

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД КАК МЕТОД ПРЕОДОЛЕНИЯ КРИЗИСА В ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

Д.т.н., проф. В.Эткин

Показано, что рассмотрение ряда проблем теоретической физики по принципу «от целого к части» с учетом внутренних связей, придающих исследуемой системе новые свойства, кардинально изменяет результаты исследования. Сделан вывод о первостепенной важности системного подхода как методологии исследования.

Введение. Современное состояние теоретической физики и естествознания в целом достаточно наглядно демонстрирует то, что можно назвать «гносеологической инверсией». Стало предпочтительным, по образному выражению Р. Фейнмана, «угадывать уравнения, не обращая внимания на физические модели или физическое объяснение» того или иного явления. Умозрительные построения и постулаты все чаще подменяют опытные факты в качестве опоры современного здания науки. Ученые уже не тяготеют тем, что их теории не проясняют реальности, они уже не ставят задачей понимание причинно-следственных связей. Объяснение явлений перестало быть основной функцией науки. Все чаще раздаются голоса о *современном кризисе теоретической физики*. Однако при этом крайне редко предлагаются реальные пути преодоления этого кризиса. Цель настоящей статьи – показать роль, которую может сыграть в его преодолении системный подход к изучению объекта исследования.

1. Системный подход как методология естествознания. Как известно, в основе системного подхода лежит рассмотрение объекта как целостного множества элементов со всеми присущими им связями. Среди последних имеются так называемые «системообразующие» связи, благодаря которым система в целом приобретает новые свойства, отсутствующие в любой её части. Наглядным примером может служить тепловая машина, в структуре которой имеется источник и приемник тепла, а также рабочее тело, обладающее свойствами как тепловыми, так и механическими свойствами. Достаточно лишить тепловую машину источника тепла, как мы получим «вечный двигатель 1-го рода»; исключив рабочее тело – будем иметь лишь теплообмен между источником и приемником тепла; устранив теплоприемник – получим «вечный двигатель 2-го рода». Таким образом, дробить тепловую машину на части, сохраняющие способность к преобразованию тепловой энергии можно только путем «фракционирования», при котором система сохраняет, пусть и в меньшем масштабе, все три обязательных для неё структурных элемента, причем в тех же «пропорциях».

Сохранение и изучение таких связей и составляет суть системного подхода [1]. Поскольку же такие связи по определению отсутствуют у любой из частей системы, главной особенностью системного подхода становится изучение объекта исследования «от целого к части», т.е. в направлении, обратном индуктивному методу познания и построения фундаментальных дисциплин. Такая направленность исследования предполагает обязательность выяснения свойств подсистем с точки зрения их роли в функционировании системы в целом.

Вряд ли необходимо доказывать, насколько далеко от такого подхода большинство фундаментальных дисциплин, которые стремятся исключить из рассмотрения внутренние процессы в телах путем сведения их к процессам внешнего энергообмена, как это делается в классической механике. Это достигается рассмотрением в качестве объекта исследования материальной точки или элементарной частицы, лишенной пространственной протяженности и внутренней структуры. Те из дисциплин, которые изучают сплошные среды, дробят с этой целью их на бесконечное число элементарных объемов в предположении их однородности. В ставшей «классической» теории необратимых процессов такое деление осуществляется на основании гипотезы локального равновесия (И.Пригожин, 1960), кото-

рая предполагает наличие в элементах континуума равновесия (несмотря на протекание в них процессов релаксации), возможность их описания тем же набором переменных, что и в однородном состоянии (несмотря на наличие градиентов ряда потенциалов) и справедливость для них всех уравнений термодинамики (несмотря на неизбежный переход их в неравенства). При всей своей внутренней противоречивости эта гипотеза оправдывается экспериментами там, где речь идет об однородных (аддитивных) свойствах, например, о мощности диссипативных процессов, протекающих в каждом элементе системы. Иначе обстоит дело, когда рассматриваются изменения состояния объекта, вызванные процессами перераспределения вещества, заряда, импульса и т.д. по его объему. Эти процессы вызывают противоположные по знаку изменения состояния в различных областях системы (например, понижение давлений, концентраций, температур и других потенциалов в одних областях системы и повышение их в других). Эти изменения взаимно компенсируются при их суммировании. Таким образом, пространственно неоднородные среды обладают свойствами, которые в принципе неаддитивны, т.е. не являются суммой свойств отдельных частей исследуемой системы.

Таковы, в частности, свойства, обусловленные наличием дальнедействующих сил и соответствующей им внешней энергии. Эта энергия «взаимна», т.е. принадлежит всей совокупности взаимодействующих (взаимно движущихся) тел, и не может быть, строго говоря, приписана только одному из них (как бы находящемуся в «поле» другого). Суммироваться без нарушения закона сохранения может только так называемая «внутренняя» (собственная) энергия, которая по определению не зависит от положения или движения системы относительно внешних тел. Однако в пространственно неоднородных средах (например, диэлектриках и магнетиках, находящихся во внешних полях), деление энергии на внешнюю и внутреннюю далеко не однозначно, поскольку часть их внешней энергии становится зависящей от внутреннего состояния системы. Поэтому расчленение такой системы на взаимодействующие части всегда чревато опасностью «выплеснуть с водой и ребенка».

Особенно наглядным примером неаддитивности системных свойств служит живой организм, утрачивающий способность к функционированию, если его расчленять на отдельные органы. Такая неаддитивность проявляется в любых структурированных системах, способность которых к «самоорганизации» утрачивается при их делении на однородные части.

На наличие «системообразующих» связей, придающих объекту исследования новые свойства, нередко указывает нелинейность математической модели, делающая неприменимым к ней метода суперпозиции. Дробя такой объект на элементы в предположении их большей близости к равновесию, можно упростить эту математическую модель, описав её линейными дифференциальными уравнениями. Однако восстановить «системообразующие» свойства таких сред путем их интегрирования уже не удастся. Это и явилось причиной «самого большого и самого глубокого потрясения, которое испытала физика со времен Ньютона» (А. Пуанкаре).

Между тем большинство фундаментальных дисциплин до сих пор придерживается исторически сложившегося индуктивного метода построения («от частного к общему») и не прибегают к «обратной» проверке дедуктивным методом соответствия каждого их следствия исходной понятийной и концептуальной основе. Отсутствие их периодической коррекции и является причиной постепенного накопления в них разного рода паралогизмов.

Важнейшим следствием системного подхода является необходимость рассмотрения в качестве объекта исследования *системы как целого*. Это означает, что любая дисциплина, претендующая на системный подход, не может ограничиваться объектами, в которых исключены какие-либо внутренние процессы, независимо от того, являются ли она микро, макро или мегасистемой. Например, изучая процессы, протекающие в атоме, невозможно считать его однородным или лишенным пространственной протяженности. Сказанное относится и к макросистемам. Поскольку наука не знает способа изоляции от

гравитационных сил, потоков нейтрино и эфира, никакая часть такой системы не может считаться *замкнутой* или *изолированной* в строгом понимании этих терминов. Ею может стать лишь вся совокупность взаимодействующих (взаимно движущихся) тел и их частей. Все известные законы сохранения сформулированы именно применительно к таким объектам. Следовательно, для предотвращения утраты «системообразующих» свойств и связей необходимо всякий раз стремиться к выбору в качестве объекта исследования такой совокупности взаимодействующих частиц или тел, которую можно с приемлемой для поставленной задачи точностью рассматривать как замкнутую или изолированную. Этой цели и удовлетворяет термокинетика [2], являющаяся обобщением классической термодинамики не пространственно неоднородные системы с протекающими в них нестатическими процессами, а также энергодинамика как её дальнейшее обобщение на нетепловые формы энергии [3]. Эти теории способны, в отличие от других дисциплин, исследовать внутренние процессы в изолированных или замкнутых системах, рассматриваемых как целое. Представляет поэтому интерес с их позиций выяснить, к каким последствиям приводит отказ от системного подхода в различных областях знания [4].

2. Системный подход в термодинамике. Из всех фундаментальных дисциплин классическая термодинамика как дедуктивная теория в наибольшей степени удовлетворяла требованиям системного подхода. Основываясь на принципах исключенного вечного двигателя 1-го и 2-го рода, имеющих общезначимое значение, классическая термодинамика позволила получить огромное множество следствий, относящихся к различным областям знаний и носящих для равновесных систем характер непреложных истин. Трудности начались лишь с выходом термодинамики за рамки справедливости её исходных концепций равновесия и обратимости. Впервые они возникли в связи с попытками термодинамического анализа внутренних процессов изменения состава при диффузии, химических реакциях, фазовых переходах и т.п. Часть этих трудностей была преодолена Гиббсом (1875) путем представления закрытой системы как совокупности открытых равновесных подсистем (фаз и компонентов), что позволило свести внутренние процессы изменения состава системы к обратимым (квазистатическим) процессам внешнего массообмена. Однако некоторые из этих трудностей сохранились до сих пор и проявляются, в частности, в безуспешных попытках термодинамического разрешения "парадокса Гиббса" - вывода о скачкообразном возрастании энтропии при смешении невзаимодействующих газов и о независимости этого скачка от природы и степени различия этих газов [5].

Не менее парадоксальная ситуация возникла при приложении термодинамики к релятивистским тепловым машинам (с быстро движущимися источниками тепла) и проявилась в виде утверждения о достижимости в них КПД более высокого, чем у обратимой машины Карно в том же интервале температур, а также в признании неоднозначности релятивистских преобразований ряда термодинамических величин [6]. Несколько позже еще одна парадоксальная ситуация возникла при попытках термодинамического описания спиновых систем с инверсной заселенностью энергетических уровней, что потребовало введения для таких состояний понятия отрицательной абсолютной температуры. Это привело исследователей к выводу о возможности полного превращения в таких системах теплоты в работу и невозможности, напротив, полного превращения работы в теплоту, т.е. к "инверсии" основополагающего для термодинамики принципа исключенного вечного двигателя 2-го рода [7].

Не избежала этой участи и теория необратимых процессов (ТНП), созданная к середине XX столетия путем экстраполяции классической термодинамики на неравновесные системы с протекающими в них внутренними необратимыми (релаксационными) процессами. Трудности возникли прежде всего с привнесением в термодинамику изначально чуждых ей идей переноса, связанных с рассмотрением векторных процессов теплопроводности, электропроводности, диффузии, переноса импульса, а также эффектов, обусловлен-

ных их наложением. Это потребовало введения в термодинамику ряда дополнительных гипотез, одной из которых и явилась упомянутая выше гипотеза локального равновесия И.Пригожина (1960). Это лишило неравновесную термодинамику полноты и строгости, свойственных классическому термодинамическому методу [8]. Попытки преодолеть эти трудности без какой-либо корректировки концептуальных основ и математического аппарата классической термодинамики оказались безуспешными. Выход из положения здесь также был найден в построении на безгипотезной основе более общей теории реальных (нестатических) процессов, находящейся в таком же отношении к классической термодинамике (термостатике), как динамика к статике. Такая теория, названная нами для краткости «термокинетикой», была предложена еще в 1999 году и рекомендована Минобразования РФ в качестве учебного пособия для вузов [2]. Она основана на системном подходе и рассматривает классическую термодинамику как частный случай термокинетики при бесконечно малой скорости протекающих процессов. Такой подход подтвердил незыблемость всех законов классической термодинамики.

Главной особенностью термокинетики явилось рассмотрение в качестве объекта исследования пространственно неоднородной системы как целого. В таких системах протекают самопроизвольные процессы релаксации, которые приближают систему к равновесию (состоянию, где прекращаются какие бы то ни было макропроцессы). Это исключает возможность выражения внешнего энергообмена (в том числе теплообмена Q и работы i -го рода W_i через экстенсивные параметры состояния Θ_i (энтропию S , массу M , заряд Z , числа молей k -х веществ N_k и т.д.), как это делалось в равновесной термодинамике. С другой стороны, в неоднородной системе протекают процессы перераспределения указанных экстенсивных параметров Θ_i по объему системы V , в результате которых их плотности ρ_i в различных частях системы изменяются противоположным образом. Это происходит как в процессах релаксации, так и при совершении над системой внешней работы i -го рода W_i против равновесия. Это означает, что для термодинамического описания состояния таких систем необходимо вводить дополнительные параметры пространственной неоднородности, которые характеризовали бы удаления системы от внутренне равновесного (однородного) состояния. Такими параметрами в термокинетике являются моменты распределения $\mathbf{Z}_i = \Theta_i \Delta \mathbf{r}_i$, выражающиеся произведением перераспределяемой величины Θ_i на вектор её смещения $\Delta \mathbf{r}_i$ относительно положения в однородном состоянии. Согласно этому выражению, энергия неоднородной системы \mathcal{E} является в общем случае функцией удвоенного числа экстенсивных переменных $\mathcal{E} = \mathcal{E}(\Theta_i, \mathbf{r}_i)$, а её полный дифференциал принимает вид:

$$d\mathcal{E} \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i - \sum_i \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r}_i. \quad (1)$$

где $\Psi_i \equiv (\partial \mathcal{E} / \partial \Theta_i)$ – усредненные по объему системы обобщенные потенциалы типа абсолютной температуры T , давления p , химического потенциала k -го вещества μ_k , электрического потенциала системы ϕ и т.п.; $\mathbf{F}_i \equiv -(\partial \mathcal{E} / \partial \mathbf{r}_i)$ – обобщенные силы в их обычном понимании, порожденные неоднородностью полей обобщенных потенциалов Ψ_i .

Выражение (1) представляет собой не что иное, как результат совместного определения основных величин, которыми оперирует термокинетика. Оно носит характер тождества и потому справедливо при любых значениях входящих в него параметров. Благодаря этому оно применимо к *любым процессам* (как обратимым, так и необратимым), независимо от того, чем вызвано изменение входящих в него координат – совершением работы или релаксацией. Благодаря этому становится возможным более общий подход к исследованию разнообразных реальных процессов, не исключаяющий из рассмотрения какую-либо (обратимую или необратимую) их составляющую. Поскольку выражение (1) сохраняет силу и после взятия полной производной по времени t от энергии системы \mathcal{E} , оно позволяет без каких-либо дополнительных гипотез или постулатов ввести в термокинетiku понятия скорости $\mathbf{v}_i = d\mathbf{r}_i/dt$ и производительности $N_i = dW_i/dt$ любого i -го процесса¹⁾, а также основополагающее для ряда фундаментальных дисциплин понятие потока i -го

¹⁾ Символ неполного дифференциала d применен здесь для обозначения элементарной работы W_i^e

энергоносителя $\mathbf{J}_i = d\mathbf{Z}_i/dt = \Theta_i \mathbf{v}_i$ как обобщенной скорости i -го процесса (аналогичной понятию импульса $M\mathbf{v} = d\mathbf{P}/dt$) и термодинамической силы $\mathbf{X}_i \equiv -(\partial\mathcal{E}/\partial\mathbf{Z}_i)$ как причины его возникновения и меры напряженного состояния системы. Это придает тождеству (1) общность, достаточную для того, чтобы изучать на его основе разнообразные явления независимо от их принадлежности к той или иной области знания [9]. При этом все следствия, полученные из (1) на основании чисто математических его свойств, приобретают статус непреложных истин. Достоверность остальных следствий теории зависит от условий однозначности, привлекаемых ею «со стороны». Сюда входят, в частности, уравнения состояния и переноса, выражающие связь между входящими в (1) переменными и их производными по времени, ограничения на допустимые изменения этих параметров (типа законов их сохранения) и т.п. Поскольку для их нахождения используются не только экспериментальные данные, но и модельные представления о структуре системы и молекулярном механизме изучаемых процессов, соображения статистико-механических, молекулярно-кинетических или иных теорий, базирующиеся на ряде гипотез и постулатов, их достоверность уже не столь велика. Однако поскольку эти условия однозначности используются при системном подходе только на завершающей стадии исследования при решении практических задач (в приложениях теории к исследованию конкретных систем), выход за рамки их справедливости не затрагивает самой математической модели системы в форме тождества (1). Этот же подход сохранен и при дальнейшем обобщении термодинамики на нетепловые формы энергии. Соответствующая теория, названная нами энергодинамикой [3], сохранила преимущества дедуктивного метода, что и обусловило возможность построения фундаментальных дисциплин на основе системного подхода [9].

3. Системный подход и механика. Построение механики обычно начинается с кинематики, которая рассматривает движение точки в пространстве и времени независимо от физических причин этого движения. При этом понятия траектории движения, положения точки на ней, её скорости и ускорения вводятся чисто умозрительно. Лишь затем вводятся понятия массы и импульса, являющиеся характеристикой материальной точки, и осуществляется переход к изучению динамики, которая выясняет, по какой причине возникает то или иное движение в различных условиях и каким законам оно подчиняется.

На первый взгляд такое построение механики кажется вполне естественным. Однако, как справедливо заметил Л. де Бройль, в основе такого подхода лежит предположение о том, что результаты абстрактного кинематического рассмотрения можно будет затем распространить на реальное движение более сложных механических объектов. Поэтому и «законы» механики Ньютона являются не более чем постулатами, не без оснований именуемыми им «определениями». Ограниченность этих «определений» далеко не всегда очевидна и обнаруживается подчас лишь при их рассмотрении более общего круга задач [10]. В частности, в кинематике точки ускорение $\mathbf{a} \equiv d\mathbf{v}/dt$ определяется как полная производная по времени t от вектора скорости \mathbf{v} . Между тем изменить вектор скорости можно двумя принципиально различными способами: изменением модуля скорости без изменения ее направления, и изменением направления вектора скорости движения частицы без изменения ее абсолютной величины. Эти два способа описывают явно различимые процессы (первое изменяет кинетическую энергию частицы, второе – нет). Поэтому 2-й закон Ньютона, определяющий силу \mathbf{F}_i через ускорение \mathbf{a} , т.е. как величину, связанную с увеличением кинетической энергии тела, при таком его определении неявным образом экстраполирует понятие силы на процессы, не связанные с совершением работы. Это приводит в дальнейшем к введению центростремительных сил, сил Лоренца, Кариолиса, и т.п., не совершающих никакой работы, т.е. к подмене ими понятия крутящего момента, совершающего работу переориентации системы, в том числе ускорения вращательного движения. Такая подмена и объясняет отнесение движения точки по окружности к ускоренному. Негативные последствия такого определения силы проявляются до сих пор. В частности, именно отсюда следует, что орбитальное движение электрона должно сопровождаться излучением и неизбежным падением его на ядро, что послужило в начале XX столетия ос-

нованием для отказа от планетарной модели атома Резерфорда. Между тем, если изначально исходить из принципа «от общего к частному» и изначально отличать ускорение от поворота, более общим будет определение ускоряющей силы $\mathbf{F} = (\partial E_k / \partial \mathbf{r})$ как частной производной от кинетической энергии системы E_k по координате процесса перемещения (радиус-вектору точки \mathbf{r}) в условиях постоянства всех других независимых переменных (в том числе его направления). Тогда-то и станет ясной несостоятельность упомянутого выше утверждения о неизбежном падении электрона на ядро¹⁾.

С позиций системного подхода обнаруживаются недостатки и других исходных концепций механики. Известно, например, что движение отдельной материальной точки в отсутствие каких-либо внешних сил будет прямолинейным и равномерным (закон инерции Ньютона). Однако этот закон не приемлем для более общего случая твердого тела, отдельные части которого двигаются в разных направлениях. Иной была бы формулировка этого закона, если изначально рассматривать всю систему взаимосвязанных точек, т.е. тело конечных размеров. Тогда сразу выяснится, что такая система может двигаться равномерно не только поступательно, но и вращаться «по инерции» с постоянной скоростью (хотя и иной – угловой). Это означает, что закон инерции давно следовало бы обобщить и на вращательное движение. Тогда не было бы оснований отрицать существование преимущественных систем отсчета, в которых законы изучаемого явления выглядят особенно просто и понятно.

Сказанное относится и к третьему закону Ньютона (принципу равенства действия и противодействия), если его формулировать «от общего к частному», т.е. исходя из закона сохранения энергии. Тогда сразу же стало бы ясным, что утверждение о направленности сил действия и противодействия одной прямой выполняется лишь в весьма частном случае. Это позволило бы избежать в дальнейшем несправедливых упреков, например, в адрес закона Ампера о его противоречии с 3-м законом Ньютона.

Таким образом, при системном подходе к классической механике обнаруживается необходимость коррекции всех трех законов Ньютона [10]. Это относится и к закону тяготения Ньютона, считающемуся не выводимым из каких-либо первичных принципов. Если в соответствии с системным подходом исходить из факта неравномерного распределения масс в пространстве, можно не только дать теоретический вывод этого закона, но и показать его ограниченность минимальными расстояниями, на которые можно сблизить две массы без проникновения их друг в друга. Кроме того, таким путем удастся распространить его на случай трех и более тел [11].

2. Системный подход и волновая механика. Сейчас трудно поверить в то, что квантово-релятивистская революция могла бы не состояться, если бы системный подход был своевременно применен к процессам в микромире. В частности, если бы при исследовании процесса излучения в качестве объекта исследования рассматривался не одиночный атом, как это делалось в теории Бора, а вся совокупность атомов, находящихся во внешних силовых полях и осциллирующих вместе с ними. Тогда стало бы очевидным, что излучение или поглощение атомом энергии возможно только в случае, когда в орбитальном движении электронов участвуют сторонние силы \mathbf{F} , поскольку при их движении под действием только центральных сил энергия атома остается неизменной [12]. Вслед за этим стало бы ясным, что изменение траектории электрона возникает при взаимодействии атомов вещества с эфиром как светонесущей средой (или с заменившим его абстрактным электромагнитным полем, введенным Максвеллом в 1864 году). Следовательно, причиной квантования энергии излучения является ограниченная длительность процесса воздейст-

¹⁾ Вероятно возражение, что во времена становления механики закон сохранения энергии был еще не открыт. Однако это не может служить оправданием для последующих поколений исследователей, не посчитавших обязательным периодическое возвращение к истокам научных дисциплин по мере накопления знаний с целью уточнения исходных представлений.

вия внешнего поля на орбитальный электрон (и, соответственно, процесса излучения). При этом квантом энергии излучения становится кинетическая энергия, теряемая электроном в каждом акте торможения, т.е. энергия излучаемой при этом одиночной волны, модулирующей внешнее поле. Такой вывод однозначно следует из классического выражения энергии бегущей волны, если её представить в виде произведения некоторого потенциала волны на поток носителя лучистой (волновой) формы энергии, как это делается в теории необратимых процессов [2]. Тогда лучистый поток предстанет как последовательность волн (квантов излучения), следующих друг за другом с частотой ν [13]. Исходя из этого, можно обосновать закон излучения Планка, не прибегая при этом к специфическим постулатам квантово-механического характера, и в особенности к противоречащему классической волновой теории предположению о пропорциональности энергии кванта частоте ν (а не её квадрату) [14]. Не понадобились бы и противоречащие классической механике постулаты Бора о существовании устойчивых (невозмущенных) орбит электронов и о вневременном (лишенном длительности) «перескоке» электрона с одной устойчивой орбиты на другую, поскольку закон формирования спектральных серий может быть получен чисто классическим путем, исходя из зависимости числа актов торможения электрона в его орбитальном движении от длительности действия внешней силы и длины орбиты [15]. Были бы устранены и другие трудности, связанные с квантованием энергии осцилляторов и атомов [16], объяснением закономерностей фотоэффекта [17], получением и осмыслением уравнения Шрёдингера [18] и т.п. При этом все экспериментальные аномалии квантовой механики предстали бы как следствие волновой природы излучения [12].

4. Системный подход в электродинамике. Как и другие фундаментальные дисциплины, электродинамика родилась путем обобщения электростатики, изучавшей взаимодействие неподвижных зарядов. Одним из её исходных положений является закон Кулона, установленный экспериментально для двух макроскопических зарядов конечных размеров и затем экстраполированный на случай двух точечных зарядов. Теоретический вывод этого закона базировался на теореме Гаусса, использующей абстрактно-математическое понятие «потока вектора напряженности электрического поля E ». Это понятие не имеет ничего общего с общефизическим понятием потока какой-либо субстанции как величины, связанной со скоростью её переноса в пространстве. В результате закон Кулона утратил связь с реальностью, что привело к расходимости (бесконечным значениям силы и энергии) при стремлении расстояния между точечными зарядами к нулю. Это обстоятельство привело к многочисленным трудностям, которые особенно ощутимы в микромире и не преодолены до сих пор.

Здесь-то и необходим системный подход, позволяющий рассматривать электростатику как частный случай электродинамики, базирующейся на тождестве (1) в его приложении к электрическим явлениям [19]. В таком случае закон Кулона вытекает как следствие неравномерного распределения в пространстве электрических зарядов. Для системы как целого такое распределение характеризуется моментом распределения заряда $\mathbf{Z}_e = 3\Delta\mathbf{r}_e$, где $Z = \int \rho_e dV$ – электрический заряд области V ; ρ_e – плотность заряда; $\Delta\mathbf{r}_e$ – вектор смещения центра заряда при отклонении его распределения от однородного¹⁾. Исходя из отмеченной неоднородности распределения зарядов в пространстве, и учитывая дополнительно лишь экспериментально найденную взаимосвязь момента \mathbf{Z}_e с градиентом электрического потенциала, оказалось возможным не только теоретически обосновать этот закон, но и установить его ограниченность минимальным расстоянием, на которое можно сблизить два пространственно распределенных заряда без проникновения их друг в друга [20]. Как и в случае закона тяготения, этот пример подтверждает вывод энергодинамики о том, что силовые поля создаются не массами, зарядами или токами, а их *неравномерным распределением в пространстве* [3].

¹⁾ В системе единичного объема момент \mathbf{Z}_e тождественен вектору электрического смещения \mathbf{D} .

Дальнейшее обобщение электростатики на случай движущихся зарядов привело, как известно, к формированию понятия электромагнитного поля. Максвелл использовал это понятие поначалу лишь для обозначения той части пространства, в которой можно обнаружить магнитные и электрические силы. При этом электромагнитное поле не отождествлялось им с эфиром как светонесущей средой, поскольку последний был свободен от электрических зарядов. Лишь после обнаружения им соответствия скорости распространения электромагнитных волн, предсказываемых его уравнениями, со скоростью света Максвелл пришел к выводу об электромагнитной природе последнего. В таком случае электромагнитное поле приобретало свойства некоторой среды, переносящей излучение путем электромагнитных колебаний и потому обладающей собственной энергией. Такая «материализация» электромагнитного поля не разделялась ни одним из исследователей того времени. В частности, его друг В.Томсон называл теорию поля «математическим нигилизмом». Действительно, существование ЭМП приводило к конфликту с законом сохранения энергии. Известно, что энергия электромагнитного поля E представляет собой сумму $E = \epsilon_0 \mathbf{E}^2/2 + \mu_0 \mathbf{H}^2/2$, где \mathbf{E} и \mathbf{H} – напряженности его электрической и магнитной составляющей; ϵ_0 и μ_0 – постоянные величины, именуемые диэлектрической и магнитной проницаемостью вакуума. Поскольку в электромагнитном поле \mathbf{E} и \mathbf{H} изменяются синфазно (что было известно еще со времен М.Фарадея), энергия поля не могла оставаться постоянной [21]. Однако после изгнания эфира специальной теорией относительности не оставалось ничего иного, как трактовать электромагнитное поле как разновидность материи. Это представление сохранилось и после возвращения эфира общей теорией относительности, хотя нарушение закона сохранения в ЭМП так и не получило удовлетворительного объяснения.

Между тем наличие в веществе (излучателе Герца) электромагнитных колебаний вовсе не означало, что они должны быть присущи и промежуточной среде, переносящей энергию этих колебаний. В частности, передача энергии эфиру может осуществляться и в процессе преобразования электромагнитной энергии в энергию колебаний плотности эфира. Особенно очевидно это при системном подходе, когда вещество, погруженное в эфир, рассматривается как единая гетерогенная система, компоненты которой обладают различными свойствами. В этом случае становится очевидным, что энергия, переносимая эфиром в виде волн плотности, может восприниматься приемниками излучения (как и их детекторами) в иной форме, зависящей от их свойств, в том числе и в форме тех же электромагнитных колебаний, что и в излучателе. В таком случае отпадает необходимость во введении некоторой дополнительной материальной сущности, называемой электромагнитным полем. Многочисленные подтверждения этой точки зрения приводятся в [21]. Последовательное применение такого подхода позволило не только дать термодинамический (основанный на законе сохранения энергии) вывод уравнений Максвелла, считавшихся не выводимыми из каких-либо первичных принципов, но и показать необходимость дополнения их токами смещения связанных зарядов [22]. В свою очередь, такое дополнение позволило объяснить ряд наблюдавшихся в эксперименте явлений [23], дать нерелятивистский вывод выражения магнитной составляющей силы Лоренца [24], обнаружить наличие продольной составляющей сил взаимодействия вещества с эфиром [25], осуществить отдельный учет потоков электрической и магнитной энергии [26], показать возможность передачи электроэнергии по однопроводной линии, дополнить закон Ома силами неэлектромагнитной природы и т.п. [19]. И все это удается получить логически и математически непротиворечивым и доступным пониманию путем, без насилия над «здравым смыслом»!

5. Системный подход в биофизике. В биологических системах дополнительными неаддитивными свойствами, требующими системного подхода, является существование «активного транспорта» веществ (переноса их в область повышенной концентрации), явление «сопряжения» химических реакции (когда некоторые из них идут в направлении, противоположном химическому равновесию), способность их к «самоорганизации» (структурообразованию) и т.п. [27]. Все явления такого рода носят антидиссипативный характер «в

вопиющем противоречии с термодинамикой» (И. Пригожин). В связи с этим термодинамический анализ биологических систем наталкивается на значительные трудности принципиального характера [3].

Одним из путей преодоления этих трудностей является рассмотрение любой биологической клетки как к сложной (поливариантной) системы, подобной Вселенной в меньшем масштабе. Такой (системный) подход требует учета их структуры (пространственной неоднородности) в той же степени, что и в макросистемах. Поэтому здесь справедливы все те замечания, которые были сделаны ранее в отношении координат неравновесного состояния Z_i и термодинамических сил X_i необратимых процессов.

Следующим необходимым шагом является отказ от обоснования законов биофизики на основе теории необратимых процессов, поскольку последняя не учитывает обратимой составляющей реальных процессов [29]. Между тем совершение биологической системой полезной работы является одним из признаков её жизнедеятельности. Да и поддержание неравновесного состояния биосистем осуществляется, как известно, подводом к ней свободной (упорядоченной) энергии извне. Поэтому исключение из рассмотрения процессов совершения полезной работы, описываемых второй суммой тождества (1), равнозначно «выплескиванию с водой ребенка».

Еще одним необходимым шагом является отказ от нахождения векторных потоков J_i и сил X_i на основе выражения для «производства» энтропии dS/dt , как это было предложено И.Пригожиным. Дело в том, что потоки и силы, найденные из этого выражения, всегда имеют один и тот же знак, поскольку производство энтропии есть величина сугубо положительная. В таком случае произведение $J_i \cdot X_i$, характеризующее общую (полезную и диссипативную) мощность процесса, может отразить только процессы приближения системы к равновесию, но не процессы её упорядочивания, при которых знак одноименных потоков и сил противоположен [29].

Наконец, необходим также отказ от экстраполяции линейных «феноменологических» законов Онсагера – Пригожина

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

на процессы, содержащие обратимую составляющую. Согласно (2), обобщенная скорость какого-либо i -го процесса (поток J_i) определяется всеми действующими в системе термодинамическими силами X_j , причем все члены $L_{ij}X_j$ суммы (2) и их коэффициенты пропорциональности L_{ij} имеют один и тот же знак¹⁾. Между тем в процессах активного транспорта и структурообразования, при «восходящей» диффузии, в сопряженных химических реакциях, явлениях «самоорганизации» и вообще в любых антидиссипативных процессах силы X_i и потоки J_i направлены встречно, т.е. слагаемые правой части (2) имеют разный знак [29]. Это означает, что постулирование законов переноса (2) в биофизике должно быть заменено их построением на действительно феноменологической (экспериментальной) основе [30].

Системный подход позволяет устранить причины еще одного противоречия биофизических процессов с теорией необратимых процессов, на этот раз с принципом Кюри. Согласно этому принципу, обобщенная скорость какого-либо векторного процесса (потоки J_j) могут зависеть лишь от термодинамических сил того же (или четного) тензорного ранга. В частности, скалярные химические реакции, описываемые в ТНП членами $\sum_r A_r d\xi_r$ (где A_r – стандартное химическое сродство r -й химической реакции, ξ_r – степень ее полноты), не могут взаимодействовать с процессами метаболизма (обмена веществ), имеющими векторную природу. Между тем именно эти процессы играют ключевую роль в процессах обеспечения жизнедеятельности биосистем. Для преодоления этой трудности И. Пригожиным была выдвинута гипотеза «стационарного сопряжения», в которой эта связь объ-

¹⁾ Что соответствует условиям симметрии Онсагера $L_{ij} = L_{ji}$, именуемым соотношениями взаимности.

яснялась балансом потоков отдельных реагентов в стационарных процессах. Однако такое объяснение не может быть удовлетворительным, поскольку упомянутая взаимосвязь сохраняется и в нестационарных режимах, характерных для биологических систем. Здесь снова приходит на помощь системный подход, согласно которому в клеточных мембранах, проточных реакторах, топливных элементах, ящиках Вант-Гоффа и т.п. химические реакции также приобретают векторный характер, причем роль термодинамической силы r -й химической реакции в этом случае играет величина $\mathbf{X}_r = -\text{grad}(A_r \xi_r)$, сопряженная с потоком участвующих в ней реагентов \mathbf{J}_r . Это и обуславливает их взаимодействие с процессами метаболизма в полном соответствии с принципом Кюри [29].

Таким образом, целый ряд фактов указывает на ограниченную применимость теории необратимых процессов при её применении к биологическим системам, и на необходимость перехода от такого (индуктивного по существу) построения биофизики на дедуктивный (системный) путь. Это можно сделать, на базе термокинетики как более общей термодинамической теории, не исключаяющей из рассмотрения какую-либо (обратимую или необратимую) составляющую биологических процессов. Решающую роль в этом плане играет возможность выделить благодаря тождеству (1) в составе энергии системы \mathcal{E} её упорядоченную часть $E = E(\mathbf{Z}_i)$, которая, в отличие от связанной энергии TS или энтропии S , может не только возрастать, но и уменьшаться, т.е. способна отразить не только приближение системы к равновесию, но и удаление от него [31]:

$$dE = \sum_i \mathbf{X}_i \cdot d\mathbf{Z}_i < 0 \text{ (к равновесию); } dE = \sum_i \mathbf{X}_i \cdot d\mathbf{Z}_i > 0 \text{ (от равновесия)}. \quad (3)$$

Введение более «физичных», информативных и интуитивно понятных энергетических (неэнтропийных) критериев эволюции биологических систем (3) открывает новые возможности анализа процессов, лежащих в основе жизнедеятельности биологических систем, поскольку они позволяют проследить за эволюцией каждой i -й степени свободы системы. При этом сразу становится ясным, что упорядочивание одних (i -х) степеней свободы изолированной системы осуществляется за счет преобладающего «разупорядочение» других (j -х) степеней свободы этой же системы. Это обстоятельство развенчивает миф о возникновении «порядка из хаоса» (И.Пригожин), поскольку становится ясным, что в изолированной системе в целом свободная (упорядоченная) энергия в соответствии со 2-м законом термодинамики все же уменьшается вследствие неизбежной диссипации. Столь же очевидным становится, что так называемые процессы «самоорганизации» биологических и т.п. систем, изучаемые синергетикой, на самом деле не являются самопроизвольными, а осуществляются только за счет потребления упорядоченной энергии других степеней свободы системы или окружающей её среды [32].

Вместе с тем системный подход позволяет найти закон биологической эволюции, не противоречащий классической термодинамике. Переход от термостатики к термокинетики дает возможность сопоставить время, за которое биосистема достигает состояния внутреннего равновесия при отсутствии и протекании в какой-либо части (или степени свободы) антидиссипативных процессов (с $dE_i/dt > 0$). Тогда становится ясным, что *эволюционные процессы, возникающие в биологических системах, направлены в сторону увеличения продолжительности их жизни*¹⁾. Здесь и находится ключ к пониманию общей направленности прогрессивной эволюции биологической системы, понимаемой как переход от простого к сложному [33]. Такая «отсрочка» наступления в биосистемах равновесия, настолько близка дарвиновской идее выживания, что её можно рассматривать как альтернативу слишком прямолинейного тезиса «борьбы за существование» [34]. Характерно при этом, что достижение максимальной продолжительности жизни биосистем является следствием чисто физических причин.

¹⁾ В этой формулировке подчеркивается, что полезная работа связана с взаимопревращением энергии, для чего система должна обладать как минимум двумя степенями свободы (быть поливариантной).

6. Системный подход и релятивизм. Теория относительности обобщает классическую механику на случай больших скоростей. Однако при этом она по-прежнему не рассматривает внутренние процессы, происходящие в материальных объектах приближении их к скорости света. Между тем такие процессы противоречат принципу относительности, поскольку они позволяют обнаружить приближение скорости её движения к скорости света наблюдениями в собственной системе отсчета [35]. Это непосредственно следует из соотношения Гиббса-Дюгема классической термодинамики после его обобщения на случай движущихся тел, и обусловлено вырождением в системе хаотического движения по мере приближения скорости всех частиц (молекул) к одной и той же предельной величине – скорости света [36].

Столь же несложно обнаружить при системном подходе, что 2-й закон Ньютона является лишь частным случаем феноменологических законов (2), имеющих для случая ускорения ($\mathbf{J}_i = d\mathbf{P}/dt$) вид

$$\mathbf{J}_i = \sum_j L_{ij} \mathbf{F}_j. \quad (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

где \mathbf{F}_j – любые силы, преодолеваемые в процессе ускорения (в том числе силы инерции Ньютона, внешние поля, силы рассеяния и т.п.).

Действительно, 2-й закон Ньютона $\mathbf{J}_i = \mathbf{F}_i$ следует из (4) лишь в предположении отсутствия в системе других сил, кроме силы инерции \mathbf{F}_i , и содержит молчаливое допущение $L_{ii} = 1$ при $L_{ij} = 0$ ($i \neq j$). Однако в таком случае из (4) следует, что при ускорении системы изменяется не её масса M , а коэффициенты L_{ii} , что свидетельствует просто о нелинейности этих уравнений. Эта нелинейность очевидна, так как с достижением предельной скорости никакие силы уже не могут вызвать дальнейшего ускорения тела [37].

Не менее кардинальным является вывод об отсутствии эквивалентности между массой M и энергией \mathcal{E} , если исходить не из механики материальной точки, а из рассмотрения неподвижной в целом системы взаимно движущихся тел. Тогда станет очевидным, что приравнивание её энергии покоя \mathcal{E}_0 величине Mc^2 равносильно утверждению, что удельная энергия покоящегося тела \mathcal{E}_0/M всегда равна c^2 и остается неизменной в любых процессах внешнего энергообмена (теплообмена, массообмена, объемной деформации и т.п.) в явном противоречии с законом сохранения энергии [38]. Таким образом, выясняется, что пересмотр классических представлений о времени и пространстве, предпринятый на основании постулатов и соображений частного порядка, не может считаться обоснованным.

7. Системный подход и космология. Если понимать под Вселенной в целом всю совокупность взаимодействующих (взаимно движущихся) космологических объектов, и представить её энергию \mathcal{E} в виде объемного интеграла $\int \rho_s dV$ от её плотности ρ_s , то в силу закона сохранения энергии Вселенной в целом как изолированной системы следует:

$$\partial \mathcal{E} / \partial t = \int (\partial \rho_s / \partial t) dV = 0. \quad (4)$$

Равенство интеграла (1) нулю в случае протекания в системе каких-либо процессов ($(\partial \rho_s / \partial t) \neq 0$) может иметь место только в том случае, когда знак производной $(\partial \rho_s / \partial t)$ в различных её областях противоположен. Этот вывод относится и к любым другим параметрам Θ_i , подчиняющимся законам сохранения. Отсюда следует важнейший для естествознания в целом принцип *противонаправленности процессов*: в неоднородных системах всегда имеются процессы, вызывающие противоположные изменения свойств в различных её частях (областях) [34]. Это очевидное положение указывает на недопустимость рассмотрения Вселенной как однородной системы, направление эволюции которой в целом совпадает с направлением эволюции любой её части.

Сказанное относится и к модели Вселенной Эйнштейна. Полученное им в рамках общей теории относительности уравнение гравитации $G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$, связывающее кривизну

пространства $G_{\mu\nu}$ с тензором энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ и ньютоновской гравитационной постоянной G , относилось ко Вселенной в целом. Между тем из принципа противонаправленности процессов и переменной плотности тензора энергии-импульса $\rho_{\mu\nu} = \partial T_{\mu\nu} / \partial V$ следует необходимость представить уравнение Эйнштейна в виде интеграла $G_{\mu\nu} = 8\pi G \int \rho_{\mu\nu} dV$. В таком случае анализ этого уравнения, данный А.Фридманом, будет относиться лишь к одной из областей Вселенной как целого. Из него следует, что поведение отдельных галактик будет различным в зависимости от их плотности, т.е. в областях с высокой плотностью материи она будет сжиматься вплоть до коллапса, а в областях с малой плотностью - будет расширяться, что соответствует данным наблюдательной астрономии. Следовательно, нестационарность Вселенной в целом следует понимать не как расширение или сжатие её границ, а как непостоянство параметров в её внутренних областях, что вполне естественно [39]. Следовательно, притязания теории «Большого взрыва» навязать Вселенной в целом тот или иной сценарий поведения беспочвенны [40].

Этот краткий обзор проблем в разных областях знаний показывает, насколько полезным может быть приведение понятийной системы и математического аппарата физики в соответствие с требованиями системного подхода. Не вызывает сомнения, что её развитие приняло бы иной характер, если бы исследователи приняли своевременные меры к учреждению международных институтов, призванных осуществлять пересмотр оснований фундаментальных дисциплин до возникновения в них кризисных ситуаций, и делали это на постоянной основе.

Литература

1. *Эткин В.А.* Системный анализ и современные проблемы естествознания. /Системные исследования и управление открытыми системами. – Хайфа, Израиль, 2007, №3, с.20-26.
2. *Эткин В. А.* Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии). – Тольятти, 1999.- 228 с.
3. *Эткин В.А.* Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). С-П.: «Наука», 2008, 409 с.
4. *Эткин В.А.* Нетривиальные следствия системного подхода в физике. / Системные исследования и управление открытыми системами. – Хайфа, Израиль, 2006. №2., с.39-44.
5. *Эткин В.А.* О паралогизме парадокса Гиббса.
http://zhurnal.lib.ru/editors/e/etkin_w_a/oparalogizme-paradoksagibbsa.shtml. 28.11.2004.
6. *Эткин В.А.* Как вернуть физику в лоно классицизма. Ч.2. Теория относительности.
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11987.html>. 2.05.2012.
7. *Эткин В.А.* О неадекватной трактовке спин-спинового взаимодействия.
http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/obneadekwatnoytraktovkespin-spinovogovzaimodeystvija.shtml. 14.11.2004.
8. *Эткин В.А.* Об одной из фундаментальных гипотез.
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7568.html>. 8.06.2004
9. *Эткин В.А.* Синтез основ инженерных дисциплин (энергодинамический подход к интеграции знаний). – Lambert Acad. Publ., Saarbrücken, 2011, 290 s.
10. *Эткин В.А.* Коррекция механики с позиций энергодинамики. http://samlib.ru/etkin_w_a/ 27.09.2009.
11. *Эткин В.А.* Теоретический вывод закона всемирного тяготения. / Вестник дома ученых Хайфы, 2007.-Т.12, с.28-32.
12. *Эткин В.А.* Об основаниях квантовой механики. / Вестник дома ученых Хайфы, 2006.- Т.10, с.19-27.
13. *Эткин В.А.* О потенциале и движущей силе лучистого энергообмена. /Вестник дома ученых Хайфы, 2010.-Т.2, с.2-6.
14. *Эткин В.А.* О законе излучения Планка. / Вестник дома ученых Хайфы, 2008.-Т.16, с.12-17.

15. Эткин В.А. Классическое объяснение спектральных серий.
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6079.html>. 16.09.2003.
16. Эткин В.А. Как вернуть физику в лоно классицизма. Ч.1. Квантовая механика.
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11923.html>. 7.04.2012.
17. Эткин В.А. Классическая интерпретация фотоэффекта.
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5905.html>. 26.08.2003.
18. Эткин В.А. Термодинамический вывод уравнения Шредингера.
http://zhurnal.lib.ru/editors/e/etkin_w_a/ 08.12.2004.
19. Эткин В.А. Коррекция электродинамики с позиций энергодинамики.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12177.html>. 13.07.2012
20. Эткин В.А. Обобщение закона Кулона на случай взаимопроникающих зарядов.
http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/obobsheniezakonakulona.shtml. 12.03.2012
21. Эткин В.А. Описывают ли уравнения Максвелла электромагнитное поле?
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12201.html>. 2.09.2012.
22. Эткин В.А. Термодинамический вывод уравнений Максвелла.
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7628.html>. 7.06.2004.
23. Эткин В.А. О радиантной энергии. <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12319.html>. 25.10.2012.
24. Эткин В.А. Вывод выражения силы Лоренца из уравнений Максвелла.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12134.html>. 19.07.2012.
25. Эткин В.А. О неэлектромагнитной природе света.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9816.html>. 3.08.2009.
26. Эткин В.А. Описывает ли вектор Пойнтинга поток электромагнитной энергии?
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12299.html>. 18.10.2012
27. Эткин В.А. К неравновесной термодинамике биологических систем. // Биофизика, 1995.Т.40. Вып.4. С.668.
28. Эткин В.А. Энергия и анергия. /Вестник дома ученых Хайфы. Т.Х. – Хайфа, 2006.- С.30-38.
29. Эткин В.А. К неравновесной термодинамике биологических систем. // Биофизика, 1995.-Т.40. -Вып.4.- С.668.
30. Эткин В.А. О принципе линейности Онсагера.
http://zhurnal.lib.ru/editors/e/etkin_w_a/oprinzipelineynostionsagera.shtml
31. Эткин В.А. Неэнтропийные критерии эволюции сложных систем.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9816.html>. 13.09.2007.
32. Эткин В.А. О термодинамической направленности процессов самоорганизации.
http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/ от 03.10.2007.
33. Эткин В.А. К термодинамической теории эволюции.
http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/ktermodinamicheskoyteoriievoluzii.shtml. 14.08.2009
34. Эткин В.А. Принцип противонаправленности процессов.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12063.html>. 9.06.2012.
35. Эткин В.А. Принцип различимости процессов.
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12499.html>. 15.01.2013.
36. Эткин В.А. Как вернуть физику в лоно классицизма. Ч.2. Теория относительности.
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11987.html>. 2.05.2012
37. Эткин В.А. Изменяется ли масса со скоростью?
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10905.html>. 24.02.2011
38. Эткин В.А. Эквивалентны ли масса и энергия?
<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11257.html>. 4.08.2011.
39. Эткин В.А. Системный анализ тепловой смерти и расширяющейся Вселенной. /Вестник дома ученых Хайфы, 2011.-Т.25, с.2-11.
40. Эткин В.А. Нетривиальные следствия системного подхода в космологии. /Системные исследования и управление открытыми системами. – Хайфа, 2009. Вып.5. С.3-8.

