МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНО ПРОЛЕТНО СЪСТЕЗАНИЕ ПО ФИЗИКА

ВЪРШЕЦ 11-12.03.2017 г. Тема 9.клас

Решения и указания за оценяване

Задача 1. Движение в течности

а) Движението на топчето става под действие на две постоянни сили – силата на тежестта $G = mg$ $\mathbf{[0{,}5\ т.]}$ и Архимедовата сила ($F_1 = \rho_1 Vg$ или $F_2 = \rho_2 Vg$) $\mathbf{[1\ т.]}$. Тук с V е означен обемът на топчето. В първата течност движението на топчето е равноускорително, а във втората – равнозакъснително. От уравненията на движение, като отчетем $m = \rho V$ $\mathbf{[0{,}5\ т.]}$, имаме

$$ma_1 = G - F_1 \quad \Rightarrow \quad a_1 = \frac{\rho - \rho_1}{\rho} g\,, \qquad \mathbf{[1\ т.]}$$

$$ma_2 = F_2 - G \quad \Rightarrow \quad a_2 = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho} g\,. \qquad \mathbf{[1\ т.]}$$

Тъй като скоростта v на топчето на разделителната повърхност между двете течности се дава с равенствата

$$\mathrm{v}^2 = 2h_1 a_1 = 2h_2 a_2\,, \qquad \mathbf{[1\ т.]}$$

намираме

$$\rho = \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2}{h_1 + h_2}\,. \qquad \mathbf{[1\ т.]}$$

б) Като заместим израза за ρ в ускоренията на топчето в първата и втората течност, намираме

$$a_1 = \frac{(\rho_2 - \rho_1) h_2}{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2} g\,, \quad \mathbf{[1\ т.]} \qquad a_2 = \frac{(\rho_2 - \rho_1) h_1}{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2} g\,. \ \mathbf{[1\ т.]}$$

в) В първата течност топчето се движи време

$$t_1 = \frac{\mathrm{v}}{a_1} = \sqrt{\frac{2h_1}{a_1}}\,, \qquad \mathbf{[0{,}5\ т.]}$$

а във втората течност –

$$t_2 = \frac{\mathrm{v}}{a_2} = \sqrt{\frac{2h_2}{a_2}}\,. \qquad \mathbf{[0{,}5\ т.]}$$

След заместване с изразите за a_1 и a_2 намираме общото време на движение

$$t = t_1 + t_2 = \left[2\frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2}{\rho_2 - \rho_1} \times \frac{(h_1 + h_2)^2}{h_1 h_2} \right]^{1/2}. \qquad [\mathbf{1\ т.}]$$

Задача 2. Цикличен процес

а) В състояние 1 налягането на газа е p_1, обемът – V_2, температурата – T_1. Аналогично в състояние 2 имаме p_2, V_2, T_2, а в състояние 3 – p', V_1, T_2. Процесът 1–2 е изохорен. От първия принцип на термодинамиката имаме

$$U_2 - U_1 = \frac{3}{2} B(T_2 - T_1) = -Q, \qquad [\mathbf{0{,}3\ т.}]$$

откъдето следва

$$T_1 = \frac{2Q}{3B(1 - T_2 / T_1)} = \frac{8Q}{9B} \approx 178\ \mathrm{K}. \qquad [\mathbf{1\ т.}]$$

б) Газът се разширява в процеса 3–1. От първия принцип на термодинамиката имаме

$$Q' = U_1 - U_3 + A', \qquad [\mathbf{0{,}5\ т.}]$$

като

$$U_1 - U_3 = \frac{3}{2} B(T_1 - T_2) = Q, \qquad [\mathbf{0{,}2\ т.}]$$

а работата A', извършена от газа, е равна на лицето на трапеца V_1-3-1-V_2, т.е.

$$A' = \frac{(p' + p_1)}{2}(V_2 - V_1) = \frac{1}{2} p_1 V_2 \left(1 + \frac{p'}{p_1}\right)\left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right). \qquad [\mathbf{0{,}5\ т.}]$$

Термодинамичните величини в състоянията 1, 2 и 3 са свързани със съотношенията

$\frac{p'}{V_1} = \frac{p_1}{V_2}$ (в процеса 3–1 налягането е пропорционално на обема), $[\mathbf{0{,}5\ т.}]$

$p'V_1 = p_2 V_2$ (състоянията 3 и 1 лежат на изотермата с температура T_2), $[\mathbf{0{,}5\ т.}]$

$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ (процесът 1–2 е изохорен) $[\mathbf{0{,}5\ т.}]$

От тях намираме

$$\frac{p'}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}, \qquad \frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1^2}{V_2^2}, \qquad \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}, \qquad [1{,}5\ \text{т.}]$$

при което получаваме

$$A' = \frac{1}{2} B T_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{1}{3} Q, \ [0{,}5\ \text{т.}] \qquad Q' = \frac{4}{3} Q \approx 2213\ \text{J}. \quad [0{,}5\ \text{т.}]$$

Тук е отчетено уравнението на състояние $p_1 V_2 = B T_1$.

в) Работата, която извършва газът в този цикличен процес, е

$$W = A'_{23} + A'_{31}, \qquad [0{,}5\ \text{т.}]$$

тъй като при изохорния процес 1–2 не се върши работа. При свиване на газа работата е отрицателна, а при разширяване – положителна. Всяка от обозначените работи се представя с лицето S на съответната фигура. Така

$$A'_{23} = -S_{2V_2V_13}, \quad A'_{31} = S_{31V_2V_1}, \qquad [0{,}5\ \text{т.}]$$

при което търсената работа W се дава с лицето на $\Delta 123$. $[0{,}5\ \text{т.}]$

г) Съгласно с пункт в) имаме

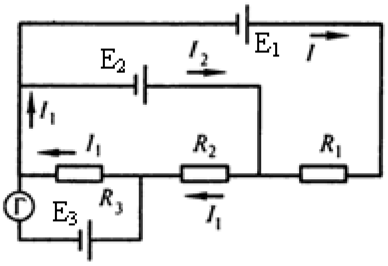
$$W = \frac{1}{2}(p_1 - p_2)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2} p_1 V_2 \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right)\left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right). \qquad [1\ \text{т.}]$$

Като използваме резултатите за отношенията на наляганията и обемите, както и уравнението на състояние, намираме

$$W = \frac{Q}{6} \approx 277\ \text{J}. \qquad [1\ \text{т.}]$$

Задача 3. Електричен ток

ЧАСТ А. а) На фиг. 1 са означени токовете, които протичат в различните участъци на електрическата верига. За търсеното електродвижещо напрежение E_2 имаме



Фиг. 1.

$$\mathrm{E}_2 = I_1(R_2 + R_3)\,. \qquad \textbf{[0,5 т.]}$$

Като отчетем, че

$$\mathrm{E}_3 = I_1 R_3\,, \qquad \textbf{[0,5 т.]}$$

намираме

$$\mathrm{E}_2 = \mathrm{E}_3\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) = 45\ \mathrm{V}\,. \qquad \textbf{[1 т.]}$$

б) За намиране на тока I ще изразим напрежението между краищата на групата съпротивления по два начина

$$\mathrm{E}_1 = IR_1 + I_1(R_2 + R_3) = IR_1 + \mathrm{E}_2\,, \qquad \textbf{[1 т.]}$$

откъдето следва

$$I = \frac{\mathrm{E}_1 - \mathrm{E}_2}{R_1} = \frac{\mathrm{E}_1}{R_1} - \frac{\mathrm{E}_3}{R_1}\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) = 1{,}5\ \mathrm{A}\,. \qquad \textbf{[1 т.]}$$

ЧАСТ Б. а) При навлизане на диелектричната пластина между електродите на кондензатора капацитетът му се променя. Тъй като електродвижещото напрежение е постоянно, се изменя зарядът на кондензатора. Това е еквивалентно на протичане на електричен ток във веригата. Към момента t капацитетът на кондензатора $C(t)$ е еквивалентният капацитет на два успоредно свързани кондензатора съответно с капацитети

$$C_1(t) = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\sqrt{S}\mathrm{v}t}{h}\,, \ \textbf{[1 т.]} \qquad C_2(t) = \frac{\varepsilon_0\sqrt{S}(\sqrt{S} - \mathrm{v}t)}{h}\,. \qquad \textbf{[1 т.]}$$

Той се дава с израза

$$C(t) = C_1(t) + C_2(t) = \frac{\varepsilon_0 S}{h} + \frac{(\varepsilon - 1)\varepsilon_0\sqrt{S}\mathrm{v}t}{h}\,, \qquad \textbf{[0,5 т.]}$$

като изменението на капацитета при навлизане на диелектричната пластина в кондензатора е

$$\Delta C(t) = \frac{(\varepsilon - 1)\varepsilon_0\sqrt{S}\mathrm{v}t}{h}\,. \qquad \textbf{[0,5 т.]}$$

То води до изменение на заряда на кондензатора за време t с

$$\Delta q = \Delta C(t)\mathrm{E} = \frac{(\varepsilon - 1)\varepsilon_0\sqrt{S}\mathrm{v}t}{h}\mathrm{E} \sim t\,. \qquad \textbf{[0,5 т.]}$$

Тогава токът във веригата е

$$I = \frac{\Delta q}{t} = \frac{(\varepsilon - 1)\varepsilon_0 \sqrt{S} \mathrm{v} \mathrm{E}}{h}. \qquad \mathbf{[0{,}5\ т.]}$$

б) Работата $A' = \mathrm{E}\Delta q$ $\mathbf{[0{,}5\ т.]}$, извършена от източника на електродвижещо напрежение за време t, се изразходва за изменение на електричната енергия на кондензатора

$$\Delta W = \Delta\left(\frac{1}{2}C(t)\mathrm{E}^2\right) = \frac{1}{2}\mathrm{E}^2 \Delta C(t), \qquad \mathbf{[0{,}5\ т.]}$$

и за извършване на работа A по поддържане на кинетичната енергия на пластината, т.е.

$$A' = \Delta W + A. \qquad \mathbf{[0{,}5\ т.]}$$

Тогава като отчетем равенството $P = A/t$ получаваме

$$P = \frac{1}{t}(A' - \Delta W) = \frac{(\varepsilon - 1)\varepsilon_0 \sqrt{S} \mathrm{v} \mathrm{E}^2}{2h}. \qquad \mathbf{[0{,}5\ т.]}$$