

**25. РЕГИОНАЛНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА
РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ (17. март 2018)**

II РАЗРЕД

1. Кружни процес у којем учествује двоатомни гас састоји се од двије изохоре ($V_1 = 2 \text{ m}^3$ и $V_2 = 4 \text{ m}^3$) и двије изобаре ($p_1 = 12 \text{ kPa}$ и $p_2 = 16 \text{ kPa}$). Укупан рад гаса у циклусу је позитиван. Наћи количину топлоте коју гас прими од гријача, количину топлоте коју предаје хладњаку и степен корисног дејства циклуса.
2. У суду А константне запремине $V_A = 81$ налази се идеалан гас на температури $T_0 = 300 \text{ K}$ и притиску $p_1 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Овај суд је повезан кратком уском цјевчицом занемарљиве запремине са судом В константне запремине $V_B = 21$ у коме је вакуум. У цјевчици је постављен вентил који, кад је отворен, дозвољава да гас из суда А прелази у суд В само ако је притисак у суду А већи од притиска у суду В за $\Delta p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Колики ће бити притисци у оба суда ако се при отвореном вентилу читав систем загрије на температуру $T = 400 \text{ K}$.
3. У вертикалном цилиндру површине попречног пресека $S = 0,01 \text{ m}^2$, испод клипа масе $m = 1 \text{ kg}$, налази се идеални једноатомски гас. Гасу доводимо, преко гријача, одређену количину топлоте брзином од $q = \Delta Q / \Delta t = 0,1 \text{ J/s}$. Цилиндар је топлотно изолован од околине. Израчунајте брзину v којом се креће клип услед загријавања гаса, сматрајући да је та брзина константна. Атмосферски притисак износи $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$. Узети да је $g = 10 \text{ m/s}^2$.
4. Боца испуњена азотом под притиском $1,5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ на температури 27°C има масу 97 kg . Део азота је потрошен, па је у боци при температури -3°C , притисак $6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$, а маса боце је $93,5 \text{ kg}$. Колика је маса азота остала у боци?
5. У топлотно изолованом цилиндричном суду попречног пресека 1000 cm^2 под лаким клипом налази се 1 kg воде на температури 0°C . У воду се убаци комад гвожђа масе 1 kg и температуре 1100°C . За колико ће се подићи клип? Атмосферски притисак је $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$. Специфични топлотни капацитет гвожђа је $0,5 \text{ kJ/kgK}$. Трење и топлотни капацитет суда и клипа су занемарљиви. ($M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$, $\lambda = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$, $c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/(kg K)}$)

Задатке припремио: Жељко Станишић, проф.
Рецензент: Проф. др Милан Пантић, ПМФ, Нови Сад

РЈЕШЕЊА ЗАДАТАКА ЗА П РАЗРЕД

1. Дати циклус приказан је у p - V дијаграму (слика). У делу процеса 1-2-3 гас прима топлоту од грејача: $Q_G = Q_{12} + Q_{23}$. У делу процеса 1-2 не мења се запремина па важи:

$$Q_{12} = \Delta U = nC_V \Delta T = \frac{5}{2} nR(T_2 - T_1) = \frac{5}{2} (p_2 - p_1)V_1 \quad \text{или након замјене бројних вриједности}$$

добивамо: $Q_{12} = \frac{5}{2} (32 - 24) \text{ kJ} = 20 \text{ kJ}$. У делу процеса 2-3 притисак је константан па важи:

$$Q_{23} = nC_p \Delta T = \frac{7}{2} nR(T_3 - T_2) = \frac{7}{2} (V_2 - V_1)P_2 \quad \text{или} \quad Q_{23} = \frac{7}{2} (64 \text{ kJ} - 32 \text{ kJ}) = 112 \text{ kJ} .$$

Топлота коју гас прими од грејача је: $Q_G = 20 \text{ kJ} + 112 \text{ kJ} = 132 \text{ kJ}$.

Слично, у делу 3-4-1 гас предаје део топлоте хладњаку: $Q_H = Q_{34} + Q_{41}$. У процесу 3-4 је

$V = \text{const}$ и имамо, $Q_{34} = \nu C_V \Delta T$,

$$Q_{34} = \frac{5}{2} (nRT_4 - nRT_3) = \frac{5}{2} (p_1 V_2 - p_2 V_2),$$

$Q_{34} = \frac{5}{2} (48 \text{ kJ} - 64 \text{ kJ}) = -40 \text{ kJ}$, док у процесу 4-1 је притисак константан па важи:

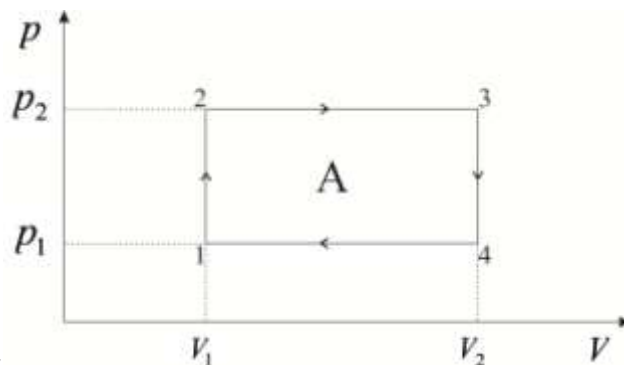
$$Q_{41} = nC_p \Delta T = \frac{7}{2} (nRT_1 - nRT_4) = \frac{7}{2} (p_1 V_1 - p_1 V_2)$$

, $Q_{41} = \frac{7}{2} (24 \text{ kJ} - 48 \text{ kJ}) = -84 \text{ kJ}$. Дакле,

количина топлоте коју гас преда хладњаку је: $Q_H = -40 \text{ kJ} + (-84 \text{ kJ}) = -124 \text{ kJ}$. Рад у овом циклусу једнак је површини правоугаоника: $A = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1) = 8 \text{ kJ}$.

Коначно, коефицијент корисног дејства је према дефиницији једнак је количнику рада који гас изврши у једном циклусу и количине топлоте коју при томе апсорбује:

$$\eta = A / Q_G = 8 \text{ kJ} / 132 \text{ kJ} = 0,06 \text{ или } \eta = 6\% .$$



2. За гас у суду А важи једначина стања: $p_{A0} V_A = nRT_0$, одакле је $n = p_{A0} V_A / RT_0 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / 8,314 \text{ J/molK} \cdot 300 \text{ K}$, или коначно: $n = 0,385 \text{ mola}$ (1).

Када се заврши загријавање гаса на $T = 400 \text{ K}$ број молова гаса у посуди А је $p_A V_A = n_1 RT$, одакле је $n_1 = p_A V_A / RT$ (2). Стање гаса у посуди В је $(p_A - \Delta p) V_B = n_2 RT$, или број молова у посуди В је: $n_2 = (p_A - \Delta p) V_B / RT$ (3).

Укупан број молова гаса је $n = n_1 + n_2$ (4).

Замјеном (1), (2) и (3) у (4) добијамо $p_{A0} V_A / RT_0 = p_A V_A / RT + (p_A - \Delta p) V_B / RT$, одакле налазимо притисак у посуди А, $P_A = (p_{A0} V_A T / T_0 + \Delta p V_B) / (V_A + V_B) = 1,58 \cdot 10^5$, односно притисак у посуди В, $P_B = P_A - \Delta p = 1,58 \cdot 10^5 \text{ Pa} - 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 8 \cdot 10^3 \text{ Pa}$.

3. Користимо први закон термодинамике: $Q = \Delta U + A$, где је промена унутрашње енергије $\Delta U = 3/2 nR\Delta T$, а рад $A = p \Delta V = nR\Delta T$. Након замјене у полазну релацију добијамо: $Q = 3/2 nR\Delta T + nR\Delta T = 5/2 nR\Delta T$. С друге стране ово је једнако $q \Delta t$, тј.

$nR\Delta T = 2/5 q \Delta t$. Исто тако за рад можемо писати $nR\Delta T = A = p \Delta V = (p_0 + mg/S) S \Delta x$, тј. $2/5 q \Delta t = (p_0 + mg/S) S \Delta x$. Како је брзина клипа једнака $v = \Delta x / \Delta t$, коначно из последње формуле налазимо да је његова брзина: $v = (2/5 q) / (p_0 S + mg) = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

4. Означимо са m_1 укупну масу (боца+азот) пре испуштања азота, тј. $m_1 = m_B + m_A$, где је m_B маса боце а m_A маса азота у њој. Тада је $m_A = m_1 - m_B$ (1). Са m_2 означимо масу (боца+азот) након испуштања азота, $m_2 = m_B + m_{A1}$ или $m_{A1} = m_2 - m_B$ (2). Разлика (1) и (2) је:

$\Delta m_A = m_A - m_{A1}$ (3), односно $\Delta m_A = m_1 - m_B - m_2 + m_B = m_1 - m_2 = 97 \text{ kg} - 93,5 \text{ kg} = 3,5 \text{ kg}$.

На основу једначине стања, пре испуштања азота, можемо писати: $P_1 V = m_A / M R T_1$, и након испуштања азота: $p_2 V = m_{A1} / M R T_2$. Њихов однос даје: $p_1 / p_2 = m_A T_1 / m_{A1} T_2$ или $p_1 m_{A1} T_2 = p_2 T_1 m_A$ (4).

Из једначине (3) налазимо $m_A = \Delta m_A + m_{A1}$, које заменимо у (4) $p_1 m_{A1} T_2 = p_2 T_1 (\Delta m_A + m_{A1})$.

Даље имамо $p_1 m_{A1} T_2 = p_2 T_1 \Delta m_A + p_2 T_1 m_{A1}$ или

$p_1 m_{A1} T_2 - p_2 T_1 m_{A1} = p_2 T_1 \Delta m_A$, одакле налазимо $m_{A1} = p_2 T_1 \Delta m_A / (p_1 T_2 - p_2 T_1)$, тј.

$m_{A1} = p_2 T_1 (m_1 - m_2) / (p_1 T_2 - p_2 T_1)$. Замјеном бројних вредности, за масу азота која је остала у боци, добијамо $m_{A1} = 2,8 \text{ kg}$.

5. Када се врело гвожђе убаца у воду оно се хлади и ослобађа количину топлоте:

$Q_g = m_g c_g (t_g - t_{KV})$, где је t_{KV} температура кључања воде. Замјеном датих вредности добијамо $Q_g = 1 \text{ kg} \cdot 0,5 \cdot 10^3 \text{ J/kgK} (1100 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C}) = 500 \cdot 10^3 \text{ J}$.

Вода, која је била на $t_v = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, се загрије до кључања, па можемо писати: $Q_v = m_v c_v (t_{KV} - t_v) = 1 \text{ kg} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kgK} (100 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C}) = 420 \cdot 10^3 \text{ J}$.

Вода загријана до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ испарава преосталом количином топлоте гвожђа:

$Q = Q_g - Q_v = 80 \cdot 10^3 \text{ J}$. Како је $\lambda = Q / m$ одакле је $m = Q / \lambda = 80 \cdot 10^3 \text{ J} / 2,6 \cdot 10^6 \text{ J/kg} = 35,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ маса паре. Из једначине стања, $p_0 V = m / M R T$ тј.

$p_0 S h = m / M R T$, налазимо висину до које ће се подићи клип: $h = m R T / p_0 S M$. Замјеном познатих вредности коначно добијамо:

$h = 0,61 \text{ m}$.