

ТЕРМОФИЛЫ И ВТОРОЙ ЗАКОН
(НОВОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ МЕЖДУ ТЕРМОДИНАМИКОЙ И ЖИВОЙ ПРИРОДОЙ)

Косарев А.В., член АН “Векторной энергетики” (общественная организация)

АННОТАЦИЯ

В статье предпринята попытка показать новое противоречие между термодинамикой и экспериментальной биологией на примере жизнедеятельности термальных бактерий.

Ключевые слова: второй закон, термофилы, археи, гидротермы, метаболизм, энтропия, диссипативные структуры.

Ещё в середине прошлого века установлено противоречие между биофизикой и термодинамикой, связанное с мышечной деятельностью. [2]. В ряде работ (например [12]) автором данной статьи вновь обращается внимание на этот факт и делается попытка снять это противоречие. Здесь мы обращаем внимание на новое противоречие, выявленное экспериментальной биологией в последней трети прошлого века.

Последняя треть прошлого века обогатилась новыми знаниями о физико-химических процессах и жизни на глубинах океанов. В качестве примеров приведём несколько выдержек из различных источников.

“В 70-х годах прошлого века было сделано важное открытие, которое перевернуло многие представления ученых. Возле Галапагосских островов на глубине от 2 до 4 тысяч метров были обнаружены разломы, из которых в океан поступала горячая вода. На дне были обнаружены маленькие вулканы – гидротермы. Происхождение гидротерм объясняют так: морская вода по разломам попадает в толщу океанической коры, там разогревается за счет эндогенного тепла планеты, в ней растворяются различные химические элементы, затем горячая вода под сильным давлением выбрасывается из недр по разломам и поступает в океан. Здесь, остывая, она выделяет разные минералы, в том числе и полезные ископаемые. В местах выброса гидротермальной воды образуются небольшие вулканы высотой до 40 метров. Эти вулканы и назвали “черными курильщиками” из-за того, что вода выходящая из них, черного цвета. “Черных курильщиков” обнаружили на дне Красного моря, а затем их стали находить и в других районах Мирового океана. Температура выходящих из них растворов достигает 350° С.” “Возле “черных курильщиков” на дне океана есть иная жизнь, энергетической основой которой является не фотосинтез, а хемосинтез. В крошечной темноте здесь живут не только примитивные организмы, но и высоко организованные многоклеточные - даже ракообразные и рыбы”. [4].

“Действительно, эти археи обитают исключительно в горячих источниках, на поверхности Земли или дне океана, обычно в зонах вулканической активности. Местом их обитания являются, в частности, окрестности глубоководных вулканических источников - "черных курильщиков", расположенных в океане на тысячеметровых глубинах. Температура воды в них благодаря высокому давлению может достигать 200-300°С. При взаимодействии воды источника с морской водой образуется темный осадок, источник как бы дымит. Отсюда происходит их название. Около таких источников развиваются экстремально термофильные археи, некоторые из них растут даже при температурах 100-110°С”. [5].

“Встречаются бактерии и в глубоких расселинах на дне океана при очень высоком давлении и температуре 360 градусов по Цельсию”. [16, Т.1, стр. 19].

Много интересных фактов подобного рода приводятся в [3]. “Долгое время считалось, что термофильные прокариоты не могут развиваться при температурах выше 50–60°C. Однако за последнюю четверть XX в. наши знания о них претерпели существенные изменения. Истинный переворот совершил американский микробиолог Томас Брок, который начал исследовать горячие источники вулканического происхождения. Оказалось, что там обитают микроорганизмы, способные расти при 60–80°C. Позднее немецкие ученые Вольфрам Циллиг и Карл Штеттер открыли гипертермофилы, оптимально растущие при температуре выше 80°C. В настоящее время верхний температурный предел развития живых существ составляет около 122°C. Он достигается в глубинных морских горячих источниках, где перегретый водяной пар остается жидким за счет повышенного гидростатического давления”. “Но есть еще одно местообитание, значительно менее доступное, однако не сравнимое с гидротермами по масштабу. На глубине 1500–3000 м от поверхности Земли температура начинает повышаться, достигая 60–80°C и даже более градусов, однако эти условия вполне комфортны для высокотемпературной подземной биосферы”.

Ранее в [12], автор уже писал о вопиющем противоречии между термодинамикой и экспериментальной биологией, которое было выявлено более полувека назад, в первую очередь трудами Хилла и его сотрудников, исследовавших энергетику мышечного сокращения. В [12] мы пытались показать, что это противоречие вызвано неправильной трактовкой понятия “компенсации за преобразование тепла в работу”. В данной статье мы покажем ещё более глубокое противоречие между термодинамикой и живой природой, исходя из отмеченных выше новых знаний о термофилах.

СУТЬ ПРОТИВОРЕЧИЯ

Термобактерии – это прокариоты, простейшие представители живой материи. Тем не менее, им присущи все черты, присущие живым существам. Такие как способность извлекать из окружающей среды и использовать энергию в виде питательных веществ или в виде солнечной или химической энергии, способность к размножению и передаче наследственной информации, приспособляемость к окружающей среде и её изменениям и другие. Рассмотрим подробнее наиболее важные для дальнейшего изложения свойства клеток – обмен с окружающей средой и гомеостаз. Гомеостаз – способность поддерживать относительное постоянство параметров внутренней среды клетки. Её объёма, температуры, давления, состава, обеспечение устойчивости функций. Важнейшее значение для процессов метаболизма имеет каталитическая активность белков – ферментов. Именно гомеостаз обеспечивает, в том числе, температурный оптимум для каталитической активности белка. Превышение допустимой температуры приводит к денатурации белка и в дальнейшем к гибели клетки. Как видно из выше приведённого краткого литературного обзора, гипертермофилы развиваются при температуре окружающей среды достигающей как минимум в 122°C. Сравним эту температуру с температурным оптимумом белков – ферментов.

“Температурный оптимум для большинства ферментов млекопитающих лежит в пределах 37-40°C. Существуют, однако, ферменты с более высоким температурным оптимумом; у бактерий, живущих в горячих источниках, он может, например, превышать 70°C.” [16, Т.1, стр. 158].

“Температурный оптимум для различных ферментов неодинаков. В общем для ферментов животного происхождения он лежит между 40 и 50°C, а растительного - между 50 и 60°C. Однако есть ферменты с более высоким температурным оптимумом, например,

у папаина (фермент растительного происхождения, ускоряющий гидролиз белка) оптимум находится при 80°C.”

Информация с сайта: Обмен веществ. <http://obmeny.3dn.ru/publ/1-1-0-1>

В литературе по данной тематике отмечается, что при 100°C почти все ферменты утрачивают свою активность. Отмечается также, что исключение составляет, видимо, только один фермент мышечной ткани - миокиназа, который выдерживает нагревание до 100°C. Здесь литературный обзор даёт нам максимальную температуру внутренней среды клетки не выше 100°C. Таким образом **температура внутренней среды у гипертермофил ниже температуры среды обитания**. Причём это не временная стрессовая ситуация, когда организм выживает за счёт мобилизации внутренних резервов, как например высшие организмы, использующие потоотделение, а естественное нормальное состояние.

Рассмотрим процессы обмена гипертермофильной клетки, как открытой диссипативной структуры, с окружающей средой, исходя из термодинамики.

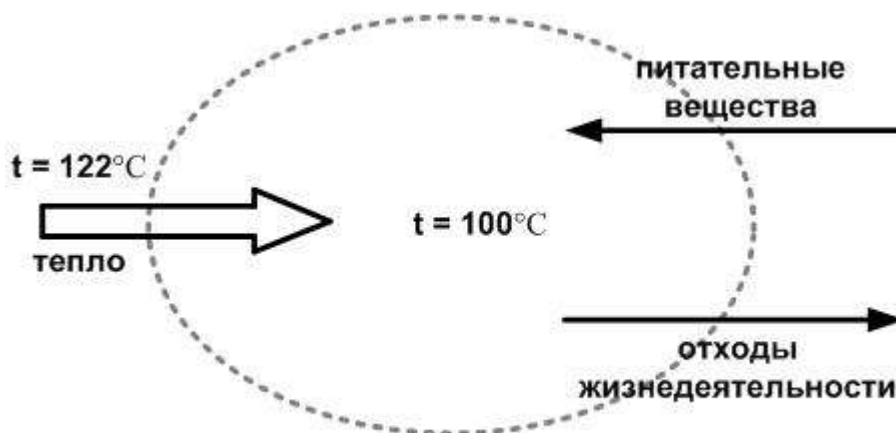


Схема тепло массообмена клетки с окружающей средой

Примем наиболее неудобные условия для рассматриваемой нами задачи, исходя из выше приведённого материала и изображённые на схеме. Принимаем температуру внутренней среды в 100°C, температуру окружающей среды 122°C. Хотя для наших дальнейших рассуждений ничего бы не изменилось если бы мы приняли температуры в 360°C и в 70°C. Здесь принципиально важно лишь то, что температура внутри клетки ниже температуры окружающей среды. Исходя из такого состояния, наблюдается постоянный приток тепла из окружающей среды в клетку. Этот приток складывается из двух составляющих. Первое – это приток тепла через поверхность внешней мембраны по законам теплопередачи: $\Delta q_1 = k \cdot F \cdot \Delta t$ (1). Где: Δq_1 - тепло, поступившее в клетку с процессом теплопередачи; k - коэффициент теплопередачи между внешней и внутренней средой клетки; F - поверхность внешней мембраны клетки; Δt - перепад температур между внешней и внутренней средой клетки. В нашем случае это 122°C - 100°C = 22°C.

Вторая составляющая теплового потока во внутрь клетки возникает в результате тепло массообмена. Вещества, поступающие в клетку, имеют большую температуру, чем вещества выходящие из клетки. Это так же приводит к одностороннему перемещению тепла извне клетки вовнутрь. В первом приближении примем теплоёмкости поступающего и выходящего вещества равными. Необходимо отметить, что в процессе роста клетки после деления, тепло массообмена увеличивается, так как количество поступающего в клетку вещества превосходит количество покидающего клетку на массу роста клетки. Обозначим тепло поступающее в клетку при массообмене через Δq_2 .

Суммарное поступление тепла в клетку $\Delta q_{\Sigma} = \Delta q_1 + \Delta q_2$ (2). В результате перетока тепла во внутрь клетки из окружающей среды, энтропия последней уменьшается на

величину $\Delta S^{oc} = -\frac{\Delta q_{\Sigma}}{T_{oc}}$ (3), где T_{oc} - температура окружающей клетку среды. Если мы

запишем процесс снижения энтропии внешней среды во времени, то (3) запишется в

виде: $\sigma_e^{oc} = -\frac{\Delta q_{\Sigma}}{T_{oc} \cdot \Delta \tau}$ (4), где $\Delta \tau$ - промежуток времени. Выше мы уже отмечали, что

важнейшим качеством клетки является гомеостаз, при котором сохраняется постоянство параметров внутренней среды, в том числе и термодинамических. Конечно, при гомеостазе наблюдается некоторое колебание параметров возле стационарных величин, но усреднение по времени даст их постоянство. Даже с ростом клетки удельный объём остаётся постоянным. А когда клетка не растёт постоянство термодинамических параметров тем более очевидно. Следовательно, и параметр энтропия остаётся внутри клетки постоянным. Отсюда следует, что **энтропия системы гипертермофильная клетка – окружающая термальная среда снижается** в соответствии с (3) и (4). Но данный вывод находится в не допустимом (по сегодняшним представлениям) противоречии с основополагающим положением классической термодинамики. Согласно этому положению энтропия замкнутой системы должна расти или как минимум оставаться постоянной. $\Delta S \geq 0$ (5). В этом и заключается смысл нового противоречия.

МЕХАНИЗМЫ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ ПРОТИВ СЕГОДНЯШНЕГО ПОНИМАНИЯ ВТОРОГО ЗАКОНА

Естественно возникает вопрос, а каким образом термофильная клетка формирует и длительное время поддерживает существование своеобразной холодовой капсулы в среде более высокой температуры? Ведь если в клетку поступает тепло, то необходимо выяснить, куда оно используется или во что преобразуется. В противном случае температура внутри клетки сравняется с температурой внешней среды. Термодинамика может предложить нам два варианта. Один вариант даёт нам техническая термодинамика, второй вариант даёт химическая термодинамика. Согласно технической термодинамике, затрачивая работу в обратном (холодильном) цикле можно отводить тепло от холодного тела к горячему. Но в этом случае необходимо производить относительно много работы и использовать процессы адиабатического расширения (возможно интенсивного испарения), чего не наблюдается в клетке. Второй вариант, который предлагает химическая термодинамика, это эндотермические реакции (в клетке это процессы синтеза), протекающие с поглощением энергии и понижением температуры. Поглощаемая тепловая энергия при этом аккумулируется в виде потенциальной энергии энергоёмких связей, например в реакции фосфорилирования превращение аденозиндифосфата (АДФ) в аденозинтрифосфат (АТФ). Для жизнедеятельности клетки это характерный процесс. Это также процессы синтеза белка и других соединений свойственных данной клетке. Однако метаболизм представляет собой совокупность, как эндотермических реакций синтеза, так и экзотермических реакций распада, идущих с выделением тепла. Причём для большинства живых организмов, от простейших до высокоорганизованных, экзотермические реакции по мощности превосходят эндотермические. Это сопровождается отводом тепла из клетки в окружающую среду и соответственно ростом энтропии. В гипертермофильной клетки для обеспечения холодовой капсулы, необходимой для выживания в условиях высоких температур среды обитания, складывается обратная картина. Здесь необходимо, что бы мощность эндотермических реакций превосходила мощность экзотермических реакций на величину мощности теплового потока, поступающего в клетку извне, согласно (2). Составим уравнение баланса энергии для гипертермофильной клетки.

$$\frac{dE_{\text{энд}}}{d\tau} = \frac{dE_{\text{экз}}}{d\tau} + \frac{dq_{\Sigma}}{d\tau} \quad (5).$$

В (5) первый член уравнения – это мощность эндотермических реакций в процессе метаболизма. Второй член – это мощность экзотермических реакций. Третий член – мощность теплового потока из окружающей среды.

Выполнение условия (5) обеспечит клетке гомеостаз при пониженной температуре в сравнении с температурой среды обитания. Что обеспечивает выполнение условия (5) или, что тоже самое, соответствующий подбор совокупности химических реакций метаболизма? Согласно современным представлениям это обеспечивается соответствующей генетической информацией, закодированной в ДНК. В процессе эволюционной адаптации к высоко температурным условиям обитания выработался соответствующий генетический код. Теперь попытаемся ответить на вопрос, а что позволяет гипертермофильной клетке иметь генетический код, выполняющий условие (5), прямо противоположное метаболизму большинства живых организмов? Один из возможных ответов – гипертермофильные бактерии являются хемогетеротрофами. А это означает, что часть реакций распада органических соединений, являющихся источником углерода, происходит уже вне клетки, под воздействием высоких температур среды обитания. В клетку поступают как бы полуфабрикаты, и клетке для их подготовки к усвоению требуется укороченный набор экзотермических реакций. Соответственно снижается их мощность.

Исходя из изложенного, напрашивается вывод, что благодаря информации, регулирующей набор метаболических реакций, гипертермофильные бактерии преодолевают второй закон термодинамики и упорядочивают окружающую среду, снижая её энтропию. Термофильные прокариоты своим существованием опровергают гипотезу одного из отцов второго закона термодинамики Клаузиуса о “тепловой смерти Вселенной”.

Необходимо отметить, что противоречие с законом роста энтропии относительное. Закон роста энтропии сформулирован и безупречен для систем случайных процессов и событий. Для живой природы ситуация коренным образом меняется. Процессы живой природы развиваются изначально согласно информации записанной в ДНК. Эта информация отодвигает фактор случайности на второй план и организует процессы, приводящие к снижению энтропии системы и увеличению её порядка. Это особенно зримо в экосистемах термобактерий. Нужно отметить, что биологические макромолекулы (в том числе ДНК) сформировались в предбиологический период, то есть до возникновения клетки как первокирпичика живого. Поэтому для живого изначально была заложена возможность развития в противоречие сегодняшней, построенной человеком в последние 150-т лет, термодинамики.

Учитывая экологический аспект, хотелось бы отметить, что для термобактерий наступает благоприятный период в связи с потеплением климата. В то время как для остального органического мира напротив, наступает период суровых испытаний, в том числе и для человека. Для успешного противостояния вызовам, человеку необходимо как минимум усвоить уроки, которые ему дают черепаха и термобактерии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ряде работ, например [12, 13] автором при анализе многочисленных формулировок второго закона термодинамики были выделены две существенных, к которым сводятся все остальные. Это закон роста энтропии и понятие компенсации за преобразование тепла в работу. Закон роста энтропии является следствием эффекта вырождения результирующего импульса в многочастичной среде, а компенсация связана с использованием процессов расширения рабочего тела при преобразовании тепла в работу и как следствие передачи части энергии атмосфере. Причём последняя не имеет отношения ко второму закону и целиком объясняется в рамках первого закона термодинамики. Сейчас мы выяснили, что живая природа ставит под сомнение

универсальный характер второго закона термодинамики и в форме закона роста энтропии. Он справедлив только в области случайных явлений. В биологии, где на первое место выходит информация, определяющая ход процессов, второй закон уходит на второй план. Это, тем более, должно быть правомерно для человека разумного. Однако, вместо того, что бы признать очевидное, придумывается множество уловок по обоснованию заблуждений. Ситуация со вторым законом предельно запутана и давно вышла за рамки благоразумия. Наиболее красочно это выразилось в рассказе фантаста Айзака Азимова “Последний вопрос”: “Сумеем ли мы когда-нибудь преодолеть второе начало?”. Этот вопрос люди из поколения в поколение, от цивилизации к цивилизации продолжают задавать гигантскому компьютеру. У компьютера нет ответа: “Данные недостаточны”. Проходят миллиарды лет, гаснут звёзды, умирают галактики, а компьютер, теперь напрямую связанный с пространством - временем, продолжает сбор данных. Потом новая информация перестаёт поступать – ничего более не существует, но компьютер продолжает вычислять, открывая всё новые и новые корреляции. Наконец, ответ готов. Но не осталось никого, кому бы можно было сообщить его, но зато компьютер теперь знает, как преодолеть второе начало. “И стал свет...” [Бытие; 1:3]”. Удивительно, даже прокариоты, простейшие представители живого могут преодолеть второй закон и упорядочивать окружающий их мир, а гордый прямоходящий homo sapiens запутался даже не в трёх, а в двух соснах и только разрушает гармонию природы. Печально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов В.Ф. и др. Биофизика. /Антонов В.Ф. Черныш А.М., Пасечник В.И., Вознесенский С.А., Козлова Е.К.) - М.: “Владос”, 2003г., 288с.
2. Байер В. Биофизика. Введение в физический анализ свойств и функций живых систем. – М: Издательство иностранной литературы, 1962г., 431с.
3. Бонч-Осмоловская Е. Термофилы – прошлое планеты, будущее биотехнологии.
<http://old.kronoki.ru/act/scientific/articles/70/95>
4. Галанин А.В. Эндогенное тепло Земли подогревает океан и влияет на климат.
<http://jupiters.narod.ru/seevulkan.htm>.
5. Громов Б.В. Удивительный мир архей.
<http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/296.html>
6. Долгов М.А., Косарев А.В. Правомерность использования термина “пассивный” к живой материи с позиции термодинамики. // Вестник Оренбургского государственного университета №12(106), Оренбург, РИК ГОУ ОГУ, 2009г., с. 91-95.
http://vestnik.osu.ru/2009_12/18.pdf
7. Ерёмин Е.Н. Основы химической термодинамики. – М.: “Высшая школа”, 1978г., 391с.
8. Зотин А.И. Второе начало, негэнтропия, термодинамика линейных необратимых процессов. // Материалы семинаров по теме “Термодинамика биологических процессов”. Ин-т биологии развития им. Н.К. Кольцова АН СССР. – М.: Наука, 1976г., - с. 16-25.
9. Исаев С.И. Курс химической термодинамики. – М.: “Машиностроение”, 1975г., 256с.
10. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. – М.: “Химия”, 1978г., 624с.
11. Косарев А.В. Биодинамика, механизм и условия производства кооперативных потоков энергии в биологических структурах. // Вестник Оренбургского гос. ун-та. – 2004, №6 – с. 93-99. [//vestnik.osu.ru/2004_6/17.pdf](http://vestnik.osu.ru/2004_6/17.pdf)
12. Косарев А.В. Основная причина экологических проблем современности - технологический тупик теплоэнергетики. <http://www.biodat.ru/doc/lib/kosarev2.doc>
13. Косарев А.В. Основное свойство, условия формирования и эволюции диссипативных структур. <http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/111010150909.doc>
14. Путилов К.А. Термодинамика. - М.: “Наука”, 1971г., 377с.
15. Самойлов В.О. Медицинская биофизика. – Санкт-Петербург: “СпецЛит”, 2004г., 496с.
16. Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология. Т.1 и 2: Пер. с англ. / Под ред. Р. Сапера. – М.: Мир, 2002г. – 890с.