ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА
ШКОЛСКЕ 2025/2026. ГОДИНЕ

Друштво физичара Србије и
Министарство просвете Републике Србије
РЕШЕЊА – АЛФА КАТЕГОРИЈА

II разред

ОКРУЖНИ НИВО
14. март 2026.

1. По услову задатка, мушице се крећу слично молекулима идеалног гаса. Самим тим, за одређивање силе којом мушице делују на поклопац, можемо користити закон идеалног гасног стања $pV = Nk_BT$ $\boxed{\textbf{5п}}$. Просечна брзина којом се креће један молекул гаса је дата као $v \sim \sqrt{\frac{k_BT}{m}}$ $\boxed{\textbf{5п}}$ (тачан нумерички фактор од $\frac{8}{\pi}$ нам није битан за процену, дати максималан број поена ако је ученик навео било коју брзину $c\sqrt{\frac{k_BT}{m}}$, где је c нумерички фактор реда један), односно $k_BT \sim mv^2$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Силу којом мушице делују на поклопац рачунамо као $F = pS = pR^2\pi$ $\boxed{\textbf{1п+1п}}$, те комбиновањем претходних једначина имамо $F = \frac{N}{V}R^2\pi mv^2 = 1{,}256\ \mathrm{N} \approx 1\ \mathrm{N}$ $\boxed{\textbf{5п+1п}}$.

   Алтернативно решење 1: Ученик не мора нужно уочити аналогију са идеалним гасом (иако је наредно извођење у суштини репродукција извођења једначине $pV = nRT$ из уџбеника). Сила којом мушице делују на поклопац једнака је промени импулса у јединици времена $\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Импулс једне мушице је $\vec{p} = m\vec{v}$ $\boxed{\textbf{1п}}$. Ако се поклопац налази у $x-y$ равни, од интереса нам је само z-компонента импулса $\boxed{\textbf{2п}}$. Како је у питању процена, довољно је уочити да ће средња вредност ове компоненте бити једнака $\langle p_z\rangle = cmv$, где је c константа реда величине један. Од укупног броја мушица, очекивано је да се у средњем половина креће ка поклопцу, док се друга половина креће у супротном смеру (мада нам за процену ова констатација није неопходна). Концентрација мушица износи $n = N/V$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Занемарујући све нумеричке факторе реда величине један, имамо да је укупан број мушица који ударе у поклопац једнак $nSv\Delta t$ $\boxed{\textbf{2п}}$, где је $S = R^2\pi$ $\boxed{\textbf{1п}}$. Приликом еластичног одбијања од поклопца, промена импулса мужице дуж z-осе износи $2p_z = 2mv_z$ $\boxed{\textbf{2п}}$, те је укупна промена импулса свих мушица које ударе у поклопац за време Δt једнака (изостављајући опет за процену небитне нумеричке факторе) $nSmv^2\Delta t$ $\boxed{\textbf{5п}}$. Стога, силу налазимо као $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{N}{V}R^2\pi mv^2 = 1{,}256\ \mathrm{N} \approx 1\ \mathrm{N}$ $\boxed{\textbf{2п+1п}}$.

   Алтернативно решење 2: По услову задатка, мушице се крећу слично молекулима идеалног гаса. Силу којом мушице делују на поклопац рачунамо као $F = pS = pR^2\pi$ $\boxed{\textbf{1п+ 1п}}$, где је p притисак. За идеалан гас важи $p = \frac{1}{3}nmv_k^2$, где је v_k средња квадратна брзина молекула идеалног гаса, коју за потребе процене можемо узети једнаком брзини v из задатка $\boxed{\textbf{11п}}$. Такође, нумерички фактор 1/3 нам за потребе процене није важан (али признавати и решење у којем је овај фактор задржан, видети напомену испод). Како је концентрација $n = \frac{N}{V}$ $\boxed{\textbf{1п}}$, комбинујући претходне изразе долазимо до $F = \frac{N}{V}R^2\pi mv^2 = 1{,}256\ \mathrm{N} \approx 1\ \mathrm{N}$ $\boxed{\textbf{5п+1п}}$.

   Напомена: како је у питању процена, са максималним бројем поена оценити и решење у ком је ученик изоставио било који нумерички фактор реда величине један, али и ако је задржао све нумеричке факторе у оквиру свог модела. На пример, ако је ученик брзину v из задатка изјенačио са средњом брзином кретања молекула $\sqrt{\frac{8k_BT}{\pi m}}$, или ако је изједначио са средњом квадратном брзином $\sqrt{\frac{3k_BT}{m}}$, признати. Ове разлике у нумеричким константама могу проузроковати нумеричко решење које је и до десет пута мање/веће од израчунатог.

2. Применом Бернулијеве једначине између тачке A и тачке тока непосредно изван гуме имамо $p = p_0 + \rho\frac{v^2}{2}$ $\boxed{\textbf{5п}}$, где је v брзина којом флуид излази кроз отвор, односно $v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. По услову задатка, важи $\Delta p = 0{,}1\,p_0$, те је $v = 4{,}47\ \mathrm{m/s}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Након изласка флуида кроз отвор, путања истог је одређена законом хоризонталног хица: хоризонтална компонента брзине се не мења $\boxed{\textbf{2п}}$, $v_x = \sqrt{\frac{0{,}2\,p_0}{\rho}}$, док у вертикалном правцу флуид слободно пада. Време између проласка неког делића флуида кроз отвор и падања на подлогу је $t = \sqrt{\frac{2R}{g}}$ $\boxed{\textbf{4п}}$, одакле имамо да је тражено растојање једнако $R + \sqrt{\frac{0{,}4Rp_0}{\rho g}} = 2{,}16\ \mathrm{m}$ $\boxed{\textbf{4п+1п}}$ (одузети укупно један поен уколико је такмичар заборавио да дода растојање R у последњем изразу).

3. За мало време Δt кроз цев протекне запремина воде $\Delta V = Sv\Delta t$ $\boxed{\textbf{3п}}$, gde je $S = \frac{D^2\pi}{4}$ $\boxed{\textbf{1п}}$. Да би одредили укупну запремину, можемо приступити на два начина.

   Први начин: Прве $T_1 = 2\ \mathrm{s}$, течност има константно убрзање $a = 0{,}2/2\ \mathrm{m/s^2} = 0{,}1\ \mathrm{m/s^2}$ $\boxed{\textbf{4п}}$, те је по аналогији са убрзаним кретањем укупна запремина воде која прође крај сензора једнака $V_1 = S\frac{aT_1^2}{2}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Током наредних $T_2 = 8\ \mathrm{s}$, проток воде је константан и укупна запремина која прође крај сензора износи $V_2 = vST_2$ $\boxed{\textbf{3п}}$, где је $v = 0{,}2\ \mathrm{m/s}$. Укупна запремина је једнака $V = V_1 + V_2 = 1{,}27\ \mathrm{dm^3}$ $\boxed{\textbf{2п}}$.

Задатке припремили: *Душан Ђорђевић*, Физички факултет, Универзитет у Београду, *Милена Живковић* и *Момир Арсенијевић*, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу.
Рецензент: *Никола Коњик*, Физички факултет, Универзитет у Београду.
Председник Комисије за такмичења ученика средњих школа: *проф. др Имре Гут*, Универзитет у Новом Саду.

Други начин: Укупна запремина воде која прође крај сензора једнака је производу површине испод графика на слици и површине попречног пресека цеви S $\boxed{\textbf{7п}}$. Та површина је једнака $(0{,}2 \cdot 8 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0{,}2)\ \mathrm{m} = 1{,}8\ \mathrm{m}$ $\boxed{\textbf{2п}}$, те је укупна запремина једнака $V = 1{,}27\ \mathrm{dm}^3$ $\boxed{\textbf{2п}}$.

Маса воде је једнака $m = \rho V = 1{,}27\ \mathrm{kg}$ $\boxed{\textbf{1п}}$. Приликом грејања воде, важи $Pt = mc\Delta T$ $\boxed{\textbf{1п}}$, где је $\Delta T = 80\ \mathrm{K}$ $\boxed{\textbf{1п}}$. Према томе, време потребно да се вода загреје до температуре од $100\ ^\circ\mathrm{C}$ износи $t = \frac{mc\Delta t}{P} = 426{,}7\ \mathrm{s}$ $\boxed{\textbf{1п+1п}}$.

4. Процес $1-2$ је изобарски, те је рад који је гас извршио у том процесу једнак $A = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1)$ $\boxed{\textbf{4п+2п}}$. У процесу $2-3$, први закон термодинамике даје $Q = A' + \Delta U$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Хелијум је једноатомски гас $\boxed{\textbf{3п}}$, те важи $\Delta U = \frac{3}{2}R(T_3 - T_2)$ $\boxed{\textbf{3п}}$. Из услова задатка имамо $Q = \frac{R}{2}(T_3 - T_2)$ $\boxed{\textbf{3п}}$. Како је $T_3 = T_1$, комбиновањем претходних једначина добијамо $A' = A$ $\boxed{\textbf{3п}}$.

5. По услову задатка, имамо $T_h = (273{,}15 + 15)\ \mathrm{K} = 288{,}15\ \mathrm{K}$ $\boxed{\textbf{3п}}$, као и $T_g = (273{,}15 + 550)\ \mathrm{K} = 823{,}15\ \mathrm{K}$ $\boxed{\textbf{3п}}$ (признати све поене и уколико је коришћена разлика од 273 K између Келвинове и Целзијусове скале). Коефицијент корисног дејства Карноове топлотне машине која ради између два резервоара на температурама T_g и T_h је дат као $\eta_\mathrm{K} = 1 - \frac{T_h}{T_g}$ $\boxed{\textbf{3п}}$. Рад који би Карноова топлотна машина извршила је $A_\mathrm{K} = \eta_\mathrm{K}\, Q = 0{,}65\, Q = 3{,}9 \cdot 10^{13}\ \mathrm{J}$ $\boxed{\textbf{5п+2п}}$. По Карноовој теореми, односно по другом принципу термодинамике, највећи коефицијент корисног дејства од свих машина које фукционишу између два резервоара имају управо реверзибилне топлотне машине, и он је дат формулом $\eta_\mathrm{max} = 1 - \frac{T_h}{T_g}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Сходно томе, рад који топлотна машина изврши у стварности не сме бити већи од управо израчунатог рада A_K. Како је $A = 5 \cdot 10^{13}\ \mathrm{J} > A_\mathrm{K}$, у извештају из термоелектране је начињена грешка $\boxed{\textbf{2п}}$.

Напомена: Није могуће доделити последња четири поена уколико је ученик само прокоментарисао да су подаци из извештаја нетачни, без да је икако образложио ту тврдњу.

Максималним бројем поена оценити и сваки други смислен поступак који води до тачног решења. Уколико је у кључу дато више начина решавања истог дела задатка, бодовати *само* по оном који је погоднији за ученика, без сабирања поена за оба понуђена начина.

Задатке припремили: *Душан Ђорђевић*, Физички факултет, Универзитет у Београду, *Милена Живковић* и *Момир Арсенијевић*, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу.
Рецензент: *Никола Коњик*, Физички факултет, Универзитет у Београду.
Председник Комисије за такмичења ученика средњих школа: *проф. др Имре Гут*, Универзитет у Новом Саду.