1 етап Всеукраїнської олімпіади з фізики у 2026-2027 н. р. 04.10.2026. 11 клас
Авторські розв'язки

Задача 1. Міні-задачі

1.1. (2 бали)

Оскільки вольтметри з'єднані послідовно, через них проходить однаковий електричний струм. Через різні внутрішні опори приладів вони показують різну напругу.

Загальна напруга обчислюється так:

$V = V_1 + V_2 + V_3 =$ **12 В**

1.2. (2 бали)

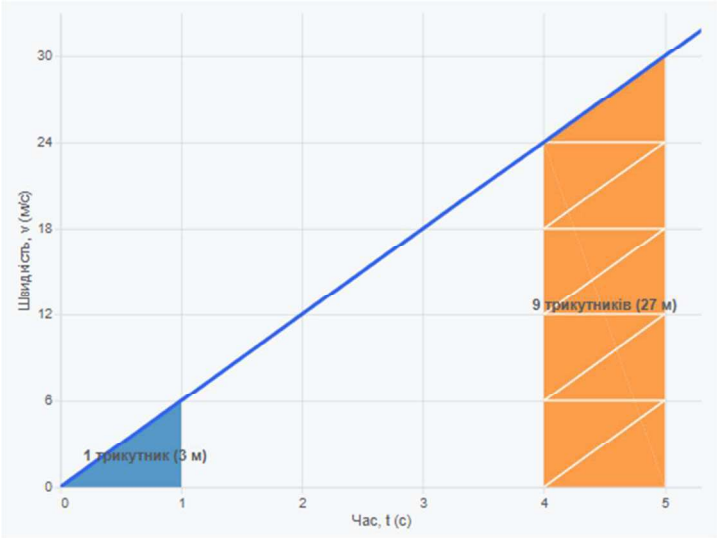
За першу секунду руху

$S_1 = \frac{a \cdot 1^2}{2} \quad => \quad a = \frac{2 \cdot S_1}{1}$.

За п'яту секунду

$$S_2 = \frac{a \cdot 5^2}{2} - \frac{a \cdot 4^2}{2} = \frac{a \cdot 9}{2} = 9S_1 = \mathbf{27}\ \text{м}$$

Також задачу можна розв'язати графічно. Для цього можна скористатись тим, що площа фігури під графіком швидкості чисельно дорівнює пройденому шляху.



$S_1 = 1$ трикутник, $S_2 = 9$ трикутників

$S_2 = 9S_1 =$ **27 м**

1.3. (2 бали)

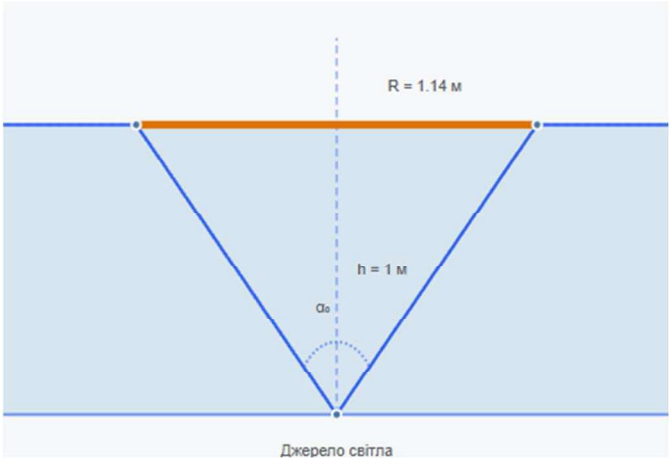
Умова рівноваги важеля дозволяє знайти сила натягу нитки, яка діє на друге (коротше) плече важеля. $F_2 = 5m_1g$

Рухомий блок дає виграш у силі у 2 рази. Це означає, що сила натягу нитки F_2, яка утримує цей вантаж, удвічі менша за силу тяжіння вантажу $m_2g = 2F_2$.

$m_2 = 10m_1 =$ **300 кг**.

1.4. (2 бали)

Коли світло переходить із оптично більш густого середовища (вода) в оптично менш густе (повітря), промені заломлюються та відхиляються від перпендикуляра до поверхні. При певному куті падіння кут заломлення стає рівним 90^0. Тобто промінь ковзає уздовж поверхні води, а за ще більших кутів повністю відбивається назад у воду.



Щоб жоден промінь не вийшов назовні, диск повинен повністю закрити те коло на поверхні, через яке світло ще здатне виходити в повітря.

Гранічний кут повного відбування

$$sin(\alpha_0) = \frac{1}{n} \approx 0{,}75 \ => \ \alpha_0 \approx 48{,}6^{\,0}$$

З геометричних суджень

$$tg(\alpha_0) = \frac{R}{h} \quad => \quad R = h \cdot tg(\alpha_0) \approx \mathbf{1{,}13}\text{м}$$

1.5. (2 бали)

Щоб вежа мала максимальну висоту, кубики потрібно поставити один на одного вертикально у чотири яруси. Виконана робота дорівнює зміні потенціальної енергії системи кубиків.

Коли кубик лежить на поверхні, його центр мас перебуває на висоті a / 2. Всі кубики на одній висоті:

$$E_1 = 4mg\frac{a}{2} = 2mga$$

Після того як вежа побудована: першій кубику на висоті a / 2, другий – $3a$ / 2, третій - $5a$ / 2, четвертий $7a$ / 2 .

$$E_2 = mg\frac{a}{2} + mg\frac{3a}{2} + mg\frac{5a}{2} + mg\frac{7a}{2} = 8mga$$

$$A = E_2 - E_1 = \mathbf{6mga}$$

Задача 2.

2.1. (3 бали)

Маса одного атому

$m_0 = \frac{M}{N_a} \approx \mathbf{1,99 \cdot 10^{-26}}$ кг

2.2 (7 балів)

Площа одного шестикутника $S = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2 \approx 5.24 \cdot 10^{-20}$ м^2

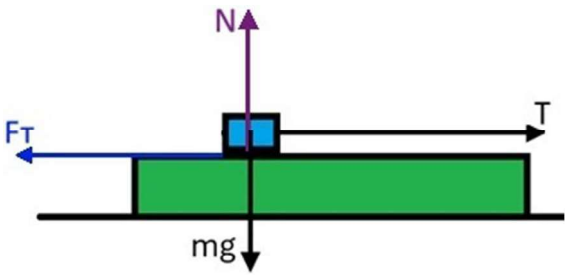
Кожен із 6 вершинних атомів шестикутника належить трьом сусіднім коміркам одночасно. Отже, на одну комірку припадає 2 атоми. Маса комірки:

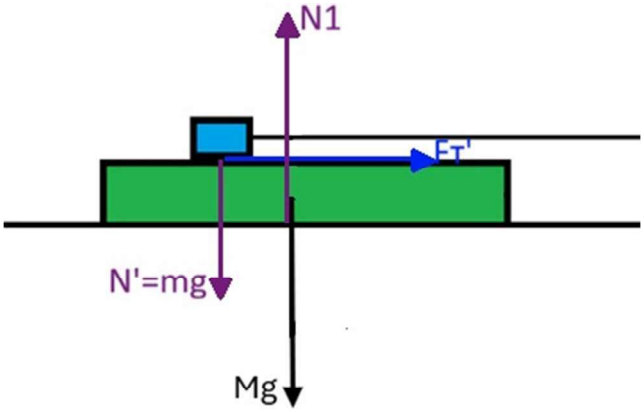
$m = 2m_0 \approx 3{,}98 \cdot 10^{-26}$ кг

Поверхнева густина $\rho_S = \frac{m}{S} \approx \mathbf{7,59 \cdot 10^{-7}}$ $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$

Задача 3.

3.1 (2 бали + 2 бали)





3.2 (3 бали)

Сила тертя між брусками $F_\text{T} = F_\text{T}\,' = \mu N = \mu mg = 0{,}08$Н

Прискорення великого бруска $a = \frac{F_\text{T}}{M} = 0{,}08$ $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Маленький брусок рухається рівномірно і проходить відстань $S_{m1} = V \cdot t_1 = 0{,}16$ м

Великий брусок рухається рівноприскорено і проходить відстань $S_{M1} = \frac{a \cdot t_1^2}{2} = 0{,}04$ м

Відстань зменшується $L_1 = L_0 - (S_{m1} - S_{M1}) = \mathbf{0,38}$ м

3.3. (3 бали)

Другий випадок: знайдемо час, коли швидкість великого бруска зрівняється зі швидкістю маленького бруска $t_{\text{р}} = \frac{V}{a} = 2$ с. До моменту t_P великий брусок прискорюється, а маленький рухається рівномірно. Після цього швидкості брусків стають однаковими відносний рух зникає і відстань між ними перестає змінюватись. Тому через 4 секунди відстань буде такою ж як через 2 секунди

$S_{m2} = V \cdot 2\text{ с} = 0{,}32\text{ м}$, $S_{M2} = \frac{a \cdot 4\text{ с}^2}{2} = 0{,}16\text{ м}$, $L_2 = L_0 - (S_{m2} - S_{M2}) = \mathbf{0{,}34}$ м

Задача 4.

4.1. (2 бали)

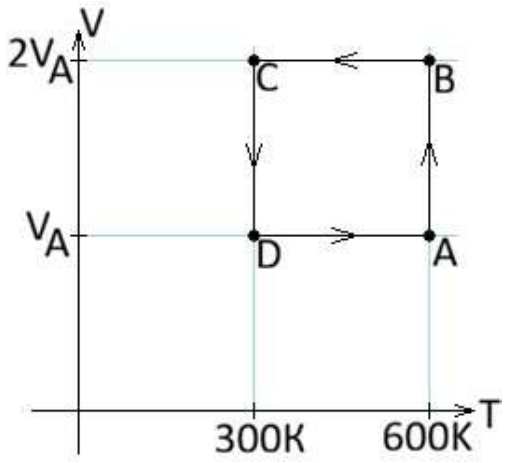
A-B: Перехід ізотермічний $T_B = T_A = T_1 = 300$ K. За умовою об'єм збільшується вдвічі $V_B = 2V_A$, відповідно тиск зменшується вдвічі $P_B = 0.5\ P_A$. (PV = const)

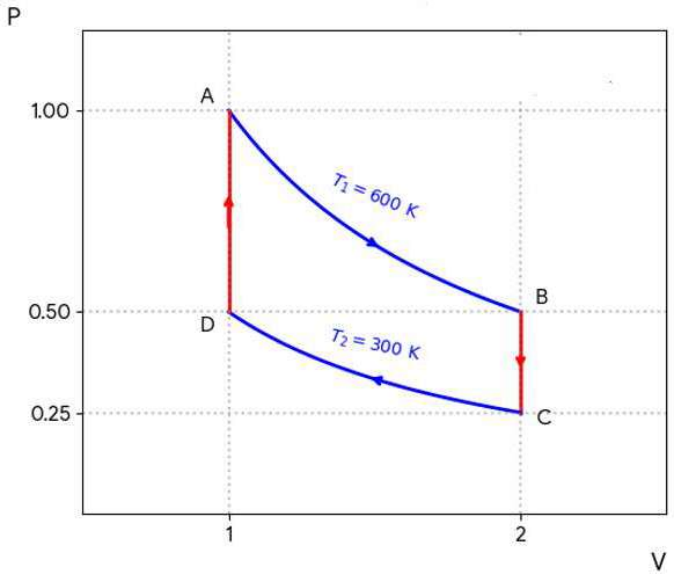
B-C: Перехід ізохорний $V_C = V_B = 2V_A$. За умовою температура зменшується з 600 К до 300 К: $T_C = T_2 = 300$ K. Відповідно тиск зменшується вдвічі $P_C = 0.5\ P_B = 0.25\ P_A$. (P / T = const).

C-D: Перехід ізотермічний $T_D = T_C = T_2 = 600$ K. Процес йде до початкового об'єму $V_D = V_A$. Відповідно тиск збільшується вдвічі $P_D = 2\ P_C = 0.5\ P_A$ (PV = const).

D-A: Перехід ізохорний, повертаємось до початкових значень. (P / T = const).

4.2. (2 бали)





На вказаній тут діаграмі PV тиск та об'єм газу зазначені в долях, відповідно, тиску та об'єму газу в точці A.

4.3. (3 бали)

В ідеальному регенеративному циклі Стірлінга теплота, що виділяється на ділянці ізохорного охолодження B-C, повністю поглинається регенератором, а потім на ділянці ізохорного нагріву D-A повністю повертається газу Таким чином, зовнішнє підведення теплоти від нагрівника відбувається тільки на ізотермічній ділянці A-B. На цій ділянці зміна внутрішній енергії дорівнює нулю та

$$Q_{\text{нагріву}} = Q_{AB} = A_{AB} = \nu R T_1 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) = \nu R T_1 \ln(2).$$

Повна корисна робота за цикл дорівнює сумі робіт на двох ізотермічних ділянках (на ізохорах робота дорівнює нулю).

$$A_{CD} = \nu R T_2 \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right) = \nu R T_2 \ln\left(\frac{V_A}{2V_A}\right) = \nu R T_2 \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\nu R T_2 \ln(2)$$

$$A = A_{AB} + A_{CD} = \nu R \ln(2)(T_1 - T_2)$$

А ККД

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{нагріву}}} = \frac{\nu R(T_1 - T_2)\ln(2)}{\nu R T_1 \ln(2)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \mathbf{0,5}$$

Зверніть увагу, що це значення збігається з ККД циклу Карно

4.4. (3 бали)

Якщо регенератор відсутній, теплоту, яка виділяється при ізохорному охолодженні, двигун безповоротно віддає в навколишнє середовище (охолоджувачу). Відповідно, на стадії ізохорного нагрівання всю необхідну енергію для нагрівання газу доводиться додатково брати від зовнішнього нагрівника.

$$Q_{DA} = \Delta U_{DA} = \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_2)$$

$$Q_{\text{нагріву}} = Q_{AB} + Q_{DA} = \nu R T_1 \ln(2) + \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_2)$$

$$\eta' = \frac{A}{Q_{\text{нагріву}}} = \frac{\nu R(T_1 - T_2)\ln(2)}{\nu R T_1 \ln(2) + \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_2)} = \frac{(T_1 - T_2)\ln(2)}{T_1 \ln(2) + 1{,}5(T_1 - T_2)} \approx \mathbf{0,24}$$

Задача 5.

5.1. (3 бали)

Для тіла, що рухається по коловій орбіті навколо супутника, сила всесвітнього тяжіння дорівнює масі тіла помноженому на доцентрове прискорення:

$$\frac{M V_0^2}{R_M + h_1} = \frac{G M_M M}{(R_M + h_1)^2} \Longrightarrow V_0 = \sqrt{\frac{G M_M}{R_M + h_1}} \approx \mathbf{1632}\ \text{м/с}$$

5.2 (7 балів)

Будемо вважати, що вся порція пального викидається миттєво, а маса самого модуля під час роботи двигуна майже не змінюється і залишається приблизно рівною 15000 кг.

Початковий імпульс $P_{\text{поч}} = M \cdot V_0$

Кінцевий стан (відразу після імпульсу):

$$P_{\text{кін}} = (M - m_{\text{пального}}) \cdot V_1 + m_{\text{пального}} \cdot (V_1 + u)$$

Згідно із законом збереження імпульсу:

$$P_{\text{поч}} = P_{\text{кін}}$$

Можна знайти

$$m_{\text{пального}} = \frac{M \cdot \Delta V}{u} = \mathbf{85}\ \text{кг}$$

Також задачу можна розв’язати таким чином:

$$P_{\text{кін}} = (M - m_{\text{пального}}) \cdot V_1 + m_{\text{пального}} \cdot (V_0 + u) \Longrightarrow m_{\text{пального}} = \frac{M \cdot \Delta V}{u + \Delta V} \approx \mathbf{84.5}\ \text{кг}$$

Обидва розв’язки вважати вірними.

Примітка. Деякі завдання можна правильно розв'язати декількома способами, в авторських розв'язках наведено один з можливих.