8 клас
І етап Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики у 2026/2027 н.р.
Задачі 1-5 по 5 балів

1. «Коловий трек»
Розв'язання:
1. Переведемо час у секунди: t = 2 хв = 120 с.
2. Загальний шлях, який проїхав автомобіль за 10 обертів: L = 10·2·π·R = 20· 3,14·2·м = 125,6 м.
3. Швидкість руху: v = L/t = 125,6 м/120 с=1,05 м/с.
Відповідь: 1,05 м/с.

2. «Суперспринт гепарда» (Нерівномірний рух)
Розв'язання: Нехай весь час руху дорівнює t. Перша частина часу $t_1 = 0{,}25t$, друга – $t_2 = 0{,}75t$.
1. Шлях, який подолав гепард на першій ділянці: $L_1 = v_1 \cdot t_1 = 60 \cdot 0{,}25t = 15t$.
2. На другій ділянці: $L_2 = v_2 \cdot t_2 = 100 \cdot 0{,}75t = 75t$.
3. Загальний шлях за весь час забігу: $L = L_1 + L_2 = 15t + 75t = 90t$.
4. Середня швидкість: $v_{сер} = L/t = 90t/t = 90$ км/год.
Відповідь: 90 км/год.

3. Прогулянка річкою розсіяного професора
Розв'язання: Перейдемо у систему відліку (СВ), пов’язану з річкою (водою). У цій СВ вода і капелюх є нерухомими, а міст рухається назад зі швидкістю течії. Оскільки швидкість човна відносно води в обох напрямках однакова, то час, який професор витратив на віддалення від капелюха (10 хв), точно дорівнює часу, який знадобився для повернення до нього. Отже, загальний час руху капелюха від моменту падіння до моменту його підняття становить:

$$t=10 \text{ хв}+10 \text{ хв} = 20 \text{ хв} = 1/3 \text{ год}.$$

За цей час у СВ Землі капелюх разом із течією річки подолав відстань L = 1 км від мосту. Швидкість течії дорівнює швидкості руху капелюха:

$$v_{течії} = L/t=1 \text{ км}/(1/3 \text{ год}) = 3 \text{ км/год}.$$

Відповідь: 3 км/год.

4. Людина на ескалаторі.
Розв'язання:
Нехай довжина ескалатора L. Швидкість ескалатора $v_e = L/60$, швидкість людини $v_л = L/90$. Коли вони рухаються разом, загальна швидкість $v = v_e + v_л = L/60 + L/90 = L(3+2)/180 = 5L/180 = L/36$. Час руху $t = L / v = 36$ с.
Відповідь: 36 с.

5. Паводок та лисичка

Розв'язання: Щоб площа крижини була мінімальною, вона має зануритися у воду максимально глибоко, але так, щоб лисичка ще залишалася сухою. Тобто верхня грань крижини має опинитися врівень із поверхнею води. Це означає, що об'єм зануреної частини крижини дорівнює її повному об'єму ($V_{зан}=V_{крижини}$).

Умова рівноваги системи: на систему «крижина + лисичка» діють три сили:

Сила Архімеда (F_A), яка виштовхує крижину вгору. Вона діє на занурений об'єм.

Сила тяжіння лисички ($P_{лис}=m_{лис}$ g), напрямлена вниз.

Сила тяжіння крижини ($P_л=m_л$ g), напрямлена вниз.

Оскільки система перебуває в рівновазі, сила, що виштовхує вгору, має точно компенсувати сили, що тягнуть униз:

$$F_A=P_л+P_{лис}$$

Для сили Архімеда маємо:

$$F_A=\rho_в \cdot g \cdot V_{зан}$$

Оскільки крижина занурена повністю, її повний об'єм дорівнює площі основи S, помноженій на товщину d: $V_{зан} = V_л = S \cdot d$. Тоді:

$$F_A=\rho_в \cdot g \cdot S \cdot d,$$

Запишемо силу тяжіння крижини:

$$P_л = m_л \cdot g = \rho_л \cdot g \cdot S \cdot d$$

Підставимо отримані вирази в початкове рівняння рівноваги і розділимо всі його члени на прискорення вільного падіння g:

$$\rho_в S d=\rho_л S d+m_{лис}$$

Звідси шукана площа:

$$S=m_{лис}/(d \cdot (\rho_в-\rho_л))=6/(0{,}2 \cdot (1000-900)) = 6/20=0{,}3 \text{ м}^2$$

Відповідь: Мінімальна площа крижини повинна становити 0,3 м^2

9 клас
І етап Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики у 2026/2027 н.р.
Задачі 1-5 по 5 балів

1. «Кінематика автомобілів»
Розв'язання:
Нехай t – загальний час руху від моменту старту до зустрічі автомобілів. Оскільки вони виїхали одночасно, цей час для них однаковий.
1. Перший автомобіль рухався час t/2 зі швидкістю v_1 та час t/2 зі швидкістю v_2. Пройдений ним шлях до зустрічі:
$L_1=v_1 \cdot t/2 + v_2 \cdot t/2=(v_1+v_2) \cdot t/2=v_{ср1} \cdot t$,
$v_{ср1}=(12+18)/2=15$ км/год.
2. Другий автомобіль подолав відстань L_2, причому його шлях був чітко поділений навпіл за відстанню ($L_2/2$). Його середня швидкість на всьому шляху до зустрічі обчислюється як гармонічне середнє:
$v_{ср2} = 2 \cdot v_1 \cdot v_2/(v1+v2) = 2 \cdot 12 \cdot 18/(12+18)=14,4$ км/год.
Відповідно, його шлях до зустрічі: $L_2 = v_{ср2} \cdot t$.
3. Оскільки вони рухалися назустріч один одному в межах однієї дистанції, сума їхніх шляхів дорівнює повній відстані між пунктами $L_1 + L_2 = L$, або
$v_{ср1} \cdot t + v_{ср2} \cdot t = L$, або $(15+14,4) \cdot t=120$, звідки $t=120/29,4= 4,08$ год.
Відповідь: Автомобілі зустрінуться через 4,08 год (або 4 години і 5 хвилин).

2. Занурення важеля
Розв'язання:
1. Рівновага в повітрі: Нехай V – однаковий об'єм важків. Маса залізного важка $m_1 = \rho_1 V$, алюмінієвого – $m_2 = \rho_2 V$. За правилом моментів сил: $m_1 L_1=m_2 L_2$, або $\rho_1 V L_1= \rho_2 V L_2$, звідки одержимо $\rho_1 L_1= \rho_2 L_2$.
Оскільки густина заліза більша ($\rho_1 > \rho_2$), його плече сили менше за алюмінієве ($L_1 < L_2$).
2. Занурення у воду: На кожен важок починає діяти однакова виштовхувальна сила Архімеда, оскільки їхні об'єми рівні: $F_A = \rho_в g V$.
3. Порівняння нових моментів сил:
Новий момент сили з боку заліза: $M_1' = (m_1 g - F_A) L_1 = m_1 g L_1 – F_A L_1$.
Новий момент сили з боку алюмінію: $M_2' = (m_2 g - F_A) L_2 = m_2 g L_2 – F_A L_2$.
4. Початкові моменти сил у повітрі були рівними ($m_1 g L_1 = m_2 g L_2$). Тому зміна рівноваги важеля залежить виключно від величини, яку ми віднімаємо: $F_A L_1$ проти $F_A L_2$. Оскільки $L_1 < L_2$, то чисельно $F_A L_1 < F_A L_2$. Це означає, що від моменту сили залізного важка віднімуть менше значення, ніж від алюмінієвого. Отже, лівий момент сили стане більшим за правий ($M_1' > M_2'$).
Відповідь: Рівняння рівноваги порушиться. Переважить залізний важок.

3. Секрет фірмового айс-какао

Розв'язання: Нехай маса какао в одній порції $m_к = 0,2$ кг, його початкова температура $t_к = 70°C$. Маса льоду на одну порцію — $m_л$, його початкова температура $t_л = 0°C$. Кінцева температура суміші $\theta = 20°C$.

Гаряче какао віддає тепло під час охолодження однієї порції:

$Q_{відд} = c \cdot m_к \cdot (t_к - \theta) = 4200 \cdot 0,2 \cdot (70 - 20) = 42000$ Дж.

Лід приймає тепло на два процеси (танення льоду та нагрівання отриманої води від 0°C до 20°C):

1. Танення льоду: $Q_1 = \lambda \cdot m_л = 336000 \cdot m_л$
2. Нагрівання отриманої води: $Q_2 = c \cdot m_л \cdot (\theta - t_л) = 4200 \cdot m_л \cdot (20 - 0) = 84000 \cdot m_л$.

Загальне отримане тепло:

$$Q_{отр} = Q_1 + Q_2 = m_л \cdot (336000 + 84000) = m_л \cdot 420000 \text{ Дж}.$$

Рівняння теплового балансу для однієї порції:

$$Q_{відд} = Q_{отр}, \text{ або } 42000 = m_л \cdot 420000, \text{ звідки } m_л = 0,1 \text{ кг} = 100 \text{ г}.$$

Логічний підрахунок для двох порцій:

- На одну порцію потрібно **100 г** льоду.
- Оскільки один кубик важить **25 г**, то на одну порцію потрібно: 100 г / 25 г = 4 кубики.
- Для двох порцій Максиму з другом необхідно: 8 кубиків (або 200 г льоду).

У Максима в лотку є **10 кубиків**, Оскільки 10>8 (і 250 г > 200 г), цього об'єму льоду цілком достатньо.

Відповідь:

1. В одну склянку потрібно додати **100 г** льоду (4 кубики).
2. Так, **10 кубиків вистачить** для приготування двох однакових порцій айс-какао (навіть лишиться 2 зайві кубики).

4. Ремонт гірлянди

Розв'язання:

1. Перша схема (послідовне з'єднання):

Усі чотири однакові лампочки з'єднані послідовно. Загальний опір кола в першому випадку дорівнює:

$R_{заг1}=R+R+R+R=4R=4x12$ Ом$=48$ Ом

2. Друга схема (заміна на паралельну пару):

Замість одної лампочки з'явилися дві, з'єднані паралельно. Опір цієї паралельної пари становить:

$R_{пар}=R/2=12$ Ом$/2=6$ Ом.

Тепер загальний опір кола, що складається з трьох послідовних лампочок та однієї паралельної пари:

$R_{заг2}=R+R+R+R_{пар}=3R+0,5R=3,5R=3,5x12$ Ом$=42$ Ом.

3. Порівняння опорів:
Загальний опір кола зменшився. Знайдемо відношення:
$R_{заг1}/R_{заг2}$=48 Ом/42 Ом=8/7=1,14 разів.
Відповідь: Загальний опір кола зменшився в 8/7 разів (або приблизно в 1,14 разів; на 6 Ом).

5. Магнітний парадокс.
Розв'язання:
1. Обґрунтування механічної рівноваги:
Провідник розпочинає рух тоді, коли сила Ампера дорівнює максимальній силі тертя спокою:

$$F_A=F_{тертя_макс}=\mu\cdot m\cdot g.$$

2. Аналіз першого досліду: Маса провідника — m. Оскільки відстань між рейками 30 см, у магнітному полі перебуває лише частина провідника довжиною l=30 см.
Рівняння сил:

$$B\cdot I_1\cdot l=\mu\cdot m\cdot g.$$

3. Аналіз другого досліду: Маса провідника m не змінилася. Нова довжина провідника (30 см) повністю знаходиться у просторі між рейками, тобто довжина провідника в полі знову становить l=30 см. Рівняння сил:

$$B\cdot I_2\cdot l=\mu\cdot m\cdot g.$$

4. Порівняння та висновок:
Оскільки параметри B, l, μ, m та g в обох дослідах однакові, то

$$I_1=I_2.$$

Відповідь: Сила струму не зміниться ($I_2=I_1$).

10 клас
І етап Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики у 2026/2027 н.р.
Задачі 1-5 по 5 балів

1. Арктична евакуація

Розв'язання:

1. Перевірка міцності каната: Припустимо, що канат не рветься. Тоді система рухається як одне ціле із загальним прискоренням:

$$a=F/(m+m)=1200\ \text{Н}/(300\ \text{кг}+300\ \text{кг})=2\ \text{м/с}^2.$$

За такого прискорення натяг каната, що діє на другий контейнер, має становити:

$$T=m\,a=300\text{кг}\cdot 2\text{м/с}^2=600\ \text{Н}.$$

Оскільки теоретичний натяг (600 Н) перевищує ліміт міцності каната (550 Н), то канат розривається в самий момент старту.

2. Розрахунок руху другого контейнера:

Оскільки канат розірвався відразу, на другий контейнер більше не діють жодні горизонтальні сили. За першим законом Ньютона він залишається у стані спокою на гладкій кризі.

Його швидкість через будь-який час:

$$v_2=0\ \text{м/с}.$$

3. Розрахунок руху першого контейнера:

Після розриву страхувального каната перший контейнер масою m=300 кг звільняється від зв’язку з другим. Проте трос лебідки всюдихода продовжує тягнути його з постійною силою F=1200 Н. Його реальне прискорення становить:

$$a_1=F/m=1200\ \text{Н}/300\ \text{кг}=4\ \text{м/с}^2.$$

Швидкість першого контейнера через t=0,5 с:

$$v_1=a_1\cdot t=4\text{м/с}^2\cdot 0{,}5\ \text{с}=2\text{м/с}.$$

Відповідь:

1. Перший контейнер розвине швидкість **2 м/с** (7,2 км/год).
2. Другий контейнер матиме швидкість **0 м/с**, оскільки залишився на місці.

2. Таємниця старого колодязя (Геометрична оптика).

Розв'язання:

1. Аналіз ходу променів:

Сонячний промінь падає на землю під кутом α = 40° до горизонтальної поверхні землі. Нам потрібно спрямувати відбитий промінь строго вертикально вниз (у колодязь). Кут між горизонтальною поверхнею землі та вертикаллю вниз становить 90°.

2. Визначення повного кута між променями:

Загальний кут γ між напрямком падаючого променя та напрямком відбитого променя (вертикально вниз) становить:

$\gamma = 90° + \alpha = 90° + 40° = 130°$

3. Застосування закону відбивання світла:

За законом відбивання світла, перпендикуляр (нормаль), проведений до поверхні дзеркала в точці падіння, ділить цей повний кут навпіл. Отже, кут падіння θ (кут між падаючим променем і нормаллю) дорівнює:

$\theta = 130°/2 = 65°$

4. Розрахунок кута нахилу дзеркала:

Кут між падаючим променем і самою відбивальною поверхнею дзеркала становить:

$90° - \theta = 90° - 65° = 25°$

Шуканий кут β між площиною дзеркала та горизонтальною поверхні землі є сумою кута нахилу сонячного променя до землі (α) та кута між цим променем і поверхнею дзеркала:

$\beta = 40° + 25° = 65°$

5. Кінематична частина: Загальний час $t = \sqrt{(2h/g)} + h/v_{зв}$. Підставляємо числові значення: $2{,}75 = \sqrt{h/5} + h/340$.

Заміна $\sqrt{h} = x$ дає квадратне рівняння: $x^2/340 + x/\sqrt{5} - 2{,}75 = 0$, звідки $x^2 + 152{,}05\,x - 935 = 0$.

Додатний корінь: $x \approx 5{,}92$. Тоді глибина колодязя: $h = x^2 \approx 35{,}05$ м.

Відповідь:

1. Дзеркало потрібно нахилити під кутом **65°** до горизонтальної поверхні землі (або, що те саме, під кутом **25°** до вертикальної осі колодязя).
2. Глибина колодязя 35,05 м.

3. Ескалатор Центру Помпіду

Розв'язання: Кількість налічених сходинок пропорційна шляху, який проходить турист відносно самого ескалатора. Нехай N — повна кількість сходинок нерухомого ескалатора.

1. Коли турист іде із швидкістю v_1, він нарахував $n_1 = 40$ сходинок. Час його підйому $t_1 = 40/v_1$. За цей час ескалатор «сховав» під підлогу решту сходинок, рухаючись зі швидкістю v_e: $N - 40 = v_e t_1 = 40\,v_e/v_1$.

2. Коли турист іде зі швидкістю $2\,v_1$, він нарахував $n_2 = 60$ сходинок. Час його підйому: $t_2 = \frac{60}{2v_1} = 30/v_1$. Рівняння набуває вигляду:

$$N - 60 = v_e t_2 = 30\,v_e/v_1.$$

3. Поділимо одне рівняння на інше:

$$\frac{N-40}{N-60} = \frac{40}{30} = \frac{4}{3}.$$

Звідки одержимо: $3N - 120 = 4N - 240$. Остаточно знаходимо: $N = 120$.

Відповідь: 120 сходинок.

4. Магнітна пастка

Розв'язання: 1. Коли через провідник протікає струм у магнітному полі, на нього діє сила Ампера ($F_A = IBL\sin 90° = IBL$). У стані рівноваги на провідник діють три сили: сила тяжіння (mg), сила Ампера (F_A) та сумарна сила натягу двох ниток ($2T$).

Запишемо умови рівноваги у проєкціях на осі:

На вертикальну вісь: $2T\cos\alpha = mg$.

На горизонтальну вісь: $2T\sin\alpha = F_A$.

Поділивши друге рівняння на перше, одержимо: $tg\ \alpha = F_A\ /mg$. Оскільки кут $\alpha = 45°$, $tg(45) = 1$, то $F_A = mg$ або $IBL = mg$.

Виразимо силу струму $I = \frac{mg}{BL}$ і обчислимо її значення $I = \frac{0{,}06\cdot 10}{0{,}25\cdot 0{,}2} = 12$ А.

2. Визначення сили натягу кожної нитки. Скористаємось проєкцією умови рівноваги на вертикальну вісь: $2T\cos\alpha = mg$. Звідки знайдемо силу натягу однієї нитки

$$T = \frac{mg}{2\cos\alpha}.$$

Обчислення сили натягу дає $T = \frac{0{,}06\cdot 10}{2\cos 45°} \approx 0{,}42$ Н.

Відповідь:

1. Сила струму в провіднику становить **12 А**.
2. Сила натягу кожної нитки дорівнює приблизно **0,42 Н**.

5. Загадка гарячого чаю

Розв'язання:

1. Аналіз теплового балансу та знаходження кінцевої температури.

Спочатку порівняємо кількість теплоти, яку може виділити вода, охолоджуючись до 0°С, з теплотою, необхідною для нагрівання та плавлення всього льоду.

Теплота, яку віддасть вода при охолодженні від 20°С до 0°С:

$$Q_{\text{відд}} = c_{\text{в}}\, m_{\text{в}}\, (t_{\text{в}} - 0) = 4200\cdot 0{,}2\cdot(20-0) = 16800 \text{ Дж}.$$

Теплота, необхідна для нагрівання всього льоду від -10°С до 0°С:

$$Q_{\text{нагр}} = c_{\text{л}}\, m_{\text{л}}\, (0 - t_{\text{л}}) = 2100\cdot 0{,}05\cdot(0-(-10)) = 105\cdot 10 = 1050 \text{ Дж}.$$

Теплота, яка потрібна для повного плавлення всього наявного льоду:

$$Q_{\text{пл. повн}} = \lambda\, m_{\text{л}} = 332000\cdot 0{,}05 = 16600 \text{ Дж}.$$

Теплота, яка залишається на плавлення льоду:

$$Q_{\text{пл. зал}} = Q_{\text{відд}} - Q_{\text{нагр}} = 16800 - 1050 = 15750 \text{ Дж}.$$

Оскільки $Q_{\text{пл. зал}} < Q_{\text{пл. повн}}$ (15750 Дж $<$ 16600 Дж), то енергії води недостатньо для того, щоб розтопити весь лід. Це означає, що процес зупиниться в момент досягнення теплової рівноваги, коли частина льоду залишиться в твердому стані. Таким чином, к**інцева температура суміші дорівнює: 0°С.**

2. Визначення маси нерозплавленого льоду. Знайдемо масу льоду, яка все ж таки встигне розплавитися за рахунок доступної теплоти ($m_{\text{розп}}$):

$$Q_{\text{пл. зал}} = \lambda\, m_{\text{розп}}.$$

Звідки

$$m_{\text{розп}} = Q_{\text{пл. зал}}/\lambda = 15750/332000 \approx 0{,}04744 \text{ кг} \approx 47{,}44 \text{ г}.$$

Тепер обчислимо масу льоду, яка залишиться нерозплавленою ($m_{\text{нер}}$):

$$m_{\text{нер}} = m_{\text{л}} - m_{\text{розп}} = 50 - 47{,}44 = 2{,}56 \text{ г}.$$

Відповідь:
1. Кінцева температура в калориметрі: 0°C.
2. Маса нерозплавленого льоду: приблизно 2,56 г.

11 клас
І етап Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики у 2026/2027 н.р.
Задачі 1-5 по 5 балів

1. Котушка-втікачка.
Розв'язання:
1. Напрямок руху (Парадокс котушки)
Оскільки котушка котиться без проковзування, точка її дотику зі столом є миттєвим центром обертання (МЦО). Відносно цієї точки дотику момент сили F намагається повернути котушку проти годинникової стрілки. Тому котушка буде котитися вліво – услід за ниткою.
2. Знаходження швидкості осі (v_c)
В умовах задачі котушка рухається вліво зі швидкістю v_c. Оскільки кочення відбувається без проковзування, кутова швидкість обертання котушки навколо своєї осі дорівнює:

$$\omega = v_c/R$$

Тепер знайдемо швидкість точки, з якої сходить нитка (це найнижча точка внутрішнього вала радіуса r). Ця швидкість складається з поступальної швидкості осі v_c (спрямованої вліво) та лінійної швидкості обертання навколо осі $\omega \cdot r$ (спрямованої вправо, бо котушка обертається проти годинникової стрілки):

$$v=v_c - \omega \cdot r.$$

Підставимо сюди $\omega = v_c/R$:

$$v=v_c - v_c \cdot r/R = v_c\,(1-r/R).$$

Звідси виразимо швидкість осі котушки v_c:

$$v_c = v/\,(1-r/R)=v \cdot R/(R-r).$$

Числовий розрахунок:

$$v_c = 12 \cdot 5/(5-2)=20 \text{ см/с}.$$

Зауваження: Оскільки R > R– r, швидкість котушки v_c завжди буде більшою за швидкість нитки v. Котушка ніби «наздоганяє» руку, яка тягне нитку.
Відповідь: Котушка рухатиметься вліво зі швидкістю 20 см/с.

2. Непружне зіткнення куль.
Розв'язання:
1. Кулі рухаються в один бік
1) Закон збереження імпульсу
Оскільки зіткнення абсолютно непружне і кулі рухаються в один бік уздовж однієї прямої, після удару вони злипнуться і рухатимуться разом із спільною швидкістю u. Нехай маса кожної кулі дорівнює m. За законом збереження імпульсу:

$$mv_1+mv_2=(m+m)u$$

$$m(v_1+v_2)=2m\cdot u \quad \rightarrow \quad u=(v_1+v_2)/2.$$

Підставимо значення швидкостей:

$$u=(18+36)/2=27 \text{ м/с}.$$

2) Закон збереження енергії та виділення теплоти

Під час абсолютно непружного зіткнення частина кінетичної енергії системи перетворюється на внутрішню енергію (теплоту Q_1).

Початкова кінетична енергія системи:

$$E_{k1}= mv_1^2/2+mv_2^2/2.$$

Кінцева кінетична енергія системи після злипання:

$$E_{k2}=2m\cdot u^2/2=mu^2.$$

Втрата кінетичної енергії дорівнює кількості теплоти, яка пішла на нагрівання куль:

$$Q_1= \Delta E_k$$

або

$$\Delta E_k =E_{k1}–E_{k2},$$

звідки

$$Q_1= mv_1^2/2+mv_2^2/2– mu^2 =m((v_1^2+ v_2^2)/2–u^2).$$

Обчислимо вираз у дужках:

$$(18^2+36^2)/2–27^2 = (324+1296)/2–729=810–729=81 \text{ Дж/кг}.$$

Отже, кількість теплоти становить:

$$Q_1=81\cdot m.$$

3) Розрахунок зміни температури

Формула для кількості теплоти, що йде на нагрівання двох куль загальною масою 2m:

$$Q_1=2m\cdot c\cdot \Delta T_1.$$

Прирівняємо обидва вирази для Q:

$$81\cdot m=2m\cdot c\cdot \Delta T_1.$$

Скоротимо масу m та виразимо зміну температури ΔT_1 :

$$\Delta T_1 =81/(2c).$$

Обчислимо:

$$\Delta T_1 =81/(2\cdot 135)=0{,}3 \text{ K (або } 0{,}3°C).$$

Оскільки зміна температури за шкалою Кельвіна дорівнює зміні за шкалою Цельсія ($\Delta T_K = \Delta T_C$), температура тіл зросла на 0,3°C.

2. Кулі рухаються назустріч одна одній

1) Закон збереження імпульсу

Оскільки зіткнення абсолютно непружне і кулі рухаються в один бік уздовж однієї прямої, після удару вони злипнуться і рухатимуться разом із спільною швидкістю u'. Нехай маса кожної кулі дорівнює m. За законом збереження імпульсу:

$$mv_2–mv_1=2mu' \quad \rightarrow \quad u=(v_2–v_1)/2.$$

Підставимо значення швидкостей:

$$u=(36–18)/2=9 \text{ м/с}.$$

2) Закон збереження енергії та виділення теплоти

Під час абсолютно непружного зіткнення частина кінетичної енергії системи перетворюється на внутрішню енергію (теплоту Q_1).

Початкова кінетична енергія системи:

$$E_{k1}= mv_1^2/2+mv_2^2/2=m(18^2+36^2)/2= 810\ m.$$

Кінцева кінетична енергія системи після злипання:

$$E'_{k2}=2m\cdot(u')^2/2=m(u')^2=m\cdot 9^2=81\ m.$$

Кількості теплоти, яка виділилася внаслідок злипання тіл та пішла на їх нагрівання:

$$Q'= E_{k1}–E'_{k2}=m\cdot 810–m\cdot 81=729\ m.$$

3) Розрахунок зміни температури

Формула для кількості теплоти, що йде на нагрівання двох куль загальною масою 2m:

$$Q'=2m\cdot c\cdot \Delta T'.$$

Прирівняємо обидва вирази для Q' та скоротимо масу m:

$$729\cdot m=2m\cdot c\cdot \Delta T' \ \rightarrow \ \Delta T' =729/(2c).$$

Обчислимо:

$$\Delta T' =729/(2\cdot 135)=2,7 \text{ K (або } 2,7°C).$$

Оскільки зміна температури за шкалою Кельвіна дорівнює зміні за шкалою Цельсія ($\Delta T_K = \Delta T_C$), температура тіл зросла на 2,7°C.

Відповідь: при русі куль в одному напрямку $\Delta T=0,3°C$; при русі куль назустріч одна одній $\Delta T'=2,7°C$.

3. Провідник у магнітному полі

Розв'язання:

1. За час проходження короткого імпульсу струму провідник не встигає помітно зміститися, але отримує початкову швидкість v_0 під дією сили Ампера. Імпульс сили Ампера дорівнює зміні імпульсу провідника:

$$\Delta p = F_A\cdot\Delta t = B\cdot I\cdot l\cdot\Delta t = B\cdot l\cdot q.$$

Отже,

$$m\cdot v_0 = B\cdot l\cdot q \ \rightarrow \ v_0 = B\cdot l\cdot q/m.$$

2. Після припинення струму провідник рухається як математичний маятник. За законом збереження енергії, кінетична енергія переходить у потенціальну:

$$m\cdot v_0^2/2 = m\cdot g\cdot h.$$

Висота підйому $h = L(1 – \cos\alpha)$.

3. Тоді

$$v_0 = \sqrt{2\cdot g\cdot L(1-\cos\alpha)}.$$

4. Таким чином маємо

$$\frac{B l q}{m} = \sqrt{2\cdot g\cdot L(1-\cos\alpha)}.$$

5. Знайдемо заряд q:

$$q = \frac{m\sqrt{2 \cdot g \cdot L(1 - \cos\alpha)}}{Bl}.$$

Підставимо значення (g = 10 м/с^2, cos 60°= 0,5):

$$q = \frac{0{,}02\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0{,}5(1 - 0{,}5)}}{0{,}5 \cdot 0{,}2} = 0{,}2 \cdot \sqrt{5} \approx 2 \cdot 2{,}236 \approx 0{,}45 \text{ Кл}.$$

Відповідь: $q = \frac{m\sqrt{2 \cdot g \cdot L(1 - \cos\alpha)}}{Bl} \approx 0{,}45$ Кл.

4. Де зображення?

Розв'язання:

1. Перше проходження крізь лінзу.

Знайдемо, де лінза створила б первинне зображення S′ за відсутності дзеркала. За формулою тонкої лінзи:

$$1/d+1/f=1/F \quad \rightarrow \quad 1/30+1/f=1/20,$$
$$1/f=1/20–1/30=1/60 \quad \rightarrow \quad f=60 \text{ см}.$$

Отже, промені збігалися б у точці S′ на відстані 60 см праворуч від лінзи.

2. Відбивання від дзеркала.

Оскільки дзеркало стоїть на відстані L = 50 см, промені не встигають зійтися в точці S і падають на дзеркало *збіжним пучком*.

Точка S′ стає уявним предметом для плоского дзеркала. Вона міститься за дзеркалом на відстані:

$$x = f–L = 60–50 = 10 \text{ см}.$$

Плоске дзеркало відображає промені симетрично. Тому після відбивання промені стануть збігатися в точці S'_1, яка лежить *перед* дзеркалом на такій самій відстані x=10 см. Відстань від цього нового зображення S'_1 до лінзи дорівнює:

$$d_2 = L–x = 50–10 = 40 \text{ см}.$$

3. Друге проходження крізь лінзу (зворотний хід).

Тепер точка S'_1 виступає як реальне джерело світла для лінзи, що лежить праворуч від неї на відстані d_2 = 40 см. Промені йдуть справа наліво. Знову застосуємо формулу тонкої лінзи для знаходження кінцевого зображення S″:

$$1/d_2 + 1/f_2 = 1/F \quad \rightarrow \quad 1/40 + 1/f_2 = 1/20,$$
$$1/f_2 = 1/20–1/40 = 1/40 \ldots\rightarrow\ldots f_2 = 40 \text{ см}.$$

Отже, кінцеве дійсне зображення S″ утвориться на відстані 40 см ліворуч від лінзи (тобто на 10 см лівіше від початкового джерела S).

Відповідь: На відстані 40 см ліворуч від лінзи.

5. Протон у магнітному полі

Розв'язання:

Розкладемо вектор швидкості протона **v** на дві складові:

1. Паралельну лініям магнітного поля: $v_{\parallel} = v \cdot \cos\alpha$. Ця складова не викликає появи сили Лоренца, тому вздовж поля протон рухається рівномірно. Перпендикулярну лініям поля: $v_{\perp}=v \sin\alpha$. Через цю складову виникає сила Лоренца, яка змушує протон рухатися по колу в площині, перпендикулярній до поля. У результаті додавання цих рухів протон рухається по гвинтовій лінії (спіралі).

2. Знайдемо період обертання протона по колу T. Сила Лоренца є доцентровою силою:

$$F_Л = q \cdot v_{\perp} \cdot B = m \cdot v_{\perp}^2 / R \ \rightarrow \ R = m \cdot v_{\perp} / (q \cdot B).$$

3. Період обертання дорівнює довжині кола, поділеній на перпендикулярну швидкість:

$$T = 2\pi \cdot R / v_{\perp} = 2\pi \cdot m / (q \cdot B).$$

4. Крок гвинтової лінії h – це відстань, яку протон проходить уздовж ліній поля за один повний оберт (за час T):

$$h = v_{\parallel} T = (v \cos\alpha)\, 2\pi \cdot m / (q \cdot B) = 2\pi m \cdot v \cdot \cos\alpha / (q \cdot B).$$

Підставимо числові значення ($\cos 30° \approx 0{,}866$):

$$h = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 2 \cdot 10^{5} \cdot 0{,}866 / (1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-3}) \approx 1{,}135 \text{ м}.$$

Відповідь: $h = 2\pi \cdot m \cdot v \cdot \cos\alpha / (q \cdot B) \approx 1{,}14$ м.