



II разред

Друштво физичара Србије и Министарство просвете
науке и технолошког развоја Републике Србије
ЗАДАЦИ-БЕТА КАТЕГОРИЈА*

ОПШТИНСКИ НИВО
30. јануар 2021.

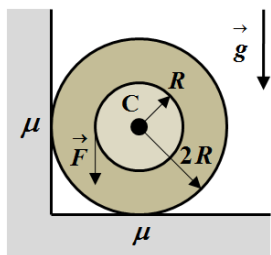
1. Тело се састоји из два међусобно чврсто спојена хомогена диска полупречника R и $2R$, који као целина могу да ротирају око заједничке осе симетрије која пролази кроз њихов заједнички центар (тачка C). Маса тела је M . Тело је постављено на хоризонталну подлогу и прислоњено уз вертикални зид. На обод мањег диска почиње да делује сила \vec{F} вертикално наниже (слика 1). Коefицијент трења између тела и хоризонталне подлоге, и између тела и вертикалног зида је једнак и износи μ ($0 < \mu < \sqrt{2} - 1$). Одредити максимални интензитет силе \vec{F} а да тело не почне да ротира. Величине M, μ и g (гравитационо убрзање) сматрати познатим. [20 поена]

2. На слици 2 је приказана Боурдонова цев, чија је улога мерење ниских температура. Мала сонда А запремине $V_A = 1 \text{ cm}^3$, спојена је преко дугачке танке цевке тј. капиларе, К, са посудом В запремине $V_B = 20 \text{ cm}^3$. Запремина капиларе К је занемарљива. Боурдонова цев функционише тако што се у њој налази идеалан гас (хелијум), чији је притисак $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$, при температури читавог система од $T_0 = 300 \text{ K}$. При радним условима, сонда А се налази на непознатој температури $T < T_0$, док сонда В остаје на температури T_0 . Одредити притисак гаса који у радним условима показује Боурдонова сонда В при мерењу температуре од $T = 5 \text{ K}$. [20 поена]

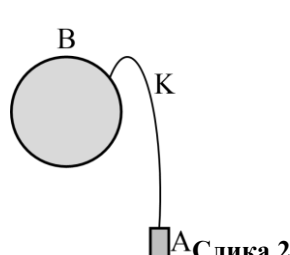
3. У суду облика цилиндра висине $H = 10 \text{ cm}$ и полупречника $r = 5 \text{ cm}$ налази се идеални гас густине $\rho = 2 \text{ kg/m}^3$ под притиском $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$ чија температура се одржава константном. Уколико се помоћу вентила испусти одређена количина гаса, притисак гаса опадне за $\Delta p = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Одредити масу гаса која је испуштена. [20 поена]

4. Стање хелијума мења се по процесима $a-b-c$ и $a-c$ како је приказано на слици 3. а) Израчунати вредност количине топлоте у току процеса $a-b-c$ и одредити њен знак. б) Поновити рачун као под а) али само за процес $a-c$. Зашто се разликују бројне вредности количина топлота у ова два процеса? Објаснити. Хелијум третирати као идеалан гас са моларним капацитетима при сталној запремини и притиску: $c_v = 12,4 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ и $c_p = 20,78 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Универзална гасна константа има вредност $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. [20 поена]

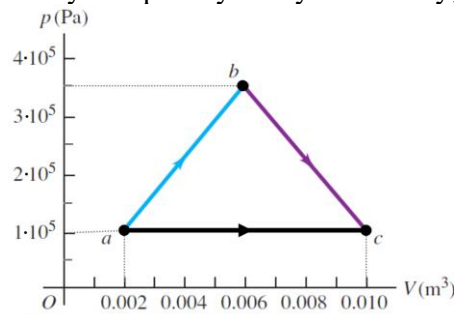
5. Посматрамо идеални гас са моларним топлотним капацитетом при константној запремини c_v . На почетку процеса, параметри гаса су (p_1, V_1, T_1) . Гас се прво изобарно шири при чему се запремина повећава на $2V_1$, па се онда шири адијабатски и запремина се повећава на $4V_1$. а) Нацртати $p-V$ дијаграм укупног термодинамичког процеса. б) Израчунати рад за цео процес. в) Одредити коначну вредност температуре гаса. Све величине наведене у задатку сматрати познатим, као и универзалну гасну константу, R . [20 поена]



Слика 1



Слика 2



Слика 3

Решења свих задатака треба јасно образложити са јасно дефинисаним физичким законима и величинама које користите приликом решавања задатака. Нарочито дефинисати ознаке које уводите а које нису уобичајене.

* У бета категорији такмиче се ученици који похађају одељења која раде по програмима гимназија општег типа, специјализованих гимназија за области које нису математика и физика, средњих стручних школа и уметничких школа.

Задатак 1 припремио Владимир Чубровић; задатке 2, 3, 4 и 5 припремио доц. др Момир Арсенијевић, ПМФ Крагујевац

Рецензент: Проф. др Миролуб Дугић, ПМФ Крагујевац

Председник Комисије за такмичења ученика средњих школа: доц. др Владимир Марковић, ПМФ Крагујевац

Свим такмичарима желимо успешан рад!



II разред

Друштво физичара Србије и Министарство просвете,
науке и технолошког развоја Републике Србије
РЕШЕЊА-БЕТА КАТЕГОРИЈА*

ОПШТИНСКИ НИВО
30. јануар 2021.

1. У граничном случају (пре почетка ротације) интензитети сила трења износе редом $F_{tr1} = \mu N_1$ и $F_{tr2} = \mu N_2$. Једначине равнотеже тела су $F \cdot R = (F_{tr1} + F_{tr2}) \cdot 2R$ [5п], одакле је $F = 2\mu(N_1 + N_2)$, затим $N_2 - F_{tr1} = 0$ [5п], одакле је $N_2 = \mu N_1$ и $N_1 + F_{tr2} - F - Mg = 0$ [5п], одакле је $N_1 + \mu N_2 = F + Mg$ (слика 1). Комбинујући претходне три једначине добијамо да интензитет силе F износи : $F = 2\mu Mg(1 + \mu) / (1 - 2\mu - \mu^2)$ [5п].

2. На почетку цео систем се налазио у термодинамичкој равнотежи, тј. $p_0(V_A + V_B) = nRT_0$ [4п]. У радним условима температуре сонда А и В се разликују. Преко капиларе К притисак се изједначава и можемо писати $pV_A = n_A RT$ [4п], $pV_B = n_B RT_0$ [4п] и $n = n_A + n_B$ [4п]. Комбинацијом претходних једначина, можемо израчунати притисак унутар сонде В, $p = \frac{p_0(V_A + V_B)}{V_A \frac{T_0}{T} + V_B} \approx 26,6 \text{ kPa}$ [3+1п].

3. Једначине стања пре и после испуштања гаса су $p_0 V_0 = n_0 RT_0$ [2п], $p_1 V_0 = n_1 RT_0$ [2п], редом, где је $p_1 = p_0 - \Delta p$ [2п] притисак након испуштања гаса а $n_0 = \frac{m_0}{M}$ [0,5п] и $n_1 = \frac{m_1}{M}$ [0,5п] количине гаса пре и након испуштања. Користећи ове везе, следи однос $\frac{p_0}{p_1} = \frac{n_0}{n_1}$ [2п], односно $m_1 = m_0 \frac{p_1}{p_0}$. Маса гаса који је испуштен је $\Delta m = m_0 - m_1$ [2п]. Отуда је $\Delta m = m_0 \left(1 - \frac{p_1}{p_0}\right) = \frac{1}{2} \rho r^2 \pi H$ [4п], при чему је $V_0 = r^2 \pi H$ запремина цилиндра [2п]. Користећи задате бројне вредности следи $\Delta m = 0,785 \text{ g}$. [1п]

4. Први закон термодинамике је $\Delta U = Q - A$ [1п]. Укупни рад у току процеса једнак је збиру површина два трапеза испод правих $a-b$ и $b-c$:

$$A = \frac{1}{2} (1 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 3,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}) (0,006 \text{ m}^3 - 0,002 \text{ m}^3) + \frac{1}{2} (1 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 3,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}) (0,01 \text{ m}^3 - 0,006 \text{ m}^3) = 1800 \text{ J} \text{ [5п]}.$$

Укупна промена унутрашње енергије је $\Delta U = nc_V \Delta T$ [3п] и може се израчунати узимајући у обзир да је

$\Delta T = \frac{p \Delta V}{nR}$ [2п] на изобарском делу па ће бити $\Delta U = \frac{c_V}{R} p \Delta V$ [2п]. Заменом бројних вредности добија се да је

$\Delta U = 1,2 \cdot 10^3 \text{ J}$ па онда и укупна количина топлоте $Q = \Delta U + A = 3 \cdot 10^3 \text{ J}$ [1+1п]. Добијена количина топлоте је са позитивним предзнаком [1п], што значи да је систем апсорбовао ову количину топлоте. б) Процес је изобарски

$Q = nc_p \Delta T = \frac{c_p}{R} p \Delta V = 2 \cdot 10^3 \text{ J}$ [3п], што значи да је гас примио ову количину топлоте. Апсорбована количина

топлоте је већа за процес $a-b-c$ јер је у овом процесу извршен већи рад него у процесу $a-c$, док је промена унутрашње енергије иста, тј. не зависи од процеса [1п].

5. а) Дијаграм процеса дат је на слици 2. [3п] (бодовати комплетно нацртан дијаграм). б) За изобарски процес рад износи $A_{12} = p(V_2 - V_1) = p_1(2V_1 - V_1) = p_1 V_1$ [2п]. За адијабатски процес, рад се врши на рачун унутрашње енергије

гаса: $A_{23} = -\Delta U_{23} = -nc_V(T_3 - T_2)$ [2п]. У тачкама 2 и 3 важи, редом, $T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR}$ [1п] и $T_3 = \frac{p_3 V_3}{nR}$ [1п], па ће бити

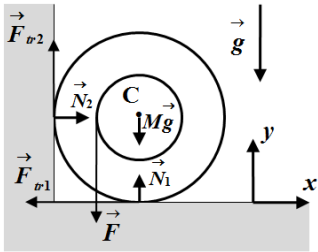
$A_{23} = \frac{c_V}{R} (p_2 V_2 - p_3 V_3)$ [1п]. Узевши у обзир једначину адијабате $p_3 V_3^\gamma = p_2 V_2^\gamma = p_1 V_1^\gamma$ [1п] рад се може изразити



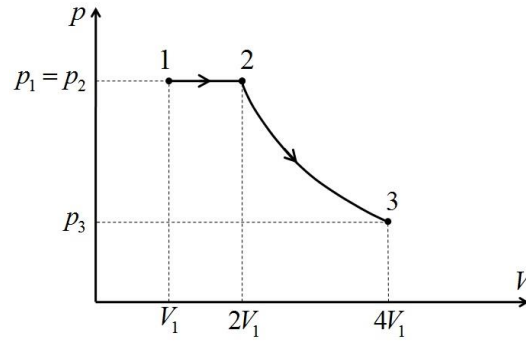
ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА
ШКОЛСКЕ 2020/2021. ГОДИНЕ.



као $A_{23} = p_1 V_1 \frac{c_V}{R} (2 - 2^{2-\gamma})$ [3п]. Зато је укупни рад $A = p_1 V_1 \left(1 + \frac{c_V}{R} (2 - 2^{2-\gamma}) \right)$ [2п]. в) Једначина стања идеалног гаса за тачке 1 и 3 даје $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_3 V_3}{T_3}$ [2п]. Коришћењем једначине адијабате, следи $p_3 = p_1 \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^\gamma = \frac{p_1}{2^\gamma}$ [1п] и коначна температура $T_3 = 2^{2-\gamma} T_1$ [1п].



Слика 1



Слика 2

(У свим задацима признати и друге тачне начине решавања са еквивалентним начином бодовања)