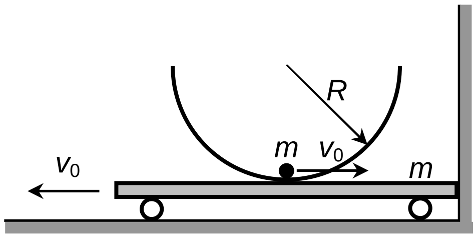
A 31. Mikola Sándor Fizikaverseny feladatainak megoldása
Döntő - Gimnázium 10. osztály
Pécs 2012

1. feladat:

a) Legyen a fallal való ütközés utáni pillanatban a kocsi sebessége u_1, a testé pedig u_2! A kocsi sebessége a fallal való rugalmas ütközés után ellentétes irányúra változik, a testé pedig nem változik.



$$\boxed{u_1 = -\upsilon_0 = -1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}},}$$

$$\boxed{u_2 = \upsilon_0 = 1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.}$$

2 pont

b) Az ütközés utáni pillanatban a kocsi nem gyorsul, és a test a félgömbhöz viszonyítva mozog körpályán. A dinamika alapegyenletéből:

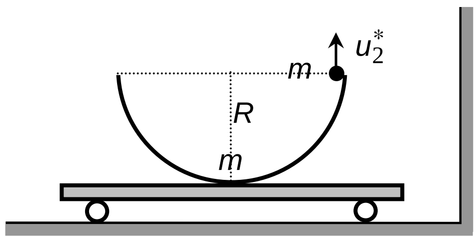
$$m\frac{\upsilon_\mathrm{r}^2}{R} = F_\mathrm{k} - mg,$$

$$m\frac{4\upsilon_0^2}{R} = F_\mathrm{k} - mg,$$

$$\boxed{F_\mathrm{k} = m\left(\frac{4\upsilon_0^2}{R} + g\right) = 27,\dot{2}\ \mathrm{N}.}$$

2 pont

c) Ebben a pillanatban a test relatív sebessége függőleges irányú, tehát vízszintes irányban azonos u_1^* sebességgel mozognak. A vízszintes irányú lendület-megmaradásból:



$$m\upsilon_0 - m\upsilon_0 = 2mu_1^*,$$

$$\boxed{u_1^* = 0.}$$

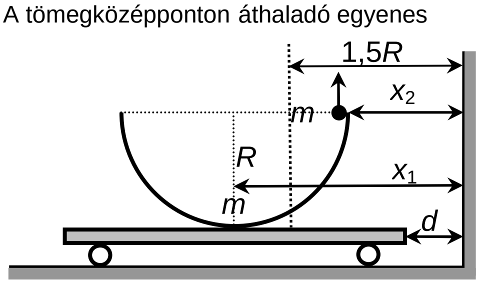
Ez azt jelenti, hogy ebben a pillanatban a kocsi megáll. A test függőleges irányú sebességét az energia-megmaradásból számolhatjuk.

$$\frac{1}{2}m\upsilon_0^2 + \frac{1}{2}m\upsilon_0^2 = mgR + \frac{1}{2}m\left(u_2^*\right)^2,$$

$$\boxed{u_2^* = \sqrt{2\upsilon_0^2 - 2gR} \approx 0,45\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.}$$

3 pont

d) Legyen a kérdéses pillanatban a kocsi és félgömb alkotta rendszer tömegközéppontja a faltól x_1 távolságra, az R magasságban lévő test pedig x_2 távolságra! Az ütközés utáni pillanatban a rendszer tömegközéppontjának sebessége:



$$v_{\mathrm{Tk}} = \frac{mv_0 - mv_0}{m+m} = 0\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

A rendszer további mozgása során a vízszintes irányú külső erők eredője zérus, ami azt jelenti, hogy a tömegközéppont vízszintesen nem mozdul el, azaz végig 1,5*R* távolságra lesz a faltól. Ezt felhasználva:

$$1{,}5R = \frac{mx_1 + mx_2}{2m},$$

$$1{,}5R = \frac{m(x_2 + R) + mx_2}{2m},$$

$$\boxed{x_2 = R = 9\ \mathrm{cm}.}$$

$$x_1 = x_2 + R = 2R.$$

A kocsi jobb oldali végének a faltól mért *d* távolsága:

$$\boxed{d = x_1 - 1{,}5R = \frac{1}{2}R = 4{,}5\ \mathrm{cm}.}$$

3 pont

Összesen: 10 pont

2. feladat:

a) Legyen az egyensúlyi helyzetben a bezárt gáz nyomása p_1, a kötélben ébredő erő K, az alsó dugattyú tömege m_1! A dinamika alapegyenletéből:

$$m_2 a_2 = p_1 A_2 - p_0 A_2 - m_2 g,$$

$$p_1 = p_0 + \frac{m_2 (g + a_2)}{A_2} = 1{,}4 \cdot 10^5 \text{ Pa}.$$

A felső dugattyú egyensúlyi feltételéből:

$$p_0 A_2 + m_2 g + K - p_1 A_2 = 0,$$

$$K = (p_1 - p_0) A_2 - m_2 g,$$

$$\boxed{K = m_2 a_2 = 270 \text{ N}.}$$ **2 pont**

Az alsó dugattyú egyensúlyi feltételéből:

$$p_1 A_1 + m_1 g - p_0 A_1 - K = 0,$$

$$\boxed{m_1 = \frac{K - (p_1 - p_0) A_1}{g} = 3 \text{ kg}.}$$ **2 pont**

b) A bezárt gáz nyomását a külső légnyomás és dugattyúk paramétereivel is kifejezhetjük:

$$p_1 = p_0 + \frac{(m_1 + m_2) g}{A_2 - A_1}.$$

Ebből is látható, hogy lassú melegítés esetén a gáz nyomása állandó marad. Izobár folyamat játszódik le. Melegítés esetén a gáz térfogatának növekedni kell, tehát a dugattyú felfelé mozdul el. Legyen a keresett elmozdulás s!

A közölt hő és a végzett munka:

$$Q = C_{\mathrm{m},p} \cdot n (T_2 - T_1),$$

$$Q = \frac{7}{2} R \cdot n (T_2 - T_1),$$

$$W^* = nR \cdot (T_2 - T_1).$$

Ezekből:

$$W^* = \frac{2}{7} Q = 70 \text{ J}.$$

A végzett tágulási munka:

$$W^* = p_1 s (A_2 - A_1).$$

A keresett elmozdulás:

$$s = \frac{2}{7}\frac{Q}{p_1(A_2 - A_1)},$$

$$\boxed{s = \frac{2}{7}\frac{Q}{p_0(A_2 - A_1) + (m_1 + m_2)g} = 0{,}25 \text{ m.}}$$

4 pont

c) Legyen a gáz kezdeti térfogata V_0. kezdeti hőmérséklete T_0, a keresett hőmérséklet-változás ΔT! A feltétel szerint a dugattyú maximális elmozdulása L. Az állapotegyenletet a két állapotra felírva:

$$p_1 V_0 = nRT_0,$$

$$p_1(V_0 + L(A_2 - A_1)) = nR(T_0 + \Delta T).$$

Ezekből:

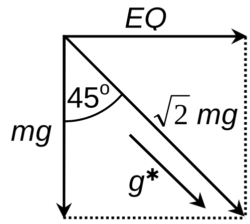
$$\boxed{\Delta T = \frac{p_1 L(A_2 - A_1)}{nR} = 50{,}52 \text{ K.}}$$

2 pont

Összesen: 10 pont

3. feladat:

a) Az ilyen a térbe behelyezett *m* tömegű, *Q* töltésű testre két egymásra merőleges erő hat, így:

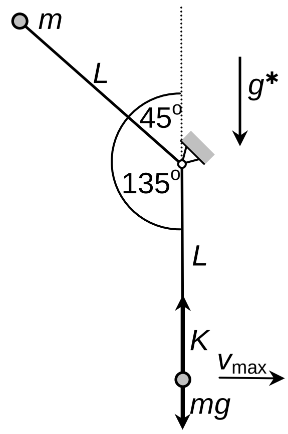


$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{EQ}{mg},$$

$$EQ = mg\cdot \mathrm{tg}45^{\circ} = mg.$$

Az *m* tömegű test mozgását egyszerűbben úgy is vizsgálhatjuk, hogy rá egy $\sqrt{2}mg$ nagyságú, a függőleges iránnyal 45°-os szöget bezáró állandó erő hat, azaz a test egy, $g^{*} = \sqrt{2}g$ gyorsulású térben van. Ugyanilyen térben van a merev pálcán mozgó test is. Fordítsuk el az ábrát 45°-kal!

A pálca végén lévő test sebessége akkor maximális, amikor a pálca a g^{*} vektor irányába mutat, azaz a pálcára merőleges erők eredője zérus. A munkatételből:



$$\frac{1}{2}mv_{\max}^{2} = mg^{*}\left(1+\frac{\sqrt{2}}{2}\right)L,$$

$$v_{\max} = \sqrt{2g^{*}\left(1+\frac{\sqrt{2}}{2}\right)L},$$

$$\boxed{v_{\max} = \sqrt{2\left(1+\sqrt{2}\right)gL}.}$$

3 pont

b) Legyen a pálcában ébredő erő *K*! A dinamika alapegyenletéből:

$$m\frac{v_{\max}^{2}}{L} = K - mg^{*},$$

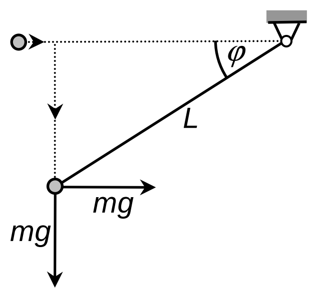
$$K = m\left(\frac{v_{\max}^{2}}{L} + g^{*}\right),$$

$$\boxed{K = \left(2+3\sqrt{2}\right)mg.}$$

2 pont

c) Ebben a rendszerben a munkatételből (energia-megmaradásból) következik, hogy a test a megállás pillanatában a kiindulási helyzettel megegyező magasságba kerül, azaz a rúd összesen 270°-kal fordul el. Ez azt jelenti, hogy a pálca az eredeti rendszerben függőlegesen áll meg először. **2 pont**

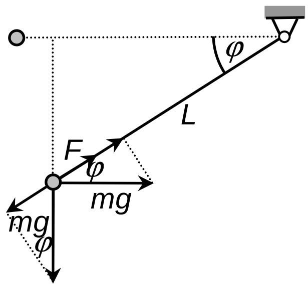
d) A feladatnak ezt a részét vizsgáljuk az eredeti rendszerben! Legyen az ábrán látható helyzetben a test sebessége *v*, a pálcában ébredő erő *F*! A munkatételből:



$$\frac{1}{2}mv^{2} = mgL\sin\varphi + mgL(1-\cos\varphi),$$

$$\upsilon^2 = 2gL(\sin\varphi + 1 - \cos\varphi).$$

A dinamika alapegyenletét sugár irányba felírva:



$$m\frac{\upsilon^2}{L} = F + mg\cos\varphi - mg\sin\varphi,$$

$$F = m\frac{\upsilon^2}{L} + mg\sin\varphi - mg\cos\varphi,$$

$$F = mg(3\sin\varphi - 3\cos\varphi + 2).$$

A pálca akkor lesz feszültségmentes, ha a benne ébredő erő zérus, azaz

$$3\sin\varphi - 3\cos\varphi + 2 = 0,$$

$$\cos\varphi - \sin\varphi = \frac{2}{3}.$$

Négyzetre emelve:

$$\cos^2\varphi - 2\sin\varphi\cos\varphi + \sin^2\varphi = \frac{4}{9},$$

$$\sin 2\varphi = \frac{5}{9},$$

$$\boxed{\varphi_1 = 16{,}87^\circ.}$$

A feladat *a*) részében láthattuk, hogy a mozgásban az indulástól a megállásig szimmetria uralkodik. Ennek értelmében, ha az indulástól számított φ_1 szögelfordulásnál a pálcában ébredő erő zérus, akkor a megállás előtti φ_1 szögnél, azaz kezdethez képest

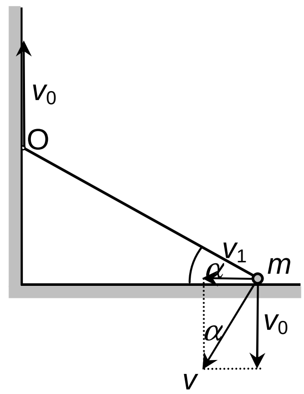
$$\boxed{\varphi_2 = 270^\circ - \varphi_1 = 253{,}13^\circ}$$ **3 pont**

szögelfordulásnál is zérus lesz. Tehát két eset létezik.

Összesen: 10 pont

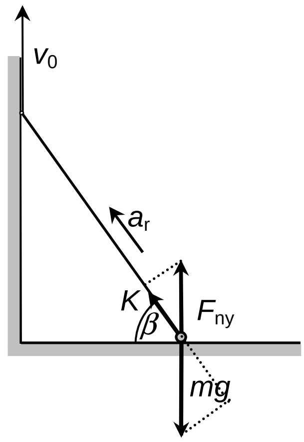
4. feladat:

1. megoldás:



a) Rögzítsük a vonatkoztatási rendszer kezdőpontját a fonál bal oldali végéhez (O)! Ebben a vonatkoztatási rendszerben a test az O pont körül olyan változó sebességű körmozgást végez, amelynek függőleges komponense végig υ_0, vízszintes sebességkomponens nagysága pedig egyenlő a talajhoz viszonyított vízszintes irányú υ_1 sebességgel:

$$\boxed{\upsilon_1 = \upsilon_0 \operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{2\sqrt{3}}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 0{,}289\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.}$$ **2 pont**



b) Vizsgáljuk a test mozgását a fonál elszakadásának pillanatáig dinamikai szempontból! Mivel a test függőleges irányba nem gyorsul, ezért a függőleges irányú erőkomponensek eredője zérus:

(1) $$K\sin\beta + F_{\mathrm{ny}} - mg = 0.$$

A dinamika alapegyenletét az O középpontú körmozgásra felírva:

(2) $$ma_{\mathrm{cp}} = K + F_{\mathrm{ny}}\sin\beta - mg\sin\beta.$$

A centripetális gyorsulás pedig a következőképpen számolható:

$$a_{\mathrm{cp}} = \frac{\upsilon_0^2}{L\cos^2\beta}.$$

A nyomóerőt kiküszöbölve a három egyenletből ez adódik:

$$K\left(1-\sin^2\beta\right) = \frac{m\upsilon_0^2}{L\cos^2\beta}.$$

Ebből a keresett szög a fonál elszakadásának pillanatában:

$$\cos\beta = \sqrt[4]{\frac{m\upsilon_0^2}{KL}} = \frac{1}{2},$$

$$\boxed{\beta = 60^{\circ}.}$$ **4 pont**

c) A test felemelkedésének pillanatában a nyomóerő zérussá válik. Legyen a keresett szög γ! Ennek figyelembe vételével az (1), (2) egyenletek így alakulnak:

$$K\sin\gamma - mg = 0,$$

$$ma_{\mathrm{cp}} = K - mg\sin\gamma.$$

Ezekből:

$$\frac{\cos^4\gamma}{\sin\gamma} = \frac{v_0^2}{gL},$$

$$40\cos^4\gamma = \sin\gamma.$$

A keresett γ szög közelítő értéke:

$$\boxed{\gamma \approx 67{,}1^\circ.}$$

3 pont

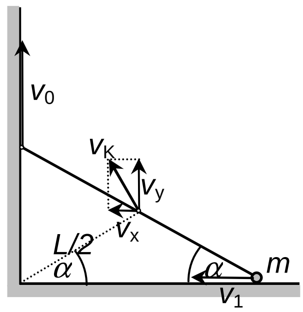
d) A fonalat legalább a következő erőre kell méretezni:

$$\boxed{K^*_{\min} = \frac{mg}{\sin\gamma} \approx 10{,}9\ \text{N}.}$$

1 pont

2. megoldás:

a) Legyen test keresett sebessége v_1, a fonál felezőpontjának sebessége v_K! Tháles-tétel értelmében a fonál felezőpontja körpályán mozog, továbbá sebességének vízszintes és függőleges komponensére igaz, hogy



$$v_x = \frac{v_1}{2}, \qquad v_y = \frac{v_0}{2}, \qquad v_x = v_y \operatorname{tg}\alpha.$$

Így:

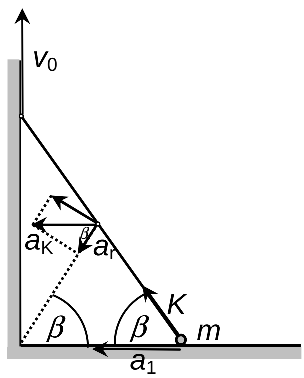
$$v_1 = 2v_x,$$

$$v_1 = 2v_y \operatorname{tg}\alpha,$$

$$\boxed{v_1 = v_0 \operatorname{tg}\alpha = 0{,}289\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.}$$

2 pont

b) A fonál felezőpontja függőleges irányba nem gyorsul, tehát az érintő irányú és sugár irányú gyorsulásainak eredője vízszintes irányú. A sugár irányú gyorsulás:



$$a_r = \frac{v_K^2}{\frac{L}{2}} = \frac{2v_K^2}{L},$$

ahol

$$v_K = \frac{v_0}{2\cos\beta}.$$

$$a_r = \frac{v_0^2}{2L\cos^2\beta}.$$

A fonál felezőpontjának vízszintes irányú gyorsulása:

$$a_{\mathrm{K}} = \frac{a_{\mathrm{r}}}{\cos\beta} = \frac{v_0^2}{2L\cos^3\beta}.$$

A feladat geometriájából következik, hogy az m tömegű test vízszintes irányú a_1 gyorsulása:

$$a_1 = 2a_{\mathrm{K}} = \frac{v_0^2}{L\cos^3\beta}.$$

A dinamika alapegyenletét az m tömegű test mozgására felírva:

$$ma_1 = K\cos\beta,$$

$$m\cdot\frac{v_0^2}{L\cos^3\beta} = K\cos\beta.$$

Ebből a keresett szög:

$$\cos\beta = \sqrt[4]{\frac{mv_0^2}{KL}} = \frac{1}{2},$$

$$\boxed{\beta = 60^{\circ}.}$$

4 pont

c) Legyen a keresett szög γ! A felemelkedés pillanatában:

$$mg = K^{*}\sin\gamma,$$

$$m\cdot\frac{v_0^2}{L\cos^3\gamma} = K^{*}\cos\gamma.$$

Ezekből:

$$\frac{\cos^4\gamma}{\sin\gamma} = \frac{v_0^2}{gL},$$

$$40\cos^4\gamma = \sin\gamma.$$

A keresett γ szög közelítő értéke:

$$\boxed{\gamma \approx 67{,}1^{\circ}.}$$

3 pont

d) A fonalat legalább a következő erőre kell méretezni:

$$\boxed{K^{*}_{\min} = \frac{mg}{\sin\gamma} \approx 10{,}9\ \mathrm{N}.}$$

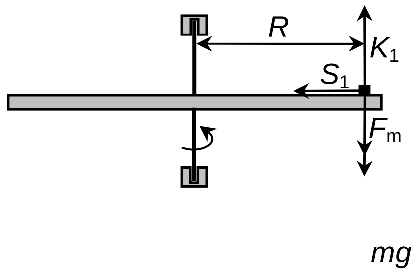
1 pont

Összesen: 10 pont

A 31. Mikola Sándor Fizikaverseny feladatainak megoldása
Döntő - Szakközépiskola 10. osztály
Pécs 2012

1. feladat:

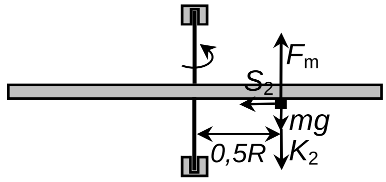
a) Legyen a mágnes tömege m, az állandó szögsebesség ω, a fémkorong és mágnes között fellépő mágneses vonzóerő F_m! Mindhárom esetben a fellépő tapadási súrlódási erő maximuma biztosítja a körmozgás fenntartásához szükséges sugár irányú erőt. A dinamika alapegyenletét az első és második esetre felírva:



$$mR\omega^2 = \mu_0 K_1,$$

$$mR\omega^2 = \mu_0 (mg + F_m).$$

$$m \cdot \frac{R}{2} \omega^2 = \mu_0 K_2,$$



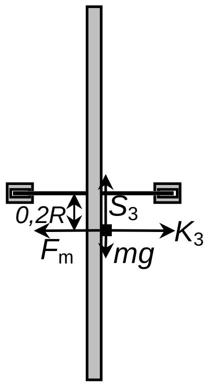
$$m \cdot \frac{R}{2} \omega^2 = \mu_0 (F_m - mg).$$

Ezek osztásából:

$$2 = \frac{mg + F_m}{F_m - mg},$$

$$\boxed{\frac{F_m}{mg} = 3.}$$

5 pont



b) Forogjon most a vaskorong vízszintes tengely körül! A körpálya legalsó pontjában lép fel a tapadási súrlódási erő maximuma. A dinamika alapegyenletéből:

$$m \cdot 0{,}2R\omega^2 = \mu_0 K_3 - mg,$$

$$m \cdot 0{,}2R\omega^2 = \mu_0 \cdot 3mg - mg.$$

Az első eset felhasználásával:

$$mR\omega^2 = \mu_0 \cdot 4mg.$$

Az utóbbi kettő osztásából:

$$0{,}2 = \frac{3\mu_0 - 1}{4\mu_0}.$$

Ebből a tapadási súrlódási együttható keresett értéke:

$$\boxed{\mu_0 = \frac{5}{11} = 0{,}4545.}$$ **5 pont**

Összesen: 10 pont

2. feladat:

a) 7 óra alatt nő a levegő hőmérséklete 14 $^\circ$C-ot, majd 7 óra alatt csökken ugyancsak 14 $^\circ$C-ot. Óránként változik a hőmérséklet 2 $^\circ$C-kal.

Legyen T_1 = 289 K, T_3 = 303 K! Kezdetben izochor állapotváltozás során nő a gáz nyomása. Vizsgáljuk meg, mekkora T_2 hőmérséklet esetén lesz az elzárt gáz nyomása akkora, hogy a túlnyomásból származó erő éppen megemeli az edényt. A keresett túlnyomás:

$$\Delta p \cdot \frac{d^2\pi}{4} = mg,$$

$$\Delta p = \frac{4mg}{d^2\pi} = 2078{,}76 \text{ Pa}.$$

Alkalmazzuk Gay-Lussac II. törvényét!

$$\frac{p_0}{T_1} = \frac{p_0 + \Delta p}{T_2},$$

$$T_2 = \left(1 + \frac{\Delta p}{p_0}\right) T_1 = 295 \text{ K} = 22\ ^\circ\text{C}$$

7 órától 10 óráig, míg a hőmérséklet 16 $^\text{o}$C-ról egyenletesen 22 $^\text{o}$C-ra nő, a nyomás p_1-re növekszik.

$$\boxed{p_1 = p_0 + \Delta p \approx 102\ 079 \text{ Pa}}.$$ **4 pont**

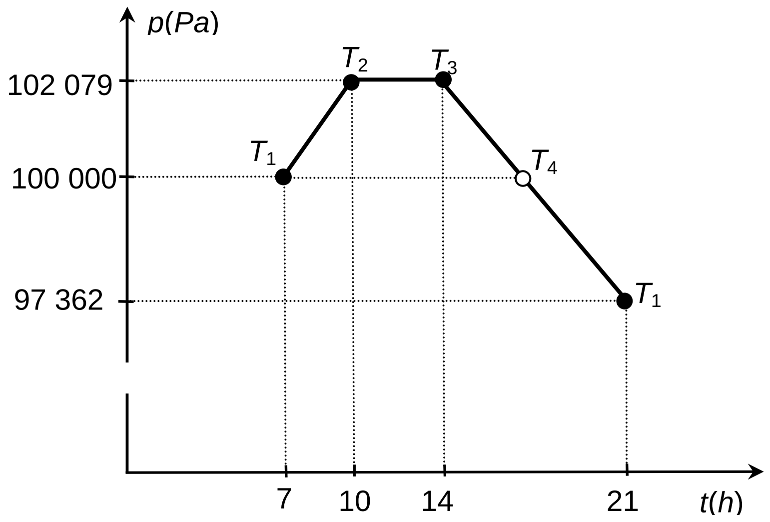
10 órától 14 óráig az elzárt gáz nyomása p_1 körül ingadozik, mondhatjuk, hogy nem változik. Amikor a nyomás értéke kicsit p_1 fölé megy, akkor az edény szája kicsit elemelkedik az asztalról. Ekkor gáz áramlik ki az edényből, a nyomás p_1 alámegy, az edény visszaesik az asztalra.

14 órától 21 óráig a gáz hőmérséklete izochor módon csökken. Ismét Gay-Lussac II. törvényét alkalmazzuk:

$$\frac{p_0 + \Delta p}{T_3} = \frac{p_2}{T_1},$$

$$\boxed{p_2 = \frac{T_1}{T_3}(p_0 + \Delta p) = \frac{289 \text{ K}}{303 \text{ K}} \cdot 102\ 078{,}76 \text{ Pa} \approx 97\ 362 \text{ Pa}}$$ **2 pont**

14 órától 21 óráig a gáz nyomása egyenletesen csökken $p_1 = p_0 + \Delta p = 102\ 079$ Pa -ről $p_2 = 97\ 362$ Pa -ra.



2 pont

b) A levegő belső energiáját számoljuk a nyomásából és térfogatából a következő összefüggés alapján:

$$E_\mathrm{b} = \frac{f}{2} pV.$$

Mivel a térfogat állandó, ezért akkor lesz a belső energia kezdeti értékkel azonos, amikor gáz nyomása ismét p_0 lesz. Legyen a keresett hőmérséklet T_4! Az edényben maradt levegő két állapotára ismételten felírva Gay-Lussac II. törvényét:

$$\frac{p_0}{T_4} = \frac{p_2}{T_1},$$

$$\boxed{T_4 = \frac{p_0}{p_2} T_1 = 296{,}8\ \mathrm{K} = 23{,}8\ ^\mathrm{o}\mathrm{C}.}$$

2 pont

Összesen: 10 pont

3. feladat:

a) A testek tömege nem változik, de a kölcsönösen átvitt lendületek igen. Így a m tömegű test lassul, a M tömegű test gyorsul. Végtelen áthelyezés után υ_k közös sebesség alakul ki, ami a lendület-megmaradásból számolható:

$$mu_0 + M\upsilon_0 = (m+M)\upsilon_k,$$

$$\boxed{\upsilon_k = \frac{mu_0 + M\upsilon_0}{m+M} = 2{,}6\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.}$$

3 pont

b) A rendszer mozgási energiájának változása:

$$\Delta E_m = \frac{1}{2}(m+M)\upsilon_k^2 - \left(\frac{1}{2}mu_0^2 + \frac{1}{2}M\upsilon_0^2\right),$$

$$\boxed{\Delta E_m = -\frac{1}{2}\frac{mM}{m+M}(u_0 - \upsilon_0)^2 = -18\ \text{J}.}$$

3 pont

c) Legyen a m tömegű test sebessége az n-edik áthelyezés után u_n, a M tömegűé pedig υ_n! Az első áthelyezés után:

$$mu_1 = (m-\Delta m)u_0 + \Delta m\upsilon_0,$$

$$M\upsilon_1 = (M-\Delta m)\upsilon_0 + \Delta m u_0.$$

Ezekből:

$$u_1 = u_0 + \frac{\Delta m}{m}(\upsilon_0 - u_0) = 4{,}7\ \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$\upsilon_1 = \upsilon_0 + \frac{\Delta m}{M}(u_0 - \upsilon_0) = 2{,}075\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

A második áthelyezés után hasonló formulát kapunk, csupán az u_0 helyére u_1, a υ_0 helyére υ_1 kerül.

$$u_2 = u_1 + \frac{\Delta m}{m}(\upsilon_1 - u_1) = 4{,}4375\ \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$\upsilon_2 = \upsilon_1 + \frac{\Delta m}{M}(u_1 - \upsilon_1) = 2{,}14\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

A harmadik áthelyezés után:

$$\boxed{u_3 = u_2 + \frac{\Delta m}{m}(\upsilon_2 - u_2) = 4{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}},}$$

2 pont

$$\boxed{\upsilon_3 = \upsilon_2 + \frac{\Delta m}{M}(u_2 - \upsilon_2) = 2{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.}$$

2 pont

Összesen: 10 pont

4. feladat:

a) A feltöltött akkumulátor belső ellenállása:

$$\boxed{R_\mathrm{b} = \frac{U_0}{I_\mathrm{r}} = \frac{12{,}6\ \mathrm{V}}{500\ \mathrm{A}} = 2{,}52 \cdot 10^{-2}\ \Omega.}$$ **2 pont**

b) A lemerült akkumulátor belső ellenállása:

$$\boxed{R_\mathrm{b}^\mathrm{le} = \frac{U_\mathrm{t} - U_0}{I_\mathrm{t}} = \frac{1{,}4\ \mathrm{V}}{5\ \mathrm{A}} = 0{,}28\ \Omega.}$$ **2 pont**

c) A töltés hatásfokát úgy kapjuk, hogy hasznos teljesítményt osztjuk a töltésre fordított teljesítménnyel:

$$\eta = \frac{U_\mathrm{t} I_\mathrm{t} - I_\mathrm{t}^2 R_\mathrm{b}^\mathrm{le}}{U_\mathrm{t} I_\mathrm{t}},$$

$$\boxed{\eta = \frac{70\ \mathrm{W} - 7\ \mathrm{W}}{70\ \mathrm{W}} = 0{,}9 = 90\%.}$$ **2 pont**

d) Legyen jelzőlámpa ellenállása R! Az ellenkapcsolásban lévő akkumulátorok áramkörére Ohm törvényét felírva:

$$U_0 - U_0^* = I_\mathrm{t}^* \left(R_\mathrm{b} + R_\mathrm{b}^* + R\right),$$

$$R = \frac{U_0 - U_0^*}{I_\mathrm{t}^*} - R_\mathrm{b} - R_\mathrm{b}^*,$$

$$R \approx 5\ \Omega.$$

A jelzőlámpa üzemi feszültsége és teljesítménye:

$$\boxed{U_\text{izzó} = I_\mathrm{t}^* R = 2{,}5\ \mathrm{V},}$$ **2 pont**

$$\boxed{P_\text{izzó} = \left(I_\mathrm{t}^*\right)^2 R = 1{,}25\ \mathrm{W}.}$$ **2 pont**

Összesen: 10 pont