

Противоречие между первым и вторым законами термодинамики¹

Неудачные попытки изобретения вечного двигателя привели к установлению одного из фундаментальных законов природы — закона сохранения энергии. Этот закон иногда называют первым законом или первым принципом термодинамики. Мысль о неуничтожимости и несотворимости движения была высказана Декартом за триста лет до установления данного закона. Это не случайный факт: философское мышление зачастую опережает естественнонаучные факты. Самый закон сохранения энергии был установлен в результате работ Р. Майера и Дж. Джоуля в 1842–1848 гг. В результате опытов Джоуля было установлено, что при превращении 426,9 килограмметра энергии механического движения образуется одна большая калория тепла. Это количественное соотношение позволило установить связь между тепловой и механической энергией. К этому же времени оказалось возможным установить соответствующие эквиваленты превращения одних форм движения в другие формы. Таким образом, философское положение о неуничтожимости и несотворимости движения было доказано в середине прошлого столетия.

Однако неуничтожимость движения следует понимать не только в количественном смысле, но также и в качественном. Уже в 1860 г. было установлено, что не все формы движения могут полностью превращаться: так, например, очень легко превратить механическое движение в теплоту, однако обратное превращение теплоты в механическую работу осуществляется с

¹ Автор: П.Г. Кузнецов. Текст публикуется согласно изданию: Известия АН Эстонской ССР. Том VIII. Серия технических и физико-математических наук. 1959. №3. — с. 194–206.

большим трудом. Количественно переход теплоты в работу дается уравнением Карно

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (1)$$

где T_1 означает температуру нагревателя, T_2 — температуру холодильника и η — коэффициент полезного действия. Коэффициент полезного действия будет равен единице, если температура холодильника равна абсолютному нулю. Однако в условиях земной поверхности тепловые машины имеют температуру холодильника, равную средней температуре атмосферы земли, т. е. около 300° К . Если принять температуру пара равной 400° К , то по приведенной формуле Карно (1) коэффициент действия такой тепловой машины будет равен:

$$\eta = \frac{400 - 300}{400} = 0,25.$$

Приведенный расчет показывает, что только одна четвертая часть тепловой энергии, заключающейся в паре, может быть превращена в механическую работу. Остальная же часть тепловой энергии оказывается «неработоспособной». В силу отмеченного факта происходит непрерывное превращение полезной энергии (механической, электрической, химической и т.п.) в теплоту и общее количество действенной энергии непрерывно уменьшается. Это явление «деградации» энергии и составляет содержание второго закона термодинамики.

На основании этого закона целым рядом ученых делались выводы о тепловой смерти Вселенной. Несостоятельность этих выводов была показана еще Ф. Энгельсом на основе чисто философских соображений. Он показал, что качественное уничтожение движения противоречит закону сохранения энергии. Следует заметить, что вывод о тепловой смерти Вселенной до сих пор используется идеалистами для борьбы

против материализма (работы иезуита Г. Веттера и др.).

Отметив наличие противоречия между первым и вторым законами термодинамики, попытаемся проанализировать указанное противоречие.

ИСТОРИЯ ВТОРОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ

Как было отмечено в начале этой работы, второй закон термодинамики связан с уравнением Карно. Однако уравнение Карно было известно еще за 24 года до открытия закона сохранения энергии. В то время существовала теория теплорода, считавшая теплоту невесомым флюидом (жидкостью). Согласно этой теории, коэффициент полезного действия тепловых машин определялся гидростатической аналогией между падением воды и падением теплорода. Так, один килограмм воды, падая с высоты в десять метров, может совершить работу в десять килограммометров. Этот же килограмм воды, падая с высоты в сто метров, может совершить работу в сто килограммометров. Аналогично этому, падение теплорода от более высокой к более низкой температуре является причиной возникновения механической энергии. Расчеты, выполняемые по уравнению Карно для тепловых машин, всегда оправдывались, однако само это уравнение было выведено из предположения, что количество теплорода не изменяется. Установление факта, что теплота расходуется на выполнение работы, поставило под сомнение правильность уравнения Карно. Для сохранения справедливости теоремы Карно в новой теории теплоты потребовалось введение нового постулата, утверждавшего, что теплота может самопроизвольно переходить от более высокой к менее высокой температуре. Томсоном (Кельвином) были установлены абсолютный нуль и абсолютная шкала температур. Новый постулат был принят и вошел в науку на том основании, что не было фактов и явлений, ему противоречащих.

Проведенный Энгельсом анализ этого постулата позволил ему сделать вывод о существовании в природе процессов концентрации тепловой энергии, идущих вразрез с постулатом Томсона-Клаузиуса.

Обработка диаграммы Карно, выполненная Клаузиусом, привела к возникновению понятия энтропии:

$$S = \int \frac{dQ}{T}, \quad (2)$$

где S — энтропия, dQ — дифференциал количества теплоты и T — абсолютная температура.

Четкого физического содержания энтропия не имеет, однако Ауэрбах дает такое образное представление о ней. Если принять общее количество энергии за изображенную полоску —



то она может быть разделена на две части: на энтропическую и экстропическую. Энтропическая часть, по Ауэрбаху, представляет собою ту часть общей энергии, которая не может быть превращена в полезную работу, а экстропическая часть — это та часть общей энергии, которая может быть превращена в полезную работу. По второму закону термодинамики, величина энтропии в уравнении (2) в каждом природном явлении может быть либо равна нулю, либо быть величиной больше нуля. Из этого следует, что энтропическая часть в общем количестве энергии с течением времени непрерывно растет. Поэтому второй закон термодинамики иногда называют законом возрастания или увеличения энтропии. На том основании, что с течением времени экстропическая часть может исчезнуть, и делается вывод о тепловой смерти Вселенной. Вся энергия

сохраняется, но не остается ни одного эрга ее, который может быть использован для механического движения. Имеется наглядный пример, иллюстрирующий это положение. Бесчисленные звезды испускают колоссальное количество тепла в мировое пространство. С течением времени предполагается равномерное распределение теплоты во всем мировом пространстве. Так как возможность получения работы связана с наличием разности температур (по уравнению Карно), то в условиях отсутствия разности температур преобразование теплоты в работу произойти не может.

Именно поэтому Энгельс настаивал на существовании в природе процессов, в результате которых излученная в мировое пространство теплота должна иметь возможность снова сосредоточиться и начать активно функционировать. Поиски такого рода процессов являются закономерными с точки зрения диалектического материализма.

В 1878 г. Больцманом было показано, что значение интеграла Клаузиуса в уравнении (2), т.е. величина энтропии, может быть вычислена путем использования методов математической статистики. Доказанная Больцманом H -теорема долгое время оспаривалась Пуанкаре и Цермелло, но совпадение результатов вычислений привело к признанию больцмановского расчета и понятия энтропии. Энтропия, по Больцману, пропорциональна логарифму вероятности. С этого момента второй закон термодинамики получил новую, вероятностную интерпретацию. В этой вероятностной интерпретации постулат второго закона термодинамики получил мнимое доказательство. Действительно, давно известно, что ни один постулат (а второй закон термодинамики является постулатом) нельзя доказать, а в данном случае получено доказательство постулата. Кажущееся доказательство второго закона термодинамики основано на

введении гипотезы элементарного беспорядка. Уже Планком было замечено, что введение этой гипотезы позволяет однозначно определять значение макроскопических величин и одновременно даёт основание для справедливости второго закона термодинамики. Широкое применение термодинамики блестяще подтверждало гипотезу элементарного беспорядка и привело к возникновению представления о вероятностной Вселенной. Представление о вероятностной Вселенной эквивалентно гипотезе элементарного беспорядка. Тем не менее некоторые адепты этой теории забывают о необходимости доказательства гипотезы элементарного беспорядка. Вероятностная Вселенная постулирована так же, как и сам второй закон термодинамики. Вопрос обоснования статистики еще ждет своего решения. Именно в нем и заключается выяснение соотношения между статистическими и динамическими закономерностями современной физики.

Таким образом, в настоящее время выражение «второй закон термодинамики» включает в себя два понятия: с одной стороны — это постулат Томсона-Клаузиуса, с другой стороны — это положение, вытекающее из гипотезы элементарного беспорядка. Разрешение противоречия между первым и вторым законами термодинамики следует искать, в соответствии с высказыванием Энгельса, в процессах, в результате которых излученная в мировое пространство теплота получает возможность снова сосредоточиться и начать активно функционировать. Эти «антиэнтропийные», по выражению Циолковского, процессы представляют исключительный интерес для человечества. Овладение этими процессами обещает человечеству «горы хлеба и бездну могущества» (Циолковский). Мысли Циолковского, высказанные им в этой области, стали широко известными лишь в недавнее время,

благодаря замечательной книге И.И. Гвая [4].

На основании изложенного выше мы обращаемся к анализу природных явлений, стремясь выделить те из них, которые носят антиэнтропийный характер. В соответствии с двумя трактовками второго начала термодинамики, к ним будут относиться процессы, в результате которых излученная в мировое пространство теплота становится снова используемой (против постулата Томсона-Клаузиуса), либо процессы, характеризующиеся отрицательной энтропией, противоречащие гипотезе элементарного беспорядка. Как те, так и другие процессы известны уже давно, однако не подвергались анализу с позиций противоречия между первым и вторым законами термодинамики. Кроме того, мы остановимся на втором законе термодинамики как на законе, определяющем эволюцию неживой природы.

ПРОЦЕССЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ КАК РОД АНТИЭНТРОПИЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Указывая на возможность превращения теплоты в работу, целый ряд авторов называет процессы такого рода. К ним относятся флуктуации плотности газа в атмосфере (обуславливающие голубой цвет неба), броуновское движение, фотосинтез в зеленых растениях и др. Однако ни флуктуации плотности газа в атмосфере, ни броуновское движение не могут быть источниками механической работы, в то время как в результате фотосинтеза лучистая энергия накапливается и становится снова используемой. Обращаясь к анализу уже известных форм движения, мы видим, что существование такой формы движения, как органическая жизнь, целиком обуславливается накоплением лучистой энергии в процессе фотосинтеза в зеленых растениях. Сравнивая этот факт с указанием Энгельса о существовании формы движения материи,

в которой излученная в мировое пространство теплота получает снова возможность сосредоточиться и начать активно функционировать, мы видим, что органическая жизнь обладает упомянутым свойством. На этот факт противоречия между законом рассеяния энергии (иное название второго закона термодинамики) и эволюцией органической жизни обращали внимание Н.А. Умов, К.А. Тимирязев, В. Анри, В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, И.И. Гвай, В.Ф. Голосов, П.К. Ощепков, В.В. Ефимов и др.

Так, например, Н.А. Умов в своей речи на XI Съезде русских естествоиспытателей и врачей 20–30 декабря 1901 г. предлагал ввести третий закон термодинамики, противоположный второму закону, — закон, определяющий развитие живой природы. В своих дальнейших работах Н.А. Умов неоднократно возвращался к этому вопросу.

К.А. Тимирязев в замечательной крунианской лекции, прочитанной в 1903 г. в Лондоне, очень подробно останавливается на процессе фотосинтеза, указывая, что фотосинтез является процессом усвоения солнечного света. Более того, он указывает, что функция хлорофилла лежит в пограничной области между двумя великими обобщениями прошлого века, между учением о рассеянии энергии и учением Дарвина. Эти слова Тимирязева не совсем правильно были поняты некоторыми советскими биохимиками, считавшими, что К.А. Тимирязев не знал второго закона термодинамики. Приведенное высказывание К. А. Тимирязева, как правильно отмечает А.А. Ничипорович, связывается с мыслями Тимирязева о космической роли растений и о хлорофилловом зерне как своеобразном центре в мировом пространстве, где лучистая энергия получает возможность снова сосредоточиться. Именно хлорофилловое зерно процессом фотосинтеза связывает как

причину и следствие рассеивающуюся в мировом пространстве лучистую энергию (второй закон термодинамики) и органическую жизнь (закон эволюции Дарвина).

Еще более четко эта же мысль была выражена в работах академика В.И. Вернадского. Анализируя геохимическую историю земной коры, В.И. Вернадский использовал для объяснения геохимической истории второй закон термодинамики. Все процессы, не затронутые явлениями жизни, т.е. эволюция неживой природы, строго подчиняются второму закону термодинамики. Однако анализ геологических формаций, видоизмененных биологическими явлениями, привел академика Вернадского к выводу о неприменимости принципа Карно к биосфере, т.е. ко всей совокупности живого вещества на поверхности нашей планеты. «Во всей совокупности животные и растения, вся живая природа представляет природное явление, противоречащее в своем эффекте, в биосфере, принципу Карно в его обычной формулировке. Обыкновенно в земной коре в результате жизни и всех ее проявлений происходит увеличение действенной энергии.

...Ничто, однако, не заставляет нас делать новые гипотезы. Энтропия Клаузиуса не имеет реального существования; это не факт бытия, это математическое выражение, полезное и нужное, когда оно дает возможность выражать природные явления на математическом языке. Оно верно только в пределах своих посылок. Отклонение такого основного явления, каким является живое вещество в его воздействии на биосферу, в биосфере от принципа Карно указывает, что жизнь не укладывается в. посылки, в которых энтропия установлена» [2].

Приведенное высказывание Вернадского совершенно четко указывает на явления жизни как противоречащие второму

закону термодинамики. Не имея возможности в данной работе остановиться подробнее на механизме, обеспечивающем превращение лучистой энергии в скрытую химическую энергию, мы можем отметить, что именно он является одним из путей, по которому излученная в мировое пространство теплота получает возможность снова сосредоточиться.

Это направление научного исследования приведет человечество к освоению антиэнтропийных явлений. В связи с этим исключительный интерес представляют работы по радиационной теории катализа, ибо в ней причиной катализа является лучистая энергия, т.е. причина и самого фотосинтеза.

ПРОЦЕССЫ УПОРЯДОЧЕННОСТИ И СТРОЙНОСТИ КАК ПРОЦЕССЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЭНТРОПИЕЙ

Попытки применения статистической термодинамики к биологии привели к понятию отрицательной энтропии. Так, Э. Шредингер в своей работе «Что такое жизнь с точки зрения физики» пишет; «Каждый процесс, явление, событие — назовите это как хотите, — короче говоря, все, что происходит в природе, означает увеличение энтропии в той части мира, где это происходит. Так и живой организм непрерывно увеличивает свою энтропию — или, говоря иначе, производит положительную энтропию и таким образом приближается к опасному состоянию максимальной энтропии, которое представляет собою смерть. Он может избежать этого состояния, т.е. остаться живым только путем постоянного извлечения из окружающей его среды отрицательной энтропии, которая представляет собой нечто весьма положительное, как мы сейчас увидим. Отрицательная энтропия — вот то, чем организм питается. Или, чтобы выразить это менее парадоксально, существенно в метаболизме то, что организму удается освободить себя от всей той энтропии, которую он

вынужден производить, пока он жив.

...Для растений собственным мощным источником «отрицательной энтропии» служит, конечно, солнечный свет» [1].

Приведенное высказывание Шредингера связывает рассеянную лучистую энергию с понятием отрицательной энтропии.

Каков же физический смысл понятия «отрицательная энтропия»?

Во-первых, она ничем не отличается от энтропии Ауэрбаха и, таким образом, не является новым понятием. Однако способ, которым Шредингер вводит это понятие, заставляет желать лучшего. Шредингер формально вводит величину

$$-S = k \log \frac{1}{W}, \quad (3)$$

где $-S$ — отрицательная энтропия, W — вероятность.

Общее же содержание отрицательной энтропий говорит о степени невероятности этого процесса. Исходя из представления о вероятностной Вселенной, т.е. признавая гипотезу элементарного беспорядка, Шредингер вынужден постулировать новую причину, наводящую порядок в хаосе Вселенной. Эта причина отождествляется с вмешательством сверхъестественных сил, т.е. бога. Таким образом, забывая, что беспорядочность не является законом природы, Шредингер вынужден придумывать новые причины. Элементарно ясно, что живой организм, обладающий определенным анатомическим строением, не является системой, удовлетворяющей гипотезе элементарного беспорядка. На этом основании можно утверждать, что парадоксальное возникновение отрицательной энтропии связано с применением математического аппарата за

пределами посылок, для которых он предназначен.

Тем не менее, применение этого математического аппарата и понятия отрицательной энтропии, или негэнтропии, оказалось весьма плодотворным в кибернетике. Характерно, что отрицательная энтропия всегда оказывается связанной с биологическими явлениями. Так, например, Н. Винер в своей работе «Кибернетика и общество» пишет: «...при рассмотрении таких ограниченных процессов, как рост дерева или человеческого существа, которые прямо или косвенно зависят от излучения солнца, громадное уменьшение энтропии в отдельных местах может быть связано с совершенно умеренной передачей энергии. Таков один из основных фактов биологии, и в частности, теории фотосинтеза, или такого химического процесса, благодаря которому растение получает возможность использовать солнечные лучи для образования крахмала и других необходимых для жизни сложных химических веществ из воды и атмосферного углекислого газа.

Таким образом, вопрос о том, толковать ли второй закон термодинамики пессимистически, зависит от того значения, которое мы придаем Вселенной в целом, с одной стороны, и находящимся в ней местным островкам уменьшающейся энтропии — с другой. Запомним, что мы сами составляем такой островок уменьшающейся энтропии и живем среди других таких островков. В результате обычное перспективное различие между ближайшим и отдаленным заставляет нас придавать гораздо большее значение областям уменьшающейся энтропии и возрастающего порядка, чем Вселенной во всем ее объеме» [4].

Машины и механизмы, теория которых рассматривается в кибернетике, не являются самостоятельными природными образованиями, они созданы человеком. Именно поэтому они в той или иной мере моделируют определенные функции

человеческого организма. Сказанное относится в равной степени как к паровой машине, так и к современным электронным вычислительным машинам. По этой причине все они являются аналогами, более или менее грубыми, живого организма. Многочисленные попытки объяснения жизненных функций организмов по аналогии с машинами и механизмами страдают тем недостатком, что не учитывают еще неиспользованное в технике многообразие жизненных функций, механизм которых еще не раскрыт физиологией, биохимией, биофизикой и другими биологическими науками. С другой стороны, сами машины и механизмы уже включены в сферу жизни, хотя это и не жизнь индивидуального организма, а жизнь общественная. Тем не менее, общим как для машин и механизмов, так и для живых организмов является выполнение определенных антиэнтропийных функций.

Все вышеизложенное с достаточной ясностью показывает, что первоначальное понятие энтропии в вероятностной интерпретации претерпело значительное изменение. Если энтропия Клаузиуса могла быть либо существенно положительной величиной, либо равной нулю, то в настоящее время получило права гражданства понятие отрицательной энтропии, по духу противоположное понятию энтропии Клаузиуса. Этот факт еще не был достаточно оценен даже такими крупными специалистами, как Э. Шредингер и Н. Винер. Тем не менее факт этот подтверждает правильность гениального утверждения Энгельса. Только раскрытие механизма концентрации лучистой энергии позволит выяснить физический смысл отрицательной энтропии. В настоящее время это понятие выражает не более, как невозможность применения гипотезы элементарного беспорядка к живым организмам.

О ВТОРОМ ЗАКОНЕ ТЕРМОДИНАМИКИ КАК ЗАКОНЕ ЭВОЛЮЦИИ НЕЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Когда мы говорим о развитии неживой природы, то самым обыденным фактом этого развития считаем геологическую историю Земли. Изменения земной поверхности, медленно совершающиеся во времени, определяются историческими законами. В этом случае мы говорим об исторических законах геологического развития на основании уже известных законов физики и химии. Геохимия, как наука об историческом развитии земной коры, использует второй закон термодинамики как закон исторического развития. Так, очевидно, что со временем, благодаря воздействию ветра, влаги, углекислого газа, солнечных лучей, горы постепенно разрушаются и каменные осыпи, спускающиеся с гор, являются частным случаем выравнивания уровней земных масс. Расплавленная магма, излившаяся на поверхность земли, самопроизвольно охлаждается. В условиях земной атмосферы, весьма богатой кислородом, металлы окисляются, давая окислы, составляющие большинство руд. Все это — проявление второго закона термодинамики. Однако историю имеют не только земная кора, но и атомы химических элементов. Ядерные реакции беспрерывно изменяют соотношение между химическими элементами во Вселенной, приводя к образованию наиболее устойчивых ядер. Общий закон ядерной эволюции также определяется вторым законом термодинамики.

Следует заметить, что мысль о том, что природа имеет действительную историю во времени, высказывалась классиками марксизма еще до возникновения таких наук, как геохимия и химия ядра. В настоящее время можно считать установленным, что синтез ядер химических элементов осуществляется в природе из нейтронов. Поэтому мы можем

считать нейтроны исторически наиболее древними из природных образований. Мы можем говорить о времени, когда в природе еще не существовало атомов химических элементов, а материя имела нейтронное и еще неизвестное нам донейтронное строение. Распад нейтронов на протоны и электроны является синтезом ядер простейшего химического элемента — водорода. Захват ядрами водорода нейтронов приводит к возникновению дейтерия и трития (тяжелого и сверхтяжелого водорода). Захват нейтрона тритием приводит к возникновению следующего химического элемента — гелия. Процесс дифференциации материи от нейтронного к ядерному строению является причиной выделения ядерных излучений в мировое пространство. Данное выражение отличается от обычно приводимых тем, что причиной выделения энергии в пространство мы считаем исторический процесс развития материи. Выделяющееся излучение представляет собой следствие этого исторического процесса развития материи. После возникновения голых ядер химических элементов становится возможным процесс приобретения голыми ядрами электронных оболочек. Этот процесс также сопровождается выделением лучистой энергии в мировое пространство. Видимое излучение звезд и вызвано дифференциацией материи от ядерного к атомарному строению. Таким образом, рассеиваемая звездами в мировое пространство лучистая энергия является следствием формирования нормальных атомов в атмосфере звезд. Если процесс образования атомов в атмосфере звезд закончится, то звезда не будет нами восприниматься как раскаленное тело. Поэтому мы считаем, что вместо утверждения, что под влиянием высоких температур атомы теряют электронные оболочки в атмосферах звезд, следует говорить, что ядра химических элементов,

составляющие звезду, в процессе исторического развития еще не дошли до атомарного строения. Процесс образования химических соединений из атомов в газах, жидкостях и твердых телах также сопровождается выделением лучистой энергии в мировое пространство. Само собой разумеется, что последние процессы могут протекать лишь в небесных телах, где материя отдифференцировалась до атомарного строения. Типичным примером такого тела являются Земля и другие планеты Солнечной системы. Как мы видели, внешним проявлением исторического процесса развития материи является выделение лучистой энергии в мировое пространство. Это внешнее проявление процесса дифференциации материи было обнаружено наукой и послужило поводом к установлению второго закона термодинамики, означавшего в первоначальной формулировке лишь закон рассеяния энергии.

Анализируя причины выделения лучистой энергии в мировое пространство, мы можем утверждать, что под действием лучистой энергии на атомно-молекулярные постройки небесных тел типа Земли могут происходить обратные изменения. Однако эти изменения в атомно-молекулярных постройках вещества происходят не сами, а под воздействием лучистой энергии, приходящей извне. Вероятность процессов такого рода растет со временем, ибо со временем становится все больше и больше атомно-молекулярных построек — с одной стороны, и растет плотность лучистой энергии в мировом пространстве — с другой. Процессы такого рода противоположны общему направлению эволюции неживой природы, в силу чего они должны обладать качественным своеобразием.

ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ КАК ОДИН ИЗ АНТИЭНТРОПИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Биологию определяют как науку о законах движения организованной живой материи. Возникает вопрос, имеет ли живая материя свои особенные законы движения или биология является частью физики и химии. Мы считаем, что в основе живой материи, так же как и в основе неживой материи, должен лежать закон, определяющий историческое развитие живой материи, т.е. ее эволюцию. В настоящее время в науке распространены три точки зрения на основной закон биологии.

Первая точка зрения, приводящая к механицизму, является проявлением непонимания роли лучистой энергии в процессе развития жизни. Экстраполяция второго закона термодинамики с процессов развития неживой природы делает непонятным увеличение свободной действенной энергии живого вещества относительно веществ неживой природы. Правда, многие процессы, протекающие в живых организмах, сопровождаются возрастанием энтропии и уменьшением свободной энергии. Однако эти процессы могут протекать лишь в силу того, что фотосинтез накапливает необходимую для этих процессов свободную химическую энергию. Эта экстраполяция второго закона термодинамики на биологические явления вынуждает исключить фотосинтез из разряда биологических явлений. Между тем, именно в этом энергетическом отличии живых организмов, образующих биосферу, от процессов неживой природы заключается большая часть качественного своеобразия живого вещества. Прямой перенос второго закона термодинамики в область биологии порождает механицизм.

Вторая точка зрения, приводящая к витализму, состоит в том, что, признавая энергетическое отличие живого вещества от веществ неживой природы, вместо объяснения причин

возникновения этого энергетического отличия виталисты вводят мнимую причину жизни, чаще всего сверхъестественную: жизненную силу, энтелехию, боги и т.п. Так, например, Шредингер вынужден ввести мнимую причину, превращающую хаос неживой природы в упорядоченное строение живых тел. Эта точка зрения, как не дающая ничего для научного объяснения биологических явлений, не представляет интереса для положительного исследования.

Единственно правильной является третья точка зрения, согласно которой историческое развитие неживой природы во времени приводит к образованию исторических предпосылок возникновения жизни. Вещественной предпосылкой биологических явлений служит возникновение атомно-молекулярных построек вещества. Движущей силой, преобразующей атомно-молекулярные постройки неорганических веществ в живое вещество, является выделяющаяся в процессе исторического развития природы лучистая энергия. Возникновение живого вещества и эволюция жизни представляет собой вынужденный процесс, с необходимостью возникающий под действием лучистой энергии. Лучистая энергия в биологических явлениях выступает не как деградировавшая, обесцененная энергия, а как активная движущая сила всей биологической эволюции. Качественное своеобразие биологических явлений и объясняется антиэнтропийным характером эволюции живого вещества.

Интересной попыткой создания общей теории биологических явлений с использованием принципа «устойчивого неравновесия» является работа советского ученого Э.С. Бауэра «Теоретическая биология» [5]. В этой работе Э.С. Бауэр показывает отличие принципа устойчивого неравновесия от принципа Лешателье, рассматриваемого им как

одно из следствий второго закона термодинамики. По этому поводу Бауэр пишет: «Между двумя принципами — принципом Лешателье и установленным нами основным биологическим принципом — имеется, таким образом, внешнее сходство, заключающееся в том, что оба они содержат общее указание, в каком направлении будет происходить реакция, т.е. изменение состояния системы при каком-либо изменении состояния окружающей среды. Кроме того, оба принципа говорят, что изменение состояния системы направлено в некотором смысле против изменения состояния окружающей среды. Физический смысл в обоих случаях, однако, совершенно различен и не имеет друг к другу никакого отношения. Несмотря на это, иногда считают, что между этими двумя принципами имеется что-то общее, и что поведение живых систем при изменении состояния окружающей среды следовало бы выводить непосредственно из принципа Лешателье.

Эта ошибочная аналогия так же, как и аналогия динамического равновесия, влечет за собой нежелательные последствия, так как она физически неправильна и приводит к ошибочным, не соответствующим фактам заключениям. Чтобы это понять, надо иметь в виду следующее. Принцип Лешателье относится к системам, находящимся в равновесии, и изменение состояния, т.е. реакция системы, которую требует принцип при изменении окружающей среды, ведет именно к ожидаемому при данной окружающей среде равновесию, иначе говоря, принцип указывает, при каком именно направлении реакции при данной новой окружающей среде наступит равновесие.

Наш принцип относится к системам, не находящимся в равновесии, и изменение состояния, иначе — реакция систем, которую наш принцип требует при изменении окружающей среды, состоит в работе против ожидаемого при данной

окружающей среде равновесия, следовательно, именно против того изменения, которого следовало бы ожидать по принципу Лешателье, если бы система находилась в равновесии» [5, стр. 51–52].

Далее Э.С. Бауэр отмечает: «Лишь в том случае, если мы будем постоянно помнить об этих особых законах, об особом состоянии и строении живых систем, мы сможем понять процесс обмена веществ и застрахуем себя от ошибок при применении законов термодинамики» [5, стр. 59]. Учитывая, что работа Э.С. Бауэра была выполнена в 1935 г., когда второй закон термодинамики ни у кого не вызывал сомнения, мы не можем найти у него прямых высказываний, отвергающих этот закон. Сам же принцип «устойчивого неравновесия», как видно из содержания всей работы Бауэра, является своеобразным антиэнтропийным постулатом. Подтвержденный почти во всех разделах биологии, он представляет собою действительный закон эволюции живой природы. Этот же принцип логически приводит к показанному на большом количестве экспериментального материала принципу увеличения внешней работы, т.е. к доказательству того, что живые организмы по мере эволюции оказывают на окружающую среду все более активное воздействие. Высшим проявлением последнего принципа является человеческая деятельность, превратившаяся в самый активный геохимический фактор в космосе. «Земля — колыбель человечества. Но нельзя же всю жизнь провести в колыбели» — эти слова Циолковского звучат с новой силой в наш век освоения космического пространства. Прогрессивное развитие человечества и выход его в космос — таков закон развития органической жизни, подготовленный всей палеонтологической эволюцией.

Если выход человека в космическое пространство может

быть обеспечен с развитием ракетной техники в течение ближайших десяти-двадцати лет, то для активного выхода человечества в космос должна быть решена проблема промышленного синтеза продуктов питания. Решение этой проблемы избавит людей от рабской зависимости от урожая полей и поголовья скота.

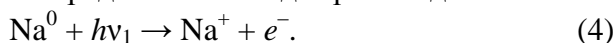
Хлорофилловый аппарат растений обладает коэффициентом полезного действия порядка 0,1–3%. За тысячелетия существования сельскохозяйственного производства этот коэффициент полезного действия почти не изменился. Тем не менее сельскохозяйственное производство по своей структуре, как отмечал академик В.Р. Вильямс, почти не отличается от промышленного производства. Действующая энергия подводится в виде кинетической энергии солнечных лучей, а хлорофилловый аппарат напоминает машину, преобразующую минеральные вещества почвы с помощью солнечного света в продукты питания. Однако несмотря на то, что данная аналогия имеет глубокий смысл, мы до сих пор не знаем механизма превращения лучистой энергии в скрытую энергию продуктов питания.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Последние работы в области фотосинтеза с помощью ультрафиолетовых лучей показывают реальную возможность разрешения основной проблемы фотосинтеза. Фотосинтезу, как и всякому другому роду синтеза, соответствует анализ. Этого анализа мы до сих пор не имеем, т.е. не имеем спектрального состава хемиллюминесцентного излучения, являющегося прямой противоположностью фотосинтеза.

Еще в 1924 г. советским ученым Гурвичем было обнаружено ультрафиолетовое излучение с длинами волн 1900–

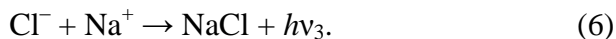
2400 Å (нижняя граница не точна, ибо область волн короче 1900 Å не пропускалась кварцевой оптикой). Эти лучи стимулировали клеточное деление, в силу чего и получили название митогенетических лучей. Последующими работами Г.М. Франка были получены спектры хемилюминесцентного излучения целого ряда важных биохимических реакций. Аналогичные работы были проведены французским ученым Одюбером. Однако названные работы не получили должной оценки, хотя именно они являются ключевыми для решения проблемы фотосинтеза. Эта мысль может быть иллюстрирована следующим примером. Возьмем одну из простейших реакций — взаимодействие атомарного натрия с атомарным хлором. Это взаимодействие можно представить в виде трех стадий.



На первой стадии атом натрия под действием света с частотой ν_1 в явлении фотоэффекта теряет электрон и превращается в ион натрия.

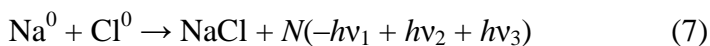


На второй стадии атом хлора захватывает потерянный атомом натрия электрон и превращается в ион хлора, выделяя при этом квант энергии с частотой ν_2 , равной энергии «средства» электрона к атому хлора.



Ион натрия соединяется с ионом хлора и образует молекулу хлористого натрия, выделяя при этом квант энергии с частотой ν_3 , равной энергии связи иона хлора с ионом натрия.

Записанные нами уравнения химических реакций отличаются от принятого написания учетом квантов энергии, принимающих участие в реакции. Без учета этих квантов энергии описание реакции будет неполным. Суммарное уравнение данной химической реакции имеет вид



и почти подобно термохимическому уравнению.



Однако вместо члена Q в уравнении (8) мы получаем это же значение в виде $N(-h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3)$ в уравнении (7). Уравнение (7) является более полным, ибо оно позволяет указать условия протекания обратной реакции. Действительно, облучая хлористый натрий светом частоты ν_3 , мы вызываем сдвиг фотохимического равновесия в левую часть уравнения (6). Облучая полученные продукты светом частоты ν_2 , мы вызываем сдвиг фотохимического равновесия в левую часть уравнения (5). Наличие в системе свободных электронов обеспечивает самопроизвольное течение реакции по уравнению (4) с излучением света частоты ν_1 . Излучение с частотой ν_2 и ν_3 и является хемилюминесцентным излучением. Знание частот хемилюминесцентного излучения (определение которых сопряжено с большим числом экспериментальных трудностей) позволит овладеть процессом фотосинтеза. Фотохимическая активность только одной частоты, определенной для каждой химической реакции, прямо вытекает из теории Эйнштейна и радиационной теории катализа. Попытки проверки радиационной теории катализа, основанные на расчете фотохимически активных частот из энергии активации, являлись научно не обоснованными. Величина энергии активации, определяемая экспериментально с большой погрешностью и подверженная резким изменениям в зависимости от условий постановки опыта, не могла использоваться для расчета фотохимически активных частот. Только создание хемилюминесцентного спектрального анализа позволит подойти к решению проблемы фотосинтеза.

Между прочим, энергия активации по уравнению (4)

приобретает четкий физический смысл. Кажущееся изменение энергии активации в катализе вызывается повышением плотности радиации с частотой ν_1 в сфере реакции.

Описанная реакция между натрием и хлором может быть изображена в виде схемы 1.

На этой схеме, внешне напоминающей принятые схемы химических реакций, изображены все стадии описанной реакции. Однако отличие схемы 1 от схемы 2 сводится к тому, что вместо энергии активации каждая стадия схемы 1 представляет собой процесс изменения заряда микросистемы.

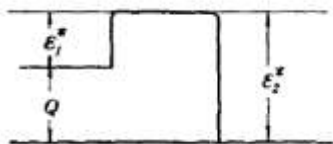


Схема 1

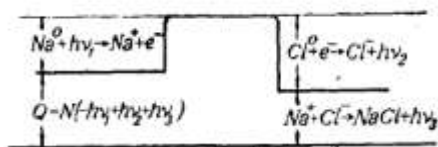


Схема 2.

Для понимания роли лучистой энергии в химических эндотермических реакциях мы введем некоторые новые понятия.

Для определения многих величин в химии часто пользуются отрицательным логарифмом концентрации. Примером такой величины является рН — отрицательный логарифм концентрации водородных ионов. Показатель рН, равный единице, означает, что в литре раствора находится примерно $6,06 \cdot 10^{22}$ ионов водорода, т.е. 0,1 грамм-молекулы.

Для определения концентрации химически активных молекул, т.е. молекул, претерпевших фотоэффект или термоэффект в сфере реакции, мы введем величину рI. Величина рI, равная 23, означает, что 6 молекул на грамм-молекулу претерпели названные изменения; соответственно величина рI, равная 20, означает, что 6060 молекул на грамм-молекулу

претерпели фото- или термоэффект.

Число молекул, претерпевших термо- или фотодиссоциацию, определится из распределения Больцмана:

$$dN = N \cdot e^{-\frac{E_d}{RT}}, \quad (9)$$

где dN — доля молекул, претерпевших термо- или фотоэффект или термо- фотодиссоциацию; N — общее число молекул; e — основание натуральных логарифмов; E_d — энергия диссоциации или фотоэффекта; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Это уравнение можно представить в виде:

$$\frac{dN}{N} = e^{-\frac{h\nu_d}{kT}}, \quad (10)$$

где h — постоянная Планка, ν_d — частота фотоэффекта или фотодиссоциации, k — постоянная Больцмана.

Остальные обозначения те же, что и в уравнении (9).

Отрицательный логарифм величины $\frac{dN}{N}$, обозначенной нами pI , будет равен:

$$pI = \frac{h\nu_d}{kT} = \frac{h\nu_d}{k} \frac{1}{T} \quad (11)$$

Полученную зависимость величины pI от $\frac{1}{T}$ можно изобразить графически (см. схему 3).

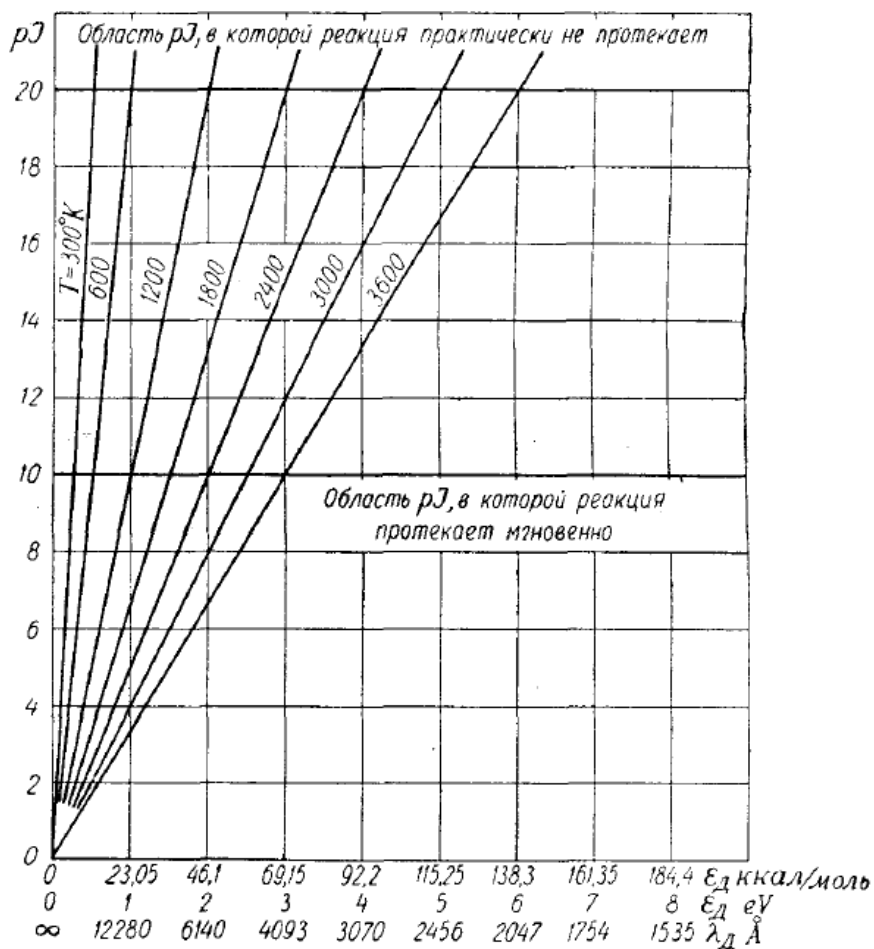


Схема 3.

На схеме 3 по оси ординат отложены значения rJ . По оси абсцисс отложены значения «энергии активации» (в смысле фото- и термодиссоциации) и соответствующие этим энергиям активации, т.е. работы разрыва химической связи в электрон-вольтах, а также длины волн фотонов, сообщаящих молекуле энергию, равную работе разрыва химической связи. Как установлено на основании экспериментальных данных, для

протекания химических реакций необходимо значение rI не выше 20, что и отмечено горизонтальной линией. Выше этой линии находится область значений rI , при которых реакция практически не идет. При значениях rI ниже 12–10 реакция протекает мгновенно, со взрывом. Радиальные линии, идущие из начала координат, дают значения rI для разных температур и разных энергий «активации». Как видно из приведенной схемы, значение rI , обеспечивающее протекание реакции, зависит от температуры и для энергии активации порядка 115 килокалорий на моль достигает нужного значения лишь при температурах выше 3000°K . Для температур порядка 300°K значение rI для этой реакции равно 200, т.е. можно считать достоверным, исходя из распределения Больцмана (и гипотезы элементарного беспорядка), что энергетический барьер непреодолим, и реакция протекать не может. Однако взглянув на нижнюю шкалу λ_d , мы можем сказать, что при одновременном (постоянном) поглощении $6 \cdot 10^4$ фотонов с длиной волны примерно 2456 \AA реакция делается возможной. Учитывая, что рекомбинация завершается через 10^{-8} секунды, можно утверждать, что световой поток из $6 \cdot 10^{12}$ фотонов в секунду и выше с длиной волны, равной или короче 2456 \AA , поглощаемый грамм-молекулой вещества, обеспечивает протекание термодинамически невероятной реакции.

Получение эффектов такого рода находится в противоречии со вторым законом термодинамики, ибо второй закон, исходя из гипотезы элементарного беспорядка, предусматривает отклонение в значениях энергии у отдельных молекул от среднего как функцию ошибок. При воздействии на систему излучением с определенной длиной волны мы изменяем распределение энергии между молекулами таким образом, который никак не предусмотрен законом вероятностей.

Однако освоение фотохимических процессов еще требует больших усилий ученых разных специальностей. Тем не менее эта задача будет решена, и человечество получит способ промышленного синтеза продуктов питания.

Литература

1. И.И. Гвай. Циолковский о круговороте энергии. Изд. АН СССР, М., 1957.
2. В.И. Вернадский. Избранные сочинения, т. I. Изд. АН СССР, 1954, стр. 218–223.
3. Э. Шредингер. Что такое жизнь с точки зрения физики. Изд. иностр. лит., М., 1947, стр. 102–106.
4. Н. Винер. Кибернетика и общество. Изд. иностр. лит., М., 1958, стр. 51–52.
5. Э.С. Бауэр. Теоретическая биология. ВИЭМ, 1935.

Поступила в редакцию 14.III.1959.