1 етап Всеукраїнської олімпіади з фізики у 2026-2027 н. р. 04.10.2026. 9 клас

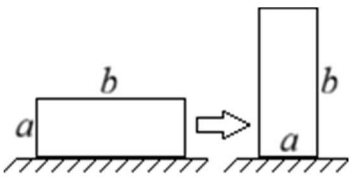
Задача 1. Міні-задачі (10 балів).

1.1. *Дві однакові металеві кульки зарядами +10 нКл та –8 нКл знаходяться на певній відстані одна від одної. Їх привели у дотик, а потім розвели на в чотири рази меншу відстань. Як змінився модуль сили взаємодії між ними?*

1.2. *Два однорідних вертикальних циліндри стоять на горизонтальному столі. Густина першого з них втричі більша за густину другого, а його висота в 6 разів менша за висоту другого. Знайти відношення тисків під циліндрами на поверхню столу.*

1.3. *Композитний матеріал складається з двох частин густинами* $\rho_1 = 2$ *г/см*^{3} *та* $\rho_2 = 4$ *г/см*^{3}. ***Об'єм*** *першої частини складає 60% від загального* ***об'єму*** *матеріалу, об'єм матеріалу є сумою об'ємів частин. Знайти середню густину матеріалу.*

1.4. *Композитний матеріал складається з двох частин густинами* $\rho_1 = 2$ *г/см*^{3} *та* $\rho_2 = 4$ *г/см*^{3}. ***Маса*** *першої частини складає 60% від загальної* ***маси*** *матеріалу, об'єм матеріалу є сумою об'ємів частин. Знайти середню густину матеріалу.*



До міні-задачі 1.5

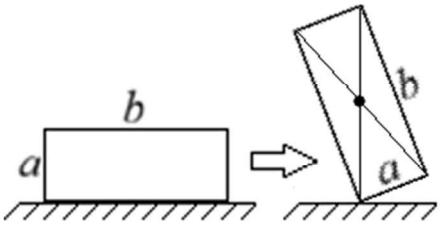
1.5. *Яку мінімальну роботу треба виконати, щоб повернути навколо ребра однорідну цеглину масою* $m = 4$ *кг (див. рисунок,* $a = 5$ *см,* $b = 12$ *см). Вважати* $g = 10$ Н/кг.

Авторські розв'язки

1.1. Після дотику заряди кульок $q_1 = q_2 = (+10\text{нКл} - 8\text{нКл})/2 = +1\text{нКл}$, тож $\dfrac{|F_2|}{|F_1|} = \dfrac{k \cdot 1\text{нКл} \cdot 1\text{нКл}}{(r/4)^2} \dfrac{r^2}{k \cdot 10\text{нКл} \cdot 8\text{нКл}} = \dfrac{1}{5}$. Модуль сили $\boxed{\text{впаде в 5 разів}}$.

1.2. $P = \dfrac{mg}{S} = \dfrac{\rho Shg}{S} = \rho gh \Rightarrow \dfrac{P_1}{P_2} = \dfrac{\rho_1 h_1}{\rho_2 h_2} = 3 \cdot \dfrac{1}{6} \Rightarrow \boxed{\dfrac{P_1}{P_2} = \dfrac{1}{2}}$.

1.3. $\rho_{\text{ср}} = \dfrac{0{,}6V \cdot 2\,\text{г/см}^3 + 0{,}4V \cdot 4\,\text{г/см}^3}{V} = \boxed{2{,}8\,\text{г/см}^3}$.



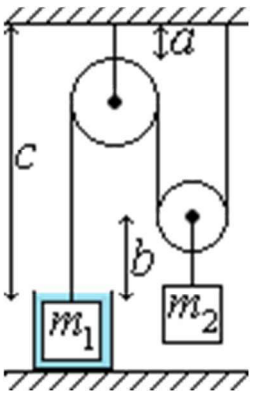
До міні-задачі 1.5

1.4. $\rho_{\text{ср}} = \dfrac{m}{\dfrac{0{,}6m}{2\,\text{г/см}^3} + \dfrac{0{,}4m}{4\,\text{г/см}^3}} = \boxed{2{,}5\,\text{г/см}^3}$.

1.5. Треба повернути до положення як на рисунку, далі сила тяжіння «самотужки» завершить поворот.

$A = mg(h_{\text{ЦМ2}} - h_{\text{ЦМ1}}) = mg(\sqrt{a^2 + b^2} - a)/2 = \boxed{1{,}6\,\text{Дж}}$.

Рекомендовані критерії оцінювання: кожна міні-задача по 2 бали.



До задачі 2

Задача 2 (10 балів). *Дано систему, що складається з нерозтяжних легких ниток, легких блоків, та двох вантажів, перший з яких повністю зануреного в рідину, див. схематичний рисунок; маса першого вантажу* $m_1 = 20$ *кг; густина рідини вчетверо менша за густину першого вантажу. Тертя в системі відсутнє, система перебуває в рівновазі.*

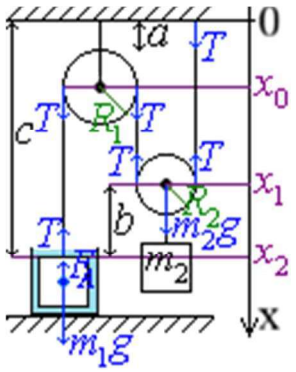
2.1. *Знайти відношення сил тяжіння та Архімеда, що діють на перший вантаж.*

2.2. *Знайти силу натягу нитки, яку прикріплено до першого вантажу та протягнуто через обидва блоки (вважати* $g = 10\,\text{м/с}^2$*).*

2.3. *Знайти масу m_2 другого вантажу*

2.4. *Центр рухомого блока на $b=2$м вищий за верхню грань першого вантажу, відстань від нерухомого блока до стелі $a=50$см, довжина нитки, яку прикріплено до першого вантажу та протягнуто через обидва блоки, $L=18$м. Радіус нерухомого блока $R_1=\dfrac{1}{\pi-2}$м, радіус рухомого блока $R_2=\dfrac{1}{\pi}$м. Знайти відстань c від верхньої грані першого вантажу до стелі.*

Авторський розв'язок



2.1. $\dfrac{m_1g}{F_A}=\dfrac{\rho_{в1}V_вg}{\rho_рV_вg}=\dfrac{\rho_{в1}}{\rho_р}=\boxed{4}$.

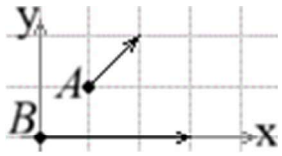
2.2 та 2.3. Тертя відсутнє, тож сила натягу нитки є постійною вздовж всієї її довжини, див. рисунок.

$$\begin{cases}m_1g=F_A+T\\ m_2g=2T\end{cases}\Rightarrow m_2g=2\left(m_1g-F_A\right)=2\left(m_1g-\frac{m_1g}{4}\right)=\frac{3m_1g}{2}$$

Тож $m_2=3m_1/2=\boxed{30\text{кг}}$, $T=m_2g/2=\boxed{150\text{Н}}$.

2.4. Введемо координатну вісь як на рисунку, $x_2-x_1=b=2$м, $x_0-0=x_0=R_1+a$, $L=x_2-x_0+\pi R_1+x_1-x_0+\pi R_2+x_1-0=x_2-2x_0+2x_1+\pi R_1+\pi R_2\Rightarrow$ $\Rightarrow L=x_2-2R_1-2a+2x_1+\pi R_1+\pi R_2\Rightarrow L+2a+\left(2-\pi\right)R_1-\pi R_2=2x_1+x_2$, підставляємо числа: $17\text{м}=2x_1+x_2$. Тож маємо систему рівнянь: $\begin{cases}2x_1+x_2=17\text{м}\\ -x_1+x_2=2\text{м}\end{cases}$, звідки $x_1=5$м, $x_2=7$м. Тож $c=x_2-0=\boxed{7\text{м}}$.

Рекомендовані критерії оцінювання:
2.1 – 1 бал, 2.2 – 2 бали, 2.3 – 2 бали, 2.4 – 5 балів.



До задачі 3

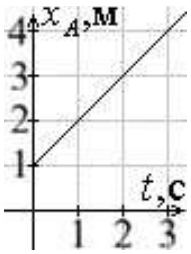
Задача 3 (10 балів). *Початкові положення та напрями швидкостей матеріальних точок A, B зазначені на рисунку, сторона клітинки 1 м. Рух матеріальних точок рівномірний, точка A рухається зі швидкістю $\sqrt{2}$ м/с, точка B – зі швидкістю 3 м/с.*

3.1. *Знайти початкові координати точки A та координати точки A через 1с після початку руху.*

3.2. *Побудувати графік залежності x-координати точки A від часу та виписати формулою залежність x-координати точки A від часу.*

3.3. *Знайти моменти часу та відстань між точками A та B в ці моменти часу, в які три точки: початок координат, точка A та точка B утворюють прямокутний трикутник.*

Авторський розв'язок



До пункту 3.2



До пункту 3.3

3.1. Початкові координати: $A\left(1\text{м},1\text{м}\right)$, координати через 1с: $A\left(2\text{м},2\text{м}\right)$.

3.2. При $t=2$с $x_A=3$м, при $t=3$с $x_A=4$м і т. д. Відповідний графік – пряма (див. рисунок). Рівняння цієї прямої: $\boxed{x_A(t)=1\text{м}+1\text{м/с}\cdot t}$.

3.3. Див. рисунок. За теоремою Піфагора маємо $AB=\sqrt{\left(x_A(t)-x_B(t)\right)^2+\left(y_A(t)-y_B(t)\right)^2}$. Позначимо початок координат як точку O.

Аналогічно $AO=\sqrt{x_A^2(t)+y_A^2(t)}$, $BO=\sqrt{x_B^2(t)+y_B^2(t)}$. Залежності $y_A(t)$, $x_B(t)$, $y_B(t)$ можна встановити аналогічно тому, як встановлено залежність $x_A(t)$: $y_A(t)=1\text{м}+1\text{м/с}\cdot t$, $y_B(t)=0$, $x_B(t)=3\text{м/с}\cdot t$. Підставляючи ці залежності у вирази для AO, BO, та AB, після певних перетворень отримаємо $AO=\sqrt{2}\text{м}+\sqrt{2}\,\text{м/с}\cdot t$, $BO=3\text{м/с}\cdot t$ та $AB=\sqrt{5\text{м}^2/\text{с}^2\cdot t^2-2\text{м}^2/\text{с}\cdot t+2\text{м}^2}$. $\angle AOB=45^\circ$, тож сторона AB навпроти цього кута може бути лише катетом. Тоді:

Випадок 1. AO, AB – катети, OB – гіпотенуза:

$$\left(\sqrt{2}\text{м}+\sqrt{2}\,\text{м/с}\cdot t\right)^2+\left(\sqrt{5\text{м}^2/\text{с}^2\cdot t^2-2\text{м}^2/\text{с}\cdot t+2}\right)^2=\left(3\text{м/с}\cdot t\right)^2.$$

Це рівняння зводиться до квадратного рівняння: $1\text{м}^2/\text{с}^2\cdot t^2-1\text{м}^2/\text{с}\cdot t-2\text{м}^2=0$, корені якого $t=-1\text{с}$ (нефізичний) та $t=2\text{с}$. В момент часу 2с $AB=3\sqrt{2}\text{м}$.

Випадок 2. AB, OB – катети, AO – гіпотенуза:

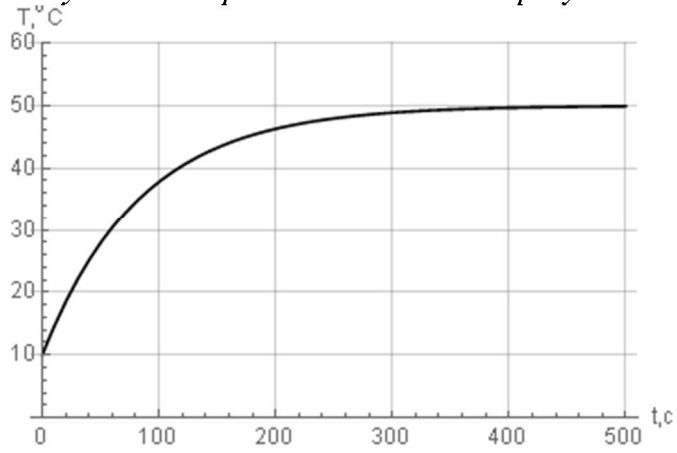
$$\left(\sqrt{5\text{м}^2/\text{с}^2\cdot t^2-2\text{м}^2/\text{с}\cdot t+2}\right)^2+\left(3\text{м/с}\cdot t\right)^2=\left(\sqrt{2}\text{м}+\sqrt{2}\,\text{м/с}\cdot t\right)^2.$$

Це рівняння зводиться до такого: $2\text{м}^2/\text{с}^2\cdot t^2-1\text{м}^2/\text{с}\cdot t=0$, корені: $t=0$ та $t=0{,}5\text{с}$. В момент часу $t=0$ точки A, B співпадають, та прямокутний трикутник точками A, O, B не утворюється. Відповідно, підходить корінь $t=0{,}5\text{с}$, в цей момент часу $AB=1{,}5\text{м}$.

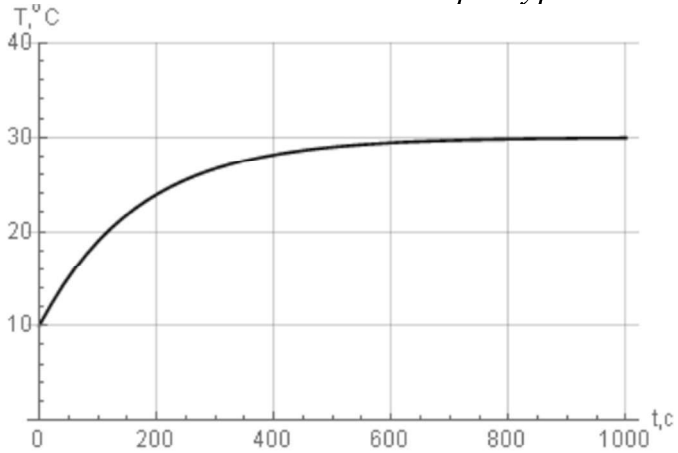
Тож маємо два моменти часу: 1. $t=0{,}5\text{с}$; відповідна відстань $AB=1{,}5\text{м}$;
2. $t=2\text{с}$; відповідна відстань $AB=3\sqrt{2}\text{м}$.

Рекомендовані критерії оцінювання: 3.1. – 2 бали, 3.2. – 2 бали, 3.3. – 6 балів.

Задача 4 (10 балів). *Дано два графіки залежності температури води від часу, що описують два різних випадки нагріву води починаючи з кімнатної температури.*



До задачі 4. Графік для випадку 1



До задачі 4. Графік для випадку 2

Потужність тепловіддачі вважати пропорційною до різниці температур води та кімнати: $P_\text{в}=\alpha\left(T-T_0\right)$, де T – температура води, T_0 – кімнатна температура, α – коефіцієнт пропорційності; фізичні умови підібрано так, що коефіцієнт α однаковий для обох випадків. Потужність нагріву в першому випадку дорівнює $P_1=2$ кВт.

4.1. *Пояснити, чому вода не нагрівається до температури кипіння. Знайти кімнатну температуру та температуру води, що встановлюється з часом для кожного з випадків.*

4.2. *Знайти потужність нагріву для другого випадку P_2 та коефіцієнт пропорційності α.*

4.3. *Якщо потужності нагріву не вистачає, щоб нагріти воду до температури кипіння, то характерний час τ, за який температура води досягає усталеного значення, залежить від питомої теплоємності води c, маси води m, та коефіцієнту пропорційності α. На основі міркувань розмірності запропонуйте формулу для характерного часу τ.*

4.4. *Маса води в першому випадку $m_1 = 1$ кг. Наближено знайдіть масу води m_2 у другому випадку.*

Авторський розв'язок

4.1. Коли потужність тепловіддачі стає рівною потужності нагріву, температура води перестає зростати та виходить на сталу величину. $T_{\text{кімнатна}} = 10\,^{\circ}\text{C}$ в обох випадках; в першому випадку усталена температура 50°C, у другому 30°C.

4.2. Температура води виходить на константу тоді, коли потужність нагріву дорівнює потужності тепловіддачі: $P_1 = \alpha\left(50\,^{\circ}\text{C} - 10\,^{\circ}\text{C}\right) \Rightarrow \boxed{\alpha = 50\,\text{Вт}/{}^{\circ}\text{C}}$,

$P_2 = \alpha\left(30\,^{\circ}\text{C} - 10\,^{\circ}\text{C}\right) = \boxed{1\ \text{кВт}}$.

4.3. Шукаємо τ у вигляді $\tau = \beta \cdot m^x \cdot c^y \cdot \alpha^z$, β – безрозмірний коефіцієнт. $[\tau] = \text{с}$, $[m] = \text{кг}$, $[c] = \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} = \dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{К}} = \dfrac{\text{м}^2}{\text{с}^2\cdot\text{К}}$, $[\alpha] = \dfrac{\text{Вт}}{\text{К}} = \dfrac{\text{Дж}}{\text{с}\cdot\text{К}} = \dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^2\cdot\text{с}\cdot\text{К}} = \dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^3\cdot\text{К}}$, тож маємо

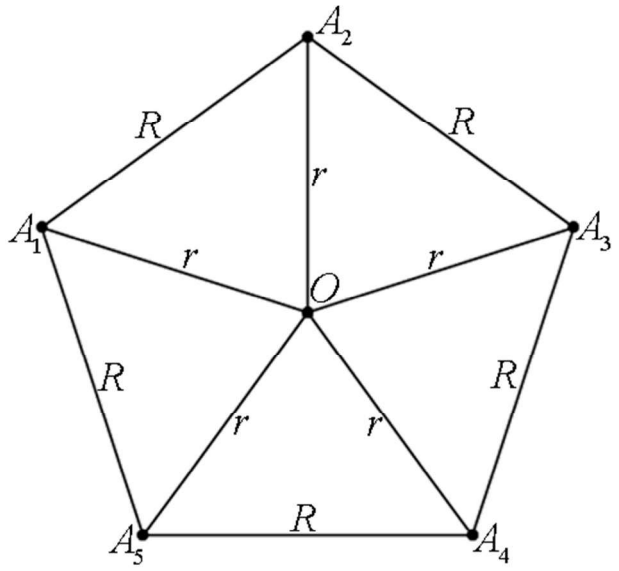
$\text{с} = \text{кг}^x \cdot \left(\dfrac{\text{м}^2}{\text{с}^2\cdot\text{К}}\right)^y \cdot \left(\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^3\cdot\text{К}}\right)^z$, звідки маємо систему лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} \text{с: } 1 = -2y - 3z \\ \text{кг: } 0 = x + z \\ \text{м: } 0 = 2y + 2z \\ \text{К: } 0 = -y - z \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z = -1 \\ x = 1 \\ y = 1 \end{cases}$$

. Тож $\boxed{\tau = \beta\dfrac{mc}{\alpha}}$, де β – безрозмірний коефіцієнт.

4.4. З графіка бачимо, що характерний час виходу температури на константу в другому випадку вдвічі більше, ніж в першому: $\dfrac{\tau_1}{\tau_2} = \dfrac{\beta m_1 c/\alpha}{\beta m_2 c/\alpha} = \dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{1}{2} \Rightarrow \boxed{m_2 = 2\text{кг}}$.

Рекомендовані критерії оцінювання:
4.1 – 2 бали, 4.2 – 3 бали, 4.3 – 3 бали, 4.4 – 2 бали.



До задачі 5

Задача 5 (10 балів). *Дано схему, зображену на рисунку. Опори відрізків A_1A_2, A_2A_3, A_3A_4, A_4A_5, A_5A_1 дорівнюють R; опори відрізків A_1O, A_2O, A_3O, A_4O, A_5O дорівнюють r.*

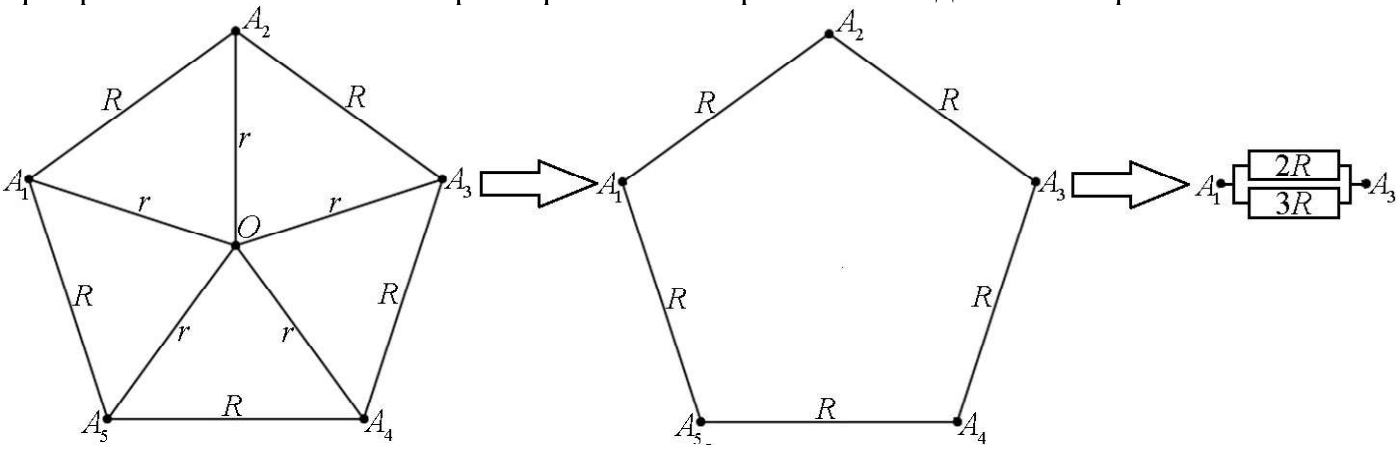
5.1. *У випадку, коли $R = 5$ Ом, та опір r є нескінченно великим ($r \to \infty$) знайти загальний опір схеми при підключенні між точками A_1 та A_3.*

5.2. *У випадку, коли $R = 38$ Ом та $r = 19$ Ом, знайти загальний опір схеми при підключенні між точками A_2 та O, Через який відрізок не йтиме струм при такому підключенні?*

5.3. *У випадку, коли* $R = 38$ *Ом та* $r = 19$ *Ом, знайти загальний опір схеми при підключенні між точками* A_1 *та* A_3. *Через який відрізок не йтиме струм при такому підключенні?*

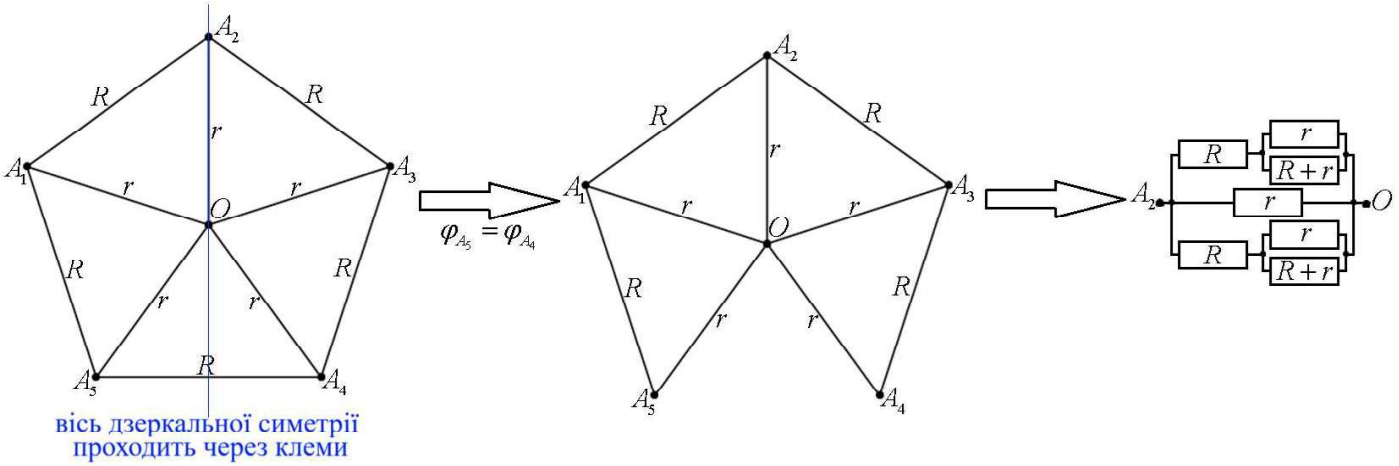
Авторський розв'язок

5.1. При $r \to \infty$ по відрізкам з опором r не протікатиме струм, та їх можна подумки прибрати зі схеми. Схема перетвориться на паралельне з'єднання опорів $3R$ та $2R$:



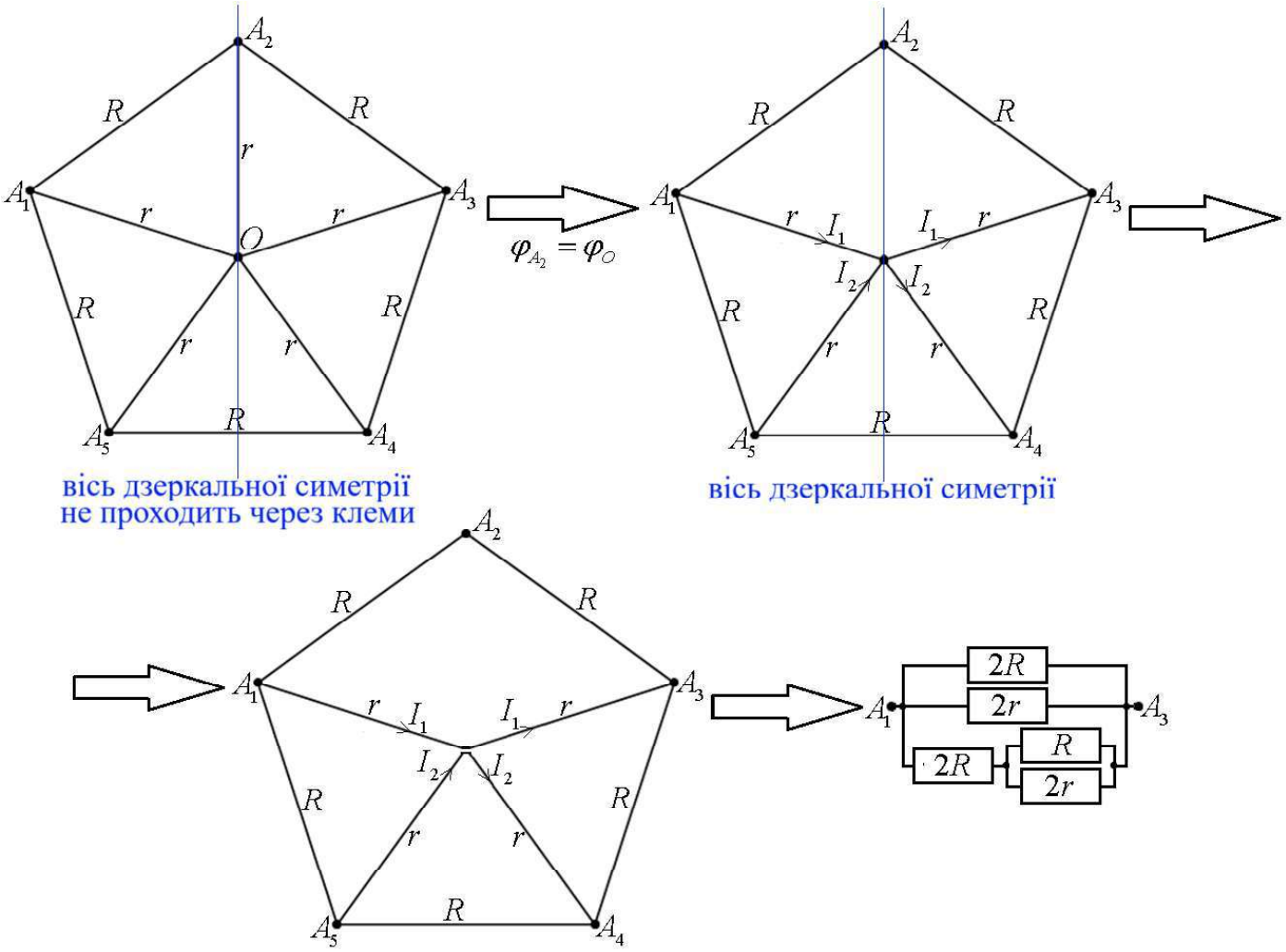
$$R_{\text{заг}} = \frac{2R \cdot 3R}{2R + 3R} = \frac{6R}{5} = \boxed{6\ \text{Ом}}.$$

5.2. Схема має вісь симетрії, що проходить через клеми. Потенціали вузлів, симетричних відносно цієї осі, однакові, тож $\varphi_{A_5} = \varphi_{A_4}$.



Тож $\boxed{\text{по відрізку } A_4A_5 \text{ струм не протікає}}$, та його подумки можна прибрати зі схеми (див. рисунок), після чого схема повністю описується в термінах послідовних та паралельних з'єднань, її загальний опір $R_{A_2O} = \left(\dfrac{1}{r} + \dfrac{2}{R + \dfrac{r(R+r)}{R+2r}} \right)^{-1} = \dfrac{r\left(r^2 + 3rR + R^2\right)}{5r^2 + 5rR + R^2} = \boxed{11\ \text{Ом}}$.

5.3. Така схема має вісь дзеркальної симетрії, що не проходить через клеми. Потенціали вузлів на цій осі рівні, $\varphi_{A_2} = \varphi_O$, та $\boxed{\text{по відрізку } A_2O \text{ не протікатиме струм}}$. Струми на симетричних ділянках однакові, тож якщо подумки розірвати вузол O (див. рисунок нижче), то розподіл струмів на колі не зміниться, та схема, отримана таким розривом вузла, буде еквівалентною до даної. Отримана еквівалентна схема вже повністю описується в термінах послідовних та паралельних з'єднань. На рисунку нижче наведені всі відповідні еквівалентні перетворення.



Відповідний загальний опір схеми $R_{A_1A_3} = \left(\dfrac{1}{2R} + \dfrac{1}{2r} + \dfrac{1}{2R + \dfrac{2rR}{R+2r}} \right)^{-1} = \dfrac{2rR(3r+R)}{5r^2 + 5rR + R^2} =$

$= \boxed{20 \text{ Ом}}$.

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

Примітка. Деякі завдання можна правильно розв'язати декількома способами, в авторських розв'язках наведено один з можливих.