Сумський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти

Відповіді

ІІІ етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики 2023-2024 н.р.

Теоретичний тур

8 клас

1. У випадку рівномірного руху

$$L_1 = V_1\, t_x\ (L_1 = V_2\ 16\ с) \qquad (1),$$

$$L_2 = V_2\, t_x\ (L_2 = V_1\ 25\ с) \qquad (2),$$

де t_x – час до зустрічі.

З добутку (1) х (2) => $V_1\, V_2\, t_x^{\ 2} = V_1\, V_2\ 16 \cdot 25\ с^2$, знайдемо час

$$t_x = 4 \cdot 5\ с = 20\ с.$$

З рівняння (1) => V_1 20 с = V_2 16 с => $V_2 = 1.25\ V_1$, тоді $L_2 – L_1 = (V_2 – V_1)\ t_x$ => 20 м = (1,25 $V_1 – V_1$) 20 с => 20 м = 0,25 V_1 20 с => $V_1 = 4$ *м/с*

$V_2 = 1,25\ V_1 = 1,25 \cdot 4$ м/с = 5 *м/с*

$L_1 + L_2 = (V_1 + V_2)\ t_x = (5\ м/с + 4\ м/с) \cdot 20\ с = 180\ м$

Якщо тіла рухаються в один бік, то перше тіло робить повний оберт за 45 с (180 *м* / 4 *м/с*), а друге тіло – за 36 *с* (180 *м* / 5 м/с).

Таким чином тіла зустрінуться через 180 *с*, коли перше тіло зробить 4 повних оберти, а друге – п’ять.

2. Розглянемо випадок, коли кулька висить на пружині в повітрі, тоді на неї діє сила тяжіння і сила пружності (рис. 1), які зрівноважують одна одну, тому можемо записати

$$\vec{F}_т + \vec{F}_н = 0,$$

У проєкції на вісь Oy отримаємо рівняння

$$mg = kx_1 \qquad (1).$$

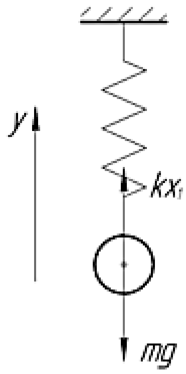

Рисунок 1

Якщо кульку на пружині повністю помістити у воду, то на неї вгорі буде діяти сила Архімеда, яка буде виштовхувати кульку з рідини.

Оскільки сила Архімеда виштовхує кульку на поверхню, то пружина стиснеться (рис.2).

Тоді рівнодійну всіх сил, що діють на кульку можна записати як

$$\vec{F}_т + \vec{F}_н + \vec{F}_А = 0,$$

або у проєкції на вісь Oy отримаємо

$$mg + kx_2 = V_{кульки}\rho_{рідини}g, \qquad (2)$$

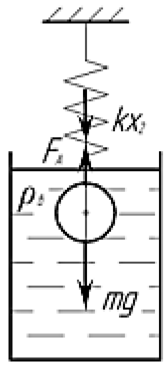

Рисунок 2

Оскільки за умовою задачі деформація пружини не змінилася при переміщенні кульки з повітря у воду, тобто $x_1 = x_2$, тому можемо підставити рівняння (1) у рівняння (2)

$$2mg = V_{кульки}\rho_{рідини}g,$$

$$2m = V_{кульки}\rho_{рідини},$$

$$\rho_{рідини} = \frac{2m}{V_{кульки}} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-5}} = 800\left(кг/м^3\right).$$

3. Позначимо υ – швидкість безпосередньо перед ударом о воду, υ_0 – початкова швидкість, h – висота, з якої кинули кульку. За законом збереження енергії

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2}+mgh=\frac{m\upsilon^2}{2}\Rightarrow \upsilon=\sqrt{\upsilon_0^2+2gh}=\sqrt{\left(1\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2+2\cdot 10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot 4\text{м}}=\sqrt{81\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}=9\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Швидкість безпосередньо перед ударом о воду буде дорівнювати 9 м/с.

Далі через силу опору води повна механічна енергія вже не буде зберігатись. Гальмують кульку сила опору води і сила Архімеда. Отже, їх робота дорівнюватиме за абсолютним значенням зміні повної механічної енергії кульки під час руху під водою (глибиною часткового занурення кульки на початку нехтуємо).

$$(F+\rho_в gV)s=\frac{m\upsilon^2}{2}+mgs,$$

звідки

$$F=\frac{V}{s}\left(\frac{\rho\upsilon^2}{2}+(\rho-\rho_в)gs\right)=$$

$$=\frac{10^{-6}\text{м}^3}{0{,}14\text{м}}\left(\frac{1}{2}\cdot 900\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\cdot\left(9\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2+\left(900\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}-1000\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)\cdot 10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot 0{,}14\text{м}\right)\approx 0{,}26\text{Н}.$$

Середня сила опору води дорівнює 0,26 Н.

За відсутності сили опору води з відповідного рівняння:

$$s=\frac{\rho V\upsilon^2}{2(\rho_в-\rho)gV}=\frac{\rho\upsilon^2}{2(\rho_в-\rho)g}=$$

$$=\frac{900\,\text{кг/м}^3\cdot(9\,\text{м/с})^2}{2\cdot\left(1000\,\text{кг/м}^3-900\,\text{кг/м}^3\right)\cdot 10\,\text{м/с}^2}=36{,}45\text{м}.$$

За відсутності сили опору води кулька занурилася на глибину 36,45 м.

4. Побудуємо графік залежності температури води в калориметрі T від часу τ. Відомо, що він повинен складатися з горизонтальної (плавлення льоду) і похилої (нагрів води, що утворилася) ділянок.

Наявні дані дозволяють однозначно відновити залежність температури від часу, відлік якого будемо рахувати від моменту ввімкнення нагрівача (рис. 3).

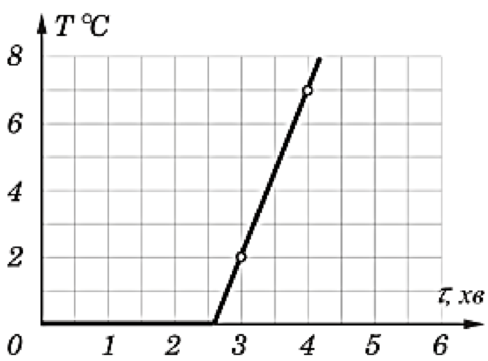

Рисунок 3

За графіком можна знайти час танення льоду.

Залежність температури води від часу після того, як весь лід розтанув, задається формулою

$$T = a\tau + b.$$

Відомо, що в момент часу $\tau = 3$ *хв* температура становить $T = 2°C$, а $\tau = 4$ *хв* – $T = 7°C$.

Звідси, $2 = 3a + b$, $7 = 40 + b$.

Розв’язування системи дозволяє знайти

$$a = 5,\ b = -13 \text{ і } T = 5\tau - 13.$$

Час танення льоду τ_1 визначається точкою перетину цієї похилої прямої з прямою $T = 0°C$.

Звідси, $\tau_1 = 13/5 = 2{,}6$ *хв* $= 156$ *с*.

З рівняння теплового балансу знайдемо початкову масу льоду:

$$m = N\,\tau_1/\lambda \approx 22{,}9\ г.$$

Після того, як лід розтане, уся отримана вода масою ($m + M$), де M – маса води, яка спочатку була у калориметрі, нагрівається на $\Delta T_2 = 5$ °С за $\tau_2 = 1$ хв $= 60$ с.

Отже, $C\,(m + M)\,\Delta T = N\,\tau_2$ і початкова маса води: $M = N\,\tau_2 / C\Delta T - m \approx 120$ *г*.

Сумський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти

Відповіді

ІІІ етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики 2023-2024 н.р.

Теоретичний тур

9 клас

1. Позначимо υ – швидкість безпосередньо перед ударом о воду, υ_0 – початкова швидкість, h – висота, з якої кинули кульку. За законом збереження енергії

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2}+mgh=\frac{m\upsilon^2}{2}\Rightarrow \upsilon=\sqrt{\upsilon_0^2+2gh}=\sqrt{\left(1\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2+2\cdot 10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot 4\text{м}}=\sqrt{81\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}=9\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Швидкість безпосередньо перед ударом о воду буде дорівнювати 9 м/с.

Далі через силу опору води повна механічна енергія вже не буде зберігатись. Гальмують кульку сила опору води та сила Архімеда. Отже, їх робота дорівнюватиме за абсолютним значенням зміні повної механічної енергії кульки під час руху під водою (ділянцею часткового занурення кульки нехтуємо).

$$(F+\rho_в gV)s=\alpha\left(\frac{m\upsilon^2}{2}+mgs\right),$$

звідки

$$F=\frac{\alpha V}{s}\left(\frac{\rho\upsilon^2}{2}+(\rho-\rho_в)gs\right)=$$

$$=\frac{95\cdot 10^{-2}\cdot 10^{-6}\text{м}^3}{0{,}14\text{м}}\left(\frac{1}{2}\cdot 900\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\cdot\left(9\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2+\left(900\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}-1000\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)\cdot 10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot 0{,}14\text{м}\right)\approx 0{,}247\text{Н}.$$

Середня сила опору води дорівнює 0,247 Н.

Глибина занурення 14 *см*, хоча, якщо б сила опору води була відсутня, тоді глибина мала інше значення. Розрахуємо її за відповідним рівнянням:

$$H=\frac{\rho V\upsilon^2}{2(\rho_в-\rho)gV}=\frac{\rho\upsilon^2}{2(\rho_в-\rho)g}=\frac{900\,\text{кг}/\text{м}^3\cdot(9\,\text{м}/\text{с})^2}{2\cdot\left(1000\,\text{кг}/\text{м}^3-900\,\text{кг}/\text{м}^3\right)\cdot 10\,\text{м}/\text{с}^2}=36{,}45\text{м}.$$

Глибина занурення 14 *см*, за відсутності сили опору води – 36,45 *м*.

2. Грузи рухаються з прискоренням

$$(m_1+m_2)a=(m_2-m_1)g.$$

$$a=\frac{(m_2-m_1)}{(m_1+m_2)}g.$$

Тому m_2 досягне поверхні зі швидкістю

$$(m_1+m_2)ah=\frac{(m_1+m_2)v^2}{2},$$

$$v^2=2ah.$$

Після пружного відбиття швидкість залишиться незмінною. Тому тіло підніметься на висоту h_2.

$$h_2=\frac{v^2}{2a}=\frac{a}{g}h=\frac{(m_2-m_1)}{(m_1+m_2)}h=20/2=10\ см.$$

3. На відрізок проводу діє сила

$$F_A=BIl\sin\alpha,$$

де $I=\frac{U}{R}$ – сила струму, $R=\rho\frac{l}{S}$ – опір проводу.

Враховуючи $S = \frac{\pi d^2}{4}$, одержимо

$$B = \frac{4\rho F}{\pi d^2 U \sin\alpha},$$

$$B = \frac{8}{\pi}\frac{\rho F}{Ud^2} = \frac{272}{3\pi}\,\text{мТл} \approx 28{,}9\,\text{мТл}.$$

4. За формулою лінзи визначимо відстань від зображення B до лінзи (очевидно, що зображення точки A отримаємо в точці подвійної фокусної відстані 2F справа від лінзи).

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{F};\ f_1 = \frac{d_1 F}{d_1 - F},\ f_1 = \frac{2{,}5F \cdot F}{2{,}5F - F} = \frac{5}{3}F.$$

Аналогічно розрахуємо положення зображення палички AB (точки A і B) у момент часу, коли точка B кінця палички досягне подвійної фокусної відстані. Зображення точки B буде в точці подвійної фокусної відстані справа від лінзи. Зображення точки A правого кінця палички: $AB=2{,}5F-2F=0{,}5F$, $d_2=1{,}5F$,

$$\frac{1}{f_2} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{F};\ f_2 = \frac{d_2 F}{d_2 - F},\ f_2 = \frac{1{,}5F \cdot F}{1{,}5F - F} = 3F.$$

Час руху палички буде рівний: $t = \frac{0{,}5F}{v}$

Відстань, яку пройде зображення точки A за цей час, $l_A=3F-2F=F$,

Середня швидкість руху точки A $v_A = \frac{l_A}{t} = \frac{l_A v}{0{,}5v} = 2v.$

Відстань, пройдена зображенням точки B за цей самий час,

$$l_B=2F-f_1=2F-\frac{5}{3}F=\frac{1}{3}F$$

Середня швидкість руху зображення точки B упродовж визначеного часу –

$$v_A = \frac{l_{AB}}{t} = \frac{1/3F}{0{,}5v}v = \frac{2}{3}v.$$

Відношення середніх швидкостей руху зображень точок A і B рівне

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{2v}{2/3v} = 3$$

Сумський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти

Відповіді

ІІІ етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики 2023-2024 н.р.

Теоретичний тур

10 клас

1. За формулою лінзи визначимо відстань від зображення *B* до лінзи (очевидно, що зображення точки *A* отримаємо в точці подвійної фокусної відстані 2F справа від лінзи).

$$\frac{1}{f_1}+\frac{1}{d_1}=\frac{1}{F};\ f_1=\frac{d_1F}{d_1-F},\ f_1=\frac{2{,}5F\cdot F}{2{,}5F-F}=\frac{5}{3}F.$$

Аналогічно розрахуємо положення зображення палички *AB* (точки *A* і *B*) у момент часу, коли точка *B* кінця палички досягне подвійної фокусної відстані. Зображення точки *B* буде в точці подвійної фокусної відстані справа від лінзи. Зображення точки *A* правого кінця палички: $AB=2{,}5F-2F=0{,}5F$, $d_2=1{,}5F$,

$$\frac{1}{f_2}+\frac{1}{d_2}=\frac{1}{F};\ f_2=\frac{d_2F}{d_2-F},\ f_2=\frac{1{,}5F\cdot F}{1{,}5F-F}=3F.$$

Час руху палички буде рівний: $t=\frac{0{,}5F}{v}$

Відстань, яку пройде зображення точки *A* за цей час, $l_A=3F-2F=F$,

Середня швидкість руху точки *A* $v_A=\frac{l_A}{t}=\frac{l_Av}{0{,}5v}=2v.$

Відстань, пройдена зображенням точки *B* за цей самий час,

$$l_B=2F-f_1=2F-\frac{5}{3}F=\frac{1}{3}F$$

Середня швидкість руху зображення точки *B* упродовж визначеного часу –

$$v_A=\frac{l_{AB}}{t}=\frac{1/3F}{0{,}5v}v=\frac{2}{3}v.$$

Відношення середніх швидкостей руху зображень точок *A* і *B* рівне

$$\frac{v_A}{v_B}=\frac{2v}{2/3v}=3$$

2. Візьмемо вісь *Ox*, пов'язану з другим тілом (рис. 1). Тоді рівняння руху матиме вигляд:

$$x=x_0-\vartheta_0t+\frac{at^2}{2}.$$

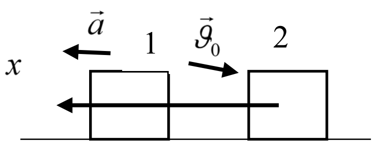

Рисунок 1

Рівняння зміни швидкості:

$$\vartheta=-\vartheta_0+at.$$

Максимальна відстань буде за умови $\vartheta=0$, тоді

$$l_1=x-x_0=\frac{\vartheta^2}{2a}.$$

У випадку руху з постійною швидкістю назустріч, враховуючи класичну формулу додавання швидкостей, одержимо

$$\vartheta=2\vartheta_0.$$

Відповідно до умови $x_0=\frac{3}{4}l$, тоді

$$l_2=8\frac{\vartheta^2}{a}.$$

Закон збереження імпульсу за непружного зіткнення згідно обраної системи відліку

$$m\vartheta_0 = (m+m)\vartheta.$$

Звідси після непружного зіткнення тіла матимуть швидкість $V_0/2$.

3. Згідно з законом збереження енергії, енергія розпаду ядер перетворилася на внутрішню енергію калориметра:

$$E = Q, \quad (1)$$

$$E = NE_0 \; Q = C\Delta t, \quad (2)$$

$$NE_0 = C\Delta t, \quad (3)$$

де N – кількість ядер радіонукліда, які розпалися впродовж експерименту.

Її можна знайти за різницею активностей ізотопу на початку та в кінці досліду:

$$\Delta A = N\lambda, \quad (4)$$

де λ = 0,69/T – стала характеристика радіоактивного розпаду для певного ізотопу, T – період піврозпаду.

Тоді з (4) $\Rightarrow N = \frac{\Delta A}{\lambda} = \frac{\Delta AT}{0,69}$ (5). Маємо систему з двох рівнянь (3) і (5).

Підставляємо (5) в (3)

$$\frac{\Delta AT}{0,69}E_0 = C\Delta t \quad (6).$$

$$T = \frac{0,69C\Delta t}{\Delta AE_0} \approx 8 \text{ діб}.$$

4. Домовимось називати тіла «M», «2M» та «3M» відповідно до їх мас.

1) Очевидно, що тіло «3M» залишиться нерухомим, якщо не рухаються інші тіла.

Ця ситуація реалізується за умови $Mg < 2Mg\mu_1$.

Звідки випливає перша достатня умова нерухомості тіла «3M»: $\mu_1 \geq \frac{1}{2}$.

2) Нехай $\mu_1 < \frac{1}{2}$, і тіло «2M» ковзає по поверхні тіла «3M», яке при цьому залишається нерухомим.

З умови нерозтяжності нитки легко визначити силу її натягу T: $T = \frac{2Mg(1+\mu_1)}{3}$.

Розглянемо сили, що діють на тіло «3M» (рис. 2).

Оскільки тіло не рухається, то $T - \mu_1 N_1 = F_{T,2}$, де

$$N_1 = 2Mg.$$

Сила тертя спокою $F_{T,2}$ має задовільняти умові $F_{T,2} \leq \mu_2 N_2$, звідки випливає $\mu_2 \geq \frac{F_{T,2}}{N_2}$.

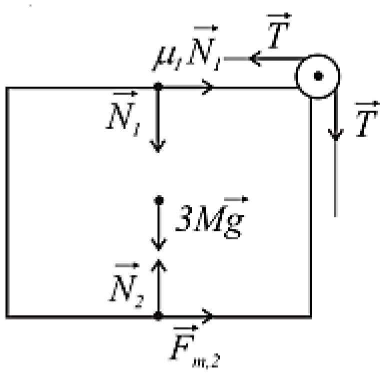

Рисунок 2

Сила реакції N_2 урівноважує силу тяжіння, що діє на тіла «2M» і «3M», і силу натягу вертикальної ділянки нитки:

$$N_2 = 5Mg + T.$$

Після очевидних підстановок і перетворень отримаємо другу достатню умову нерухомості тіла «3M»:

$$\mu_2 \geq \frac{2(1-2\mu_1)}{17+2\mu_1}.$$

Сумський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти

Відповіді

ІІІ етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики 2023-2024 н.р.

Теоретичний тур

11 клас

1. Домовимось називати тіла «М», «2М» та «3М» відповідно до їх мас.

1) Очевидно, що тіло «3М» залишиться нерухомим, якщо не рухаються інші тіла. Ця ситуація реалізується за умови $Mg < 2Mg\mu_1$.

Звідки випливає перша достатня умова нерухомості тіла «3М»: $\mu_1 \geq \frac{1}{2}$.

2) Нехай $\mu_1 < \frac{1}{2}$, і тіло «2М» ковзає по поверхні тіла «3М», яке при цьому залишається нерухомим.

З умови нерозтяжності нитки легко визначити силу її натягу Т: $T = \frac{2Mg(1+\mu_1)}{3}$.

Розглянемо сили, що діють на тіло «3М» (рис. 1).

Оскільки тіло не рухається, то $T - \mu_1 N_1 = F_{T,2}$, де

$$N_1 = 2Mg.$$

Сила тертя спокою $F_{T,2}$ має задовільняти умові $F_{T,2} \leq \mu_2 N_2$, звідки випливає $\mu_2 \geq \frac{F_{T,2}}{N_2}$.

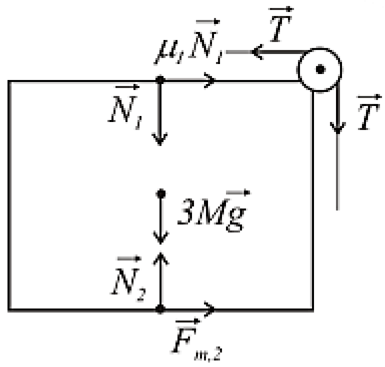

Рисунок 1

Сила реакції N_2 урівноважує силу тяжіння, що діє на тіла «2М» і «3М», і силу натягу вертикальної ділянки нитки:

$$N_2 = 5Mg + T.$$

Після очевидних підстановок та перетворень отримаємо другу достатню умову нерухомості тіла «3М»:

$$\mu_2 \geq \frac{2(1-2\mu_1)}{17+2\mu_1}.$$

2. У початковий момент часу

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D,$$

через малий час

$$\Delta t \ \frac{1}{d - v_d \Delta t} + \frac{1}{f + v_f \Delta t} = D.$$

Тут враховано, що під час наближення предмету до лінзи, дійсне зображення віддаляється від лінзи. Тоді

$$\frac{v_f}{v_d} = \frac{f^2}{d^2}.$$

Якщо швидкість зображення в чотири рази перевищує швидкість предмета, отримаємо $f = 2d$.

З урахуванням формули лінзи легко отримати $d = 3/2D = 1$ м, $f = 2$ м.

Відстань між предметом і зображенням складає 3 м.

3. Визначимо спочатку, до якої температури треба нагріти посудину, щоб уся вода випарувалася.

Запишемо рівняння стану пара при початкових умовах (тиск насиченої пари при температурі t_1 =100 °C дорівнює $p_1 = 10^5$ Па): $p_1 V = \frac{M}{\mu} RT_1$ (1).

Коли температура посудини стане $T_2 = T_1 + \Delta T$ і вся вода випарується, тиск насиченої пари в посудині буде $p_2 + \Delta p$.

За умовою задачі $\Delta p = \alpha \cdot \Delta T$, де $\alpha = 3{,}7$ кПа/К.

Скориставшись цим, запишемо рівняння стану пара при температурі T_2:

$$p_2 V = \frac{M+m}{\mu} R T_2, \text{ або } (p_1 + \alpha \cdot \Delta T)\, V = \frac{M+m}{\mu} R\, (T_1 + \Delta T) \ (2).$$

Розв’язуючи спільно (1) і (2), знаходимо ΔT:

$$\Delta T = \frac{m\,T_1}{\alpha M T_1 - Mp - mp} \approx 0{,}29 \text{ K}.$$

Таким чином, для випаровування всієї води посудину необхідно нагріти до температури 100,29 °С.

Кількість тепла, яке необхідно для цього, знайдемо з рівняння теплового балансу: $Q = r \cdot m + c_V\,(M + m)\,\Delta T \approx 2290$ Дж.

4.Відповідно до принципу нескінченного поля еквівалентна схема матиме вигляд (рис. 2):

Для розрахунку нам потрібно застосувати закони паралельного та послідовного з’єднання джерел струму. Підключимо до джерел 1 та 2 опір R_0.

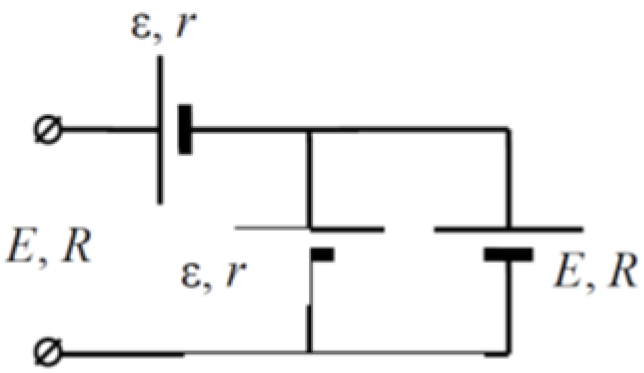

Рисунок 2

ЕРС у випадку паралельного з’єднання.

$I_1 + I_2 = I_0$ (І правило Кірхгофа).

З ІІ правилом Кірхгофа

$$\varepsilon_1 - I_1 R_1 = I_0 R_0,$$

$$\varepsilon_2 - I_2 R_2 = I_0 R_0.$$

$$I = \frac{\varepsilon_1 R_2 + \varepsilon_2 R_1}{R_1 + R_2} \Bigg/ \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_0 \right).$$

У випадку послідовного з’єднання:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2.$$

$$R = R_1 + R_2.$$

Тоді

$$E = \varepsilon + \frac{\varepsilon R + E r}{R + r}, \quad R = \frac{R r}{R + r} + r.$$

Розв’язування цих рівнянь дає відповідь:

$$E = \frac{3 + \sqrt{5}}{2}\varepsilon, \quad R = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} r.$$