Відповіді на завдання І етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики

2026-2027 н.р.

9 клас

Задача 1

Пасажир на першому поверсі 16-поверхового будинку викликає ліфт, який стоїть на останньому поверсі. Поки ліфт спускається, пасажир може побігти сходами вгору, зупинити ліфт на будь-якому поверсі, сісти в нього і поїхати на останній поверх. Ліфт долає один поверх за 3 с, пасажир сходами – за 7 с. За який найменший час від моменту виклику пасажир може опинитися на останньому поверсі? (Рух ліфта і пасажира вважати рівномірним; ліфт зупиняється на поверсі, лише якщо кнопку виклику натиснули до того, як він проїхав цей поверх; після посадки ліфт одразу їде на останній поверх; часом зупинок і відчинення дверей знехтувати)

Розв'язання

Позначимо $t_л = 3$ с – час, за який ліфт долає один проліт між поверхами, $t_п = 7$ с – відповідний час для пасажира. Між першим і шістнадцятим поверхами $n = 15$ прольотів.

Спершу розглянемо найпростіші варіанти. Якщо пасажир чекає на першому поверсі, ліфт спускається до нього за $15 \cdot 3$ с $= 45$ с і стільки ж часу везе його вгору, разом 90 с. Якщо пасажир піднімається самотужки, він витрачає $15 \cdot 7$ с $= 105$ с. Обидва варіанти гірші, ніж поєднання сходів і ліфта.

Нехай пасажир сідає в ліфт на поверсі, розташованому на x прольотів вище від першого. Ліфт проїжджає від останнього поверху до цього місця і повертається назад, тобто двічі долає $n - x$ прольотів. Пасажир увесь цей час або біжить, або чекає, а потім їде разом із ліфтом, тому загальний час визначається лише рухом ліфта:

$$T = 2(n - x)t_л$$

Цей час тим менший, чим вище пасажир сяде в ліфт. Проте пасажир має добігти до поверху раніше, ніж ліфт його проїде:

$$xt_п \le (n - x)t_л \quad \Rightarrow \quad 7x \le 3(15 - x) \quad \Rightarrow \quad x \le 4{,}5$$

Зупинити ліфт можна лише на поверсі, тобто x – ціле число, тому найбільше можливе значення $x = 4$ (п'ятий поверх). Пасажир добігає туди за $4 \cdot 7$ с $= 28$ с, а ліфт прибуває через $11 \cdot 3$ с $= 33$ с, тож пасажир встигає. На шостий поверх ($x = 5$) пасажир прибіг би за 35 с, а ліфт проїхав би його вже на 30-й секунді.

Найменший час:

$$T = 2(15 - 4) \cdot 3 \text{ с} = 66 \text{ с}$$

---

*Оцінювання (сумарно **5 балів**):*

- *Враховано, що між 1-м і 16-м поверхами 15 прольотів – **0.5 бали***
- *Отримано вираз для загального часу $T = 2(n - x)t_л$ (або еквівалентно: додавання часу бігу, очікування та підйому ліфтом) – **1.5 бали***
- *Записано умову, що пасажир має встигнути до прибуття ліфта, і отримано $x \le 4{,}5$ – **1 бал***
- *Враховано, що зупинити ліфт можна лише на поверсі, і обрано п'ятий поверх – **1 бал***
- *Отримано відповідь 66 с – **1 бал***

Примітки для журі: -Повний бал нараховується також за розв'язання перебором (таблиця часів для різних поверхів посадки) з правильним вибором п'ятого поверху.

-Якщо учасник не врахував, що зупинити ліфт можна лише на поверсі, і отримав відповідь 63 с, бали за два останні критерії не нараховуються.

Задача 2

У циліндричну посудину з вертикальними стінками і площею дна 100 см² налито воду до висоти 20 см при температурі 30 °C. У посудину кинули грудочку льоду, взятого при температурі 0 °C, після чого рівень води піднявся на 1 см. Визначте температуру води в посудині після встановлення теплової рівноваги. Густина води 1000 кг/м³, питома теплоємність води 4200 Дж/(кг·°C), питома теплота плавлення льоду 330 кДж/кг. (Теплообміном з посудиною та навколишнім середовищем знехтувати)

Розв'язання

Знайдемо масу води в посудині. Об'єм води $V = SH$, тому

$$M = \rho SH = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 0{,}01 \text{ м}^2 \cdot 0{,}2 \text{ м} = 2 \text{ кг}$$

Масу льоду визначимо за підняттям рівня води. Лід плаває, тому сила Архімеда врівноважує силу тяжіння: $\rho g V_{\text{зан}} = mg$. Отже, лід витісняє воду, маса якої дорівнює масі льоду. Об'єм витісненої води $V_{\text{зан}} = S\Delta h$, тому:

$$m = \rho S\Delta h = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 0{,}01 \text{ м}^2 \cdot 0{,}01 \text{ м} = 0{,}1 \text{ кг}$$

Перевіримо, чи розтане весь лід. Для його плавлення потрібна кількість теплоти $\lambda m = 330\,000 \text{ Дж/кг} \cdot 0{,}1 \text{ кг} = 33 \text{ кДж}$. Охолоджуючись до 0 °C, вода могла б віддати $cMT = 4200 \cdot 2 \cdot 30 \text{ Дж} = 252 \text{ кДж}$. Цього більш ніж достатньо, тому весь лід розтане, і кінцева температура θ буде вищою за 0 °C.

Складемо рівняння теплового балансу. Тепла вода охолоджується від $T = 30$ °C до T_x і віддає кількість теплоти $cM(T - T_x)$. Ця теплота йде на плавлення льоду (λm) і на нагрівання води, що утворилася з льоду, від 0 °C до T_x (cmT_x):

$$cM(T - T_x) = \lambda m + cmT_x$$

Звідси знаходимо кінцеву температуру:

$$T_x = \frac{cMT - \lambda m}{c(M + m)} = \frac{4200 \cdot 2 \cdot 30 - 330\,000 \cdot 0{,}1}{4200 \cdot 2{,}1} \text{ °C} = \frac{219\,000}{8820} \text{ °C} \approx 24{,}8 \text{ °C}$$

---

*Оцінювання (сумарно **5 балів**):*

- *Обчислено масу води 2 кг – **0.5 бали***
- *Пояснено, що лід плаває і його маса дорівнює масі витісненої води – **1 бал***
- *Обчислено масу льоду 0,1 кг – **0.5 бали***
- *Перевірено (або обґрунтовано), що весь лід розтане – **0.5 бали***
- *Записано рівняння теплового балансу з урахуванням плавлення льоду і нагрівання утвореної з нього води – **1.5 бали***
- *Отримано відповідь ≈ 24,8 °C – **1 бал***

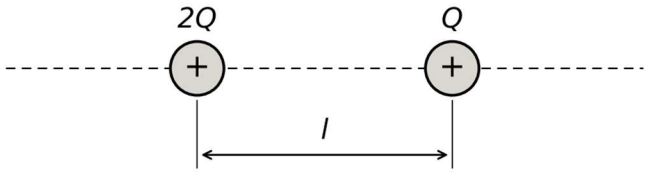
Примітки для журі: -Якщо учасник не врахував нагрівання води, що утворилася з льоду (відповідь ≈ 26,1 °C), за рівняння теплового балансу нараховується 0.5 бали, за відповідь – 0 балів.

-Якщо учасник вважав, що лід занурений у воду повністю, і знайшов масу льоду через його об'єм, бали за 2-й і 3-й критерії не нараховуються, решта оцінюється за методом.

-Учасник міг отримати кінцеву формулу та результат, не обчислюючи масу води та масу льоду. Якщо при цьому використані правильні формули, то нараховується повний бал.

Задача 3

Два додатні точкові заряди 2Q і Q розташовані на відстані l один від одного, заряд 2Q – ліворуч (див. рисунок). Де потрібно розмістити третій точковий заряд, щоб заряд Q перебував у рівновазі, якщо третій заряд дорівнює: а) 8Q; б) –Q/2? (Заряди 2Q і третій заряд закріплені; силу тяжіння не враховувати)



Розв'язання

А) Заряди 2Q і Q однойменні, тому заряд 2Q відштовхує заряд Q, тобто діє на нього силою, напрямленою праворуч. За законом Кулона її модуль:

$$F_1 = k\frac{2Q \cdot Q}{l^2} = \frac{2kQ^2}{l^2}$$

Щоб заряд Q перебував у рівновазі, третій заряд має діяти на нього силою, такою самою за модулем і напрямленою ліворуч. Для цього третій заряд повинен лежати на прямій, що проходить через заряди 2Q і Q: якщо розмістити його поза цією прямою, його сила матиме складову, перпендикулярну до прямої, яку нічим компенсувати.

Заряд $8Q$ додатний, тому він відштовхує заряд Q. Щоб штовхати Q ліворуч, він має знаходитися праворуч від Q. Позначимо відстань між ними r і прирівняємо модулі сил:

$$k\frac{8Q \cdot Q}{r^2} = \frac{2kQ^2}{l^2} \quad \Rightarrow \quad r^2 = 4l^2 \quad \Rightarrow \quad r = 2l$$

Отже, заряд $8Q$ слід розмістити на відстані $2l$ праворуч від заряду Q (на відстані $3l$ від заряду 2Q).

Б) Заряд $-Q/2$ від'ємний, тому він притягує заряд Q. Щоб тягнути Q ліворуч, він має знаходитися ліворуч від Q. Прирівнюємо модулі сил:

$$k\frac{\frac{Q}{2} \cdot Q}{r^2} = \frac{2kQ^2}{l^2} \quad \Rightarrow \quad r^2 = \frac{l^2}{4} \quad \Rightarrow \quad r = \frac{l}{2}$$

Отже, заряд $-Q/2$ слід розмістити на відстані $l/2$ ліворуч від заряду Q, тобто посередині між зарядами 2Q і Q.

---

*Оцінювання (сумарно **5 балів**):*

- *Знайдено силу, з якою заряд 2Q діє на Q, і вказано її напрям – **1 бал***
- *Обґрунтовано, що третій заряд має лежати на прямій, що проходить через заряди – **1 бал***
- *Пояснено, що заряд 8Q має бути праворуч від Q (через відштовхування) – **0.5 бали***
- *Для заряду 8Q складено рівняння рівності сил і отримано $r = 2l$ – **1 бал***
- *Пояснено, що заряд –Q/2 має бути ліворуч від Q (через притягання) – **0.5 бали***
- *Для заряду -Q/2 складено рівняння рівності сил і отримано $r = l/2$ – **1 бал***

Задача 4

Горизонтальний прямий провідник масою 12 г і довжиною 15 см підвішено до стелі на двох однакових легких пружинах, закріплених на його кінцях. Після того як коливання згасли, пружини розтягнулися на деяку довжину L. Провідник розміщено в однорідному магнітному полі, лінії індукції якого горизонтальні й перпендикулярні до провідника. Якщо по провіднику пропустити струм 2 А, то після встановлення рівноваги пружини виявляються вже стиснутими, але на ту саму довжину L. Визначте індукцію магнітного поля. (Струм підводиться легкими гнучкими проводами; g = 10 Н/кг)

Розв'язання

На провідник діють сила тяжіння mg і сили пружності двох пружин. Позначимо жорсткість кожної пружини k, а довжину провідника $l = 15$ см.

Без струму пружини розтягнуті на L і тягнуть провідник угору. Умова рівноваги:

$$2kL = mg$$

Коли по провіднику йде струм, на нього додатково діє сила Ампера. Пружини тепер стиснуті на ту саму довжину L, тобто тиснуть на провідник униз із силою $2kL$. Отже, сила Ампера напрямлена вгору і врівноважує і силу тяжіння, і силу пружин:

$$F_A = mg + 2kL$$

Підставивши $2kL = mg$ з першого рівняння, отримуємо:

$$F_A = 2mg$$

Отже, ні жорсткість пружин, ні їхню деформацію знати не потрібно. Лінії індукції перпендикулярні до провідника, тому $F_A = BIl$, звідки

$$B = \frac{2mg}{Il} = \frac{2 \cdot 0{,}012 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг}}{2 \text{ А} \cdot 0{,}15 \text{ м}} = 0{,}8 \text{ Тл}$$

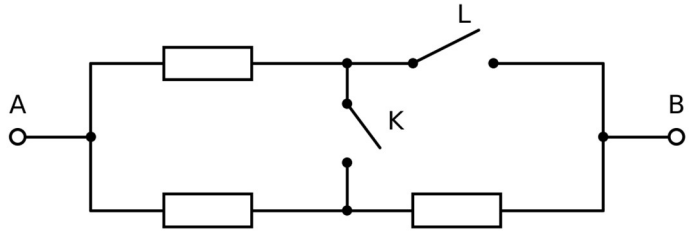
---

*Оцінювання (сумарно **5 балів**):*

- *Записано умову рівноваги без струму $2kL = mg$ – **1 бал***
- *Пояснено (наприклад, за допомгою рисунка), що зі струмом стиснуті пружини діють на провідник униз, а сила Ампера напрямлена вгору – **1 бал***
- *Записано умову рівноваги зі струмом $F_A = mg + 2kL$ – **1 бал***
- *Отримано $F_A = 2mg$ – **0.5 бали***
- *Записано формулу сили Ампера $F_A = BIl$ – **0.5 бали***
- *Отримано відповідь 0,8 Тл – **1 бал***

Задача 5

У ділянці кола (див. рисунок) усі резистори однакові. Коли обидва ключі K і L розімкнуті, опір ділянки між клемами A і B дорівнює 12 Ом. Яким стане опір ділянки, якщо замкнути: а) лише ключ K? б) лише ключ L? в) обидва ключі? (Опором з'єднувальних проводів і замкнутих ключів знехтувати)



Розв'язання

А) Позначимо опір кожного резистора R: R_1 – верхній резистор, R_2 і R_3 – нижній лівий і нижній правий. Коли обидва ключі розімкнуті, верхня гілка обірвана, бо ключ L розімкнутий, а ключ K не з'єднує її з нижньою гілкою. Струм проходить лише через нижню гілку, де резистори R_2 і R_3 з'єднані послідовно:

$$R_{AB} = 2R = 12\ \text{Ом} \quad \Rightarrow \quad R = 6\ \text{Ом}$$

Якщо замкнути лише ключ K, правий кінець резистора R_1 з'єднується з точкою між R_2 і R_3. Тепер R_1 і R_2 з'єднують клему A з цією точкою, тобто вони з'єднані паралельно, а R_3 – послідовно з ними:

$$R_K = \frac{R}{2} + R = \frac{3R}{2} = 9\ \text{Ом}$$

Б) Якщо замкнути лише ключ L, ключ K залишається розімкнутим. Резистор R_1 через ключ L безпосередньо з'єднує клеми A і B, а нижня гілка з послідовно з'єднаних R_2 і R_3 має опір $2R$. Ці дві гілки з'єднані паралельно:

$$R_L = \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} = \frac{2R}{3} = 4\ \text{Ом}$$

В) Якщо замкнути обидва ключі, правий кінець резистора R_1 через ключ L з'єднується з клемою B, а через ключ K – з точкою між R_2 і R_3. Отже, ця точка безпосередньо з'єднана з клемою B проводом без опору. Резистор R_3 закорочений, і струм через нього не йде.

Тепер резистори R_1 і R_2 кожен з'єднують клему A з клемою B, тобто вони з'єднані паралельно:

$$R_{KL} = \frac{R}{2} = 3\ \text{Ом}$$

---

*Оцінювання (сумарно **5 балів**):*

- *Пояснено, що при розімкнутих ключах струм іде лише нижньою гілкою, і знайдено опір одного резистора 6 Ом – **1 бал***
- *Визначено, що при замкнутому ключі K резистори R_1 і R_2 з'єднані паралельно, а R_3 – послідовно з ними – **0.5 бали***
- *Для пункту а) отримано відповідь 9 Ом – **0.5 бали***
- *Визначено, що при замкнутому ключі L резистор R_1 і нижня гілка з послідовно з'єднаних R_2 і R_3 з'єднані паралельно – **0.5 бали***
- *Для пункту б) отримано відповідь 4 Ом – **0.5 бали***
- *Пояснено, що при обох замкнутих ключах резистор R_3 закорочений і струм через нього не йде – **1 бал***
- *Визначено, що при обох замкнутих ключах резистори R_1 і R_2 з'єднані паралельно – **0.5 бали***
- *Для пункту в) отримано відповідь 3 Ом – **0.5 бали***
