

Перший закон термодинаміки. Адіабатний процес

- За першим законом термодинаміки, отримана під час теплообміну кількість теплоти може бути використана для зміни внутрішньої енергії або для виконання газом роботи.

$$Q = \Delta U + A$$

Q — кількість отриманої або відданої теплоти, ΔU — зміна внутрішньої енергії, A — робота газу

- Для ізопроцесів перший закон термодинаміки має різний вигляд.
- Для ізобарного процесу отримана під час теплообміну кількість теплоти йде на зміну внутрішньої енергії і на виконання газом роботи.

$$Q = \Delta U + A$$

Q — кількість отриманої або відданої теплоти, ΔU — зміна внутрішньої енергії, A — робота газу

Для ідеального одноатомного газу цей вираз матиме вигляд:

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}p\Delta V + p\Delta V = \frac{5}{2}p\Delta V$$

p — тиск, ΔV — різниця початкового та кінцевого об'єму.

- Під час ізотермічного процесу вся кількість теплоти Q , отримана тілом під час теплообміну, йде на виконання газом роботи A .

$$Q = A, \Delta U = 0$$

Q — кількість отриманої або відданої теплоти, A — робота газу.

- Під час ізохорного процесу вся кількість теплоти Q , отримана газом під час теплообміну йде на збільшення його внутрішньої енергії ΔU .

$$Q = \Delta U, A = p\Delta V = 0$$

Q — кількість отриманої або відданої теплоти, ΔU — зміна внутрішньої енергії, p — тиск, ΔV — зміна об'єму.

- Адіабатний процес – це процес, що відбувається без теплообміну з навколишнім середовищем.

- Під час адіабатного процесу зміна внутрішньої енергії тіла використовується для виконання газом механічної роботи.

$$Q = 0, \Delta U = -A$$

ΔU — зміна внутрішньої енергії, A — робота газу.

- Якщо газ адіабатно розширюється і, відповідно, водночас виконує додатну роботу, його внутрішня енергія зменшується. А тому він охолоджується.
- Якщо газ адіабатно стискається, то над ним виконується робота і його внутрішня енергія збільшується. Тому газ нагрівається.
- Перший закон термодинаміки забороняє існування такої машини, яка не потребує ніякої енергії ззовні після того, як її запустили.

Задача на використання першого закону термодинаміки:

Адiabатний процес:

Ідеальний одноатомний газ кількістю речовини 1 моль під час адіабатного розширення виконав роботу 249 Дж. Як змінилася:

а) внутрішня енергія газу, б) температура газу?

(Джерело: Підручник «Фізика. 10 клас. Академічний рівень: Збірник задач»/О.О Карпукіна, Ф. Я. Божинова, В. В. Хардіков. Харків: Ранок, 2011. — 288 с.)

а) Пригадаймо закон, що пов'язує роботу та зміну внутрішньої енергії, — це перший закон термодинаміки:

$$Q = \Delta U + A$$

Q — кількість отриманої або відданої теплоти, ΔU — зміна внутрішньої енергії, A — робота газу.

Адiabатний процес — це процес, у якому не відбувається теплообмін із середовищем, тому $Q = 0$. Перший закон термодинаміки в такому разі матиме такий вигляд:

$$\Delta U = -A$$

ΔU — зміна внутрішньої енергії, A — робота газу.

Тож, можемо визначити, як змінилася внутрішня енергія газу:

$$\Delta U = -A = -249 \text{ Дж}$$

Внутрішня енергія газу зменшилася, адже саме за рахунок цієї зміни енергії газ виконав роботу.

б) пригадаймо, як внутрішня енергія пов'язана з температурою тіла:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT$$

ν — кількість речовини, R — універсальна газова стала, T — абсолютна температура.

Тоді під час переходу з одного стану в інший зміна внутрішньої енергії дорівнюватиме:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

ΔT — це і є шукана нами зміна температури тіла. Тепер ми можемо її розрахувати:

$$\Delta T = \frac{\Delta U}{\frac{3}{2} \nu R} = \frac{-249 \text{ Дж}}{\frac{3}{2} \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} \approx -20 \text{ К}$$

Ізобарний процес:

Внутрішня енергія одноатомного ідеального газу під час ізобарного розширення збільшилась на 6 кДж. Знайти роботу газу і кількість теплоти, отриманої при цьому.

Пригадаймо перший закон термодинаміки:

$$Q = \Delta U + A$$

Q — кількість отриманої теплоти, ΔU — зміна внутрішньої енергії, A — робота газу.

Оскільки процес ізобарний, то тиск p залишається постійним, тому робота газу в такому процесі визначається за формулою:

$$A = p \Delta V$$

A — робота газу, p — тиск, ΔV — зміна об'єму

Внутрішню енергію одноатомного ідеального газу можна знайти за формулою:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV$$

ν — кількість речовини, R — універсальна газова стала, T — абсолютна температура, p — тиск, V — об'єм.

Тоді можемо знайти зміну внутрішньої енергії:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} pV_2 - \frac{3}{2} pV_1 = \frac{3}{2} p \Delta V$$

Тож $\Delta U = \frac{3}{2} A$. Тоді можемо визначити роботу газу:

$$A = \frac{2}{3} \Delta U = \frac{2}{3} \cdot 6 \text{ кДж} = 4 \text{ кДж}$$

Тоді можемо знайти кількість теплоти:

$$Q = \Delta U + A = 4 \text{ кДж} + 6 \text{ кДж} = 10 \text{ кДж}$$

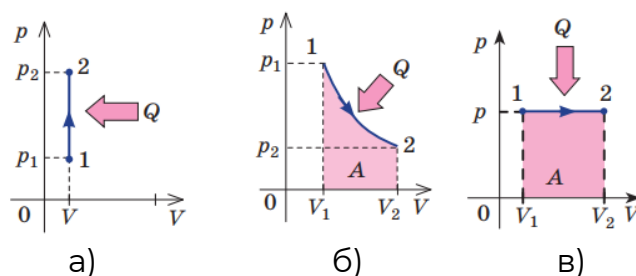


Рис. 1 Графіки процесів а) ізохорного нагрівання, б) ізотермічного розширення, в) ізобарного розширення. Заштрихована область відповідає виконаній у процесі роботі, рожева стрілка позначає отриману газом кількість теплоти (Джерело: Підручник «Фізика. 8 клас». /В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий. Харків: Ранок, 2018. 272 с.)

Кілька прикладів псевдовічних двигунів та чому кожен із них насправді не працює — за посиланнями:

https://www.youtube.com/watch?v=sScrtGdKmho&ab_channel=TheRoyallInstitution

https://www.youtube.com/watch?v=EiZU3BvqvP4&ab_channel=TomScott

Демонстрацію адіабатного розширення можна знайти за посиланням:

https://www.youtube.com/watch?v=6LFEU0QvIUy&ab_channel=PhysicsDemos



Рекомендовані джерела:

1. MON UKRAINE. 04.05.2020. «10 клас. Фізика. Перший закон термодинаміки в ізопроцесах. Адіабатний процес». YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=BJVedLtC5kA&ab_channel=MONUKRAINE (21.03.2021)
2. MON UKRAINE. 05.05.2020. Урок «10 клас. Фізика. Розв'язування задач на тему «Перший закон термодинаміки». YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=QmdvpMTF3Kw&list=PLFVSJgZgf7h88UFKE_RZcv_Sk-WIX5mvL&index=129&ab_channel=MONUKRAINE
3. Підручник «Фізика 10 клас»/ І. М. Гельфгат, 2018