

Відповіді

III етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики

2024-2025 н.р

Теоретичний тур

11 клас.

Завдання 1.

Відповідь. 640К, 748 Дж.

Ров'язання.

Процес 3-4 та 1-2 ізохорний, тому  $V_3 = V_4, V_1 = V_2$ .

Процес 2-3 ізобарний, тому для нього можна записати:

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{V_2}{V_3} = \frac{V_1}{V_3} \quad (1).$$

Процес 4-1 ізобарний, тому для нього можна записати:  $\frac{T_1}{T_4} = \frac{V_1}{V_4} = \frac{V_1}{V_3} \quad (2).$

З рівнянь (1) і (2):  $\frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4}$ .

Бачимо також, що  $T_2 = T_4$ . Тому  $\frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_2}$ . Звідси  $T_3 = \frac{T_2^2}{T_1}$ .  $T_3 = \frac{160000}{250} = 640 \text{ К}$ . Щоб

визначити роботу зручно перемалювати графіки в осях  $PV$ .

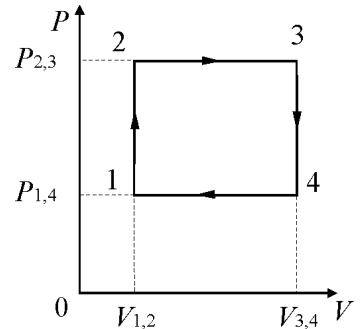
Робота дорівнює площі прямокутника:

$$A = (p_2 - p_1)(V_3 - V_2); A = p_2V_3 - p_1V_3 - p_2V_2 + p_1V_2.$$

Оскільки  $p_1 = p_4$ ,  $p_2 = p_3$ ,  $V_1 = V_2$ ,  $V_3 = V_4$ , то  $A = p_3V_3 - p_4V_4 - p_2V_2 + p_1V_1$ .

Враховуючи, що  $pV = \nu RT$ ,  $\nu = 1$  моль і  $T_2 = T_4$ , одержимо:

$$A = R(T_3 - 2T_2 + T_1). A \approx 748 \text{ Дж}.$$



Завдання 2.

Відповідь.  $\frac{5}{3}R$

Ров'язання. Оскільки вольтметр ідеальний, то струм через нього не йде. Нехай у середній вітці йде струм  $I_1$  (саме його потрібно знайти), а у верхній  $I_2$ . Тоді в нижній вітці через джерело живлення йде струм  $I = I_1 + I_2$ . Для напруг можна записати:  $U_1 = U_2$  (1),  $U + U_2 = U_0$  (2), де  $U$  – напруга на нижньому резисторі  $R$ .

$$\text{Згідно з (1)} \quad I_1(R + R_n) = 2I_2R \quad (3),$$

$$\text{згідно з (2)} \quad IR + 2I_2R = U_0; (I_1 + I_2)R + 2I_2R = U_0; I_1R + 3I_2R = U_0 \quad (4)$$

З рівняння (3)  $I_2 R = \frac{I_1 R}{2} + \frac{I_1 R_n}{2}$ .

Підставимо в (4)  $I_1 R + \frac{3I_1 R}{2} + \frac{3I_1 R_n}{2} = U_0$ .  $I_1 \left( \frac{5}{2} R + \frac{3}{2} R_n \right) = U_0$ .

Звідси  $I_1 = \frac{2U_0}{5R + 3R_n}$ .

Потужність, що виділяється на навантаженні  $P = I_1^2 R_n = \frac{4U_0^2 R_n}{(5R + 3R_n)^2}$ .

Щоб знайти максимальне її значення, потрібно прирівняти похідну цього

виразу по  $R_n$  до нуля  $P' = \frac{4U_0^2 \cdot (5R + 3R_n)^2 - 4U_0^2 R_n \cdot 2 \cdot (5R + 3R_n) \cdot 3}{(5R + 3R_n)^4} = 0$ .

$4U_0^2 \cdot (5R + 3R_n)((5R + 3R_n) - 6R_n) = 0$ . Звідси  $R_n = \frac{5}{3} R$ .

Можна обійтись і без знань похідної. Перепишемо вираз для потужності

$P = \frac{4U_0^2 R_n}{25R^2 + 30RR_n + 9R_n^2} = \frac{4U_0^2 R_n}{25R^2 - 30RR_n + 9R_n^2 + 60RR_n} = \frac{4U_0^2 R_n}{(5R - 3R_n)^2 + 60RR_n}$ .

Вираз максимальний, коли мінімальний знаменник. А це буде тоді, коли перший доданок знаменника перетвориться в нуль. Тобто  $R_n = \frac{5}{3} R$ .

### Завдання 3.

**Відповідь.**  $\frac{m}{B} \left( \omega - \frac{g}{\omega l \cos \alpha} \right)$ .

**Ров'язання.** На кульку діють сила тяжіння, сила натягу нитки і сила Лоренца, напрямлена до центру. Проектуючи сили на координатні осі, отримуємо:

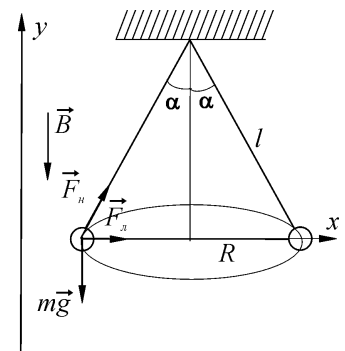
Ох:  $F_L + F_n \cdot \sin \alpha = \frac{mv^2}{R}$  (1);

Оу:  $F_n \cdot \cos \alpha - mg = 0$  (2).

З рівняння (2)  $F_n = \frac{mg}{\cos \alpha}$ . Ураховуючи, що

$R = l \cdot \sin \alpha$ ,  $F_L = qvB$ ,  $v = \omega R = \omega l \sin \alpha$

підставимо ці вирази в (1).



$$q \cdot \omega \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot B + mg \cdot \tan \alpha = \frac{m\omega^2 l^2 \sin^2 \alpha}{l \sin \alpha}$$

$$q \cdot \omega \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot B + mg \cdot \tan \alpha = m\omega^2 l \sin \alpha$$

$$q = \frac{m\omega^2 l \sin \alpha - mg \cdot \tan \alpha}{\omega \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot B} = \frac{m}{B} \left( \omega - \frac{g}{\omega l \cos \alpha} \right)$$

**Завдання 4.****Відповідь.** 136,4 мДж.**Ров'язання.**

Оскільки наведено графік залежності сили від часу, то обчисливши площу під графіком можна знайти  $F \cdot \Delta t$ . Це є зміна імпульсу сили, що в свою чергу дорівнює зміні імпульсу. Площа під графіком знаходиться як сума площ двох прямокутників і трапеції.

$$\Delta p = F \cdot \Delta t = 44 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}. \text{ Отже } m \cdot \Delta v = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Звідси  $\Delta v = 2,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Тоді кінцева швидкість тіла 4,2 м/с. Зміна кінетичної енергії тіла відбувається за рахунок виконання роботи.

$$\text{Отже, } A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = 136,4 \text{ мДж}.$$