

Завдання III етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики
Теоретичний тур
8 клас

Завдання 1

Учень прокотив долонею круглий олівець по парті. Який шлях пройшов олівець відносно стола, якщо довжина долоні 10 см? На скільки перемістилася при цьому відносно парті долоня?

Розв'язок

Нехай між долонею й олівцем, долонею й партою відсутнє проковзування. Долоня і олівець рухаються однаковий час.

Відстань, яку пройде олівець під дією долоні, дорівнює довжині долоні відносно парті $l = 10$ см.

Швидкість точки А (точки дотику олівця з долонею) у 2 рази більша за швидкість точки О (центра олівця): $v_A = 2v_O$. Отже, відстань, пройдена долонею відносно парті у 2 рази більша, ніж олівця: $L = 10$ см

Завдання 2

Вантаж невідомої маси зважують, зрівноважуючи його тягарцем відомої маси M на кінцях важкого прямого коромисла. При цьому рівновага досягається, коли точка опори коромисла зміщується від його середини на $x=1/4$ його довжини в бік тягарця (рис. 1). За відсутності вантажу коромисло залишається в рівновазі, якщо змістити його точку опори від середини в бік тягарця на $y=1/3$ його довжини (рис. 2). Вважаючи коромисло однорідним за довжиною, знайти масу m_B вантажу.

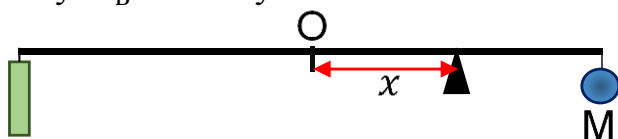


Рис. 1.

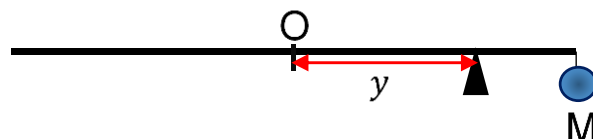


Рис. 2.

Розв'язок

Позначимо довжину коромисла L . Тоді $x = \frac{L}{4}$, $y = \frac{L}{3}$.

Під час зважування вантажу невідомої маси m на плечі коромисла довжиною діють чотири сили (рис. 3):

- сила тяжіння коромисла \vec{F} ($F = mg$, де m – маса коромисла);
- вага вантажу \vec{P}_B ($P_B = m_B g$, де m_B – маса вантажу);
- вага тягарця \vec{P}_T ($P_T = Mg$, де M – маса тягарця);
- сила реакції опори \vec{N}_1 .

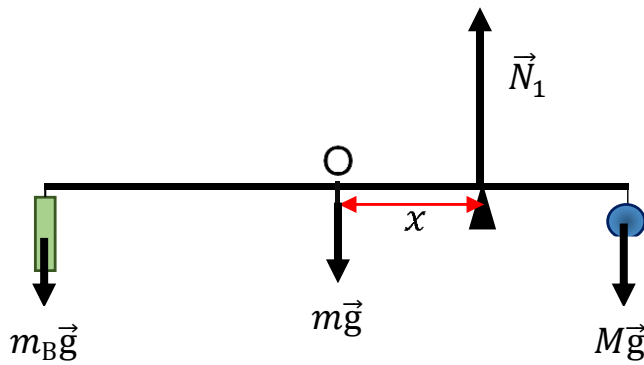


Рис. 3.

Запишемо умову рівноваги коромисла з вантажем відносно точки опори:

$$m_B g \left(\frac{L}{2} + \frac{L}{4} \right) + m g \frac{L}{4} = M g \left(\frac{L}{2} - \frac{L}{4} \right)$$

Звідси,

$$m_B = \frac{M-m}{3}. \quad (1)$$

Оскільки маса коромисла невідома, то розглянемо другу ситуацію, коли коромисло врівноважується без вантажу (рис. 4).

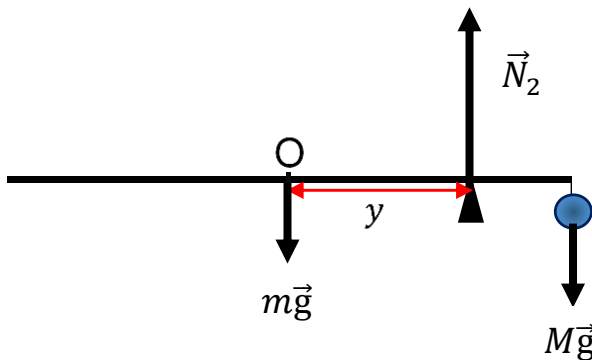


Рис. 4.

На коромисло з тягарцем будуть діяти три сили:

- сила тяжіння коромисла \vec{F} ($F = mg$, де m – маса коромисла);
- вага вантажу \vec{P}_B ($P_B = m_B g$, де m_B – маса вантажу);
- сила реакції опори \vec{N}_2 .

За умовою рівноваги важеля одержуємо:

$$m g \frac{L}{3} = M g \left(\frac{L}{2} - \frac{L}{3} \right)$$

Звідси,

$$m = \frac{M}{2} \quad (2)$$

Підставляючи вираз 2 у вираз 1, отримаємо:

$$m_B = \frac{M}{6}.$$

Завдання 3

Кулька для гри у пінг-понг радіусом $r = 15$ мм і масою $m = 5$ г занурена у воду на глибину $h_1 = 30$ см. Коли кульку відпустили, вона вистрибнула з води на висоту $h_2 = 10$ см. Скільки енергії перейшло в теплоту внаслідок тертя кульку з водою? Густина води $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

До відома. Об'єм кульки розраховується за формулою $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

Розв'язок

На кульку, занурену у воду, діє сила тяжіння mg , наярмлена вертикально вниз, і сила Архімеда, напрямлена вертикально вгору, яка повинна перевищувати силу тяжіння кульки, оскільки кулька після того, як її відпустили, почала рухатися вгору.

Сила Архімеда дорівнює $F_A = \rho g V = \rho g \frac{4}{3}\pi r^3$.

Під час руху кульки на неї діє також сила тертя зі сторони води, яка нагріває кульку. Отже, робота сили тертя води дорівнює кількості виділеного тепла.

Кулька підіймається вгору й вискакує з води, маючи кінетичну енергію, яка дорівнює різниці між сумарною роботою сил Архімеда й тяжіння та кількості теплоти.

Коли кулька вистрибує на висоту h_2 , її кінетична енергія перетворюється в потенціальну енергію $E_{\text{п}} = mgh_2$.

Отже, $mgh_2 = h_1 \left(\rho g \frac{4}{3}\pi r^3 - mg \right) - Q$.

Звідси, $Q = h_1 \left(\rho g \frac{4}{3}\pi r^3 - mg \right) - mgh_2$

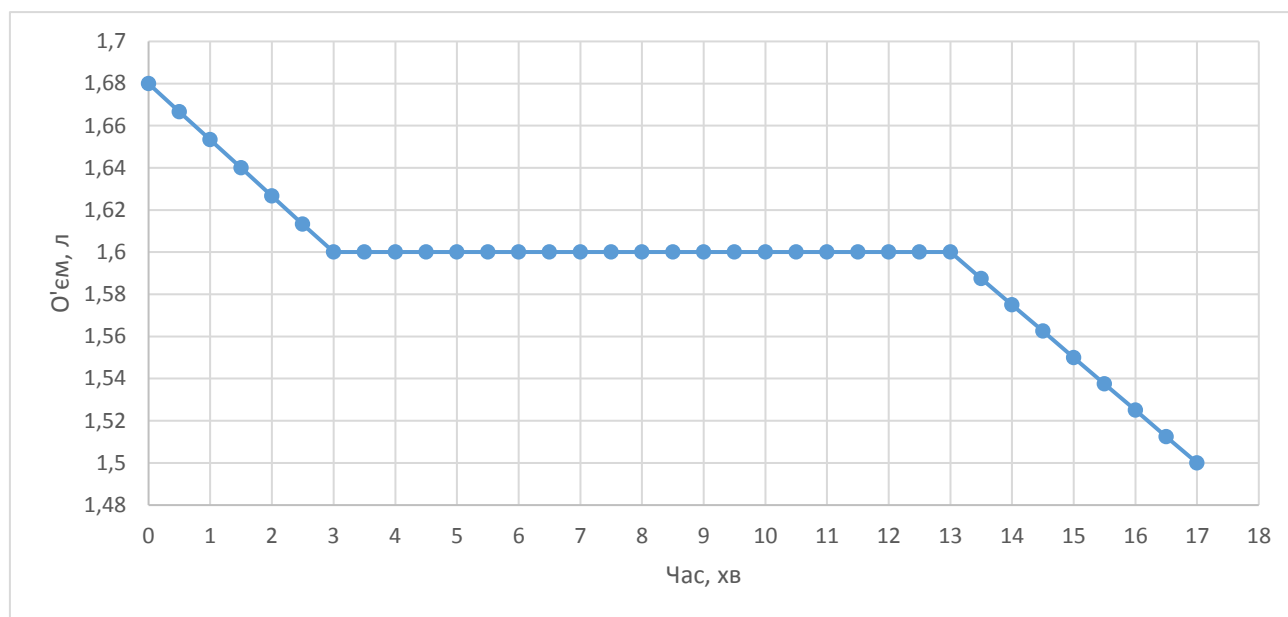
Завдання 4

Учень вирішив провести експеримент з визначення питомої теплоти плавлення λ льоду та питомої теплоти пароутворення води r . У електрочайник з холодною водою він засипав шматочки льоду та закріпив спеціальну тонку сітку так, щоб увесь лід опинився під водою. Після встановлення незмінної температури води, учень включив чайник у електромережу і почав спостерігати за зміною рівня води, а результати вимірювань відобразив на графіку. Використовуючи дані графіка, значення питомої теплоємності води $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$, густини води $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,

густини льоду $900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, учень визначив λ і r . Але виявилось, що його результати суттєво відрізняються від табличних значень цих величин: одна величина мала



завищене значення, а інша – занижене. Які результати отримав учень? Поясніть причини таких відмінностей від табличних значень?



Розв'язок

На першій ділянці графіка об'єм суміші зменшується за рахунок танення льоду (лід має меншу густину). За графіком зміна об'єму $\Delta V_1 = 1,68 \text{ л} - 1,6 \text{ л} = 0,08 \text{ л}$.

Якщо $m_{\text{л}}$ – маса льоду, що розтає, то $\Delta V_1 = V_{\text{л}} - V_{\text{в}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} - \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}} = m_{\text{л}} \frac{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{л}}}$.

Звідси,

$$m_{\text{л}} = \frac{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} \Delta V_1 \quad (1)$$

Кількість теплоти, одержана льодом від нагрівника:

$$Q'_1 = P \Delta t_1, \quad (2)$$

де P – потужність чайника, $\Delta t_1 = 3 \text{ хв}$ – час нагрівання.

Також, кількість теплоти можна визначити як

$$Q_1 = \lambda \Delta m_{\text{л}} \quad (3)$$

Підставимо вираз 1 у вираз 3:

$$Q_1 = \lambda \Delta m_{\text{л}} = \lambda \frac{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} \Delta V_1 \quad (4)$$

Прирівнюючи вирази 2 та 4, отримуємо:

$$P \Delta t_1 = \lambda \frac{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} \Delta V_1; \\ \lambda = \frac{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} \cdot \frac{\Delta V_1}{P \Delta t_1}. \quad (5)$$

На другій ділянці відбувається нагрівання води, об'єм якої $\Delta V_1 = 1,6 \text{ л}$, від температури плавлення льоду 0°C до температури кипіння 100°C .

Кількість теплоти, отримана водою, дорівнює:

$$Q_2 = c V_1 \rho_{\text{в}} \Delta T$$

На другому етапі теплота нагрівального елемента йде на нагрівання води:

$$Q_2 = c m_{\text{в}} \Delta T = c \rho_{\text{в}} V_2 \Delta T, \quad (6)$$

де V_2 – об'єм води в чайнику до моменту, коли ввесь лід розтанув, $\Delta T = 100^\circ\text{C}$.

Теплота, яку віддає нагрівник:

$$Q'_2 = P\Delta t_2, \quad (7)$$

де $\Delta t_2 = 10$ хв.

Прирівнюючи вирази 6 та 7, отримуємо:

$$\begin{aligned} P\Delta t_2 &= cp_B V_2 \Delta T; \\ P &= \frac{cp_B V_2 \Delta T}{\Delta t_2} \end{aligned} \quad (8)$$

Підставимо вираз 8 у вираз 5 та отримаємо:

$$\lambda = \frac{p_B - p_L}{p_B p_L} \cdot \frac{cp_B V_2 \Delta T}{\Delta t_2} \cdot \frac{\Delta t_1}{\Delta V_1} = \frac{p_B - p_L}{p_L} \cdot \frac{V_2}{\Delta V_1} \cdot \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} c \Delta T = 2,8 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

На третій ділянці об'єм води зменшується за рахунок випаровування води. З графіка видно, що за $\Delta t_3 = 4$ хв випарилася вода об'ємом $\Delta V_3 = 1,6 \text{ л} - 1,5 \text{ л} = 0,1 \text{ л}$.

Кількість теплоти, необхідна для випаровування, дорівнює:

$$Q_3 = rm_3 = r\rho_3 \Delta V_3. \quad (9)$$

Теплота, отримана від нагрівника:

$$Q'_3 = P\Delta t_3. \quad (10)$$

Підставимо вираз 8 у вираз 9:

$$Q'_3 = \frac{cp_B V_2 \Delta T}{\Delta t_2} \cdot \Delta t_3. \quad (11)$$

Прирівнюємо вирази 9 та 11 і отримуємо:

$$\begin{aligned} r\rho_3 \Delta V_3 &= \frac{cp_B V_2 \Delta T}{\Delta t_2} \cdot \Delta t_3; \\ r &= \frac{cp_B V_2 \Delta T}{\Delta t_2} \cdot \frac{\Delta t_3}{\rho_3 \Delta V_3} = \frac{V_2}{\Delta V_3} \cdot \frac{\Delta t_3}{\Delta t_2} \cdot c \Delta T \approx 2,7 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \end{aligned}$$

Причиною відхилень може бути те, що на всіх етапах нагрівання відбувається не врахований теплообмін з повітрям. На початковій ділянці температура повітря вища за температуру води, і тому теплота, одержана від нагрівника дещо менша за необхідну, щоб значення питомої теплоти плавлення λ льоду співпало з табличним значенням цієї величини. Під час кипіння теплота частково віддається повітрю, тому значення питомої теплоти пароутворення води r завищено.