

Розв'язування задач. Підготовка до контрольної роботи з теми «Основи термодинаміки»

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

1. Який вид теплопередачі неможливий у твердих тілах?

- а) Теплопровідність; **в) Конвекція;**
 б) Випромінювання; г) Можливі всі види теплопередачі.

2. Як змінилася внутрішня енергія ідеального одноатомного газу, взятого в кількості 0,5 моль, якщо температура газу збільшилася на 200 К?

Дано:

$$\nu = 0,5 \text{ моль}$$

$$\Delta T = 200 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$$

$$\Delta U = ?$$

Розв'язання

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$$

$$[\Delta U] = \text{моль} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}} \cdot \text{К} = \text{Дж}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 0,5 \cdot 8,31 \cdot 200 = 1246,5 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $\Delta U \approx 1247 \text{ Дж}$.

3. Над газом виконали роботу 50 Дж, при цьому його внутрішня енергія зменшилася на 80 Дж. Яку кількість теплоти одержав (або віддав) газ?

Дано:

$$A' = 50 \text{ Дж}$$

$$\Delta U = -80 \text{ Дж}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання

A' – робота зовнішніх сил (робота над газом)

Перший закон (начало) термодинаміки:

$$\Delta U = Q + A' \quad \Rightarrow \quad Q = \Delta U - A'$$

$$[Q] = \text{Дж} - \text{Дж} = \text{Дж}$$

$$Q = -80 - 50 = -130 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: віддав 130 Дж.д

4. Яку роботу виконав дизельний двигун, який має ККД 40 %, якщо в процесі згоряння палива виділилося 44 МДж теплоти?

Дано:

$$\eta = 0,4$$

$$Q_1 = 44 \text{ МДж}$$

$$= 44 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Розв'язання

ККД теплової машини визначається за формулою:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \quad \Rightarrow \quad A = \eta Q_1$$

$$A = 0,4 \cdot 44 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 17,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

$A - ?$

Відповідь: $A = 17,6$ МДж.

5. На скільки змінилася внутрішня енергія ідеального одноатомного газу об'ємом 20 л, якщо під час його ізохорного нагрівання тиск збільшився від $1,5 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^5$ Па? Яку роботу виконав газ?

Дано:

$$V = 20 \text{ л}$$

$$= 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p_1 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$p_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$\Delta U - ?$

$A - ?$

Розв'язання

$$U = \frac{3}{2} \nu RT; \quad pV = \frac{m}{M} RT \quad \Rightarrow \quad U = \frac{3}{2} pV$$

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} p_2 V - \frac{3}{2} p_1 V = \frac{3}{2} V (p_2 - p_1)$$

$$[\Delta U] = \text{м}^3 \cdot (\text{Па} - \text{Па}) = \text{м}^3 \cdot \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Дж}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 10^5 - 1,5 \cdot 10^5) = 1,5 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

Робота газу в ході процесу чисельно дорівнює нулю, оскільки цей процес ізохорний:

$$A = 0$$

Відповідь: $\Delta U = 1,5$ кДж; $A = 0$.

6. Визначте роботу і зміну внутрішньої енергії криптону, якщо його об'єм збільшився від 15 до 20 л. Тиск є незмінним і дорівнює $2 \cdot 10^5$ Па.

Дано:

$$V_1 = 15 \text{ л}$$

$$= 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 20 \text{ л}$$

$$= 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$A - ?$

$\Delta U - ?$

Розв'язання

Робота газу при ізобарному розширенні:

$$A = p(V_2 - V_1)$$

$$[A] = \text{Па} \cdot \text{м}^3 = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \text{м}^3 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

$$A = 2 \cdot 10^5 \cdot (20 \cdot 10^{-3} - 15 \cdot 10^{-3}) = 1 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

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

$$\Delta U = \frac{3}{2} p(V_2 - V_1) = \frac{3}{2} A$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Відповідь: $A = 1 \text{ кДж}$; $\Delta U = 1,5 \text{ кДж}$.

7. У тепловій машині, що працює за циклом Карно, нагрівником є вода, взята за температури кипіння, а холодильником – лід, що тоне. Потужність теплової машини 1,0 кВт. Якою є маса льоду, що тоне в ході роботи машини протягом 1 хв? Питома теплота плавлення льоду 330 кДж/кг.

Дано:

$$T_{\text{н}} = (100 + 273)\text{К}$$

$$= 373 \text{ К}$$

$$T_{\text{х}} = (0 + 273)\text{К}$$

$$= 273 \text{ К}$$

$$P = 1 \text{ кВт}$$

$$= 1 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

$$t = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$$

$$\lambda = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$= 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$m = ?$

Розв'язання

ККД теплової машини дорівнює:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Pt}{\lambda m}$$

За формулою Карно максимально можливий ККД ідеального теплового двигуна дорівнює:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}}$$

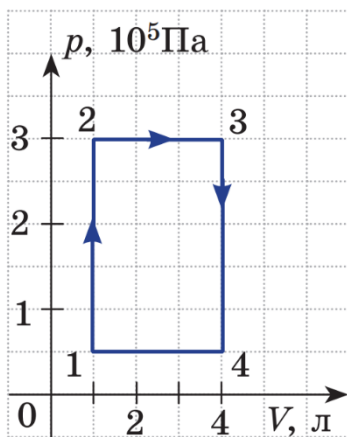
$$\frac{Pt}{\lambda m} = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}} \Rightarrow m = \frac{Pt}{\lambda} \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}$$

$$[m] = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \cdot \frac{\text{К}}{\text{К} - \text{К}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot \text{с}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \text{кг}$$

$$m = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 60}{3,3 \cdot 10^5} \cdot \frac{373}{373 - 273} \approx 0,678 \text{ (кг)}$$

Відповідь: $m \approx 678 \text{ г}$.

8. На рисунку наведено графік процесу, що відбувався з ідеальним одноатомним газом. Яку роботу виконав газ? На скільки змінилася його внутрішня енергія? Яку кількість теплоти віддав газ довікілью? Визначте ККД наведеного циклу.



Необхідні значення величин знайдемо з графіка:

$$p_1 = p_4 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$p_2 = p_3 = 6p_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = V_2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V_3 = V_4 = 4V_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$A - ? \Delta U - ? Q_1 - ? Q_2 - ? \eta - ?$$

$$a) A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$$

$$A_{12} = 0; \quad A_{23} = p_2(V_3 - V_2) = 6p_1 \cdot (4V_1 - V_1) = 18p_1V_1$$

$$A_{34} = 0; \quad A_{41} = p_4(V_1 - V_4) = p_1 \cdot (V_1 - 4V_1) = -3p_1V_1$$

$$A = 18p_1V_1 - 3p_1V_1 = 15p_1V_1$$

$$[A] = \text{Па} \cdot \text{м}^3 = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \text{м}^3 = \text{Дж} \quad A = 15 \cdot 0,5 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 750 \text{ (Дж)}$$

$$б) U = \frac{3}{2} \nu RT; \quad pV = \frac{m}{M} RT \quad \Rightarrow \quad U = \frac{3}{2} pV \quad \Rightarrow \quad \Delta U = 0$$

в) Перший закон (начало) термодинаміки: $Q = \Delta U + A$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1) = \frac{3}{2}(6p_1V_1 - p_1V_1) = 7,5p_1V_1$$

$$Q_{12} = 7,5 \cdot 0,5 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 375 \text{ (Дж)}$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_2V_2) + 18p_1V_1 = \frac{3}{2}(6p_1 \cdot 4V_1 - 6p_1V_1) + 18p_1V_1 = 45p_1V_1$$

$$Q_{23} = 45 \cdot 0,5 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 2250 \text{ (Дж)}$$

$$Q_{34} = \Delta U_{34} + A_{34} = \frac{3}{2}(p_4V_4 - p_3V_3) = \frac{3}{2}(p_1 \cdot 4V_1 - 6p_1 \cdot 4V_1) = -30p_1V_1$$

$$Q_{34} = -30 \cdot 0,5 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = -1500 \text{ (Дж)}$$

$$Q_{41} = \Delta U_{41} + A_{41} = \frac{3}{2}(p_1V_1 - p_4V_4) - 3p_1V_1 = \frac{3}{2}(p_1V_1 - p_1 \cdot 4V_1) - 3p_1V_1 = -7,5p_1V_1$$

$$Q_{41} = -7,5 \cdot 0,5 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = -375 \text{ (Дж)}$$

$$Q_1 = Q_{12} + Q_{23} = 375 \text{ Дж} + 2250 \text{ Дж} = 2625 \text{ Дж}$$

$$Q_2 = Q_{34} + Q_{41} = -1500 \text{ Дж} - 375 \text{ Дж} = -1875 \text{ Дж}$$

Г)

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \quad \eta = \frac{750 \text{ Дж}}{2625 \text{ Дж}} \approx 0,286$$

Відповідь: $A = 750 \text{ Дж}$; $\Delta U = 0$; $Q_1 = 2625 \text{ Дж}$; $Q_2 = -1875 \text{ Дж}$; $\eta \approx 29 \%$.