1. Procese termodinamice

Două vase, de volume $V_A = 6{,}0\,\mathrm{dm}^3$ și $V_B = 1{,}8\,\mathrm{dm}^3$, sunt unite printr-un tub de volum neglijabil prevăzut cu un robinet aflat în poziția "închis". În primul vas se află azot (N_2) la presiunea $p_A = 1{,}0\,\mathrm{atm}$, iar în cel de-al doilea vas se află heliu (He) la presiunea $p_B = 2{,}0\,\mathrm{atm}$. Temperatura gazelor este aceeaşi. După deschiderea robinetului, amestecul obţinut, considerat gaz ideal, este transferat într-un corp de pompă. Gazul este supus unui proces ciclic $1 \to 2 \to 3 \to 1$. În starea 1 gazul ocupă volumul V_1, la presiunea p_1. Etapele procesului ciclic sunt următoarele:

- transformarea $1 \to 2$ care se desfăşoară conform legii $p \cdot V^{-1} = \mathrm{const}$, până se ajunge în starea 2 în care volumul este $V_2 = 2V_1$;

- transformarea $2 \to 3$ care se desfăşoară conform legii $p \cdot V^n = \mathrm{const}$, unde $n = 1{,}25$, până se ajunge în starea 3 în care presiunea devine $p_3 = p_1$;

- transformarea $3 \to 1$ care se desfăşoară conform legii $V \cdot T^{-1} = \mathrm{const}$.

a. Calculaţi valoarea căldurii molare la volum constant a amestecului de gaze. Se cunoaște $R = 8{,}31\ \mathrm{J/(mol \cdot K)}$.

b. Stabiliţi dacă în transformarea $2 \to 3$ gazul primeşte sau cedează căldură, precum şi dacă temperatura creşte sau scade.

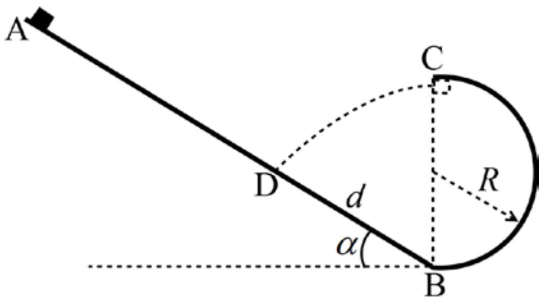
c. Calculaţi randamentul unui motor care ar funcţiona conform procesului ciclic descris.

Se consideră cunoscut că $2^{0,2} \cong 1{,}15$.

Indicație: *Transformările care au loc conform legii* $p \cdot V^n = \mathrm{const}$ *sunt procese termodinamice în care căldura molară C rămâne constantă, iar* $n = \dfrac{C - C_p}{C - C_V}$.

2. Mecanică

Un corp de mici dimensiuni este lăsat să alunece liber, cu frecare, pe suprafața unui plan înclinat care formează unghiul $\alpha = 30°$ cu suprafața orizontală. Coeficientul de frecare la alunecare este $\mu = 0{,}2$. Planul înclinat se continuă cu o buclă semicirculară de rază $R = 40\,\mathrm{cm}$, situată în plan vertical, pe care corpul alunecă fără frecare. Trecerea de pe planul înclinat pe buclă se face fără pierdere de energie. Dispozitivul experimental este reprezentat schematic în figura alăturată. Punctele B și C sunt capetele diametrului vertical. Se consideră $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$.



a. Calculați înălțimea, față de punctul B, de la care trebuie lăsat să alunece liber corpul astfel încât forța de apăsare în punctul C să fie nulă.

b. Calculați viteza v_1 pe care trebuie să o aibă corpul în punctul C astfel încât să lovească planul în punctul D aflat la distanța $d = 80\,\mathrm{cm}$ față de punctul B (măsurată de-a lungul planului înclinat).

c. Calculați viteza v_2 pe care trebuie să o aibă corpul în punctul C astfel încât după ciocnirea cu planul înclinat, considerată perfect elastică, viteza corpului să fie orientată pe verticală.

---

1. Fiecare dintre subiectele 1, 2, respectiv 3 se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerinţele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 10 la 1 (1 punct din oficiu). Punctajul final reprezintă suma acestora.

3. Transformări de stare de agregare

A. Apa unui lac, aflată la temperatura $\theta_0 = 0°\mathrm{C}$, este acoperită cu un strat de gheață cu grosimea $d_1 = 3{,}0\,\mathrm{cm}$. Temperatura aerului la suprafața lacului se menține constantă la valoarea $\theta_1 = -10°\mathrm{C}$. Căldura Q care traversează, în unitatea de timp, unitatea de suprafață a stratului de gheață de grosime x, este dată de ecuația $\dfrac{Q}{S \cdot \Delta t} = k \cdot \dfrac{\Delta\theta}{x}$, unde $\Delta\theta$ reprezintă diferența de temperatură între cele două fețe ale stratului de gheață, iar k este o constantă de proporționalitate numită conductivitate termică. Calculați intervalul de timp în care grosimea stratului de gheață crește de la $d_1 = 3{,}0\,\mathrm{cm}$ la $d_2 = 7{,}0\,\mathrm{cm}$. Se cunosc: conductivitatea termică a gheții $k = 1{,}8\,\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m \cdot K}}$, densitatea gheții $\rho = 900\,\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$, căldura latentă specifică de topire a gheții $\lambda = 0{,}33\,\dfrac{\mathrm{MJ}}{\mathrm{kg}}$.

Indicație: *Dacă veți considera necesar, puteți folosi egalitatea* $1 + 2 + ... + n = \dfrac{n(n+1)}{2}$.

B. Într-un calorimetru având capacitatea calorică $C = 84\,\mathrm{J/K}$ se află o masă $m = 180\,\mathrm{g}$ de apă la temperatura $\theta = 15°\mathrm{C}$. În calorimetru se introduce o masă $m_1 = 100\,\mathrm{g}$ de gheaţă având temperatura $\theta_1 = -10°\mathrm{C}$. Determinaţi starea sistemului la echilibru termic. Se cunosc: căldura specifică a apei $c_{apa} = 4{,}2\,\mathrm{kJ/(kg \cdot K)}$, căldura specifică a gheţii $c_g = 2{,}1\,\mathrm{kJ/(kg \cdot K)}$, căldura latentă specifică de topire a gheţii $\lambda = 0{,}33\,\mathrm{MJ/kg}$.

Subiect propus de:
Prof. Ion Toma, Colegiul Naţional „Mihai Viteazul” – Bucureşti
Prof. Florina Bărbulescu, Centrul Naţional de Evaluare şi Examinare – Bucureşti
Prof. Liviu Blanariu, Centrul Naţional de Evaluare şi Examinare – Bucureşti

Olimpiada Naţională de Fizică
31 martie - 5 aprilie 2013

Proba teoretică
Barem

X

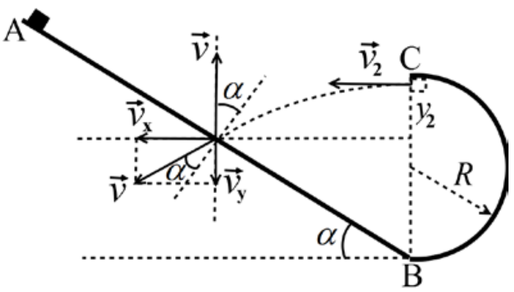
Subiectul 1	**Parţial**	**Punctaj**
1. Procese termodinamice		**10**
a.		**3p**
$C_{VA} = \frac{5}{2}R$; $C_{VB} = \frac{3}{2}R$	0,5p	
$\nu_A = \frac{p_A V_A}{RT}$; $\nu_B = \frac{p_B V_B}{RT}$	0,5p	
$(\nu_A + \nu_B)C_V \Delta T = \nu_A C_{VA}\Delta T + \nu_B C_{VB}\Delta T$	1,0p	
$C_V = \frac{p_A V_A C_{VA} + p_B V_B C_{VB}}{p_A V_A + p_B V_B} \Rightarrow C_V = \frac{17}{8}R$	0,5p	
Numeric: $C_V \cong 17{,}7\ \mathrm{J/(mol\cdot K)}$	0,5p	
b.		**3p**
Pentru procesul $2 \to 3$:		
$p_2^{1-n}T_2^n = p_3^{1-n}T_3^n \Rightarrow T_3 = \frac{T_2}{2^{0,2}}$	0,5p	
temperatura scade	0,5p	
$n = \frac{C_{23} - C_p}{C_{23} - C_V} \Rightarrow C_{23} = \frac{n-\gamma}{n-1}C_V < 0$	0,5p	
$\Delta T_{23} = T_3 - T_2 \Rightarrow \Delta T_{23} = T_2\left(\frac{1}{2^{0,2}} - 1\right) < 0$	0,5p	
$Q_{23} = \nu C_{23}\Delta T_{23} > 0$	0,5p	
sistemul primeşte căldură	0,5p	
c.		**3p**
$\eta = 1 - \frac{\lvert Q_c \rvert}{Q_p}$	0,25p	
$Q_p = Q_{12} + Q_{23}$	0,25p	
$Q_{12} = \nu C_{12}(T_2 - T_1)$	0,5p	
$C_{12} = C_V \frac{1+\gamma}{2}$	0,5p	
$T_2 = 4T_1$	0,25p	
$Q_c = Q_{31} = \nu C_p (T_1 - T_3)$	0,5p	
$\eta = 1 - \frac{\gamma(2^{1,8} - 1)}{\frac{3}{2}(1+\gamma) + 16(\gamma - 1{,}25)\left(1 - \frac{1}{2^{0,2}}\right)}$	0,5p	
$\eta \cong 12\%$	0,25p	
Oficiu		**1p**

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporţional cu conţinutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.

Olimpiada Naţională de Fizică
31 martie - 5 aprilie 2013

X

Proba teoretică
Barem

Subiectul 2	**Parţial**	**Punctaj**
2. Mecanică		**10**
a.		**2p**
$N=0\Rightarrow \dfrac{mv_C^2}{R}=mg$	0,5p	
$\dfrac{mv_C^2}{2}+mg\cdot 2R-mgh=-\mu mgd\cos\alpha$	0,5p	
$h=\dfrac{5R}{2(1-\mu\, ctg\alpha)}$	0,5p	
Numeric: $h\cong 1{,}5\,\mathrm{m}$	0,5p	
b.		**3p**
$x_D=v_1\cdot t$	0,5p	
$y_D=gt^2/2$	0,5p	
$x_D=d\cos\alpha$	0,5p	
$y_D=2R-d\sin\alpha$	0,5p	
$v_1=d\cos\alpha\sqrt{\dfrac{g}{2(2R-d\sin\alpha)}}$	0,5p	
Numeric: $v_1\cong 2{,}4\,\mathrm{m/s}$	0,5p	
c.		**4p**
	1p	
$tg2\alpha=\dfrac{v_x}{v_y}$	0,5p	
$v_x=v_2$	0,5p	
$v_y=\sqrt{2gy_2}$	0,5p	
$tg\alpha=\dfrac{2R-y_2}{v_2\sqrt{\dfrac{2y_2}{g}}}$	0,5p	
$v_2=\dfrac{4tg\alpha}{\sqrt{(1-tg^2\alpha)(1+3tg^2\alpha)}}\sqrt{gR}$	0,5p	
Numeric: $v_2=2\sqrt{gR}=4\,\mathrm{m/s}$	0,5p	
Oficiu		**1p**

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporţional cu conţinutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.

Subiectul 3	**Parțial**	**Punctaj**
3. Transformări de stare de agregare		**10**
A.		**6p**
Împărțim stratul de gheață suplimentar într-un număr n (foarte mare) de straturi de grosimi egale. Grosimea unui strat este $e = \frac{d_2 - d_1}{n}$	1p	
Căldura cedată, prin înghețare, de un strat de grosime e este $Q = m_g\lambda = \rho e S\lambda = \rho\frac{d_2 - d_1}{n}S\lambda$	1p	
$\frac{Q}{S\Delta t} = k\cdot\frac{\Delta\theta}{x} \Rightarrow \Delta t_i = \frac{Q}{kS\Delta\theta}x_i$	1p	
$x_i = d_1 + (i-1)e$	0,5p	
Intervalul de timp în care grosimea stratului de gheață crește de la d_1 la d_2 $\Delta t = \sum_{i=1}^{n}\Delta t_i \Rightarrow \Delta t = \sum_{i=1}^{n}\frac{\rho(d_2 - d_1)\lambda}{nk\Delta\theta}[d_1 + e(i-1)]$	1p	
$\Delta t = \frac{\rho\lambda(d_2^2 - d_1^2)}{2k\Delta\theta}$	1p	
Numeric: $\Delta t = 3{,}3\cdot 10^4\ \text{s}$	0,5p	
B.		**3p**
Căldura necesară gheții pentru a se încălzi până la $0°\text{C}$ este: $Q_{primit} = m_1 c_g(\theta_0 - \theta_1) \Rightarrow Q_{primit} = 2{,}1\cdot 10^3\ \text{J}$	0,5p	
Căldura cedată de apă și de calorimetru pentru a ajunge la $0°\text{C}$: $\lvert Q_{cedat}\rvert = mc_{apa}(\theta - \theta_0) + C(\theta - \theta_0) \Rightarrow \lvert Q_{cedat}\rvert = 12{,}6\cdot 10^3\ \text{J}$	0,5p	
$\lvert Q_{cedat}\rvert > Q_{primit}$, deci gheața ajunge la $\theta_0 = 0°\text{C}$ și începe topirea gheții	0,5p	
Masa de gheață care se topește este $m_t = \frac{\lvert Q_{cedat}\rvert - Q_{primit}}{\lambda} \Rightarrow m_t \cong 32\ \text{g} < m_1$, deci se topește doar o parte din gheață	0,5p	
Temperatura de echilibru este $\theta_0 = 0°\text{C}$	0,5p	
În starea de echilibru termic, în calorimetru se află $m_a = m + m_t \cong 212\ \text{g}$ apă și $m_g = m_1 - m_t \cong 68\ \text{g}$ gheață.	05p	
Oficiu		**1p**

Soluții propuse de:
Prof. Ion Toma, Colegiul Național „Mihai Viteazul" – București
Prof. Florina Bărbulescu, Centrul Național de Evaluare și Examinare – București
Prof. Liviu Blanariu, Centrul Național de Evaluare și Examinare – București

1. Orice rezolvare corectă ce ajunge la rezultatul corect va primi punctajul maxim pe itemul respectiv.
2. Orice rezolvare corectă, dar care nu ajunge la rezultatul final, va fi punctată corespunzător, proporţional cu conţinutul de idei prezent în partea cuprinsă în lucrare din totalul celor ce ar fi trebuit aplicate pentru a ajunge la rezultat, prin metoda aleasă de elev.