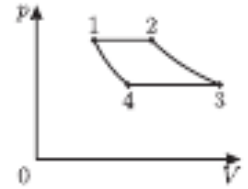


**Розв'язки для I етапу
Всеукраїнських учнівських олімпіад
з фізики
2019 – 2020 н.р.
11 клас**

1. **(10 балів)** Цикл теплової машини складається із двох ізобар та двох ізотерм, при цьому робота під час ізобаричного розширення рівна роботі під час ізотермічного розширення. Знайдіть ККД такого циклу, якщо робочою речовиною є гелій, а максимальна температура у процесі вдвічі більша за мінімальну.



Зобразимо цикл теплової машини на термодинамічній діаграмі у pV -координатах. 1-2 та 3-4 – ізобари, 2-3 та 4-1 – ізотерми. ККД циклу дорівнює відношенню виконаної у цьому циклі роботи до отриманої на ділянці 1-2-3 кількості теплоти.

Обчислимо роботу на різних ділянках циклу. За умовою $A_{12} = A_{23} = A$. Для розрахунку роботи на ділянці 3-4 врахуємо, що $T_2 = T_3 = T_{\max}$, $T_1 = T_4 = T_{\min}$, $T_3 = 2T_4$, $p_1 = p_2$, $p_3 = p_4$. Тоді $V_3 = (T_3/T_4)V_4 = 2V_4$, $V_2 = (T_2/T_1)V_1 = 2V_1$, $p_1 V_1 = p_4 V_4$. Отже:

$$A_{34} = -p_4(V_3 - V_4) = -p_4 V_4 = -p_1 V_1 = -p_1(V_2 - V_1) = -A.$$

Для обчислення роботи на ділянці 4-1 примітимо, що крива 1-4 може бути геометрично утворена із кривою 2-3 стисканням у два рази вздовж вісі V , тому площі під кривими 1-4 та 2-3 відрізняються у два рази і $A_{41} = -A/2$. Таким чином, сумарна робота у циклі:

$$A_{\text{сум}} = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = A + A - A - A/2 = A/2.$$

Обчислимо отримані газом кількості теплоти на ділянках 1-2 та 2-3. Надана газу кількість теплоти витрачається на зміну його внутрішньої енергії, яка для одноатомного гелію дорівнює $(3/2)pV$, та на виконання відповідної роботи розширення: $Q_{12} = (3/2)p_1(V_2 - V_1) + p_1(V_2 - V_1) = (5/2)A$, $Q_{23} = A$. Сумарна кількість теплоти, отриманої на ділянці 1-2-3, дорівнює $Q_{123} = Q_{12} + Q_{23} = (5/2)A + A = (7/2)A$.

Отже, ККД циклу дорівнює: $\eta = A_{\text{сум}} / Q_{123} = 1/7 \approx 0,14 = 14\%$.

2. **(10 балів)** До тіла масою 1 кг, яке знаходиться у стані спокою внизу похилої площини, приклали силу 8Н паралельно похилій площині вгору. Ця сила діяла протягом 10с. Визначити шлях, переміщення, швидкість та прискорення тіла у миттєвість часу 15 с після прикладання сили. Побудувати графіки зміни кінематичних величин з плином часу. Кут нахилу похилої площини до горизонту 30° , коефіцієнт тертя 0,2.

| | |
|----------------------|---|
| $m = 10 \text{ кг}$ | $F_{mp} = \mu mg \cos \alpha = 1,73 \text{ Н}$ |
| $F = 8 \text{ Н}$ | $a_1 = \frac{F_1 - mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha}{m} = 1,27 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$ |
| $t_1 = 10 \text{ с}$ | $v_1 = a_1 t_1 = 12,7 \frac{\text{М}}{\text{с}} \quad X_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2} = 63,5 \text{ м}$ |
| $t = 15 \text{ с}$ | $t > t_1 = 10 \text{ с} \quad v = v_1 - a_2 t$ |
| $\alpha = 30^\circ$ | $a_{2x} = \frac{-mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha}{m_1} = -6,73 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$ |
| $\mu = 0,2$ | $0 = v_1 - a_2 t_2 \quad t_2 = \frac{v_1}{a_2} = 1,9 \text{ с}$ |
| $l_3 - ?$ | $X_2 = X_1 + v_1 t_2 - \frac{a_2 t_2^2}{2} = 75,13 \text{ м}$ |
| $S - ?$ | $t > t_1 + t_2$ (рух із стану спокою вниз з прискоренням a_3) |
| $v_3 - ?$ | $a_3 = \frac{mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha}{m} = 3,27 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$ |
| | $v_3 = a_3 (t' - (t_1 + t_2)) = 10,14 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ |
| | $l_3 = \frac{a_3 t_3^2}{2} = 15,71 \text{ м}$ |
| | $l = X_2 + l_3 = 90,84 \text{ м}$ |
| | $S = X_2 - l_3 = 59,42 \text{ м}$ |

3. (10 балів) Яка напруга прикладена до відрізка мідного дроту діаметром 0,8 мм, якщо в ньому міститься 10^{25} вільних електронів, середня швидкість напрямленого переміщення яких $3,14 \cdot 10^{-3} \frac{\text{М}}{\text{с}}$? Питомий опір міді $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, елементарний заряд $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Напруга $U = IR$, але $I = enSv$, $R = \frac{\rho l}{S}$, де $n = \frac{N}{Sl}$ - об'ємна концентрація електронів. Тоді

$$U = env\rho l = \frac{eNv\rho}{S} = \frac{4Ne\nu\rho}{\pi d^2} \approx 170 \text{ В}.$$

4. (10 балів) Сани з людиною загальною масою 80 кг з'їжджають з гори, кут нахилу якої до горизонту 30° , і проїхавши по горизонтальній площині відстань 40 м, зупиняються. Скільки снігу розтануло під час руху саней, якщо температура снігу 0°С , коефіцієнт тертя 0,02 сталій на всьому шляху і вся робота проти сил тертя йде на плавлення снігу? Питома теплота плавлення льоду $330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, прискорення вільного падіння $10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$, а $\sqrt{3} = 1,73$.

Оскільки на плавлення снігу затрачається вся потенціальна енергія саней m_1gh , то задача зводиться до визначення h – висоти, з якої спускаються сани. Під час руху по похилій площині потенціальна енергія перетворюється в кінетичну і затрачається на виконання роботи по подоланню сили тертя, тобто $m_1gh = \frac{1}{2} m_1 v^2 + \mu m_1 g S \cos \alpha$, де $S = \frac{h}{\sin \alpha}$ - довжина похилої

площини. Швидкість знайдемо з умови, що кінетична енергія повністю витрачається на виконання роботи проти сил тертя під час руху по горизонтальній поверхні, тобто $\frac{m_1 v^2}{2} = \mu m_1 g \ell$, звідси

$$v^2 = 2\mu g \ell. \text{ Тоді } h = \frac{\mu \ell}{1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha}. \text{ Згідно із законом збереження енергії } m_1 g h = m_2 \lambda, \text{ або}$$

$$\frac{m_1 g \mu \ell}{1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha} = m_2 \lambda. \text{ Звідси } m_2 = \frac{\mu \ell m_1 g}{\lambda (1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha)} \approx 45 \text{ г}$$

5. **(10 балів)** Куля масою 9 г, що летить горизонтально, потрапляє у вантаж масою 8 кг, підвішений на легкому жорсткому стрижні, і застряє в ньому. При цьому вантаж з кулею підіймається на висоту 2 см. Визначте, з якою швидкістю летіла пуля.

| | |
|---|---|
| $m = 9 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ $M = 8 \text{ кг}$ $h = 0,02 \text{ м}$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $v_0 = ?$ | $m v_0 = (m + M) v_1; \quad v_0 = \frac{m + M}{m} v_1$ із закону збереження енергії знаходимо v_1 $\frac{(m + M) v_1^2}{m} = (m + M) g h; v_1 = \sqrt{2 g h}$ $v_0 = \frac{m + M}{m} \sqrt{2 g h} = 563 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ |
|---|---|