

## ТЕРМОДИНАМИКА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Н.Р.Галль, Л.Н.Галль<sup>1</sup>,

Физико-Технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Политехническая ул., 26, Санкт-Петербург, 194021, Россия, [gall@ms.ioffe.ru](mailto:gall@ms.ioffe.ru)

<sup>1</sup>Институт аналитического приборостроения РАН, Рижский пр., 26, СПб, 190103, Россия, [Ingall@narod.ru](mailto:Ingall@narod.ru)

Хорошо известно, что живые системы, в противоположность косной материи, обладают свойством уменьшения энтропии, т.е. повышения упорядоченности. Это свойство относится ко всем известным на сегодня уровням проявления живого: от индивидуальной клетки до биосферы нашей планеты в целом; однако темой настоящей работы является минимальный, молекулярный уровень проявления живого. В настоящее время, с термодинамической точки зрения, «живое» описывается так называемым «проточным равновесием», как состояние системы, очень далекой от равновесия и открытой, которая обменивается веществом и (или) энергией с окружающей средой, т.е. имеет источники и стоки материи. Эти источники и стоки, как правило, имеются не в одной, а во многих точках системы. При этом сама система продуцирует негэнтропию, т.е. уменьшает обычную Больцмановскую энтропию. Такое поведение живой системы накладывает на нее жесткие и весьма своеобразные ограничения: ни сама эта система, ни любая ее подсистема, в которой продуцируется негэнтропия, не может находиться ни в равновесии, ни в локальном равновесии, ни даже в какой-либо ближней окрестности равновесия. Для реализации описанной выше ситуации должен существовать физический механизм, поддерживающий каждую микроскопическую часть живой системы в неравновесном, но в среднем стационарном состоянии, и не позволяющий ей релаксировать к состоянию равновесному, поскольку равновесное состояние – это смерть живой системы.

В современной биологии принято считать, что функционирование живых систем определяется исключительно химическими реакциями между биополимерами. Но из вышесказанного с очевидностью следует, что биохимические реакции *in vivo* должны протекать в существенно неравновесной обстановке, причем она принципиально не может быть смоделирована никакими опытами *in vitro*, т.к. «в пробирке» мы всегда имеем или локальное равновесие, или его ближнюю («онзагеровскую») окрестность. Наоборот, в живом неравновесность должна распространяться вплоть до молекулярного уровня, и это состояние должно поддерживаться постоянно и в каждой части системы, чтобы обеспечить ее гомеостаз.

Возможное решение этой проблемы вытекает из предложенной и обоснованной нами в 2008-2011 гг модели молекулярной биоэнергетики. Ее суть состоит в том, что для существования (самоорганизации) живой системы необходимо одновременное присутствие и взаимодействие трех материальных факторов: биополимеров, водной среды и энергии. В стационарном состоянии живой системы ее водная среда является самоорганизованной в фрактальные кристаллы, связанные водородными связями с поверхностью биополимеров, причем движение энергии по цепям биополимеров, осуществляющееся в когерентной форме (солитоны), поддерживает их энергонапряженное состояние. Та же энергия имеет конечную вероятность переизлучиться в окружающую среду по тем же водным фрактальным кристаллам, служащим для нее своеобразными приемно-передающими антеннами когерентного излучения, обеспечивая между биополимерами обмен энергетическими импульсами. Создающаяся так структура: биополимерные молекулы с бегущими по ним солитонами, покрытые адсорбированными фрактальными водными кристаллами, и является элементарной единицей живой материи, молекулярной основой ее живого состояния. Отметим, что в данной модели мы имеем все термодинамические характеристики, описанные выше. Система неравновесна и далека от равновесия; при этом каждая ее подсистема также неравновесна и также далека от равновесия. Ее неравновесное состояние обеспечивается источниками энергии, в любых формах поступающей в биополимерно-водную структуру, воспринимаемой и преобразуемой ею в энергию когерентную. В той же структуре имеются стоки энергии: она разделяется на два потока – биохимический и управляющий. Биохимический поток является внутренним, обеспечивающим эндоэргические химические реакции биополимера с внешними молекулярными партнерами. Управляющий поток является внешним, излучаемым структурой через водную подсистему. Эти потоки бесконтактно связывают структуры между собой в единные молекулярные ячейки – основу субклеточной организации живой системы. Прекращение потока энергии означает смерть системы: химический состав и даже взаимное расположение молекул при этом практически не изменятся, но движение энергии прекратится, не поддерживаемые энергией водные фракталы распадутся и образуют обычную водную среду протоплазмы мертвой клетки.

Экспериментально известно, что целый ряд биохимических реакций, протекающих *in vivo*, хорошо воспроизводится *in vitro*, в то время как множество других не воспроизводятся никак. Этого и следует ожидать: реакции со значительным сродством или с низким активационным барьером пойдут легко и в окрестности термического равновесия, они не требуют внутреннего притока энергии. Наоборот, реакции, в которых важна конформация молекул и/или которые требуют активации, пойдут в живой системе, но не пойдут в мертвой. Правильно подобрав активирующие потоки энергии, можно получить гораздо лучшее воспроизведение биохимических свойств живого, чем в современных биохимических экспериментах.

## THERMODYNAMICS OF MOLECULAR LIVING SYSTEMS

N.R.Gall, L.N.Gall<sup>1</sup>

Ioffe Physico-Technical Institute, Saint-Petersburg, RU, [gall@ms.ioffe.ru](mailto:gall@ms.ioffe.ru); <sup>1</sup> Institute for Analytical Instrumentation, Saint-Petersburg, RU; [Ingall@narod.ru](mailto:Ingall@narod.ru)