

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ  
АКАДЕМИЯ ИМ. И.И. МЕЧНИКОВА ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА  
ПО ЗДРАВООХРАНЕНИЮ И СОЦИАЛЬНОМУ РАЗВИТИЮ

**Доброборский Б.С.**

# **ТЕРМОДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Учебное пособие**

*под редакцией профессора Е.С. Мандрыко*

Санкт-Петербург  
2006

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ  
АКАДЕМИЯ ИМ. И.И. МЕЧНИКОВА ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА  
ПО ЗДРАВООХРАНЕНИЮ И СОЦИАЛЬНОМУ РАЗВИТИЮ

**Доброборский Б.С.**

# **ТЕРМОДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Учебное пособие**

*под редакцией профессора Е.С. Мандрыко*

Санкт-Петербург  
2006

СПбГМА им. И.И.Мечникова, кафедра медицинской и биологической физики

Доброборский Б.С. **Термодинамика биологических систем** /Под редакцией проф. Е.С.Мандрыко/- СПб: СПбГМА им. И.И.Мечникова.-2006. 52с.

В учебном пособии рассмотрены основные положения равновесной и неравновесной термодинамики, термодинамика биологических систем, основанная на работах Э.Бауэра, природа и роль биоритмов в обеспечении устойчивости неравновесного термодинамического состояния живых организмов, проблема биологических часов, теоретические основы фенотипической адаптации, способы количественной оценки воздействия на живые организмы различных нагрузок.

Учебное пособие предназначено для студентов высших медицинских учебных заведений.

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ

1. Лобов Геннадий Иванович, д.м.н., проф., зав. кафедрой нормальной физиологии СПб ГМА им. И.И.Мечникова;
2. Рюмцев Евгений Иванович, д. ф-м наук, проф., заслуженный деятель наук Р.Ф., зав. каф. физического факультета СПб ГУ, директор НИИ физики СПб ГУ.

Печатается по решению Ученого совета СПбГМА им. И.И.Мечникова

# Введение

Биология как наука является одной из старейших в мире.

Уже в Ветхом завете, насчитывающем более 3000 лет, имеются конкретные биологические сведения о растительном и животном мире, даны рекомендации о режиме питания, применении в пищу тех или иных видов растительности. До нашего времени дошли труды многих великих ученых древности: Аристотеля, Авиценны и других, внесших огромный вклад в понимание биологических процессов. Тем не менее, за всю многовековую историю биологии из-за исключительной сложности изучаемого предмета ученым так и не удалось полностью раскрыть секреты механизмов и движущих сил, обеспечивающих жизнеспособность живых организмов.

Достаточно сказать, что даже само определение жизни до настоящего времени не однозначно. В связи с этим за все время своего становления, вплоть до начала 20-го века, биология как наука опиралась на различные гипотезы и теории, которые периодически опровергали друг друга по мере ее развития и получения новых научных данных.

Принципиально новым шагом в биологии стала работа Эрвина Симоновича Бауэра «Теоретическая биология», опубликованная в 1935 году.

В этой работе им впервые было установлено, что живые организмы всегда находятся в состоянии термодинамического неравновесия, что противоречило популярной в то время теории термодинамического равновесия (первому и второму началам термодинамики). Практически одновременно с Э. Бауэром, в 1931 г. Ларс Онсагер открыл первые общие соотношения (соотношения взаимности) неравновесной термодинамики в линейной, слабо неравновесной области. Соотношения взаимности Онсагера были первым значительным результатом в неравновесной термодинамике – термодинамике необратимых процессов.

В дальнейшем основные работы в области теории неравновесной термодинамики были выполнены бельгийским физиком и физикохимиком, лауреатом Нобелевской премии 1977г. Ильей Романовичем Пригожиным.

Тем не менее, до настоящего времени, несмотря на огромный накопленный материал, биология является в основном наукой описательной. Получение той или иной биологической информации часто достигается статистически, путем огромного количества экспериментов и наблюдений. В результате этого целый ряд важнейших научных данных до сих пор является недоступным. В качестве примера можно привести проблему количественной оценки сочетанного воздействия на живые организмы нескольких различных физических и химических нагрузок.

Поэтому одними из важнейших задач современной биологии являются определения законов, описывающих физически и математически принципы и процессы функционирования живых организмов.

В настоящем учебном пособии предлагаются новые материалы, позволяющие взглянуть на процессы, происходящие в живых организмах, как на открытые термодинамические системы, находящиеся в устойчивом неравновесном термодинамическом состоянии.

# Глава 1

## Термодинамика и «Всеобщий закон биологии» Бауэра

### 1.1. О становлении термодинамики как науки

**Термодинамика** - наука о наиболее общих свойствах макроскопических материальных систем, находящихся в различных состояниях относительно термодинамического равновесия, и о процессах переходов между этими состояниями.

К настоящему времени термодинамика содержит два основных раздела:

#### 1. Равновесная термодинамика (термодинамика изолированных систем)

В основном разработана в середине 19-го – начале 20-го века и содержит три закона – три «Начала»:

- в середине 19-го века Ю. Р. Майером, Дж. Джоулем и Г. Гельмгольцем был сформулирован первый закон термодинамики - «Первое начало термодинамики».
- в 1850 году Р. Клаузиусом, и независимо от него в 1851 году У. Томсоном было сформулировано «Второе начало термодинамики».
- в 1906 году В. Нернст сформулировал «Третье начало термодинамики».

#### 2. Неравновесная термодинамика (термодинамика открытых систем)

Разработана в 20-м веке. Содержит два основных подраздела:

- слабо неравновесную термодинамику, основы которой разработаны в 1931 Л. Онсагером;
- сильно неравновесную термодинамику, в основном разработанную Г. Хакеном, И. Пригожиным и Р. Томом в середине 20-го века.

Первой работой в области неравновесной термодинамики в биологии является опубликованная в 1935 году книга Э.Бауэра «Теоретическая биология», в которой был сформулирован «Всеобщий закон биологии».

### 1.2. Основные термины и положения термодинамики

**Система** – это совокупность материальных объектов (тел), ограниченных каким-либо образом от окружающей среды.

В зависимости от характера взаимодействия с окружающей средой термодинамические системы делятся на три типа:

- 1) **изолированная** – система, которая не обменивается с окружающей средой ни веществом, ни энергией;

- 2) **замкнутая** – система, которая может обмениваться с окружающей средой лишь энергией и не может обмениваться веществом;
- 3) **открытая** – система, которая обменивается с окружающей средой и энергией, и веществом.

Живые организмы являются открытыми системами.

Состояние любой термодинамической системы характеризуется двумя группами параметров:

**Интенсивными** термодинамическими параметрами (давление, температура и др.), не зависящими от массы или числа частиц в системе;

**Экстенсивными** термодинамическими параметрами (общая энергия, энтропия, внутренняя энергия), зависящими от массы или числа частиц в системе.

Изменение параметров термодинамической системы называется **термодинамическим процессом**.

**Энергию** системы ( $W$ ) можно представить как совокупность двух частей: зависящую от движения и положения системы как целого ( $W_{ц}$ ) и не зависящую от этих факторов ( $U$ ).

$$W = W_{ц} + U \quad (1.1)$$

Вторую составляющую этой совокупности  $U$  называют **внутренней энергией** системы.

Она включает энергию теплового движения частиц, а также химическую и ядерную энергию, определяющую поступательное, колебательное и вращательное движение молекул, внутримолекулярное взаимодействие и колебание атомов, энергию вращения электронов.

Внутренняя энергия в свою очередь разделяется на **свободную энергию** и **связанную энергию**.

Свободная энергия ( $G$ ) – та часть внутренней энергии, которая может быть использована для совершения работы.

Связанная энергия ( $W_{св}$ ) – та часть энергии, которую нельзя превратить в работу.

$$U = G + W_{св} \quad (1.2)$$

**Потоки и Термодинамические силы.** В термодинамических системах, в которых имеются градиенты температуры, концентраций компонентов, химических потенциалов, возникают необратимые процессы теплопроводности, диффузии, химических реакций.

Эти процессы характеризуются тепловыми и диффузионными потоками, скоростями химических реакций и т.д.

Они называются общим термином «потоки» и обозначаются  $J_i$ , а вызывающие их причины (отклонения термодинамических параметров от равновесных значений) — термодинамическими силами ( $X_k$ ).

Связь между  $J_i$  и  $X_k$ , если термодинамические силы малы, записывают в виде линейных уравнений:

