

# **Термодинамика биологических процессов**

1. Важнейшее свойство живых систем заключается в их способности улавливать, преобразовывать и запасать энергию в различных формах.

**Общие законы превращения энергии изучаются термодинамикой (Т).**

2. Законы термодинамики **универсальны** для живой и неживой природы, но Т изучает закономерности, не связанные с конкретной атомно-молекулярной структурой вещества. **Т – феноменологическая наука.**
3. Законы и методы термодинамики приложимы только к **макроскопическим системам**, состоящим из большого числа частиц.
4. Согласно I закону Т, **различные виды энергии могут переходить друг в друга, но при этих превращениях энергия не исчезает и не появляется из ничего. Это закон сохранения энергии.**

## Формулировка 1-го закона термодинамики для различных термодинамических систем

**В изолированной системе** полный запас энергии – величина постоянная и возможны только превращения одного вида энергии в другой:

$$U = \text{const} \quad \Delta U = 0$$

**В замкнутой системе** изменение внутренней энергии  $\Delta U$  равно сумме подведенного к системе тепла  $\Delta Q$  и произведенной над данной системой работы  $\Delta A$ :

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta A$$

**В открытой системе** все виды работ в организме совершаются за счет эквивалентного количества энергии, выделяемой при окислении питательных веществ.

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta A$$

1-й закон термодинамики подводит **энергетический баланс** организма и запрещает существование **вечного двигателя 1-го рода**, который мог бы производить больше энергии, чем потреблял бы в процессе своей работы (т.е. мог бы «создавать энергию»).

# Применимость I закона термодинамики к живым системам



Антуан Лоран Лавуазье  
(1743-1794)

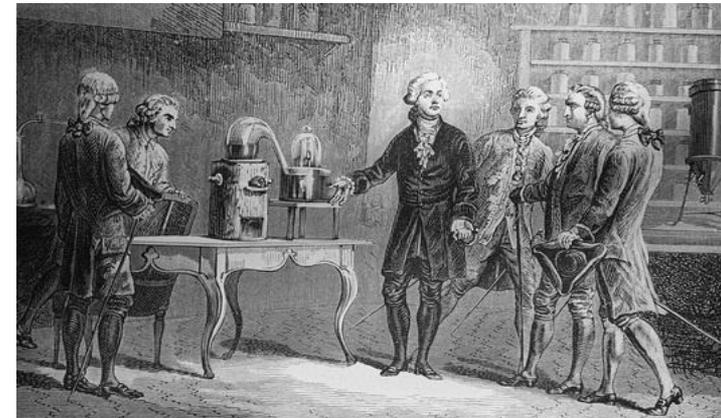
Анри Лавуазье и Пьер Лаплас показали, что дыхание животных есть **медленное горение**, за счёт которого в организме поддерживается всегда постоянный запас тепла. Исследования «химии» животной теплоты, проведенные Лавуазье и Лапласом, стали первым важным шагом в борьбе с **витализмом** — учением, которое господствовало в биологии так же, как учение о флогистоне — в химии, и согласно которому всеми жизненными процессами управляла особая нематериальная «жизненная сила».



Пьер-Симон де Лаплас  
(1749-1827)

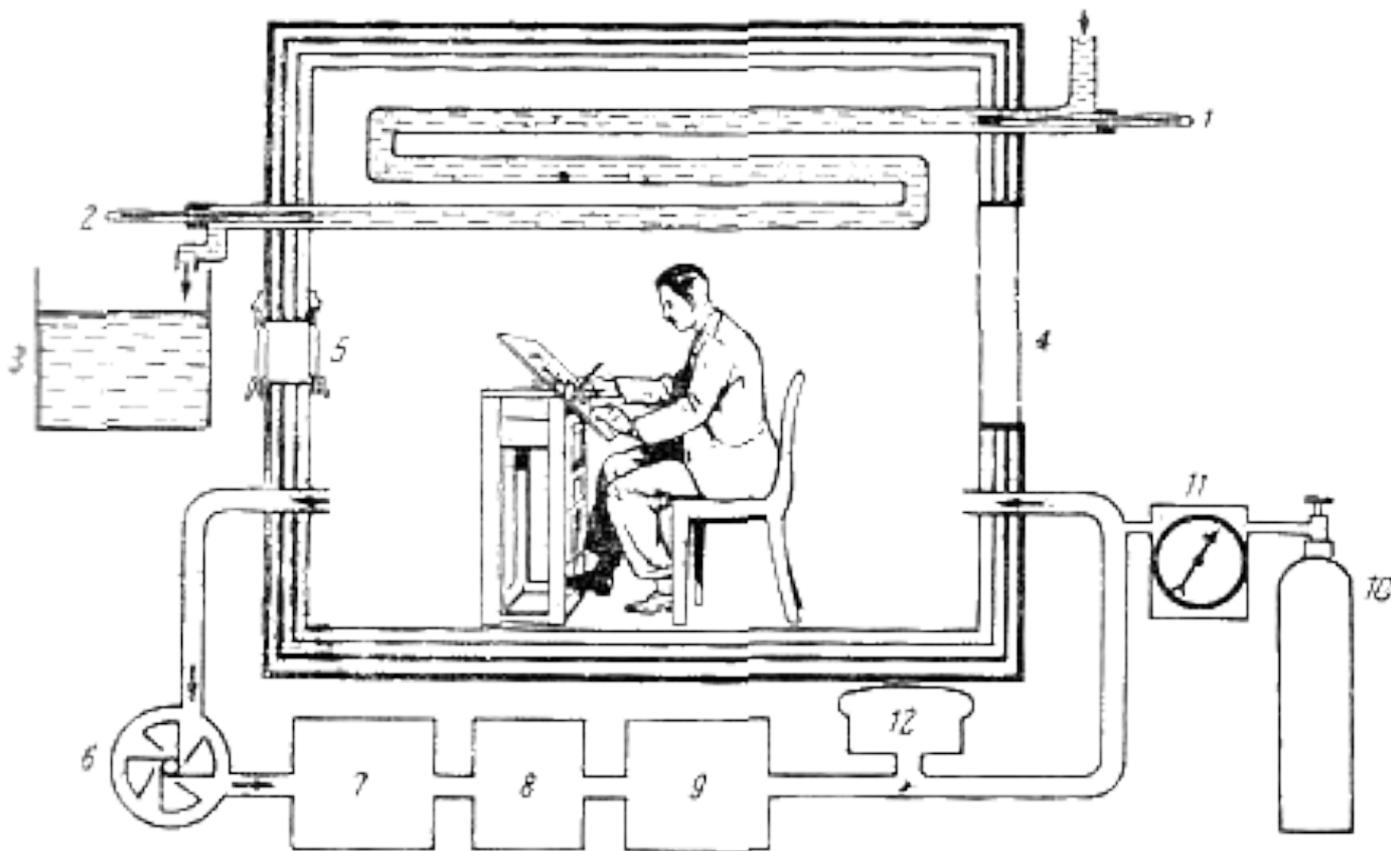


Пневматическая установка



Ледяной калориметр

# Схема калориметра Этуотера — Бенедикта (1899)



*Продуцируемое организмом человека тепло измеряется с помощью термометров (1 и 2) по нагреванию воды, протекающей по трубам в камере.*

**Живые организмы - открытые термодинамические системы, существующие в условиях постоянного давления и температуры. Поэтому для оценки их жизнедеятельности важна еще одна термодинамическая функция - **энтальпия**.**

***Энтальпия*** (от греч. - нагреваю) - это та энергия, которая доступна для преобразования в теплоту при определенных температуре и давлении.

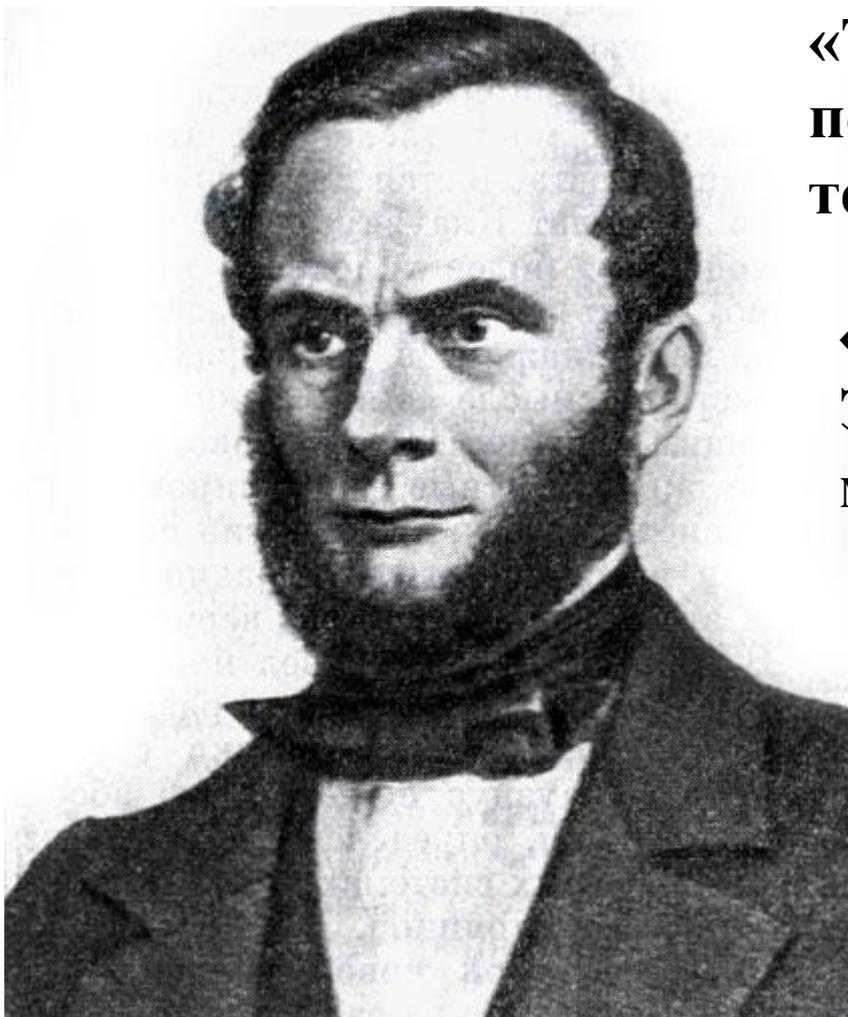
Рассчитывается по формуле:

$$H=U + P \cdot V$$

где **H** - энтальпия, **U** - внутренняя энергия, **P** - давление, **V** - объём.

**Второе начало термодинамики имеет несколько формулировок, но в главном – это фундаментальный закон монотонного возрастания энтропии. Первый закон всех наук (А.Эйнштейн), высший метафизический закон Вселенной (А.Эддингтон).**

**1850 г. - Немецкий физик Рудольф Клаузиус сформулировал второе начало термодинамики.**



**«Теплота не может сама собою перейти от более холодного тела к более тёплому».**

**«Энергия мира не изменяется. Энтропия мира стремится к максимуму.»**

**В 1865г. ввёл понятие энтропии**  
*(от греч. Entropía - превращение)*



**Уильям Томсон (лорд Кельвин)**

**Невозможен вечный  
двигатель 2-го рода,  
т.е. невозможна  
машина, которая  
изотермически  
превращала бы  
тепло в работу (У.  
Томсон)**

**Первый закон утверждает нас в мысли, что «нечто», называемое нами **энергией**, постоянно, второй же закон говорит о все возрастающей недоступности этой энергии из-за другого «нечто», называемого нами **энтропией** (Уильямс).**

**Увеличение энтропии (S) является платой, взимаемой природой за каждое использование энергии (А.Г.Пасынский).**

**2-ой закон термодинамики – «**стрела времени**» самопроизвольной эволюции системы (А.Эддингтон)**

Под энтропией ( $S$ ) понимают количество теплоты, которое уже **не может** быть превращено в механическую работу. Это некоторое количество энергии, которая остается **недоступной** для дальнейшего использования.

Согласно Р. Клаузиусу, энергия Вселенной **постоянна** (если она и теряется, то теряется не количественно, а **качественно**), **энтропия же стремится к максимуму**. И производство энтропии определяет направление течения процесса.

1. **Энтропия** – это физическая величина, характеризующая значение **связанной энергии** данной системы, приходящейся на единицу температуры (1К) .

2. **Изменение энтропии  $\Delta S$  системы равно отношению количества теплоты ( $\Delta Q$ ), сообщенного системе, к температуре (Т):**

$$\Delta S = \Delta Q/T$$

3. Энтропия является **функцией состояния**, т. е. определяется параметрами системы в данный момент и совершенно не зависит от её «истории».

4. Энтропия - это мера **неупорядоченности** состояния системы. Энтропия измеряется в тех же единицах, что и теплоемкость, - Дж/моль·К, где К - температура по Кельвину.

5. Энтропия изолированной системы сохраняет постоянные значения для обратимых процессов ( $S=\text{const}$ ), возрастает при необратимых ( $S>0$ ) и достигает максимума при термодинамическом равновесии.

$$\Delta S = \Delta Q/T \geq 0$$

$$dS \geq 0$$



**Людвиг Больцман  
(1844-1906)**

1. На основе атомистической гипотезы и кинетической теории газов Больцман впервые дал физическую трактовку энтропии, исходя из понятий **статистической физики**.
2. По Больцману, **энтропия – мера молекулярного хаоса и закон ее возрастания отражает возрастающую дезорганизацию системы.**
3. Энтропия каждого макросостояния связана с вероятностью реализации этого состояния, т.е. с термодинамической вероятностью ( $W$ ):

$$S = k \ln W$$

$S$  - энтропия

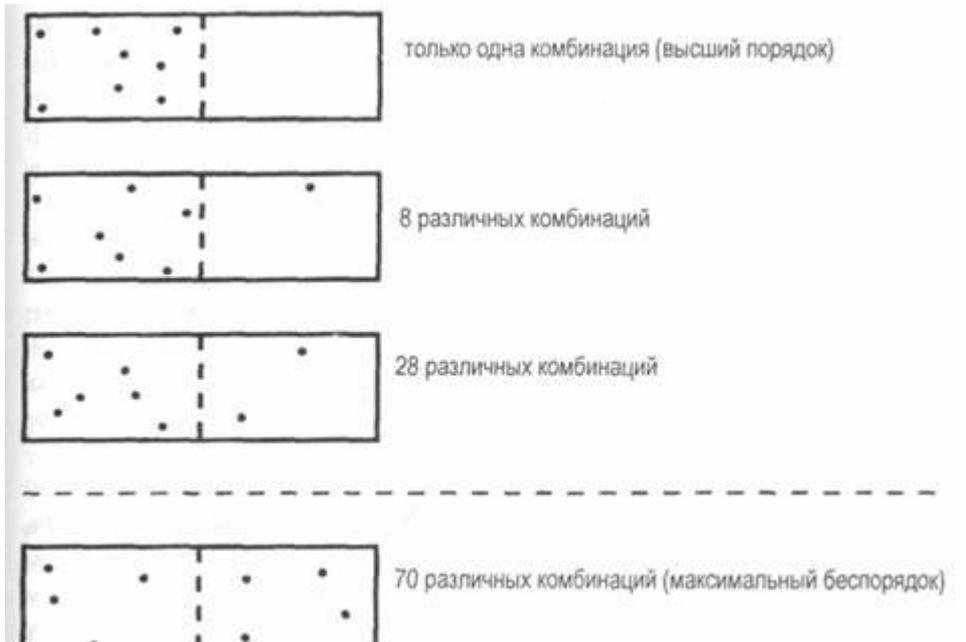
$W$  – термодинамическая вероятность

$k$  - константа Больцмана :  $k = R / N_A$

$N_A$  - число Авогадро ( $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>)

$R$  - универсальная газовая постоянная  
( $R = 8,3$  Дж/моль\*К)

# Мысленный эксперимент Больцмана



$S - \min, W - \min$

$S - \max, W - \max$

$W$  – термодинамическая вероятность. Это количество микросостояний, с помощью которых реализуется макросостояние

Энтропия ( $S$ ) в статистической физике определяется как **логарифмическая функция вероятности равновесного состояния системы частиц** (для которых известны вероятности распределения по энергиям).

Переходя к биологии, Больцман указывает: «Всеобщая борьба за существование живых существ не является борьбой за составные элементы, но это **борьба за энтропию**, которую можно использовать при переходе энергии от горячего Солнца к холодной Земле».



**Памятник Больцману  
на центральном  
кладбище Вены; на  
нем выгравировано  
соотношение  
Больцмана  
 $S = k \cdot \log W.$**

(Работа Дитера Фламма)

**Живые организмы – открытые системы, и изменение энтропии для них складывается из:**

**1)продукции энтропии внутри организма за счет необратимых биохимических процессов**

**2)обмена энтропией с окружающей средой.**

**Формулировка второго закона термодинамики для живых организмов:**

**скорость изменения энтропии в организме равна алгебраической сумме производства энтропии внутри организма и скорости поступления энтропии из среды (негэнтропии) в организм:**

$$S = S_i + (-S_e)$$

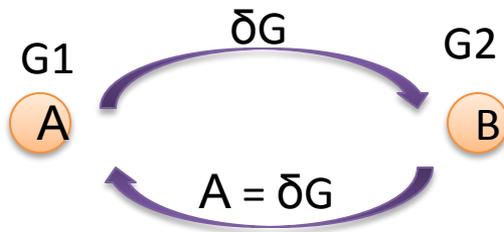
# Свободная и связанная энергия. Обратимые и необратимые процессы.

Часть внутренней энергии системы, которую можно использовать для совершения работы, называется **свободной энергией (G)**

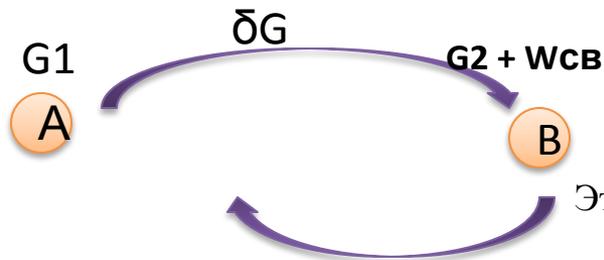
Остальную часть внутренней энергии системы, которую нельзя превратить в работу, называют **связанной энергией (W<sub>св</sub>)**

$$U = G + W_{св}$$

Работа, совершаемая системой в любом процессе, не может быть больше, чем изменение свободной энергии:  $A < G$



**Обратимый процесс** – такой процесс, при котором при затрате работы  $A = \delta G$  можно полностью вернуть систему (из состояния B) в исходное состояние (A)



**Необратимый процесс** – такой процесс, при котором при затрате работы **невозможно** полностью вернуть систему (из состояния B) в исходное состояние (A), вследствие **преобразования части свободной энергии (G) в связанную.**

Это явление носит название **диссипации (рассеяние) свободной энергии.**