

**Особливості біологічних**  
**об'єктів**  
**як термодинамічних**  
**структур**

- Однією з умов нормального функціонування окремої клітини і цілого організму є підтримання постійності їх параметрів (концентрації речовини, електричних потенціалів та ін.) і у випадку необхідності їх зміна у потрібному напрямі.
- Це вимагає обміну речовиною і енергією з оточуючим середовищем, перетворення одних видів енергії в інші, як, наприклад, у випадку процесів м'язового скорочення, передачі нервового імпульсу, зорового і слухового сприйняття та ін.
- Вивченням цих питань займається термодинаміка, закони якої справедливі як для неживої, так і для живої природи.

- Термодинаміку розділяють на два розділи: класичну (рівноважну) і термодинаміку необоротних процесів (нерівноважну).
- Рівноважна термодинаміка вивчає в основному ізольовані і закриті системи, які перебувають у термодинамічній рівновазі.
- Біологічна система внаслідок її складності не може бути описана з використанням подібних наближень. Тому при вивченні біологічних процесів використовують методи нерівноважної термодинаміки.
- Кожна клітина і весь живий організм в цілому є відкритими системами і лише в окремих частинах клітини є умови для існування закритих та ізольованих систем.

- В термодинаміці ізольованих процесів основним поняттям є стаціонарний стан системи. В стаціонарному стані параметри не змінюються з часом, але можуть відрізнятись в різних частинах системи, тобто в таких системах існують і постійно підтримуються градієнти параметрів.
- Розглянемо стаціонарний стан системи на прикладі іонного балансу клітини.
- Концентрація іонів  $K^+$  всередині клітини теплокровних в 15-50 разів нижча. Різниця концентрацій іонів  $K^+$  підтримується наявністю від'ємного потенціалу на внутрішній стороні мембрани, який протидіє виходу катіонів з клітини.

- Така ситуація, а також градієнт концентрацій сприяють просочуванню іонів  $\text{Na}^+$  всередину клітини, незважаючи на низьку проникливість для них цитоплазматичної мембрани.
- Підтримання різниці концентрацій  $\text{Na}^+$  вимагає затрат енергії. Іони натрію викачуються з клітини  $\text{Na-K}$ -насосами, які працюють за рахунок енергії, що виділяється при гідролізі АТФ. Енергії, отриманої при гідролізі однієї молекули АТФ достатньо для виводу з клітини 3  $\text{Na}^+$  і вводу 2  $\text{K}^+$ .

# Перше начало термодинаміки в хімії і біології

- Перше начало термодинаміки

- $$\delta Q = dU + \delta A \quad (1)$$

- де  $Q$  – кількість наданої теплоти,  $U$  – внутрішня енергія,  $A$  – робота. Якщо робота виконується над системою то  $\delta A > 0$ , якщо робота виконується самою системою, то  $\delta A < 0$ .

- Елементарна робота системи

- $$\delta A = p dV \quad (2)$$

- тоді

- $$\delta A = dU + p dV \quad (3)$$

- при  $V=const$

- $$\delta Q = dU \quad (4)$$

- при  $p=const$

- $$\delta Q = dU + pdV = d(U + pV) = dH, \quad (5)$$

- де  $H = U + pV$ - *ентальпія*, функція стану, що визначає кількість виділеної теплоти в ізобарному процесі.
- На основі цього сформулюємо **перше начало термодинаміки для хімічних процесів (Закон Гесса)**:
- *Тепловий ефект хімічної реакції не залежить від шляху проходження реакції, а визначається лише різницею внутрішніх енергій вихідних речовин і продуктів реакції (при  $V=const$ ) або різницею ентальпій (при  $p=const$ ).*

- В біологічних системах процеси здійснюються в основному при постійному тиску, тому тепловий ефект біохімічних реакцій дорівнює зміні ентальпії в ході реакції.
- В 1780 році Лавуазьє і Лаплас довели справедливість першого начала термодинаміки для біологічних об'єктів. Вони показали, що живі організми не є незалежними джерелами енергії, а лише здійснюють перетворення одних видів енергії в інший.



# Друге начало термодинаміки для відкритих систем

- Згідно другого начала термодинаміки, зміна ентропії ( $dS$ ) є більшою або рівною поглиненій системою елементарній приведеній теплоті:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad \bullet \quad (1)$$

- для ізольованої системи  $\delta Q=0$  і друге начало термодинаміки набуває вигляду

$$dS \geq 0 \quad \bullet \quad (2)$$

- В оборотних рівноважних процесах ентропія залишається незмінною ( $dS=0$ ), а в оборотних – зростає ( $dS>0$ ).

- Це критерій Клаузіуса:
- *ізолювана система прагне досягнути кінцевого рівноважного стану з максимальною ентропією.*
- У процесі функціонування живої системи можливі наступні ситуації: рівень організації системи зменшується, залишається незмінною або зростає.
- Розвиток живих систем виявляється можливим завдяки тому, що всі вони є відкритими системами і можуть обмінюватись з оточуючим середовищем і речовиною, і енергією.
- Тому загальна зміна ентропії  $dS$  в них проходить як за рахунок виділення теплоти в результаті необоротних процесів у системі  $\delta Q_i$ , так і за рахунок притоку теплоти ззовні  $\delta Q_e$

- Запишемо загальну зміну ентропії в такій системі

$$dS = \frac{\delta Q_e}{T} + \frac{\delta Q_i}{T} = d_e S + d_i S \quad \bullet \quad (3)$$

- Для оборотних процесів  $d_i S = 0$ , для необоротних  $d_i S > 0$ . Якщо система ізольована  $d_e S = 0$ .
- Продиференціюємо вираз (3) за часом

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_e S}{dt} + \frac{d_i S}{dt} \quad \bullet \quad (4)$$

- Таким чином швидкість зміни ентропії відкритої системи рівна сумі швидкості зміни ентропії за рахунок взаємодії системи із зовнішнім середовищем і швидкості зміни ентропії, викликані необоротними процесами всередині системи.

- В загальному випадку може спостерігатись один із трьох процесів:

$$1. \quad dS > 0, \text{ коли } \frac{d_e S}{dt} > 0 \text{ або } \frac{d_e S}{dt} < 0 \text{ і } \left| \frac{d_e S}{dt} \right| < \frac{d_i S}{dt} \quad (6)$$

$$2. \quad \frac{dS}{dt} < 0, \text{ коли } \frac{d_e S}{dt} < 0 \text{ і } \left| \frac{d_e S}{dt} \right| > \frac{d_i S}{dt} \quad (7)$$

$$3. \quad \frac{d_e S}{dt} = 0, \text{ коли } \frac{d_e S}{dt} < 0 \text{ і } \left| \frac{d_e S}{dt} \right| = \frac{d_i S}{dt} \quad (8)$$

- Перший випадок  $\frac{d_e S}{dt} > 0$  відповідає патологічному стану організму, так як при цьому зменшується степінь впорядкованості системи. Це спостерігається, наприклад, при розкладі тканини, при наявності онкологічних захворювань, коли проходять неконтрольований і невпорядкований ріст клітин.

- Другий випадок  $\frac{d_e S}{dt} < 0$  відповідає підвищенню рівня організації організму, наприклад при рості, формуванні органів, тканин, систем.
- Третій випадок  $\frac{d_e S}{dt} = 0$  відповідає встановленню стаціонарного стану в системі.
- В цілому в системі Земля-Сонце ентропія підвищується, при цьому розвиток живих організмів проходить за рахунок зменшення впорядкованості оточуючого середовища.

