

ЭНЕРГОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Д.т.н., проф. В.Эткин

Институт интегративных исследований (Хайфа, Израиль)

1. Введение

К настоящему времени в естествознании накопилось достаточно фактов, свидетельствующих о том, что природе присуща не только разрушительная, но и созидательная тенденция. Однако классическая термодинамика и даже более современная термодинамика необратимых процессов (ТНП), основываясь на принципе возрастания энтропии, по-прежнему предписывает Вселенной в целом и всем входящим в её состав живым организмам деградацию (инволюцию) как следствие стремления термодинамических систем к равновесию. Принцип возрастания энтропии навязывает любым изолированным системам «стрелу времени» - стремление к «хаосу», хотя «вопрос о физических основаниях закона монотонного возрастания энтропии...остаётся открытым» (Л. Ландау). Многочисленные дискуссии о границах применимости этого принципа, не прекращающиеся до сих пор, так и не дали ответа на причины его неприменимости к живой природе. Противоречие термодинамики с теорией биологической эволюции» остаются «вопиющими» (И. Пригожин).

Указанное противоречие породило даже новую концепцию естествознания, утверждающую существование двух диаметрально противоположных физических принципов, управляющих процессами в объектах живой и неживой природы (*Рубин А.Б. Термодинамика биологических процессов. М.: МГУ, 1984*). Если следовать этой концепции, науке придётся отказаться от представлений о существовании универсальных законов природы, справедливых для любых материальных систем.

Цель настоящего доклада – доказать методами энергодинамики как более общей термодинамической теории мощности реальных процессов справедливость упомянутых биологических концепций и указать реальный путь устранения отмеченного выше противоречия.

2. Истоки противоречия термодинамики с эволюцией

Термодинамика как одна из фундаментальных дисциплин формировалась в то время, когда под напором новых опытных фактов рушилось представление о теплоте как неуничтожимом флюиде (теплороде), а вместе с ним, как казалось тогда, и основанная на нем теория тепловых машин Карно (1824). Это и побудило основоположника термодинамики Р. Клаузиуса пересмотреть понятие теплоты и определить её лишь как количественную меру процесса теплообмена [1]. Трактровка теплоты как «энергии в состоянии переноса», т. е. как функции процесса (величины, исчезающей с прекращением теплообмена) сразу ограничило термодинамику изучением равновесных систем, в которых отсутствуют внутренние источники теплоты трения, химических реакций, электромагнитного нагрева и т. п. Именно они и обусловили необходимость рассмотрения теплоты в одном ряду с такими явлениями, как свет, звук, электричество, магнетизм и т. п. Понимание теплоты как «скрытого» движения особого рода, отличающегося хаотичностью, сохранилось до сих пор как в понятии теплоёмкости системы, так и в теории теплообмена, где теплообмен определяется как процесс обмена между телами *внутренней тепловой энергией* (по принципу: обмениваться можно только тем, чем располагают обе стороны). Более того, такое понимание оказалось единственно приемлемым и для термодинамики необратимых процессов (ТНП), изучающей именно диссипативные явления.

Подмена Клаузиусом изначального понятия теплоты как функции состояния теплотой как функцией процесса породила неутрачивающие дискуссии. Они сделали очевидным (к сожалению, не для всех) необходимость различать «*теплоту тела*» как количественную меру внутренней тепловой энергии, и «*теплоту процесса*» как количественную меру теплообмена. В энергодинамике это различие подчёркивается обозначением теплоты тела через U_q , а теплоты процесса – через Q , а также тем, что для бесконечно малых приращений первой применяется знак полного дифференциала dU_q , а для элементарных количеств теплоты dQ как функции процесса – знак неполного дифференциала d . Разница между dU_q и dQ состоит в том, что при прекращении процесса энергия U_q остаётся неизменной, в то время как Q обращается в нуль.

Другое отличие энергодинамики состоит в отыскании *истинной меры* количества теплового движения. Несложно убедиться, что экстенсивной мерой («энергоносителем») такого движения является «количество движения» $P=Mv$, введённое ещё Р. Декартом, а более общей мерой - «живая сила» Mv^2 Г. Лейбница, которая и была переименована по предложению Т. Юнга (1807) в «энергию» E , а позже - во внутреннюю энергию U . Несложно показать, что последняя определяет энергию неупорядоченного колебательного движения частиц, составляющих систему. В энергодинамике она названа для краткости «термоимпульсом» $\Theta_q \equiv P_q = Mv$ (т. е. импульсом $P = Mv$, утратившим векторную природу вследствие хаотичности движения). В отличие от энтропии S термоимпульс может как возрастать (например, в процессе нагрева тела), так и уменьшаться (например, в процессе превращения части хаотической энергии в упорядоченную энергию относительного движения макроскопических масс¹). Это и отражают уравнения баланса, необоснованно отнесённые И. Пригожиным к энтропии S :

$$d\Theta_q = d_e\Theta_q + d_i\Theta_q, \quad (1)$$

где $d_e\Theta_q = dQ/T$ и $d_i\Theta_q = dQ^{\circ}/T$ – части изменения энтропии, обусловленные соответственно теплообменом dQ и внутренними источниками тепла диссипации dQ° .

Недопустимость применения соотношения (1) к энтропии обусловлена тем, что последняя определена Клаузиусом исключительно для равновесных систем, в которых $d_i\Theta_q$ заведомо отсутствуют. Такая экстраполяция понятия энтропии на неравновесные состояния явилась результатом её трактовки Л. Больцманом как меры термодинамической вероятности состояния, предпринятой им с целью дать Вселенной шанс на выживание в условиях неизбежной её «тепловой смерти».

Между тем, оставаясь в рамках равновесной термодинамики, доказать принцип возрастания энтропии $dS > 0$ невозможно. Действительно, в термомеханических системах энтропия S является одним из независимых аргументов их внутренней энергии (наряду с её объёмом V , т. е. $U = U(S, V)$). Поэтому, рассматривая энтропию как обратную функцию состояния такой системы $S = S(U, V)$, мы немедленно приходим к выводу, что в условиях изоляции, когда энергия U и объём V остаются неизменными, энтропия изменяться *не может*. Это и является причиной, по которой все доказательства принципа возрастания энтропии оказались несостоятельными (Путилов К.А.), а сам принцип – роковой ошибкой, уведшей термодинамику и физику в целом в ложном направлении. Оно предписывает Природе односторонний путь развития вместо того, чтобы познавать её законы. Вероятностная трактовка энтропии Больцманом не разрешала это противоречие, поскольку

¹ Такова, например, внутренняя энергия диффузии.

сохранила эту одностороннюю направленность эволюции к равновесию как «наиболее вероятному состоянию».

3. Принципиальные особенности энергодинамической теории эволюции

Основное отличие ЭД от ТД заключается в её способности рассматривать неравновесные системы, не прибегая к идеализации процессов вымышленными понятиями «равновесный (квазистатистический) процесс», «идеальный цикл», «идеальный газ» и т. п. Более того, в энергодинамике доказывается, что в однородных (внутренне равновесных) чичтемах никакие макроскопические процессы невозможны. Для этого достаточно выразить любой экстенсивный параметр системы Θ_i (его энергию U , массу M , число молей k -х веществ N_k , термоимпульс Θ_q , электрический заряд Θ_e и т. п.) интегралом от его локальной $\rho_i = d\Theta_i/dV$ и средней $\bar{\rho}_i = \Theta_i/V$ плотности выражением типа $\Theta_i = \int \rho_i dV = \int \bar{\rho}_i dV$. Отсюда непосредственно следует, что

$$\int [(d(\rho_i - \bar{\rho}_i)/dt)] dV \equiv 0. \quad (2)$$

Согласно (1), любой макрофизический процесс ($d(\rho_i - \bar{\rho}_i)/dt \neq 0$) возникает только в отсутствие в системе равновесия ($\rho_i - \bar{\rho}_i \neq 0$), и протекает таким образом, что знак его скорости $d(\rho_i - \bar{\rho}_i)/dt$ противоположен хотя бы в ряде элементов её объёма dV . Это положение, названное нами «*принципом противонаправленности процессов*», отражает диалектический закон *единства и борьбы противоположностей* и может служить его математическим выражением.

Следствием этого принципа является необходимость введения дополнительных параметров пространственной неоднородности. Как было показано в моём предыдущем докладе, такими параметрами являются моменты распределения $Z_i = \Theta_i r_i$ энергоносителей Θ_i где r_i – вектор смещения центра величины Θ_i от его положения в равновесном (однородном) состоянии, совпадающем с центром объёма системы V и при его постоянстве принимаемом за начало отсчёта. Этот параметр является количественной мерой носителя i -й формы энергии $U_i = U_i(\Theta_i, r_i)$, что позволяет представить полный дифференциал dU внутренней энергии системы $U = \sum_i U_i$ в виде тождества:

$$dU \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i + \sum_i F_i \cdot dr_i, \quad (3)$$

где $\Psi_i \equiv (\partial U_i / \partial \Theta_i)$ – усреднённые по объёму системы обобщённые потенциалы ψ_i (абсолютная температура T и давление p , химический потенциал k -го компонента системы μ_k , его электрический ϕ , гравитационный ψ_g и т. п. потенциал); $F_i \equiv (\partial U_i / \partial r_i)$ – обобщённые силы (внешние и внутренние, механические и немеханические, полезные и диссипативные).

Первая сумма характеризует возникновение или усиление свойств, описываемых энергоносителем Θ_i , вторая сумма – перераспределение этих свойств по объёму системы. Оба этих процесса требуют затраты определённой работы «против равновесия» в системе. Тождество (3) как усиленное равенство справедливо для всех значений входящих в него величин независимо от характера процессов. Это решает известную проблему термодинамических неравенств, состоящую в переходе уравнения (3) в неравенство в случае использования энтропии S вместо термоимпульса Θ_q , и позволяет отразить кинетику внутренних процессов в изолированных системах тождеством:

$$\dot{U} \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i/dt + \sum_i X_i \cdot J_i = 0, \quad (4)$$

где $X_i = -F_i/\Theta_i$ – напряжённости силовых полей, именуемые в теории необратимых процессов (ТНП) «термодинамическими силами»; $J_i = dZ_i/dt$ – обобщённые скорости процессов переноса энергоносителей Θ_i в границах системы, именуемые в ТНП «потоками». Это тождество служит основой дальнейшего анализа процессов эволюции и инволюции живых систем. Согласно ему, в условиях изоляции системы ($d\Theta_i/dt = 0$)

$$(\sum_i X_i \cdot J_i)_{из} = 0 \quad (5)$$

Согласно (5), отдельные слагаемые этой суммы имеют противоположный знак и взаимно компенсируются. Это означает, что в любой изолированной системе всегда имеются подсистемы, процессы в которых протекают в противоположном направлении. Следовательно, при анализе процессов в реальных системах нельзя ограничиваться анализом их поведением как целого

$$dU > 0 \text{ (эволюция); } dU < 0 \text{ (инволюция),} \quad (6)$$

а необходимо отслеживать поведение каждой степени её свободы. Эту возможность и предоставляют моменты $Z_i = \Theta_i r_i$ имеющиеся у каждого энергоносителя Θ_i . Они исчезают в состоянии равновесия ($r_i = 0$) и потому могут служить неэнтропийными критериями эволюции системы или её инволюции для каждой из присущих системе степеней свободы:

$$dZ_i > 0 \text{ (эволюция); } dZ_i < 0 \text{ (инволюция).} \quad (7)$$

Эти критерии дают гораздо более детальную информацию о поведении поливариантной системы, нежели энтропия, которая способна отразить лишь поведение системы в целом. Не менее удобными в этом качестве могут оказаться и термодинамические силы, которые выражаются в энергодинамике градиентами потенциала ($X_i = \nabla \Psi_i$):

$$dX_i > 0 \text{ (эволюция); } dX_i = 0 \text{ (равновесие); } dX_i < 0 \text{ (инволюция).} \quad (8)$$

Тем самым энергодинамика возвращает понятию равновесия его изначальный смысл равенства противодействующих сил, каким оно было в механике. Это даёт в руки исследователей более наглядный, более «физичный» и более информативный инструмент анализа проблем эволюции, нежели не поддающийся вычислению максимум энтропии. Такие (неэнтропийные) критерии подтверждают, что природе свойственны не только разрушительные, но и созидательные тенденции, что наглядно проявляются в протекающих на всех уровнях мироздания процессах эволюции живой и неживой природы.

4. «Принцип выживания» как основной закон эволюции биосистем

Согласно тождеству (3) и соотношению (4), поведение изолированных систем таково, что процессам релаксации одних (i -х) степеней её свободы ($\sum_i X_i \cdot J_i < 0$) с необходимостью сопровождаются противоположными процессами удаления от равновесия других (j -х) степеней свободы ($\sum_j X_j \cdot J_j > 0$). Такие процессы возникают при совершении внутренней работы «против равновесия» $\dot{W}_j = X_j \cdot J_j > 0$. Таковы процессы «восходящей диффузии» и «активного транспорта веществ», протекающие в направлении возрастания концентрации вещества, а также «сопряжённые» химические реакции, протекающие в сторону увеличения сродства продуктов реакции. Однако классическая термодинамика,

оперирующая квазистатическими (бесконечно медленными) процессами, ничего не могла сказать о скорости приближения биосистемы к равновесию, поскольку время как физический параметр не входило в её уравнения. Тожество (3) устраняет этот недостаток и позволяет поставить вопрос о влиянии свойств биосистем на продолжительность их жизни. Для этого необходимо сравнить скорость приближения к равновесию двух произвольных биосистем различной сложности (с разным числом степеней свободы). С этой целью примем во внимание, что в неизолированных системах изменение момента Z_j во времени, т. е. *поток* J_i , может возникать как вследствие релаксации данной степени свободы $J_j^r = d_i \Theta_j / dt$, так и вследствие совершения в системе работы внутренними $\dot{W}_j = X_j \cdot J_i^u$ и внешними силами $\dot{W}_j^e = X_j \cdot J_j^e$. Т. о., итоговая скорость реальных процессов определяется суммой трёх слагаемых:

$$J_i = J_j^r + J_i^u + J_j^e. \quad (9)$$

Если процессы связаны с совершением внутренней J_i^u и внешней работы J_j^e и направлены «против равновесия, то скорость приближения системы к равновесию с очевидностью понижается и может стать равной нулю, когда их сумма станет равной работе диссипативного характера². Таковы любые процессы, ведущие к упорядочиванию системы, приобретению ею новых свойств, усложнению структуры и т. п., т. е. ведущие к увеличению числа степеней свободы системы.

Здесь и находится ключ к пониманию общей направленности эволюции биологической системы: чем больше у неё степеней свободы, тем больше у неё каналов для получения «свободной энергии» из окружающей среды (и в том числе энергии непрерывно конденсирующегося эфира), и тем медленнее приближается она к состоянию равновесия (смерти организма). Такая направленность эволюции не является чем-то, навязанным «высшим разумом» или примитивно понимаемой дарвиновской «борьбой за существование» – она является естественным следствием чисто физических причин, отражённых в принципе «противонаправленности» неравновесных процессов. Если, как было показано в моём предыдущем докладе об эволюции Вселенной, конденсация эфира является самопроизвольным (релаксационным) процессом, то изменения состояния вещества, обусловленное этим, направлены против равновесия в нём. Достигаемая за счёт этого «отсрочка» наступления в биосистемах равновесия ведёт к увеличению репродуктивного периода их жизни, т. е. способствует их «выживаемости». Эта концепция настолько близка дарвиновской идее «борьбы за существование», что её можно для наглядности назвать «принципом выживания». Этот принцип можно сформулировать кратко в виде утверждения: *«Эволюционные процессы, протекающие в биологических системах, направлены в сторону увеличения продолжительности их жизни»*. Данное положение является настолько общим, что его можно считать *основным законом биологической эволюции*. Это и снимает отмеченное И. Пригожиным «вопиющее противоречие» термодинамики с характером эволюции.

Покажем теперь, что известная «триада» дарвиновского учения об эволюции – *приспособляемость, изменчивость и наследственность* – являются следствием сформулированного выше энергодинамического закона эволюции. Классическая термодинамика, как известно, постулировала стремление изолированных систем к

² Последний случай соответствует стационарному состоянию.

равновесию, характеризующемуся прекращением каких бы то ни было макропроцессов. Энергодинамика, в отличие от неё, оперирует понятием стационарного состояния, характеризующегося постоянством результирующего потока энергоносителя J_i (9). Это и есть дарвиновская *приспособляемость* в её энергодинамическом понимании.

Именно в ходе таких процессов происходит приобретение организмом новых свойств (новых степеней свободы), которые отсутствовали в окружающей среде и, следовательно, не могли быть приобретены биосистемой извне в процессе энергообмена с ней. Такие свойства могут быть результатом лишь протекания в системе собственных (внутренних) процессов превращения имеющихся форм энергии в новые формы, т. е. путём совершения полезной внутренней работы «против равновесия». Такова энергодинамическая причина *изменчивости* организмов.

Наконец, увеличение продолжительности репродуктивного периода увеличивает вероятности мутаций наследственного кода. Таким образом, лучше «приспособленные» индивиды приобретают преимущество и в передаче другим поколениям генной информации. Такова *энергодинамическая природа* наследственности.

Энергодинамическая теория эволюции согласуется также и с другими теориями эволюции. Так, она подтверждает вывод «теории нейтральности эволюции» о сохранении случайных генетических изменений, поскольку с позиций её «принципа выживания» с удлинением срока существования индивида увеличивается и вероятность этого процесса. Согласуется с ней и вывод теории «скачкообразной эволюции» («пунктуализма») о скачкообразном возрастании скорости изменения генов, поскольку она признает неизбежность «бифуркации» (ветвления траекторий процесса) по мере увеличения числа степеней свободы биосистемы. С выводами энергодинамической теории эволюции совпадают и данные теории «молекулярной эволюции», которая связывает изменение состава живых организмов в онтогенезе уменьшением его удельной энергии.

Вместе с тем имеются и некоторые расхождения с «синтетической теорией эволюции», называемой часто «неодарвинизмом», которая утверждает, что естественный отбор закрепляет не благоприобретённые в течение жизни (в онтогенезе) признаки, а лишь последствия генных мутаций. Из энергодинамической же теории эволюции следует, что благодаря удлинению репродуктивного периода передаваться могут и те, и другие свойства. Подтверждением этого может служить мичуринская школа селекции.

Тем не менее энергодинамическая теория эволюции вместе с упомянутыми теориями бросает вызов термодинамической теории деградации живых систем. Вопрос заключается теперь в том, примет ли «научная общественность» этот вызов, или в который раз сделает вид, что ничего не происходит.

Основные публикации по теме

1. *Эткин В.А.* Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии) – СПб.; «Наука», 2008.- 409 с.; *Etkin V.* *Energodynamics (Thermodynamic Fundamentals of Synergetics).*- New York, 2011.- 480 p.
2. *Etkin V.A.* General measure of orderliness of biological systems. // Abstracts of Papers Submitted in Biophysics, **39**(4) 1994.751.
3. *Etkin V.A.* The free energy of biological systems. //Biophysics, 48(4).2003.695-701 (translated from Biofizika, 2003, V.48, N4, pp. 740-746).
4. *V.A. Etkin.* New Criteria of Evolution and Involution of the Isolated Systems. // International Journal of Thermodynamics (IJOT) 2018, 21(2), pp. 120-126, doi: 10.5541/ijot. 341037

5. *Эткин В.А.* К энергодинамической теории эволюции и инволюции. // Danish Scientific Journal (DSJ), 21(1),2019. 45-50.
6. *Etkin V.* Principle of non-equilibrium processes counter directivity. // Reports by independent authors, 37(2016), 86 – 92.
7. *Эткин В.* О диалектическом единстве эволюции и инволюции. //Annali d'Italia, 10 (2020).19-26.
8. *Etkin V* On the Dialectic Unity of Evolution and Involution. //Global Journal of Science Frontier Research: A Physics and Space Science. 20(10)2020.9-16
9. *V.A. Etkin* Elimination of the Contradiction between Thermodynamics and Evolution. // GJSFR-A, 22(6). 2022
10. *Etkin V.A.* Entropy or thermoimpulse? // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Scientific advances and innovative approaches” Токио, Japan,19-20.01.2023. DOI 10.5281/zenodo.7560026
11. *Etkin V.A.* Thermoimpulse as a True Extensive Measure of Heat. //Global Journal of Researches in Engineering: G Industrial Engineering, 23(1)2023.21-31.
12. *Эткин В.А.* Роковая ошибка Клаузиуса. // Вестник Международной академии системных исследований, 25(1).2023.55-76.