

Тема 15. 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.

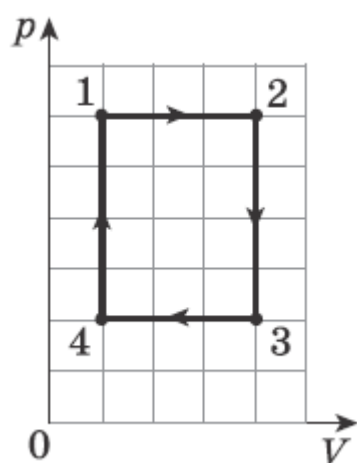
Рівняння теплового балансу є виразом закону збереження енергії для теплових процесів: сума кількостей теплоти, якими обмінюються між собою тіла теплоізолюваної системи, дорівнює нулю:

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

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 $Q = qt$, де q – питома теплота згоряння палива (теплотворна здатність), m – маса палива.

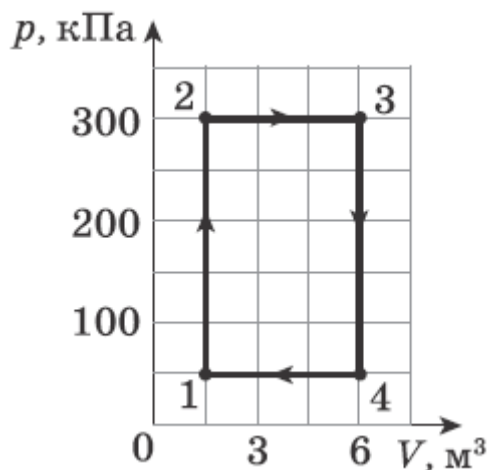
Приклад 1. Замкнений цикл, який здійснюється над певною масою ідеального газу, складається з чотирьох процесів (див. рисунок). Під час яких із цих процесів газ отримує тепло?



- А) $1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3$;
- Б) $4 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2$;
- В) $1 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 4$;
- Г) $4 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 3$.

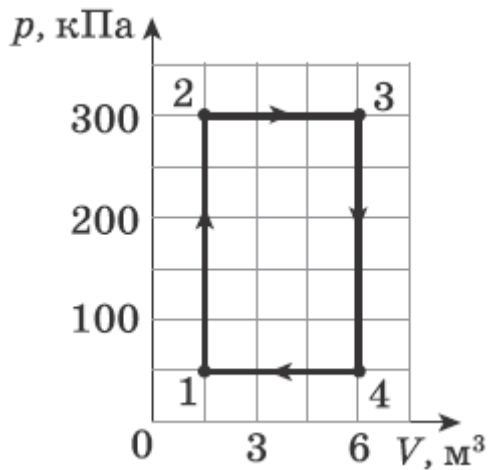
Відповідь: Б.

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



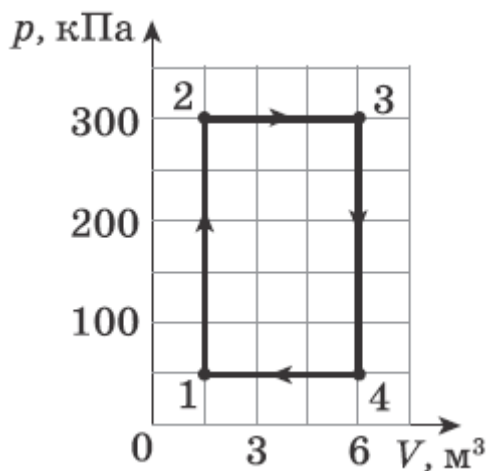
Відповідь: 562,5 кДж.

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



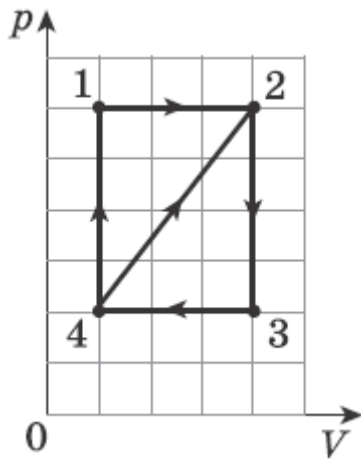
Відповідь: 1,35 МДж.

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



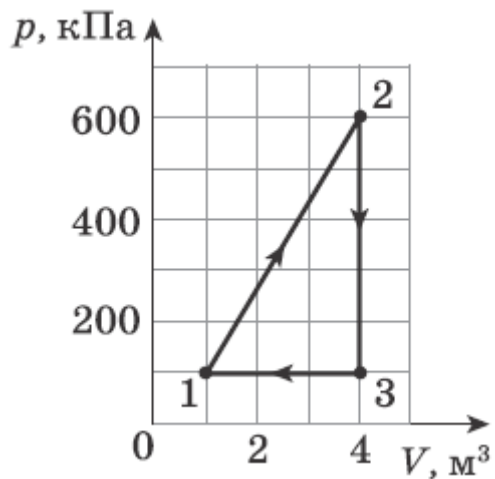
Відповідь: зменшується на 2,25 МДж.

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



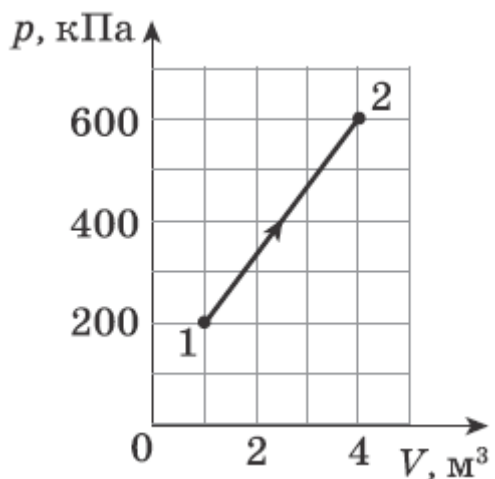
Відповідь: $\frac{A_{41234}}{A_{4234}} = 2$.

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



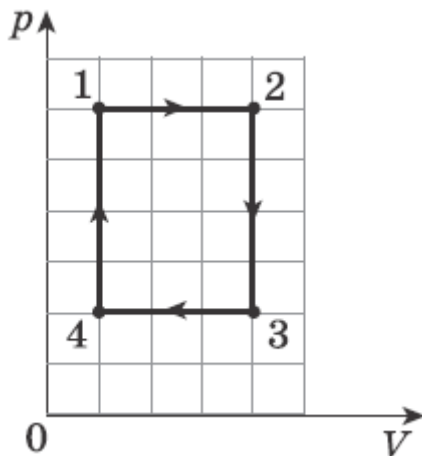
Відповідь: 750кДж.

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



Відповідь: 4,5 МДж.

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



Відповідь: 24%.

Приклад 9. Унаслідок зіткнення двох однакових свинцевих куль, які рухались назустріч одна одній з однаковими за модулем швидкостями, вони нагрілися на 100°C . На скільки нагрілися би кулі, якби їхні швидкості були удвічі меншими? Вважайте, що частка механічної енергії, яка пішла на нагрівання куль, не змінилася.

$$E = mv^2/2, \quad v_2 = 0,5v_1, \quad E_2 = 0,25E_1, \quad Q_2 = 0,25Q_1, \quad \Delta t_2 = 0,25\Delta t_1 = 25^{\circ}\text{C}$$

Відповідь: на 25°C .

Приклад 10. Визначте мінімальну швидкість, з якою повинні летіти назустріч одна одній дві однакові краплинки води, щоб у разі зіткнення повністю випаруватися. Температура краплинок перед зіткненням 20°C . Вважайте, що у внутрішню енергію краплинок перетворилось 50% їхньої механічної енергії.

$$Q = 0,5E$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm\Delta t + rm$$

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

$$\frac{mv^2}{4} = 4200m \cdot 80 + 2,26 \cdot 10^6 m,$$

$$v^2 = 4(4200 \cdot 80 + 2,26 \cdot 10^6) = 10384000$$

$$v = 3222 \text{ м/с.}$$

Відповідь: 3,2 км/с.

Приклад 11. Скільки холодної води, температура якої дорівнює 10°C , потрібно додати до каструлі з окропом, щоб отримати воду за 40°C ? Маса окропу в каструлі 3 кг. Тепловими втратами знехтуйте.

$$Q_1 = Q_2, \quad cm_1\Delta t_1 = cm_2\Delta t_2, \quad m_1(40 - 10) = 3(100 - 40), \quad m_1 = 6 \text{ кг.}$$

Відповідь: 6 кг.

Приклад 12. До калориметра, де знаходиться 200 г води за 20°C , поклали шматок льоду масою 80 г з температурою -10°C . Яка температура встановиться в калориметрі після завершення теплообміну? Тепловими втратами знехтуйте.

$$m_1 = 0,2 \text{ кг, } t_1 = 20^\circ \text{C, } m_2 = 0,08 \text{ кг, } t_2 = -10^\circ \text{C.}$$

$$Q_1 = c_1 m_1 \Delta t_1 = 4200 \cdot 0,2 \cdot 20 = 16800 \text{ Дж} - \text{кількість теплоти, необхідної для охолодження води до } 0^\circ \text{C.}$$

$$Q_2 = c_2 m_2 \Delta t_2 = 2100 \cdot 0,08 \cdot 10 = 1680 \text{ Дж} - \text{кількість теплоти, необхідної для нагрівання льоду до } 0^\circ \text{C.}$$

$$Q_3 = \lambda m_2 = 330000 \cdot 0,08 = 26400 \text{ Дж} - \text{кількість теплоти, необхідної для плавлення всього льоду.}$$

$$Q_1 < Q_2 + Q_3, \text{ лід розтане не повністю, вода охолodиться до } 0^\circ \text{C.}$$

Відповідь: 0°C .

Приклад 13. Скільки води за 0°C було в калориметрі, якщо після того, як туди впустили 10 г водяної пари за 100°C , температура піднялась до 40°C ?

Відповідь: 152 г.

Приклад 14. У каструлю наливають вісім повних склянок холодної води за 10°C і п'ять повних склянок гарячої води за 80°C . Визначте температуру, яка встановиться в каструлі. Теплоємністю каструлі знехтуйте.

Відповідь: $36,9^{\circ}\text{C}$.

Приклад 15. На газовий пальник поставили каструлю з 1,5 л води за 20°C 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.

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

$$Q_1 = 0,5Q_2.$$

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

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

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

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

Відповідь: 84 г.

Приклад 16. Визначте (у тоннах) 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%.

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

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

$$A_{\text{кор}} = 0,35 Q$$

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

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

Відповідь: 13,6 т.

Домашнє завдання:

основне: 2.33, 2.40, 2.41, 2.43, 2.45, 2.48, 2.49; приклади 13, 14.

додаткове: 2.42, 2.44.