

Тема 31. Передача теплоти. Циклічні процеси на графіках.

Передача теплоти твердим та рідким речовинам призводить до зміни їх внутрішньої енергії:

$$\Delta U = Q.$$

Наслідком цього є або нагрівання тіла, або зміна його агрегатного стану: плавлення чи пароутворення. Такі процеси характеризують наступними фізичними величинами: теплоємність, питома теплоємність, питома теплота плавлення, питома теплота пароутворення.

Теплоємність тіла чисельно дорівнює кількості теплоти Q , яку необхідно передати тілу для зміни його температури на 1 К:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \text{ (Дж/К)}.$$

Питома теплоємність c , питома теплота плавлення λ , питома теплота пароутворення r є табличними величинами; за їх значеннями знаходять кількість відданої або одержаної тілом теплоти.

Для нагрівання тіла масою m на ΔT градусів необхідна кількість теплоти:

$$Q = cm\Delta T = cm\Delta t.$$

В цій формулі враховано, що різниця між кінцевою T_2 та початковою T_1 температурами за шкалою Кельвіна ($\Delta T = T_2 - T_1$) та за шкалою Цельсія ($\Delta t = t_2 - t_1$) однакові, тобто $T_2 - T_1 = t_2 - t_1$.

Розмірність величини c – Дж/(кг·К)

Для утворення пари масою m з рідини необхідна кількість теплоти:

$$Q = rm.$$

Для плавлення кристалічної речовини масою m їй необхідно передати кількість теплоти:

$$Q = \lambda m .$$

Розмірність величин r та λ – Дж/кг.

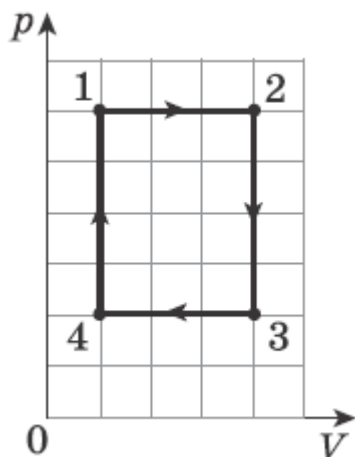
Рівняння теплового балансу є виразом закону збереження енергії для теплових процесів: сума кількостей теплоти, якими обмінюються між собою тіла теплоізолюваної системи, дорівнює нулю:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0.$$

Зауваження! При конденсації та кристалізації відповідні кількості теплоти віддаються речовинами, тобто відповідні кількості теплоти у всіх формулах треба брати зі знаком «мінус».

При згорянні палива виділяється кількість теплоти $Q = qm$, де q – питома теплота згоряння палива (теплотворна здатність), m – маса палива.

Приклад 1. Замкнений цикл, який здійснюється над певною масою ідеального газу, складається з чотирьох процесів (див. рисунок). Під час яких із цих процесів газ отримує тепло?



А) 1 → 2, 2 → 3;

Б) 4 → 1, 1 → 2;

В) 1 → 2, 3 → 4;

Г) 4 → 1, 2 → 3.

Перший закон термодинаміки:

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

Величину **внутрішньої енергії** ідеального газу можна обчислити за допомогою ряду наступних формул:

$$U = NE_k = \frac{3NkT}{2} = \frac{3NRT}{2N_A} = \frac{3\nu RT}{2} = \frac{3mRT}{2M} = \frac{3PV}{2} .$$

Роботу газу для різних процесів обчислюють за різними формулами.

В ізобарному процесі ($P = const$): $A = P\Delta V$.

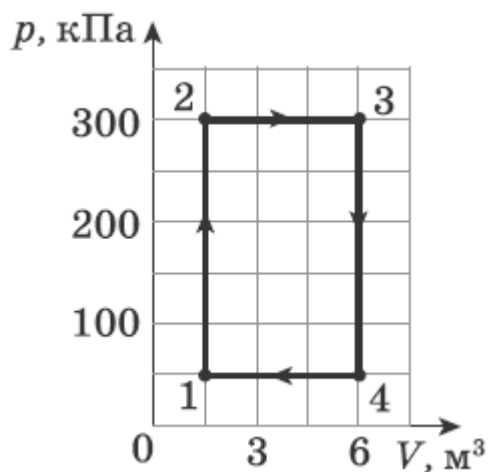
В ізохорному процесі ($V = const$): $A = 0$.

Адіабатний (адіабатичний) **процес** – це процес, який відбувається у теплоізоляційній системі, для якої кількість теплоти, переданої системі, $Q = 0$. Для цього процесу $A = -\Delta U$.

Робота газу в загальному випадку чисельно дорівнює площі фігури під графіком залежності тиску від об'єму, побудованим в координатах (P, V).

Відповідь: Б.

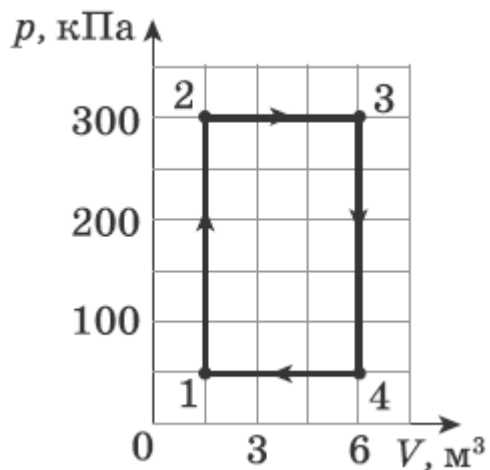
Приклад 2. Яку кількість тепла отримує ідеальний одноатомний газ у процесі $1 \rightarrow 2$ (див. рисунок) ?



Процес ізохорний, тому $A = 0$. $Q = \frac{3}{2} * (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} * (300 * 1,5 - 50 * 1,5) = 562,5$ кДж.

Відповідь: 562,5 кДж.

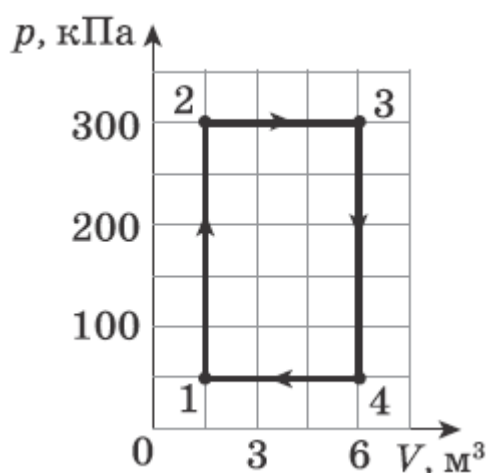
Приклад 3. Яку роботу виконує газ у процесі $2 \rightarrow 3$ (див. рисунок)?



$A = p \Delta V$ $A = 300 * (6 - 1,5) = 300 * 4,5 = 1350$ кДж = 1,35 МДж.

Відповідь: 1,35 МДж.

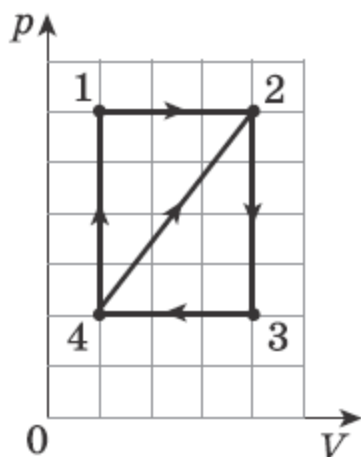
Приклад 4. Як змінюється внутрішня енергія ідеального одноатомного газу в процесі 3 → 4 (див. рисунок)?



$$\frac{3}{2} \cdot (P_4 V_4 - P_3 V_3) = \frac{3}{2} \cdot (50 \cdot 6 - 300 \cdot 6) = -2250 \text{ кДж} = -2,25 \text{ МДж}.$$

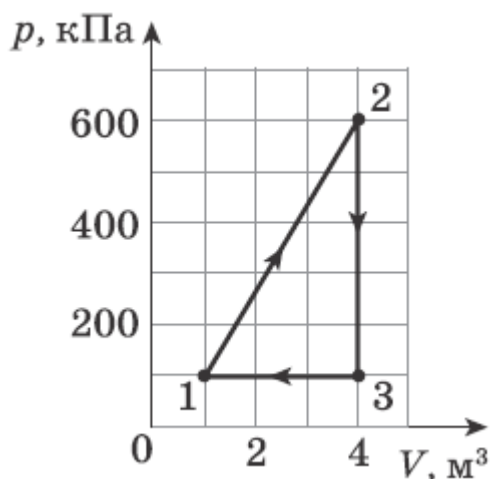
Відповідь: зменшується на 2,25 МДж.

Приклад 5. Знайдіть відношення корисних робіт, які виконують однакові маси ідеального газу в ході процесів 4 → 1 → 2 → 3 → 4 та 4 → 2 → 3 → 4 (див. рисунок).



Відповідь: $\frac{A_{41234}}{A_{4234}} = 2.$

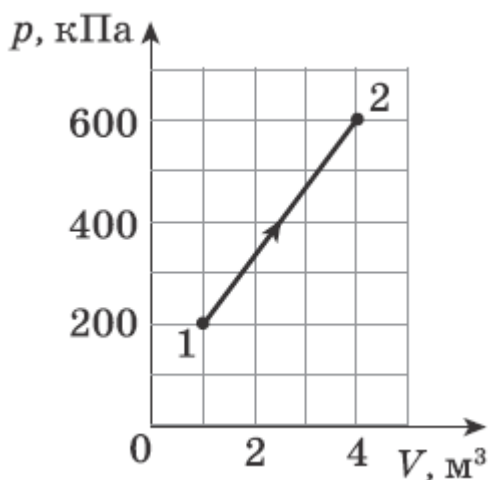
Приклад 6. Обчисліть корисну роботу, виконану ідеальним газом за цикл (див. рисунок).



$$A = 1/2 * 3 * 500 = 750 \text{ кДж.}$$

Відповідь: 750 кДж.

Приклад 7. Визначте кількість теплоти, яку було передано ідеальному одноатомному газу у процесі 1 → 2 .



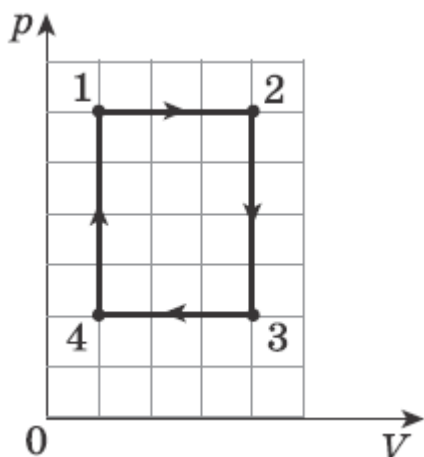
$$\text{Зміна внутрішньої енергії: } 3/2 * (P_2 V_2 - P_1 V_1) = 3/2 * (600 * 4 - 200 * 1) = 3/2 * (2400 - 200) = 3/2 * 2200 = 3300 \text{ кДж.}$$

$$\text{Робота } A = S_{\text{трапеції}} = 1/2 * (200 + 600) * 3 = 1200 \text{ кДж.}$$

$$Q = 3300 + 1200 = 4500 \text{ кДж} = 4,5 \text{ МДж.}$$

Відповідь: 4,5 МДж.

Приклад 8. На рисунку показано циклічний процес з ідеальним одноатомним газом. Визначте (у відсотках) ККД циклу.



$$\text{ККД} = S_{\text{циклу}}/S_{1-2} = 12/18 = 2/3 = 0,667 = 66,7\%.$$

Відповідь: 66,7%.

Приклад 9. На газовий пальник поставили каструлю з 1,5 л води за 20° С і довели її до кипіння. Визначте (у грамах), скільки при цьому випарувалося води, якщо було витрачено 30 г гасу. Вважайте, що вода отримала 50% теплоти, яка виділилася за згоряння гасу.

$$m_1 = 1,5 \text{ кг}, t_0 = 20^\circ\text{C}, t_1 = 100^\circ\text{C}, m_2 = 0,03 \text{ кг}.$$

$$Q_1 = 0,5Q_2.$$

$Q_2 = qm_2 = 46,2 \cdot 10^6 \cdot 0,03 = 1386 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ – кількість теплоти, яка виділиться при згорянні гасу.

$Q_{11} = cm\Delta t_1 = 4200 \cdot 1,5 \cdot 80 = 504 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ - кількість теплоти, необхідної для нагрівання води до 100°С.

$Q_{11} + Q_{12} = 0,5Q_2, Q_{12} = 0,5Q_2 - Q_{11} = 189 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ – кількість теплоти, яка піде на випаровування води.

$$Q_{12} = rm_3 = 189 \cdot 10^3, m_3 = 189 \cdot 10^3 / 2,26 \cdot 10^6 = \\ = 0,084 \text{ кг}.$$

Відповідь: 84 г.

Приклад 10. Визначте (у тонах) витрати дизельного палива для здійснення подорожі тепловозом із Києва до Одеси (відстань 500 км). Тепловоз тягне поїзд масою 5000 т. Коефіцієнт опору руху дорівнює 0,008. ККД двигунів тепловоза 35%.

$$m_1 = 5 \cdot 10^6 \text{ кг}, \text{ ККД} = 35\%, S = 5 \cdot 10^5 \text{ м}, \mu = 0,008.$$

$$A_{\text{кор}} = FS = \mu m_1 g S, \quad Q = q m_2$$

$$A_{\text{кор}} = 0,35Q$$

$$\mu m_1 g S = 0,35 q m_2,$$

$$m_2 = \frac{\mu m_1 g S}{0,35 q} = \frac{0,008 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^5}{0,35 \cdot 42 \cdot 10^6} = 13600 \text{ кг} = 13,6 \text{ т}$$

Відповідь: 13,6 т.

Домашнє завдання: № 371, 372, 373, 375, 376, 377, 430, 431, 432.