Відповіді на завдання I етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики
2026-2027 н.р.
11 клас

Приймати $g = 10$ м/с², густину води $\rho = 1000$ кг/м³. Температуру в кельвінах обчислювати за формулою $T = t + 273$, де t — температура у °C.

Нумерація відповідає окремому документу з умовами задач.

КОЖНЕ ЗАВДАННЯ ОЦІНЮЄТЬСЯ В 5 БАЛІВ

Задача 1 Колесо спустило чи просто охололо

У газовому законі потрібні абсолютний тиск і температура в кельвінах.

Спочатку $p_1 = 200 + 100 = 300$ кПа, $T_1 = 300$ К. Якщо повітря не виходило, то після охолодження до $T_2 = 280$ К:

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 300 \frac{280}{300} = 280 \text{ кПа}.$$

Показ манометра $p_{ман,2} = 280 - 100 = 180$ кПа. Отже, зменшення показу повністю пояснюється охолодженням: у межах моделі втрати повітря немає.

Якщо холодну шину підкачати до показу 200 кПа, її абсолютний тиск при 280 К стане 300 кПа. Після нагрівання:

$$p_3 = 300 \frac{300}{280} \approx 321{,}4 \text{ кПа}.$$

Манометр покаже $321{,}4 - 100 = 221{,}4$ кПа, тобто більше за початковий денний показ.

Відповідь: початкові вимірювання узгоджуються з відсутністю витоку; після підкачування холодної шини та нагрівання показ становитиме приблизно 221,4 кПа.

Задача 2 Чи допоможе мішок із піском

Перекидання почнеться, коли дошка перестане тиснути на ліву підставку. Тоді віссю можливого обертання стане права підставка.

Центр мас дошки розташований посередині, тобто на 0,5 м ліворуч від правої підставки. Мішок — на 2 м ліворуч.

Нехай учень відійшов від правої підставки на відстань x праворуч. У граничному положенні моменти сил урівноважуються:

$$60gx = 20g \cdot 0{,}5 + 15g \cdot 2, \quad x = \frac{10 + 30}{60} = \frac{2}{3} \text{ м}.$$

Гранична точка розташована за $2 + 2/3 \approx 2{,}67$ м від лівого кінця. До правого краю залишатиметься приблизно 33 см.

Для учня на самому краю плече його ваги дорівнює 1 м. Мінімальну масу мішка m знайдемо з рівняння

$$60g \cdot 1 = 20g \cdot 0{,}5 + mg \cdot 2, \quad m = \frac{60 - 10}{2} = 25 \text{ кг}.$$

Це граничне значення: за нього ліва опора вже розвантажена. Для запасу стійкості маса має бути більшою.

Відповідь: з мішком 15 кг учень не дійде до краю; гранична точка — приблизно 2,67 м від лівого кінця. Гранична маса мішка для учня на правому кінці — 25 кг.

Задача 3 Кватирка з термоприводом

Нехай p_a — атмосферний тиск, p_1 — потрібний тиск замкненого повітря за 25 °C. На порозі відкривання пружина ще не стиснута, а сила від різниці тисків урівноважує закривальну силу F = 2 Н:

$$(p_1 - p_a)S = F,\ \ S = 10^{-3}\ \text{м}^2.$$

Отже, потрібний абсолютний тиск:

$$p_1 = p_a + \frac{F}{S} = 100000 + \frac{2}{10^{-3}} = 102000\ \text{Па} = 102\ \text{кПа}.$$

Це на 2 кПа вище за атмосферний тиск. Якщо залишити всередині лише атмосферний тиск, за 25 °C різниця тисків не створюватиме сили, здатної протидіяти механізму закривання. Потрібного порога не буде.

За правильного налаштування при 25 °C поршень ще перебуває біля обмежувача. Щойно температура перевищить 25 °C, тиск зросте й поршень почне висуватися.

Для повного відкривання x = 0,05 м. Пружина додатково протидіє із силою $kx = 20 \cdot 0{,}05 = 1$ Н, тому

$$p_2 = p_a + \frac{F + kx}{S} = 100000 + \frac{3}{10^{-3}} = 103000\ \text{Па}.$$

Об’єм повітря при цьому збільшиться:

$$V_2 = V_1 + Sx = 0{,}005 + 10^{-3} \cdot 0{,}05 = 0{,}00505\ \text{м}^3 = 5{,}05\ \text{л}.$$

Після налаштування кількість повітря стала. Для початкового стану $T_1 = 25 + 273 = 298$ К, тому

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2},\ \ T_2 = 298 \cdot \frac{103}{102} \cdot \frac{5{,}05}{5} \approx 303{,}93\ \text{К}.$$

Отже, $t_2 \approx 30{,}93$ °C. При охолодженні тиск зменшується, і закривальна сила разом із пружиною повертає поршень назад. За температури 25 °C або нижчої кватирка буде закрита.

Відповідь: за 25 °C потрібно встановити абсолютний тиск 102 кПа, тобто надлишковий тиск 2 кПа. Відкривання почнеться при перевищенні 25 °C, а повне відкривання — приблизно за 30,9 °C.

Задача 4 Підводний кожух для камери

Вода вільно заходить усередину, тому в цій моделі витіснений об’єм визначається об’ємом повітря. Для рівноваги:

$$\rho g V = mg,\ \ V = \frac{m}{\rho} = \frac{5}{1000} = 0{,}005\ \text{м}^3 = 5\ \text{л}.$$

Повітря стиснулося вдвічі. За законом Бойля—Маріотта $pV = p_0 V_0$, тому p = 200 кПа.

Це тиск води **на рівні межі води й повітря всередині кожуха**. Якщо глибина цієї межі h, то

$$p = p_0 + \rho g h,\ \ h = \frac{200000 - 100000}{1000 \cdot 10} = 10\ \text{м}.$$

Циліндр має сталий переріз, тому 5 л повітря займають половину його висоти — 0,5 м. Верхня кришка розташована на 0,5 м вище за внутрішню поверхню води:

$$h_{\text{кришки}} = 9{,}5\ \text{м}.$$

Перевіримо стійкість. Якщо кожух трохи опуститься, повітря стиснеться сильніше. Його об’єм і виштовхувальна сила зменшаться, тому кожух почне опускатися далі.

Якщо кожух трохи підняти, повітря розшириться, виштовхувальна сила зросте — і піднімання продовжиться.

Відповідь: сили зрівноважуються за глибини верхньої кришки 9,5 м, але рівновага нестійка.

Задача 5 Яке з’єднання допоможе закип’ятити воду

Потрібно врахувати внутрішній опір джерела r = 2 Ом. Позначимо сумарний опір спіралей через $R_н$. Струм у всьому колі та потужність, яку отримує вода:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_н + r}, \quad P = I^2 R_н.$$

Дві спіралі послідовно. Їхній сумарний опір $R_н = 2 + 2 = 4$ Ом:

$$I = \frac{12}{4 + 2} = 2 \text{ А}, \quad P = 2^2 \cdot 4 = 16 \text{ Вт}.$$

Дві спіралі паралельно. Їхній сумарний опір $R_н = 1$ Ом:

$$I = \frac{12}{1 + 2} = 4 \text{ А}, \quad P = 4^2 \cdot 1 = 16 \text{ Вт}.$$

Отже, струм у всьому колі зріс удвічі, але потужність нагрівання води не змінилася.

Одна спіраль. Тепер $R_н = 2$ Ом:

$$I = \frac{12}{2 + 2} = 3 \text{ А}, \quad P = 3^2 \cdot 2 = 18 \text{ Вт}.$$

Щоб вода досягла кипіння, нагрівач має постачати більше енергії за секунду, ніж кухоль втрачає поблизу 100 °C. Дві спіралі в обох з’єднаннях дають лише 16 Вт, а тепловтрати перед кипінням зростають до 17 Вт. Тому вода перестане нагріватися раніше, ніж закипить.

Одна спіраль дає 18 Вт. Це більше за тепловтрати на всьому шляху нагрівання до 100 °C. Вода закипить; при 100 °C після компенсації тепловтрат залишиться 18 − 17 = 1 Вт.

Більший струм не гарантує більшої потужності саме у спіралях, адже їхній сумарний опір теж змінюється. Крім того, частина енергії виділяється всередині джерела й не нагріває воду: ця потужність дорівнює I^2r. У паралельному з’єднанні вона становить $4^2 \cdot 2 = 32$ Вт, а при одній спіралі — $3^2 \cdot 2 = 18$ Вт.

Відповідь: послідовне з’єднання — 16 Вт; паралельне — 16 Вт; одна спіраль — 18 Вт. Довести воду до кипіння допоможе пропозиція другого учня: залишити одну спіраль.