

Термодинаміка

Лекція 5

Питання до лекції:

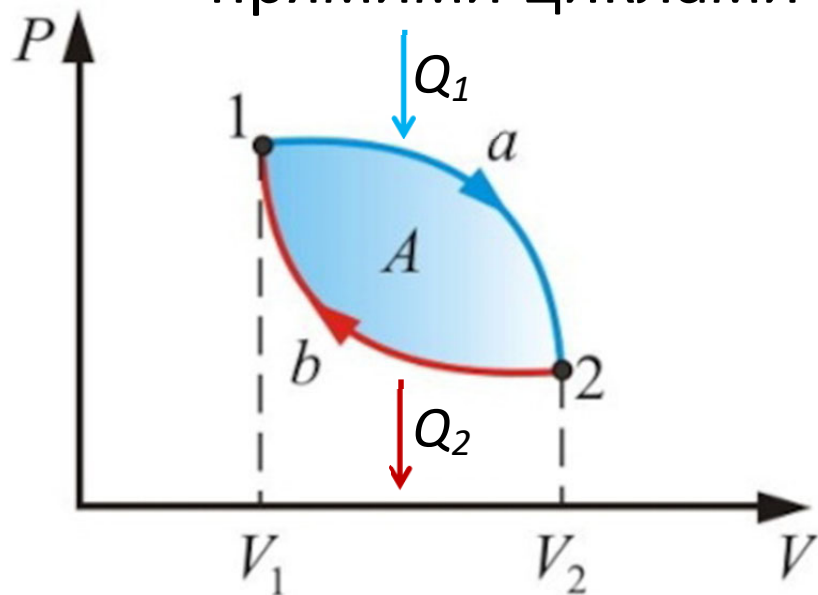
1. **Поняття про термодинамічний цикл. Прямі і зворотні цикли, оцінка їх ефективності.**
2. **Другий закон термодинаміки.**
3. **Цикл Карно. Теорема Карно. Зведене тепло.**
4. **Ентропія, фізичний зміст ентропії. Ексергія тепла.**
5. **T-s діаграма ідеального газу.**

1. Поняття про термодинамічний цикл. Прямі і зворотні цикли, оцінка їх ефективності.

Термодинамічний цикл або коловий процес – сукупність процесів, через які проходить термодинамічна система, в результаті реалізації яких робоче тіло повертається в початковий стан, до своїх вихідних параметрів.

З принципом дії цикли поділяються на:

- **Прямі** – в яких тепло йде на виконання роботи. За прямими циклами працюють теплові машини (ДВЗ, ГТУ).

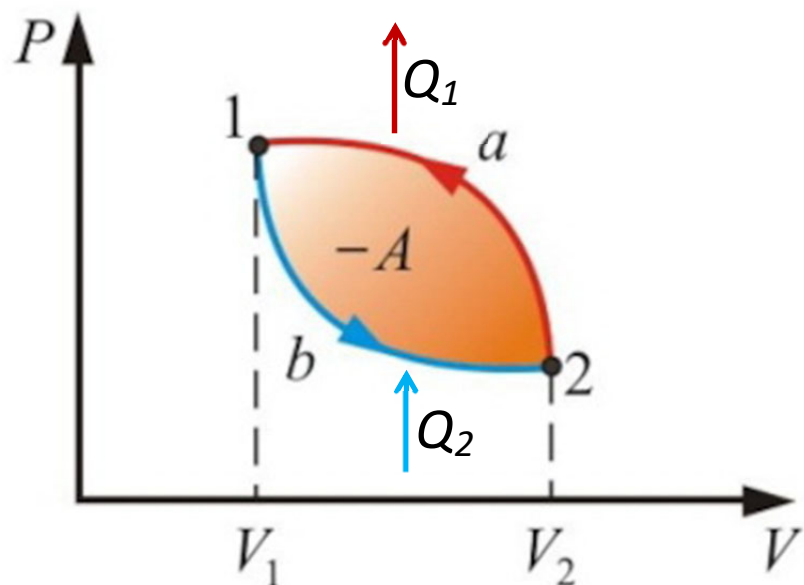


Робота циклу: $L=Q_1-Q_2$;

Коефіцієнт корисної дії (ККД) – вказує, яка кількість підведеного тепла йде на виконання роботи:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

- **Зворотні** – в яких робота затрачається на відведення тепла. За зворотними циклами працюють холодильні установки (холодильники, кондиціонери).

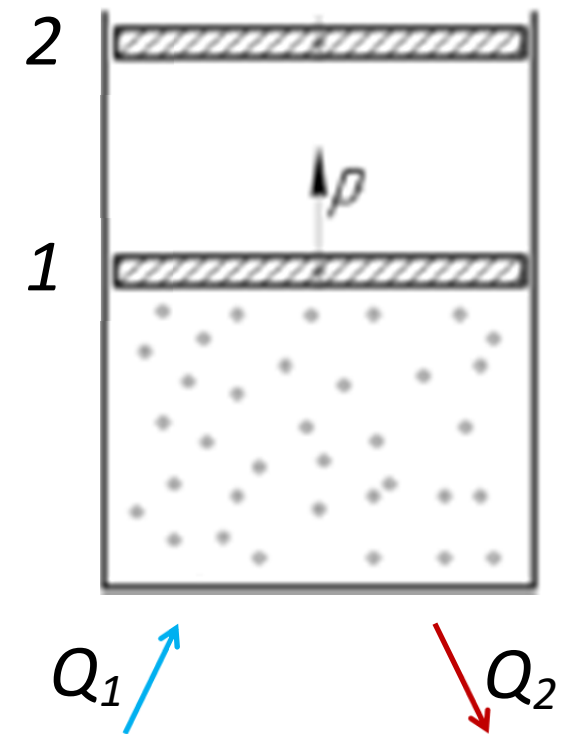
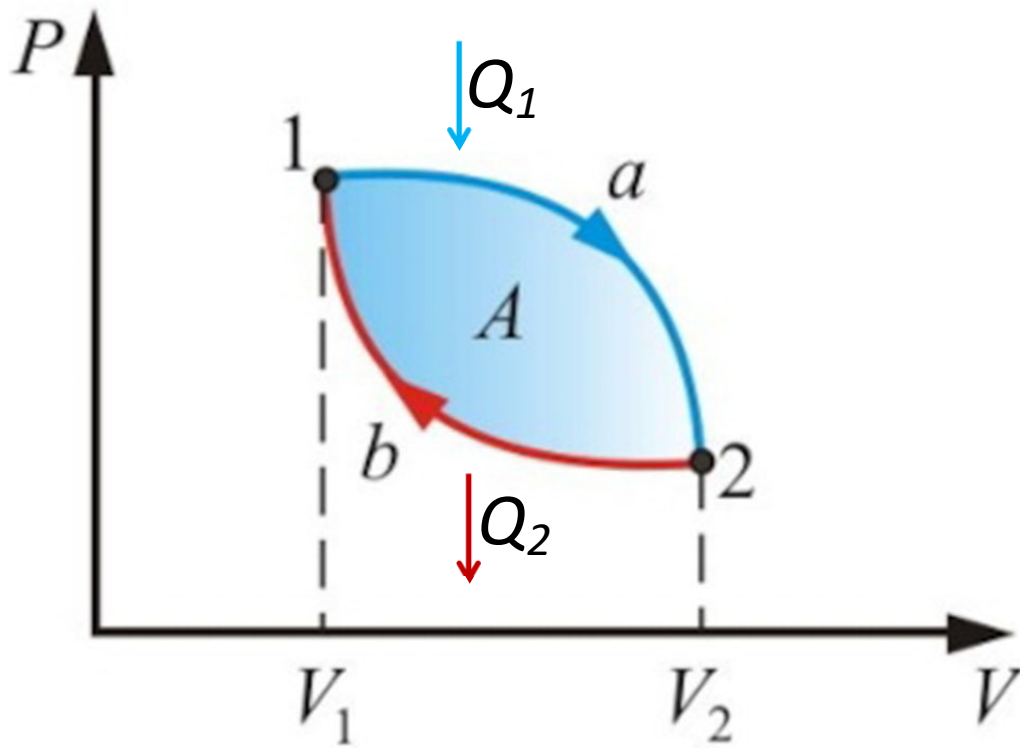


Робота циклу: $L=Q_1-Q_2$;

Холодильний коефіцієнт (ХК) – вказує, яка кількість відведеного тепла припадає на одиницю роботи витраченої на його відведення:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

2. Другий закон термодинаміки.



Перший закон термодинаміки встановлює кількісну рівність між теплом і роботою при їх взаємних перетвореннях в циклічних процесах, але при цьому не торкається умов реалізації даних процесів.

При цьому *другий закон термодинаміки* формулює ці умови, не торкаючись питання кількісного співвідношення тепла і роботи.

Отже, *перший і другий закони термодинаміки* всебічно характеризують циклічні процеси взаємних перетворень тепла і роботи, доповнюючи один одного.

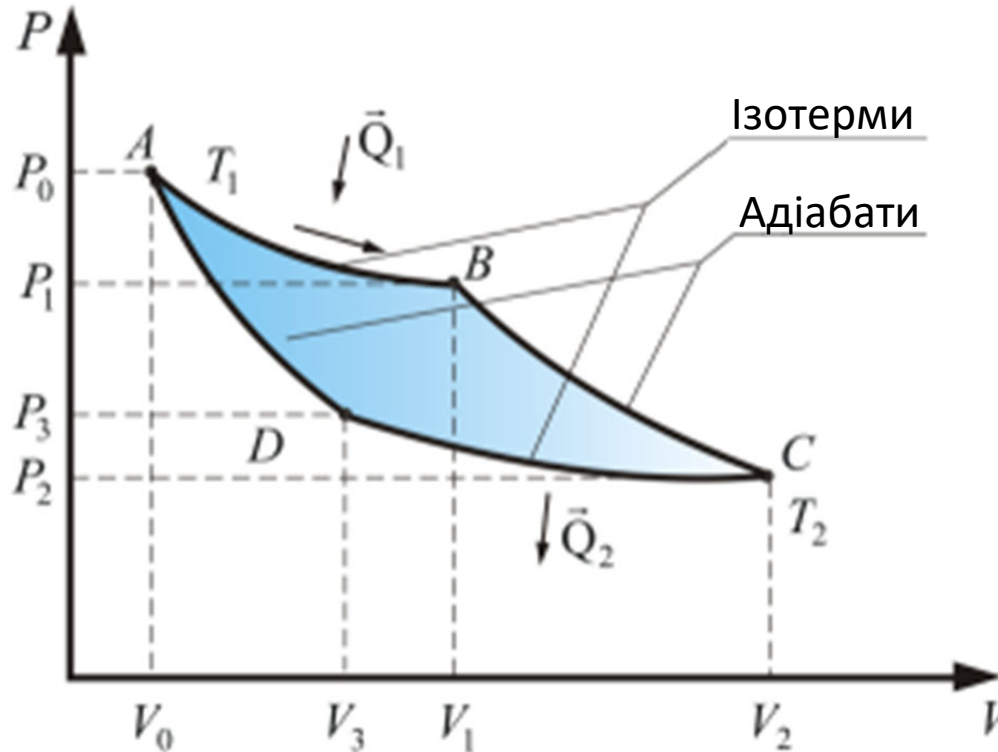
Основні формулювання другого закону термодинаміки:

Тепло саме по собі не може переходити від холодного тіла до більш нагрітого без компенсації (*Р. Клаузіус*).

Неможливо побудувати періодично діючу машину, яка б безперервно перетворювала тепло в роботу тільки за рахунок охолодження одного тіла, без того, щоб в оточуючих тілах не відбувалося одночасно якихось змін (*М. Планк*).

Якщо в заданій системі якісь процеси можуть протікати самочинно, то зворотні по відношенню до них процеси можливі лише при умові певних компенсуючи змін стану системи, а протікати самочинно вони не можуть (*У. Томсон*).

3. Цикл Карно. Теорема Карно.



Робоче тіло циклу – ідеальний газ.

A-B – ізотермічне розширення, підведення тепла від нагрівача, при температурі T_1 ;

B-C – адіабатне розширення, з пониженням температури до T_2 .

C-D – ізотермічне стиснення, відведення тепла Q_2 , при температурі T_2 .

D-A – адіабатне стиснення, з пониженням температури до T_1 .

**Нікола Леонард Саді
Карно**

(1796-1832)



- Французький вчений, вперше обчислив максимальне значення ККД у праці "Про рушійну силу вогню і про машини, здатні розвивати цю силу"

ККД циклу Карно:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Термічний ККД циклу Карно тим більший, чим вища температура джерела тепла T_1 і чим нижча температура теплоприймача T_2 .

Теорема Карно: Термічний ККД оборотного циклу, здійснюваного між двома джерелами тепла, не залежить від властивостей робочого тіла, за допомогою якого здійснюється даний цикл, а визначається лише температурою нагрівача і теплоприймача.

Для прямого циклу Карно справедливими будуть вирази:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\eta = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

$$1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{q_2}{q_1}$$

$$\frac{q_1}{T_1} = \frac{q_2}{T_2}$$

Так як тепло q_2 відводиться, то відповідно матиме знак мінус, тобто:

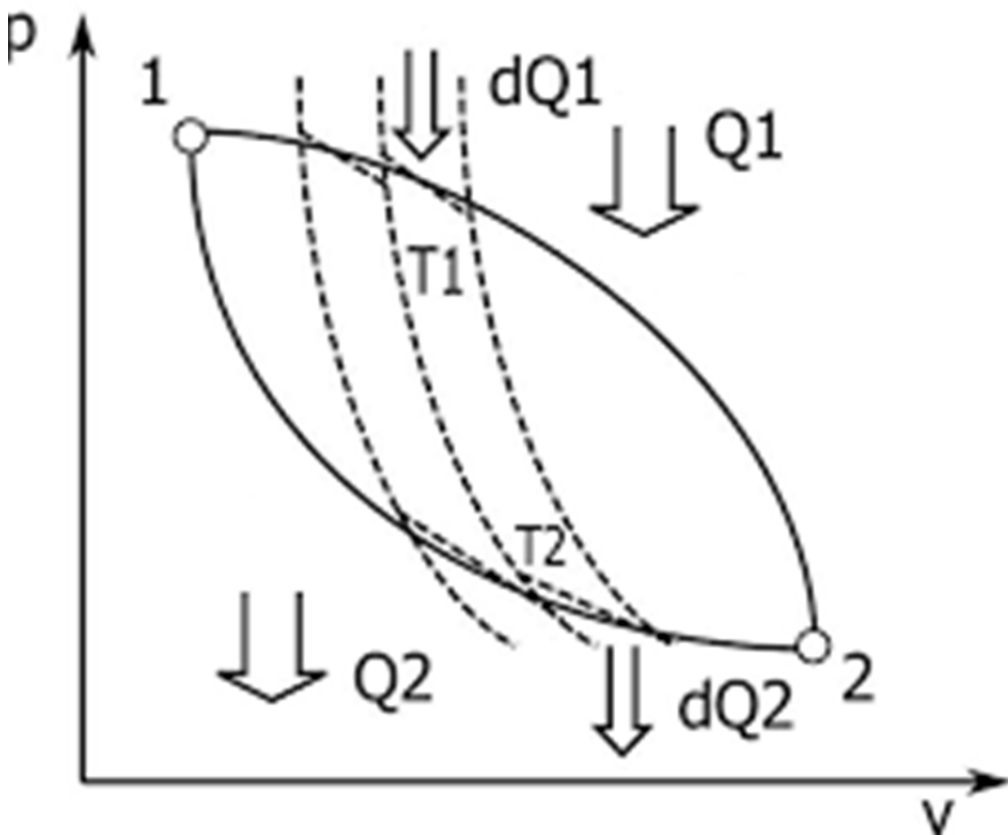
$$\frac{q_1}{T_1} = -\frac{q_2}{T_2}$$

$$\frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2}{T_2} = 0$$

$$\sum \frac{q}{T} = 0$$

Зведене тепло – відношення кількості тепла до температури при якій воно підводиться або відводиться. Для циклу Карно сума зведених теплот рівна нулю. Дане співвідношення справедливе для будь-якого оборотного циклу.

4. Ентропія, фізичний зміст ентропії. Ексергія тепла.



Перетнемо деякий оборотний цикл нескінченно великою кількістю адіабат і утворимо нескінченно велику кількість деяких елементарних циклів.

Оскільки цикл елементарний, то зміною температури на ділянках підведення/відведення тепла можна знехтувати, тобто матиме місце ізотермічний процес. Таким чином кожен з елементарних циклів являтиме собою елементарний цикл Карно.

Для даного елементарного циклу Карно можемо записати:

$$\frac{dQ_1}{T_1} + \frac{dQ_2}{T_2} = 0$$

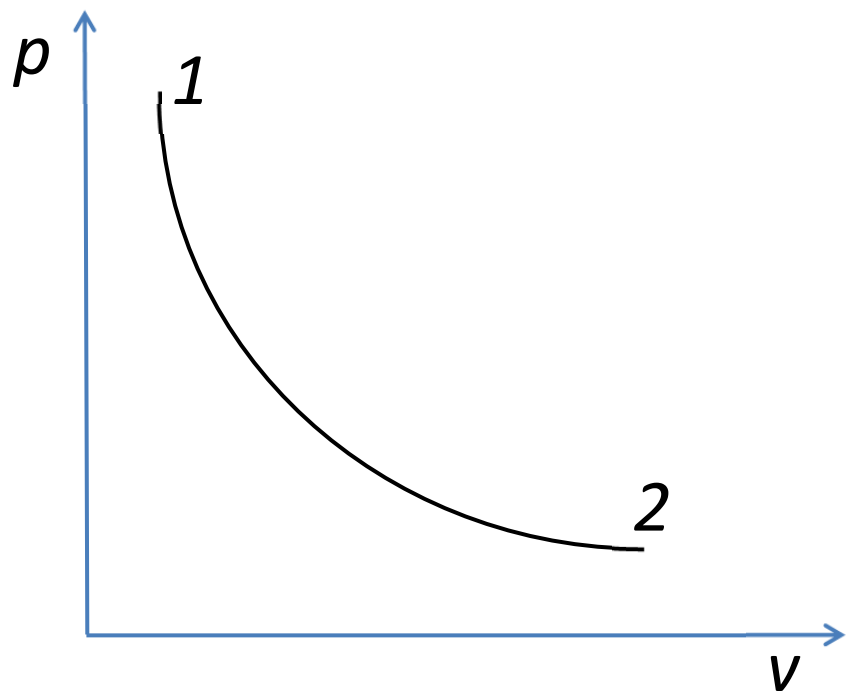
Здійснивши граничний перехід отримаємо:

$$\oint_1^2 \frac{dQ}{T} = 0 \quad \text{- Інтеграл Клаузіуса.}$$

Якщо лінійний інтеграл взятий по контуру рівний нулю, то підінтегральним виразом є повний диференціал, тобто:

$$\frac{dQ}{T} = ds$$

де s – деяка функція стану, значення якої визначається станом робочого тіла.



Якщо робоче тіло переходить із стану *1* в *2*, то відповідно можемо записати:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

S – функція стану, що називається **ентропією**.

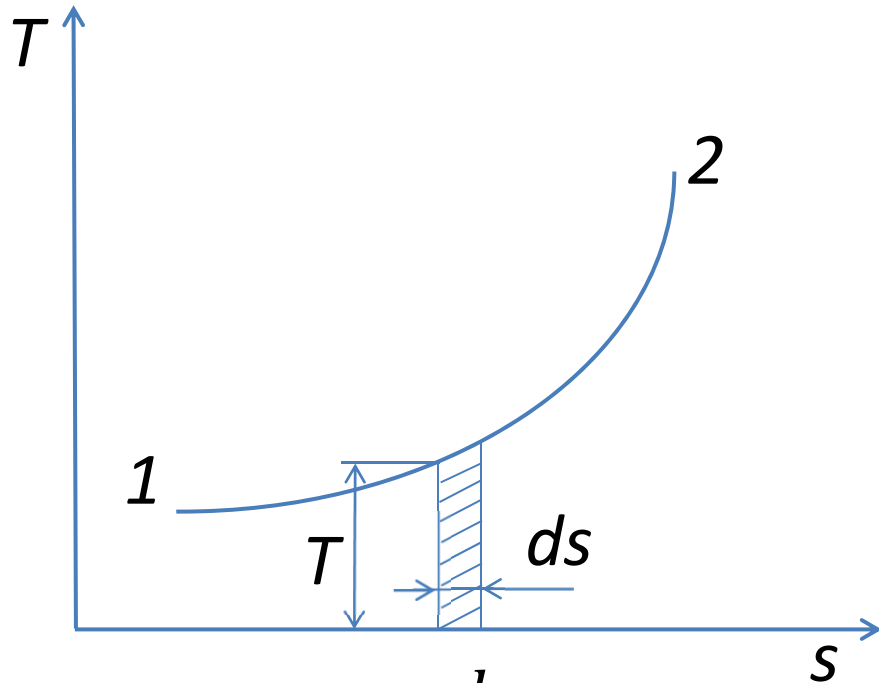
Зміна ентропії в будь-якому оборотному процесі є ознакою наявності теплообміну між робочим тілом і оточуючим середовищем.

Термін *ентропія* використовується для опису кількісного значення хаотичності будь-якої системи. В термодинаміці ентропія характеризує розташування молекул речовини або організацію енергії системи. Системи або речовини з високим значенням ентропії більше дезорганізовані, ніж з низьким.

Абсолютна ентропія S (Дж/К) речовини або процесу – це зміна доступної енергії при теплопередачі за температури.

Ексергія тепла – максимально можлива робота, яку можна одержати за рахунок тепла, якщо теплоприймачем є оточуюче середовище.

5. T-s діаграма ідеального газу.



З виразу $\frac{dq}{T} = ds$ отримуємо $dq = Tds$, тобто диференціальне рівняння для елементарного тепла, в якому ентродія робочого тіла змінюється на величину ds . Проінтегрувавши одержимо:

$$q = \int_1^2 T ds.$$

Список літератури та посилань:

- ***«Основи термодинаміки в гірництві» § 8 ст.31-46.***
М.Т. Бакка, І.С. Редчиць, В.С. Редчиць.
- ***«Технічна термодинаміка в прикладах і задачах» § 5 ст. 81.***
М.Т. Бакка, І.С. Редчиць, В.С. Редчиць.

До нових зустрічей в ефірі!

