, сопоставим тождество (4) с выражением закона сохранения энергии для неравновесных систем, предложенного Н. Умовым (1873) [9]:

$$dU/dt = - \int \mathbf{j}_u \cdot d\mathbf{f} = - \int \nabla \cdot \mathbf{j}_u dV, \quad (4)$$

где \mathbf{j}_u – плотность потока энергии через векторный элемент $d\mathbf{f}$ замкнутой поверхности системы неизменного объёма V в направлении внешней нормали \mathbf{n}

Перенос энергии через границы системы может быть осуществлён путем теплопроводности, электропроводности, диффузии k -х веществ через границы системы и т.п. Каждая составляющая \mathbf{j}_{ei} такого потока может быть выражена произведением соответствующего потенциала ψ_i (термического T , электрического ϕ , химического μ_k и т. п.) на плотность потока соответствующего энергоносителя \mathbf{j}_i (энтропии, числа молей k -го вещества, заряда, и т. п.), т.е. $\mathbf{j}_u = \sum \mathbf{j}_{ui} = \sum_i \psi_i \mathbf{j}_i$. Если теперь выразить дивергенцию $\nabla \cdot \mathbf{j}_e = \sum_i \nabla \cdot (\psi_i \mathbf{j}_i)$ в виде суммы двух слагаемых $\sum_i \psi_i \nabla \cdot \mathbf{j}_i + \sum_i \mathbf{j}_i \cdot \nabla \psi_i$, то получим:

$$dU/dt = - \sum_i \int \psi_i \nabla \cdot \mathbf{j}_i dV - \sum_i \int \mathbf{j}_i \cdot \nabla \psi_i dV. \quad (5)$$

Вынося за знак интеграла некоторое среднее значение $\bar{\psi}_i$ потенциала ψ_i и его градиента $\bar{\nabla} \psi_i$ и учитывая, что $\int \nabla \cdot \mathbf{j}_i dV = - d\Theta_i/dt$, а $\int \mathbf{j}_i dV = \Theta_i d\mathbf{r}_i/dt$, путём сопоставления с тождеством (3) находим, что $\Psi_i = \bar{\psi}_i$, а $\mathbf{F}_i = - \Theta_i \bar{\nabla} \psi_i$. Последнее выражение свидетельствует о том, что удельная величина силы $\mathbf{X}_i = \mathbf{F}_i/\Theta_i$ как аналог понятия массовой, объёмной, поверхностной и т. п. силы в механике имеет смысл усреднённого по объёму системы градиента соответствующего потенциала, взятого с обратным знаком:

$$\mathbf{X}_i = \mathbf{F}_i/\Theta_i = - \bar{\nabla} \psi_i \quad (6)$$

Такие силы выражаются через внутренние параметры системы и потому также являются параметрами состояния системы. В этом их отличие от сил реакции типа силы инерции Ньютона, которые возникают только при возникновении процесса ускорения и потому являются функциями процесса, а не состояния. Чтобы отличать силы реакции от активных сил, целесообразно указывать, что в этом случае параметры состояния \mathbf{r}_i и \mathbf{F}_i становятся

¹⁾ Тем самым различаются необходимые и достаточные признаки существования силовых полей как функций распределения сил в пространстве.

функциями процесса $r_i(t)$ и $F_i(t)$. Активные же силы как функции состояния сродни внутренним напряжениям и являются причиной, а не следствием возникновения в ней процессов релаксации. В этом их отличие от «термодинамических» сил X_i , вводимых в теории необратимых процессов (ТНП) [3-5] на основе выражения для скорости возникновения энтропии d_iS/dt и имеющих не только иное аналитическое выражение, но и смысл сил реакции, исчезающих в отсутствие процесса релаксации. Поэтому во избежание путаницы мы будем называть силы (6) «энергодинамическими». Они позволяют ввести в рассмотрение особый класс внутренних работ W^T «против равновесия», совершаемой неравновесной системой при её релаксации:

$$dW^T = \sum_i F_i dr_i = \sum_i X_i dZ_i . \quad (7)$$

Силы X_i , совершающие такую работу, могут быть механическими и немеханическими, активными и реактивными, внешними и внутренними, дальнедействующими и короткодействующими, полезными и диссипативными. Благодаря такой универсальности работа, описываемая выражением (7), характеризует процесс взаимопревращения энергии, состоящий в создании неравновесности в одних степенях свободы системы за счёт неравновесности других. Тем самым подчёркивается то обстоятельство, что трансформацию энергии W^T могут осуществлять только внутренне неравновесные (неоднородные) системы.

Несложно убедиться в справедливости полученного выше универсального выражения силы F_i для ряда известных случаев. Рассмотрим, например, ньютоновское определение силы инерции $F = dP/dt$, данное им ещё во времена, когда векторной алгебры ещё не существовало, а количество движения P определялось величиной mv . В таком случае смещение центра инерции системы при перераспределении поля скоростей внутри неоднородной системы равнозначно её движению со скоростью $v(r, t) = dr(t)/dt$, где $r = |r|$. При этом система приобретает внешнюю кинетическую энергию $E^k = mv^2/2$. В таком случае выражение силы $F_i \equiv (\partial U/\partial r_i)$ принимает вид:

$$F = vd(mv)/dr = dP/dt \quad (8)$$

Аналогичным образом можно получить выражение центробежной силы F_y , возникающей при вращении массы m с линейной скоростью $v = \omega R$ на расстоянии R от центра вращения. Тогда его кинетическую энергию $E^k = mv^2/2$ удобнее выразить через угловую скорость вращения ω выражением $E^k = m\omega^2 R^2/2$, и выражение силы примет вид:

$$F_y \equiv (dE^k/dR) = m\omega^2 R. \quad (9)$$

Таким же образом находятся и силы, исходящие от внешних силовых полей с энергией E^n :

$$\mathbf{F}_i = (\partial E^n / \partial \mathbf{r}_i). \quad (10)$$

Достигнутое единство аналитических выражений внешних и внутренних (дальнодействующих и короткодействующих) сил вскрывает единство их происхождения и открывает возможность более детального анализа их специфики в разнообразных явлениях.

4. Приложение энергодинамики к нахождению неизвестных ранее сил

С позиций энергодинамики становится предельно ясным, что преобразование энергии из одной формы в другую связано со сменой её материального носителя¹⁾. В этом плане становится ясной необходимость обобщения 3-го начала механики Ньютона, сформулированному во времена, когда ещё не существовало векторной алгебры. Согласно ему, приложенные (активные) силы действия F^a всегда равны силам противодействия (реакции) F^p и направлены по одной прямой навстречу им. В неоднородных системах со многими степенями свободы, где имеются силы различной природы, активной силе F_i противодействуют в разной мере в принципе все возникающие в ней силы реакции $F_j(r_j)$, так что этот закон следует записывать в виде:

$$\mathbf{F}_i = - \sum_j \mathbf{F}_j(r_j), (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

Это обстоятельство иллюстрируется рисунком 1, на котором гравитационным силам \mathbf{F}_g противопоставит целый «веер» сторонних сил. Когда

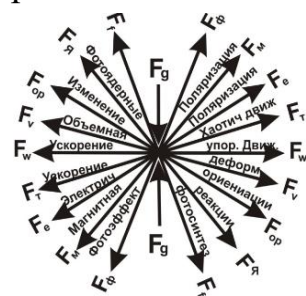


Рис. 1. «Веер» сил противодействия

природа приложенных сил и сил реакции едина, а сами силы равны по величине и противоположны по направлению, в системе сохраняется равновесие и преобразования энергии не происходит¹⁾. Отсюда следует, что характер процесса преобразования энергии зависит от того, силы какой природы противопоставят активной силе. Отсюда один шаг до понятия КПД, если вслед за С. Карно (1824) измерять действие «лошадиных

силах» и понимать под F_i «движущую силу тепла», а под F_j – механическую силу, развиваемую тепловой машиной:

$$\eta_{ji} = \mathbf{F}_j / \mathbf{F}_i \leq 1, \quad (12)$$

¹⁾ В этом отношении энергия напоминает наездника, меняющего лошадей в длительном путешествии.

¹⁾ Даже в условиях их действия не по одной прямой, как это имеет место, например, в рычаге.

Смысл этого КПД мало изменился и с установлением закона сохранения энергии, когда под действием силы стали понимать совершаемую силой работу $dW_i = \mathbf{F}_i d\mathbf{r}_i$ и $dW_j = \mathbf{F}_j d\mathbf{r}_j$. При этом сохраняется необратимость, связанная с «ветвлением» траектории процесса в пространстве «побочных» сил \mathbf{F}_j ($j \neq i$), в том числе сил рассеяния. Возникающие при этом термомеханические, термоэлектрические, термодиффузионные и т. п. эффекты и изучает ТНП, объясняя их, однако, «наложением» необратимых потоков $\mathbf{J}_i = \Theta_i d\mathbf{r}_i/dt$ и $\mathbf{J}_j = \Theta_j d\mathbf{r}_j/dt$, а не преобразованием энергии в «сторонние» ($j \neq i$) формы [14].

Как видим, различие поведения систем в статике и динамике и зависимость КПД процесса от его скорости обусловлена именно участием в этих процессах «сторонних» сил. Поэтому никакое исследование процессов без знания этих сил не будет полным. В этом и состоит преимущество энергодинамики, не только вернувшей в термодинамику понятие силы, но и предложившей универсальный метод нахождения её многочисленных разновидностей. Эти преимущества проявляются, в частности, в нахождении неизвестных ранее сил. Рассмотрим это на ряде примеров.

4.1. Движущая сила лучистого энергообмена.

Изучение особенностей лучистого энергообмена между телами кардинально упрощается с признанием факта существования разделяющей их материальной среды, обладающей колебательной степенью свободы. Такую среду называли в разное время эфиром, электромагнитным полем, фотонным газом, скрытой, тёмной, небарионной и т. п. материей. Согласно закону Стефана-Больцмана, та часть этого вида энергообмена, которая именуется «лучистым теплообменом» пропорциональна разности четвертых степеней абсолютных температур тел. Однако явления фотосинтеза, фотоэффекта, фотоионизации, фотолюминесценции, фотоакустические явления, фотоядерные реакции и т. п. не могут быть отнесены к лучистому теплообмену, который ограничен диапазоном длин волн от 0,4 до 4 мк. Это ставит вопрос о нахождении движущей силы этого вида энергообмена единой для всех сил векторной природы. Воспользуемся с этой целью теорией волн, которая определяет плотность энергии колебаний континуума ρ_v на частоте ν выражением [10]:

$$\rho_v = \rho A^2 \nu^2 / 2, \quad (13)$$

где ρ – плотность колеблющейся среды; A и ν – амплитуда и частота колебаний.

Согласно тождеству (3), каждой форме энергии соответствует своя количественная мера энергоносителя (в данном случае $\Theta_{\text{л}}$) и своя мера

интенсивности движения (потенциал ψ_v). Найти их несложно, представив полный дифференциал ρ_v в виде произведения экстенсивной величины Θ_i как и фактора интенсивности (потенциала ψ_i той же формы движения), что в данном случае приводит к выражению:

$$d\rho_v = (A_v v) d(\rho A_v v), \quad (14)$$

где $\psi_v = A_v v$ (м с⁻¹) – потенциал волны, который мы назвали *амплитудно-частотным*; $\rho A v = d\Theta_n/dV$ – плотность импульса колебательного движения светонесущей среды Θ_n (Н с). Отсюда непосредственно следует, что движущей силой процесса лучистого энергообмена X_v является величина [11]:

$$X_v = -\nabla(A_v v). \quad (15)$$

Это означает, что условием лучистого равновесия между излучателем и полем излучений (светонесущей средой) является равенство амплитуд их колебательного движения на любой частоте v . При нарушении этого энергия будет передаваться телам, обладающим меньшей величиной потенциала ψ_n . Таких сил также бесчисленное множество, поскольку диапазон излучений в принципе не ограничен. Их существование позволяет объяснить целый ряд явлений, начиная от негравитационного «красного смещения» и до не поддающейся учёту «подпитки» лучистой энергией так называемых «сверхединичных» устройств, у которых выходная мощность превышает потребляемую от известных источников [12].

4.2. Движущие силы «избирательного массообмена»

В открытых системах (обменивающихся веществом с окружающей средой) выделяется класс процессов, связанных с избирательной проницаемостью границ системы (в том числе биологических мембран) для различных веществ. Эту категорию процессов мы назвали 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.

Чтобы найти потенциал ψ_k для различных условий ввода N_k , будем исходить из объединённого уравнения 1-го и 2-го начал термодинамики для любого k -го вещества:

$$du_k = Tds_k - pdv_k \quad (16)$$

Умножая все члены этого равенства на N_k и применяя преобразования Лежандра $N_k du_k = dU_k - u_k dN_k$, после суммирования (17) по всем компонентам системы найдём, что для многокомпонентной системы в целом выражение (16) принимает вид:

$$dU = \sum_k dU_k = \sum_k Tds_k - \sum_k pdv_k + \sum_k u_k dN_k \quad (17)$$

Это выражение переходит в соотношение Дж. Гиббса [13] $dU = TdS - pdV + \sum_k \mu_k dN_k$ при применении к его 2-й и 3-й сумме тех же преобразований Лежандра $N_k ds_k = dS_k - s_k dN_k$; $N_k dv_k = dV_k - v_k dN_k$. Однако выражение (17) учитывает то обстоятельство, что энтропия $S = \sum_k s_k N_k$ и объём системы $V = \sum_k v_k N_k$ 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]. В этом отношении выражение (17) удобнее тем, что позволяет варьировать условия ввода в систему k -х веществ. Тогда станет очевидным, что в случае изобарно-изотермической диффузии ($s_k, v_k = \text{const}$) диффузионный потенциал $\psi_k^{\text{диф}}$ равен молярной энергии вещества u_k , а в случае осмоса через жёсткую мембрану ($s_k, V = \text{const}$) потенциал компонента приобретёт смысл парциальной молярной энтальпии $\psi_k^{\text{диф}} = h_k = u_k + pv_k$. В отсутствие же полупроницаемой мембраны, т. е. в условиях конвективного переноса массы без изменения состава системы последняя сумма (17) примет вид udM , и конвективный потенциал $\psi^{\text{конв}} = (\partial U / \partial M)$ станет тождественным удельной энергии $u = \sum_k u_k$. Соответственно этому будут различными и движущие силы этих процессов $X_k = -\nabla \psi_k$ [8]. Ввиду многообразия таких процессов в таблице 1 приведены только некоторые из них.

Особо следует остановиться на движущих силах химических реакций. Обычно эти реакции описывают как чисто скалярный процесс, координатой которого служит «пробег» (степень завершенности) какой-либо независимой r -й реакции $0 < \xi_r < 1$. В таком случае и движущая сила реакции становится скалярной величиной, именуемой её «средством» A_r . Однако такое описание не соответствует векторной природе силы. Между тем «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 реагенты и продукты реакции разделены в пространстве, вследствие чего появляются градиенты химического сродства $X_r = -\nabla A_r$. Векторный характер этих сил и объясняет способность таких реакций совершать полезную работу [8].

4.3. Гидродинамические силы.

Долгое время не удавалось понять, каким образом малые силы трения, которыми в классической механике считалось возможным пренебречь, оказывают решающее влияние на движение тел в жидкости или газе. Понимание пришло лишь тогда, когда стали учитывать неоднородность полей скорости v , резко возрастающую в пограничном слое жидкости в непосредственной близости к движущемуся телу. Вместе с ней возрастают и силы вязкого трения $X_v = -\nabla v$. Эти силы являются тензорами 2-го ранга, которые можно разложить на 3 составляющие. Одна из них – след тензора $X_v^o = -\nabla \cdot v$ – характеризует скорость деформации единицы объёма среды и связана с возникновением объёмной вязкости. Другая – симметрическая часть тензора $X_v^s = -(\nabla v)^s$ – характеризует скольжение слоёв жидкости и ответственна за явление сдвиговой вязкости. Третья – антисимметрическая часть тензора $X_v^a = -(\nabla v)^a$ – представляет собой вихревой вектор, равный удвоенной угловой скорости вращения единицы объёма жидкости ω . Эта составляющая ответственна за явление турбулентной вязкости [8]. В результате силы вязкого трения как силы реакции оказываются на порядки большими, нежели активные силы, создающие сам поток жидкости.

4.4. Электромагнитные силы

Как следует из вышеизложенного, некоторые из потенциалов Ψ_i имеют векторную природу Ψ_i . Для них энергодинамические силы X_i выражаются вектор-градиентами $\text{Grad } \Psi_i$ и становятся тензорами 2-го ранга, как и сопряжённые с ними моменты $Z_i = \Theta_i \times \Delta r_i$. Таковы, в частности, силы реакции, обусловленные неоднородным полем угловых скоростей вращения ω_e заряженных частиц $X_e = -\nabla \omega_e$. Подобно вектор-градиенту скорости $\text{Grad } v$, они включают в себя симметрическую $\nabla \Psi_i^s$ и антисимметрическую $\nabla \Psi_i^a$ часть. Силовые поля $X_e^s = -(\nabla \omega_e)^s$ и $X_e^a = -(\nabla \omega_e)^a$ порождённые симметрической и антисимметрической компонентами этого тензора, имеют различный характер. Вектор $\nabla \omega_e^a$ имеет вихревую природу и смысл вектора магнитной индукции \mathbf{B} [15]. Его движущую силу X_e^a можно назвать *магнотвращающей* силой.

Иной характер имеет симметрической часть $(\nabla \omega_e)^s$ тензора $\nabla \omega_e$, являющаяся аксиальным вектором. Она имеет смысл *продольного магнитного*

поля, споры о существовании которого длятся не один десяток лет [16]. Именно эта сила магнитного поля $\mathbf{X}_e^s = -\nabla\omega_e^s$, используется в электромагнитных подъёмниках [17]. С учётом этого обстоятельства приходится признать, что работу перемещения заряда

$$dW_e^T = \mathbf{F}_e \cdot d\mathbf{r}_e \quad (18)$$

могут совершать как потенциальная (электростатическая), так и магнитная (электрокинетическая) форма энергии.

4.5. Гироскопические силы

В последнее время привлекают пристальное внимание процессы взаимодействия вращающихся тел и переноса в пространстве момента импульса \mathbf{L} . Сам по себе факт обмена между подсистемами количеством вращательного движения не является чем-то новым. На этом принципе работают, в частности, гидромурфты. Однако в «свободном пространстве» КМ, не заполненном материей, перенос «завихрённости» исключён. Тем больший интерес представляет подход с позиций энергодинамики, которая опирается не на модельные представления, а на факт наличия такого переноса в космической среде, который свидетельствует о существовании «первичной» материи. Нагляднее всего это проявляется в тесных системах двойных звёзд, где наблюдается «перетаскивание» вещества с одной звезды или галактики на другую. Этот процесс затрагивает и «тёмную» материю, что проявляется в искажении ротационных кривых галактик вследствие существования невидимого «гало», которое вращается вместе с ними [18].

Согласно энергодинамике, если в материальной среде имеется неоднородное поле угловой скорости ω , то в нём неизбежно возникнут процессы обмена между отдельными областями системы моментом импульса \mathbf{L} или его превращения в импульс поступательного движения. Эти процессы инициированы силой $\mathbf{X}_\omega = -\nabla\omega$. Компоненты этого тензора порождают те же силы реакции, что и в предыдущих случаях, с тем лишь отличием, что энергоноситель в данном случае электронейтрален. След этого тензора $\mathbf{X}_\omega^0 = \nabla \cdot \omega = \partial\omega_\alpha/\partial\alpha$ ($\alpha = 1,2,3$) характеризует внутренние источники момента импульса \mathbf{L} , обусловленные превращением импульса поступательного движения во вращательное, как это имеет место при «косом ударе» или в инерцоидах Толчина. Симметричная часть этого тензора $\mathbf{X}_\omega^s = (\nabla\omega)^s$ порождает процесс переноса «завихрённости», и ответственна за возникновение силы «гироскопической тяги», проявляющейся во вращении гироскопа, подвешенного за один конец, по окружности определенного диаметра [19]. Другая, антисимметричная часть этого тензора $\mathbf{X}_\omega^a = (\nabla\omega)^a$, ответственна за возникновение гироскопического момента, удерживающего

ось гироскопа в определённом направлении. Эта же составляющая ответственна за так называемое «ориентационное взаимодействие», упорядочивающее ориентацию осей вращения в одном направлении, будь то система ядерных спинов или, кольца планет или диски галактик.

6. Систематизация движущих сил разнообразных процессов

Для большего удобства и наглядности найденные выше силы сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Аналитические выражения движущих сил разнородных процессов

№	Природа силы	Аналитическое е	Примечание
1	Гравитационная сила	$X_g = -\nabla\psi_g = \mathbf{g}$	ψ_g – гравитационный потенциал
2	Седиментационная сила	$X_{kg} = -c_k \nabla\psi_g$	c_k – массовая доля k -го вещества
3	Ускоряющая сила	$X_w = \mathbf{a} = v \nabla v$	v – поступательная скорость.
4	Инерционная сила	$X_u = -\mathbf{a}$	\mathbf{a} – ускорение поступ. движения
5	Центробежная сила	$X_\omega = \omega^2 \mathbf{R}$	$R = \mathbf{R} $ – радиус вращ.; ω – угл. скор.
6	Аэродинамическая сила	$X_p = -\nabla p$	p – абсолютное давление
7	Движ. сила излучения	$X_v = -\nabla\psi_v$	$\psi_v = Av$ – амплитудно-частотный пот-л
8	Движ. сила конвекции	$X^k = -\nabla u$	u – удельная внутренняя энергия
1 9	Движ. сила диффузии	$X_k^d = -\nabla u_k$	u_k – парц. молярн. энергия k -го в-ва
1 0	Движущая сила осмоса	$X_k^{oc} = -\nabla h_k$	h_k – парц. моляр. энтальпия k -го в-ва
1 1	Движ. сила хим. реакции	$X_r = -\nabla A_r$	A_r – сродство r -й хим. реакции
1 2	Электрическое поле	$X_e = -\nabla\phi = \mathbf{E}$	ϕ – электрический потенциал
1 3	Электрохимическая сила	$X_{ek} = -\nabla\mu_{ek}$	$\mu_{ek} = \mu_k + e_k\phi$ – электрохимич. пот-л

1 4	Продольное магн. поле	$X_M = -(\nabla \omega_e)^s =$ H	H – напряжённость магнит. поля
1 5	Вихревое магнитн. поле	$X_M^a = -$ $(\nabla \omega_e)^a = B$	ω_e – углов. скор. вращения заряда
1 6	Гальваномагнитная сила	$X_{em} = a_x H$	a_x – постоянная Холла
1 7	Термодвижущая сила	$X_q = -\nabla T$	T – абсолютная температура
1 8	Термоэлектрическая сила	$X_{eq} = -s_e^* \nabla T$	s_e^* – энтропия переноса электронов
1 9	Термодиффузион. сила	$X_{kT} = -s_k^* \nabla T$	s_k^* – энтропия переноса k -го в- ва
2 0	Бародиффузионная сила	$X_{kp} = -v_k^* \nabla T$	v_k^* – парц. молярн. объём k -го в-ва
2 1	Сила объёмной вязкости	$X_v^o = -\nabla \cdot v$	$\nabla \cdot v$ – след тензора скорости ∇v
2 2	Сила сдвиговой вязкости	$X_v^c = -(\nabla v)^s$	$(\nabla v)^s$ – сим. часть тензора скорости
2 3	Сила турбул. вязкости	$X_v^t = -(\nabla v)^a$	$(\nabla v)^a$ – антисим. часть тензора ∇v
2 4	Сила гироскопич. тяги	$X_\omega^s = -(\nabla \omega)^s$	$(\nabla \omega)^s$ – сим. часть тенз. угл. скор.
2 5	Движущая сила переноса «завихрённости»	$X_\omega^a = -(\nabla \omega)^a$	$(\nabla \omega)^a$ – антисим. часть тензора $\nabla \omega$

Эта таблица подчёркивает индивидуальный характер силы для каждого из независимых процессов и в то же время единство активной силы и силы реакции для одного и того же процесса. Однако многообразие энергодинамических сил не ограничивается рамками приведённой таблицы. Их бесчисленное количество становится очевидным, если учесть, что движущие силы избирательного массообмена существуют у любого независимого компонента системы в каждой из его независимых фаз, движущие силы химических реакций – у любого химически активного элемента в любой из его реакций, а движущие силы лучистого энергообмена – на любой частоте бесконечного спектра излучений. Это означает, что существующее деление всего многообразия сил и взаимодействий по их

природе на электромагнитные и гравитационные совершенно недостаточно, и необходим дальнейший поиск путей унификации сил [20].

7. Заключение

1. Действительной и единственной причиной возникновения каких-либо процессов является неоднородность распределения носителей различных форм энергии в пространстве. Наличие самих этих энергоносителей является необходимым, но ещё не достаточным условием для возникновения таких процессов. Это касается и силовых полей, которые порождены не массами, зарядами и токами самими по себе, а *их неоднородным распределением в пространстве*.

2. Существующая тенденция ограничиться исследованием однородных систем или их элементов а основе гипотезы локального равновесия и дифференциальных уравнений приводит к утрате «системообразующих» свойств объектов исследования и к неполноте описания внутренних процессов, протекающих в них. В результате всё многообразие сил природы сводится к четырём видам взаимодействия, из которых только два (электромагнитное и гравитационное) различаются своей природой.

3. Опора на закон сохранения энергии в его наиболее общей (динамической) форме позволяет получить универсальное выражение любых (механических и немеханических, внешних и внутренних, дальнедействующих и короткодействующих, активных и реактивных, полезных и диссипативных) сил, действующих в исследуемых системах. Эти силы имеют единое аналитическое выражение, единый физический смысл и единую размерность.

4. Определение внутренних (энергодинамических) сил как градиентов парциальной энергии соответствующей степени свободы кардинально упрощает существующую процедуру их нахождения в теории необратимых процессов, освобождая от необходимости составления уравнений баланса энтропии. Это открывает возможность построения всех фундаментальных дисциплин на общей понятийной и математической основе.

5. Предложенный подход классификации сил по характеру протекающих процессов позволяет различать более 20 разновидностей независимых энергодинамических сил, выражающихся отрицательными градиентами соответствующих потенциалов. Среди них имеются не известные ранее силы, ответственных за избирательный массообмен, лучистый энергообмен, взаимодействие вращающихся тел и возникновение продольного магнитного поля.

6. Многообразие сил природы и предложенный единый метод нахождения явно различимых сил свидетельствует о целесообразности использования понятия силы в микромире и о необходимости переосмысления концепции единого поля и «великого объединения».

Литература

1. Джеммер М. Concepts of Force. — Mineola, NY: Dover Publications Inc., 1999. — ISBN 0-486-40689-X. (англ.)
2. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Пер. с лат. А.Н. Крылова, Петроград, 1916.
3. Де Гроот С. Р., Мазур Р. Неравновесная термодинамика. М.: Мир, 1964. 456 с.
4. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов. – М.: Мир, 1967, 544с.
5. Дьярмати И. Неравновесная термодинамика. Теория поля и вариационные принципы. М.: Мир, 1974. 304 с.
6. Эткин В.А. Синтез и новые приложения теорий переноса и преобразования энергии: Дисс. ...д-ра техн. наук. М., 1998. – 213 с.
7. Эткин В. А. Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии). Тольятти, 1999. 228 с.
8. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии).- СПб.: Наука, 2008. 409 с.
9. Умов А. И. Избранные сочинения. М. Л., 1950. С.203 (*Umov A. I. Selected Works. M.L., 1950. p. 203.*).
10. Крауфорд Ф. Берклеевский курс физики. Т.3: Волны. М.: Мир, 1965. 529 с.
11. Эткин В.А. О потенциале и движущей силе лучистого теплообмена. //Вестник Дома ученых Хайфы, 2010.–Т.ХХ. – С.2-6.
12. Эткин В.А. Теоретические основы бестопливной энергетики. –Canada: Altaspera Publ., 2013.
13. Гиббс Дж. В. Термодинамические работы. Ч. 3. О равновесии гетерогенных веществ / Пер. с англ. М. Л.: Гостехиздат, 1950.
14. Эткин В.А. Паралогизмы термодинамики. – Saarbrücken, Palmarium Ac. Publ., 2015.
15. Эткин В.А. О смысле векторного магнитного потенциала. // Вестник Дома Ученых Хайфы, 2014.-Т.34. С. 7-13.
16. Николаев Г. В. Непротиворечивая электродинамика. Теории, эксперименты, парадоксы. ТПУ, 1997.
17. Поливанов К.М. Электродинамика движущихся тел.-М.:Энергоатомиздат, 1982.

18. Мизнер, Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. Т.1-3.— М.: Мир, 1977.
19. Эткин В.А. О взаимодействии вращающихся масс //Журнал формирующихся новых направлений, 3(1).2013.6-14.
20. Салам А. Унификация сил. В сб. Фундаментальная структура материи. - М.: Мир, 1984. С. 173-203.