

## Thermodynamics and Life

G. P. Gladyshev

N. N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences International Academy of Creative Endeavors, Moscow

Термодинамика управляет всем, что происходит в мире. Термодинамика применяет аппарат полных дифференциалов и изучает изменение функций состояния. Термодинамика — движущая сила всех эволюционных явлений и процессов развития. Жизнь — явление, характеризующееся чередующимися несамопроизвольными и самопроизвольными процессами. Иерархическая структура живой материи возникает и формируется при участии межмолекулярных взаимодействий и различных физических полей. Окружающая среда определяет форму и строение живых объектов. *Ключевые слова:* термодинамика, эволюция, жизнь.

Thermodynamics governs by everything that happens in the world. Thermodynamics uses the apparatus of full differentials and examines changes of state functions. Thermodynamics is the driving force of evolution and development. Life — a phenomenon characterized by alternating non-spontaneous and spontaneous processes. The hierarchic structure of living matter is formed with the participation of supramolecular (intermolecular) interactions and the various physical fields. Environment determines the shape and structure of living objects. *Key words:* thermodynamics, evolution, life.



*«... истинная, единственная цель науки — раскрытие не механизма, а единства».*

**Анри Пуанкаре**

### Термодинамика

Термодинамика в ее классическом понимании основана на общих законах природы и опирается на аппарат полных дифференциалов. Ее применение возможно только при исследовании идеализированных равновесных систем, а также при изучении реальных квазиизолированных или квазизакрытых систем и квазиравновесных процессов [1—11].

Другими словами, термодинамику, практически, целесообразно использовать при условии, когда можно допустить, что функции состояния систем (то есть функции, имеющие полные дифференциалы) с достаточным приближением имеют реальный физический смысл. Исследование квазиизолированных или квазизакрытых систем и квазиравновесных процессов возможно методами кинетической термодинамики, при допущении, что функции состояния этих систем с заданным приближением близки к функциям состояния равновесных систем. Представление о полных дифференциалах является единственной математической основой, позволяющей однозначно характеризовать физическое состояние равновесной или квазиравновесной термодинамической системы.

Современную термодинамику интересуют как самопроизвольные, так и несамопроизвольные процессы, протекающие под действием любых физических сил и воздействий в гомогенных или гетерогенных системах.

Системы и процессы, не относящиеся к указанным случаям, не рассматриваются термодинамикой в строгом смысле этого термина. Они могут быть исследованы только чисто кинетическими методами. Однако следует иметь в виду, что многие авторы называли и продолжают называть термодинамикой разделы знания, которые относятся к области кинетики. Такими областями знания являются, например, «термодинамика» систем и процессов, далеких от состояния равновесия и

«термодинамика» диссипативных структур Ильи Пригожина. Кроме того, ряд авторов пытается применять эклектические приемы при изучении сложных явлений. Они не учитывают феноменологические подходы иерархической термодинамики, хорошо описывающей многие реальные гетерогенные системы.

Термодинамика, как и другие области науки, может независимо изучать подобные (однотипные) системы, относящиеся, как правило, к моноиерархическому типу. Только в этом случае обычно целесообразно записывать какие-либо дифференциальные уравнения, решение которых имеет реальный физический смысл. Термодинамика может также исследовать взаимодействие структур, принадлежащих к разным иерархиям. Однако в этом случае возможно появление нелинейностей, затрудняющих осмысление результатов исследований на научной основе.

Биологические системы являются полииерархическими, поэтому их общее описание (одновременно учитывающее детали процессов на всех иерархических уровнях) не перспективно с позиции науки. Однако если возможно выделять отдельные временные иерархические уровни в биологических системах, преобразования в таких отдельных иерархических уровнях можно исследовать независимо. Это также дает возможность, в линейном приближении, исследовать взаимодействие между смежными иерархическими уровнями и применять принцип стабильности вещества [6].

Оказалось, что существует закон — закон временных иерархий [3—6], который позволяет рассматривать процессы, протекающие на каждом иерархическом уровне, практически, независимо от процессов, протекающих на других иерархических уровнях. Это соответствует разумности описания физических явлений, основанной на разделении времен протекания (завершения) разнообразных процессов.

Для ясности осознания закона временных иерархий сделаю простое пояснение. Пусть в системе протекают интересующие нас процессы, которые завершаются в течение часа. Кроме того, пусть в этой же системе наблюдаются очень быстрые процессы, продолжительностью секунды, а также — протекают весьма медленные процессы, которые завершаются в течение года. Разумеется, мы можем исследовать интересующий нас процесс, независимо от быстрых и медленных процессов. Это вполне очевидно. Так вот, превращения структур в различных смежных иерархиях протекают в несоизмеримых временных иерархиях, то есть в иерархиях, временные масштабы которых отличаются знаками сильных неравенств. В этом и есть суть закона временных иерархий. Природа сама делает разделение многих процессов, скорости которых несоизмеримы [12—16]. Этот закон как бы дан нам природой извне. Поэтому его можно считать общим законом Природы.

Закон временных иерархий позволяет применять термодинамику к живым биологическим системам, а также ко многим системам реального мира, на-

пример, — к ряду геологических, атмосферных и экологических систем. Этот закон открывает путь обоснованного применения термодинамики к эволюции нашей Вселенной и отвечает на вопрос: «почему термодинамика может быть применена к любым живым и неживым системам, в которых протекают разномасштабные (независимые) временные процессы?»

### **Эволюция: самопроизвольные и несамопроизвольные процессы**

Наша Вселенная может рассматриваться как совокупность разнообразных структур — систем различных иерархий, эволюция в которых протекает в различных шкалах времени и диапазонах энергии [4—5]. Эволюционные превращения в изучаемых системах могут включать, как самопроизвольные, так и несамопроизвольные составляющие. Процессы, направленные к равновесию, протекающие за счет свободной энергии системы (или другой соответствующей функции состояния), называются самопроизвольными. Процессы, протекающие под воздействием внешней энергии, и удаляющие систему от равновесия, называются несамопроизвольными. Заметим, что иногда используют понятие «критерий спонтанности», который согласуется с упомянутыми нами представлениями о самопроизвольных и несамопроизвольных процессах.

В природных квазизакрытых сложных системах самопроизвольные процессы сопровождаются уменьшением функции Гиббса изучаемой сложной системы,  $G^*$ . Наоборот, несамопроизвольные превращения в таких системах связаны увеличением величины  $G^*$ . Здесь мы называем сложную систему, в которой кроме работы расширения существуют другие виды работы [4—6].

При изучении жизни, как явления, можно наблюдать постоянно чередующиеся несамопроизвольные и самопроизвольные процессы.

Рассмотрим систему «Солнце — Земля». Солнце самопроизвольно выделяет энергию, часть которой поглощается биосферой Земли.

С точки зрения биосферы, как самостоятельной системы, поступающая энергия может вызывать в ней несамопроизвольные процессы. Такими процессами является, например, возбуждение атомов и молекул, сопровождающееся превращением, стабильного в условиях Земли, химического вещества. Так, появление сахаров, аминокислот и других сравнительно термодинамически малостабильных соединений можно считать результатом несамопроизвольных превращений, протекающих под действием внешних источников энергии. Далее в результате самопроизвольных превращений нестабильного вещества образуются новые молекулы, которые так же в результате самопроизвольных процессов объединения (конденсации) образуют супрамолекулярные структуры высших иерархий.

Организмы и другие живые объекты взаимодействуют друг с другом и окружающей средой посред-

вом физических полей, запахов, других факторов, воспринимаемых разнообразными рецепторами [4—5]. Так, сигнал, как самопроизвольный процесс, посылаемый неким организмом, возбуждает рецептор другого организма. Процесс этого возбуждения следует считать несамопроизвольным процессом, протекающим за счет поступления энергии извне. Далее энергия возбужденного рецептора, например, по нейрону в виде электрического импульса самопроизвольно передается в мозг. Определенная область мозга под воздействием поступающего импульса (сигнала) несамопроизвольно возбуждается. Поступивший сигнал стимулирует действие мышц, что может вызывать реакции всего организма. Подобное чередование несамопроизвольных и самопроизвольных процессов наблюдается при адаптации организмов к изменению условий окружающей среды и т. д.

Общие термодинамические механизмы кругооборота вещества подобным образом проявляются во всех структурных иерархиях биомира в онтогенезе, филогенезе, эволюции и при адаптации [5, 6, 12].

Разделение процессов на самопроизвольные и несамопроизвольные помогает осознать явление жизни, ее возникновение и эволюцию на основе законов физики, в частности — термодинамики.

Из высказанных соображений, как и многих других известных положений [12—14], следует, что целесообразно использовать соображения Л. Больцмана, Э. Шредингера, И. Пригожина и других, которые сводят явление жизни и ее эволюцию только к росту энтропии Вселенной (или негэнтропии живых систем), как термодинамической функции состояния. Огромное количество недоразумений связано с непониманием или пренебрежением многими авторами основ классической термодинамики, а также иерархической термодинамики, применимой для описания эволюции живой и неживой материи [4—5, 12—15].

### **Супрамолекулярные взаимодействия определяют структуру и поведение живой материи**

Живые структуры (организмы и другие живые объекты) представляют собой совокупность упорядоченных структурных элементов различных иерархий. Элементами структурных иерархий, исследуемых при изучении явления жизни, являются атомы, молекулы, супрамолекулярные образования различной природы и размеров. К супрамолекулярным образованиям относятся молекулярные комплексы и ассоциаты, органоиды, клетки, ткани, организмы, популяции, сообщества, экологические системы и другие [4—6].

Все живые иерархические структуры и их подструктуры имеют определенный химический и супрамолекулярный составы. На нашей планете они обычно существуют и воспроизводятся в сравнительно ограниченном интервале физических параметров окру-

жающей среды. В связи с этим автор всегда выделял иерархическую термодинамику живых систем из общей иерархической термодинамики, описывающей поведение и эволюцию материальных структур Вселенной, возникновение и преобразование которых происходит в широком диапазоне изменения температуры, давления, других физических параметров и факторов.

Есть основания утверждать, что живые структуры, например организмы и их образования (сообщества), взаимодействуют при участии разнообразных рецепторов — супрамолекулярных структур характерного, для заданной иерархии, состава и размера. Заметим, что такое утверждение предполагает введение нового представления о супрамолекулярных рецепторах, которыми следует считать подобные структуры всех иерархий, которые воспринимают те или иные воздействия и физические поля, влияющие на существование и эволюцию живых объектов. Например, люди (*Human molecules*), животные и растения могут рассматриваться не только как супрамолекулярные структуры, но и как рецепторы при изучении взаимодействия популяции человека с популяциями других живых существ или с окружающей средой и т. п. Высказанные соображения, с первого взгляда, могут показаться необычными. Однако они не противоречат общеизвестным представлениям о природных индикаторах (рецепторах) — живых организмов. Особи многих живых существ, таких как насекомые, рыбы, растения и другие, широко используются для оценки качества окружающей среды.

Принятие нового «расширенного» представления о супрамолекулярных рецепторах обращает внимание на то, что использование разнообразных живых индикаторов имеет общее хорошее физическое обоснование и должно более широко использоваться в будущем.

В зависимости от химического и физического составов, строения и размера рецепторы могут быть чувствительны к определенным атомам и молекулам, радиации высокой энергии, температуре, давлению. Кроме того, как хорошо известно, они могут быть чувствительны к различным спектральным областям света, определенному диапазону частоты звука, разнообразным магнитным, электрическим, гидродинамическим и механическим полям, силе тяготения и другим воздействиям. Как уже, фактически, отмечалось, характерный размер рецепторов, принадлежащих к структурам различных иерархий и выполняющих определенные функции, может быть различен: от молекулы до сложных супрамолекулярных образований, достигающих довольно значительных размеров. Например, свет может взаимодействовать с рецепторами атомно-молекулярного размера, а слабое магнитное поле Земли проявляет себя на уровне значительных по размеру структур [3, 4]. Гравитационные, электромагнитные поля обрамляют (окружают) организмы, их скопления, популяции и другие высшие живые структуры. Организмы и многие объекты окружающей среды выделяют пахнущие вещества (запахи) разнообразной природы, которые

могут восприниматься живыми существами. Уместно даже говорить о молекулярных обрамляющих «полях» живых систем и т. д.

Действие всех разнообразных факторов на различные иерархические структуры живых систем можно отразить известным «символическим» уравнением:

$$dG^* = \sum_i dG_i^* = \sum_i S_i dT_i + \sum_i V_i dp_i - \sum_{i, k_i} x_{k_i} dx_{k_i} + \sum_{i, k_i} \mu_{k_i} dm_{k_i},$$

где обозначения общепринятые [4, 5, стр. 114]. При изучении отдельных иерархий, приведенное уравнение значительно упрощается в связи с пренебрежимо малой величиной отдельных его членов. Для каждой иерархии структур значимыми являются различные силы и факторы. В каждой иерархии существенны различные взаимодействия. Так, если рассматривать иерархии популяций, значения энтропийной составляющей сводятся практически к нулю. Говорить о влиянии энтропийного фактора в этом случае не имеет смысла. Совокупность действия всех возможных факторов во всех иерархических структурах определяет облик и форму живых организмов, их состав и строение.

В подавляющем большинстве случаев рецепторы подвергаются под действием притока энергии извне несамостоятельному возбуждению. Возбужденные рецепторы, теряя свое возбуждение, инициируют (стимулируют) самостоятельные превращения в биологических системах. Чередуя несамостоятельных и самостоятельных процессов адаптируют живые системы к меняющимся условиям окружающей среды. Такая адаптация наблюдается на всех уровнях организации живой материи. Детальная схема круговорота вещества, ранее представленная простой схемой [4, 5, 13], должна учитывать этих факты.

Отмеченные и подобные многочисленные обстоятельства хорошо известны современной науке. Однако многие детали механизмов действия физических полей на существование и эволюцию живого мира не выявлены. Поэтому некоторые наши заключения можно считать постулатами, хотя они, в принципе, не противоречат известным законам физики. Создание новых высокочувствительных экспериментальных методов, по нашему мнению, будет способствовать обоснованию высказанных постулатов. Наша уверенность в этом связана с мнением о том, что иерархическая термодинамика действует на всех уровнях организации живого мира. Заметим, что большинство профессиональных исследователей полагает, что термодинамика (термодинамика сложных квазиравновесных квазизакрытых систем), в рамках ее применимости, должна описывать все явления в природе, а также эволюцию нашей Вселенной. Другими словами, когда функции состояния систем в заданных шкалах времени с хорошим приближением имеют реальный физический смысл, уместно говорить о термодинамическом описании этих систем и их поведения.

Ясно, что взаимодействия в мире живого, как правило, сводятся к определенному диапазону известных энергетических взаимодействий, которые отражаются на поведении супрамолекулярных структур разнообразной природы. В ходе онтогенеза и филогенеза (эволюции) при усредненном постоянном притоке энергии в систему (под действием которого протекают постоянные или периодические несамостоятельные процессы) удельная функция Гиббса образования всех супрамолекулярных структур, как следствие самостоятельных превращений, стремится к минимуму. Вот почему в первой [3] и последующих публикациях автора [4—6] в рамках квазиравновесной хроматографической (абсорбционной) модели утверждалось, что общая (суммарная) величина удельной функции Гиббса образования супрамолекулярной структуры живой системы  $G(im)$  в онтогенезе и филогенезе стремится к минимуму.

Изменения структуры и особенностей функционирования всех иерархических уровней организмов, благодаря термодинамическому механизму обратных связей, сравнительно медленно воспринимаются структурой ДНК (РНК), становясь наследственно фиксированными [5, 6]. Можно полагать, что механизмы такой фиксации соответствуют принципу стабильности вещества и находятся, прежде всего, под контролем супрамолекулярной термодинамики. Благодаря многочисленным рецепторам и их избирательной чувствительности возникает огромное биологическое разнообразие организмов и других биологических структур.

Таким образом, вполне оправдано утверждение о том, что супрамолекулярная термодинамика является ключом осознания жизни как явления [5].

Автор полагает, что не существует каких-либо биологических явлений, для объяснения которых необходимо привлекать представления о существовании неких неизвестных «потусторонних сил», вымыслов и фантазий. Все достоверные необъясненные факты ждут своего осознания на основе законов иерархической термодинамики, созданной на фундаменте самой точной физической теории — классической термодинамики Уилларда Гиббса [2].

### О синергетике и системах далеких от равновесия

Синергетика в основном исследует поведение нелинейных систем, далеких от состояния равновесия. Это непосредственно следует из определения данной области знания. Так, синергетику часто определяют как междисциплинарную дисциплину, которая изучает образование и самоорганизацию форм и структур в открытых системах, далеких от состояния равновесия. Это определение дано Германом Хакеном, в свое время воодушевленным успехами теории лазеров. Однако сейчас многие исследователи стали обращать внимание на то, что синергетика, используя ранее известные кинетические подходы изучения систем, часто опирается на формаль-

ное математическое моделирование, отдаляющее нас от физики явлений. К тому же, синергетика исследует только явления динамической самоорганизации, которая, фактически, является кинетикой. Методы синергетики не позволяют делать какие-либо значимые вычисления и создавать, физически обоснованные, модели.

Чтобы осознать сказанное, следует вспомнить о смысле и возможностях науки, о ее представлениях, произрастающих из веков [7].

Изучение сложной — единой системы, образованной из неаналогичных — неподобных составных частей, с математической точки зрения, вряд ли перспективно.

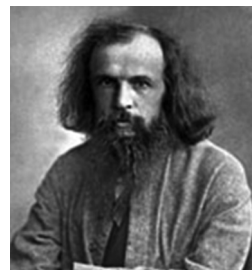
Математика позволяет успешно сочетать только подобное с подобным. Только при таком сочетании можно глубоко понимать физическую сущность явления и осмысливать его на основе общих законов природы [7, 16—18].

Изучение системы как единого целого, одновременно с позиции совокупности разнообразных «несоизмеримых превращений», как правило, следует считать «эклектическим». Обычно такой подход не свойственен науке.

Живые и другие полииерархические системы, а также, протекающие в них процессы, разумно изучать, выделяя отдельные структурные и временные иерархические уровни. Без такого выделения исследуемая система не может характеризоваться ни однородностью, ни относительной независимостью разнородных частей, ни простотой явлений. Без выделения отдельных иерархий математическая физика, как правило, бессильна. Здесь нет ни простоты, ни общности.

Подходы Л. Больцмана, Э. Шредингера, И. Пригожина и других [17], относительно перераспределения

энтропии и неэнтропии между живыми организмами на Земле и реальной Вселенной, хотя бы в связи с умозрительностью их моделей и представленными нами утверждениями, не могут быть использованы для каких-либо обоснованных вычислений. Здесь уместно также вспомнить высказывания Дмитрия Ивановича Менделеева [16] о том, что при познании мира надо бы избегать «утопий мечтательности, желающей постичь все одним порывом мысли».



Дмитрий Менделеев

Таким образом, я полагаю, что большинство синергетических подходов полезны только с точки зрения визуального изображения в виде схем и картинок. Синергетика и описание сложных систем и явлений как единого целого — «знание в картинках». Все изложенные соображения также относятся ко многим «достижениям» «постклассической науки».

**Автор благодарен профессорам Н. Н. Боголюбову, А. А. Логунову, В. П. Казакову и К. В. Судакову за советы.**

#### Литература

1. *Alberty Robert A., Silbey Robert J.* (2001). Physical Chemistry, 3rd Ed. New York: John Wiley & Sons.
2. *Gibbs W.* (1876). The Scientific Papers of J. Willard Gibbs: «On the Equilibrium of Heterogeneous Substances», Vol. 1, Thermodynamics. Connecticut: Ox Bow Press.
3. *Gladyshev G.* (1978) Journal of Theoretical Biology Volume 75, Issue 4, 21 December 1978, Pages 425—441.
4. *Gladyshev G.* (1997). Thermodynamic Theory of the Evolution of Living Beings. New York: Nova Science Publishers, Inc.
5. *Gladyshev G.* (2003). Supramolecular Thermodynamics — a Key to Understanding the Phenomenon of Life (in Russian). Moscow — Izhevsk. ISBN: 59397-21982.
6. *Gladyshev G.* (2006). «The Principle of Substance Stability is Applicable to all Levels of Organization of Living Matter.» Int. J. Mol. Sci. 2006, 7, 98—110. International Journal of Molecular Sciences (IJMS) (ISSN: 1422-0067 Online; ISSN: 1424-6783 CD-ROM; CODEN: IJMCFK). [PDF], [URL] <http://www.mdpi.org/ijms/papers/i7030098.pdf>
7. *Poincare Henry* (1905). «Hypotheses in Physics». Chapter 9 in Science and Hypothesis. London: Walter Scott Publishing (1905) Pages 140—159. [http://www.brocku.ca/MeadProject/Poincare/Poincare\\_1905\\_10.html](http://www.brocku.ca/MeadProject/Poincare/Poincare_1905_10.html) Русский перевод: Анри Пуанкаре. О науке. М: Наука, 1983.
8. *Thims Libb* (2007). Human Chemistry (Volume One). LuLu.
9. *Thims Libb* (2007). Human Chemistry (Volume Two). LuLu.
10. *Thims Libb* (2009). The Encyclopedia of Human Thermodynamics. <http://www.eoht.info/>
11. *Харутонов Юрий Я.* (2009). Физическая химия. Москва: «ГЭОТАР»-Медиа.
12. *Gladyshev Georgi P.* The invited speaker and guest. Lecture. The thermodynamic theory of aging in action: medical nutrition recommendations for patients of any age. Anti-Aging Therapeutics. Ed. Dr. R. Klats and Dr. R. Goldman, Volume IX, American Academy of Anti-Aging Medicine (A4M), 2007, Chicago, IL, USA. Chapter 20, P. 135—152. Copyright © 2007. American Academy of Anti-Aging Medicine. ISBN 978-1-934715-00-0 (print & CD-ROM).
13. *Gladyshev G. P.* Leonhard Euler's methods and ideas live in the thermodynamic hierarchical theory of biological evolution // International Journal of Applied Mathematics and Statistics (IJAMAS). 2007. Vol. 11. N07, November. P. 52—68. <http://www.ceser.res.in/ijamas.html> <http://www.ceser.res.in/ijamas/cont/2007/ams-n07-cont.html>
14. *Гладышев Г. П.* Иерархическая термодинамика — общая теория развития и существования мира. Вестник МАН, 2007, № 1, стр. 44—48.
15. *Гладышев Г. П.* Статьи в Knol. <http://knol.google.com/k/georgi-gladyshev/-/3hr52gyju6t3d/0#knols>
16. *Менделеев Д. И.* Основы химии. 2006. <http://chembank.ru/allbook/bkr2460164.html>
17. *Gladyshev G. P.* Mathematical physics and theory of evolution of living matter. <http://knol.google.com/k/georgi-gladyshev/-/3hr52gyju6t3d/15#>
18. *Гладышев Георгий.* Об одном заблуждении в биофизике. <http://knol.google.com/k/georgi-gladyshev/-/3hr52gyju6t3d/14#>