XXII. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY – 1. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

A 22. Országos Szilárd Leó Fizikaversenyt 2019. első negyedévében rendezte meg az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, a Magyar Nukleáris Társaság, a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány, valamint a döntő helyi szervezői: az Energetikai Szakgimnázium és Kollégium és a Paksi Vak Bottyán Gimnázium. A verseny anyagi feltételeit a szervezőkön túl a Nemzeti Tehetségprogram, valamint az EMMI és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetének támogatása biztosította.

Ebben az évben új színfoltot jelentett a Paksi Vak Bottyán Gimnázium bekapcsolódása a döntő helyi szervezésébe. Ezért külön is köszönet illeti *Csajági Sándor* igazgató urat. Erre később, a döntő ismertetésekor még visszatérünk.

Az elődöntőt 2019. február 25-én rendeztük, amikor a regisztrált tanulóknak a saját iskolájukban 3 óra alatt 10 elméleti versenyfeladatot kellett megoldaniuk.

A versenyre összesen 207 diák regisztrált az ország 29 iskolájából. Ezek között 6 budapesti iskola volt (103 tanulóval), a többiek vidékről jelentkeztek. Ennek alapján a regisztrált tanulók fele Budapestről, másik fele vidékről jött.

A versenyre – a hagyományoknak megfelelően – két kategóriában jelentkezhettek a középfokú oktatásban tanulók:

I. kategória: azok a tanulók, akik a verseny évében, vagy az azt követő évben érettségiznek (tipikusan 11–12 osztályos tanulók). Megoszlásuk: 87 fiú és 20 lány.

II. kategória: a fiatalabbak (tipikusan 9–10 osztályos tanulók). Megoszlásuk: 85 fiú és 15 lány.

A fiúk és a lányok aránya mindkét korcsoportban benne van az 5,0±0,7 intervallumban. Örvendetes, és az utánpótlásra nézve bíztató, hogy a regisztrált versenyzők nagyjából fele-fele arányban oszlottak meg a két korcsoport között.

Az alábbiakban az elődöntő feladatait és a feladatok megoldását ismertetjük.

1. feladat

kitűzte: *Ujvári Sándor*

Egy lezárt dobozban ötvözetet helyeznek el, amely kétfajta, azonos anyagmennyiségű (azonos számú atomot tartalmazó) fémből készült. Mindkét fém radioaktív, az egyik (A) felezési ideje 12 év, a másiké (B) 18 év. Amikor a dobozt kibontották és az ötvözetet elemezték, az A és B fém anyagmennyiségének aránya $N_A/N_B = 53/220$ volt. Mennyi idős volt az ötvözet?

Megoldás

Mivel kezdetben mindkét anyagból ugyanannyi atom van, ezért a két anyagra vonatkozó bomlásegyenlet:

$$N_A(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_A}} \quad \text{és} \quad N_B(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_B}}.$$

Itt T_A, illetve T_B a két felezési idő.

Vegyük a két egyenlet hányadosát és a kapott egyenlet (tetszőleges alapú) logaritmusát:

$$\log\left(\frac{N_A}{N_B}\right) = \log\left(2^{-t\left(\frac{1}{T_A}-\frac{1}{T_B}\right)}\right) = -t\left(\frac{1}{T_A}-\frac{1}{T_B}\right)\cdot\log 2.$$

Ebből t egyszerűen kifejezhető, és az adatok behelyettesítése után kapjuk:

$$t = -\frac{\log(53/220)}{\log 2}\cdot\frac{12\cdot 18}{6}\ (\text{év}) = 73{,}92\ \text{év}.$$

2. feladat

kitűzte: *Halász Máté*

A Nap sugara 695 700 km, felszíni hőmérséklete 5778 K.

a) Számítsuk ki a Nap átlagos térfogati teljesítménysűrűségét (W/m^3)! Értelmezzük az eredményt!

b) Hány proton alakul a Napban héliummá másodpercenként?

c) Mekkora ezen protonok együttes tömege?

A σ Stefan–Boltzmann-állandó $5{,}67\cdot 10^{-8}$ W/(m^{2}K^4) értékű.

Megoldás

a) A Nap által kisugárzott teljesítményt (másodpercenként kisugárzott energiát) kifejezhetjük egyrészt a keresett teljesítménysűrűséggel, másrészt a Stefan–Boltzmann-törvény segítségével:

$$P = \rho_P \frac{4\pi}{3} R^3 = \left(4\pi R^2\right)\sigma T^4.$$

Ebből a keresett ρ_P térfogati teljesítménysűrűség egyszerűen kifejezhető:

$$\rho_P = \frac{3}{R}\sigma T^4 = 0{,}2725\ \text{W/m}^3.$$

Azért kaptunk ilyen kis értéket, mert a fúziós teljesítmény 99%-a a Nap térfogatának csak igen kis részé-

---

Sükösd Csaba (1947) a BME címzetes egyetemi tanára, az ELFT elnökségi tagja. Kísérleti magfizikus, aki kísérleti munkáját nagyrészt külföldi kutatóintézetekben végezte. Kutatási területe a magreakciók, óriásrezonanciák és némely asztrofizikailag releváns magreakció vizsgálata radioaktív ionnyalábokkal. Marx György tanítványaként részt vett a 70-es évek MTA oktatási kísérletében. Azóta is szoros kapcsolata van a fizikatanárok közösségével, több tanár- és oktatással kapcsolatos program vezetője.

ben, a magban (a teljes térfogat kisebb, mint 1%-ában) szabadul fel, másrészt pedig a fúziós folyamatlánc egyes lépései igen lassúk.

b) A Nap energiatermelése fúziós folyamatokkal történik, amelyek eredményeképpen (több ágon és több lépcsőn keresztül) végül 4 protonból lesz egy hélium atommag:

$$4\,{}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + 2\,e^+ + 2\,\nu_e + 26{,}22\ \mathrm{MeV}.$$

Innen a másodpercenként héliummá alakuló protonok száma (ε = 26,22 MeV):

$$N = 4\,\frac{P}{\varepsilon} = 3{,}66\cdot 10^{38},\ \text{itt}\ P = \rho_P\,\frac{4\,\pi}{3}\,R^3.$$

c) A proton tömegével megszorozva kapjuk:

$$m = N m_p = 6{,}12\cdot 10^{11}\ \mathrm{kg}.$$

3. feladat

kitűzte: *Papp Gergely*

A Curiosity Mars-járó áramellátásáról egy Radioizotópos Termoelektromos Generátor (RTG) gondoskodik. A generátor hőforrása 8 darab, indításkor egyenként 0,5 kg tisztán alfa-bomló ${}^{238}_{94}\mathrm{PuO_2}$ töltet. Az elektromos átalakítás hatásfoka, η = 6,25%.

a) Hány watt az RTG elektromos teljesítménye induláskor?

b) Hányad részére esik ez a teljesítmény a Marshoz érkezés pillanatában, ha az út 253 napig tart?

A ${}^{238}_{94}\mathrm{PuO_2}$ felezési ideje, $T_{1/2}$ = 87,7 év, alfa-energiája, E_α = 5,593 MeV, valamint a $\mathrm{PuO_2}$ moláris tömege 276 g/mol.

Megoldás

a) Ha feltételezzük, hogy a bomláshő kizárólag az alfa-bomlásból ered (eltekintünk a magvisszalökődéstől, egyéb sugárzásoktól és a spontán hasadástól), akkor a bomláshő a reakciógyakoriság és az α-energia szorzataként kapható meg.[1]

Tömegegységre (m = 1 kg) vetítve a teljesítmény:

$$P = E_\alpha N \lambda = E_\alpha\,\frac{m\,N_A}{M}\,\frac{\ln 2}{T_{1/2}} = 489{,}4\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{kg}} \simeq 500\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{kg}}.$$

A Curiosity-n kezdetben 8·0,5 = 4 kg töltet van, azaz a termikus teljesítmény jó közelítéssel 1957,6 W ≃ 2 kW, az elektromos teljesítmény pedig 122,36 W ~ 125 W.

b) A teljesítmény csökkenése a bomlásgörbéből

$$\frac{P_M}{P_0} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = 99{,}44\%.$$

A változás nagyjából 0,5%, ami szinte elhanyagolható (ez már a felezési időből is sejthető volt).

[1] A magvisszalökődés szintén melegíti az anyagot, ezért elhanyagolásának nem említése elvi hiba. Természetesen a megoldás akkor is helyes, ha valaki azt is figyelembe veszi.

4. feladat

kitűzte: *Szűcs József*

Egy 5 amperes olvadóbiztosíték kör keresztmetszetű olvadószálának átmérője d. Mekkora lesz a biztosíték teherbírása, ha az ugyanabból az anyagból készült olvadószálat azonos hosszúságú, $2d$ átmérőjűre cseréljük ki? (Tegyük fel, hogy a szálak hőleadása a hengerpalást mentén, tisztán hősugárzás útján történik.)

Megoldás

A biztosíték akkor olvad meg, ha hőmérséklete a T olvadáspont fölé emelkedik. Egyensúlyban a keletkező Joule-hő elvezetéséről a feladat szövege alapján a hősugárzás gondoskodik. Matematikailag

$$P_\Omega = I^2 R = I^2\left(\rho\,\frac{l}{d^2\pi/4}\right) = d\pi\, l\,\sigma\, T^4.$$

Itt a jobb oldal a sugárzás által leadott teljesítmény a Stefan–Boltzmann-törvény alapján.

Ugyanezt felírhatjuk a $2d$ átmérőjű szálra is, majd a két egyenletet egymással osztva kapjuk:

$$\frac{I_1^2\,\rho\,\dfrac{l}{d^2\pi/4}}{I_2^2\,\rho\,\dfrac{l}{(2d)^2\pi/4}} = \frac{d\pi\, l\,\sigma T^4}{2\,d\pi\, l\,\sigma T^4} \Rightarrow 4\left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2 = \frac{1}{2}.$$

Ebből kapjuk:

$$I_2 = I_1\sqrt{8} = 14{,}14\ \mathrm{A}.$$

5. feladat

kitűzte: *Tarján Péter*

A ${}^{211}_{83}\mathrm{Bi}$ mag radioaktív, 64% valószínűséggel β^--bomlással, 36% valószínűséggel α-bomlással alakul át. A bomlás során megmaradt bizmutatomok száma 60,55 percenként feleződik (azaz a felezési idő 60,55 perc).

a) Milyen atommagok keletkeznek a bomlások során?

b) Mekkorák az alfa- és a béta-bomlások felezési idejei (T_α és T_β) külön-külön?

c) A bizmut hány százaléka bomlik el $T_\alpha + T_\beta$ idő eltelte után?

Megjegyzés: Egy többféle módon is bomlani képes radioaktív atommagnál beszélhetünk a különféle típusú bomlások időegységre eső valószínűségéről különkülön is. Ezek a „részleges” bomlási valószínűségek, vagy részleges bomlási állandók. Mivel a különböző bomlások egymástól függetlenül, véletlenszerűen következhetnek be, ezért a teljes időegységenkénti bomlási valószínűség ezen részleges bomlási valószínűségek összegeként adódik: $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_N$. (Az időegységre eső bomlási valószínűségek mértékegysége: 1/s.)

Megoldás

a) A bomlások a következőképpen zajlanak, innen leolvashatók a keletkezett atommagok:

$$^{212}_{83}\mathrm{Bi} \xrightarrow{\beta^-} {}^{212}_{84}\mathrm{Po} + e^- + \tilde{\nu}_e,$$

$$^{212}_{83}\mathrm{Bi} \xrightarrow{\alpha} {}^{208}_{81}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}.$$

b) A részleges bomlási állandókra a következő két összefüggés igaz:

$$\lambda_\alpha + \lambda_\beta = \lambda, \text{ valamint } \frac{\lambda_\beta}{\lambda_\alpha} = \frac{64}{36}.$$

Ezekből kapjuk: $\lambda_\beta = 0{,}64 \cdot \lambda$ és $\lambda_\alpha = 0{,}36 \cdot \lambda$.

Mivel

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 0{,}687\ \frac{1}{\mathrm{h}},$$

ezért

$$\lambda_\alpha = 0{,}36 \cdot \lambda = 0{,}247\ \frac{1}{\mathrm{h}} \Rightarrow T_\alpha = \frac{\ln 2}{\lambda_\alpha} = 2{,}81\ \mathrm{h},$$

$$\lambda_\beta = 0{,}64 \cdot \lambda = 0{,}440\ \frac{1}{\mathrm{h}} \Rightarrow T_\beta = \frac{\ln 2}{\lambda_\beta} = 1{,}58\ \mathrm{h}.$$

c) $T_\alpha + T_\beta = 4{,}39$ h. Azaz ennyi idő alatt

$$\frac{N(t)}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}} = 0{,}049.$$

Végeredményben a bizmut 4,9%-a megmarad, tehát 95,1%-a elbomlik.

6. feladat

kitűzte: *Sükösd Csaba*

A CERN LHC gyorsítócsövében protonok száguldanak azonos sebességgel. Egy-egy proton mozgása elektromos áramerősséget jelent, így a párhuzamosan futó protonok olyanok, mint párhuzamos vezetőkben egy irányba futó áramok. Ezekről pedig tudjuk, hogy vonzzák egymást. Ugyanakkor pedig a protonok – azonos elektromos töltésük lévén – taszítják is egymást. Vajon melyik hatás az erősebb? Indokoljuk meg a választ! (*Megjegyzés:* a feladatban a pálya görbültségétől és a protonok gyorsításától tekintsünk el, azaz vegyük úgy, mintha a feladatban szereplő kölcsönhatások nélkül a protonok egyenes vonalú egyenletes mozgást végeznének.)

Megoldás

Az eredménynek inerciarendszertől függetlennek kell lennie, ezért inerciarendszernek válasszuk a protonokkal együttmozgó rendszert! E rendszerben csak elektrosztatikus taszítás van, hiszen a töltések nyugalomban vannak. Ezért a laboratóriumi rendszerben is a taszítóerőnek kell nagyobbnak lennie, mint a párhuzamos áramok közötti vonzóerőnek. (Az itt leírtak teljes megoldásnak számítanak. A diákoktól nem kértük az alábbi levezetést, csak az összehasonlítást!)

Természetesen ezt ki is lehet számítani. Fussanak a protonok egymástól d távolságra, lineárisan egyenletes töltéseloszlással (azonos szakaszokon ugyanannyi proton legyen). Számítsuk ki a protonnyalábok közötti taszítóerő, és a protonnyalábok által reprezentált I áramerősségű egyenes vezetők közötti mágneses vonzóerő hányadosát!

Vegyünk egy $L \gg d$ hosszúságú protonnyalábrészt. Ez N protont tartalmaz, amelyek összes töltése $Q = Ne$. Hengerszimmetria miatt az elektromos térerősség d távolságban (Gauss-törvényből kiszámítva):

$$E = \frac{Ne}{L}\,\frac{1}{2\pi\,\varepsilon_0\,d}.$$

Ekkor a két nyaláb egymással szemben lévő L hosszúságú részei között fellépő taszítóerő:

$$F_{el} = E N e = \frac{1}{\varepsilon_0}\,\frac{(Ne)^2}{2\pi\,d L}.$$

Másrészt felírhatjuk az L hosszúságú, egyenes, áramjárta vezetők közötti mágneses vonzóerőt is. Az áramerősség írható úgy, mint

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta l} = \frac{Ne}{\frac{L}{v}},$$

ahol v a protonok sebessége. Így a fellépő mágneses erő

$$F_m = \mu_0\,\frac{I^2}{2\pi\,d}\,L = \mu_0\,\frac{(Ne)^2}{2\pi\,d L}\,v^2.$$

A két erő hányadosára tehát írhatjuk:

$$\frac{F_m}{F_{el}} = \frac{\mu_0\,\frac{(Ne)^2}{2\pi\,d L}\,v^2}{\frac{1}{\varepsilon_0}\,\frac{(Ne)^2}{2\pi\,d L}} = \mu_0\,\varepsilon_0\,v^2 = \frac{v^2}{c^2} < 1,$$

ahol kihasználtuk, hogy $\mu_0\,\varepsilon_0 = 1/c^2$. Mivel a protonok sebessége mindig kisebb, mint a vákuumbeli fénysebesség, ezért a vonzó mágneses erő mindig kisebb, mint a taszító elektromos erő.

7. feladat

kitűzte: Ujvári Sándor

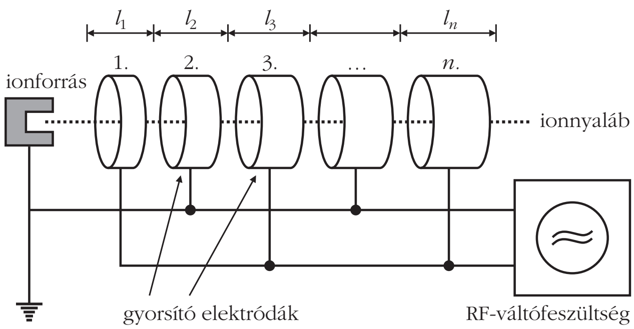
2 MeV energiájú proton lép egy lineáris gyorsítóba, aminek 597 (fémből készült, üreges, hengeres) gyorsító elektródáját (driftcső) egy 200 MHz frekvenciájú oszcillátor működteti. A végső energia 300 MeV. A proton tömege $m_\mathrm{p} = 938\ \mathrm{MeV}/c^2$.

a) Milyen hosszú a második driftcső?

b) Milyen hosszú az utolsó előtti?

c) Hány driftcsőre lenne szükség, ha 500 MeV energiát szeretnénk elérni?

Megjegyzés: a gyorsítás szakaszosan történik az elektródák (driftcsövek) közötti hézagokban. Mivel az elektródák fémből vannak, belsejükben az elektromos térerősség nulla (Faraday-kalitka), így nincs gyorsulás



sem. A gyorsítási folyamat akkor optimális, ha a töltött részecske minden hézagban újra gyorsul, azaz, ha két, egymást követő hézagba lépés között éppen félperiódusnyi idő telik el. A hézagközök és elektródák hosszának alkalmas megválasztásával elérhető, hogy a szakaszos gyorsítás egyenlő energiaadagokban történjen. A driftcsövek közötti hézagot – ahol a gyorsítás történik – a driftcsövek hosszához képest tekintsük elhanyagolható szélességűnek.

Megoldás

597 driftcső 596 hézagot jelent. A hézagonkénti energianyereség tehát

$$\frac{300-2}{596} = 0{,}5\ \text{MeV}.$$

a) A második driftcsőben a sebesség még nem relativisztikus, tehát írhatjuk, hogy

$$E_1 = \frac{1}{2} m v_1^2,$$

amiből

$$v_1 = \sqrt{\frac{2E_1}{m}} = \sqrt{2\cdot\frac{(2+0{,}5)\ \text{MeV}}{938\ \text{MeV}/c^2}} = 0{,}073\cdot c,$$

ahol c a fénysebesség. A driftcső hossza a részecske sebességéből és a periódusidőből

$$l_1 = v_1\frac{T}{2} = \frac{v_1}{2f} = 5{,}48\ \text{cm}.$$

b) Az utolsó előtti driftcsőben már feltehetően relativisztikus sebességgel mozog a proton. A proton teljes energiája E = (938+299,5) MeV = 1237,5 MeV. Mivel

$$E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}},$$

ebből kapjuk

$$v = c\sqrt{1-\left(\frac{m_0c^2}{E}\right)^2} = 0{,}652\cdot c.$$

Ebből az (a) ponthoz hasonlóan kapjuk:

$$l_{n-1} = \frac{v_{n-1}}{2f} = 48{,}9\ \text{cm}.$$

c) Ha 500 MeV energiát szeretnénk elérni, ahhoz további (500–300)/0,5 = 400 driftcsőre lenne szükség, azaz összesen 400+597 = 997 driftcsőre.

8. feladat

kitűzte: Halász Máté

Arthur Askin az 1970-es években fejlesztette ki a fénynyomás elvén alapuló optikai csipeszt (más néven lézercsipeszt), amely egy erősen fókuszált lézernyaláb segítségével mikroszkopikus részecskék háromdimenziós mozgatására alkalmas eszköz, és amelynek kifejlesztéséért 2018-ban fizikai Nobel-díjat kapott. A fellépő erők és nyomások nagyságrendjének érzékeltetésére határozzuk meg egy 520 nm hullámhosszú, 50 mW teljesítményű lézer által kifejtett (a) erőt és (b) fénynyomást, ha a lézernyalábot hullámhossznyi átmérőre fókuszáljuk!

Megoldás

a) A lézernyaláb által kifejtett erő a teljesítményből számolható:

$$F = \frac{\Delta I}{\Delta t} = k\frac{n\frac{h\nu}{c}}{\Delta t} = k\frac{P}{c},$$

ahol fekete testre k = 1, tökéletesen tükröző testre pedig k = 2. A következőkben fekete testre számolunk. Az erő tehát:

$$F = \frac{P}{c} = 1{,}67\cdot 10^{-10}\ \text{N}.$$

b) A lézer által kifejtett nyomás a nyaláb hullámhosszával megegyező átmérőre történt fókuszáláskor:

$$p = \frac{F}{\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2\pi} = 786{,}4\ \text{Pa}.$$

9. feladat

kitűzte: Papp Gergely

Vegyünk egy, a Nap felszínéről kirepülő protont.

a) Mekkora minimális kinetikus energiára van szüksége (eV egységekben), hogy elhagyhassa a Naprendszert?

b) Mekkora hőmérsékleten ekkora a részecskék átlagos energiája?

A Nap sugara 695 700 km, a proton tömege m_p = $1{,}673\cdot 10^{-27}$ kg. Csak a Nap gravitációs terét vegyük figyelembe, a bolygók gravitációs hatásától tekintsünk el. A megoldáshoz szükséges további adatokat keressük ki a függvénytáblázatból! (Figyelem! A táblázatban található szökési sebesség a Föld pályájáról indulva érvényes!)

Megoldás

A feladat nem adta meg a Nap tömegét. Függvénytáblázatból: $M = 1{,}989 \cdot 10^{30}$ kg. Egy végtelenbe „éppen elszökött” részecske mozgási energiája és potenciális energiája is nulla lesz. A mozgás során viszont a két mechanikai energia összege állandó marad, ezért bármely pillanatban is:

$$\frac{1}{2}\, m\, v^2 - \gamma \frac{m\, M}{r} = 0.$$

Ezért ha $r = r_N$, azaz éppen a Nap felszínéről indul, akkor

$$v = \sqrt{\frac{2\,\gamma\, M}{r_N}} = 6{,}178 \cdot 10^5\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 617{,}8\ \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Ebből a proton mozgási energiája:

$$E_p = \frac{1}{2}\, m_p\, v_p^2 = 3{,}192 \cdot 10^{-16}\ \text{J} = 1992{,}5\ \text{eV},$$

ahol kihasználtuk, hogy 1 eV = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J.

b) Feltételezhetjük, hogy a protonok a Nap belsejében már „szabadon” (ideális gázként) mozognak, és ekkor egy részecske átlagos mozgási energiája:

$$E_{\text{átlag}} = \frac{3}{2}\, k\, T.$$

Ebből a hőmérséklet:

$$T = \frac{2\, E_{\text{átlag}}}{3\, k}.$$

Behelyettesítve: $T \simeq 1{,}54 \cdot 10^7$ K.

10. feladat

kitűzte: Tarján Péter

Egy üreges acélgömb belsejében 5 kg ^{209}Po-ot helyezünk el, majd a gömböt a világűrbe juttatjuk egy olyan pályára, amelyen a Föld mindig árnyékolja a Napot.

a) Mekkora lesz a gömb állandósult hőmérséklete kezdetben?

b) Adjuk meg, hogy hogyan változik a hőmérséklet az idő függvényében!

A gömb sugara 10 cm, a ^{209}Po α-bomló, felezési ideje 125,2 év, az egy bomlásban felszabaduló energia $7{,}98 \cdot 10^{-13}$ J, a gömb külsejének reflexióképessége 0,8.

Megoldás

Az alfa-bomlásban felszabaduló energia nagyobb részét az alfa-részecske, kisebb részét a visszalökődő atommag viszi el mozgási energia formájában. Mindkét részecske mozgási energiája néhány mm úthosszon belül hővé alakul. Emiatt az acélburkolaton keresztül nem szöknek meg részecskék, a bomlási hő a gömb anyagát melegíti. A gömb a világűrben (a Naptól leárnyékolva) csak hősugárzás révén tud energiát veszíteni, a mikrohullámú háttérsugárzás (T = 2,7 K) elnyeléséből nyert energia elhanyagolható. Hőmérsékleti egyensúlyban tehát a bomlásból származó hő teljesítményének és a hő formájában kisugárzott teljesítménynek meg kell egyeznie.

a) A bomlásból származó hő teljesítménye:

$$P_{\text{bom}} = \frac{\Delta N}{\Delta t}\, Q = \lambda\, N\, Q = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}\, \frac{m_0}{M}\, N_A\, Q = 2017\ \text{W}.$$

A sugárzási teljesítmény a Stefan–Boltzmann-törvény és *Kirchhoff* sugárzási törvénye alapján:

$$P_{\text{sug}} = (1 - r)\, A\, \sigma\, T^4.$$

Ebből

$$T = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{sug}}}{(1-r)\, 4\,\pi\, R^2\, \sigma}},$$

ahol R a gömb sugara, r = 0,8 a reflexióképessége, $A = 4\pi R^2$ a gömb felszíne. Kihasználva, hogy $P_{\text{sug}} = P_{\text{bom}}$, és az adatokat visszahelyettesítve kapjuk: T = 1091 K. (Ezen a hőmérsékleten a polónium már olvadt állapotban van, de az acél még nem.)

b) A gömb hőmérséklete idővel csökken, mert azonos időtartamok alatt egyre kevesebb bomlás történik. A termelt teljesítmény a polónium felezési idejének megfelelően csökken. A fentiek alapján

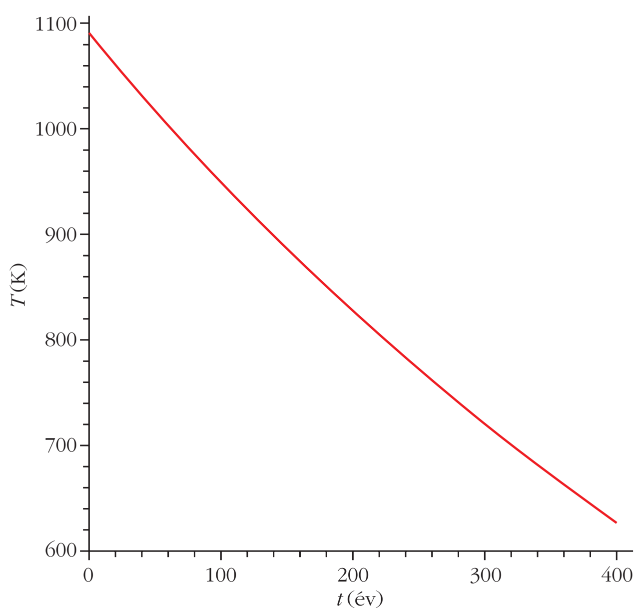
$$T(t) = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{bom}}(t)}{(1-r)\, 4\,\pi\, R^2\, \sigma}} = \frac{1}{C}\left[P_{\text{bom}}(t)\right]^{\frac{1}{4}},$$

ahol

$$C = \left[(1-r)\, 4\,\pi\, R^2\, \sigma\right]^{\frac{1}{4}},$$

valamint

$$P_{\text{bom}}(t) = P_{\text{bom}}(0)\, 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}},$$



ezért

$$T(t) = \frac{1}{C}\left[P_{\mathrm{bom}}(0)\right]^{\frac{1}{4}} 2^{-\frac{t}{4\,T_{1/2}}} = T(0)\, 2^{-\frac{t}{4\,T_{1/2}}}.$$

Tehát a hőmérséklet is exponenciálisan csökken, azonban a negyedik gyök miatt csak négyszer hosszabb felezési idővel.

Az elődöntő eredményei

A korábbi szokásoknak – és a versenykiírásnak – megfelelően a dolgozatokat a versenyzők fizikatanárai javították először a küldött pontozási útmutató alapján. Az I. kategóriás versenyzők 60%-nál, a II. kategóriás versenyzők 40%-nál nem kisebb eredményt elért dolgozatait postán eljuttatták a BME Nukleáris Technika Tanszékére, ahol egy egyetemi oktatókból álló csoport ismét átnézte és – szükség esetén – felüljavította a dolgozatokat. A BME-re 24 első és 18 második kategóriás dolgozat érkezett. Ez a korábbi évekhez képest jelentősen kevesebb, és arra utal, hogy az elődöntő feladatai nehezebbek voltak a korábban szokásosoknál. A legkönnyebb az 1. feladat volt, az erre kapott pontszámok átlaga 4,98 (maximum 5). A legnehezebbnek a 6. feladat bizonyult, itt a pontszámok átlaga 2,52 volt az I. kategóriánál, és 0,85 a II. kategóriánál. Azonban meg kell jegyezni, hogy még erre a feladatra is volt 5 pontos dolgozat mindkét kategóriában(!), ami azt jelzi, hogy a feladat középiskolai ismeretekkel mégis megoldható volt.

A pontszámok szerinti rangsor alapján az első kategóriában az első 20 tanulót, a második kategóriában pedig az első 10 tanulót hívta be a Versenybizottság a 2019. április 7–9. Pakson rendezett döntőbe. Érdekes megjegyezni, hogy míg az I. kategória 20 behívott diákjából körülbelül a fele (11 tanuló) volt budapesti, addig a II. kategóriásoknál csak 3 budapesti tanuló került be a döntőbe, a többi 7 tanuló vidékről jött.

Folytatjuk.

SZÓRAKOZTATÓ FIZIKA

HUMOR A TUDOMÁNYBAN, TUDOMÁNY A HUMORBAN

Horváth Dezső
Wigner FK

Általános szabály, hogy az okos ember hülyéskedik, a hülye meg okoskodik. Okoskodást olvasunk eleget, nézzük meg, mit hülyéskednek tudós kollégáink. Az ötletet kedvenc olvasmányaim, a Vagabund kiadó viccgyűjteményei adták: *Hallók Ákos* 16 kötetnyi viccet gyűjtött, kötetenként 1000-nél több viccel. Ha van is némi átfedés közöttük, akkor is legalább 15 000 viccről van szó. Találtam közöttük jó néhány olyant, amely némi matematikai vagy fizikai előképzettség nélkül nemigen értékelhető, azután találtam még jó néhány hasonlót másutt is, leginkább a világhálón, íme egy rövid fizikusválogatás (és lesz még jópár).

Hogyan tekinti a fizikus a többi tudományt?
Biológia: ragadós-nyúlós fizika.
Geológia: hosszú lejáratú, lassú fizika.
Számítástechnika: virtuális fizika.
Pszichológia: emberes fizika.
Kémia: büdös fizika.
Matematika: öncélú fizika.

Fizikusok bújócskáznak a másvilágon. *Newton* rajzol egy 1 m × 1 m-es négyzetet és beleáll. *Einstein* meglátja és odakiált: „Látlak, Newton”. Mire Newton: „Vesztettél Einstein, Pascal vagyok!”

Heisenberg autót vezet és megállítja a rendőr.
– *Tudja maga, milyen gyorsan ment?*
– *Nem, de azt pontosan tudom, hol vagyok.*

Hallottad, hogy már az entrópia sem a régi?

Az elméleti fizikus működési szabályzata:

1. Mihelyt sikerül kijavítanod egy számítási hibát, felbukkan egy másik.
2. Minél jobb az eredményed, annál nagyobb valószínűséggel utasítja el a folyóiratod, viszont a hibásat azonnal közlik, hogy mások észrevehessék.
3. Minél hosszabb a cikked, annál valószínűbb, hogy számítógéped merevlemeze az irodalmi hivatkozások bevitelénél hal meg.
4. A másoktól átvett eredmények között lesz egy hibás.
5. A legjobb elméleted csak kettőnél kevesebb dimenzióban érvényes.
6. Amint összejön egy érdekes új részecskefizikai modell, az megjósol egy olyan részecskét, amelyet az elvégzett kísérletek már kizártak.

Igaza van a fizikatanáromnak: a közeledő autók fénye fehér, a távolodóké vörös.