І-й етап Всеукраїнської олімпіади з фізики. 04.10.2026 р. **8 клас**

Розв'язання та рекомендовані бали

1. Міні завдання.

1.1. За законом збереження імпульсу $m \cdot 5\text{м/с} + m \cdot 1\text{м/с} = 2mv$, звідки маємо інтуїтивно зрозумілий результат: $v = \frac{5+1}{2}$ м/с $= 3$ м/с.

1.2. За 7 годин пройдено 7000 кроків довжиною 0,5 м кожний. Загальна відстань $l =$ 3,5 км, а середня швидкість $v_{\text{сер}} = \frac{l}{t} = \frac{3{,}5\text{ км}}{7\text{ год}} = 0{,}5\frac{\text{км}}{\text{год}}$.

1.3. 9 км/год $= \frac{9000}{3600}$ м/с $= 2{,}5$ м/с. Оскільки спортсмени рухаються назустріч один одному, вони долають відстань між собою зі швидкістю $v_{\text{відн}} = 5$ м/с $+ 2{,}5$ м/с $=$ 7,5 м/с. Між двома послідовними зустрічами така відстань дорівнює довжині одного кола, 200 м. Отже, $t = \frac{200\text{ м}}{7{,}5\text{ м/с}} = \frac{80}{3}$ с $\approx 26{,}7$ с.

1.4. Частота обертання обернено пропорційна періоду, тобто $\nu_1 = \frac{1}{40\text{ с}} = 0{,}025$ Гц, $\nu_2 = \frac{1}{80\text{ с}} = 0{,}0125$ Гц.

1.5. Манометр вимірює тиск. Зовнішня шкала проградуйована в bar. Між сусідніми цілими значеннями бачимо 10 рівних поділок, якщо не розглядати близькі до нуля значення з незадовільною точністю цього прилада. Тому ціна однієї поділки: 0,1 bar. Оскільки 1 bar = 100 кПа = 10^5 Па, маємо, що в SI ціна поділки зовнішньої шкали дорівнює 10 кПа = 10^4 Па.

Рекомендовані критерії оцінювання: кожна міні-задача по 2 бали. За пункт 1.5. у випадку, якщо ціна поділки визначатиметься невірно з-за врахування початку шкали – 1 бал. Якщо ідейно вірно, але похибка у числі з-за розрахунків – 1 бал.

2. Алюміній і деревина.

2.1. Маса стержня 2,7 кг = 2700 г, густина алюмінію 2,7 г/см³, довжина 125 см. Отже об'єм і площа: $V = \frac{m}{\rho} = 1000$ см³ і $S = \frac{V}{l} = 8$ см².

Нехай сторони прямокутного перерізу дорівнюють a і $2a$. Тоді $2a^2 = 8$ см², $a = 2$ см. Отже, сторони перерізу: 2 см і 4 см.

2.2. Сторони нового композитного бруска удвічі більші: 4 см і 8 см. Його площа перерізу дорівнює 32 см². Площа алюмінію – 8 см², тому площа деревини – 24 см². Оскільки довжина однакова, об'єми відносяться так само і дорівнюють:

$$V_{\text{Al}} = 1000\text{ см}^3, \quad V_{\text{д}} = 3000\text{ см}^3, \quad V = 4000\text{ см}^3.$$

Якщо брусок плаває, повністю занурившись у воду, його середня густина дорівнює густині води, а маса всього бруска дорівнює масі витісненої ним води, а саме 4 кг. Тоді маса і густина дерев'яної частини бруска: $m_{\text{д}} = 1{,}3$ кг і $\rho_{\text{д}} \approx 433\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Для того, щоб

брусок взагалі плавав, не обов'язково занурюючись у воду повністю, густина деревини має бути меншою або рівною $\rho_д$.

2.3. У положенні, зображеному на рисунку, зі столом контактує деревина. За умовою гранична сила тертя дорівнює 9 Н. При g = 9,8 м/с²: $N = mg = 39{,}2$ Н,

$$\mu_д = \frac{9}{39{,}2} \approx 0{,}23.$$

Якщо ж узяти $g = 10$ м/с²: $\mu_д = 0{,}225$.

2.4. На яку б довгу грань з алюмінієм не перевернули брусок, після його перевертання зі столом контактуватимуть і деревина, і алюміній рівно на половині всієї площі. За умовою нова гранична сила тертя становить 7 Н.

Спрощена модель. Якщо вважати, що нормальна реакція розподіляється порівну між двома однаковими за площею половинами опорної грані, маємо $N_{Al} = N_д = \frac{mg}{2}$ і $7\text{Н} = \mu_д \frac{mg}{2} + \mu_{Al} \frac{mg}{2}$. Оскільки $\mu_д mg = 9$ Н, знаходимо

$$\mu_{Al} = \frac{5}{39{,}2} \approx 0{,}13.$$

За таку модель можна було отримати частину балів.

Точніша модель. Вважаємо, що кожна частина площі контакту утримує стовпчик матеріалу, розташований безпосередньо над нею. Над алюмінієвою половиною опори міститься стовпчик із площею перерізу 8 см² алюмінію та 8 см² деревини вздовж всієї довжини бруска, а над дерев'яною половиною – стовпчик із деревини з площею перерізу 16 см². З урахуванням $\rho_{Al} = 2{,}7$ г/см³ і $\rho_д = 13/30$ г/см³ маси цих стовпчиків, а отже й відповідні нормальні реакції опори, відносяться як $N_{Al} : N_д = 47 : 13$. Отже

$$N_{Al} = \frac{47}{60} mg, \quad N_д = \frac{13}{60} mg.$$

Внесок деревини в силу тертя після перевертання: $F_д = \mu_д N_д = 1{,}95$ Н.

Тоді на алюміній припадає $F_{Al} = 5{,}05$ Н і $N_{Al} \approx 30{,}71$ Н. Звідси відповідь за точнішою моделлю

$$\mu_{Al} = \frac{5{,}05}{30{,}71} \approx 0{,}164 \approx 0{,}16.$$

Рекомендовані критерії оцінювання:

2.1 – 2 бали, 2.2 – 2 бали, 2.3 – 3 бали, 2.4 – 3 бали (1 – середнє арифметичне без пояснень, 2 – проста модель з обґрунтуванням, 3 – точніша модель). Мотивувати, чому сама ця модель найточніша, члени журі (для дітей не обов'язково) можуть, наприклад, розглянувши правила моментів відносно осі, що проходить вздовж лінії контакту двох матеріалів бруска і поверхні.

3. Гелієвий помічник.

3.1. П'ять наповнених гелієм пакетів не повинні бути окремо один від одного, як на згенерованому рисунку. Сила Архімеда для кожного пакета спрямована вгору, тому

пакети мають зібратися докупи поближче до вертикалі, що проходить крізь динамометр, і дотикаються один до одного.

3.2. Сумарний об'єм п'яти пакетів:

$$V = 5 \cdot 240 \text{ л} = 1200 \text{ л} = 1{,}20 \text{ м}^3.$$

Густина гелію в 29/4 раза менша за густину повітря, тому

$$\rho_{\text{He}} = \frac{4}{29}\rho_{\text{пов}} = \frac{4}{29} \cdot 1{,}2 \text{ кг/м}^3 \approx 0{,}1655 \text{ кг/м}^3.$$

Маса витісненого повітря $m_{\text{пов}} = \rho_{\text{пов}}V = 1{,}2 \cdot 1{,}20 = 1{,}44$ кг. Маса гелію в пакетах $m_{\text{He}} = \rho_{\text{He}}V \approx 0{,}1655 \cdot 1{,}2$ кг $\approx 0{,}1986$ кг. Маса п'яти порожніх пакетів разом із нитками дорівнює 0,300 кг. Тому «корисна підйомна маса» зв'язки п'яти пакетів:

$$m_* = (1{,}44 - 0{,}1986 - 0{,}300)\text{кг} = 0{,}9414 \text{ кг}.$$

За g = 9,8 м/с² динамометр покаже силу

$$F = m_* g \approx 0{,}9414 \text{ кг} \cdot 9{,}8 \text{ Н/кг} \approx 9{,}23 \text{ Н} \approx 9{,}2 \text{ Н}.$$

3.3. Відірвати дошку горизонтально можна. Пакети прив'язані до одного кінця дошки. Їхня підйомна сила становить приблизно 9,23 Н, а вага дошки масою 4 кг: $P = Mg = 39{,}2$ Н.

Щоб у момент відриву дошка залишалася горизонтально, по-перше, сумарна вертикальна сила має дорівнювати нулю. Отже сила, з якою хлопчик тягне дошку вгору,

$$F_{\text{х}} = P - F_{\text{п}} \approx 29{,}97 \text{ Н}.$$

По-друге, цю силу слід прикласти у певній точці. Нехай хлопчик береться за дошку на відстані x від кінця, до якого прив'язані пакети. У момент відриву момент сили хлопчика відносно цього кінця має зрівноважити момент сили тяжіння, прикладений до центру дошки: $F_{\text{х}}x = P\frac{L}{2}$. Звідси

$$x = \frac{PL}{2F_{\text{х}}} \approx 2{,}62 \text{ м}.$$

Отже хлопчик може відірвати дошку від землі в горизонтальному положенні, якщо візьметься приблизно за 2,62 м від кінця з пакетами, тобто за 1 м 38 см від другого кінця.

Рекомендовані критерії оцінювання: 3.1. – 3 бали, 3.2. – 3 бали, 3.3. – 4 бали.

4. Посудини та жуки. Площі горизонтальних перерізів трьох посудин:

$$S_1 = (3\text{см})^2 = 9 \text{ см}^2, \quad S_2 = (4\text{см})^2 = 16 \text{ см}^2, \quad S_3 = (5\text{см})^2 = 25 \text{ см}^2.$$

Загальна площа, вздовж якої розподіляється вода:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 50 \text{ см}^2.$$

За одну секунду надходить 20 г води, тобто 20 см³. Швидкість підняття рівня води однакова в усіх трьох посудинах і дорівнює

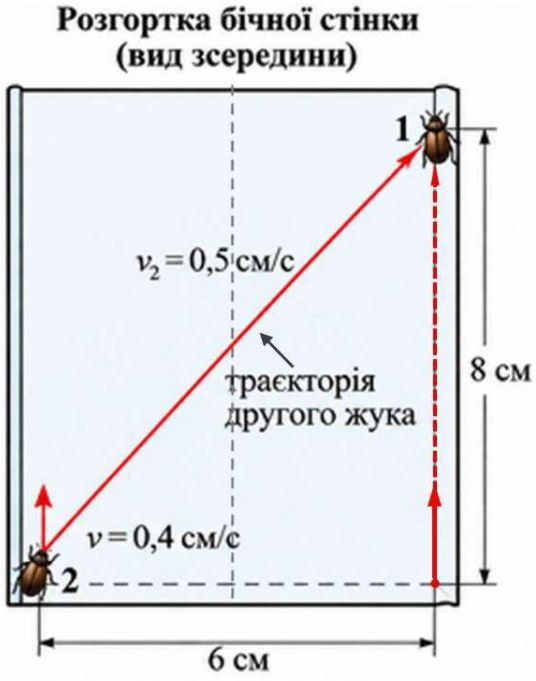
$$u = \frac{20 \text{ см}^3}{50 \text{ см}^2 \cdot 1 \text{ с}} = 0{,}4\frac{\text{см}}{\text{с}} = 4\frac{\text{мм}}{\text{с}}.$$

4.1. Щоб увесь час залишатися на рівні води, жук має підніматися вздовж вертикального ребра з тією самою вертикальною швидкістю, що й рівень води:

$$v_1 = 4 \text{ мм/с}.$$

4.2. Оскільки швидкість другого жука на 1/4 більша, маємо: $v_2 = \frac{5}{4} v_1 = 5$ мм/с.

Вертикальна складова його швидкості також має дорівнювати 4 мм/с, інакше він перестане бути на рівні води. Тому складова швидкості вздовж горизонтального напрямку на бічній поверхні посудини, як катет єгипетського трикутника $v_{\text{гор}} = 3$ мм/с або теж саме за теоремою Піфагора: $v_{\text{гор}}{}^2 = v_2{}^2 - u^2 = (5 \text{ мм/с})^2 - (4 \text{ мм/с})^2 = (3 \text{ мм/с})^2$, звідки $v_{\text{гор}} = 3$ мм/с.



Ребро першого жука і протилежне йому ребро квадратної посудини розділені на бічній поверхні двома стінками шириною по 3 см. Отже найкоротший шлях по бічній поверхні між цими ребрами в горизонтальному напрямку (див. рис.) дорівнює $l = 3 \text{ см} + 3 \text{ см} = 6 \text{ см}$.

Час, за який другий жук дістанеться ребра першого:

$$t = \frac{l}{v_{\text{гор}}} = \frac{6 \text{ см}}{0{,}3 \text{см/с}} = 20 \text{ с}.$$

За цей час рівень води, а разом із ним і обидва жуки, піднімуться на

$$h = ut = 8 \text{ см}.$$

Отже брати зустрінуться через 20 с на ребрі першого жука, на 8 см вище початкового рівня води. На розгортці двох сусідніх бічних стінок траєкторія другого жука є діагоналлю прямокутника 6 см × 8 см (див. рис); її довжина 10 см, що узгоджується з $v_2 t = 0{,}5 \text{ см/с} \cdot 20 \text{ с} = 10 \text{ см}$. Сторони 6, 8, 10 – катети та гіпотенуза збільшеного вдвічі єгипетського трикутника.

4.3. Об'єм куба 100 см³, густина деревини 750 кг/м³ = 0,75 г/см³. Маса куба:

$$m = \rho V = 75 \text{ г}.$$

Куб поміщають у третю посудину, і це можливо, оскільки його ребро менше за 5 см. Куб плаває, тому за законом Архімеда витісняє вагу рідини, що дорівнює його власній вазі, отже воду масою 75 г, рівній масі куба. Це відповідає об'єму витісненої води

$$V_{\text{вит}} = 75 \text{ см}^3.$$

Після занурення куба рівень води піднімається в усіх трьох сполучених посудинах на

$$\Delta h = \frac{V_{\text{вит}}}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{75}{50} \text{см} = 1{,}5 \text{ см}.$$

Отже, рівень води в другій посудині підніметься на 1,5 см.

Рекомендовані критерії оцінювання:

4.1 – 3 бали, 4.2 – 4 бали, 4.3 – 3 бали.

5. Пружини і тягарці.

5.1. Умова говорить про дві абсолютно однакові пружини. На згенерованому рисунку вони намальовані не однаково: відрізняються кількість витків і довжина верхніх прямих кінцевих ділянок, які не мають розтягуватись. Далі, геометричні позначення 3 см, 4 см і 5 см мають стосуватися саме верхніх кінців пружин, а ми бачимо лівий кут єгипетського трикутника в іншій точці, та й довжини його сторін відносяться інакше.

5.2. Позначимо видовження пружин через x_1 і x_2. З умови рівноваги і законом Гука для тягарців масами m і $3m$ маємо:

$$kx_1 = mg, \quad kx_2 = 3mg.$$

Нижні кінці пружин перебувають на однаковій висоті, а верхні — на різних висотах із різницею 3 см. Отже різниця довжин пружин, а тому й різниця видовжень, дорівнює 3 см:

$$x_2 - x_1 = 0{,}03 \text{ м}.$$

Віднімаємо перше рівняння рівноваги від другого: $k(x_2 - x_1) = 2mg$. Звідси жорсткість пружини

$$k = \frac{2mg}{0{,}03 \text{ м}} = 60 \text{ Н/м}.$$

5.3. Після додавання до кожного тягарця ще по одному тягарцю маси m навантаження стають $2m$ і $4m$. Кожна пружина одержує однакове додаткове навантаження mg, тому кожна додатково видовжується на однакову величину $\Delta x = \frac{mg}{k} = 1{,}5$ см.

Отже нижні кінці обох пружин опустяться на однакові 1,5 см і знову залишаться на одній висоті. Горизонтальна відстань між пружинами не змінюється, залишаючись 4 см.

5.4. Після п. 5.3 на пружинах висять тягарці загальною масою $2m$ і $4m$. Тягарець маси m переносять з більш розтягнутої пружини на менш розтягнуту. Тоді на обох пружинах опиняється по $3m$. На місце перенесеного тягарця до другої пружини підвішують пляшку з водою масою 500 г. Отже тепер різниця «додаткових» навантажень двох пружин визначається лише вагою пляшки: $\Delta F = 5$ Н. Різниця видовжень пружин становитиме

$$\Delta x = \frac{\Delta F}{k} = \frac{5}{60} \text{м} = \frac{25}{3} \text{см}.$$

Верхній кінець більш розтягнутої пружини розташований на 3 см вище. Тому її нижній кінець буде нижче другого нижнього кінця на

$$\frac{25}{3} \text{см} - 3\text{см} = \frac{16}{3} \text{см}.$$

Горизонтальна відстань між нижніми кінцями залишається 4 см. Отже в кінці утворюється прямокутний трикутник, у якого катети (горизонтальна і вертикальна сторони) відносяться як $3:4$. Тобто цей трикутник має те саме відношення сторін що

й початковий єгипетський трикутник (він йому подібний, тільки наче повернутий на 90° та збільшений) 3: 4: 5, але всі його сторони збільшені у 4/3 раза. Тому відстань між нижніми кінцями пружин дорівнює

$$5 \cdot \frac{4}{3}\text{см} = \frac{20}{3}\text{см} \approx 6{,}67\text{ см}.$$

Рекомендовані критерії оцінювання 5.1 – 2 бали, 5.2 – 2 бали, 5.3 – 2 бали, 5.4 – 4 бали.