ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА
ШКОЛСКА 2017/18. ГОДИНА

Друштво физичара Србије и Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

II разред | **ЗАДАЦИ – ФЕРМИОНСКА КАТЕГОРИЈА** | **ОПШТИНСКИ НИВО** | **25.02.2018.**

1. Колица за куповину се могу моделовати као систем четири цилиндрична точка, сваки масе m, која носе терет масе M (слика 1). У почетку по савршено глатком леду колица клизе брзином v_0 тако да точкови не ротирају. Колица после неког времена налећу на подлогу чији је коефицијент трења μ. За колико времена t од тог тренутка ће се успоставити режим котрљања без клизања? Сматрати да је оптерећење колица на сваки точак равномерно, сматрати да су сви точкови истовремено налетели на подлогу са трењем и занемарити коефицијент трења котрљања. Формула за момент инерције цилиндра је $I = \frac{mr^2}{2}$. (20 поена)

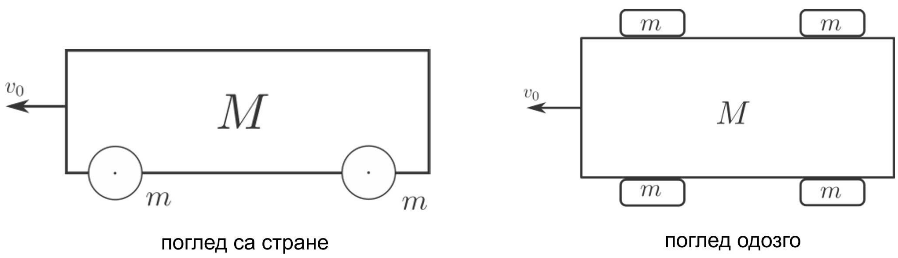
2. Суд висине h и површине константног попречног пресека је вертикално клипом масе m подељен на два једнака дела у којима се налази исти једноатомски гас моларне масе M (слика 2). И клип и суд су направљени од савршених топлотних изолатора. У почетку је клип у равнотежном стању, а температура у оба дела је иста и износи T.
   (а) Ако је укупна маса гаса у доњем делу m_1, наћи укупну масу гаса у горњем делу m_2 и услов који мора задовољавати m_1.
   (б) Сада гас у доњој комори кренемо да загревамо, због чега клип почне да се пење навише. Ако се клип попео на висину x у односу на претходну позицију, наћи промену температуре $\triangle T$.
   (в) На шта се троши рад који врши гас у доњем делу? (20 поена)

3. Највероватнија брзина честица гаса у суду износи $v_n = 421.8\,\mathrm{m/s}$ а његова густина 1.2 грама по литру.
   (а) Наћи $\overline{v}$, средњу квадратну брзину гаса и p, притисак гаса у суду.
   (б) Ако је температура гаса $T = 300K$ идентификовати о ком гасу се ради. У табели је дато неколико гасова са моларним масама. Универзална гасна константа износи $R = 8.314\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{molK}}$.
   (в) Израчунати промену унутрашње енергије једног мола гаса при константном притиску ако се загреје за $\triangle T = 20K$. (20 поена)

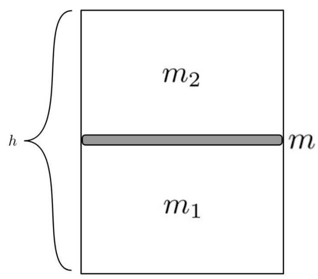
	H_2	He	Ne	N_2	NO	O_2	Ar	CO_2
гас	м. водоника	хелијум	неон	м. азота	азот-моноксид	м. кисеоника	аргон	угљен-диоксид
$M\ [\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}]$	2.016	4.003	20.179	28.014	30.006	31.999	39.948	44.01

4. Идеалан гас пролази кроз изобарски процес од тачке А до тачке Б, потом од тачке Б до тачке Ц кроз адијабатски процес, од тачке Ц до тачке Д кроз изобарски и коначно од тачке Д до тачке А кроз адијабатски процес. Притисак се од тачке Д до тачке А увећао 4 пута.
   (а) Нацртати p-V дијаграм, и означити на њему тачке А, Б, Ц и Д, као и смер кретања циклуса.
   (б) Ако су V_1 и V_2 запремине гаса у тачкама А и Б респективно, p_1 притисак у тачки А и $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ је дата величина (где су c_p і c_v специфичне топлоте при константном притиску и запремини респективно) одредити количину додате или отпуштене топлоте у свакој грани циклуса.
   (в) Одредити коефицијент корисног дејства η овог процеса у функцији од γ, а затим одредити нумеричку величину од η за једноатомски и за двоатомски гас. (20 поена)

5. Знамо да је промена ентропије S у систему дата формулом $\triangle S = \triangle Q/T$, где је $\triangle Q$ количина додате топлоте а T температура система. Једноатомски гас на температури од $T = 350K$ је извршио изотермским ширењем рад од 350 kJ, а затим му се адијабатским ширењем запремина повећала за 50%, да би на крају даљим изотермским ширењем извршио рад од још 350 kJ. Наћи укупну промену ентропије система. (20 поена)



слика уз 1. задатак



слика уз 2. задатак

Задатке припремили: ***Михаило Чубриловић***, Институт за физику, Београд
Александар Буква, Институт за физику, Београд
Рецензент: ***др Никола Петровић***, Институт за физику, Београд
Председник Комисије за такмичења средњих школа: ***др Божидар Николић***, Физички факултет, Београд

1. Пошто је тежина колица равномерно расподређена на сваки точак, нормална сила на сваком точку износи $N = \left(m + \frac{M}{4}\right) g$ $\boxed{2\text{ п}}$. Од тренутка кад колица стану на подлогу, на сваки точак делује кинетичка сила трења једнака $F_{tr} = \mu\left(m + \frac{M}{4}\right) g$ $\boxed{2\text{ п}}$ (слика 1). Нека је T хоризонтална сила (уназад) којом колица делују на сваки точак. Следи да је једначина транслације за точак једнака $ma = F_{tr} - T$ $\boxed{2\text{ п}}$, а једначина ротације једнака $\frac{mr^2}{2}\alpha = F_{tr}r$ тј. $\alpha = \frac{2\mu\left(m+\frac{M}{4}\right)g}{mr}$ $\boxed{3\text{ п}}$, при чему је позитиван смер транслације надесно, а позитиван смер ротације супротно казаљки на сату. Треба подсетити да још увек не важи режим котрљања без клизања. Транслаторна једначина за колица износи $Ma = 4T$ $\boxed{2\text{ п}}$. Комбиновањем ове једначине са транслаторном за точак добијамо $a = \mu g$ $\boxed{1\text{ п}}$. Сада имамо да је у функцији од времена угаона брзина једнака $\omega = \alpha t = \frac{2\mu\left(m+\frac{M}{4}\right)gt}{mr}$ $\boxed{2\text{ п}}$, а линеарне $v = v_0 - \mu g t$ $\boxed{2\text{ п}}$. Наступиће режим котрљања без клизања кад буде важило $v = \omega r$ $\boxed{2\text{ п}}$, те имамо $\frac{2\mu\left(m+\frac{M}{4}\right)gt}{m} = v_0 - \mu g t$, тј. $t = \frac{2v_0 m}{\mu g(6m+M)}$ $\boxed{2\text{ п}}$.

2. (а) Притисак у доњем суду износи $p_1 = \frac{m_1 RT}{MS\frac{h}{2}}$, а у горњем $p_2 = \frac{m_2 RT}{MS\frac{h}{2}}$ где је S попречни пресек суда $\boxed{3\text{ п}}$. Да би се тег одржавао мора важити $(p_1 - p_2)S = mg$ $\boxed{3\text{ п}}$, те следи $m_2 = m_1 - \frac{Mmgh}{2RT}$ $\boxed{2\text{ п}}$ Мора важити $m_1 > \frac{Mmgh}{2RT}$ $\boxed{1\text{ п}}$.

   (б) Гас је променио температуру у доњем суду, али не и у горњем. Као ефекат, усред пораста притиска гас се шири и тег се диже на нову висину $\frac{h}{2} + x$ $\boxed{1\text{ п}}$. Нова једначина стабилности износи $\frac{m_1 R(T+\triangle T)}{M(\frac{h}{2}+x)} - \frac{(m_1 - \frac{Mmgh}{2RT})RT}{M(\frac{h}{2}-x)} = mg$ $\boxed{3\text{ п}}$, те следи $\triangle T = \frac{1}{m_1 R}\left(mgM(\frac{h}{2}+x) + (m_1 RT - \frac{Mmgh}{2})\frac{\frac{h}{2}+x}{\frac{h}{2}-x}\right) - T$ $\boxed{3\text{ п}}$. Рад гаса у доњем суду се троши на подизање потенцијалне енергије клипа $\boxed{2\text{ п}}$ и на скупљање гаса у горњој комори $\boxed{2\text{ п}}$.

3. (а) Највероватнија брзина износи $v_n = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$ $\boxed{2\text{ п}}$. Средња квадратна брзина износи $\overline{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3}{2}}v_n = 561.6\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $\boxed{4\text{ п}}$. Притисак гаса је онда једнак $p = \frac{\rho RT}{M} = \frac{\rho v_n^2}{2} = 106.75\ \text{kPa}$ $\boxed{3\text{ п}}$.

   (б) Из $p = \frac{\rho RT}{M}$ следи $M = \frac{\rho RT}{p} = 27.99\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 28.014\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ $\boxed{4\text{ п}}$. Из табеле видимо да једини гас који одговара овој вредности је молекул азота N_2 $\boxed{2\text{ п}}$.

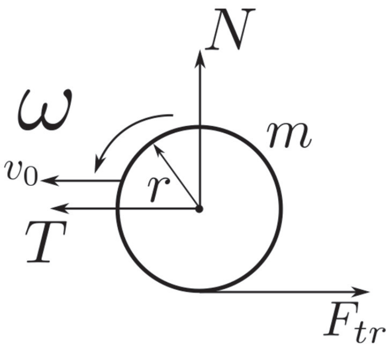
   (в) За двоатомски гас имамо $c_v = \frac{5R}{2}$ $\boxed{3\text{ п}}$ (c_p не треба користити јер се тражи промена унутрашње енергије, а не укупна додата топлота). Промена унутрашње енергије износи $\triangle U = \frac{5nR\triangle T}{2} = 415\ \text{J}$ ($n = 1\ \text{mol}$) $\boxed{2\text{ п}}$.

4. (а) На слици 2 је дат приказ циклуса (добар квалитативан приказ $\boxed{2\text{ п}}$, добро идентификоване тачке $\boxed{1\text{ п}}$ и добар смер циклуса $\boxed{1\text{ п}}$).

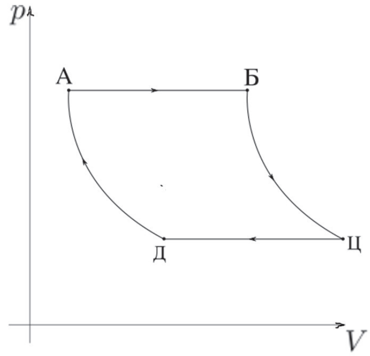
   (б) Имамо $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{c_p - R}$, те је $c_p = \frac{R\gamma}{\gamma-1}$ и $C_p = \frac{\gamma}{\gamma-1}$ $\boxed{2\text{ п}}$. Гас од тачке А до тачке Б ослобађа количину топлоте па имамо $Q_{ab} = \frac{\gamma}{\gamma-1}p_1(V_2 - V_1)$ $\boxed{1\text{ п}}$. Од тачке Б до Ц и Д до А нема размене топлоте са околином те је $Q_{bc} = Q_{da} = 0$ $\boxed{2\text{ п}}$. У процесу од Ц до Д гас прима количину топлоте $Q_{cd} = \frac{\gamma}{\gamma-1}p_3(V_4 - V_3)$ $\boxed{1\text{ п}}$. Како знамо да се притисак гаса у току циклуса промени 4 пута имамо $p_1 = p_2 = 4p_3 = 4p_4$, $p_2V_2^\gamma = p_3V_3^\gamma$ и $p_1V_1^\gamma = p_4V_4^\gamma$ $\boxed{2\text{ п}}$ те следи $V_3 = 4^{\frac{1}{\gamma}}V_2$ и $V_4 = 4^{\frac{1}{\gamma}}V_1$ $\boxed{2\text{ п}}$. Следи $Q_{cd} = -\frac{\gamma}{\gamma-1}4^{\frac{1}{\gamma}-1}p_1(V_2 - V_1)$ $\boxed{1\text{ п}}$.

   (в) Целокупна примљена топлота је примљена од А до Б. Пошто се радови од Б до Ц и од Д до А поништавају, следи да је коефицијент корисног дејства једнак $\eta = \frac{A}{Q_{ab}} = \frac{Q_{ab} - Q_{cd}}{Q_{ab}} = 1 - \frac{p_3(V_3 - V_4)}{p_1(V_2 - V_1)}$ тј. $\eta = 1 - 4^{\frac{1}{\gamma}-1}$ $\boxed{3\text{ п}}$. За једноатомски гас имамо $\gamma = \frac{5}{3}$, те је $\eta_1 = 0.426$ $\boxed{1\text{ п}}$, док је за двоатомски гас $\gamma = \frac{7}{5}$ те је $\eta_2 = 0.327$ $\boxed{1\text{ п}}$.

5. За прву грану циклуса имамо $S_1 = \frac{Q_1}{T_1} = 1000\ \frac{\text{J}}{\text{K}}$ $\boxed{3\text{ п}}$. Имамо $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{5}{3}$ $\boxed{2\text{ п}}$. За адијабатски процес важи $T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$ $\boxed{3\text{ п}}$ те уз $V_2 = \frac{3}{2}V_1$ $\boxed{2\text{ п}}$ имамо $T_2 = (\frac{2}{3})^{\frac{2}{3}}T_1 = 0.763T_1 = 267K$ $\boxed{3\text{ п}}$. Промена ентропије током адијабатског процеса је $S_2 = 0$ $\boxed{3\text{ п}}$ пошто је $\triangle Q = 0$, тј. гас не размењује топлоту са околином. У трећој грани циклуса имамо $S_3 = \frac{Q_2}{T_2} = \frac{350\ \text{kJ}}{267K} = 1310\ \frac{\text{J}}{\text{K}}$ $\boxed{3\text{ п}}$, те је укупна промене ентропије једнака $S = S_1 + S_2 + S_3 = 2310\ \frac{\text{J}}{\text{K}}$ $\boxed{1\text{ п}}$.



слика 1



слика 2

Задатке припремили: ***Михаило Чубриловић***, Институт за физику, Београд
Александар Буква, Институт за физику, Београд
Рецензент: ***др Никола Петровић***, Институт за физику, Београд
Председник Комисије за такмичења средњих школа: ***др Божидар Николић***, Физички факултет, Београд

ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА
ШКОЛСКА 2017/18. ГОДИНА

Друштво физичара Србије и Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

II разред — **ЗАДАЦИ – БОЗОНСКА КАТЕГОРИЈА** — **ОПШТИНСКИ НИВО** **28.02.2018.**

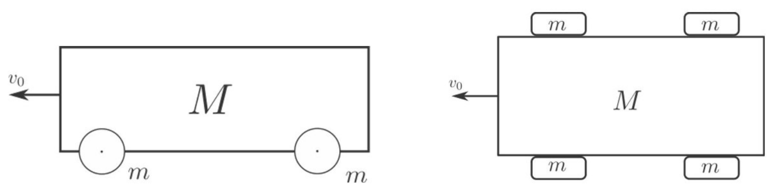
1. Колица за куповину се могу моделовати као систем четири цилиндрична точка, сваки масе m, који носе терет масе M (слика 1). У почетку по савршено глатком леду колица клизе брзином v_0 тако да точкови не ротирају. Колица после неког времена налећу на подлогу чији је коефицијент трења μ. За колико времена t од тог тренутка ће се успоставити режим котрљања без клизања? Сматрати да је оптерећење колица на сваки точак равномерно и да су сви точкови истовремено налетели на подлогу са трењем. Занемарити трење котрљања. $I = \frac{mr^2}{2}$. (20 поена)

2. На слици 2 је дат циклус који се састоји од праве линије која пролази кроз координатни почетак, изотерме и изобаре. Запремина и температура у првој тачки су V_1 и T_1, респективно, а температура у другој тачки је T_2.
   (а) Израчунати V_2 и V_3, запремине у другој и трећој тачки респективно.
   (б) Рад који гас изврши у процесу изотерме при температури T се може написати као $A = n_m RT f(V_f/V_i)$, где су V_i и V_f почетна и крајња запремина, R универзална гасна константа, n_m количина гаса и f позната функција. Израчунати коефицијент корисног дејства циклуса η у функцији од T_1, T_2, R, n_m и f. (20 поена)

3. На слици 3 је дат T-S дијаграм, тј. дијаграм зависности температуре у односу на количину ентропије у систему. На графу је дат циклус који се састоји од једне изохоре, једне изотерме и једне адијабате.
   (а) Идентификовати на T-S дијаграму који сегмент одговара изохори, који изотерми, а који адијабати, као и који је смер кретања циклуса ако се зна да циклус представља топлотни мотор.
   (б) Скицирати одговарајући графикон на p-V дијаграму са одговарајућим смером кретања и назначеним тачкама које одговарају тачкама 1, 2 и 3 на T-S дијаграму.
   (в) Ако се зна да је $\triangle S = \triangle Q/T$, идентификовати на T-S дијаграму топлоту коју је гас разменио са околином при изотермном процесу, као и то да ли је гас примио и отпустио топлоту, и такође идентификовати на T-S дијаграму рад који је гас извршио.
   (г) Скицирати на p-V дијаграму линију (не нужно праву!) која би одговарала правој линији између тачака 1 и 2 на T-S дијаграму. (20 поена)

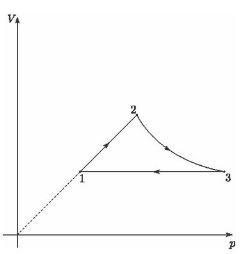
4. Суд висине h и површине константног попречног пресека је вертикално клипом масе m подељен на два једнака дела у којима се налази исти једноатомски гас моларне масе M. И клип и суд су направљени од савршених топлотних изолатора. У почетку је клип у равнотежном стању, а температура у оба дела је иста и износи T.
   (а) Ако је укупна маса гаса у доњем делу m_1, наћи укупну масу гаса у горњем делу m_2 и услов који мора задовољавати m_1.
   (б) Ако се гас у доњем делу полако загреје за температуру $\triangle T$, наћи нову висину у односу на дно суда на коју ће се клип попети. На шта се троши рад који врши гас у доњем делу? (20 поена)

5. (а) Израчунати другу космичку брзину за Земљу и Месец. Друга космичка брзина неког небеског тела је брзина довољна да неки објекат напусти гравитационо поље тог небеског тела. Масе Земље и Месеца су респективно $M_z = 5.972 \times 10^{24}$kg и $M_m = 7.4 \times 10^{22}$kg. Полупречници Земље и Месеца су респективно $r_z = 6371$km и $r_m = 1740$km, а гравитациона константа износи $G = 6.67408 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3kg^{-1}s^{-2}}$.
   (б) Претпоставимо да је некада Месец као и Земља имао густу атмосферу. И за Земљу и за Месец можемо да апроксимирамо да је реч о идеалном гасу и то гасу молекула азота N_2 на температури од $T = 280\,\mathrm{K}$ (садашња просечна температура Земље). Израчунати највероватнију v_n и средњу квадратну брзину $\overline{v}$ молекула у овом гасу. Моларна маса атома азота износи $M_N = 14\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$, а универзална гасна константа $R = 8.314\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{molK}}$.
   (в) За Максвелову расподелу брзина $f(v)$, која одређује пропорцију броја молекула чија је брзина v, се може показати да (апроксимативно) важи $f(v) = Av^2 10^{0.4343\left(-v^2/v_n^2\right)}$ где је A константа која зависи од параметара гаса. Наћи апроксимативно редове величина израза $\frac{f(v_m)}{f(v_n)}$ и $\frac{f(v_z)}{f(v_n)}$, тј. целе бројеве r_m и r_z тако да је $\frac{f(v_m)}{f(v_n)} = s_m \times 10^{r_m}$ и $\frac{f(v_z)}{f(v_n)} = s_z \times 10^{r_z}$, $1 \leq s_m, s_z < 10$. Шта нам ови односи говоре о способности Месеца да зарджи своју атмосферу у односу на способност Земље да задржи своју атмосферу? (20 поена)

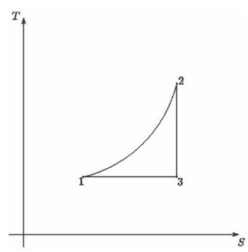


поглед са стране — поглед одозго

слика уз 1. задатак



слика уз 2. задатак



слика уз 3. задатак

Задатке припремили: ***Михаило Чубриловић***, Институт за физику, Београд
Александар Буква, Институт за физику, Београд
Рецензент: ***др Никола Петровић***, Институт за физику, Београд
Председник Комисије за такмичења средњих школа: ***др Божидар Николић***, Физички факултет, Београд

1. Пошто је тежина колица равномерно распоређена на сваки точак, нормална сила на сваком точку износи $N = \left(m+\frac{M}{4}\right)g$ $\boxed{\text{2 п}}$. Од тренутка кад колица стану на подлогу, на сваки точак делује кинетичка сила трења једнака $F_{tr} = \mu\left(m+\frac{M}{4}\right)g$ $\boxed{\text{2 п}}$ (слика 1). Нека је T хоризонтална сила (уназад) којом колица делују на сваки точак. Следи да је једначина транслације за точак једнака $ma = F_{tr} - T$ $\boxed{\text{2 п}}$, а једначина ротације једнака $\frac{mr^2}{2}\alpha = F_{tr}r$ тј. $\alpha = \frac{2\mu\left(m+\frac{M}{4}\right)g}{mr}$ $\boxed{\text{3 п}}$, при чему је позитиван смер транслације надесно, а позитиван смер ротације супротно казаљки на сату. Треба подсетити да још увек не важи режим котрљања без клизања. Транслаторна једначина за колица износи $Ma = 4T$ $\boxed{\text{2 п}}$. Комбиновањем ове једначине са транслаторном за точак добијамо $a = \mu g$ $\boxed{\text{1 п}}$. Сада имамо да је у функцији од времена угаона брзина једнака $\omega = \alpha t = \frac{2\mu\left(m+\frac{M}{4}\right)gt}{mr}$ $\boxed{\text{2 п}}$, а линеарне $v = v_0 - \mu gt$ $\boxed{\text{2 п}}$. Наступиће режим котрљања без клизања кад буде важило $v = \omega r$ $\boxed{\text{2 п}}$, те имамо $\frac{2\mu\left(m+\frac{M}{4}\right)gt}{m} = v_0 - \mu gt$, тј. $t = \frac{2v_0 m}{\mu g(6m+M)}$ $\boxed{\text{2 п}}$.

2. (а) Формуле за p_1 и p_2 износе $p_1 = \frac{n_m RT_1}{V_1}$ и $p_2 = \frac{n_m RT_2}{V_2}$ $\boxed{\text{2 п}}$. Пошто је $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2}$ имамо $\frac{\frac{T_1}{V_1}}{\frac{T_2}{V_2}} = \frac{V_1}{V_2}$ те је однос температура $\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$. Следи $V_2 = V_1\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$ $\boxed{\text{2 п}}$. Сада поредећи температуре за запремине V_2 и V_3 имамо $p_2V_2 = p_1V_3$ $\boxed{\text{1 п}}$, те је $V_3 = V_2\frac{p_2}{p_1} = V_2\frac{T_2V_1}{T_1V_2} = V_1\frac{T_2}{T_1}$ $\boxed{\text{2 п}}$.

   (б) У грани 1-2 рад гаса износи $A_{12} = (V_2 - V_1)\frac{(p_1+p_2)}{2} = \frac{V_1p_1}{2}\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}} - 1\right)\left(1 + \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\right) = \frac{n_mRT_1}{2}\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = \frac{n_mR(T_2-T_1)}{2}$ $\boxed{\text{3 п}}$ док промена унутрашње енергије износи $U_{12} = \frac{3n_mR(T_2-T_1)}{2}$ $\boxed{\text{1 п}}$. У грани 2-3 нема промена унутрашње енергије $U_{23} = 0$ $\boxed{\text{1 п}}$, али рад гаса износи $A_{23} = n_mRTf\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = n_mRTf\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\right)$ $\boxed{\text{2 п}}$. Трећа грана циклуса је изобарска, те је рад једнак $A_{31} = p_1(V_1 - V_3) = -n_mR(T_2 - T_1)$ $\boxed{\text{1 п}}$ док је промена унутрашње енергије $U_{31} = -\frac{3n_mR(T_2-T_1)}{2}$ $\boxed{\text{1 п}}$. Укупан рад износи $A = A_{12} + A_{23} + A_{31} = n_mRTf\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\right) - \frac{n_mR(T_2-T_1)}{2}$ $\boxed{\text{1 п}}$ док додата топлота износи $Q = Q_{12} + Q_{23} = A_{12} + U_{12} + A_{23} + U_{23} = n_mRTf\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\right) + 2n_mR(T_2 - T_1)$ $\boxed{\text{1 п}}$. Следи да коефицијент корисног дејства за овај циклус износи $\eta = \frac{A}{Q} = \frac{f\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\right) - \frac{T_2-T_1}{2}}{f\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\right) + 2(T_2-T_1)}$ $\boxed{\text{2 п}}$.

3. (а) Пошто је током изотерме температура константна следи да је изотерма грана 3-1 $\boxed{\text{2 п}}$. Пошто током адијабатског процеса не долази до размене топлоте са околином, следи да не долази ни до промене ентропије, те је адијабата грана 2-3 $\boxed{\text{2 п}}$. Остаје грана 1-2 која онда одговара изохори $\boxed{\text{1 п}}$. Ако је циклус топлотни мотор, онда размена топлоте са околином мора бити позитивна, те је сиклус у смеру казаљке на сату, тј. 1-2-3-1 $\boxed{\text{2 п}}$.

   (б) На слици 2 је дат приказ одговарајућег p-V-дијаграма са тачкама 1,2 и 3, као и смер кретања циклуса (добар квалитативан приказ $\boxed{\text{2 п}}$, добро идентификоване тачке $\boxed{\text{2 п}}$ и добар смер циклуса $\boxed{\text{1 п}}$).

   (в) Из формуле следи да при константној температури важи $Q = (S_2 - S_1)T$, где су S_1 и S_2 респективно почетна и крајња ентропија $\boxed{\text{1 п}}$. Дакле, топлота која је размењена са околином је дата површином испод линије 1-3 $\boxed{\text{1 п}}$ и пошто је крајња ентропија мања од почетне, следи да је размењена топлота негативна, тј. да је гас у процесу 3-1 испустио топлоту $\boxed{\text{1 п}}$. Такође, пошто је укупна промена унутрашње енергије током циклуса једнака нули, следи да је рад једнак разлици примљене и отпуштене топлоте, те рад одговара површини унутар циклуса, баш као и код p-V-дијаграма $\boxed{\text{2 п}}$.

   (г) Пошто циклус са равном линијом од тачке 1 до тачке 2 има већу површину, и то одговара укупном извршеном раду, следи и да на p-V-дијаграму нови циклус мора имати већу површину. На слици 3 је дата скица такве линије $\boxed{\text{3 п}}$. Смањење запремине упркос повећању ентропије се може објаснити тиме што промена притиска има јачи утицај на промену ентропије од промене запремине.

4. (а) Притисак у доњем суду износи $p_1 = \frac{m_1RT}{MS\frac{h}{2}}$, а у горњем $p_2 = \frac{m_2RT}{MS\frac{h}{2}}$ где је S попречни пресек суда $\boxed{\text{3 п}}$. Да би се тег одржавао мора важити $(p_1 - p_2)S = mg$ $\boxed{\text{2 п}}$, те следи $m_2 = m_1 - \frac{Mmgh}{2RT}$ $\boxed{\text{1 п}}$ Мора важити $m_1 > \frac{Mmgh}{2RT}$ $\boxed{\text{1 п}}$.

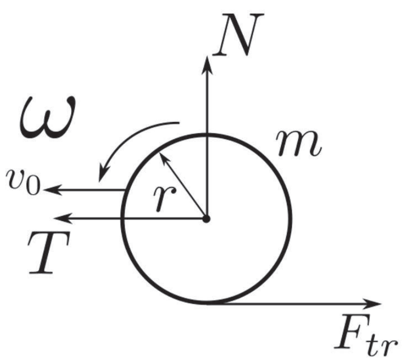
   (б) Гас је променио температуру у доњем суду, али не и у горњем. Као ефекат, усред пораста притиска гас се шири и тег се диже на нову висину $\frac{h}{2} + x$ $\boxed{\text{1 п}}$. Нова једначина стабилности износи $\frac{m_1R(T+\triangle T)}{M(\frac{h}{2}+x)} - \frac{(m_1 - \frac{Mmgh}{2RT})RT}{M(\frac{h}{2}-x)} = mg$

$\boxed{\textbf{3 п}}$, те следи $mgMx^2 + x(-m_1R(2T + \triangle T) + \frac{mgMh}{2}) + \frac{m_1Rh\triangle T}{2} = 0$ $\boxed{\textbf{2 п}}$. Приметимо да из услова да је m_2 позитивна, следи да је члан квадратне једначине уз x негативан, а дискриминанта квадратне једначине позитивна $\boxed{\textbf{1 п}}$. Решење једначине је $x = \frac{m_1R(2T+\triangle T)-\frac{mgMh}{2} \pm \sqrt{(m_1R(2T+\triangle T)-\frac{mgMh}{2})^2 - 2mgMm_1Rh\triangle T}}{2mgM}$ $\boxed{\textbf{2 п}}$. Оба решења су позитивна $\boxed{\textbf{1 п}}$. Узима се мање решење, јер је то прва тачка стабилности до које се долази из позиције $x = 0$ (отклон у оба смера производи силу која враћа клип у равнотежни положај) те имамо $x = \frac{m_1R(2T+\triangle T)-\frac{mgMh}{2} - \sqrt{(m_1R(2T+\triangle T)-\frac{mgMh}{2})^2 - 2mgMm_1R\triangle T}}{2mgM}$ $\boxed{\textbf{1 п}}$. Рад гаса у доњем суду се троши на подизање потенцијалне енергије клипа $\boxed{\textbf{1 п}}$ и на скупљање гаса у горњој комори $\boxed{\textbf{1 п}}$.

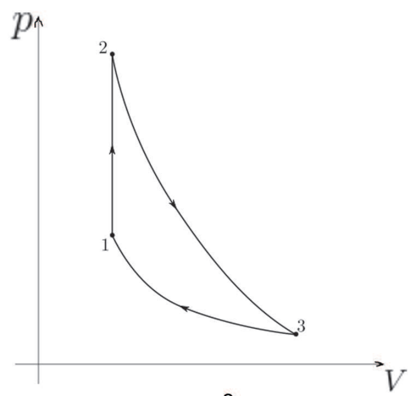
5. (а) Имамо да за другу космичку брзину v важи $\frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r} = 0$ $\boxed{\textbf{2 п}}$,тј. $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ $\boxed{\textbf{1 п}}$ (објекат има довољно кинетичке енергије да изађе из негативног потенцијала који ствара небеско тело). Користећи податке за Земљу и Месец добијамо $v_z = 11{,}186\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ $\boxed{\textbf{1 п}}$ и $v_m = 2{,}380\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ $\boxed{\textbf{1 п}}$.

   (б) Имамо да је $M_{N_2} = 28\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$ $\boxed{\textbf{1 п}}$. Сада је $v_n = \sqrt{\frac{2RT}{M_{N_2}}} = 407\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ $\boxed{\textbf{2 п}}$ и $\overline{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M_{N_2}}} = 498\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ $\boxed{\textbf{2 п}}$.

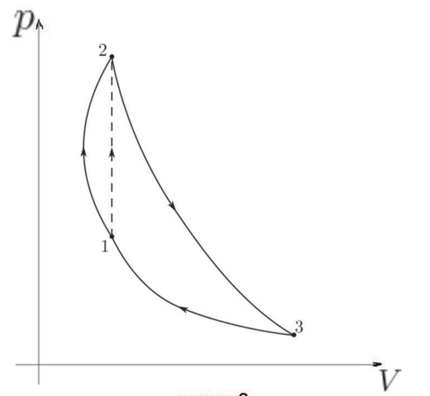
   (в) Кад поделимо израз за $f(v)$ са $f(v_n)$ добијамо $\frac{f(v)}{f(v_n)} = \frac{v^2}{v_n^2} 10^{0.4343\left(1-\frac{v^2}{v_n^2}\right)}$ $\boxed{\textbf{2 п}}$ тј. $\frac{f(v_z)}{f(v_n)} = 755.37 \cdot 10^{-327.62}$ $\boxed{\textbf{1 п}}$ и $\frac{f(v_m)}{f(v_n)} = 34.195 \cdot 10^{-14.4}$ $\boxed{\textbf{1 п}}$. Користећи број цифара ван експонента и заокруживањем броја у експоненту на најближи већи цео број добијамо $r_m \approx -15 + 2 = -13$ $\boxed{\textbf{2 п}}$ и $r_z \approx -328 + 3 = -325$ $\boxed{\textbf{2 п}}$(признати пун број поена за опсег ± 2 за Месец и ± 5 за Земљу). Из рачуна се види, иако је однос вероватноћа и за Месец мали, да могао би то бити фактор истицања гаса из атмосфере на великим временским скалама, док је однос у случају планете Земље толико мали да се може сматрати потпуно занемарљивим, те да Земља далеко боље задржава атмосферу од Месеца $\boxed{\textbf{2 п}}$.



слика 1



слика 2



слика 3

Задатке припремили: ***Михаило Чубриловић***, Институт за физику, Београд
Александар Буква, Институт за физику, Београд
Рецензент: ***др Никола Петровић***, Институт за физику, Београд
Председник Комисије за такмичења средњих школа: ***др Божидар Николић***, Физички факултет, Београд