

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА

Враца, 29 март 2024 г.

Решения на темата за трета състезателна група (9. клас)

Задача 1. Електрически микс

**Част. 1.** В схема №1 волтметърът е свързан към полюсите на източника. Следователно напрежението на източника е:

$$(1) \quad U_0 = U_1 = 9.2 \text{ V.} \quad [0,5 \text{ т}]$$

Понеже в схема №2 амперметърът е свързан последователно на волтметъра и резистора, напрежението върху амперметъра е:

$$(2) \quad U_A = U_0 - U_2 = 0,3 \text{ V.} \quad [0,5 \text{ т}]$$

От закона на Ом определяме вътрешното съпротивление на амперметъра:

$$(3) \quad R_A = \frac{U_A}{I_2} = \frac{0,3 \text{ V}}{0,012 \text{ A}} = 25 \Omega. \quad [1,0 \text{ т}]$$

(0.5 т за прилагане на закона на Ом + 0.5 т за числен отговор)

Еквивалентното съпротивление на резистора и амперметъра от схема №1 е:

$$(4) \quad R_{e1} = \frac{U_1}{I_1} = 800 \Omega. \quad [0,5 \text{ т}]$$

Понеже амперметърът и резисторът в тази схема са свързани последователно:

$$(5) \quad R_{e1} = R + R_A, \quad [0,5 \text{ т}]$$

откъдето намираме съпротивлението на резистора:

$$(6) \quad R = R_{e1} - R_A = 775 \Omega. \quad [0,5 \text{ т}]$$

Еквивалентното съпротивление на успоредно свързаните резистор и волтметър от схема №2 е съответно:

$$(7) \quad R_{e2} = \frac{U_2}{I_2} \approx 741,7 \Omega \quad [0,5 \text{ т}]$$

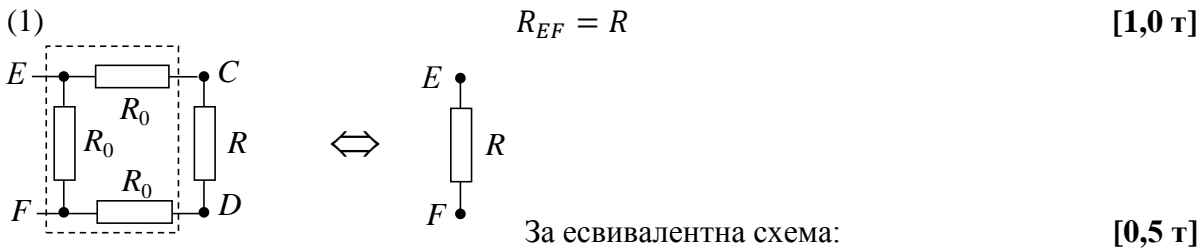
От друга страна за еквивалентното съпротивление на тази група №2 имаме:

$$(8) \quad \frac{1}{R_{e2}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}, \quad [0,5 \text{ т}]$$

откъдето намираме:

$$(9) \quad R_V = \frac{RR_{e2}}{R - R_{e2}} \approx 17 \text{ k}\Omega. \quad [0,5 \text{ т}]$$

**Част. 2.** Съпротивлението на веригата няма да зависи от броя свързани секции, ако еквивалентното съпротивление  $R_{EF}$  на последната секция между входните клеми  $E$  и  $F$  е равно на съпротивлението  $R$  на свързания към изходните клеми резистор:



Еквивалентното съпротивление на трите последователно свързани резистора в клоната  $ECDF$  е:

(2)  $R' = 2R_0 + R.$  [0,5 т]

Понеже трите резистора са свързани успоредно на левия резистор:

(3)  $R_{EF} = \frac{R_0 R'}{R_0 + R'} = \frac{2R_0^2 + R_0 R}{3R_0 + R}.$  [1,0 т]

От условието (1) получаваме квадратно уравнение за  $R$ :

(4)  $R^2 + 2R_0 R - 2R_0^2 = 0,$  [1,0 т]

което има два корена:  $R_{1,2} = (-1 \pm \sqrt{3})R_0$ , от които физически смисъл има само положителният корен:

(5)  $R = (\sqrt{3} - 1)R_0 (\approx 0,732R_0).$  [1,0 т]

### Задача 2. Център на тежестта на трапец

а) Ако поставим пръчката вертикално така, че краят  $A$  да е на земята, а краят  $B$  – на височина  $\ell$  над него, общата потенциална енергия на двете топчета ще бъде:

(1)  $E_{\Pi} = mg \cdot 0 + (2m)g\ell = 2mg\ell.$  [0,5 т]

Общата маса на тялото е  $M = 3m$ . Понеже в това положение центърът на масата се намира на височина  $\ell_1$ , потенциалната енергия на тялото може да се изрази като:

(2)  $E_{\Pi} = 3mg\ell_1.$  [0,5 т]

От двата еквивалентни изрази за потенциалната енергия намираме:

(3)  $\ell_1 = \frac{2}{3}\ell.$  [0,5 т]

Разстоянието до края  $B$  е съответно:

(4)  $\ell_2 = \ell - \ell_1 = \frac{1}{3}\ell.$  [0,5 т]

б) Пластинката може да се разглежда като съставена от две тела – квадрат със страна  $a$  и равнобедрен правоъгълен триъгълник с катет  $a$  [0,5 т]. Ако масата на пластината е  $M$ , то масата на квадрата е  $m_1 = 2M/3$  [0,5 т], а на триъгълника е  $m_2 = M/3$  [0,5 т]. Да предположим, че трапецът е поставен с голямата си основа върху хоризонтална повърхност. Тогава височината на центъра на тежестта на квадрата е  $y_1 = a/2$  [0,5 т], а потенциалната му енергия:

$$(5) \quad E_{п1} = m_1 g y_1 = \frac{Mga}{3}. \quad [0,5 \text{ т}]$$

Центърът на тежестта на триъгълника е в неговия медицентър, т.е. на височина  $y_2 = a/3$  [1,0 т]. Съответно потенциалната енергия на триъгълника е:

$$(6) \quad E_{п2} = m_2 g y_2 = \frac{Mga}{9}. \quad [0,5 \text{ т}]$$

От даденото свойство, за общата потенциална енергия на пластината имаме:

$$(7) \quad Mgy_G = E_{п1} + E_{п2} = \frac{4Mga}{9}, \quad [0,5 \text{ т}]$$

откъдето:

$$(8) \quad y_G = \frac{4a}{9}. \quad [0,5 \text{ т}]$$

Ако поставим трапеца така, че основите му да са вертикални, получаваме за височината на центъра на тежестта на квадрата  $x_1 = a/2$  [0,5 т], а за триъгълника  $x_2 = a + a/3 = 4a/3$  [1,0 т]. Съответно за потенциалната енергия на трапеца получаваме:

$$(9) \quad E_{п} = \frac{2}{3} Mgx_1 + \frac{1}{3} Mgx_2 = Mgx_G, \quad [1,0 \text{ т}]$$

Откъдето:

$$(10) \quad x_G = \frac{7a}{9}. \quad [0,5 \text{ т}]$$

### Задача 3. Вътрешна енергия на газ

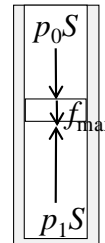
а) До момента  $t_1$  процесът е изохорен, т.е. при постоянен обем, понеже буталото е неподвижно. [0,5 т] В момента  $t_1$  температурата е  $T_1 = 480 \text{ К}$ . [0,5 т] От уравнението за изохорен процес:

$$(1) \quad \frac{p_1}{p_0} = \frac{T_1}{T_0} \quad [0,5 \text{ т}]$$

намираме налягането, при което буталото започва да се движи:

$$(2) \quad p_1 = \frac{T_1}{T_0} p_0 = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}. \quad [0,5 \text{ т}]$$

В този момент буталото е в равновесие под действие на три сили, чиито посоки са изобразени на чертежа: натискът  $p_1S$  на хелия в посока нагоре [0,5 т], натискът  $p_0S$  на външния въздух с посока надолу [0,5 т] и силата на триене  $f_{\max}$  също с посока надолу [0,5 т]. Точките се дават, ако силите са изобразени на чертгеж с правилни посоки или са описани словесно.



От условието за равновесие:

$$(3) \quad f_{\max} = p_1 S - p_0 S = \frac{(T_1 - T_0)p_0 S}{T_0} = 30 \text{ N.} \quad [1,0 \text{ т}]$$

(0,5 т за условието за равновесие и 0,5 т за числения отговор)

б) Понеже буталото се движи бавно, може да приемем, че трите сили остават в равновесие. Това означава, че от момента 1 до момента 2 налягането на газа в цилиндъра е постоянно, т.е. процесът е изобарен. [0,5 т] В момента 2 температурата на газа в цилиндъра е  $T_2 = 720 \text{ K}$  [0,5 т]. От уравнението за изобарен процес:

$$(4) \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad [0,5 \text{ т}]$$

и като вземем предвид, че  $V_1 = V_0$ , определяме:

$$(5) \quad V_2 = \frac{V_0 T_2}{T_1} = 1,5 \ell. \quad [0,5 \text{ т}]$$

в) Общото количество топлина, което газът приема от нагревателя за целия интервал от време, е:

$$(6) \quad Q = I^2 R t_2 = \frac{U^2}{R} t_2 = \frac{(12 \text{ V})^2 \cdot 900 \text{ s}}{480 \Omega} = 270 \text{ J} \quad [1,0 \text{ т}]$$

Работата, която газът извършва, докато се разшири до крайния обем, е:

$$(7) \quad A' = p_1 (V_2 - V_0) = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 80 \text{ J.} \quad [1,0 \text{ т}]$$

От I принцип на термодинамиката:

$$(8) \quad Q = \Delta U + A' \quad [1,0 \text{ т}]$$

намираме:

$$(9) \quad \Delta U = Q - A' = 250 \text{ J.} \quad [0,5 \text{ т}]$$