XVII. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, I. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

Szilárd Leó születésének centenáriuma alkalmából, *Marx György* professzor kezdeményezésére 1998-ban került először megrendezésre a Szilárd Leó Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny. Azóta a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat minden évben megrendezi a versenyt. 2006 óta határon túli magyar anyanyelvű iskolák tanulói részére is megnyitottuk a részvétel lehetőségét. Sajnos az idén is kevesen éltek ezzel a lehetőséggel. A Benedek Elek Pedagógiai Líceum (Székelyudvarhely, Románia) három első kategóriás (11–12. osztályos) fiút és egy lányt, valamint egy junior kategóriás lányt, a Magyar Tanítási Nyelvű Magángimnázium (Dunaszerdahely, Szlovákia) pedig két első kategóriás fiút nevezett be a versenybe. Szerbiából és Horvátországból, valamint Kárpátaljáról viszont 2014-ben sem kaptunk nevezéseket. Összesen 202 első kategóriás és 74 junior kategóriás nevezés érkezett. Ezek megoszlását mutatja az *1. táblázat.*

A 2014. február 24-én megtartott első forduló (válogató verseny) tíz feladatát az iskolákban lehetett megoldani három óra alatt. Kijavítás után a tanárok azokat a megoldásokat küldték be a BME Nukleáris Technika Tanszékére, ahol a 9–10. osztályos (junior) versenyzők legalább 40%-os, a 11–12. osztályos (I. kategóriás) versenyzők legalább 60%-os eredményt értek el.

Az alábbiakban ismertetjük a válogató verseny valamint a döntő feladatait és röviden a megoldásokat. Valamennyi feladatra 5 pontot lehetett kapni.

1. táblázat

Nevezések megoszlása 2014-ben, zárójelben a 2013. évi adatok

	I. kategóriás		II. kategóriás	
	fiú	lány	fiú	lány
budapesti	64 (86)	6 (11)	16 (16)	1 (1)
vidéki	112 (116)	14 (15)	50 (42)	6 (8)
határon túli	5 (3)	1 (1)	0 (2)	1 (1)
összesen	181 (205)	21 (27)	66 (60)	8 (10)

A válogató verseny (I. forduló) feladatai és megoldásuk

1. feladat

Fejezzük be az alábbi atommagfolyamatokat leíró egyenleteket:

a) $\tilde{\nu}+{}^{3}\mathrm{He} \rightarrow$
b) $e^{-}+{}^{8}\mathrm{B} \rightarrow$
c) ${}^{6}\mathrm{He} \rightarrow {}^{6}\mathrm{Li}+$
d) $\nu+{}^{12}\mathrm{C} \rightarrow$
e) ${}^{40}\mathrm{K} \rightarrow \nu+$

Megoldás

a) $\tilde{\nu}+{}^{3}\mathrm{He} \rightarrow {}^{3}\mathrm{H}+e^{+}$
b) $e^{-}+{}^{8}\mathrm{B} \rightarrow {}^{8}\mathrm{Be}+\nu$

(Megjegyzés: Mivel a ^{8}Be élettartama igen rövid, ezért helyes megoldásnak kell a következőt is elfogadni: $e^{-}+{}^{8}\mathrm{B} \rightarrow {}^{8}\mathrm{Be}+\nu \rightarrow {}^{4}\mathrm{He}+{}^{4}\mathrm{He}+\nu$.)

c) ${}^{6}\mathrm{He} \rightarrow {}^{6}\mathrm{Li}+e^{-}+\tilde{\nu}$
d) $\nu+{}^{12}\mathrm{C} \rightarrow {}^{12}\mathrm{N}+e^{-}$
e) ${}^{40}\mathrm{K} \rightarrow \nu+e^{+}+{}^{40}\mathrm{Ar}$

2. feladat

Hány neutron keletkezik 1 nap alatt a Paksi Atomerőmű egy reaktorában, valamint a BME Oktatóreaktorában? Feltesszük, hogy mindkét reaktor folyamatosan 24 órát üzemel.

Adatok: egy paksi reaktor hőteljesítménye 1485 MW, az oktatóreaktor maximális teljesítménye 100 kW. Egy hasadás során 185 MeV energia szabadul fel, és átlagosan 2,43 neutron keletkezik.

Megoldás

1 MeV = $1{,}6\cdot10^{-13}$ J, tehát egy hasadásból 185 MeV = $2{,}96\cdot10^{-11}$ J szabadul fel.

Pakson 1 nap alatt $1485\cdot10^{6}\cdot86\,400 = 1{,}28\cdot10^{14}$ J energia szabadul fel. Ez azt jelenti, hogy összesen $4{,}33\cdot10^{24}$ hasadás történik, ami $1{,}05\cdot10^{25}$ számú neutront jelent.

A BME-n 1 nap alatt $100\cdot10^{3}\cdot86\,400 = 8{,}64\cdot10^{9}$ J energia szabadul fel. Ez azt jelenti, hogy összesen $2{,}9\cdot10^{20}$ hasadás történik, ami $7{,}09\cdot10^{20}$ számú neutront jelent.

3. feladat

Mit értünk a termikus neutronok fogalma alatt? Becsüljük meg a sebességüket 27 °C hőmérsékleten!

Megoldás

Termikus neutronoknak alatt a környezetükkel hőmérsékleti egyensúlyban lévő neutrongázban lévő neutronokat értjük. A „termalizált” lassú neutronok átlagsebessége az

$$\frac{1}{2}\,m\,v^{2} = \frac{3}{2}\,k\,T$$

összefüggésből kapható meg. 300 K hőmérsékleten az átlagsebesség becsült értéke:

$$v = \sqrt{\frac{3\,k\,T}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}\right] \cdot 300\ [\mathrm{K}]}{1{,}675 \cdot 10^{-27}\ [\mathrm{kg}]}} =$$

$$= 2723{,}04 \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right] = 2{,}72 \left[\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}\right] = 9805{,}86 \left[\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\right].$$

4. feladat

Alapállapotú hidrogénatomokat felgyorsított elektronokkal gerjesztenek.

a) Mekkora legyen az elektronokat gyorsító feszültség legkisebb értéke, hogy a hidrogéngáz színképében pontosan két látható színképvonal jelenjen meg?

b) Ilyen gerjesztés esetén a színkép összesen hány különböző vonalat tartalmaz? Milyen hullámhossztartományba esnek a nem látható vonalak?

c) A színképben megjelenő legkisebb hullámhosszú látható fénnyel egy cézium katódot világítunk meg. Mekkora zárófeszültséggel lehet az elektronok kilépését megakadályozni?

Adatok: a hidrogénatom energiája alapállapotban −13,6 eV, az elektron kilépési munkája a cézium fémből: 0,3 aJ.

Megoldás

a) A H-atom energiaszintjei:

$$E_n = -\frac{13{,}6\ [\mathrm{eV}]}{n^2},$$

ahol (n = 1, 2, 3, …). A látható vonalak a Balmer-sorozat tagjai. Ebben a két, legkisebb energiájú látható vonal az $n = 3 \to n = 2$ és az $n = 4 \to n = 2$ elektronátmeneteknél jön létre, ezért az elektronoknak legalább az $n = 4$ energiaszintre kell gerjeszteni az atomokat. Így a szükséges minimális energia: $Ue = E_4 - E_1 = 12{,}75$ eV kell legyen. Vagyis az elektronokat gyorsító feszültség értéke 12,75 V.

b) Összesen 6 színképvonal jön létre, az

$$\left.\begin{matrix} n = 4 \\ n = 3 \end{matrix}\right\} \to n = 2 \ \text{ átmenetek}$$

2 látható vonalat adnak (Balmer-sorozat), az

$$\left.\begin{matrix} n = 4 \\ n = 3 \\ n = 2 \end{matrix}\right\} \to n = 1 \ \text{ átmenetek}$$

3 vonala UV-tartományba esik (Lyman-sorozat), az

$$n = 4 \to n = 3 \ \text{átmenet}$$

1 vonala infravörös tartományba esik (Paschen-sorozat).

c) A fényelektromos jelenség energiaegyenlete:

$$h f = W_{ki} + e\,U,$$

ahol e az elektron töltésének nagysága ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C), U pedig a zárófeszültség. Így kapjuk, hogy $U = 0{,}7$ V.

5. feladat

A rádium 226-os tömegszámú izotópja által kibocsátott alfa-részecske energiája 4,87 MeV. Tegyük fel, hogy a rádiumtartalmú kőzetben 1 g hélium keletkezik a radioaktív bomlás következtében.

a) Mekkora lenne a keletkező összes alfa-részecske mozgási energiája?

b) Mekkora tömeget lehetne ezzel az energiával 1 km magasra fölemelni?

Megoldás

a) A hélium atommagja az alfa-részecske, amelynek tömege 4 atomi egység. Így 1 g hélium 1/4 mól, vagyis $1{,}5 \cdot 10^{23}$ darab részecske. 4,87 MeV = $7{,}8 \cdot 10^{-13}$ J, így az összes α-részecske energiája: $E = 1{,}5 \cdot 10^{23} \cdot 7{,}8 \cdot 10^{-13}$ J = $1{,}17 \cdot 10^{11}$ J.

b) $E = mgh$, innen

$$m = \frac{E}{g\,h} = \frac{1{,}17 \cdot 10^{11}\ [\mathrm{J}]}{10 \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right] \cdot 1000\ [\mathrm{m}]} =$$

$$= 1{,}17 \cdot 10^{7}\ \mathrm{kg} = 11\,700\ \text{tonna!}$$

6. feladat

Egy felületet 1000 W/m² intenzitással $5 \cdot 10^{-7}$ m hullámhosszúságú fotonokból álló fény ér merőleges beeséssel.

a) Hány foton éri a felület 1 m²-ét egy másodperc alatt?

b) Mekkora az egyes fotonok lendülete?

c) Ha a felület teljesen visszaveri a sugárzást, akkor mekkora nyomás származik a fotonoktól (fénynyomás)?

Megoldás

a) Egy foton energiája:

$$\varepsilon = \frac{h\,c}{\lambda} = 3{,}9756 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J},$$

a fotonok másodpercenkénti száma négyzetméterenként (fotonok fluxusa):

$$\phi = \frac{W}{\varepsilon} = 2{,}515 \cdot 10^{21}\ \frac{1}{\mathrm{s} \cdot \mathrm{m}^2}.$$

Ekkor Δt idő alatt beérkezett fotonok száma az A felületen:

$$N = \phi\,\Delta t\,A = \frac{W \Delta t A}{\varepsilon} = 2{,}515 \cdot 10^{21} \left[\frac{1}{\mathrm{s} \cdot \mathrm{m}^2}\right] \cdot \Delta t\,A.$$

b) Egyetlen foton lendülete:

$$I = \frac{\varepsilon}{c} = 1{,}3252 \cdot 10^{-27}\ \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

c) Visszaverődéskor az átadott lendület egyetlen fotonra: $\Delta I = 2I$, ezért N foton által a felületre gyakorolt erő:

$$F = N\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{2\,I}{\Delta t},$$

amiből a nyomás:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{N\frac{2I}{\Delta t}}{A} = \frac{\phi\,\Delta t A}{A}\frac{2I}{\Delta t} = 6{,}67\cdot 10^{-6}\ \text{Pa}.$$

Megjegyzés: ha csak a fénynyomás lett volna a kérdés, akkor nem lett volna szükség még a hullámhossz megadására és a fotonok számának a kiszámítására sem. Elegendő lett volna az 1 m^2 felületre 1 s alatt érkező energia (energiafluxus) ismerete: Φ = 1000 J/(m^2·s). Ebből Δt idő alatt A felületre eső fény lendülete ugyanis

$$I = \frac{\Phi\,\Delta t A}{c}.$$

Mivel teljesen visszaverődik, ezért az átadott lendület ennek kétszerese, azaz a felületre kifejtett erő:

$$F = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{2I}{\Delta t} = \frac{2\Phi\,\Delta t A}{c\,\Delta t} = \frac{2\Phi A}{c}.$$

A nyomás pedig az erő és a felület hányadosa, azaz

$$p = \frac{F}{A} = \frac{2\Phi A}{cA} = 2\frac{\Phi}{c}.$$

Példánkban F = 1000 W/m^2, tehát a fény nyomása: $6{,}67\cdot 10^{-6}$ Pa.

7. feladat

A fényelektromos jelenség vizsgálatához az 546 nm hullámhosszúságú zöld fény kiválóan alkalmas.

a) Mekkora lenne az ilyen hullámhosszúságú elektron sebessége?

b) Mekkora potenciálkülönbség lenne képes erre a sebességre felgyorsítani az elektront?

c) Hasonlítsa össze az azonos hullámhosszúságú zöld foton és az elektron energiáját!

d) Lehetne-e hasonló jelenséget kiváltani – azaz alkáli fémből elektronokat kiszakítani – ugyanekkora hullámhosszúságú elektronokkal is?

Megoldás

a) Az elektron hullámhosszának egyenlőnek kell lennie a zöld fény hullámhosszával, amely $5{,}46\cdot 10^{-7}$ m, ezt az értéket felhasználva:

$$mv = p = \frac{h}{\lambda},\ \text{innen}\ v = \frac{h}{m\lambda} = 1340\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

b) Az U potenciálkülönbség által adott mozgási energia:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU,\ \text{innen}\ U = \frac{mv^2}{2e} = 5{,}1\ \mu\text{V}.$$

c) Az elektron energiája $eU = 8{,}16\cdot 10^{-25}$ J, a foton energiája

$$E = \frac{hc}{\lambda} = 3{,}67\cdot 10^{-19}\ \text{J},$$

azaz a foton energiája körülbelül 450 ezerszer nagyobb.

d) Emiatt az ilyen hullámhosszúságú elektronnal biztosan nem lehetne kiszakítani elektronokat az alkáli fémből, mivel azok kilépési munkája tized eV (10^{-20} J) nagyságrendű.

8. feladat

Egy orvosi használatra szánt zárt kapszula elektronsugárzó $^{32}_{15}$P izotópot tartalmaz. A kapszulát a kezelés során közvetlenül a daganatba ültetik. A beültetéskor az aktivitás 4,5 MBq, a kibocsátott β-sugárzás átlagos energiája 700 keV. Tegyük fel, hogy a sugárzás energiájának 70%-a nyelődik el a daganatban. Mekkora az összes elnyelt energia egy 14 napos kezelés során?

Adat: a $^{32}_{15}$P felezési ideje 14,3 nap.

Megoldás

A bomlási állandó:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0{,}693}{14{,}3\cdot 86\,400\ [\text{s}]} = 5{,}61\cdot 10^{-7}\ \frac{1}{\text{s}}.$$

A kezdeti részecskeszám:

$$N(0) = \frac{A}{\lambda} = \frac{4{,}5\cdot 10^6 \left[\frac{1}{\text{s}}\right]}{5{,}61\cdot 10^{-7}\left[\frac{1}{\text{s}}\right]} = 8{,}02\cdot 10^{12}\ \text{darab}.$$

A részecskék száma 14 nap után:

$$N(t) = N(0)\,e^{-\lambda t} = $$
$$= 8{,}02\cdot 10^{12}\cdot e^{-5{,}6\cdot 10^{-7}\left[\frac{1}{\text{s}}\right]\cdot 1{,}20960\cdot 10^{6}\ [\text{s}]} =$$
$$= 4{,}07\cdot 10^{12}\ \text{darab}.$$

A bomlások száma:

$$N(0) - N(t) = \Delta N = 3{,}95\cdot 10^{12}\ \text{darab}.$$

Az elnyelt energia:

$$E = \Delta N E_\beta\,\eta = 3{,}95\cdot 10^{12}\cdot 7\cdot 10^5\ [\text{eV}]\cdot 0{,}7 =$$
$$= 1{,}936\cdot 10^{18}\ \text{eV} = 0{,}31\ \text{J}.$$

9. feladat

A Curie-házaspár 1898-ban felfedezte fel a radioaktív rádium elemet. Ezt követően négy éves fáradságos munkával sikerült a tudós házaspárnak 0,1 g tömegű tiszta rádium fémet kémiai reakciók útján az uránszurokércből előállítani.

a) Ha a 0,1 g tömegű elkülönített rádiumot megőrizték volna, akkor mennyi maradt volna belőle mára?

b) Mennyi volt a kinyert rádium fém sugárzási teljesítménye elkülönítéskor, és mennyi lenne most?

c) Mennyi energia szabadult volna fel az elkülönített rádiumból az azóta eltelt időben?

Adatok: a rádium moláris tömege M = 226 g/mol, felezési ideje: 1600 év. Az alfa-részecske energiája: 4,87 MeV.

Megoldás

Figyelni kell arra, hogy az előállítás éve 4 évvel később van, mint a felfedezés éve, azaz 1902-ben történt. Azóta 112 év telt el.

a) Az eredeti m_0 tömegből

$$m = m_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{112\ [\text{év}]}{1600\ [\text{év}]}} = m_0 \cdot 0{,}9526,$$

azaz 95,26% maradt meg.

b) Az aktivitás elkülönítéskor:

$$A = \frac{\ln 2}{T_f} N = \frac{\ln 2}{1{,}6 \cdot 10^3 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7\ [\text{s}]} \frac{0{,}1\ [\text{g}]}{226\ [\text{g}]} \cdot 6 \cdot 10^{23} =$$

$$= 3{,}65 \cdot 10^9\ \frac{1}{\text{s}},$$

aminek felhasználásával az elkülönítéskori sugárzási teljesítmény:

$$P_0 = E_\alpha A = 4{,}87 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}\ [\text{J}] \cdot 3{,}65 \cdot 10^9 \left[\frac{1}{\text{s}}\right] =$$

$$= 2{,}84 \cdot 10^{-3}\ \text{W} = 2{,}84\ \text{mW}.$$

A jelenlegi sugárzási teljesítmény ennek 95,26%-a, így $P_{112} = 2{,}71$ mW lenne.

c) Összesen elbomlott 100–95,26 = 4,74%, azaz 0,0474·0,1 = 0,00474 g. Ebben volt

$$N = \frac{0{,}00474}{226} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 1{,}258 \cdot 10^{19}\ \text{darab}$$

részecske. Ennyi alfa-részecske is bocsátódott ki, egyenként 4,87 MeV energiával. Így a teljes felszabadult energia:

$$E_{összes} = 1{,}258 \cdot 10^{19} \cdot 4{,}87 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}\ \text{J} = 9802\ \text{kJ}.$$

Második megoldás: mivel a felezési idő sokkal nagyobb, mint a 112 év, ezért jól közelíthetjük az exponenciális bomlást egy lineáris függvénnyel, és így számolhatunk átlagos teljesítménnyel is.

$$P_{átlag} = \frac{P_0 + P_{112}}{2} = 2{,}775\ \text{mW}$$

átlagos teljesítménnyel számolva az összes felszabadult energia:

$$E_{összes} = P_{átlag}\, t = 2{,}775 \cdot 10^{-3}\ [\text{W}] \cdot 112 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7\ [\text{s}] =$$

$$= 9{,}790 \cdot 10^6\ \text{J} = 9790\ \text{kJ}.$$

10. feladat

Mennyi egy E_n mozgási energiájú (nem-relativisztikus) neutron energiájának legnagyobb változása, amikor az egy nyugalomban lévő A tömegszámú atommaggal rugalmasan ütközik?

Megoldás

A neutron tömege m, sebessége ütközés előtt v_1, ütközés után v_2.

A mag tömege Am, sebessége (ütközés után) v. Legnagyobb energiaváltozás egyenes ütközéskor következhet be, ezért a továbbiakban csak egyenes ütközést vizsgálunk.

A lendület és az energia is megmarad:

$$m v_1 + 0 = m v_2 + A m v, \qquad (1)$$

$$\text{innen: } v_1 = v_2 + A v,$$

valamint

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + 0 = \frac{1}{2} m v_2^2 + \frac{1}{2} A m v^2, \qquad (2)$$

$$\text{innen: } v_1^2 = v_2^2 + A v^2.$$

Mivel $E_{n1} = E_{n2} + E_A$, így $E_A = -\Delta E_n$. Az (1) és (2) egyenletből:

$$(v_2 + A v)^2 = v_2^2 + A v^2$$

$$\text{innen: } v_2 = \frac{v(1-A)}{2}$$

és így:

$$E_{n2} = \frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{8} m v^2 (1-A)^2 = E_{n1} + \Delta E_n,$$

amelyből A-val történő beszorzás után kapjuk (mivel $\frac{1}{2} A v^2 = E_A = -\Delta E_n$):

$$\Delta E_n = -E_n \frac{4A}{(1+A)^2}.$$

Az elődöntő eredményei, a továbbjutók

Az elődöntő feladatait 70 fő I. kategóriás, és 21 fő junior versenyző teljesítette olyan szinten, hogy dolgozataikat a javító tanárok tovább tudták küldeni a BME Nukleáris Technika Tanszékére további rangsorolás végett. Ezek megoszlását mutatja a *2. táblázat*.

Látszik, hogy 2014-ben összességében a pályázók jóval nagyobb százaléka (91/276 = 33,0%) érte el a továbbküldéshez szükséges szintet, mint az előző évben (58/302 = 19,2%). Ez arra utal, hogy az idén az első forduló feladatai könnyebbek voltak, mint az előző évben. Ez egyébként a Feladatkitűző Bizottság

2. táblázat

Az I. forduló után beküldött dolgozatok megoszlása, zárójelben a 2013. évi adatok

	I. kategóriás	II. kategóriás
budapesti	26 (16)	6 (8)
vidéki	44 (24)	15 (10)
határon túli	0 (0)	0 (0)
összesen	70 (40)	21 (18

kifejezett célja is volt. Sajnos a határon túli iskolákban továbbra sem született olyan dolgozat, amely elérte volna a továbbküldési szintet.

A beküldött dolgozatok ellenőrzése után egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb 10 junior versenyzőt és a legjobb 20 első kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2014. április 12-én megrendezett döntőre. A kiértesítést követően a pécsi Leöwey Klára Gimnáziumból értesítették a Versenybizottságot, hogy egyik döntőbe jutott tanulójuk (*Fekete Panna*) visszalépett a versenyből, más versennyel való ütközés miatt. A Versenybizottság úgy döntött, hogy helyette a pontszámok alapján soron következő tanulót hívja be a döntőbe. Röviddel a döntő előtt még egy további diák is lemondta a versenyt (*Sárvári Péter,* ELTE Apáczai Csere János Gimnázium, Budapest), így végül 19 fő I. kategóriás, és 10 fő második (Junior) kategóriás diák versenyzett.

Az idén három lány jutott be a verseny döntőjébe: *Stark Lívia* (ELTE Trefort Ágoston Gimnázium, Budapest) és *Huszár Emese* (Bethlen Gábor Református Gimnázium, Hódmezővásárhely) az I. kategóriában, valamint *Németh Flóra* (Vajda János Gimnázium, Keszthely) a juniorok között. A verseny fordulóin mobiltelefon és internet kivételével bármilyen segédeszköz használható volt.

Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny döntőjét – mint eddig minden évben – Pakson, az Energetikai Szakközépiskolában (ESZI) rendeztük. A döntő zökkenőmentes lebonyolításáért *Csajági Sándor* tanár úrnak, valamint *Szabó Béla* igazgató úrnak tartozunk köszönettel.

A döntőt megelőző napon a versenyzők és kísérő tanáraik üzemlátogatáson vettek részt a Paksi Atomerőműben.

A döntő versenyfeladatai

Ezen a versenyen is, mint az első Szilárd Leó Versenyen (valamint 2004 óta ismét), a Junior kategória versenyfeladatai részben eltértek az I. kategória (11–12. osztályosok) feladataitól.

1. feladat kitűzte: *Radnóti Katalin*

Szemelvények egy régi cikkből: „Véleményünk szerint az uraninit egy új kémiai elemet tartalmaz, amelynek a polónium elnevezést ajánlottuk… Az urán, a tórium, a polónium, a rádium és ezek vegyületei a levegőt elektromos vezetővé teszik és a fotólemezeken nyomot hagynak. Mindkét hatás sokkal erősebb a polónium és a rádium esetében, mint az uránnál és a tóriumnál. A rádiummal és a polóniummal már félperces exponálási idő után kielégítő nyomokat kapunk a fotólemezeken; míg az urán és a tórium esetében ugyanolyan eredmény eléréséhez több órára van szükség.”

a) Miért teszik a levegőt vezetővé a fenti anyagok?

b) Miért hagynak nyomot a fotólemezen?

c) Miért van különbség a fent leírt effektusokban a különböző anyagok esetében? Milyen fizikai mennyiséggel lehet leírni ezt a különbözőséget?

d) Ki, vagy kik írhatták a cikket, amelyikből az idézet származik?

Megoldás

a) Mert a radioaktív sugárzás ionizálja a levegő molekuláit.

b) Mert a radioaktív sugárzás kölcsönhatásba lép a fotoemulzió molekuláival, és ugyanúgy ionizálja azokat, mint a fény.

c) Azért van különbség, mert azonos anyagmennyiség esetén nem ugyanannyi részecskét bocsátanak ki időegység alatt. Ezt a fajlagos aktivitás írja le.

d) A cikket *Marie Curie, Pierre Curie* és *P. Bémont* írta (elfogadjuk, ha csak Curie-ékat írja valaki)

2. feladat kitűzte:[1] *Sükösd Csaba*

Hány ^{14}C bomlás történik a tüdőben egy nap alatt? Mit jelent ez a sugárterhelés szempontjából?

Adatok: a légkör 0,03 térfogatszázaléka CO_2, a tüdő aktív térfogatát vegyük 3 liternek, a belélegzett levegőt 20 °C-osnak. Egy ^{14}C atomra jutó ^{12}C atomok száma 10^{12}. A ^{14}C felezési ideje 5715 év.

Megoldás

Mivel a ^{14}C felezési ideje jóval nagyobb, mint a vizsgált 1 nap, ezért igazából lényegtelen, hogy a tüdőben lévő levegő hány százaléka cserélődik, hiszen a bent maradt és az újonnan beszívott levegőben is ugyanannyi marad a ^{12}C és a ^{14}C aránya. Más szóval azt kell meghatározni, hogy 3 liter normál állapotú levegőben egy nap alatt hány ^{14}C bomlás történik.

20 °C-on és 1 bar nyomáson (standard állapot) 24,5 literben van mólnyi mennyiségű anyag, azaz összesen $6\cdot 10^{23}$ gázmolekula. A térfogatszázalék és az atomszázalék arányosak egymással, azaz ennek 0,03%-a széndioxid: $3\cdot 10^{-4}\cdot 6\cdot 10^{23} = 1{,}8\cdot 10^{20}$ molekula van 24,5 liter levegőben. Akkor 3 literben

$$1{,}8\cdot 10^{20}\cdot \frac{3}{24{,}5} = 2{,}20\cdot 10^{19}$$

széndioxid-molekula található, amelynek mindegyikében egyetlen szénatom van, de az összes szénatomnak csak 10^{-12}-ed része ^{14}C. Emiatt 3 literben $2{,}2\cdot 10^{7}$ radioaktív szénatom van.

A 3 liter levegő aktivitása tehát

$$a = N\frac{0{,}693}{T_{1/2}} = \frac{1{,}53\cdot 10^{7}}{5717\cdot 365\ [\text{nap}]} = 7{,}32\ \frac{1}{\text{nap}}.$$

Azaz egy nap alatt a tüdőnkben lévő levegőben átlagosan mindössze 8 radiokarbon atommag bomlik el, tehát az ebből származó sugárterhelés elhanyagolható.

3. feladat kitűzte: *Vastagh György*

Deuteronokat injektálunk egy ciklotronba, amelyben a mágneses indukció 0,8 T. A duánsok közötti váltakozó feszültség amplitúdója 40 kV.

[1] *Kis Dániel* és *Reiss Tibor* feladatgyűjteménye alapján.

a) Hány fordulat után tesznek szert 0,5 pJ energiára a deuteronok?

b) Legalább mekkora legyen a ciklotron átmérője?

Adat: a deuteron tömege $3{,}3445 \cdot 10^{-27}$ kg.

Megoldás

a) Mivel egy teljes fordulat alatt a deuteronok kétszer gyorsulnak a duánsok között, ezért egy teljes fordulat alatt

$$2\,U q = 2 \cdot 4 \cdot 10^4 \ \mathrm{eV}$$

mozgási energiát nyernek. Az n fordulat alatt elért mozgási energia tehát:

$$E_m = 2\,U q\, n,$$

$$0{,}5 \cdot 10^{-12}\ [\mathrm{J}] = 2 \cdot 4 \cdot 10^4\ [\mathrm{eV}] \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{eV}}\right] \cdot n,$$

ahonnan $n \approx 39$ fordulat kell.

b) A ciklotron átmérője nagyobb kell legyen, mint a legnagyobb pályasugár, az pedig a

$$q\,v\,B = \frac{m\,v^2}{r}$$

egyenletből, v ismeretében kiszámítható.

A v-t pedig az adott mozgási energia értékéből és a deuteron $m = 3{,}3445 \cdot 10^{-27}$ kg tömegéből határozhatjuk meg:

$$v = \sqrt{\frac{2\,E}{m}},$$

így $v = 1{,}73 \cdot 10^7$ m/s. Ezért az

$$r = \frac{m\,v}{q\,B}$$

kifejezésből $r = 0{,}4514$ m, így a ciklotron átmérőjére 91 cm adódik.

4. feladat kitűzte: *Szűcs József* és Radnóti Katalin

a) Adjuk meg a Föld-pálya térségében az elektromágneses napsugárzás és a részecskesugárzásnak tekinthető, a Napból kiinduló napszél térfogati energiasűrűségének arányát!

b) Hogyan változik a sugárzások energiasűrűségeinek aránya a Naphoz közeledve?

Adatok: a Földre érkező napsugárzás teljesítménye 1370 W/m². A napszél köbcentiméterenként 6 részecskét tartalmaz. A napszelet vegyük a Napból kiinduló, 400 km/s átlagos sebességű protonokból álló izotróp sugárzásnak!

Megoldás

A napsugárzás térfogati energiasűrűsége:

$$w_{nf} = \frac{P_N}{c} = \frac{1{,}370 \cdot 10^3 \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]}{3 \cdot 10^8 \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]} = 4{,}57 \cdot 10^{-6}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^3}.$$

A napszél energiasűrűsége:

$$w_{nsz} = \frac{1}{2}\,\rho_{proton}\, m_{proton}\, v^2 =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 10^6 \left[\frac{1}{\mathrm{m}^3}\right] \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27}\ [\mathrm{kg}] \cdot \left(4 \cdot 10^5 \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]\right)^2 =$$

$$= 8{,}02 \cdot 10^{-10}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^3}.$$

a) Így a sugárzások térfogati energiasűrűségének keresett aránya:

$$q = \frac{w_{nf}}{w_{nsz}} = \frac{4{,}57 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^3}\right]}{8{,}02 \cdot 10^{-10} \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^3}\right]} = 5698.$$

b) Az arányuk nem változik, mivel mindkét sugárzás energiasűrűsége a távolság négyzetével fordított arányban csökken.

Megjegyzések

1) Bár a feladat explicit módon nem jelölte meg, a napszél esetében a térfogati energiasűrűségbe csak a protonok mozgási energiájából adódó energiát számítottuk bele, nem pedig a teljes relativisztikus $m c^2$ energiát. Azonban azok a versenyzők is megkapták a maximális pontot, akik a teljes energiával számoltak, és a számításuk helyes volt.

2) Bár a Versenybizottság nem várta el azt, hogy a versenyzők vegyék figyelembe a gravitáció miatt történő sebességcsökkenést a protonok esetében, sem pedig a gravitációs vöröseltolódást a fotonok esetében, mégis volt olyan versenyző, aki erre a hatásra is gondolt, és ezekre vonatkozóan is adott becslést.

5. feladat kitűzte:[2] *Mester András*

„A nagy rádium botrány” jelzővel illették azt az esetet, amikor 1932. március 31-én *Eben M. Byers* többszörös milliomos, egykori golfbajnok testsúlyának jelentős részét elveszítve, drámai körülmények között meghalt. Byers – egy sérülést követően – roboráló („erősítő”) gyógyszerként Radithort fogyasztott. Egy Radithort tartalmazó fél unciás (1 uncia = 28,25 gramm) üvegcse desztillált vízben ^{226}Ra és ^{228}Ra izotópokat tartalmazott. Az izotópok aktivitása nagyjából azonos, egyenként körülbelül 1-1 μCi (~37 kBq) volt.

a) Mennyi volt az egyes izotópok tömege egy üvegcsében?

b) Mennyi volt az egyes izotópok által egységnyi idő alatt leadott energiák aránya?

c) Az ábra Byers csontjaiban havonta elnyelt dózis becsült értékét mutatja. Mire lehet következtetni az ábrából?

Adatok: a ^{226}Ra α-sugárzó, $E_\alpha = 4{,}871$ MeV, felezési ideje 1600 év, a ^{228}Ra β^--sugárzó, átlagos β-energia $\tilde{E}_\beta$ = 7,2 keV, felezési ideje 5,7 év.

---

2 A *Scientific American* folyóirat 1993. augusztusi számában megjelent cikk alapján.

Megoldás

Adatok: $A = 3{,}7\cdot10^4$ Bq; $T_{226} = 1600$ év $= 5\cdot10^{10}$ s; $T_{228} = 5{,}7$ év $= 1{,}8\cdot10^8$ s; $N_A = 6{,}022\cdot10^{23}$ 1/mol; $M_{226} = 226$ g/mol; $M_{228} = 228$ g/mol.

a) Az izotóp tömege, ha ismert a moláris tömege, aktivitása és felezési ideje:

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} \;\rightarrow\; m = N\frac{M}{N_A},$$

$$A = \frac{0{,}693}{T}N \;\rightarrow\; N = \frac{A\,T}{0{,}693},$$

$$\Downarrow$$

$$m = \frac{A\,T}{0{,}693}\,\frac{M}{N_A} = \frac{A\,T M}{0{,}693\,N_A}.$$

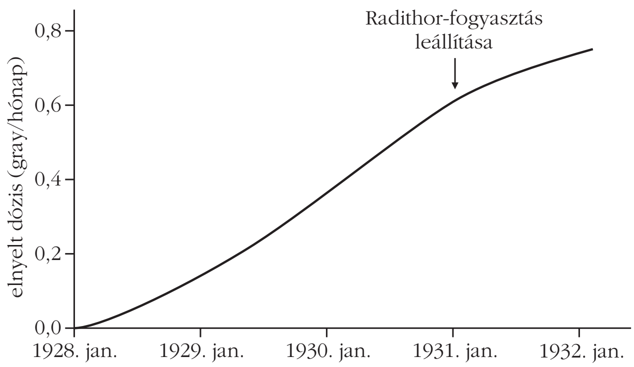
Számítások az egyes izotópokra:

$$m_{226} = \frac{3{,}7\cdot10^4\left[\frac{1}{\mathrm{s}}\right]\cdot5\cdot10^{10}\ [\mathrm{s}]\cdot226\left[\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}\right]}{0{,}693\cdot6{,}022\cdot10^{23}\left[\frac{1}{\mathrm{mol}}\right]} = $$

$$= 1\cdot10^{-6}\ \mathrm{g},$$

$$m_{228} = \frac{3{,}7\cdot10^4\left[\frac{1}{\mathrm{s}}\right]\cdot1{,}80\cdot10^{8}\ [\mathrm{s}]\cdot228\left[\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}\right]}{0{,}693\cdot6{,}022\cdot10^{23}\left[\frac{1}{\mathrm{mol}}\right]} = $$

$$= 3{,}64\cdot10^{-9}\ \mathrm{g}.$$



b) Mivel az aktivitások megegyeztek, ezért a közölt energiák aránya megegyezik az α- és a β-részecskék energiájának a hányadosával:

$$\frac{E_\alpha}{\tilde{E}_\beta} = \frac{4{,}871\ [\mathrm{MeV}]}{0{,}0072\ [\mathrm{MeV}]} = 676{,}5.$$

c) Megfigyelhető, hogy az időegység (egy hónap) alatt elnyelt dózis a Radithor fogyasztásának elhagyása után is növekedett. Ennek oka az, hogy a rádium nem ürült ki a csontokból. A ^{226}Ra hosszú felezési ideje miatt biztosan, a ^{228}Ra esetében pedig valószínűsíthetően a gyártás óta a Radithorban még nem állt be a radioaktív egyensúly. Ezért a rádiumizotópokból folyamatosan keletkező leányelemek a minta aktivitásának a folyamatos növekedését okozták. A növekedő aktivitás miatt a dózisteljesítmény (az időegység alatt leadott dózis) is növekedett.

Folytatjuk.