

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 $C \rightarrow A$ 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

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

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

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

egyenletet. Az (1) és (2) egyenletrendszer 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 $A = 100\text{ cm}^2$ keresztmetszetű, $m = 0,5\text{ kg}$ tömegű, $c = 210\text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$ fajhőjű anyagból készült dugattyú mozoghat függőleges irányban súrlódásmentesen. A $t_0 = 100^\circ\text{C}$ hőmérsékletű, súlyos dugattyú fölé $n_1 = 0,05$ mólnyi $t_1 = -90^\circ\text{C}$ -os nemesgázt, a dugattyú alá pedig $n_2 = 0,03$ mólnyi $t_2 = 46^\circ\text{C}$ -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:

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

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:

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

Az energia megmaradásának törvénye a teljes folyamatra a hőszigetelő edényben:

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

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 elhanyagolható. (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:

$$(5') \quad \frac{p_2 V_0}{T_2} = \frac{p(V_0 - xA)}{T}.$$

(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!)

$$\frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} = \frac{V_0 + xA}{V_0 - xA},$$

ahonnan a dugattyú elmozdulása:

$$x = \frac{p_1 T_2 - p_2 T_1}{p_1 T_2 + p_2 T_1} \frac{V_0}{A} \approx 18 \text{ cm}.$$

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

$$T = \frac{(f_1 n_1 T_1 + f_2 n_2 T_2) R + (2cT_0 - 2gx) m}{(f_1 n_1 + f_2 n_2) R + 2mc} \approx \frac{(f_1 n_1 T_1 + f_2 n_2 T_2) R + 2cT_0 m}{(f_1 n_1 + f_2 n_2) R + 2mc} = 371,6 \text{ K}.$$

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 $l = 20 \text{ cm}$ 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:

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

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

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

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

$$\Delta s = \Delta S \cdot \tan \alpha,$$

vagyis

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

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

A (7)–(9) egyenletrendszer megoldva

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

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

$$(13) \quad \frac{2}{3} K h \sin \alpha + K \cos \alpha \frac{h}{3 \tan \alpha} \leq (Mg + K \cos \alpha) \frac{h}{3 \tan \alpha}.$$

(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

$$\frac{M}{m} \geq \tan^2 \alpha$$

megszorítást, a golyó gyorsulására pedig az

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

felső korlátot kapjuk.

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

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

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

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

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 $\Theta = \frac{1}{2}mR^2$, a keresett szögsebesség:

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

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 – sajátperdületű, és a rendszer forgása miatt keletkező – a sajátperdülettel ellentétes irányú – pályaperdületű egyenlő abszolút értékű. Az energia megmaradása:

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

a perdület megmaradása:

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

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

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

2. feladat. *Egyenes körkúp alakú, vékonyfalú üvegedény alsó, nyitott vége higannyal telt kádba merül. Az üvegekúp 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 $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ -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 $p = \rho g x$, azaz a bezárt gáz nyomása egyenlő az általa alkotott kúp magasságával azonos magasságú higany hidrosztatikai nyomásával. Tudjuk viszont, hogy a külső nyomás

$$(18) \quad p_k = \rho g H,$$

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

$$(19) \quad p_k = p + \rho g(H - x).$$

(18) és (19) alapján valóban igaz

$$(20) \quad p = \rho g x.$$

Számítsuk ki (a hőtán a I. főtételenek 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 $f = 5$):

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

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:

$$W_{\text{külső}} = p_k \Delta V = -p_k (V_2 - V_1).$$

Az elzárt gáz munkája tehát ezzel így írható:

$$(22) \quad W_{\text{gáz}} = \Delta E_{\text{helyzeti}} - p_k (V_2 - V_1).$$

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 energianál

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

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 higany mennyiség 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:

$$(23) \quad E_{\text{helyzeti}} = \frac{3}{4} \varrho g x V - \varrho V g H = \frac{3}{4} p V - p_k V.$$

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

$$(24) \quad E_{\text{helyzeti}} = \frac{3}{4} (p_2 V_2 - p_1 V_1) - p_k (V_2 - V_1).$$

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

$$W_{\text{gáz}} = \Delta E_{\text{helyzeti}} - p_k (V_2 - V_1) = \frac{3}{4} (p_2 V_2 - p_1 V_1),$$

ami a $pV = nRT$ állapotegyenlet szerint

$$(25) \quad W_{\text{gáz}} = \frac{3}{4} n R \Delta T$$

alakba írható.

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

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

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:

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

(20) és (26) alapján:

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

azaz

$$(27) \quad p = \beta V^{\frac{1}{3}},$$

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:

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

Az eredményt alkalmasan tagolva és (27) alapján alakítva:

$$W_{\text{gáz}} = \frac{3}{4} (\beta V_2^{\frac{1}{3}} V_2 - \beta V_1^{\frac{1}{3}} V_1) = \frac{3}{4} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{4} n R \Delta T,$$

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

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

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 ($R \rightarrow \infty$), 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 szemeteszákot megtöltünk meleg levegővel, akkor a zsák – a hőléggallonhoz 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 $\Delta p = -\rho gh$ összefüggés alapján számolható. Esetünkben a külső és belső levegő sűrűsége számottevően eltér (közel azonos a nyomásuk, de hőmérsékletük jelentősen különbözik), $\rho_H > \rho_M$. 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: $p_M > p_H$, 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, Pálffy 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. Erőszakmentes 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, Leőwey 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



