A fizika I. kategória (szakközépiskolások) feladatai

1. feladat. *Ideális gázzal végezzük az* 1. ábra *szerinti $ABCA$ körfolyamatot, amelynek grafikonja a $(V;T)$ térfogat – hőmérséklet síkon derékszögű háromszög, a V és T tengelyekkel párhuzamos befogókkal. A gáz az A ponttal jellemzett állapotában* 373 K *hőmérsékletű, térfogata* 5 dm^3; *a C ponttal jellemzett állapotában* 273 K *hőmérsékletű és térfogata* 12 dm^3. *Határozzuk meg, hogy a körfolyamat $C \to A$ szakaszában mely térfogatnál lesz a gáz nyomása éppen akkora, mint a B ponttal jellemzett állapotában volt!*

(Légrádi Imre)

Megoldás. Gay-Lussac I. törvénye szerint a B-vel jelzett állapottal azonos nyomású állapotokra fennáll

$$T = \frac{T_B}{V_B} V. \qquad (1)$$

A keresett állapotot jellemző pont rajta van az AC egyenesen, vagyis kielégíti a

$$V - V_C = \frac{V_A - V_B}{T_A - T_B} \cdot (T - T_C) \qquad (2)$$

egyenletet. Az (1) és (2) egyenletrendszert V-re megoldva a keresett térfogatot kapjuk:

$$V = V_C \frac{V_A T_C - V_C T_A}{V_A T_A - 2V_C T_A + V_C T_C} \approx 9{,}8 \text{ dm}^3.$$

2. feladat. *Egy hőszigetelő falú, elhanyagolható hőkapacitású hengerben* $A = 100$ cm^2 *keresztmetszetű,* $m = 0{,}5$ kg *tömegű,* $c = 210$ J/(kg°C) *fajhőjű anyagból készült dugattyú mozoghat függőleges irányban súrlódásmentesen. A* $t_0 = 100°$C *hőmérsékletű, súlyos dugattyú fölé* $n_1 = 0{,}05$ *mólnyi* $t_1 = -90°$C*-os nemesgázt, a dugattyú alá pedig* $n_2 = 0{,}03$ *mólnyi* $t_2 = 46°$C*-os levegőt juttatunk. Ekkor a két rész térfogata éppen megegyezik.*

a) Mennyi lesz a dugattyú végső hőmérséklete?

b) Mennyit mozdul el a dugattyú?

(Jurisits József)

Megoldás. *a*) A kezdeti nyomások és a térfogat kiszámíthatók az állapotegyenletek és a nyomások közötti kapcsolat felhasználásával:

$$p_1 V_0 = n_1 R T_1, (3) p_2 V_0 = n_2 R T_2, p_2 = p_1 + \frac{mg}{A}.$$

Ezekből a két rész nyomása meghatározható:

$$p_1 = \frac{mg}{A} \cdot \frac{n_1 T_1}{n_2 T_2 - n_1 T_1} = 10{,}69 \text{ kPa},$$

az alul levő gáz nyomása pedig:

$$p_2 = p_1 + \frac{mg}{A} = 11{,}18 \text{ kPa}.$$

A két gázmennyiség azonos kezdeti térfogata a (3) egyenletből:

$$V_0 = \frac{n_1 R T_1}{p_1} = \frac{A}{mg} R \left(n_2 T_2 - n_1 T_1\right) = 7{,}12 \text{ dm}^3.$$

A végső állapot T hőmérsékletének és a dugattyú (lefelé történő) x elmozdulásának kiszámításához felhasználhatjuk az állapotegyenleteket és az energia megmaradásának törvényét. Az állapotegyenlet a felső és az alsó gáz kezdeti és végállapota között:

$$\frac{p_1 V_0}{T_1} = \frac{p\left(V_0 + xA\right)}{T}, (4) \frac{p_2 V_0}{T_2} = \frac{\left(p + \frac{mg}{A}\right)\left(V_0 - xA\right)}{T}. (5)$$

Az energia megmaradásának törvénye a teljes folyamatra a hőszigetelő edényben:

$$\frac{f_1}{2} n_1 R \left(T - T_1\right) + \frac{f_2}{2} n_2 R \left(T - T_2\right) + cm\left(T - T_0\right) - mgx = 0. \qquad (6)$$

A fenti három egyenlet egyértelműen meghatározza a T, p és x ismeretleneket. Az egyenletrendszer megoldása akkor egyszerű, ha észrevesszük, hogy a dugattyú súlyából származó nyomás nagyságrendekkel kisebb, mint a gázok nyomása, így az elhanyagolgató. (Míg a felső térrészben ható nyomás 10,7 kPa, az alsóban 11,2 kPa, addig a dugattyú nyomása 0,5 kPa, ami a gáznyomások 5 %-át sem éri el!) Ebben a közelítésben (5) így írható:

$$\frac{p_2V_0}{T_2}=\frac{p\,(V_0-xA)}{T}. \tag{5'}$$

(4)-t (5′)-vel osztva mind p, mind T kiesik. (Ez nem azt jelenti, hogy az eredmény független a hőmérsékletváltozástól és a nyomásváltozástól, mert a pontos összefüggésben még mg/A is szerepel!)

$$\frac{p_1T_2}{p_2T_1}=\frac{V_0+xA}{V_0-xA},$$

ahonnan a dugattyú elmozdulása:

$$x=\frac{p_1T_2-p_2T_1}{p_1T_2+p_2T_1}\,\frac{V_0}{A}\approx 18\ \text{cm}.$$

A (6) energiaegyenletből (a $-mgx$ tag elhanyagolásával) kifejezhetjük a kialakuló közös egyensúlyi hőmérsékletet:

$$T=\frac{(f_1n_1T_1+f_2n_2T_2)\,R+(2cT_0-2gx)\,m}{(f_1n_1+f_2n_2)\,R+2mc}\approx\frac{(f_1n_1T_1+f_2n_2T_2)\,R+2cT_0m}{(f_1n_1+f_2n_2)\,R+2mc}=371{,}6\ \text{K}.$$

Megjegyzés. Amennyiben a (6) egyenletből indulunk ki (ott viszonylag kisebb elhanyagolás az x-et tartalmazó tag elhagyása), a kiszámított T hőmérsékletet a (4) és (5) állapotegyenletekbe írva a dugattyú elmozdulására egy másodfokú egyenletet kapunk, melynek megoldása: 18,7 cm. Ez az előzőnél pontosabb érték, de mind a két számítás elfogadható.

3. feladat. *Egy függőleges fal és egy vízszintes síkon álló α hajlásszögű, M tömegű derékszögű ék közé m tömegű golyót helyezünk úgy, hogy az ék lapja a legfelső pontjában éppen érintse a golyót a* 3. ábra *szerint. Az ék és a golyó is súrlódásmentesen csúszhat.*

a) Hogyan kell megválasztanunk az M/m tömegarányt és az α hajlásszöget, hogy a golyó elengedése után a lejtő ne billenjen meg?

b) Mekkora sebességet ér el a golyó, miközben az éknek $l=20$ cm hosszú szakaszán csúszik végig, ha $\alpha=60^\circ$ és $M/m=12$?

(Jurisits József)

Megoldás. Írjuk fel a golyó és a lejtő mozgásegyenletét, valamint a gyorsulások kapcsolatát. Jelöljük a golyó adatait kis, az ék adatait nagy betűkkel! A *4. ábra* alapján:

$$mg-K\cos\alpha=ma,(7)K\sin\alpha=MA,(8)a=A\,\mathrm{tg}\,\alpha.(9)$$

Az utóbbi összefüggés abból a kényszerfeltételből adódik, hogy a golyó mindvégig érinti az ék lapját. A golyó és az ék útja t idő alatt:

$$\Delta s=\frac{a}{2}t^2,\qquad\text{illetve}\qquad\Delta S=\frac{A}{2}t^2,$$

ugyanis az erők és így a gyorsulások is állandók. Az *5. ábráról* leolvasható, hogy

$$\Delta s=\Delta S\cdot\mathrm{tg}\,\alpha,$$

vagyis

$$\frac{a}{2}t^2=\frac{A}{2}t^2\cdot\mathrm{tg}\,\alpha,$$

ahonnan $t^2/2$-vel osztva (9) adódik.

A (7)–(9) egyenletrendszert megoldva

$$a=\frac{\mathrm{tg}^2\,\alpha}{(M/m)+\mathrm{tg}^2\,\alpha}\,g,(10)K=\frac{1}{(M/m)+\mathrm{tg}^2\,\alpha}\cdot\frac{Mg}{\cos\alpha},(11)A=\frac{\mathrm{tg}\,\alpha}{(M/m)+\mathrm{tg}^2\,\alpha}\,g.(12)$$

Annak a feltétele, hogy az ék ne billenjen meg az ék tömegközéppontjára felírható forgatónyomaték-tétellel kifejezve a *4. ábra* alapján:

$$\frac{2}{3}Kh\sin\alpha+K\cos\alpha\,\frac{h}{3\,\mathrm{tg}\,\alpha}\le(Mg+K\cos\alpha)\,\frac{h}{3\,\mathrm{tg}\,\alpha}. \tag{13}$$

(Felhasználtuk, hogy határesetben a talaj által az ékre kifejtett kényszererő hatásvonala az ék jobb szélére tolódik el.)

A (13) egyenlőtlenségből (11) felhasználásával a tömegarányra a

$$\frac{M}{m}\ge\mathrm{tg}^2\,\alpha$$

megszorítást, a golyó gyorsulására pedig az

$$a \leq \frac{g}{2}$$

felső korlátot kapjuk.

b) Ha $\alpha = 60°$, akkor $M/m \geq \mathrm{tg}^2\, 60° = 3$ szükséges, tehát a megadott $M/m = 12$ esetén nem billen az ék. A mechanikai energia megmaradásának tétele szerint:

$$mgl \sin\alpha = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}MV^2. \tag{14}$$

A sebességek kapcsolata (hasonlóan a gyorsulások kényszerkapcsolatához): $V = v/\,\mathrm{tg}\,\alpha$, melyet (14)-be helyettesítve a golyó sebességére (l lejtőmenti szakasz befutása után) a következő adódik:

$$v = \sqrt{\frac{2gl\sin\alpha}{1 + \frac{M}{m\,\mathrm{tg}^2\,\alpha}}} \approx 0{,}82\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

A fizika II. és III. kategória (valamennyi gimnazista) feladatai

1. feladat. *Elhanyagolható tömegű, közepén tengelyezett, könnyen forgó rúd két végén szimmetrikusan egy-egy* $R = 10$ cm *sugarú,* $m = 4$ kg *tömegű homogén tömör korong van vízszintes tengelyhez erősítve a* 6. ábra *szerint. A korongok tengelyei egymástól* $d = 25$ cm*-re vannak. A korongok palástján elhanyagolható tömegű pöckök közé* $D = 1800$ N/m *direkciós erejű rugó van elhelyezve* $\Delta l = 5$ cm*-rel összenyomott állapotban. Mekkora lesz a korongok szögsebessége, miután a rugót feszesen tartó fonalat elégetjük, ha a pöckök eredetileg a* 6.a*, illetve a* 6.b ábra *szerint helyezkednek el? (A rugók teljes megnyúlásig érintkeznek a pöckökkel, s ezután leesnek.)*

(Holics László)

Megoldás. *a*) eset. Mivel a külső forgatónyomatékok összege nulla, a perdület megmarad. A rugó kitágulása után a két egyforma korong egymással ellentétes irányban, azonos nagyságú szögsebességgel kezd forogni. A rugó teljes energiája a két korong forgási energiájába alakul át:

$$\frac{1}{2}D\,(\Delta l)^2 = 2 \cdot \frac{1}{2}\Theta\,\omega_a^2.$$

Felhasználva, hogy a korongok tehetetlenségi nyomatéka $\Theta = \dfrac{1}{2}mR^2$, a keresett szögsebesség:

$$\omega_a = \frac{\Delta l}{R}\sqrt{\frac{D}{m}} = 10{,}6\ \frac{1}{\mathrm{s}}.$$

b) eset. A két korong most azonos irányban kezd el forogni, de mivel a külső forgatónyomatékok összege most is nulla, a rendszer teljes perdületének meg kell maradnia. Ez csak úgy lehetséges, hogy a két korongot tartó (elhanyagolható tömegű) rúd elfordul a korongokkal, azok szögsebességével ellentétes irányban. Így a korongok – azonos irányú – sajátperdülete, és a rendszer forgása miatt keletkező – a sajátperdülettel ellentétes irányú – pályaperdülete egyenlő abszolút értékű. Az energia megmaradása:

$$\frac{1}{2}D\,(\Delta l)^2 = 2 \cdot \frac{1}{2}\Theta\,\omega_b^2 + 2 \cdot \frac{1}{2}mv^2, \tag{15}$$

a perdület megmaradása:

$$2 \cdot \Theta\omega_b - 2 \cdot mv\,\frac{d}{2} = 0, \tag{16}$$

ahol v a korongok tömegközéppontjának sebessége. (16)-ból v-t kifejezve és (15) egyenletbe helyettesítve megkapjuk a korongok szögsebességét:

$$\omega_b = \frac{\Delta l}{R}\,\frac{d}{\sqrt{d^2 + 2R^2}}\sqrt{\frac{D}{m}} = 9{,}23\ \frac{1}{\mathrm{s}}. \tag{17}$$

2. feladat. *Egyenes körkúp alakú, vékonyfalú üvegedény alsó, nyitott vége higannyal telt kádba merül. Az üvegkúp csúcsa* $H = 76$ cm *magasan van a kádbeli higanyszint felett. Az üvegedényt részben higany tölti ki. A higany feletti zárt térrészben* $n = 0{,}01$ mol *levegő van. A külső légköri nyomás* $H = 76$ cm *magasságú higanyoszlop hidrosztatikai* *nyomásával egyenlő. Mennyi hőt vesz fel az elzárt levegő, ha hőmérséklete lassan $\Delta T = 10\ ^\circ\mathrm{C}$-kal emelkedik? (A kádbeli higanyszint változása elhanyagolható, a kúpbeli higanyszint nem süllyed a kádbeli higanyszint alá.)*

(Szegedi Ervin)

Megoldás. Határozzuk meg, hogyan függ a kúpba bezárt gáz nyomása a gázkúp magasságától! Mivel a külső légnyomás H magasságú higany hidrosztatikai nyomásával tart egyensúlyt, a kúpba zárt higany magassága pedig $H-x$ (*8. ábra*), a bezárt levegő nyomása a hiányzó x magasságú higany nyomását kell, hogy pótolja, vagyis $p = \varrho g x$, azaz a bezárt gáz nyomása egyenlő az általa alkotott kúp magasságával azonos magasságú higany hidrosztatikai nyomásával. Tudjuk viszont, hogy a külső nyomás

$$p_\mathrm{k} = \varrho g H, \tag{18}$$

a kádbeli higany felületénél pedig a nyomás mindenhol (tehát a kúpon kívül és azon belül is) ugyanakkora:

$$p_\mathrm{k} = p + \varrho g (H - x). \tag{19}$$

(18) és (19) alapján valóban igaz

$$p = \varrho g x. \tag{20}$$

Számítsuk ki (a hőtan a I. főtételének alkalmazásával) a gáz hőfelvételét:

$$Q = \Delta E + W_\text{gáz}.$$

Az energiaváltozást a hőmérsékletváltozás egyértelműen megadja. Az ekvipartíció tétele alapján:

$$\Delta E = \frac{f}{2} N k \Delta T = \frac{f}{2} n N_A k \Delta T = \frac{f}{2} n R \Delta T.$$

A gáz által felvett hő tehát (mivel levegőre $f = 5$):

$$Q = \frac{5}{2} n R \Delta T + W_\text{gáz}. \tag{21}$$

Határozzuk meg a gáz által végzett munkát! (Ez okozza az igazi nehézséget a megoldás során.) Mivel a gáz nyomása a térfogat függvényében *nem lineárisan* változik, ezért az elemi munkák összegezése csak integrálással tehető meg. Keressünk *más* megoldást!

Alkalmazzuk a munkatételt a kádbeli és kúpbeli higany rendszerére a kezdeti és végállapot között! A higanyon a kitáguló kúpbeli levegő, a nehézségi erő és a külső levegő végez munkát. (A kádbeli higany ugyan elhanyagolható mértékben emelkedik, de nagy felületen, ezért az általa kiszorított levegő térfogata nem elhanyagolható!) A bezárt gáz és a nehézségi erő munkája pozitív, a külső levegőé pedig negatív. Mivel a higany mozgási energiája nem változik, ezért az összes munkák összege zérus:

$$W_\text{gáz} + W_\text{nehézségi} + W_\text{külső} = 0.$$

Tekintve, hogy a nehézségi erő munkája a helyzeti energia megváltozásának ellentettjével egyenlő, a bezárt gáz munkájára a következő összefüggést kapjuk:

$$W_\text{gáz} = \Delta E_\text{helyzeti} - W_\text{külső} = 0.$$

A külső, állandó nyomású levegő munkavégzése könnyen kapható, hiszen térfogatváltozása az elzárt levegő térfogatváltozásának ellentettje:

$$W_\text{külső} = p_\mathrm{k} \Delta V = -p_\mathrm{k} \left(V_2 - V_1\right).$$

Az elzárt gáz munkája tehát ezzel így írható:

$$W_\text{gáz} = \Delta E_\text{helyzeti} - p_\mathrm{k} \left(V_2 - V_1\right). \tag{22}$$

Hátra van még a higany helyzeti („magassági”) energiája megváltozásának meghatározása. E célból első lépésként írjuk fel ezt az energiát általános helyzetben! Válasszuk a helyzeti energia nullszintjét úgy, hogy akkor legyen nulla a helyzeti energia, amikor a higany teljesen kitölti az üvegkúpot!

A vizsgált helyzetben (*9. ábra*) a higany helyzeti energiája a nulla energiánál

$$\varrho V g \left(H - \frac{3}{4} x\right)$$

értékkel kevesebb, hiszen a V térfogatú részt kezdetben kitöltő higany tömegközéppontja $\Delta h = \left(H - \frac{3}{4} x\right)$ értékkel mélyebbre került (mintha a kúp csúcsában levő higanymennyiség került volna ki az üvegből és terült volna szét a nagy felületű kádban), a többi higany energiája nem változott. (Felhasználtuk a Függvénytáblázatból is kiolvasható ismeretet, hogy a homogén anyaggal kitöltött x magasságú egyenes körkúp tömegközéppontja az alaplap felett $x/4$ magasságban van. Az x magasságú higanykúp helyzeti energiája tehát:

$$E_{\text{helyzeti}} = -\varrho V g \left(H - \frac{3}{4}x \right),$$

vagy (18) és (19) szerint:

$$E_{\text{helyzeti}} = \frac{3}{4}\varrho g x V - \varrho V g H = \frac{3}{4}pV - p_{\text{k}}V. \tag{23}$$

A vizsgált folyamatban a higany helyzeti energiájának megváltozása tehát (22) szerint:

$$E_{\text{helyzeti}} = \frac{3}{4}\left(p_2V_2 - p_1V_1\right) - p_{\text{k}}\left(V_2 - V_1\right). \tag{24}$$

A gáz munkája tehát (22) alapján, (24) felhasználásával:

$$W_{\text{gáz}} = \Delta E_{\text{helyzeti}} - p_{\text{k}}\left(V_2 - V_1\right) = \frac{3}{4}\left(p_2V_2 - p_1V_1\right),$$

ami a $pV = nRT$ állapotegyenlet szerint

$$W_{\text{gáz}} = \frac{3}{4}nR\Delta T \tag{25}$$

alakba írható.

A folyamatban felvett hő (21) és (25) alapján tehát:

$$Q = \left(\frac{5}{2} + \frac{3}{4} \right) nR\Delta T = \frac{13}{4}nR\Delta T = 2{,}70\ \text{J}.$$

Megjegyzés. A gáz munkája integrálással is kiszámítható. Határozzuk meg a gáz állapotváltozásának $p(V)$ függvényét! A gázkúp térfogata $V = \pi r^2 x/3$, ahol r a kúp alapkörének sugara, amely a kúp fél nyílásszögével és magasságával is kifejezhető: $r = x \operatorname{tg}\alpha$. Ezek szerint

$$V = \frac{\pi}{3}x^3 \operatorname{tg}^3\alpha,$$

ahonnan a gázkúp magassága térfogatával kifejezve:

$$x = \sqrt[3]{\frac{3}{\pi \operatorname{tg}^2\alpha}} \cdot V^{\frac{1}{3}}. \tag{26}$$

(20) és (26) alapján:

$$p = \varrho g \sqrt[3]{\frac{3}{\pi \operatorname{tg}^2\alpha}} \cdot V^{\frac{1}{3}},$$

azaz

$$p = \beta V^{\frac{1}{3}}, \tag{27}$$

ahol

$$\beta = \varrho g \sqrt[3]{\frac{3}{\pi \operatorname{tg}^2\alpha}}.$$

A gáz nyomása tehát arányos térfogatának köbgyökével.

A gáz munkája a kezdeti- és végállapot között az elemi munkák összegezésével kapható:

$$W_{\text{gáz}} = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV = \beta \int_{V_1}^{V_2} V^{\frac{1}{3}}\,dV = \frac{3}{4}\beta\left(V_2^{\frac{4}{3}} - V_1^{\frac{4}{3}}\right).$$

Az eredményt alkalmasan tagolva és (27) alapján alakítva:

$$W_{\text{gáz}} = \frac{3}{4}\left(\beta V_2^{\frac{1}{3}}V_2 - \beta V_1^{\frac{1}{3}}V_1\right) = \frac{3}{4}\left(p_2V_2 - p_1V_1\right) = \frac{3}{4}nR\Delta T,$$

ami megegyezik az előző gondolatmenetben adódó alakkal.

3. feladat. *A* 10. ábra *szerinti áramkörben a tekercs önindukciós együtthatója* $L = 10$ mH, *a kondenzátor kapacitása* $C = 0{,}2$ mF. *Az áramkörre váltakozó feszültséget kapcsolunk. Mekkora a váltakozó feszültség frekvenciája, ha azt tapasztaljuk, hogy a főágba kapcsolt ideális áramerősségmérő műszer által mutatott érték független az ohmos ellenállás nagyságától?*

(Szegedi Ervin)

Megoldás. Ha a főág áramerőssége független az ohmos ellenállás R nagyságától, akkor speciálisan a nagyon kicsiny és a nagyon nagy ellenállásoknál *ugyanakkora* értéket kell mutasson az árammérő műszer.

Rövidzárnál ($R = 0$) a tekercsre és a kondenzátorra egyaránt U (effektív) feszültség jut, a rajtuk átfolyó áram

$$I_{\text{tekercs}} = U \cdot \frac{1}{L\omega}, \qquad \text{illetve} \qquad I_{\text{kondenzátor}} = U \cdot \omega C.$$

Ez a két áram ellentétes fázisú, a főág effektív áramerőssége tehát

$$I_1 = U \cdot \left| \omega C - \frac{1}{L\omega} \right|.$$

Ha viszont az ohmos ellenállást nagyon nagy értékre állítjuk be, netán megszakítjuk az áramkört ($R \to \infty$), áram csak a tekercsen folyhat, így a műszer által mutatott érték

$$I_2 = U \cdot \frac{1}{L\omega}.$$

A feladatban megfogalmazott feltétel szerint $I_1 = I_2$, ami akkor teljesül, ha

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{LC}} = 1000 \text{ Hz},$$

a frekvencia tehát $f = \omega/(2\pi) = 159{,}2$ Hz.

Megjegyzés. Forgóvektorokkal vagy komplex impedanciákkal számolva belátható, hogy a fenti frekvencia-feltétel teljesülése esetén az impedancia a teljes R tartományban független lesz az ohmos ellenállástól, nagysága: $Z = L\omega$.

4. feladat. *Tapasztalatból tudjuk, hogy ha egy nyitott szájával lefelé tartott szemeteszsákot megtöltünk meleg levegővel, akkor a zsák – a hőlégballonhoz hasonlóan – felemelkedik. Hol a hiba a következő gondolatmenetben: „A zsák szája nyitott, ezért a külső és a belső levegő nyomása egyenlő. A zsák (felül levő) zárt alját ezért a belső levegő ugyanakkora erővel nyomja felfelé, mint a külső levegő lefelé. Mivel ezek az erők kiegyenlítik egymást, azért a zsák anyagára ható nehézségi erő miatt a zsák leesik."*

Megoldás. A zsák szájánál valóban azonos a meleg és a hideg levegő nyomása (p_0). A h magasságú zsák zárt alja h-val magasabban van a zsák szájánál, ezért a levegő nyomása kívül is, belül is kisebb p_0-nál. Jelölje ezt a nyomást a külső, hidegebb levegőben p_{H}, belül pedig p_{M}.

A légnyomás változása a magassággal kis szintkülönbségek esetén közelítőleg a $\Delta p = -\varrho g h$ összefüggés alapján számolható. Esetünkben a külső és belső levegő sűrűsége számottevően eltér (közel azonos a nyomásuk, de hőmérsékletük jelentősen különbözik), $\varrho_{\text{H}} > \varrho_{\text{M}}$. Ez azt eredményezi, hogy a belső meleg levegőben ugyanazon h távolságon kevesebbet csökken a nyomás, mint a külső, hideg levegőben, így a zsák felül levő zárt alján belül nagyobb a nyomás mint kívül: $p_{\text{M}} > p_{\text{H}}$, a nyomáskülönbség pedig felfelé mutató emelőerőt eredményez. Ha ez meghaladja a zsák anyagára ható nehézségi erőt, akkor a zsák felemelkedik.

A fizika I. kategória végeredménye

1. Tomon Sándor (Budapest, Puskás Tivadar Távközlési Technikum, 12. évf.), tanára: Beregszászi Zoltán;

2. Gyurcsek Tamás (Szolnok, Pálfy J. Műszerip. és Vegyip. Szakközépisk., 12. évf.), tanára: Báthori Attila;

3. Laczkó Péter (Budapest, Egressy Gábor Kéttannyelvű Műsz. Szakközépisk., 12. évf.), tanára: Berta Magdolna;

4. *Oláh Gusztáv* (Debrecen, Mechwart A. Gépip. és Informatikai Középisk., 12. évf.), tanárai: Gál Annamária, Szegedi Ervin; **5.** *Perge István* (Eger, Neumann János Közgazd. Szki. és Gimn., 11. évf.), tanára: Fátrai Éva; **6.** *Hoffer János Pál* (Kecskemét, Kandó K. Műszaki Szki., 11. évf.), tanára: Jusztin Zsuzsanna; **7.** *Magyar Máté* (Vác, Boronkay Gy. Műszaki Középisk. és Gimn., 12. évf.), tanára: Csomó József; **8.** *Tóth Árpád* (Jászberény, Liska J. Erősáramú Szki. és Gimn., 12. évf.), tanára: Máthéné Barabássy Judit.

A fizika II. kategória végeredménye

1. Horváth György (Fazekas M. Fővárosi Gyakorló Gimn., 12. évf.), tanárai: Takács Lajos, Horváth Gábor;

2. Gáspár Merse Előd (Fazekas M. Fővárosi Gyakorló Gimn., 12. évf.), tanára: Horváth Gábor;

3. Buruzs Ádám (Szeged, Radnóti M. Kísérleti Gimn., 12. évf.), tanárai: Mike János, Hilbert Margit;

4. *Varjú Péter* (Szeged, Radnóti M. Kísérleti Gimn., 11. évf.), tanára: Dudás Zoltánné; **5.** *Pozsgay Balázs* (Pécs, Magyar-német Nyelvű Iskolaközp. 11. évf.), tanárai: Baumgartner Annamária, Kotek László; **6.** *Nagy István* (Debrecen, KLTE Gyak. Gimn., 12. évf.), tanára: Dudics Pál; **7.** *Kiss Gergely* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn., 12. évf.), tanára: Horváth Gábor; **8.** *Horváth Balázs* (Debrecen, KLTE Gyak. Gimn., 12. évf.), tanára: Horváth Henrietta; **9.** *Sáfár Szilveszter* (Szeged, JATE Ságvári E. Gyak. Gimn., 12. évf.), tanára: Tóth Károly; **10.** *Jurányi Zsófia* (Pécs, Leöwey Klára Gimn. 11. évf.), tanárai: Simon Péter, Kádár Gézáné, Kotek László.

A fizika III. kategória végeredménye

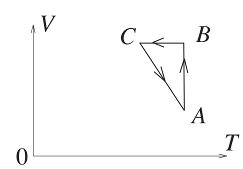
1. Patay Gergely (Debrecen, Tóth Árpád Gimn., 12. évf.), tanárai: Kovács Miklós, Szegedi Ervin;

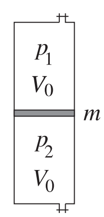
2. Schmidt András (Budapest, Szent István Gimn., 11. évf.), tanára: Moór Ágnes;

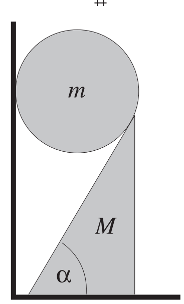
3. Máthé András (Budapest, ELTE Apáczai Csere J. Gyakorló Gimnáziuma 12. évf.), tanára: Flórik György;

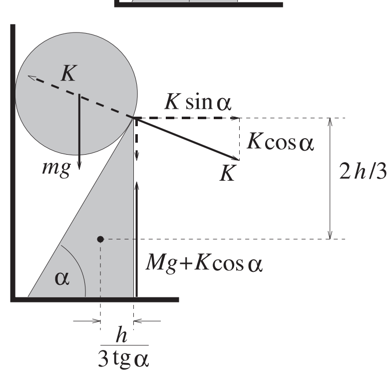
4. *Hegedűs Ákos* (Pécs, Cisztersi Rend Nagy Lajos Gimn. 12. évf.), tanárai: Orovica Márkné, Kotek László; **5.** *Nagy Ádám* (Budapest, Szent István Gimn., 11. évf.), tanára: Moór Ágnes; **6.** *Szilágyi Tamás* (Debrecen, KLTE Gyak. Gimn., 11. évf.), tanárai: Szegedi Ervin, Szegediné Nagy Judit; **7.** *Nagy Zsombor* (Tata, Eötvös J. Gimn. 12. évf.), tanárai: Ádám Árpád, Maknics Gyula; **8.** *Jung János* (Bonyhád, Petőfi S. Evang. Gimn., 12. évf.), tanárai: Erdélyesi Sándor, Kotek László; **9.** *Bankó Krisztián* (Budapest, ELTE Apáczai Csere J. Gyak. Gimn., 12. évf.), tanára: Flórik György; **10.** *Csige Sándor* (Debrecen, KLTE Gyak. Gimn., 12. évf.), tanára: Szegedi Ervin.

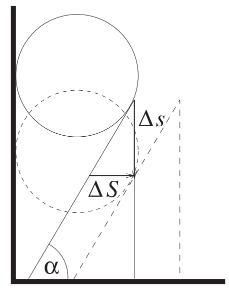
Holics László

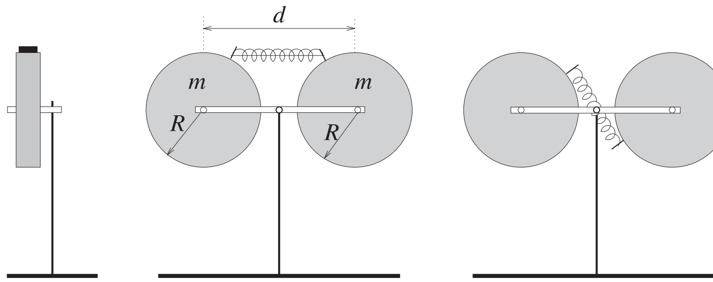




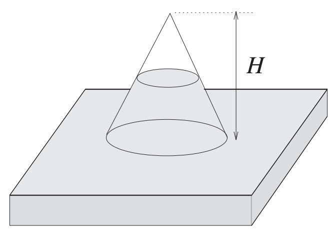


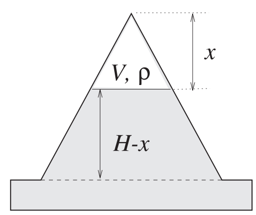


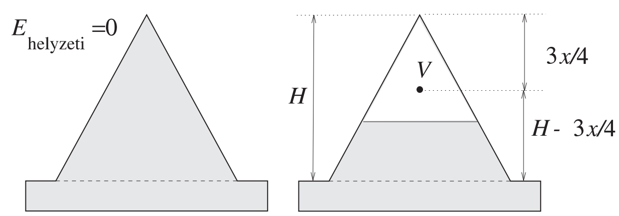

Δs
ΔS
α

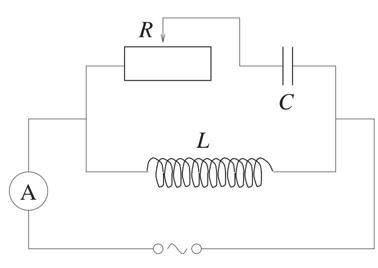

d
m
m
R
R

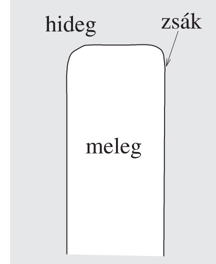
a) *b)*


H


x
V, ρ
H-x


E helyzeti =0
H
3x/4
V
H- 3x/4


R
C
L
A


hideg
zsák
meleg