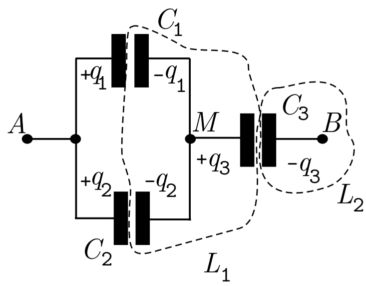
Решења задатака за републичко такмичење из физике ученика средњих школа, школске 2000/2001. год.
II разред

1. Промена унутрашње енергије гаса је $\Delta U = (n_1 + n_2)C_V(T - T_0)$, где су T_0 и T температуре гаса на почетку и на крају процеса, респективно. Да би одредили T температуру можемо цео процес да поделимо на три дела. У првом делу процеса се гас у левом делу суда сабија адијабатски све док његов притисак не постане једнак притиску гаса у десном делу суда. Знајући да су притисци на почетку процеса били $p_1 = \frac{n_1 RT_0}{Sh}$ и $p_2 = \frac{n_2 RT_0}{Sh}$, добија се за температуру гаса у левом делу суда, на крају овог дела процеса $T_1 = T_0(p_1/p_2)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_0(n_1/n_2)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 1.219T_0$. У другом делу процеса клип мирује, а вентил је отворен, па долази до мешања гаса из левог и десног дела суда. При том је промена унутрашње енергије једнака нули (нема споља доведене топлоте и систем као целина не врши рад). Користећи ово налази се равнотежна температура која се успостави у оба дела суда по отварању вентила: $\Delta U_1 + \Delta U_2 = n_1 C_V(T_2 - T_1) + n_2 C_V(T_2 - T_0) = 0$, па је $T_2 = \frac{n_1 T_1 + n_2 T_0}{n_1 + n_2} = 1.073T_0$. У трећем делу процеса, гас у левом и десном делу суда се сабија адијабатски све док клип не дође до преграде. Крајња температура је $T = T_2(V_2/V)^{\gamma-1} = T_2(1 + \Delta h/h)^{\gamma-1}$, где је Δh растојање између клипа и преграде у тренутку отварања вентила и износи $\Delta h = h(n_1/n_2)^{\frac{1}{\gamma}}$, па је $T = T_2\left(1 + h(n_1/n_2)^{\frac{1}{\gamma}}\right)^{\gamma-1} = 1.298T_0$. Промена унутрашње енергије у целом процесу је $\Delta U = (n_1 + n_2)C_V(T - T_0) = 5.076kJ$. Како се у процесу гасу не доводи топлота, то је рад који гас изврши $A = -\Delta U$, па је рад који се изврши при померању клипа $A' = -A - p_a Sh = 4.571kJ$.

2. У почетном тренутку еквивалентни капацитет између тачака A и M, као и између M и B је $2C$, па је $U_{AM} = U_{MB} = U/2$. Примењујући закон одржања наелектрисања на област ограничену са L_1, добија се $q_1 + q_2 = q_3 = q$, па из $q_1 = U_{AM}C = q_2$ закључујемо да је $q_1 = q_2 = q/2$. По истеку времена t наелектрисања на плочама кондензатора су $q_i' = q_i + \Delta q_i$, $i = 1, 2, 3$. Примењујући поново закон одржања наелектрисања на област ограничену са L_1 добија се $\Delta q_1 + \Delta q_2 = \Delta q_3$. Са друге стране, закон одржања наелектрисања се може применити и на област ограничену са L_2, одакле се добија $-q_3 - \Delta q_3 = -q_3$, тј. $\Delta q_3 = 0$, па је $\Delta q_2 = -\Delta q_1 = \Delta q$.



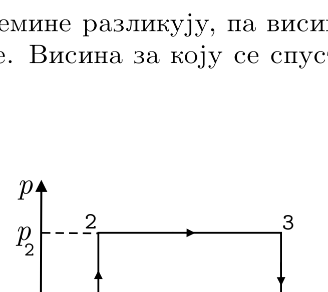
Услед кретања плоча кондензатора променио се и напон између тачака A и B (A и M као и M и B), па је сада $U'_{AM} = q_1'/C_1' = q_2'/C$. Знајући да је $q_1' = q/2 - \Delta q$, $q_2' = q/2 + \Delta q$ и $C_1' = Cd/(d - 2v_1 t)$, добија се $q = 2\Delta q(1 - d/v_1 t) = 30nC$. Тражена наелектрисања на кондензаторима по истеку времена t су $q_1' = q/2 - \Delta q = 20nC$, $q_2' = q/2 + \Delta q = 10nC$ и $q_3' = q_3 = 30nC$.

Капацитет C је $C = q/U = 0.60nF$. Напон између тачака A и B по истеку времена t је $U' = U'_{AM} + U'_{MB} = q_2'/C_2 + q_3'/C_3'$, где је $C_3' = 2C\frac{d}{d + v_1 t}$, па је $U' = U\frac{2d^2 - 2dv_1 t - v_1^2 t^2}{2d(d - v_1 t)} = 47.92V$.

3. Маса отопљеног леда ΔM се налази из једначине топлотне равнотеже $\Delta M\lambda = MC_v\Delta t$, па је $\Delta M = \frac{C_v \Delta t}{\lambda}M = 0.382M$.Одавде се види да топлота ослобођена хлађењем воде од $t_2 = 30°C$ до $t_1 = 0°C$ није довољна да отопи сав лед, па ће равнотежна температура бити $t = 0°C$.

   Отопљеној маси леда ΔM одговара маса воде ΔM, али се њихове запремине разликују, па висини h_l отопљеног слоја леда одговара висина $h_v = \frac{\rho_1}{\rho_2}h_l$ добијеног слоја воде. Висина за коју се спусти ниво воде је $\Delta H = h_l - h_v = h_l(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}) = H\frac{C_v\Delta t}{\lambda}\left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1\right) = 0.66cm$.

4. Делови циклуса $1-2$ и $3-4$ су изохорско загревање (хлађење) гаса, док деловима $2-3$ и $4-1$ одговара изобарско ширење (сабијање) гаса, па циклус на pV дијаграму изгледа као на слици. Коефициијент корисног дејства је $\eta = A/Q$, где је A рад који гас изврши у току једног циклуса, а Q количина топлоте коју гас прими у току једног циклуса. Извршени рад је $A = (V_2 - V_1)(p_2 - p_1) = p_1V_1(a - 1)^2$, јер је $p_2 = p_1(V_2/V_1) = ap_1$. Гас прима топлоту у $1-2$ и $2-3$ деловима циклуса $Q_{12} = \Delta U_{12} = nC_V(T_2 - T_1) = 3/2p_1V_1(a - 1)$ и $Q_{23} = nC_p(T_3 - T_2) = 5/2p_1V_1a(a - 1)$, па је $Q = Q_{12} + Q_{23}$. Замењујући ово добија се за коефицијент корисног дејства $\eta = \frac{2(a-1)}{3+5a} = \frac{2}{9} = 0.222$.



   Промена ентропије у делу циклуса $2-3-4$ једнака је промени ентропије система када би се кретали по изотерми $2-4$, јер је ентропија, као и унутрашња енергија, функција стања (не зависи од пута којим се дође у дато стање). Користећи ово добија се $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = nR\ln\frac{V_2}{V_1} = nR\ln a = 9.134J/K$.