

ЭНЕРГЕТИКА БИОСФЕРЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОГНОЗА СУДЬБЫ НАШЕЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Чукова Ю.П.

Краснопресненский региональный фонд охраны природы и здоровья населения

г. Москва, РФ; e-mail: y.chukova@mtu-net.ru

Поступила в редакцию: 07.07.2021

Аннотация. Квантовая термодинамика, разработанная во второй половине XX века для технических устройств, оказалась работоспособной в сфере живых существ (биосфере). Термодинамический закон диктует свои ограничения и запреты там, где этого никто не ждал. Он смог ответить на множество вопросов биосферы, сформулированных около 100 лет назад и лежащих в области зрения человека, фотосинтеза растений и фотодвижения простейших организмов. Ключом к пониманию всех этих процессов оказалась энтропия воздействующего электромагнитного излучения (ЭМИ), а главной характеристикой – КПД преобразования энергии ЭМИ в свободную энергию. Условием устойчивого функционирования системы является линейный рост скорости генерации энтропии в системе с ростом поглощения энергии или его слабое отклонение от линейной зависимости. В этих условиях КПД растёт по логарифмическому закону (закон Вебера-Фехнера). Самым неожиданным оказалось совпадение ответных реакций систем, подчиняющихся статистике Бозе-Эйнштейна, Ферми- Дирака и Максвелла-Больцмана. Это означает, что закон Вебера-Фехнера является термодинамическим законом очень широкой общности и значимости. Линейный рост скорости генерации энтропии может иметь место при изменении поглощения энергии разного типа на 10 - 20 порядков, но при более высоком поглощении скорость генерации энтропии начинает расти сверх линейно. Это приводит к ограничению роста КПД и его последующему спаду. Различие между биосферой и ноосферой гораздо меньше, чем между живым и неживым миром. Термодинамический прогноз для судьбы нашей цивилизации даёт тот же результат, что и работы Римского клуба. Это требует самого внимательного обсуждения, поскольку термодинамика (в отличие от Римского клуба) допускает положительный исход в смысле сохранения нашей цивилизации при разумной поведенческой реакции населения.

Ключевые слова: эффективность преобразования энергии, закон Вебера-Фехнера, пределы роста КПД и всех эффектов.

Во второй половине XX века была разработана квантовая термодинамика необратимых изотермических процессов [1-3]. Она разрабатывалась, ориентируясь на процессы преобразования энергии электромагнитного излучения в рукотворных неживых объектах, таких как люминесцирующие устройства и нетепловые преобразователи солнечного излучения. На этих системах была проведена проверка её соответствия экспериментальным данным, и было выявлено не только качественное, но и количественное соответствие теоретических и экспериментальных результатов.

Законы, полученные для неживых систем, оказались применимыми к живым системам и позволили ответить на ряд кардинальных вопросов фотобиологии, которые были сформулированы 100 лет назад и не могли найти ответа при использовании индуктивных методов разных наук. Таковы, например, проблемы спектральной чувствительности глаза человека и основной рабочей характеристики его (зависимости отклика от силы внешнего воздействия) [4]. Для ответа на эти вопросы оказалось достаточным рассмотрение термодинамического предела КПД η преобразования света. Для ответа на вопросы, лежащие в области фотосинтеза растений и фотодвижения простейших организмов, потребовалось рассмотрение необратимости процессов [5]. Учёт необратимости позволил понять, почему за три десятилетия стараний многих лабораторий мира не удалось повысить продуктивность риса [6]. Учёт сверхлинейного роста необратимости позволил выявить причину смены положительных типов фотодвижения на отрицательные [7]. В итоге в настоящее время можно считать, что основы энергетики биосферы сформулированы, ибо кроме выше упомянутых эффектов квантовая термодинамика сумела объяснить много других прежде не до конца понятых эффектов [3].

Тот факт, что термодинамика, разработанная для неживых систем, оказалась работоспособной в сфере живых систем (биосфера) имеет первостепенную важность потому, что позволяет заглянуть в глубь процессов и установить их связь друг с другом. Поскольку процессы в неживых системах просты, то можно понять и объяснить функциональный смысл разных частей итоговой формулы для КПД η , которая выведена с учётом необратимости процессов и представлена формулой (3.10) в [1], (16) в [2], (4.7) в [3], формулой (7) в [8], формулой (1) в данной статье и изображена сплошной линией на рисунке 1.

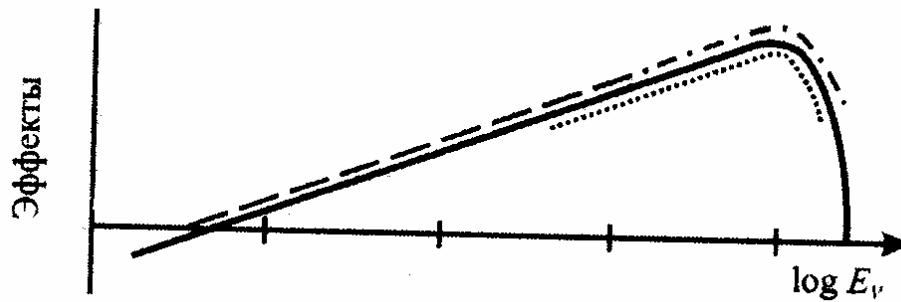


Рисунок 1. Зависимость эффектов от силы воздействия

На рисунке 1 использован полулогарифмический масштаб. На оси абсцисс отложен логарифм спектральной плотности поглощённого излучения ($\log E_v$), но может быть приведена любая другая величина, пропорциональная ей, а именно поглощённая мощность, падающая мощность, освещённость, интенсивность, поглощённая или воздействующая доза. На оси ординат в линейном масштабе приводится КПД η (если работа термодинамическая!), но может быть отложен любой тест, измеряемый экспериментатором. Пунктиром на этом рисунке отмечена область работы глаза человека. Это возрастающая пунктирная прямая. На этом участке протекания процесса легко выявить его суть. Для этого напомним схему, рассмотренную квантовой термодинамикой (рис. 2).

На ней представлены пунктирными стрелками три возможных пути преобразования энергии электромагнитного излучения. Из них в данной статье рассматриваются лишь два процесса: преобразование энергии электромагнитного излучения в свободную энергию Гельмгольца (КПД η) и её преобразование в тепло. Прямая линия в полулогарифмических координатах означает логарифмическую зависимость (рис. 1).

$$\eta = 1 - T (\dot{S}_a + \dot{S}_i) / \dot{W}_a \quad (1)$$

Глаз человека нормально функционирует при изменении освещённости на 10–20 порядков при смене дня и ночи. Логарифмическая зависимость была обнаружена почти 200 лет назад в середине 19 века и носит название закона Вебера-Фехнера. Драматическая судьба этого закона описана в [9, 10] и сейчас не будет предметом нашего рассмотрения. Для нас сейчас важно другое: Эта зависимость обеспечивает стабильность и ординарную работу глаза в условиях неординарно широкого диапазона изменения внешнего воздействия. Это уникальный преобразователь электромагнитного излучения в свободную энергию. Для электромагнитного излучения как внешнего источника энергии проблема исчерпывающе изложена в книгах [1-5] и статье [8].

Но прекрасный экспериментатор Э.Г. Вебер обнаружил ту же зависимость для других органов чувств (слух и осязание), не имеющих никакого отношения к электромагнитному излучению.

Серьёзных учёных (особенно теоретиков) это должно было насторожить, так что закон Вебера-Фехнера в их работах не встречался. Его изучали (кроме физиологов) только узкие специалисты, например, светотехники [11], рекламщики, врачи-глазники и отоларингологи.

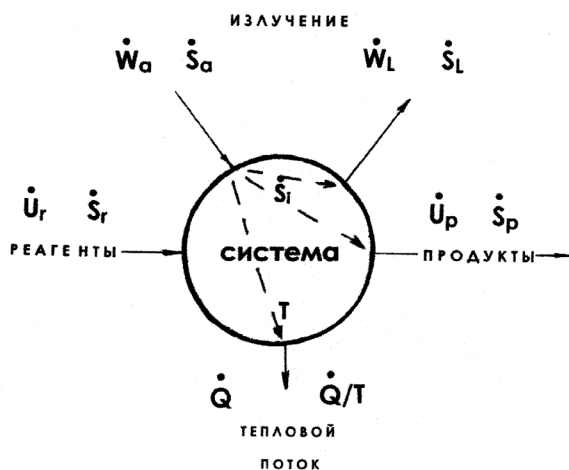


Рисунок 2. Открытая термодинамическая система

Обозначения

- \dot{W}_a – поток поглощённой энергии воздействующего излучения
- \dot{S}_a – поток энтропии этого излучения
- \dot{W}_L – поток излучённой энергии системы
- \dot{S}_L – поток энтропии этого излучения
- \dot{U}_r – поток внутренней энергии реагентов
- \dot{S}_r – поток их энтропии
- \dot{U}_p – поток внутренней энергии продуктов
- \dot{S}_p – поток их энтропии
- \dot{Q} – поток тепловой энергии от системы
- \dot{Q}/T – поток его энтропии

Квантовая термодинамика позволила упрочить научную основу этого закона и поднять статус закона, обнаруженного двумя профессорами Лейпцигского университета, как закона физиологии органов чувств человека до уровня всеобщего закона преобразования воздействующей энергии в свободную энергию Гельмгольца. Сейчас будет показано, как она это сделала.

Логарифмический закон для КПД η изотермического эндоэргического процесса появился как следствие учёта энтропии возбуждающего поглощённого излучения \dot{S}_a , Электромагнитное излучение - это поток частиц с целочисленным спином, которые подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна (бозоны) [12],

$$\dot{S}_a = 2\pi k c^2 [v^2 [(1+\rho)\ln(1+\rho) - \rho \ln \rho] dv. \quad (2)$$

Для электромагнитного излучения параметр ρ связан со спектральной плотностью поглощённого излучения, которая является главной величиной в нашем рассмотрении и даётся формулой $\rho = c^2 E_\nu / 2\pi h \nu^3$, где c – скорость света, h – постоянная Планка, k – постоянная Больцмана, ν – частота.

Кроме бозонов в физике широко изучаются фермионы (частицы с полужелым спином), а именно электроны, протоны, нейтроны, нейтрино и т.д., которые подчиняются статистике Ферми-Дирака, а в классическом ансамбле частиц работает статистика Максвелла-Больцмана [13-14].

Исследователь, интересы которого выходят за пределы электромагнитного излучения, может оказаться лицом к лицу с тремя разными зависимостями энтропии S , которые представлены на рисунке 3.

На рисунке 3 по оси ординат отложен логарифм энтропии S для всех трёх выше названных распределений. А по оси абсцисс отложен логарифм параметра ρ , который характеризует степень заполнения энергетических уровней.

Сплошной линией дана величина энтропии системы фермионов, для которых согласно принципу Паули ρ не может быть больше 1. Для системы бозонов эта величина может быть как меньше 1, так и больше 1. Но для всех процессов на поверхности Земли, протекающих под воздействием излучения Вина (коротковолновое излучение), она была меньше единицы. Поэтому энтропия системы бозонов на рисунке 3 состоит как бы из двух частей (одна представлена сплошной линией для ρ меньше единицы, а вторая – штрих-пунктиром для ρ выше единицы).

Как видно из рисунка 3 энтропия всех трёх главных физических распределений показывает одинаковую зависимость от ρ при её величине меньше 1. А это значит, что закон Вебера-Фехнера работает для всех систем (вне зависимости от их специфики), т.е. является одним из самых фундаментальных физических законов. А это открывает дорогу для самых серьёзных обобщений.

Общность этого закона так велика, что невольно вспоминаются закон сохранения энергии и закон всемирного тяготения. От закона, демонстрирующего неожиданно широкую объясняющую силу, можно ожидать и предсказательную силу тоже. Но об этом ниже.

Правомерно возникает вопрос, если закон имеет такую общность, то почему он не на слуху у студентов, аспирантов и учёных? Ответ достаточно прост. Общий путь «открывания» новых законов таков. Некий экспериментатор наносит полученные им экспериментальные точки на плоскость (x, y) и проводит через них некую линию. А далее привлекается математика для того, чтобы выяснить, какой формулой описывается полученная линия. Какой функцией она является? Достаточно часто точки ложатся на прямую или близкую к прямой линию. Чем выше уровень постановки эксперимента, чем шире диапазон изменения воздействующего фактора, тем чаще кривая оказывается степенной функцией с показателем более высоким, чем единица (прямая линия). И только экспериментатор экстра класса, работающий в очень широком диапазоне изменения воздействующего параметра, на очень совершенном устройстве может обнаружить закон Вебера-Фехнера (логарифмическую зависимость).

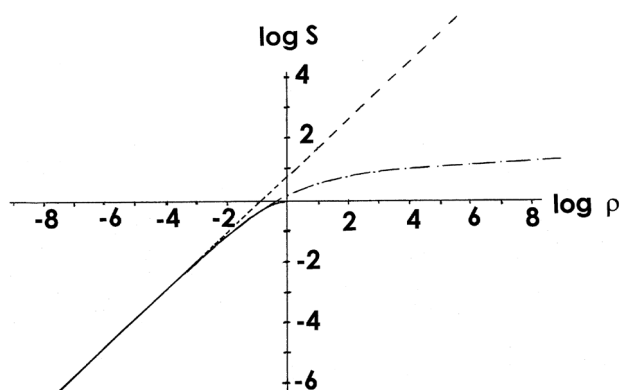


Рисунок 3. Зависимость энтропии от параметра ρ для трёх распределений: Ферми-Дирака (сплошная линия), Бозе-Эйнштейна (сплошная линия и штрих-пунктир) и Максвелла-Больцмана (сплошная линия и пунктир)

В истории закона Вебера-Фехнера произошло прямо противоположное. На праздновании 100-летнего юбилея закона американский физиолог С.С. Стивенс предложил «отменить» закон Вебера-Фехнера и заменить его на степенные функции. Юбилейная статья была опубликована в журнале Science [15] и стала указующим перстом для физиологов всего мира. A Journal of Photochemistry and Photobiology более полувека публиковал статьи, в которых воздействующий стимул изменялся на 2-3 порядка, и степенные функции хорошо описывали эксперимент. В этих условиях осторожность наиболее крупных учёных, особенно теоретиков, вполне понятна [16,17]. Но квантовая термодинамика всё расставила по своим местам, и можно продолжить рассмотрение, опираясь на логарифмическую зависимость КПД преобразования энергии в свободную энергию Гельмгольца.

Таблица 1. Характеристика необратимости различных систем и процессов

<i>Система и тест</i>	<i>частотный диапазон</i>	\dot{S}_i / \dot{S}_a
<i>Зрение человека</i>	<i>красная граница видимый свет</i>	<i>0,6 - 1,1</i>
<i>Фотодвижение</i>	<i>видимый свет</i>	
<i> фотокинез</i>		<i>1,4</i>
<i> топотаксис</i>		<i>3 - 10</i>
<i> фоботаксис</i>		<i>10</i>
<i>Фотосинтез</i>	<i>видимый свет</i>	
<i>одноклеточных водорослей</i>		<i>2,3</i>
<i>тенелюбивых растений</i>		<i>2,6</i>
<i>светлюбивых растений</i>		<i>3,1</i>
<i>Кремниевый солнечный элемент</i>	<i>солнечный свет</i>	<i>2,5 - 4</i>
<i>Технический фотолиз I 2</i>	<i>видимый свет</i>	<i>9</i>
<i>Распад молекул и ионов</i>	<i>лазер CO₂</i>	
<i> SF₅ NF₂</i>		<i>2·10²</i>
<i> [(C₂H₅)₂O]₂H⁺</i>		<i>10³</i>
<i> C₂H₄</i>		<i>10⁵</i>
<i>Кишечная палочка</i>		
<i> синтез колицина ,</i>	<i>мм-излучение</i>	<i>1,2·10⁴</i>
<i> синтез</i>		
<i> лямбда-профага</i>		<i>6,1·10⁴</i>
<i>Золотистый стафилококк</i>		
<i> синтез пенициллиназы</i>	<i>мм-излучение</i>	<i>1,5·10⁵</i>
<i>Дрожжи</i>		
<i> скорость роста</i>	<i>мм-излучение</i>	<i>7,6·10⁶</i>
<i>Крысы</i>		
<i> электрическая</i>	<i>мм-излучение</i>	<i>1,6·10⁷</i>
<i> активность</i>		
<i> гипоталамуса ,</i>		
<i> изменение количества</i>	<i>мм-излучение</i>	<i>2,9·10⁷</i>
<i> клеток костного мозга ,</i>		
<i> изменение числа</i>	<i>мм-излучение</i>	<i>2,9·10⁷</i>
<i> кариоцидов</i>		
<i>Гемоглобин</i>		
<i> жесткость связи</i>		
<i> гем-белок</i>	<i>мм-излучение</i>	<i>1,5·10⁸</i>

Итак, для ответа на «безответные» вопросы, связанные со зрением человека, оказалось достаточно рассмотрения термодинамического предела (обратимого процесса). Однако все процессы в живой природе необратимы. Величина необратимости различна в разных живых и неживых объектах и может быть рассчитана по формулам квантовой термодинамики с учётом экспериментальных данных. Результаты некоторых расчётов приведены в таблице 1 [1-3].

Можно было бы представить саму скорость генерации энтропии \dot{S}_i в абсолютных единицах, но она была бы ненаглядна. Отношение \dot{S}_i к \dot{S}_a наглядно демонстрирует величину необратимости.

Проблема жизни – это прежде всего проблема поступления энергии, которую объект может преобразовать в свободную энергию для обеспечения всех форм своей жизнедеятельности. Следующей проблемой жизни является проблема величины и закона роста необратимости. Учёт линейной необратимости (линейного роста скорости генерации энтропии), не внося радикальных изменений в вид закона для предельного КПД, показывает причину отличия численного значения реального КПД от термодинамического предела.

На текущей стадии биологических исследований исключительной удачей следует считать правомерность закона (1) как для живых, так и для неживых объектов. Дело в том, что рукотворные физические системы крайне просты по сравнению с живыми системами. Рукотворные системы демонстрируют внутренние связи предельно отчётливо, что позволяет с новых позиций посмотреть на процессы в живых системах.

Возьмём, к примеру, солнечные батареи, которые сейчас покрывают крыши многоквартирных домов в южных городах на побережье и островах Средиземного моря. Италия была одним из лидеров их разработки, и на рис. 4 представлена эффективность первых изделий промышленного производства (крестики и квадратики). Образцы отличаются структурой p-n переходов. Измерения проводились в условиях концентрации солнечного излучения. Концентраторы представляют различным образом выполненные зеркала, в фокусе которых находится солнечный элемент. Таким способом можно увеличить освещённость в 100, 500 и даже 1000 раз.

На оси абсцисс рисунку 4 отложен логарифм мощности падающего излучения (разработчики солнечных батарей ведут расчёты на падающую энергию, а не на поглощённую: так им удобнее), а по оси ординат – эффективность ζ . Сплошная прямая линия в верхней части рисунка – термодинамический предел эффективности ζ^* для кремниевых преобразователей с концентраторами солнечного излучения. Квадратики – экспериментальные результаты для кремниевой структуры p+ - n- p+ с удельным сопротивлением базовой области 0,3 Ом·см. Крестики – для кремниевой структуры с сопротивлением базовой области 1,5 Ом·см. Для кривой 3 скорость генерации энтропии выше, чем для кривой 2. Сплошные участки кривых 2 и 3 соответствуют диапазону линейного роста скорости генерации энтропии, а пунктирные части этих кривых иллюстрируют диапазон сверх линейной скорости генерации энтропии. Символично эти результаты изображены так же на рис. 1 точками.

Рисунок 4 позволяет понять глубинный физический смысл процессов в солнечных батареях, который удивительно прост. Логарифмическая функциональная зависимость интересна тем, что в пределах её в системе соблюдается паритет двух различных целевых процессов. При любом значении абсциссы сохраняется долевая часть поглощённой энергии, переходящей в свободную энергию и в тепловую энергию. И этот паритет может сохраняться при возрастании поглощения на много порядков. Когда система начинает демонстрировать отклонение от этого закона, это означает, что скорость генерации энтропии становится сверх линейной. А это

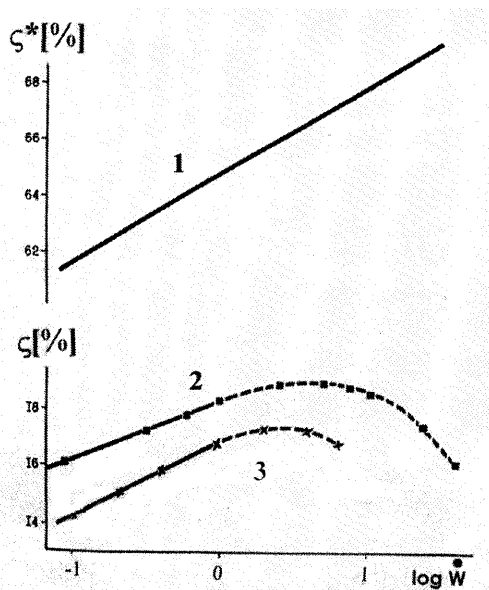


Рисунок 4. Предельная ζ^* и реальна ζ эффективность солнечных батарей

круто изменяет течение процессов в системе: в ней начинает преобладать превращение энергии электромагнитного излучения в тепло, и убывает доля поглощённой энергии, которая превращается в полезную свободную энергию. А это означает, что начинается падение КПД η (или эффективности ζ) и всех других многочисленных эффектов (тестов), которые изучает экспериментатор. В условиях концентрации солнечного излучения солнечные элементы (батареи) очень быстро выходят из строя, и эксперименты автоматически прекращаются.

На максимум кривых КПД η и эффективности ζ приходится процесс фотосинтеза растений и водорослей (штрих-пунктирная линия на рисунке 1). Фотосинтез, от которого человек требует увеличения продуктивности, продуктивности и ещё раз продуктивности и никак не может этого добиться, оказался лежащим в максимуме кривой рисунка 1. Всем тем, кто вложил свой труд (а иногда и жизнь) в попытки увеличить его эффективность, полезно понять, что они штурмовали второй закон квантовой термодинамики и пытались преодолеть термодинамический запрет.

Но особый интерес в рамках данной публикации представляет фотодвижение простейших организмов [7], детально рассмотренное в [2,3,5], где отмечена предсказательная сила квантовой термодинамики: зная одну характеристику фотодвижения, можно заранее сказать, как будет выглядеть другая. Эта область биосферы заставляет ввести новую характеристику (отсутствующую в термодинамике!) – поведенческую реакцию, которая отслеживает комфортность жизни биообъекта. Очень продолжительное время непонимаемые экспериментаторами явления отрицательного фототаксиса, отрицательного фоботаксиса и отрицательного фотокинеза имеют очень простой смысл: это акты самосохранения. Мельчайшие живые создания, не имеющие не только мозгов, а иногда не имеющие даже ядра в клетке, любят комфортную жизнь!!! А комфортность их жизни создаёт (согласно законам квантовой термодинамики!) свободная энергия, которую они могут расходовать на все формы жизнедеятельности.

Вот почему эвглена начинает двигаться в сторону источника света, как только он появляется. Это её движение продолжается до тех пор, пока приближение к источнику увеличивает свободную энергию, т.е. пока скорость генерации энтропии (о существовании которой она не подозревает!) растёт линейно с ростом поглощения, а КПД процесса возрастает пропорционально логарифму поглощения, и паритет двух направлений (рукавов!) преобразования энергии сохраняется. Но этот паритет кончается, когда скорость генерации энтропии начинает расти сверх линейно, превращение энергии электромагнитного излучения в тепло начинает расти опережающими темпами, КПД прекращает свой рост, и у эвглены пропадает стимул для дальнейшего движения в сторону источника. Она останавливается.

Если поглощение света продолжает нарастать, вызывая увеличение тепловой энергии в системе, то это приводит к увеличению температуры системы, а требование постоянства температуры – это основное требование в мире живых существ. И это жёсткое требование! Так, например, для человека весь диапазон изменения температуры не превышает 10 градусов. Повышение температуры эвглены воспринимает как уменьшение комфорта, и, стремясь вернуть утерянный комфорт, начинает двигаться в сторону меньшего освещения, удаляется от источника. Вот почему появляется отрицательный фототаксис! Если эвглена почему-либо не может отодвинуться от источника, то её температура будет повышаться, КПД полезного процесса наработки свободной энергии будет падать, и эвглена будет погибать. В условиях полного солнечного освещения эвглена погибает за несколько часов. Здесь мы видим полную аналогию с судьбой солнечных батарей при работе с концентраторами.

Устойчивое функционирование разных систем имеет место в условиях логарифмической зависимости КПД эффекта от силы воздействия на систему, а также при слабом отклонении от этого закона. Сильное отклонение приводит к гибели системы.

Законы, работающие в каждом отдельном живом организме, легко просматриваются на популяционном уровне. Условия освещённости в океане с увеличением глубины меняются очень сильно, а фотоотклик каждого индивидуального организма обеспечивает выбор места распространения всей популяции. Таким образом, каждый тип водоросли нашёл себе оптимальную освещённость. Биологи давно установили, что в океане на глубине 10 метров живут зелёные водоросли. Под ними до глубины 25 метров располагаются бурые водоросли, а ещё ниже на глубине до 100 метров обитают красные водоросли.

Итак, два мира, различающихся очень сильно (мир живой и неживой материи) подчиняются одному и тому же закону квантовой термодинамики. Глубокая дифференциация науки в XX веке разделила живой мир на биосферу и ноосферу, и законы развития природы, общества и цивилизации изучаются разными науками, что вполне понятно. Но специалист по квантовой термодинамике понимает, что энергетические корни у столь разных процессов одинаковы. И на это пришла пора обратить внимание.

Крайне важным в этом аспекте явилось то, что глобальная экосистема, рассмотренная Римским клубом [18], и прогнозирующая гибель нашей цивилизации, по существу является частным случаем общей открытой термодинамической системы в квантовой термодинамике (рис. 2). Здесь уместно и полезно напомнить, как выглядит система, рассчитанная Медузами (рис. 5)



Рисунок 5. Глобальная экосистема, рассмотренная Медоузом

Главным источником энергии у Медоузов названа солнечная энергия, и это строго соответствует термодинамическому рассмотрению, где эта энергия имеет более точное и общее название – электромагнитное излучение, а в рассмотрение вводится её поглощённая часть W_a . Медоуз называет эту энергию высококачественной. Квантовая термодинамика позволяет численно охарактеризовать качество энергии, принимая во внимание её энтропию S_a , рассчитываемую по формуле (2) и частотный диапазон поглощённого преобразуемого излучения. Что касается стока энергии, то Медоуз называет его «потери в виде тепла», а в квантовой термодинамике – это поток тепловой энергии от системы \dot{Q} . Качество этой энергии в квантовой термодинамике может быть рассчитано по формуле \dot{Q}/T .

Но есть и существенное отличие. Медоузов интересует то, что находится внутри круга глобальной системы, и рассматривает он эту картину глазами математика, работающего в области бизнеса. Бизнесмен всегда чувствует себя владыкой, потому что он может влиять на потоки внутри системы, а это потоки промышленного капитала, численности населения, увеличение или нехватка продуктов питания, истощение невозобновляемых ресурсов, деградация природной среды. И Медоузы использовали свои возможности в лице могучей компьютерной техники, рассчитав для начала 13 моделей, а потом и ещё как минимум одну [19]. Но в итоге расчетов многих моделей получился один и тот же результат: гибель цивилизации.

Термодинамика, используя простой и эффективный метод «чёрного ящика», содержимым экосистемы не интересуется. Исследователь смотрит на систему глазами стороннего наблюдателя, пытаясь выявить законы природы, и у него нет ни малейшей возможности втиснуть в них свои желания. А что в итоге получилось изложено выше и ранее в [1-3]. Вывод о гибели системы в условиях большого поглощения энергии получен и даётся ниспадающей частью кривой рисунка 1. Он однозначно (без вариантов!) подтверждается экспериментами на солнечных батареях. А что касается живых систем, то здесь ситуация оказывается более интересной.

На примере собственного зрения мы знаем, что когда освещённость становится высокой, глаз сужает зрачок. Если этого недостаточно, в глазу возникают болевые ощущения. Они связаны с избыточным превращением энергии в тепло. Глаз теряет комфортность работы. Чтобы вернуть утерянную комфортность нужно уменьшить поток энергии, поступающий в глаз. Это достигается с помощью солнцезащитных очков. Если и этого недостаточно, то глаз сигнализирует болевыми ощущениями до тех пор, пока не выйдет из строя. Чтобы сохранить зрение, надо в нужный момент уменьшить световое воздействие на глаз.

Ещё более интересно включённое в наше рассмотрение фотодвижение простейших организмов. Оно показывает, что правильная поведенческая реакция простейших организмов позволяет избежать гибели. Эта поведенческая реакция сыграла основополагающую роль в эволюции жизни на Земле. Дело в том, что некоторые простейшие организмы обладают сразу двумя способностями (фотодвижение и фотосинтез). Результатом их жизнедеятельности оказываются углеводы и свободный кислород. Тем самым они способствовали наработке углеводов на Земле и кислорода в её атмосфере. А в итоге их жизнедеятельности изменился тип атмосферы планеты: она стала окислительной, хотя изначально была восстановительной. Поразительный факт: создания размером 2-3 мкм изменили атмосферу небесного тела диаметром более 12000 км. Честь этой трансформации по утверждению альгологов (специалистов по водорослям) принадлежит цианобактериям. Но работали они 200 миллионов лет и работали аккуратно, стремясь сохранить свой комфорт. А степень комфортности их жизни определяется величиной КПД преобразования солнечной энергии в свободную энергию: чем выше КПД, тем больше комфортность. Но ниспадающая часть кривой рисунка 1 обязательна для всех: это термодинамический закон! Наступление этой части они чувствовали по уменьшению комфортности из-за повышения температуры и, используя свои жгутики перемещались в область с меньшей освещённостью (отрицательный фототаксис), тем самым, спасая себя, свою популяцию и создав условия, в которых смогла возникнуть весьма разнообразная флора и фауна и её венец – человек.

Около 30 000 лет он занимался охотой и сбором растений, мало чем отличаясь от прочих представителей фауны. Но 10000 лет (сто веков) назад начался переход к земледелию и скотоводству. Затем homo

sariens начал создавать орудия из камней и костей, шить одежду и даже рисовать на скалах. Зарождение ремёсел предшествовало рождению элементарной науки (измерение времени и линейных размеров тел). Эпоха античности (6 век до н.э. – 5 век н.э.), когда Архимед открыл основной закон гидростатики, а Птолемей создал геоцентрическую теорию мироздания, стала прародительницей современной науки. Эпоха Возрождения (XV – XVI век) подарила миру Леонардо да Винчи и Коперника, а затем Галилея и Кеплера, а создание в 1712 году в Англии первой водоподъёмной установки ознаменовало собой начало научно-технической революции. «Так пришёл конец той культуре и образу жизни, которые вели своё начало от далёкой эпохи неолита». Это слова создателя Римского клуба А. Печчеи [20].

Использование новых источников энергии в XIX и особенно в XX веке привело к росту многих показателей нашей цивилизации совершенно аналогично показателям фотодвижения простейших (см. рис. 7 в [8] и [1-3]), и все руководители государств и промышленных объединений планировали и требовали дальнейшего роста. Наша цивилизация проскочила максимум (оптимум) своего существования [21]. Первым и самым надёжным указателем его прохождения является повышение температуры. Первыми на это обратили внимание в 60-ые годы полярники, отметив начало таяния ледников Антарктиды. Они были обеспокоены. Но их беспокойства утонули в ликованиях всей планеты после полёта Ю. Гагарина

Потепление климата продолжалось, сопровождаясь таянием ледников на всех материках и повышением уровня Ледовитого океана, и, наконец, достигло такой величины, что на это обратил внимание обыватель с его огородом. На это отреагировали и простейшие живые создания, для которых постоянство температуры – первое требование сохранения жизни. Появление коронавируса – закономерное последствие изменения климата. На борьбу с ним брошены все силы современной медицины. Но это борьба с побегами и цветочками, а корень зла не затронут. Он кроется в том, что за последние 10 лет на треть возросло энергопотребление на планете, и никто не собирается его сокращать. А это означает, что планету ожидает массовая гибель морских животных, которая уже зафиксирована в Авчинской бухте и Каспийском море. И не только морских...

Заканчивая эту статью, хочу ещё раз подчеркнуть, что в отличие от Римского клуба термодинамика указывает вполне определённый, хотя и не симпатичный путь спасения цивилизации – шаг назад к существенному снижению общего потребления энергии на Земле.

На данном уровне развития нашей цивилизации наиболее важным является вопрос глобального потепления, от которого можно попытаться избавиться существенным снижением общего потребления энергии на планете. Каждый житель планеты – энергопотребитель [22]. И от него зависит будущее нашей цивилизации.

Список литературы / References:

1. Chukova Yu.P. *Advances in nonequilibrium thermodynamics of systems under electromagnetic radiation*. Moscow, Khristostom, 2001, 116 p.
2. Чукова Ю.П. *Эффекты слабых воздействий. Термодинамический, экспериментальный (биологический и медицинский), социальный, законодательный, международный и философский аспекты проблемы*. М.: «Алес», 2002, 426 с. [Chukova Yu.P. *Low impact effects. Thermodynamic, experimental (biological and medical), social, legislative, international and philosophical aspects of the problem*. М.: "Ales", 2002, 426 p. (In Russ.)]
3. Чукова Ю.П. *Введение в квантовую термодинамику необратимых изотермических процессов*. М.: Мегapolis, 2018, 480 с. [Chukova Yu.P. *Introduction to quantum thermodynamics of irreversible isothermal processes*. М.: Megapolis, 2018, 480 p. (In Russ.)]
4. Чукова Ю.П. *Загадки зрения (Успехи теоретической биофизики в области эффекта Пуркине)*. М.: Изд. "Знание", серия «Физика», № 4, 1990. [Chukova Yu.P. *Riddles of sight (Advances in theoretical biophysics in the field of the Purkinet effect)*. Moscow: Ed. "Knowledge", series "Physics", no. 4, 1990. (In Russ.)]
5. Чукова Ю.П. *Неожиданное родство (Термодинамическое рассмотрение некоторых фотопроцессов)*. М.: Изд. "Знание", серия «Физика», № 4, 1991. [Chukova Yu.P. *Unexpected relationship (Thermodynamic consideration of some photoprocesses)*. Moscow: Ed. "Knowledge", series "Physics", no. 4, 1991. (In Russ.)]
6. Гусев М.В., Никитина А.А. *Цианобактерии (физиология и метаболизм)*. М.: Наука. 1979, 228 с. [Gusev M.V., Nikitina A.A. *Cyanobacteria (physiology and metabolism)*. М.: Science. 1979, 228 p. (In Russ.)]
7. Конев С.В., Волоотовский И.Д. *Фотобиология*. Минск, 1974. [Konev S.V., Volotovskiy I.D. *Photobiology*. Minsk, 1974. (In Russ.)]
8. Чукова Ю.П. Энергетические законы биофизики: теория и эксперимент. *Актуальные вопросы биологической физики и химии*, 2020, том 5, № 1, с. 52-62. [Chukova Yu.P. Energy laws of biophysics: theory and experiment. *Topical issues of biological physics and chemistry*, 2020, vol. 5, no. 1, pp. 52-62. (In Russ.)]
9. Чукова Ю.П. *Закон Вебера-Фехнера*. К 150-летию издания книги Г.Т. Фехнера «Элементы психофизики». Москва, ЗФО МП «Гигиена», ISBN 978-5-904207, 2009. [Chukova Yu.P. *Weber-Fechner law*. To the 150th anniversary of the publication of the book by G.T. Fechner "Elements of Psychophysics". Moscow, ZFO MP "Hygiene", ISBN 978-5-904207, 2009. (In Russ.)]
10. Чукова Ю.П. О судьбе закона. *Знание-сила*. 2011, № 6, с. 45-51. [Chukova Yu.P. About the fate of the law. *Knowledge is power*. 2011, no. 6, pp. 45-51. (In Russ.)]
11. Мешков В.В. Основы светотехники. ч. 1, М.-Л., ГЭИ, 1957. [Meshkov V.V. Basics of lighting engineering. Part 1, М.-L., GEI, 1957. (In Russ.)]

12. Ландау Л.Д. *О термодинамике люминесценции*. Собрание трудов. М.: Наука, 1969, том 2, с. 26-31. [Landau L.D. *On the thermodynamics of luminescence*. Collection of works. Moscow: Nauka, 1969, vol. 2, pp. 26-31. (In Russ.)]
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика*. М.: Наука, 1964. [Landau L.D., Lifshits E.M. *Statistical physics*. Moscow: Nauka, 1964. (In Russ.)]
14. Киттель Ч. *Статистическая термодинамика*. Перевод с англ. Под ред. С.П.Капицы. М.: Наука, 1977. [Kittel Ch. *Statistical thermodynamics*. Translation from English. Ed. S.P. Kapitsa. Moscow: Nauka, 1977. (In Russ.)]
15. Stevens S.S. To honor Fechner and repeal has law. A power function? Njt a log function? Describes operating characteristic of a sensory system. *Science*, 1961, no. 133, pp. 80-86.
16. Вавилов С.И. *Глаз и Солнце*, М. Из-во АН СССР, 1961. [Vavilov S.I. *Eye and Sun*, M. Iz-vo USSR Academy of Sciences, 1961. (In Russ.)]
17. Ландсберг Г.С. *Оптика*, М. ГИТТЛ, 1964. [Landsberg G.S. *Optics*, M. GITTL, 1964. (In Russ.)]
18. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. *За пределами роста: предотвратить глобальную катастрофу, обеспечить устойчивое развитие*. М.: Прогресс, 1992. [Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. *Beyond growth: preventing global catastrophe, ensuring sustainable development*. Moscow: Progress, 1992. (In Russ.)]
19. Пестель Э. *За пределами роста*. М.: Прогресс, 1988. [Pestel E. *Beyond Growth*. Moscow: Progress, 1988. (In Russ.)]
20. Печчеи А. *Человеческие качества*. М.: Прогресс, 1985. [Pecchei A. *Human qualities*. Moscow: Progress, 1985. (In Russ.)]
21. Чукова Ю.П. *От М. Планка, А.Эйнштейна и Л.Ландау до Римского клуба*. М.: Мегapolis, 2020, 216 с. [Chukova Yu.P. *From M. Planck, A. Einstein and L. Landau to the Club of Rome*. М.: Megapolis, 2020, 216 p. (In Russ.)]
22. Вайцекер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. *Фактор четыре. Затрат – половина, отдача – двойная*. М.: Academia, 2000. [Weizsacker E., Lovins E., Lovins L. *Factor four. The costs are half, the return is double*. М.: Academia, 2000. (In Russ.)]

ENERGY LAWS OF THE BIOSPHERE AS A BASIS FOR PREDICTING THE FATE OF OUR CIVILIZATION

Chukova Yu.P.

Krasnopresnensky ecology Fund

Moscow, Russia; e-mail: y.chukova@mtu-net.ru

Abstract. Quantum thermodynamics, developed in the second half of the twentieth century for technical devices, turned out to be workable in the sphere of living beings (the biosphere). The thermodynamic law dictates its limitations and prohibitions where no one expected it. It was able to answer many questions of the biosphere formulated about 100 years ago and lying in the field of human vision, plant photosynthesis and photomovement of protozoa. The key to understanding all these processes was the entropy of the absorbed electromagnetic radiation (EMR), and the main characteristic was the efficiency of converting EMR energy into free energy. The condition for the stable functioning of the system is a linear increase of entropy generation rate in the system with an increase in energy absorption or its weak deviation from the linear dependence. Under these conditions, the efficiency increases according to the logarithmic law (the Weber-Fechner law). The most unexpected was the coincidence of the responses of the systems obeying the statistics of Bose-Einstein, Fermi - Dirac and Maxwell-Boltzmann. This means that the Weber-Fechner law is a thermodynamic law of very broad generality and significance. A linear increase of entropy generation rate can occur when the energy absorption of different types changes by 10 to 20 orders of magnitude, but with a higher absorption, the entropy generation rate begins to grow beyond linearly. This leads to a limited increase in efficiency and its subsequent decline. The difference between the biosphere and the noosphere is much smaller than between the living and inanimate world. The thermodynamic forecast for the fate of our civilization gives the same result as the work of the Club of Rome. This requires the most careful discussion, since thermodynamics (unlike the Club of Rome) allows for a positive outcome in the sense of preserving our civilization with a reasonable behavioral reaction of the population.

Key words: efficiency of energy conversion, Weber-Fechner law, limits of efficiency growth and all effects.