

ЭНЕРГОДИНАМИКА КАК СИНТЕЗ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН

В.А. Эткин

Аннотация.

В статье анализируются уникальные возможности термодинамического метода исследования после его обобщения на локально неравновесные системы и процессы преобразования любых форм энергии. Показано, что этот метод, названный для краткости энергодинамическим, позволяет объединить на единых методологических принципах ряд фундаментальных дисциплин и расширить возможности их приложения к объектам микро, макро и мегамира, включая сплошные среды и изолированные системы. Дается краткий вывод основного уравнения и обсуждаются его следствия, позволяющие получить новые результаты в каждой из этих дисциплин и тем самым разрешить ряд проблем теоретической физики.

1. Введение.

Одним из стратегических направлений развития теоретической физики является поиск единого метода описания и объяснения явно различимых явлений в природе и технике. Такая задача шире выдвинутой А. Эйнштейном программы «Великого объединения», поскольку не ограничивается синтезом релятивистской теории гравитации с электромагнитной теорией Максвелла и включает синтез теоретических основ, понятийной системы и математического аппарата всех фундаментальных дисциплин с учётом необратимости всех реальных процессов и последующим выходом на дискретные и релятивистские явления в микромире и мегамире. Естественным путём к построению такого рода «теории всего» является энергодинамика [1], явившаяся результатом предварительного обобщения методов классической термодинамики [2] и термодинамики необратимых процессов (ТНП) [3,4] сначала на локально неравновесные системы [5], а затем и на системы, совершающие полезную внешнюю или внутреннюю работу [6]. Ниже анализируются методологические принципы такого объединения и имеющиеся предпосылки для его реализации.

3. Исходные принципы энергодинамики

Методологической особенностью построения энергодинамики является отказ от идеализации процессов и систем, гипотез и постулатов, модельных представлений о «механизме» процессов, а также от соображений молекулярно-кинетических и статистико – механических теорий в основаниях теории. Все такого рода соображения используются ею лишь на стадии приложения теории к конкретным процессам в качестве условий однозначности. Возможность построения энергодинамики как «теории принципов» и отказа от принятой схемы построения «конструктивных» теорий (каковыми в терминологии А. Эйнштейна являются все профильные дисциплины), обусловлена привлечением исходных положений общезначимого характера.

Одним из таких положений является «принцип определённости», согласно которому *число независимых аргументов энергии системы U как функции её состояния равно числу независимых процессов, протекающих в ней.* Это довольно очевидное положение доказывается «от противного» *теоремой о числе степеней свободы*, в соответствии с которой любое отклонение от этого принципа ведёт к утрате независимости либо некоторых из аргументов энергии, либо некоторых из протекающих в системе процессов.

Тем самым устанавливаются *необходимые и достаточные* условия адекватного описания свойств исследуемой системы, что позволяет избежать как «недоопределения», так и «переопределения» системы¹⁾.

Нарушение этого принципа является главным источником методологических ошибок большинства современных теорий. В качестве примера «недоопределения» можно сослаться на гипотезу локального равновесия [7], которая предполагает наличие в элементах континуума равновесия (вопреки протеканию в них тех же процессов, что и вне их), возможность описания их состояния тем же набором переменных, что и в равновесии (несмотря на появление градиентов потенциалов) и справедливость для них всех уравнений равновесной термодинамики (несмотря на неизбежный переход их в неравенства при наличии необратимости). В качестве противоположного примера можно указать на приписывание материальным точкам вращательных степеней свободы в теории Картана – Эйнштейна [8].

В качестве второго исходного положения энергодинамика выдвигает «*принцип противоположности процессов*», согласно которому какие-либо процессы возникают только в неоднородной системе и вызывают противоположные изменения состояния в различных её частях. Это положение также можно доказать весьма строгим и общим образом. Для этого достаточно представить любой экстенсивный параметр системы Θ_i (её массу M , число молей k -х веществ N_k , энтропию S , электрический 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 $\Theta_i = \int \rho_i dV = \int \bar{\rho}_i dV$. Отсюда непосредственно следует, что

$$\int [(d(\rho_i - \bar{\rho}_i)/dt)dV] = 0. \quad (1)$$

Обращение интеграла (1) в нуль означает, что в однородных системах, где разность $\rho_i - \bar{\rho}_i = 0$ повсеместно, *никакие процессы невозможны*. При этом скорость $d(\rho_i - \bar{\rho}_i)/dt$ любого из протекающих в системе процессов имеет в разных элементах dV объёма V системы противоположный знак, что указывает на их противоположную направленность. Это положение может рассматриваться как математическое выражение диалектического закона «единства и борьбы противоположностей».

Двух этих принципов оказывается достаточно для построения энергодинамики как единой теории реальных (нестатических) процессов переноса и преобразования любых форм энергии [9].

3. Пространственная неоднородность как причина возникновения процессов

Одним из следствий упомянутых принципов является необходимость отыскания «координаты» для каждого из обнаруженных экспериментальным путём независимых процессов, протекающих в исследуемой системе. Это касается и параметров, характеризующих неоднородность системы. Для их нахождения примем во внимание, что неравномерное распределение плотности $\rho_i(\mathbf{r}, t) = d\Theta_i/dV$ какого-либо независимого экстенсивного параметра системы Θ_i по её объёму V ведёт к смещению положения её центра \mathbf{r}_i , определяемого известным выражением:

¹⁾ То-есть попыток описать состояние системы недостающим или избыточным числом аргументов.

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

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

В однородном состоянии положение \mathbf{r}_i 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»

$$\mathbf{Z}_i = \Theta_i \mathbf{r}_i \quad (3)$$

с плечом \mathbf{r}_i , названным нами «вектором смещения» [6]. Это плечо стремится к нулю при $\rho_i \rightarrow \bar{\rho}_i$ или по мере «стягивания» системы в «материальную точку». Это и послужило стимулом для разбиения системы на бесконечное число однородных элементов dV , к которому прибегают все без исключения полевые теории, включая механику сплошных сред, гидроаэродинамику, электродинамику и неравновесную термодинамику. Делается это с очевидной целью упростить описание этих элементов в надежде на то, что свойства системы в целом удастся в последующем отразить с помощью подходящих интегралов. Между тем известно, что в поливариантных системах имеются такие свойства, которые присущи лишь объекту исследования в целом и отсутствуют в его отдельных частях. Такие свойства обычно именуется «системообразующими». Они не аддитивны, т. е. не являются суммой свойств отдельных частей системы, и Ярким примером может служить живой организм, который перестаёт функционировать при расчленении его на отдельные органы. Эта невозможность восстановить системообразующие свойства путем интегрирования разобшённых частей явилась, по признанию А. Пуанкаре, причиной «самого большого и самого глубокого потрясения, которое испытала физика со времён Ньютона» [10]. Введение неаддитивных параметров неоднородности \mathbf{r}_i и \mathbf{Z}_i устраняет опасность «выплёснуть с водой и ребёнка», делая энергодинамику способной отразить системообразующие свойства объекта исследования.

Благодаря введению параметров пространственной неоднородности энергия U неоднородной системы становится функцией не только равновесных (термостатических) параметров Θ_i , но и векторов их смещения \mathbf{r}_i . Если её 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:

$$dU \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i + \sum_i \mathbf{F}_i d\mathbf{r}_i, \quad (4)$$

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*.

Другой методологической особенностью энергодинамики, вытекающей из тождества (4), является возможность исследования изолированных систем, включающих в себя всю совокупность взаимодействующих (взаимно движущихся) тел и полей. Для них в силу закона сохранения энергии $dU = 0$ тождество (4) принимает вид:

$$dU \equiv \sum_i dU_i(\Theta_i, \mathbf{r}_i) \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i + \sum_i \mathbf{F}_i d\mathbf{r}_i = 0, \quad (5)$$

Именно к таким системам относятся все известные законы сохранения (энергии, массы, заряда, импульса и его момента). Для них вся их энергия является внутренней U , а кинетическая E^k макроскопического движения частей системы и потенциальная энергия $E^п$ их взаимодействия становятся её составляющими. При этом внутренняя энергия перестаёт

быть «рассеянной» (утратившей работоспособность) частью полной энергии, какой была в механике и классической термодинамике. К тому же и сам термин «внутренняя» становится излишним, поскольку понятие «энергия системы» уже указывает на принадлежность её только ей самой.

Чтобы установить связь введённых формально потенциалов Ψ_i и сил F_i с известными «термостатическими» параметрами состояния системы, сопоставим тождество (4) с выражением закона сохранения энергии для неравновесных систем, предложенного Н. Умовым (1873) [11]:

$$dU/dt = - \int \mathbf{j}_u \cdot d\mathbf{f} = - \int \nabla \cdot \mathbf{j}_u dV, \quad (6)$$

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. процессами, отличающимися условиями их протекания. Каждая составляющая \mathbf{j}_{ei} такого потока может быть выражена, как известно, произведением соответствующего потенциала ψ_i (термического T , электрического φ , химического μ_k и т. п.) на плотность потока соответствующего энергоносителя \mathbf{j}_i (энтропии, заряда, числа молей k -го вещества и т. п.), т. е. $\mathbf{j}_u = \sum \mathbf{j}_{ui} = \sum \psi_i \mathbf{j}_i$. Если теперь выразить дивергенцию $\nabla \cdot \mathbf{j}_u \equiv \sum_i \nabla \cdot (\psi_i \mathbf{j}_i)$ в виде суммы двух слагаемых $\sum_i \psi_i \nabla \cdot \mathbf{j}_i + \sum \mathbf{j}_i \cdot \nabla \psi_i$, то получим:

$$dU/dt \equiv - \sum_i \int \psi_i \nabla \cdot \mathbf{j}_i dV - \sum_i \int \mathbf{j}_i \cdot \nabla \psi_i dV. \quad (7)$$

Характерно, что выражение $\nabla \cdot \mathbf{j}_u$ даже в локальной форме содержит удвоенное число членов, что подтверждает несостоятельность гипотезы локального равновесия. Если теперь вынести за знак интеграла некоторое среднее значение $\bar{\psi}_i$ потенциала ψ_i и его градиента $\mathbf{X}_i = - \nabla \psi_i$, и учесть, что $\int \nabla \cdot \mathbf{j}_i dV = - d\Theta_i/dt$, а $\int \mathbf{j}_i \cdot \nabla \psi_i dV = \mathbf{J}_i \cdot d\mathbf{X}_i/dt$, то получим:

$$dU/dt \equiv \sum_i \bar{\psi}_i d\Theta_i/dt + \sum_i \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{J}_i. \quad (8)$$

Сопоставляя это выражение с тождеством (4) найдём, что $\Psi_i = \bar{\psi}_i$, а $\mathbf{X}_i = \mathbf{F}_i/\Theta_i$, т.е. представляют собой соответственно усреднённый потенциал системы и усреднённую величину удельной силы F_i в её общезначимом понимании. Найденные таким образом «термодинамические» силы \mathbf{X}_i направлены на установление в системе равновесия и представляют собой градиенты соответствующего потенциала, взятые с обратным знаком, а векторные потоки $\mathbf{J}_i = \Theta_i \mathbf{v}_i$ приобретают смысл обобщённого импульса энергоносителя.

Тождество (8) представляет собой динамическую форму закона сохранения энергии. Оно допускает дальнейшую детализацию, если учесть возможность *переориентации* векторов смещения \mathbf{r}_i , т. е. их поворота на пространственный угол $\Delta\varphi_i$ без изменения величины $r_i = |\mathbf{r}_i|$. В таком случае любая форма энергии U_i ориентируемой системы становится функцией трёх переменных $U_i = U_i(\Theta_i, r_i, \varphi_i)$, а её полный дифференциал (4) принимает вид:

$$dU \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i + \sum_i \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r}_i + \sum_i \mathbf{M}_i \cdot d\varphi_i, \quad (9)$$

где $\mathbf{M}_i = (\partial U_i / \partial \varphi_i) = \mathbf{F}_i \times \mathbf{r}_i$ – ориентационный момент, вызывающий выстраивание векторов смещения \mathbf{r}_i в направлении поля \mathbf{F}_i .

В однородных системах ($\Psi_i = \psi_i$, r_i , $\Phi_i = 0$) тождество (9) переходит в объединённое уравнение 1-го и 2-го начал классической термодинамики открытых систем [17]

$$dU = \sum_i \psi_i d\Theta_i \quad (10)$$

Таким образом, методология энергодинамики диаметрально противоположна тем дисциплинам, которые добиваются однородности объекта исследования путём дробления системы на бесконечное число условно равновесных элементов объёма и соответствующего увеличения числа её степеней свободы. В этом отношении энергодинамика предстаёт как обобщение классического термодинамического метода анализа «системы как целого» на неоднородные объекты микро и мегамира. Немаловажно и то, что тождества (4,9) и (8) как усиленные равенства остаются справедливыми не зависимо от того, чем вызвано изменение параметров Θ_i и r_i – внешним энергообменом или внутренними (в том числе релаксационными) процессами. Это означает, что они не переходят в неравенство при необратимых процессах, как это имеет место с уравнениями 1-го и 2-го начал классической термодинамики, что позволяет применять их к системам с любой степенью диссипативности. Всё это наряду с сохранением конечного числа степеней свободы придаёт энергодинамике свойства, позволяющие осуществить синтез термодинамики с другими фундаментальными дисциплинами без допущения их консервативности. При этом те следствия энергодинамики, которые получены из общего математического аппарата теории, т. е. до привлечения так называемых «условий однозначности»¹⁾ конкретных процессов, приобретают свойственный классической термодинамике статус непреложных истин. Это делает энергодинамику «пробным камнем» любой теории и корректировать её основы перед объединением в единую термодинамическую теорию реальных процессов [12]. Рассмотрим кратко эти коррективы.

4. Коррекция и обобщение механики.

Основные положения механики Ньютона формулировались в тот период, когда закон сохранения энергии ещё не был установлен. Тем больший интерес представляет её рассмотрение с позиций энергодинамики. Пусть некоторое тело или система тел движется по инерции, т. е. в отсутствие приложенных сил F_i . Если масса такого тела (системы тел) остаётся неизменной, то для него все составляющие тождества (4), кроме импульса $P = Mv$, обращаются в нуль, и для него закон сохранения энергии принимает вид $dU = v \cdot dP = 0$. Отсюда непосредственно следует принцип инерции Галилея, сформулированный И. Ньютоном в форме утверждения: «*Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние*». Однако скорость v включает в себя поступательную w и вращательную ω составляющую: $v = w + R \times \omega$, где R – мгновенный радиус вращения тела. Поэтому с той же общностью из тождества (4) следует и сохранение момента количества движения $L = MR \times \omega = I_\omega \omega = const$ (закон Эйлера). Это указывает на неполноту закона инерции Галилея – Ньютона и необходимость дополнить его с учётом вращательного движения. Игнорирование этого обстоятельства теорией относительности Пуанкаре – Лоренца – Эйнштейна имело для теоретической физики самые серьёзные последствия. Оно привело к отказу от поиска преимущественной системы отсчёта, свойственной вращающимся системам, и к отрицанию возможности взаимного

¹⁾ Эти условия включают в себя начальные и граничные условия, а также уравнения состояния и переноса, найдены как правило с привлечением гипотез, постулатов, модельных представлений и соображений кинетического и статистико-механического характера и потому требующие экспериментальной проверки.

превращения импульсов поступательного и вращательного движения, лежащего в основе движения инерцидов [13].

Не менее серьёзные последствия имеет рассмотрение 2-го «закона» Ньютона – закона силы, утверждающего, что «изменение количества движения пропорционально приложенной действующей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует» [14]. Однако он не вводит коэффициента пропорциональности, что позволило впоследствии трактовать изменение импульса $\mathbf{P} = M\mathbf{v}$ возрастанием не только скорости \mathbf{v} , но и массы (вместо того, чтобы отнести нелинейность закона $F \propto \Delta P$ на счёт коэффициента пропорциональности как кпд ускорителя [15]).

В отличие от ньютоновского выражения силы, тождество (4) даёт наиболее общее определение силы как градиента соответствующей формы энергии $\mathbf{F}_i \equiv (\partial U_i / \partial \mathbf{r}_i)$. Это определение применимо к силам механическим и немеханическим, внешним и внутренним, далекодействующим и короткодействующим, полезным и диссипативным, активным силам и силам реакции. При этом все силы приобретают *единый смысл, единое аналитическое выражение и единую размерность*. Это даёт в руки исследователей единый метод нахождения бесчисленного множества явно различных сил природы [16], а вместе с тем – перспективу создания теории единого поля как области пространства, в которой обнаруживаются какие-либо силы [17].

Немаловажно и то, что тождество (4) определяет силу как функцию неоднородного состояния независимо от того, каким путем это состояние достигнуто: совершением работы против равновесия в системе или её релаксацией. В таком случае становится ясным, что активные («приложенные») силы и силы реакции системы (в духе принципа ле Шателье – Брауна) отличаются лишь тем, что первые являются причиной возникновения процесса и функцией состояния $\mathbf{F}(\mathbf{r}_i)$, а вторые – его следствием и функцией процесса $\mathbf{F}[\mathbf{r}_i(t)]$. Тем самым решается давний спор о существовании сил инерции и полей инерции, исчезающих при прекращении процесса ускорения.

Тождество (4) затрагивает и третий закон Ньютона, согласно которому «*действию всегда соответствует и равная реакция*». Если учесть, что во времена И. Ньютона не существовало векторной алгебры, и учитывать направление сил действия и противодействия, а также их многообразие в поливариантных системах, этот закон следует записывать в виде:

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

Это выражение указывает на возможность «ветвления» траектории процесса в пространстве противодействующих сил \mathbf{F}_j , что является причиной необратимости процесса (возможности возвращения системы в исходное состояние) даже в случае отсутствия трения). Это опровергает мнение И. Пригожина о том, что в отношении необратимости «динамика и термодинамика – два различных мира» [7]. Кроме того, такая запись оправдывает возникновение понятия кпд F_j/F_i как меры использования приложенной силы по её прямому назначению. Характерно также, что в такой форме третий закон Ньютона допускает возникновение моментов \mathbf{M}_j при действии сил \mathbf{F}_i и \mathbf{F}_j не по одной прямой, как это имеет место в случае рычага или непараллельных токов.

Перейдём теперь к закону тяготения Ньютона $F_g = GmM/R^2$ для парного взаимодействия двух точечных тел массой m и M , расположенных в пустоте ($\rho_0 = 0$) на расстоянии R друг от друга. Этот закон, в отличие от упомянутых выше постулатов, явился результатом обработки экспериментальных данных Кеплера и его предшественников. Однако он не применим к сплошным средам, в которых нет ни «полеобразующих», ни «пробных» тел с массами M и m . Поэтому его следует обобщить на случай произвольного распределения плотности $\rho(\mathbf{r}_i, t)$ космического вакуума как сплошной среды.

При неоднородном распределении плотности эта среда создаёт в соответствии с тождеством (4) гравитационную силу $F_g = (\partial U_g / \partial r_g)$. Гравитационную энергию U_g удобнее выразить через её плотность ρ_g интегралом $U_g = \int \rho_g dV$. Тогда $F_g = \int (\partial \rho_g / \partial r_g) dV = \nabla \rho_g$. Согласно теории акустических колебаний [18], производная $\partial \rho_g / \partial r$ равна квадрату скорости распространения колебаний в какой-либо среде (в данном случае скорости света c). Отсюда – принцип эквивалентности энергии и массы $\rho_g = \rho c^2$ и выражение для удельной энергодинамической силы [19]:

$$X_g = -c^2 \nabla \rho, \text{ Н м}^{-3}. \quad (12)$$

Этот закон обнаруживает существование гравитационных сил как притяжения, так и отталкивания ($\nabla \rho < 0$), а также возможность установления гравитационного равновесия ($\nabla \rho = 0$), что объясняет наблюдаемые явления либрации и структурообразования не только во вселенной, но и на любом другом иерархическом уровне строения материи. Легко убедиться в том, что для солитоноподобных ядер с плотностью $10^{17} \text{ кг м}^{-3}$ и размерами $10^{-14} \div 10^{-15} \text{ м}$ при $c^2 \sim 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2 \text{ с}^{-2}$ сила гравитационного сжатия имеет порядок $X_g \sim 4,5 \cdot 10^{47} \div 4,5 \cdot 10^{48} \text{ Н м}^{-3}$, что вполне достаточно для удержания его от распада даже при наличии в нём одноимённых зарядов. Отсюда вытекают далеко идущие последствия, касающиеся единства природы всех взаимодействий и необходимости деления всех взаимодействий на сильное и слабое, гравитационное и электромагнитное [17]. Характерно, что тот же вид (12) можно придать и закону тяготения Ньютона, если выразить его через плотность среды [19]. Однако по сравнению с этим гравитационным внутриядерным полем силы тяготения Ньютона оказываются чрезвычайно слабыми, что может быть связано с притяжением со стороны других небесных тел.

Таким образом, энергодинамика требует коррекции всех положений ньютоновской механики и в то же время позволяет обобщить её на случай непустого пространства [20].

5. Коррекция и обобщение неравновесной термодинамики.

Современная термодинамика давно переросла первоначальные рамки теории тепловых машин и превратилась в весьма общий макрофизический метод исследования реальных физико-химических процессов в их неразрывной связи с тепловой формой движения. Однако по мере расширения сферы применимости термодинамики не раз оказывалось невозможным уложить новые опытные факты в «прокрустово ложе» её старой понятийной и концептуальной системы [21]. Это касается в особенности термодинамики необратимых процессов (ТНП), получившей развитие в середине XX столетия с привлечением статистической механики, физической кинетики ряда гипотез и постулатов [3, 4]. Эта теория исключила из рассмотрения обратимую составляющую реальных процессов и потому оказалась не применимой к системам, совершающим полезную работу. Между тем именно процессы полезного преобразования энергии в первую очередь интересовали термодинамику. В не меньшей степени это относится к биосистемам, для которых работа «против равновесия» является одним из основных проявлений их жизнедеятельности. Да и астрофизика не может обойтись без анализа процессов преобразования гравитационной энергии в другие её формы. Это и сделало необходимым разработку единой теории переноса и преобразования энергии, которая не исключала из рассмотрения какую-либо (обратимую или необратимую) составляющую реальных процессов [9]. Такую теорию мы назвали для краткости «термокинетикой» [22]. В рамках этой теории впервые были получены тождества (4) и (9), коренным образом изменившие методологию ТНП. Прежде всего, оказались излишними уравнения баланса

массы, заряда, импульса, энергии и энтропии, на основе которых в ТНП находились движущие силы X_i и обобщённые скорости J_i релаксационных процессов, поскольку они уже содержались в тождестве (8), причём в форме, не допускающей никакого произвола в их аналитическом представлении, смысле и размерности. Тем самым кардинально упростилась наиболее сложная и трудоёмкая часть ТНП [23]. Вслед за этим термокинетика предложила последовательно термодинамическое (свободное от соображений других теорий) обоснование всех положений ТНП, включая принцип линейности и соотношения взаимности Л. Онзагера [24]. Это позволило обнаружить несоответствие существу дела основных гипотез и постулатов, положенных в основание этой теории. В частности, постулат Л. Онзагера о линейной зависимости каждого из потоков J_i от всех действующих в системе термодинамических сил X_i оказался противоречащим механике, установившей существование результирующей противодействующих сил (11). Учёт этого соотношения резко упростил «феноменологические» законы Онзагера, переведя их из матричной формы $J_i = \sum_j L_{ij} F_j$ в диагональную [25]:

$$J_i = L_i F_i = L_i \sum_j F_j. \quad (13)$$

Такая форма кинетических уравнений процессов переноса позволила сократить число «феноменологических» коэффициентов пропорциональности L_{ij} от $n(n+1)/2$ до n при сохранении всей информации об «эффектах наложения» потоков J_i и J_j . При этом в большинстве случаев отпала и необходимость применения соотношений взаимности Онзагера $L_{ij} = L_{ji}$, нарушающихся в нелинейных системах, что существенно расширило область применимости ТНП [26].

Ещё более революционным оказалось приложение термокинетики к процессам полезного преобразования энергии в циклических и нециклических, тепловых и нетепловых, прямых и обратных машинах. При этом оказалось возможным не только подтвердить неизбежность принципов исключённого вечного двигателя 1-го и 2-го рода, но выявить единство законов преобразования энергии во всех упомянутых машинах [27]. Это открыло путь к построению теории подобия энергетических установок [28] и к её объединению с теорией их производительности [29], более известной как «термоэкономика» или «термодинамика при конечном времени». Всё это и позволило разработать термодинамический метод исследования процессов переноса и преобразования любых форм энергии [1], применимый к изолированным и далёким от равновесия системам.

6. Коррекция и обобщение электродинамики.

Электромагнитные явления, как известно, возникают при движении зарядов Θ_e , т. е. при наличии тока с плотностью j_e и скоростью v_e . Для общего случая «токонесущих» систем с произвольным распределением плотности зарядов ρ_e и токов $j_e = \rho_e v_e$ тождество (9) удобнее записать для единицы их объёма с энергией U_V , предварительно разложив скорость v_e на поступательную w_e и вращательную ω_e составляющие:

$$dU_V \equiv \varphi d\bar{\rho}_e + E \cdot dD + H \cdot dB, \quad (14)$$

где φ – электрический потенциал; E, H – электрическое и магнитное поле; D, B – векторы электрической и магнитной индукции. При этом потенциал φ приобретает смысл модуля \bar{w}_e средней поступательной скорости заряда \bar{w}_e ; напряжённость электрического поля E –

смысл усреднённого градиента этого потенциала $\bar{\nabla}\varphi$; вектор электрического смещения $\mathbf{D} = \Theta_e \mathbf{r}_e$ – смысл момента распределения электрического заряда; напряжённость магнитного поля $\mathbf{H} = \mathbf{E} \times \mathbf{r}_e$ – смысл крутящего момента \mathbf{M}_e , создаваемого полем \mathbf{E} при изменении направления вектора смещения \mathbf{r}_e ; вектор \mathbf{B} – смысл угловой скорости вращения электрического заряда $\bar{\omega}_e$ [30]. Это делает понятным смысл тех допущений, которые сделал Дж. Максвелл при выводе им уравнений электромагнитного поля [31], а также тех упрощений, которые ввели Г. Герц и О. Хэвисайд при записи этих уравнений в общепринятом их виде. Главным из них является предположение о существовании тока смещения \mathbf{j}_c в эфире, замыкающем ток проводимости \mathbf{j}_e и придающем электрическому полю \mathbf{E} вихревой характер. При таком допущении благодаря применению соотношений взаимности обратимых процессов [32] оказалось возможным не только вывести уравнения Максвелла в их общепринятой форме, но и придать первой их паре полностью симметричную форму [33]:

$$\text{rot } \mathbf{E} = -d\mathbf{B}/dt; \text{rot } \mathbf{H} = d\mathbf{D}/dt, \quad (15)$$

Такая форма сохраняет полные производные $d\mathbf{D}/dt$ и $d\mathbf{B}/dt$, присутствовавшие в исходных уравнениях Максвелла. Это позволило выявить существование в токнесущих системах конвективной составляющей векторов электрической \mathbf{D} и магнитной \mathbf{B} индукции, которые ответственны за ряд эффектов, не имевших до этого удовлетворительного объяснения. Вслед за этим оказалось возможным вывести из тождества (9) и уравнения (14) закон Кулона, не используя при этом лишённое физического смысла понятие «потока напряжённости через замкнутую поверхность»¹⁾, устранить нарушение закона сохранения энергии, вызванное допущением об «отрыве» ЭМП от своих источников в условиях синфазного изменения векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} [34]; вскрыть простой смысл векторного магнитного потенциала $A(\bar{\omega}_e)$ как угловой скорости заряда [35] и опровергнуть утверждение о том, что магнитное поле не совершает работы [36]. Это облегчает в дальнейшем синтез теории Максвелла с электромеханикой и позволяет устранить ряд других паралогизмов электродинамики.

В этом отношении особенно «революционным» выглядит утверждение энергодинамики о неэлектромагнитной (в основном) природе света, основанное на ряде экспериментальных фактов [37] и обоснование его гравиакустической природы [38]. Подтверждение этой концепции может оказаться решающим аргументом для объединения гравитации с электромагнетизмом и создания единой теории поля [17].

7. К синтезу классической и волновой механики.

Не менее важным следствием энергодинамики явилось обнаружение причин, из-за которых физики начала XX столетия не смогли справиться с вопросами, поставленными серией открытий в области микромира, в том числе в области излучения. Основной причиной, на наш взгляд, явилось, как ни странно, отсутствие в то время неравновесной термодинамики, позволяющей рассматривать процессы излучения без привлечения концепции теплового равновесия между абсолютно черным телом (АЧТ) и неким «излучением» в полости вокруг него. Согласование экспериментально установленного закона излучения с этой далёкой от реальности модели потребовала введения гипотезы квантов и ряда других допущений, прямо противоречащих основам классической физики

¹⁾ Любое поле подобно рельефу местности и согласно Р.Фейнману никуда не движется.

[39]. Это послужило стимулом для квантовой механики, отрицающей применимость законов классической физики к микромиру.

Между тем, как стало ясно с позиций энергодинамики, достаточно было с самого начала признать необратимый характер лучистого энергообмена и существование встречных потоков лучистой энергии, в которых частота ν играет роль числа волн, излучаемых или поглощаемых в единицу времени. Тогда недопустимость подмены понятия потока лучистой энергии как функции процесса излучения понятием энергии осциллятора как функции его состояния стала бы очевидной. Это обстоятельство и послужило «путеводной звездой» в подходе к процессу излучения с позиций энергодинамики. Приложение её к процессу излучения позволило показать, что излучение подчиняется тем же законам, что и процессы теплопроводности, электропроводности, диффузии и т. п. [40], а любая одиночная волна независимо от её природы является объектом, дискретным как в пространстве, так и во времени. Это устраняет конфликт с реальностью, связанный с гипотезой фотонов, лишившей процесс излучения длительности, а фотон как волновой пакет - его пространственной протяжённости, вынуждая вернуться к волновой концепции строения материи [41] и к пониманию волны как истинного кванта излучения [42].

Такой подход позволяет без каких-либо дополнительных гипотез и постулатов обосновать закон излучения Планка, в котором квант энергии осциллятора заменён энергией волны $\epsilon = h\nu$, усреднённой по всему спектру излучения АЧТ [43]. Это ведёт к переосмыслению всей квантовой механики и поиску путей классического обоснования ряда его важнейших положений [44]. В первую очередь это касается дуализма волна-частица, который объясняется с позиций энергодинамики «частицеподобными» свойствами волны – солитона, а не волновыми свойствами частицы. Однако поскольку соотношение между энергией и частотой $\epsilon = h\nu$ в планковском и энергодинамическом законе излучения остаётся тем же, сохраняет силу и соотношение де Бройля $\lambda = h/p$ между длиной волны λ и импульсом электрона p . Это позволяет вывести стационарное уравнение Шрёдингера из теории волн с использованием соотношения $\lambda = h/p$ как чисто классическое, не требующее вероятностной интерпретации. Это позволяет надеяться на возможность классического обоснования и других положений волновой механики Шрёдингера [45]. Поводом для оптимизма является классическое обоснование фотоэффекта с учётом квантового выхода фотокатодов, а также закона формирования спектральных серий без использования квантовых чисел [44]. Это позволило бы рассматривать квантовую теорию как раздел единой физики в её приложении к волновым процессам.

8. Энергодинамика и астрофизика.

Современная астрономия и астрофизика, основываясь на общей теории относительности (ОТО), допускает возможность возникновения Вселенной как целого из «сингулярности» в результате «Большого взрыва», отказываясь при этом даже обсуждать вопрос, что находится за пределами объёма, занимаемого расширяющейся Вселенной, и каковы законы, в силу которых образовалась эта сингулярность. Такой подход не может считаться научным, поскольку он выводит астрофизику за рамки законов, установленных и проверенных человечеством в течение многих столетий. Более того, такая позиция превращает науку в худшую из религий.

Недвусмысленный ответ на эти вопросы даёт энергодинамика. Её принцип противонаправленности процессов исключает возможность применения космологического уравнения Эйнштейна – Гильберта ко Вселенной в целом, утверждая существование метагалактик, процессы в которых протекают в противоположном направлении. В таком случае и анализ этого уравнения, данный А. Фридманом, будет относиться к отдельным галактикам или метагалактикам, расширяющимся или сжимающимся в зависимости от её

средней плотности. На возможность такого развития Вселенной недвусмысленно указывает биполярный закон гравитации (12). Согласно ему, градиент плотности $\nabla\rho$, спонтанно возникший в какой-либо области космического пространства вследствие её неоднородного распределения, порождает гравитационную силу X_g , усиливающую приток в эту область «первичной» (неструктурированной, ненаблюдаемой) материи, называвшейся ранее эфиром, и дальнейшее её уплотнение. При этом происходит образование структурированного (барионного) вещества, образующего ядра. Атомы, молекулы, газы, пылевые облака, малые и большие космические тела, звезды, галактики и т. п. Этот процесс именуется «конденсацией» «первичной» материи. Образовавшиеся структурные элементы конденсированной материи порождает излучение с характеристиками, отличными от «фонового», что и делает барионное вещество «видимым» (наблюдаемым). Этот процесс продолжается вплоть до возникновения «сингулярностей», т. е. состояний, при которых утрачивают силу все экспериментально установленные физические законы. Однако одновременно с этим в конденсированной материи возникают внутренние процессы, вызванные совершением над ней так называемой «работы ввода» вещества $dW = c^2 dM$ и повышением её температуры.

Противоборство этих процессов приводит в конечном счёте к «большому взрыву» в данной области Вселенной, за которым следует разброс этого вещества и «разбеганию» галактик в окрестности «большого взрыва» под действием потока вещества взорвавшейся сингулярности. Неупорядоченное чередование процессов концентрации и деконцентрации в различных областях безграничной Вселенной и позволяет её развиваться, минуя состояние равновесия [46]. Эта концепция не противоречит современным данным наблюдательной астрономии с учётом ограниченности её возможностей, а также известным законам физики. Однако она лишает смысла любые разговоры о «стационарности» Вселенной, её расширения как целого, «сотворения из ничего» и т. п. В этом порядке идей вырисовывается совсем иная последовательность эволюционных процессов во Вселенной: чёрные дыры становятся этапом эволюции галактики, когда процесс уплотнения ещё не достиг стадии её конденсации, приводящей к образованию «барионного» (видимого) вещества и возникновению «джетов». Малые и большие планеты становятся прародителями звёзд и их скоплений, возникших в результате продолжающейся конденсации «первичной» материи и аккреции межзвёздного вещества на их поверхность с последующим разогревом. «Взрыв сверхновой» оказывается завершающим этапом эволюции звезды и началом её инволюции. Отпадает необходимость в постулировании существования «темной энергии» и подобных ей сущностей, и т. д. Астрофизика также становится разделом классической физики в её приложении к мегасистемам.

Для такого сценария развития Вселенной нет нужды в привлечении геометризованной теории гравитации, известной как «общая теория относительности» (ОТО) [47]. Эта теория провозгласила существование пространственно – временного континуума, лишив тем самым пространственные координаты и время независимости и сделав тем самым неприменимыми те уравнения математической физики, которые основаны на этой независимости. При этом пространство, как и время, стало соучастником всех естественных процессов, уподобившись сцене, играющей самостоятельную роль в спектакле. Исчезла последняя возможность найти абсолютные значения температуры, давления, энтропии и всех других термодинамических параметров, что привело к нарушению закона сохранения энергии в форме (10), поскольку появилась возможность изменять энергию системы U в отсутствие энергообмена одним лишь изменением начала отсчёта её аргументов. Возникла «проблема века» - неустранимое противоречие между квантовой и релятивистской физикой.

Всех этих недостатков лишена энергодинамика, которую можно рассматривать как синтез всех «динамик». Она предоставляет возможность изложения всех разделов физики с единых методологических позиций, на основе общезначимой понятийной системы и при значительно более простом математическом аппарате, не выходящем за рамки курса математики технических вузов.

Литература

1. Эткин ВА. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии) – СПб.; «Наука», 2008.- 409 с.
2. Базаров ИП. Термодинамика. Изд. 4–е. М.: Высшая школа, 1991.
3. Де Гроот СР., Мазур Р. Неравновесная термодинамика. – М.: Мир, 1964.
4. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов. – М.: Мир, 1967, 544с.
5. Эткин ВА. Термодинамика неравновесных процессов.- Саратов: «СГУ», 1991. 168 с.
6. Эткин ВА. Термокинетика (термодинамика процессов переноса и преобразования энергии). – Тольятти: «ТПИ», 1999. – 228 с.
7. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960.
8. Cartan E. Sur une generalisation de la notion de courbure de Riemann et les espaces a torsion. //Acad. Sci. Paris, Comptes Rend, 174(1922), 593—595.
9. Эткин ВА. Синтез и новые приложения теорий переноса и преобразования энергии: Дисс. ...д-ра техн. наук. М., МЭИ, 1998.
10. Пуанкаре А. // Избранные труды. - М.: «Наука», 1974.- С.429-433.
11. Умов АИ. Избранные сочинения. М. Л., 1950. С. 203.
12. Эткин В. Синтез основ инженерных дисциплин (энергодинамический подход к интеграции знаний). – Lambert Acad. Publ., Saarbrücken, 2011, 290 s.
13. Толчин ВН. Инерцоид. – Пермь, 1977.
14. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Пер. с лат. А.Н. Крылова, Петроград, 1916.
15. Эткин ВА. Зависит ли масса от скорости? //Вестник Дома Учёных Хайфы, 30(2013). 16-21.(*Etkin VA. Independence of mass from speed. //World Scientific News, 72(2017). 150-158*)
16. Etkin VA. Mechanics as a Consequence of Ergodynamics. //The Papers of Independent Authors 43(2018). 1-18.
17. Эткин ВА. К единой теории поля. //Вестник Дома ученых Хайфы, 19(2009). 17-23.(*Etkin, VA. Alternative To'Great Unification. // Journal of Applied Physics (IOSR-JAP), vol. 10(5), 2018, pp.6-15. Doi^10.9790/4861-1005010615*)
18. Крауфорд Ф. Берклеевский курс физики. Т.3: Волны. М.: Мир, 1965.
19. Эткин ВА. Энергодинамическая теория гравитации и левитации. // Norwegian Journal of development of the International Science, 27(1), 2019. 51-59.(*V. A. Etkin. The phenomenon of gravitational repulsion in the cosmic medium. // World Scientific News, 109 (2018) 167-179.*)
20. Эткин ВА. Обобщение принципов механики. // Доклады независимых авторов. 2014. – Вып. 27. С.178...201.
21. Эткин ВА. Паралогизмы термодинамики. – Saarbrücken: Palmarium Ac. Publ., 2015.
22. Эткин ВА. Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии. Тольятти: Акад. бизнеса, 1999. (*Etkin V. Thermokinetics (Synthesis of Heat Engineering Theoretical Grounds).*- Haifa, 2010).
23. Дьярмати И. Неравновесная термодинамика. Теория поля и вариационные принципы. М.: Мир, 1974.
24. Эткин ВА. О происхождении соотношений взаимности Онсагера. //Известия СО АН СССР. Серия технических наук. 4(1989). 52-58. (*Origin of Onsager's reciprocal relations. //*

- Soviet. Journal of Appl. Physics, 1989, **4**, pp. 288-293 (*translated from Bulletin of Russian Acad. of Science, Siberian Branch.- Engineering, 4(1989), pp. 52-57*)
25. Эткин ВА. О единственности движущих сил необратимых процессов. // Журн. физ. химии, 63(1989).1660 -1662. (*Etkin V.A. Uniqueness of driving forces of irreversible processes. // Russian Journal of Physical Chemistry, 1989, 63(6) 1989. 918-919 (translated from Zhurnal Fizicheskoi Khimii, 63(1989).1660 -1662).*)
 26. Эткин ВА. Метод исследования линейных и нелинейных необратимых процессов. // Журн. физ. химии, 65(3)1991.642-651. (*Etkin V.A. Method of studying linear and non-linear irreversible processes. // Russian Journal of Physical Chemistry, 65(3) 1991.339-343 (translated from Zhurnal Fizicheskoi Khimii, 65(3)1991.642-651).*)
 27. Эткин ВА. **О единстве законов преобразования энергии.** // Вестник Дома Ученых Хайфы, 27(2012).2-9.
 28. Эткин ВА. Теория подобия энергетических установок. /Сборник научных трудов «Проблемы теплоэнергетики», Саратов, 2012. Вып.2. С.10-19.
 29. Etkin VA. Thermodynamic theory of the productivity of technical systems. // Appl. Energetic, 38(1) 2000. 126-133 (*translated from Bulletin of Russian Acad. Science -Power engineering), 38(1)2000. 99-106.*)
 30. Эткин ВА. Коррекция электродинамики с позиций энергодинамики. // Доклады независимых авторов. 34(2015). 193-208.
 31. Максвелл Дж К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля: Пер. с англ.- М.: Гостехтеориздат, 1952.
 32. Эткин ВА. Соотношения взаимности обратимых процессов. //Сиб. физ. – техн. журн., 1(1993). 2117-2121.
 33. Эткин ВА. Энергодинамический вывод уравнений Максвелла. // Доклады независимых авторов. 23(2013).165-168. (*Etkin V.A. Thermodynamic Derivation of Maxwell's Electrodynamics Equations. //Global Journal of Physics, 3(1).2015.*)
 34. Эткин ВА. Паралогизмы в теории Максвелла. //Исследования в области прикладных наук. (Сб. трудов науч. конф). Арад (Израиль), 2015.
 35. Эткин ВА. О смысле векторного магнитного потенциала. // Вестник Дома Ученых Хайфы, 2014.-Т.34. С. 7-13.
 36. Etkin VA. Correction of Electrodynamics in the Question of the Magnetic Field Work . //Journal of Applied Physics, 9(5)2017. 71-75. DOI: 10.9790/4861-0905037175.
 37. Эткин ВА. О неэлектромагнитной природе света. // Доклады независимых авторов. 24(2013).160...187. (*Etkin VA. To the non-electromagnetic theory of light. // World Scientific News, 80 (2017) 143-157.*)
 38. Эткин ВА. Альтернатива электромагнитной теории света. //Проблемы науки, 12 (36), 2018. 5-17. (*Etkin V.A. Basic of the gravitational light theory. // World Scientific News, 81(2) (2017) 184-197.*)
 39. Эткин ВА. О законе излучения Планка. //Вестник Дома ученых Хайфы, 16(2008). 12-17.
 40. Эткин ВА. О потенциале и движущей силе лучистого теплообмена. //Вестник Дома ученых Хайфы, 20(2010).2-6.
 41. Etkin VA. On Wave Nature of Matter. // World Scientific News, 69(2017). 220-235
 42. Etkin VA. Wave as a real quantum of radiation. // World scientific news, 66 (2017), 293-300
 43. Etkin V. Rethinking Plank's radiation law.// Global Journal of Physics, 5(2).2017. 547-553).
 44. Эткин ВА. Переосмысление основ квантовой механики. //Проблемы современной науки и образования, 12(132).2018, 6-14. DOI с 10.20861/2304-2338-2018-132-003. (*Etkin, V.A*

Rethinking Quantum Mechanics. //Journal of Applied Physics, 10(6) 2018.1-8 DOI: 10.9790/4861.

45. Etkin VA. To the synthesis of classical and quantum physics. //WSN 102 (2018) 101-115.

46. Etkin V. Gravitational repulsive forces and evolution of universe. // Journal of Applied Physics, 8(6), 2016. 43-49. DOI: 10.9790/4861-08040XXXXX.

Добавлено примечание (IV1):