

# **ТЕРМОДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

***Термодинамика – наука об общих законах, определяющих превращение энергии, без учета микроскопического строения тел, составляющих систему***

ТД изучает закономерности тепловой формы движения материи и связанных с ней физических явлений. Тепловая форма движения материи – это хаотическое движение атомов и молекул макроскопических тел. Ее специфичность связана с колоссальностью количества во всяком макроскопическом теле.

Различают ТД равновесных систем и ТД неравновесных систем, последняя играет особую роль при рассмотрении биологических систем.

ТД – не дает ответа на вопрос какова природа или механизм того или иного явления. Она может только показать, возможно ли протекание данного процесса, реален ли процесс с точки зрения баланса энергии и энтропии. Это очень важно для биологии.

Само существование живого организма и все процессы жизнедеятельности протекающие в нем тесно связаны с изменением энергетического баланса в системе живой организм – окружающая среда, поэтому термодинамические методы широко используются в биологии и медицине.

## **Термодинамическая система – выделенная часть объектов окруженных оболочкой.**

\* Термодинамика рассматривает три типа систем, различающихся характером взаимодействия их с окружающей средой.

- \* **Открытые системы – обмениваются веществом и энергией с окружающей средой. Живые организмы относятся к открытым системам.**
- \* **Закрытые системы – в которых происходит обмен только энергией.**
- \* **Изолированные системы - которые не обмениваются энергией и веществом с окружающей средой. Изолированная система со временем приходит в состояние термодинамического равновесия. В этом состоянии, как и в стационарном, параметры системы сохраняются неизменными во времени. Естественно, что любая реальная термодинамическая система не будет изолированной хотя бы потому, что ее невозможно окружить оболочкой, не проводящей теплоту.**

Состояние термодинамической системы характеризуется физическими величинами, называемыми ТД параметрами системы (объем, давление, температура и др.).

Одни из них не зависят от массы или числа частиц в системе (иначе говоря, от размеров системы), другие пропорциональны этим аргументам.

**Интенсивные величины** – величины, значение которых не зависит от количества вещества и размера системы.

**Экстенсивные величины** – величины, значение которых зависит от количества вещества и размера системы

***Энергия – это количественная мера определенного вида движения материи при ее превращении из одного вида в другой.***

Энергия отражает способность системы производить работу .

Различают несколько видов энергии:

- \* Механическая;
- \* Тепловая;
- \* Химическая;
- \* Электрическая.

Работа – мера превращения энергии.

# ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Первый закон термодинамики устанавливает, что общая сумма энергии материальной системы остается постоянной величиной независимо от изменений, происходящих в самой системе; изменение энергии системы возможно только в результате обмена энергией с окружающей средой.

Обмен энергией между ними может осуществляться в двух различных процессах: при совершении работы и при теплообмене.

*Закон сохранения энергии для тепловых процессов формулируется как первое начало термодинамики.*

***Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение внутренней энергии системы и совершение системой работы:***

$$Q = \Delta U + A$$

Или

$$dQ = dU + dA;$$

**Q** – количество теплоты переданного системе;

**$\Delta U$**  – изменение внутренней энергии системы;

**A** – совершение работы самой системой или над системой.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. В систему было передано 60 Дж теплоты. Определить изменение внутренней энергии системы, если система при этом выполнила работу  $A=40$  Дж.

Дано:	<i>Решение:</i>
$Q=60$ Дж $A=40$ Дж	1. Согласно первому началу термодинамики: $Q = \Delta U + A$
$\Delta U - ?$	Тогда: $\Delta U = Q - A;$ $\Delta U = 60 \text{ Дж} - 40 \text{ Дж} = 20 \text{ Дж}$

Ответ:  $\Delta U = 20$  Дж

2. В систему было передано 60 Дж теплоты и над системой была совершена работа 10 Дж. Определить изменение внутренней энергии системы.

Дано:	<i>Решение:</i>
$Q=60$ Дж $A=10$ Дж	1. Согласно первому началу термодинамики:  $Q = \Delta U + (-A)$ , работа отрицательна так как совершалась над системой.
$\Delta U - ?$	Тогда:  $\Delta U = Q + A;$ $\Delta U = 60 \text{ Дж} + 10 \text{ Дж} = 70 \text{ Дж}$

Ответ:  $\Delta U = 70$  Дж



## ЗАДАЧИ:

1. В систему было передано 90 Дж теплоты. Определить изменение внутренней энергии системы, если система при этом выполнила работу  $A=80$  Дж.
2. В систему было передано количество теплоты равное 120 Дж. Система при этом выполнила некоторую работу. Определить изменение внутренней энергии системы.
3. В систему было передано 50 Дж теплоты и над системой была совершена работа 30 Дж. Определить изменение внутренней энергии системы.
4. Определить изменение внутренней энергии системы, в которую было передано 80 Дж теплоты. Работа системой не совершается.
5. Какое количество теплоты было передано системе, если внутренняя энергия системы увеличилась на 40 Дж и над системой совершили работу 10 Дж.
6. Какое количество теплоты было передано системе, если внутренняя энергия системы увеличилась на 30 Дж и система совершила работу 10 Дж.

## ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Второй закон термодинамики заключается, в том что все процессы превращения энергии протекают с рассеиванием части энергии в виде тепла.

Термодинамические процессы разделяют на обратимые и необратимые.

***Термодинамический процесс считается обратимым, если обратный переход системы в первоначальное состояние не требует дополнительных затрат энергии извне.***

***Термодинамический процесс считается необратимым, если обратный переход системы в первоначальное состояние требует дополнительные затраты энергии извне.***

Существует несколько формулировок второго закона термодинамики: *теплота сама собой не может переходить от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой* (формулировка Клаузиуса), или *невозможен вечный двигатель второго рода* (формулировка Томсона), т.е. такой периодический процесс, единственным результатом которого было бы превращение теплоты в работу вследствие охлаждения одного тела.

Возможность протекания термодинамических процессов, их направление и предел могут характеризовать такие параметры состояния системы как энтропия и свободная энергия.

Под энтропией ( $S$ ) понимается отношение тепла ( $Q$ ), производимого в обратимом изотермическом процессе, к абсолютной температуре  $T$ , при которой протекает процесс ( $S = Q/T$ ).

Внутренняя энергия равна сумме свободной энергии и связанной энергии.

**Свободная энергия** – это та часть внутренней энергии системы, которая может быть использована для совершения работы.

**Связанная энергия** - это та часть внутренней энергии системы, которая не используется для совершения работы, а бесполезно рассеивается в виде тепла (определяется энтропией).

Энтропия – это мера рассеивания, деградации энергии, а так же мера необратимости процесса.

Любой самопроизвольный процесс в изолированной системе приводит к уменьшению свободной энергии, если процесс необратим; если же процесс обратим, то свободная энергия не изменяется.

Второй закон термодинамики указывает направление хода процессов в системе.

Состояние системы при котором свободная энергия равна 0, а энтропия максимальному значению, называется темпо динамическим равновесием.

**Стационарное состояние термодинамической системы** - состояние, при котором термодинамические параметры в каждой точке системы не изменяются со временем.

Для стационарных состояний И. Пригожин также указал экстремальное значение некоторой функции, сформулировав принцип минимума производства энтропии: **в стационарном состоянии системы скорость возникновения энтропии вследствие необратимых процессов имеет минимальное значение при данных внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния ( $dS_i / dt > 0$  и минимальна).**

Признаки стационарного состояния: изменение энтропии стремится к минимально возможному значению, наблюдаются потоки энергии и вещества во внешнюю среду и обратно, свободная энергия не равна нулю система способна совершать работу.

**Приведенной теплотой ( $Q_{пр}$ )** называют отношение количества теплоты ( $Q$ ), отданное системой к абсолютной температуре ( $T$ ), при которой происходил этот процесс. (Другая формулировка – Это количество теплоты, приходящееся на единицу абсолютной температуры, при которой теплота сообщается телу или отнимается от него):

$$Q_{пр} = Q/T$$

В системе СИ, приведенная теплота имеет размерность Дж/К.

В термодинамике необратимых процессов вводится понятие **диссипативной функции  $\beta$**  (часто в литературе диссипативной функцией называют скорость продукции энтропии в единице объема  $V$ ). В силу второго закона термодинамики:

$$\beta = T \cdot \Delta S / dt$$

# ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Системе сообщили количество теплоты 50 Дж при температуре 10 градусов Цельсия. Определите приведенную теплоту.

Дано:	СИ:	Решение:
$Q = 50 \text{ Дж}$ $t = 10^\circ\text{C}$	$283 \text{ К}$	По формуле для вычисления приведенной теплоты:
$Q_{\text{пр}} = ?$		$Q_{\text{пр}} = \frac{Q}{T}$ $Q_{\text{пр}} = \frac{50}{283} = 0,18 \text{ Дж/К}$

Ответ: 0,18 Дж/К

В результате необратимого процесса внутри системы энтропия возрастает на 9,2 кДж/К за время  $t=20$  с. Вычислите диссипативную функцию этого процесса, если система поддерживается при температуре  $t = 27^{\circ}\text{C}$ .

Дано:	СИ:	Решение:
$\Delta S = 9,2 \text{ кДж/К}$ $T = 27^{\circ}\text{C};$ $t = 20 \text{ с}$	$9,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/К}$ $300 \text{ К}$	По формуле для вычисления диссипативной функции:
$\beta - ?$		$\beta = \frac{\Delta ST}{t}$ $\beta = \frac{9,2 \cdot 10^3 \cdot 300}{20} = 1,38 \cdot 10^5 \text{ Вт}$



3. Вычислите общее изменение энтропии в открытой системе, если известно, что в результате необратимых процессов внутри нее выделилось 1600 кДж теплоты, 10% которой передано в окружающую среду. Температура системы поддерживалась постоянной и равной 27°C

+

Дано:	СИ:	Решение:
$Q_1 = 1600 \text{ кДж}$ $Q_2 = 0,1 Q_1$ $t = 27^\circ\text{C}$	$300 \text{ К}$	Изменение энтропии равно: $\Delta S = \frac{Q_1 + Q_2}{T}$ $\Delta S = \frac{1600 + 160}{300} = 5,86 \text{ кДж/К}$
$\Delta S - ?$		

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Найдите приведенную теплоту, если системой было отдано в виде тепла 210 Дж энергии, при температуре  $12^{\circ}\text{C}$
2. Какое количество энергии в виде теплоты было отдано системой при температуре равной  $18^{\circ}\text{C}$ , если приведенная теплота составляла 0,928 Дж/К?
3. При какой температуре системой было от дано в виде тепла 300 Дж энергии, если приведенная теплота была равна 1,0204 Дж/К?
4. Вычислите общее изменение энтропии в открытой системе, если известно, что в результате необратимых процессов внутри нее выделилось 2000 кДж теплоты, 40% которой передалось в окружающую среду. Температура системы поддерживалась постоянной и равной  $28^{\circ}\text{C}$

5. Найдите изменение энтропии за время  $t = 150$  с в результате необратимого процесса внутри системы, если система поддерживается при температуре  $t = 39^{\circ}\text{C}$ , а диссипативная функция этого процесса составляет  $11,648$  кВт.

6. В результате необратимого процесса внутри системы энтропия возрастает на  $13,4$  кДж/К за время  $t = 135$  с. При какой температуре диссипативная функция этого процесса составляет  $31,267$  кВт?

7. Вычислите время, за которое в результате необратимого процесса внутри системы энтропия возрастает на  $12,2$  кДж/К, если диссипативная функция этого процесса составляет  $31,415$  кВт, и система поддерживается при температуре  $t = 36^{\circ}\text{C}$ .