

61. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2019/2020
kategória A – krajské kolo
Texty úloh

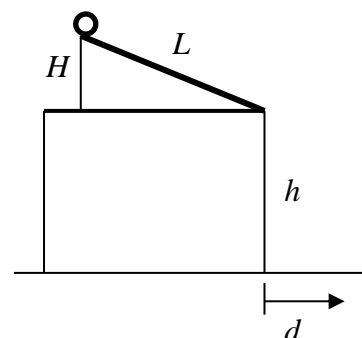
1. Golyó a ferde síkon

Az asztalon egy L hosszúságú deszka nyugszik, egyik vége az asztallap szélén, másik vége, alátámasztva, H magasságban az asztallap felett. Az asztallap és a padló közti szintkülönbség h (A2–1 ábra). A deszka felső szélére egy homogén golyót helyezünk, majd elengedjük ($t = 0$). A golyó a deszka felületén haladva nem csúszik meg.

- a) Mekkora a golyó tömegközéppontjának v_1 sebessége a deszka alsó végén, és mekkora, amikor padlót ér (v_2)?
- b) Mekkora vízszintes d távolságban ér padlót a golyó (a távolságot az asztal függőleges szélétől számítjuk)?
- c) Határozzák meg, mikor (t_1) éri el a golyó a deszka alsó szélét, és mikor (t_2) a padlót!

A feladatot oldják meg általánosan, majd a következő értékekkel: $L = 80$ cm, $H = 40$ cm, $h = 100$ cm, $g = 9,8$ m \cdot s⁻².

Az r sugarú m tömegű homogén gömb tehetetlenségi nyomatéka $J = \frac{2}{5}mr^2$. A golyó átmérője elhanyagolhatóan kicsi a h és H távolságokhoz viszonyítva.



A2–1 ábra

2. Rezgőrendszer

Az A–2 ábrán látható rendszer részeit alkotja egy henger, egy-egy $S = 20,0 \text{ cm}^2$ keresztmetszetű kistömegű dugattyú, a dugattyúk közti levegő, egy $k = 500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ merevségű rúgó (amelyen a felső dugattyú lóg) és az $m = 2,50 \text{ kg}$ tömegű test (amely az alsó dugattyún lóg). A kezdeti egyensúlyi helyzetben a légoszlop magassága $l_0 = 150 \text{ mm}$.

a) Mekkora a dugattyúk közti levegő kezdeti p_0 nyomása?

b) Határozzák meg a légoszlop magasságának Δl változását, mint az $x \ll l_0$ változó lineáris függvényét, ahol x a test elmozdulása a kezdeti egyensúlyi helyzetből!

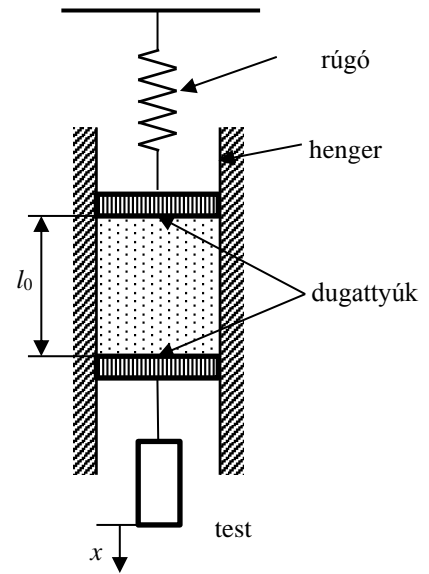
Tételezzék fel, hogy a levegő, a henger és a dugattyúk közt nem megy végbe hőcsere!

Határozzák meg a légoszlop l_1 magasságát, ha a test elmozdulása $x_1 = 12,0 \text{ mm}$!

c) A testet meglökjük, függőlegesen felfelé, úgy, hogy a sebessége az egyensúlyi helyzetben $v_0 = 50,0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Mekkora a test x_m maximális kitérése az egyensúlyi helyzetből, és mekkora a rezgőmozgásának T periódusa? Győződjenek meg arról, hogy teljesül a kis rezgések feltétele!

Tételezzék fel, hogy hőcsere szempontjából a gáz tökéletesen szigetelve van a dugattyúktól és a henger falától! A feladatot oldják meg általánosan, majd az adott értékekre! Nehézségi gyorsulás $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, légköri nyomás $p_a = 101 \text{ kPa}$, a levegő adiabatikus kitevője $\kappa = 1,4$.

A dugattyúk tömegei, a levegő tömege és a rúgó tömege elhanyagolhatóan kicsik.



A2–2 ábra

3. LHC

Ebben az évben lesz 10 éve, hogy 2010. március 30-án a svájci CERN-ben megkezdték a kutatómunkát a Nagy Hadronütköztetővel (LHC – Large Hadron Collider). Az LHC-ben protonokat és ólommagokat is gyorsíthatnak két körüljárási irányban. Végül a detektorokban a két nyalábot egymással szemben ütköztetik, új részecskéket létrehozva ezzel. A kör alakú gyorsító egy alagútban van, kerületének hossza $L = 26\,659$ m. A részecskék körpályáját 1232 szupravezető mágnes biztosítja, ezek egyenletes közökben helyezkednek el a gyorsító kerülete mentén. A részecskék gyorsítása a gyorsító egyetlen szegmensében történik, ez növeli a részecskék energiáját minden áthaladásukkor.

- a) A protonok gyorsítóban elért maximális kinetikus energiája $E_{kp} = 7,0$ TeV. Határozzák meg a proton megfelelő m_{pr} relativisztikus tömegét, valamint a fény vákuumbeli terjedésének sebessége és a proton sebessége közti $(c - v)/c$ relatív különbséget! A proton relativisztikus tömegét az u atomi tömegegységben fejezzék ki, ahol $1 u \approx 1,66 \times 10^{-27}$ kg!
- b) Készítsék el egy részecske rövid pályaszakaszának rajzát, és rajzolják be a részecske v sebességét, a mágneses tér \mathbf{B} indukciójának vektorát, valamint a részecskére ható mágneses tér által kifejtett \mathbf{F} erőt! Határozzák meg a mágneses tér \mathbf{B} indukcióját, amely ahhoz szükséges, hogy a proton energiája $E_p = 7,0$ TeV legyen! Tételezzék fel, hogy a \mathbf{B} mágneses indukció a részecske zárt pályája mentén mindenütt azonos, és egy ciklus alatt nem változik!
- c) Az LHC protonokon kívül $^{208}_{82}\text{Pb}$ ólommagok gyorsítására is képes. Mekkora E_{pb} kinetikus energiára tehetnek szert az ólommagok az LHC-ben a b) részfeladatban meghatározott mágneses tér esetében?
- d) Az LHC egyik legnagyobb tudományos áttörése a Higgs-bozon létezésének igazolása volt (2012. 7. 4.). Kimutatták, hogy a Higgs-bozon nyugalmi energiája (126 ± 1) GeV. Fejezzék ki a Higgs-bozon tömegét a proton tömegének többszöröseként!

A proton tömege $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$ kg, az elemi elektromos töltés $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C, $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J, a fény terjedési sebessége a vákuumban $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

4. Ionizációs füstdetektor

A tűzvédelem érzékeny detektorokkal érzékeli a helységben terjedő füstöt. Ezeket a berendezéseket általában a mennyezetre szerelik (A2–3 ábra).

Az 1 μm -tól kisebb füstreszecskek érzékelésére ionizációs detektorokat használnak – lényeges eleme egy amerícium $^{241}_{95}\text{Am}$ radioaktív izotópot tartalmazó fólia.

Az ^{241}Am atommag α -bomlással $T_{\text{Am}} = 432,6$ év felezési idővel neptúnium (Np) maggá alakul át. A bomlás során kibocsájtott α részecske kinetikus energiája $E_{\alpha} = 5,54$ MeV.

A keletkező neptúnium mag $T_{\text{Np}} = 2,145$ millió év felezési idővel, újból α -bomlással, protaktíniummaggá (Pa) alakul át. A protaktínium mag $T_{\text{Pa}} = 26,98$ nap felezési idővel, β -bomlásban alakul urániummaggá (U).

- Írják le az $^{241}_{95}\text{Am}$ mag fokozatos urániummaggá alakulásának képleteit, és határozzák meg az átalakulásban keletkező Np, Pa, U magok protonszámát és nukleonszámát!
- Mekkora az ^{241}Am bomlásakor keletkező α -részecske sebessége? Döntsék el, hogy szükséges-e relativisztikus számítást végezni!

Az ionizációs füstdetektorokban ion forrásként az ^{241}Am α -bomlásakor keletkező α -sugárzást hasznosítják. A detektorban egy vékony fólia $m = 330$ ng tömegű AmO_2 ameríciumoxidot tartalmaz.

- Határozzák meg a fóliában levő amerícium A_{Am} aktivitását!

Az α -részecskek a fólia felületéről az ionizációs kamrába jutnak, ahol a levegő molekuláit ionizálják. Az ionizációs kamra szemközti falai elektródák, a hozzájuk csatolt feszültségforrás elektromos teret hoz létre az elektródák között. Az ionizáció során keletkező ionok a megfelelő elektródák irányában mozogva kis erősségű I áramot hoznak létre.

- Mekkora I áram folyna az elektródák közt, ha minden kisugárzott α -részecske egy levegőmolekula ionizációjáért lenne felelős az ionizációs kamrában, és ezek eljutnának az elektródákig?
- Az elektródák között valójában $I_{\text{sk}} \approx 0,1$ pA erősségű áram folyik. Hány molekulát ionizál ideális esetben egy α -részecske, ha az elektródák közt az I_{sk} erősségű áram folyik?

Amennyiben füstreszecskek kerülnek az ionizációs kamrába, a füstreszecskek megkötik a keletkező ionok egy részét, csökkentve ezzel az ionizációs kamrában folyó I_{sk} áramot. Ezt érzékeli a detektor elektromos áramköre, és vészjelzést ad le.

$m_{\alpha} = 4,00 u$, $u = 1,67 \times 10^{-27}$ kg, $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J. Tételezzék fel, hogy a levegő ionizációjakor O_2^+ és N_2^+ (egyszeresen ionizált) ionok jönnek létre! Az oxigén atom magja $^{16}_8\text{O}$, az Avogadro-szám $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, az elemi elektromos töltés $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C.



A2–3 ábra