



4. ábra. Vízió a tudás tiszteletéről a jövőben.

hozzájárul az abszorpcióhoz. Ez bizony feltűnőbb annál, hogy a hó elolvad a melegben!

## Fizikatanítás a jövőben

A fizikatanítás kritikus helyzetben van. A kérdés ez: Melyik nézet válik elfogadottá az alábbi kettő közül:

a) A FIZIKATANÁR, A MAGA GYÁMOLTALAN KIS IGAZSÁGAIVAL, AZ AZ EMBER, AKINÉL MINDENKI TÖBBET TUD.

b) A FIZIKATANÁR EGY DOLOGBAN LEHET VERHETETLEN: AZ IGAZI MEGÉRTÉS ÉLETRE SZÓLÓ ÉLMÉNYÉT ADHATJA A DIÁKNAK.

Megemlékezésünket egy vízióval kezdtük a tudás tiszteletéről a múltban: az öcskös felesége szelíd megadással várja, hogy a férje, vagy a bátyó tart rá igényt (3. ábra).

Fejezzük is be egy *optimista* vízióval a (liberálisabb és politikailag korrektebb) jövőről: a hölgy *maga választ* a jelentkezők közül, de *csak annak van esélye*, akinek a „névjegyéből” kiderül: az illető már letett valamit a tudás oltárára (4. ábra).

# A X. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

## Beszámoló, I. rész

Sükösd Csaba  
BME Nukleáris Technika Tanszék

2007 tavaszán tizedik alkalommal rendezte meg a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat a Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Versenyt. Már a 2004-es verseny meghirdetésekor kibővítettük a hagyományos tematikát: a nukleáris témák mellé egyéb „modern fizikai” területeket is bevontunk a verseny témakörébe, 2006-ban pedig határon túli magyar anyanyelvű iskolák tanulói részére is megnyitottuk a részvétel lehetőségét. Az idén ezzel a Báthory István Elméleti Líceum (Kolozsvár) élt, ahonnan *Angyalosi Csaba* és *Czilli Péter* tanár urak, illetve *Káptalan Erna* tanárnő öt első kategóriás (11–12. osztályos), és huszonhárom második (junior) kategóriás tanulót nevezett be a versenybe. Sajnos, a Felvidékről, Vajdaságból és Kárpátaljáról 2007-ben sem kaptunk nevezéseket. Összesen 231 első kategóriás és 132 junior kategóriás nevezés érkezett.

A 2007. február 26-án 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. Ezeket ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb 10 junior versenyzőt és a legjobb 20 első kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2007. április 28-án megrendezett döntőre. A döntőn minden behívott versenyző megjelent. Az idén négy lány is bejutott a verseny döntőjébe, mindannyian a Junior kategóriá-

ban. A verseny fordulóin (mobiltelefon és internet kivételével) bármilyen segédeszköz használható volt.

Az alábbiakban ismertetjük a válogató verseny, valamint a döntő feladatait és a megoldásokat.

## A válogató verseny (I. forduló) feladatai

### 1. feladat

A sugárterápia bevezetése *Szilárd Leó* nevéhez fűződik. Milyen életrajzi vonatkozása van ennek? (5 pont)

**Megoldás:** Szilárd Leónál hólyagrákot diagnosztizáltak. Felesége és *Klein György* tanácsait követve, valamint a szakirodalmat tanulmányozva megtervezte saját sugárkezelését. A műtét után körülbelül 60 Gy  $\gamma$ -dózist adatott magának a műtéti területen. A rák nyom nélkül elmúlt, Szilárd Leó ezt követően 4 év múlva szívrohamban halt meg. A boncolás kimutatta, hogy a rákból teljesen felgyógyult.

### 2. feladat

Egy  $\alpha$ -sugárzás behatolási mélysége  $10^5$  Pa nyomású levegőben 4 cm. Mekkora lenne a behatolási mélység  $10^3$  Pa nyomású légritkított térben? (5 pont)

**Megoldás:** Az alfa-részecskék energiavesztését a gázban lévő atomokkal, molekulákkal való kölcsönhatás okozza (ionizáció, gerjesztés stb.). Az egyedi molekulákkal való kölcsönhatást nem befolyásolja, hogy az illető molekula mekkora nyomású gázban van, ezért mindkét esetben átlagosan ugyanannyi molekulával

való kölcsönhatás után „áll meg” az alfa-részecske. Század akkora nyomású gázban viszont százszor ritkábban vannak a molekulák, azaz átlagosan százszor hosszabb utat kell megtenni az alfa-részecskének, hogy ugyanannyi molekulával találkozzon. Tehát a  $10^3$  Pa nyomású levegőben a behatolási mélység 400 cm.

### 3. feladat

Mi történik az alábbi felépítésű atomreaktorokkal, ha csőtörés miatt megszökik a hűtőközeg?

- Ha a moderátor grafit, a hűtőközeg víz?
- Ha a moderátor grafit, a hűtőközeg hélium?
- Ha a hűtővíz egyben a moderátor is? (5 pont)

*Megoldás:*

a) A grafit végzi a neutronok moderálását, a láncreakció szempontjából a  $H_2O$ -nak a neutronelnyelő szerepe dominál. A víz megszökése esetén tehát neutronelnyelő távozik, növekszik a neutronszám, megszalad a láncreakció. Az ilyen reaktor a hűtőközegvesztéses üzemzavarral szemben instabil, megszalad.

b) A  $^4He$  zárt héjszerkezetű atommag, nem nyel el neutronokat,  $^3He$  nem létezik. A hélium megszökése esetén emiatt nem távozik neutronelnyelő anyag, a neutronok száma nem nő, sőt a moderálásuk kicsit gyengül. A reaktor ezzel az üzemzavarral szemben stabil.

c) Ez esetben a víznek moderátor szerepe is van. Ha a víz elfolyik, nincs moderátor sem. A gyors neutronok a  $^{238}U$ -ban elnyelődnek, a láncreakció minden beavatkozás nélkül leáll.

A fentiek viszont csak a láncreakció megszaladására vonatkozó megfontolások. A hűtőközeg megszökése után még a láncreakció leállása ellenére is bekövetkezhet zónaolvadás, ha nem gondoskodunk üzemzavari hűtésről, mert az üzemanyagot az erős radioaktivitás a láncreakció leállása után is tovább fűti! Ez minden fenti esetre igaz.

### 4. feladat

A véráramlás sebességét radocirkulográfiának nevezett módszerrel mérik. A korábbi vizsgálati eljárást szerint a vérbe  $^{24}Na$  izotópot juttatnak, amelynek felezési ideje 15 óra, és 2,75 MeV energiájú  $\gamma$ -fotont bocsát ki. A modernebb eljárás szerint  $^{99m}Tc$  izotópot használnak, amelynek felezési ideje 6 óra, és 0,14 MeV energiájú  $\gamma$ -fotont bocsát ki. Mekkora a szervezet által elnyelt dózisos aránya a két vizsgálatban, ha mindkét esetben ugyanakkora aktivitású radioaktív készítményt juttatnak a szervezetbe?

A biológiai kiürülést ne vegyük figyelembe, és tegyük fel, hogy a kibocsátott gamma-fotonoknak ugyanakkora hányada nyelődik el a szervezetben mindkét esetben (a fotonok energiájától függetlenül)! (5 pont)

*Megoldás:* A kétféle készítmény összes radioaktív atomjainak számát az

$$N(0) = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2}$$

képlet szerint számíthatjuk ki. Az eredmény:  $N(0)_{Na} = A \cdot 7,79 \cdot 10^5$  db, illetve  $N(0)_{Tc} = A \cdot 3,12 \cdot 10^5$  db. A fel-

adat feltevése szerint a sugárzásnak energiától függetlenül ugyanannyiad része nyelődik el a szervezetben, ezért a két dózis aránya:

$$\frac{D_{Na}}{D_{Tc}} = \frac{N(0)_{Na} \cdot E_{Na}}{N(0)_{Tc} \cdot E_{Tc}} = 49.$$

Tehát az első esetben közel negyvenkilencszer akkora dózist kap a páciens.

### 5. feladat

Tegyük fel, hogy az igen veszélyes alfa-sugárzó  $^{210}Po$  polónium-izotópból 1  $\mu g$  kerül egy ember szervezetébe, és az 1 nap alatt az emésztőcsatornán végighalad. (Az izotóp felezési ideje 138 nap, az alfa-részek energiája 5,3 MeV.)

a) Mekkora a szervezetbe került izotóp aktivitása?

b) Mekkora dózist kap a körülbelül 2 kg össztömegű emésztőcsatorna ez idő alatt?

c) Mindannyiunk testében van valamennyi – természetes eredetű –  $^{210}Po$ -izotóp, szerencsére igen kis mennyiségben. Legfeljebb mekkora tömegű izotóp lehet (állandóan) egy 60 kg-os ember szervezetében, hogy az egy év alatt kapott dózis a természetes háttér-sugárzásból eredő 2,8 mSv/év dózisérték alatt maradjon? (Tegyük fel, hogy az izotópnak van egy egyensúlyi koncentrációja, azaz annyi utánpótlása is van, amennyi éppen elbomlik.) (5 pont)

*Megoldás:*

a)  $A = (\ln 2 / T_{1/2}) \cdot N = 166$  MBq.

b) Az 1 nap alatt leadott energia:  $E \approx A \cdot t \cdot E_{\alpha} = 12,16$  J. A 2 kg tömegű emésztőcsatorna által kapott dózis:  $D = (12,16 \text{ J} / 2 \text{ kg}) = 6,08$  Gy. Ez jóval több, mint ami az emésztőrendszer tönkretételéhez szükséges.

*Megjegyzések:*

i) Azért számolhattunk állandó aktivitással, mert a 138 napos felezési idő miatt az 1 nap alatt bekövetkező kis csökkenés elhanyagolható.

ii) Ilyen nagy dózisosnál már elnyelt dózissal (Gy) kell számolni, hiszen a biológiailag okozható kár (sejthalál) egy bizonyos elnyelt dózis fölött már nem nő tovább (egy elpusztult sejtet hiába teszünk ki még nagyobb dózissal, attól nem fog „jobban elpusztulni”). Ez a gondolat azonban a Szilárd Leó versenyhez megadott irodalomban nincs kifejtve, ezért a javítás során helyesnek fogadtuk el azt is, ha egy versenyző egyenértékű dózist (azaz  $6 \text{ Gy} \cdot 20 = 120 \text{ Sv-et}$ ) számolt ki.

c) Mivel kis intenzitásról van szó, itt már egyenértékű dózissal kell számolni. 2,8 mSv-nek 60 kg-os ember esetében  $60 \cdot 0,0028 = 0,168$  J felelne meg. Figyelembe kell azonban venni, hogy az  $\alpha$ -sugárzás sugárzási tényezője 20, ezért ennél hússzor kevesebb energia nyelődhet csak el  $\alpha$ -sugárzásból, azaz csak 0,0084 J.

Ennyi energiát  $\Delta N = E/E_{\alpha} = 0,99 \cdot 10^{10}$  bomlás hoz létre. Mivel állandó aktivitást teszünk fel, ezért az átlagos aktivitás:  $A = 0,99 \cdot 10^{10}/\text{év} = 314,1$  Bq. Az aktivitásból a bomló atommagok száma:  $A = N \cdot (\ln 2) / T$  alapján  $N = 5,40 \cdot 10^9$ . Ebből  $m = (N/N_A) \cdot 210 \text{ g} = 1,89 \cdot 10^{-12} = 1,89$  pg.

### 6. feladat

Vízszintes helyzetű kondenzátorlemezek között félúton egy egyszeresen ionizált olajcsepp lebeg vákuumban. A lemezek távolsága 5 cm, a közöttük lévő feszültség 5000 V. A felső lemez pozitív töltésű. Az olajcsepp egyszer csak elveszíti a töltését.

a) Mekkora az olajcsepp tömege?  
b) Merrefelé, és miért kezd el mozogni, miután elvesztette a töltését?

c) Mekkora gyorsulással mozog a csepp?  
d) Mennyi idő alatt éri el a lemezt? (5 pont)

*Megoldás:*

a) Kezdetben a csepp lebeg, ezért a cseppre ható erők eredője 0. Azaz  $e \cdot E = m \cdot g$ . Ebből

$$m = \frac{e \cdot E}{g} = \frac{e \cdot U}{g \cdot d} = 1,63 \cdot 10^{-15} \text{ kg.}$$

b) Miután elveszíti a töltését, csak a nehézségi erő hat rá, ezért lefelé kezd el mozogni

c)  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  gyorsulással.

d) A csepp 2,5 cm utat tesz meg, nulla kezdősebességgel indulva  $g$  gyorsulással, azaz  $s = (g/2) \cdot t^2$ , innen

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = 7,14 \cdot 10^{-2} \text{ s.}$$

### 7. feladat

Egy  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ -forrás aktivitása 9250 Bq. A Geiger-Müller-számláló másodpercenként átlagosan 197 beütést regisztrál akkor, amikor a forrás és a számláló között 2 mm vastag ólomlemez van. A lemez eltávolításakor az átlagos beütésszám másodpercenként 280-ra nő.

a) A mérés során a keletkező  $\gamma$ -fotonok hány százalékát tudjuk csak mérni?

b) Mekkora az ólom abszorpciós együtthatója a  $\gamma$ -sugárzásra nézve?

c) Milyen vastag ólomlemez kellene alkalmazni, ha azt szeretnénk, hogy 50%-kal csökkentse a  $\gamma$ -sugárzás intenzitását? (5 pont)

*Megoldás:*

a) A számláló a 9250 darab fotonból csak 280-at érzékel, ami a fotonok körülbelül 3%-a.

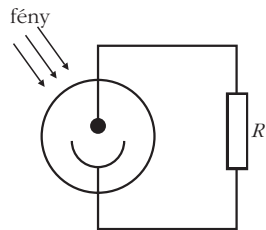
b) Az intenzitás exponenciálisan csökken az abszorbens felületétől  $x$  távolságra:  $I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ , ahol  $I_0$  a belépő intenzitás,  $\mu$  pedig az abszorpciós együttható. Esetünkben a  $197 = 280 \cdot e^{-2\mu}$  egyenletet kell megoldani. Mindkét oldal logaritmusát véve kapjuk végül:  $\mu = 0,176/\text{mm}$ .

c) Azt szeretnénk, ha az abszorbens felületétől  $x$  távolságra feleakkora lenne a sugárzás, amit a következőképpen írhatunk föl:  $0,5 = e^{-0,176 \cdot x}$ . Ismét mindkét oldal logaritmusát véve:  $\ln 0,5 = -0,176 \cdot x$ , ahonnan  $x = 3,94 \text{ mm}$ .

(Ugyanezt az eredményt a felezési rétegvastagság és az abszorpciós együttható közötti összefüggés alapján közvetlenül is meg lehet kapni:  $x = (\ln 2)/\mu$ .)

### 8. feladat

Egy fotocellát 400 nm hullámhosszúságú ibolyaszínű fényrel világítunk meg. A katódra jutó fényteltjesítmény 5 mW. A katód anyagának kilépési munkája 2 eV, a katód kvantumhatásfoka pedig 1/5, vagyis minden ötödik foton becsapódására jut egy elektronkilépés. A fotocella elektrodáira ellenállást kapcsolunk a mellékelt rajz szerint.



a) Mekkora egyensúlyi feszültség alakul ki az ellenálláson, ha  $R = 100 \Omega$ ?

b) Mekkora lesz az egyensúlyi feszültség, ha  $R = 1 \text{ M}\Omega$ ? (5 pont)

*Megoldás:* A fotocella által leadható legnagyobb áramerősséget (amikor valamennyi katódból kilépő elektron átfolyik az ellenálláson) a fény teljesítményéből és a kvantumhatásfokból számíthatjuk ki:

$$I_t = \frac{P \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c} \cdot e}{5} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 320 \mu\text{A.}$$

a) Ez a 100 ohmos ellenálláson  $U = I \cdot R = 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^2 = 0,032 \text{ V}$  feszültséget alakítana ki. Még ellenőrizni kell, hogy ez a feszültség ténylegesen létrejöhet-e az ellenálláson. A katódból kilépő elektronok energiáját a fényelektromos egyenletből tudjuk meghatározni:  $E = (h \cdot c)/\lambda - W_{ki} = 1,1 \text{ eV}$ .

A kilépő elektronok tehát az ellenálláson kialakult 0,032 V „ellentert” biztosan le tudják győzni, mivel az a fotocella zárófeszültségének körülbelül 3%-a. Az ellenálláson tehát folyamatosan folyik az áram, a kialakuló feszültséget a lehetséges maximális áramerősség határozza meg.

b) Ha az 1 M $\Omega$ -os ellenállást kapcsoljuk a fotocellára, a fenti összefüggés alapján az ellenálláson 320 V feszültségnek kellene kialakulni. Az elektronok azonban – a fényelektromos egyenlet alapján – legfeljebb 1,1 V-os „ellentert” tudnak legyőzni, ennél nagyobb feszültség az ellenálláson nem alakulhat ki. Ez azt jelenti, hogy itt nem folyhat a lehetséges maximális áramerősség, a kialakuló feszültséget a fotocella „lezárása” fogja megszabni. Ezért 1,1 V körüli feszültség (1,1 V-nál valamivel kisebb feszültség) fog kialakulni. Ha az ellenálláson körülbelül 1,1 V feszültség alakul ki, akkor a rajta átfolyó áram erőssége:  $1,1 \cdot 10^{-6} = 1,1 \mu\text{A}$ . Ez a maximális áramerősségnek körülbelül 290-ed része. Ennek létrejöttéhez elegendő, ha a katódból kilépő elektronoknak csak körülbelül 3–4 ezreléke (a legnagyobb energiájúak) éri el az anódot. A többi (kisebb energiájú) elektront a kialakult elektromos erőtér már visszafordítja a katód felé.

### 9. feladat

Egy betegnek terápiás célból 1 GBq aktivitású radioaktív készítményt adnak be. Hányszor többet kell a betegnek várnia ahhoz, hogy a testében lévő többletaktivitás 1 kBq-re csökkenjen ahhoz képest, mint

ha csak diagnosztikai célú, 1 MBq aktivitású izotópkészítményt kapott volna? (5 pont)

*Megoldás:* Tegyük fel, hogy diagnosztikai esetben  $T$  idő alatt csökken a készítmény aktivitása ( $1 \text{ kBq} / 1 \text{ MBq} = 0,001$  részére. Terápiás esetben a készítmény aktivitásának ( $1 \text{ kBq} / 1 \text{ GBq} = 0,000001 = (0,001)^2$ -re kell csökkenni. Mivel a radioaktív bomlások exponenciálisak, azaz az aktivitás azonos idők alatt ugyanannyiszorososan csökken (mértni sor), ezért  $(0,001)^2$ -es csökkenéshez éppen kétszer annyi idő kell, mint  $0,001$ -szeres csökkenéshez. Azaz  $2T$  időre van szükség.

### 10. feladat

A CERN-ben a 27 km kerületű, gyűrű alakú alagútban elhelyezett LEP (Large Electron–Positron Collider – Nagy Elektron–Pozitron Ütköztető) gyorsító gyűrűben elektronokat és pozitronokat gyorsítottak 101 GeV energiára. Most ugyanebben az alagútban egy másik gyorsító, az LHC (Large Hadron Collider – Nagy Hadron Ütköztető) épült. Ebben egymással szemben rohanó két protonnyalábot gyorsítanak majd fel egyenként 7 TeV energiára, és ezeket ütköztetik össze. Hányszor erősebb mágneses teret kell létrehozni a részecskék ugyanakkora sugarú körpályán tartásához, mint a LEP esetében kellett? (5 pont)

*Megoldás:* A körpályára merőleges mágneses tér, valamint a részecske töltése és sebessége által meghatározott Lorentz-erő adja a körpályán tartáshoz szükséges centripetális erőt. Azaz az erők abszolút értékére  $(m \cdot v^2)/r = e \cdot v \cdot B$ . Innen:  $p = m \cdot v = B \cdot r \cdot e$ . Mivel a részecskék mindkét esetben erősen relativisztikusak (azaz energiájuk sokkal nagyobb, mint a nyugalmi tömegükhöz tartozó  $m_0 \cdot c^2$  energia), ezért nyugodtan vehetjük úgy, hogy  $p = E/c$ . Ezt beírva a fenti képletbe kapjuk, hogy  $E = B \cdot (r \cdot e \cdot c)$ , illetve  $E/B = \text{konstans}$ , mivel a zárójelben szereplő mennyiségek mindkét esetben ugyanazok. Ebből

$$\frac{E_p}{E_e} = \frac{B_p}{B_e} = 69,3,$$

tehát körülbelül hetvenszer akkora mágneses indukcióra van szükség.



Az elődöntő feladatait 54 fő I. kategóriás, és 20 fő junior versenyző teljesítette olyan szinten, hogy dolgozataikat a javító tanárok tovább tudták küldeni a BME Nukleáris Technika Tanszékére további rangsorolás végett. A beküldött dolgozatokból választotta ki a zsűri a legjobb 20 I. kategóriás, és a legjobb 10 junior versenyzőt, akit behívtak a döntőbe.

## A döntő versenyfeladatai

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

### 1. feladat (kitűzte Radnóti Katalin)

Egy nemrég kivágott fadarabból  $^{14}\text{C}$  izotóp mérésére alkalmas mintát készítettek. A mintából a számláló 15 beütést számlált óránként. Egy azonos tömegű és ugyanúgy előkészített régi fadarab esetében ez az érték csak 8,5 volt óránként. Ez utóbbi fadarab Szenofern fáraó koporsójából származott. A történészek úgy gondolják, hogy a fáraó Krisztus előtt 2700 és 2550 közt halhatott meg. Alá tudja-e támasztani ez a mérés a történészek vélekedését? ( $^{14}\text{C}$  felezési ideje 5760 év.) (5 pont)

*Megoldás:*

$$\frac{A(t)}{A(0)} = e^{-\lambda \cdot t}, \text{ ahol } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

a bomlási állandó. Így

$$\ln\left(\frac{A(t)}{A(0)}\right) = -\lambda \cdot t = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t.$$

Behelyettesítve  $t = 4673$  év adódik, így a fadarab Kr. e. 2600 körüli évekből származik. A kormeghatározás pontosságát sok körülmény befolyásolja. A feladat nem kérdezi a pontosságot, és a megadott adatokból az nem is becsülhető meg.

### 2. feladat (kitűzte Sükösd Csaba)

Mi a magfizikai oka annak, hogy az  $^{235}\text{U}$  atommagot már igen kis (termikus) energiájú neutron is szét tudja hasítani, míg a  $^{238}\text{U}$  atommag széthasítását csak jóval nagyobb energiájú neutronok tudják megtenni? (5 pont)

*Megoldás:* Az ok a párenergia. Mindkét uránizotópban a protonok száma páros, azonban a  $^{235}\text{U}$  páratlan számú neutronot tartalmaz, míg a  $^{238}\text{U}$ -ban neutronból is páros számú van. A páros számú nukleont tartalmazó magok stabilabbak. A  $^{235}\text{U}$  neutronbefogásakor páratlan neutronsámú (gyengébben kötött) magból páros neutronsámú (erősebben kötött) atommag keletkezik, míg a  $^{238}\text{U}$  esetén éppen fordított a helyzet. Ezért a  $^{235}\text{U}$  neutronbefogása után nagyobb kötési energia áll az atommag rendelkezésére ahhoz, hogy a hasadási gáton áthaladjon.

### 3. feladat (kitűzte Sükösd Csaba)

A  $\text{C}_{20}\text{H}_{22}$  láncmolekulában két szénatom közötti kötéstávolság 134 pm. Minden szénatom egyik elektronja delokalizálódik az egész molekula mentén. Legalább mekkora energiájú fotonnal gerjeszthető a molekula? (5 pont)

*Megoldás:* Használjuk a húrmodellt! A molekulában a 20 C-atom között 19 kötés van, azaz a molekula hossza  $a = 19 \cdot 134 = 2546$  nm hosszú. A molekulában 20 delokalizált elektron van, és így, mivel egy állapotban 2 elektron lehet, az első 10 delokalizált állapot teljesen betöltött. A gerjesztéshez tehát a 10. és a 11. állapot közti energiakülönbséget kell leadnia a fotonnak. A  $k$ -ik állapot energiája az alapállapottól számítva

$$E = \frac{h^2}{8 \cdot m \cdot a^2} \cdot k^2.$$

Így a 10. és a 11. állapotok különbségére kapjuk:

$$\Delta E = \frac{b^2}{8 \cdot m \cdot a^2} \cdot (122 - 100) = 1,97 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

A megoldók között volt, aki a „húr” hosszát 20 kötéstartávolságúnak vette arra hivatkozva, hogy a kialakuló állóhullámok körülbelül fél-fél kötэшosszal „túl-nyúlnak” a két szélső szénatomon. A zsúri ezt is teljes értékű megoldásnak fogadta el.

#### 4. feladat (kitűzte Sükösd Csaba)

Fűzz megjegyzéseket a következő, 2002-ből származó újsághírhez, és hívd fel a figyelmet az újságíró tévedéseire és hibás szóhasználatára!

„Néhány héttel ezelőtt az észak-koreaiak közölték James Kellyvel az USA State Department egyik vezetőjével: van atomprogramjuk, foglalkoznak urániumdúsítással, azaz plutónium más módon való elnyerésével. Erre válaszként az USA leállította az Észak-Korea irányuló olajszállításait. A válaszra adott válaszként pedig Észak-Korea megkezdte az új fűtőtestek beszállítását a Phenjantól 90 km-re található, 5 megawattos, grafitfékezéssű erőműbe. Az észak-koreaiak a közelmúltban eltávolították a reaktorról azt a pecsétet, amelyet az ENSZ Biztonsági Tanácsának ellenőrei helyeztek el korábban. Eltávolították az ENSZ pecsétjeit további három nukleáris létesítményről is: egy használt fűtőtesteket tartalmazó raktárról, egy moderátort újrafeldolgozó laboratóriumról és egy urániumgyártó üzemről. Felmondták továbbá csatlakozásukat a Nukleáris Sorompó Egyezményhez.” (5 pont)

*Megoldás:*

- Az urándúsítás során nem plutóniumot nyernek ki, (különösen nem elnyernek);
- a reaktorban nem fűtőtestek, hanem üzemanyagkazetták, esetleg fűtőelemek vannak;
- a grafitfékezéssű helyesen grafit moderátoros;
- a pecsétet nem az ENSZ Biztonsági Tanácsa, hanem a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség helyezte el;
- nem a moderátort, hanem a használt fűtőelemet (nem fűtőtestet) szokás reprocesszálni;
- az üzemben szintén fűtőelemet és nem uránt gyártanak, az uránt a kibányászott uránércből állítják elő;
- az egyezmény neve helyesen Atomsorompó Egyezmény.
- Végül egy nyelvhelyességi megjegyzés: szóösszetételekben nem urániumot, hanem uránt használunk (azaz urándúsítás, és nem urániumdúsítás). Nem kapott érte pontlevonást az, aki ezt nem vette észre.

#### 5. feladat (kitűzte Tallián Miklós)

Egy nukleáris alapismeretekkel rendelkező kereskedő (ilyen is lehet) azt találja ki, hogy néhány üveg régi, jó minőségű, leviaszolt dugóval légmentesen lezárt bort felbont, majd azonos korú és származási helyű, de sokkal gyengébb minőségű, olcsó borral felhígítja. Ezek után a keveréket az eredeti (illetve azokkal teljesen azonos) üvegekbe visszacsomagolva árusítja. Azt gondolja, hogy mivel azonos korú bort

használt a keveréshez, a kapott folyadék tríciumtartalma ugyanaz lesz, mint az eredeti, jó minőségű boré, így nem bukhat le.

a) Igaza van-e a tríciumtartalmat illetően? (Indokold meg a választ.)

b) Hogyan lehetne lebuktatni? (5 pont)

*Megoldás:*

a) Igaza van, hiszen a trícium főleg a bor víz- (és alkohol-) tartalmában van jelen. Azonos helyen és időben termelt borok tríciumtartalma azonos. Ennek alapján a tríciumkoncentráció mérésével valóban nem lehet „lebuktatni” a kereskedőt.

b) A trícium bomlásakor azonban  ${}^3\text{He}$  gáz keletkezik, a bor korából és eredeti tríciumtartalmából meghatározható mennyiségben. Ez egy hermetikusan lezárt üvegből nem tud kiszökni, összegyűlik a folyadék felett, az üvegben. A keveréshez azonban a palackokat meg kell bontani, és ekkor a  ${}^3\text{He}$  gáz elszökik. Tehát az üveg gáztartalmából a fogyasztás előtt mintát kell vennünk, és meg kell vizsgálnunk a  ${}^3\text{He}$  tartalmát. Ha a vártnál kisebb eredményt kapunk, akkor az üveget felnyitották palackozás után. Ez ugyan önmagában még nem bizonyítja a csalást, de azt igen, hogy a bor már nem az eredeti palackozásban van, és ezért manipulálhatták.

#### 6. feladat (kitűzte Tallián Miklós)

Egy gránittömbben az  ${}^{238}\text{U}$  koncentrációja  $10^{-5}$ . A  ${}^{238}\text{U}$  bomlási sorának végén a  ${}^{206}\text{Pb}$  ólomizotóp áll. Becsüld meg egy 1 tonna tömegű gránittömb teljes aktivitását. A kapott eredmény a valódi értéket alá- vagy fölébecsli? Mit kellene tudni a pontos eredményhez?

Adatok: a gránitot tekintjük  $\text{SiO}_2$ -nek, ennek mól-tömege 60 g/mól.  $10^{-5}$ -es uránkoncentráció azt jelenti, hogy a tömb minden százezredik részecskéje urán, nem pedig  $\text{SiO}_2$ . Az  ${}^{238}\text{U}$  felezési ideje 4,5 milliárd év. (5 pont)

*Megoldás:* Először ki kell számolni, hány tagja van a bomlási sornak. Mivel a tömegszámot csak az  $\alpha$ -bomlás csökkenti, adódik, hogy  $(238 - 206)/4 = 8$  db  $\alpha$ -bomlás történik. Ez a rendszámot 16-tal csökkenti. Ám az ólom rendszáma 82, így szükség van 6 db  $\beta$ -bomlásra is. Ez összesen 14 bomlást jelent az urántól az ólomig.

Mivel a  ${}^{238}\text{U}$  felezési ideje jelentősen nagyobb a sor összes tagjánál, szekuláris egyensúly alakul ki, azaz a bomlási sor minden tagjának aktivitása a  ${}^{238}\text{U}$  aktivitásával fog megegyezni. Az uránsor teljes aktivitása tehát az urán aktivitásának a 14-szerese lesz.

A  ${}^{238}\text{U}$  aktivitásának meghatározása: 1 tonna gránit 16 667 mól  $\text{SiO}_2$ -t tartalmaz, azaz 0,16667 mól  ${}^{238}\text{U}$ -t. Az aktivitásról tudjuk, hogy

$$A = N \cdot \lambda = N \cdot \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Az adatok behelyettesítésével az uránra 488,1 kBq aktivitás adódik, a teljes sor aktivitása tehát körülbelül 6,83 MBq.

A kapott eredmény a valódi aktivitást felülbecsli, mert a sornak az egyik tagja nemesgáz, a  ${}^{222}\text{Rn}$ , ez ki

tud diffundálni a kőzetekből. A sor utána következő tagjainak aktivitását ez befolyásolja (csökkenti). A természetes uránban jelen lévő  $^{235}\text{U}$  és bomlási sorának aktivitását a megoldás során elhanyagoltuk.

### 7. feladat (kitűzte Kopcsa József)

Egy  $20\text{ cm}^3$  térfogatú edény  $400\text{ mg}$  rádiumot tartalmaz. Mekkora a vele radioaktív egyensúlyban lévő radongáz nyomása  $30\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékleten?

Adatok: a  $^{226}\text{Ra}$  felezési ideje  $1620\text{ év}$ , a  $^{222}\text{Rn}$  felezési ideje  $3,825\text{ nap}$ . (5 pont)

Megoldás: Egyensúlyban a két radioaktív izotóp aktivitása megegyezik.  $\lambda_1 \cdot N_1 = \lambda_2 \cdot N_2$ , ebből

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = N_1 \cdot \frac{T_2}{T_1},$$

ahol  $T_1$ , illetve  $T_2$  az egyes izotópok felezési ideje.  $400\text{ mg}$  rádiumban  $N_1 = (0,4/226) \cdot N_A$  részecske van, a felezési idők segítségével megkapjuk  $N_2$  értékét is:  $N_1 = 1,06 \cdot 10^{21}$ , illetve  $N_2 = 6,86 \cdot 10^{15}$ .

Az ideális gázok állapotegyenlete:

$$p \cdot V = \frac{N_2}{N_A} \cdot R \cdot T, \text{ ebből } p = \frac{N_2}{V \cdot N_A} \cdot R \cdot T.$$

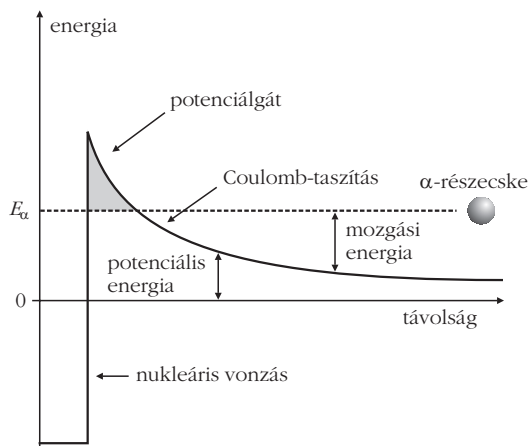
Behelyettesítve:  $p = 1,441\text{ N/m}^2$ . Tehát a radongáz nyomása egyensúlyban  $1,441\text{ pascal}$ .

### 8. feladat (kitűzte Kopcsa József)

A természetes radioaktív izotópok felezési idejét és az általuk kibocsátott  $\alpha$ -részecskék hatótávolságát vizsgálva Geiger és Nuttal megállapították: a nagyobb hatótávolságú  $\alpha$ -részecskéket kibocsátó izotópok felezési ideje jelentősen kisebb. Milyen fizikai modellel értelmezhető ez a tapasztalat? (5 pont)

Megoldás:

– Az  $\alpha$ -részecskék hatótávolsága monoton növekvő kapcsolatban van a részecskék mozgási energiájával. Ezért a Geiger–Nuttal-törvényt úgy is át lehet fogalmazni, hogy a nagyobb energiájú  $\alpha$ -részecskéket kibocsátó izotópok felezési ideje kisebb.



– Az  $\alpha$ -bomlás kvantummechanikai modellje szerint az  $\alpha$ -részecske alagúteffektussal tud kijutni az atommag potenciálgölygéből. A potenciálgáton való átjutás valószínűsége erősen függ a potenciálgát szélességétől és magasságától: minél szélesebb és magasabb a potenciálgát, annál kisebb valószínűséggel tud rajta átjutni a részecske. Azok az  $\alpha$ -részecskék, amelyek nagy energiával lépnek ki, „magasabban” vannak az atommag potenciálgölygében, ezért nekik keskenyebb és kevésbé magas potenciálgáton kell átjutniuk. Ez nagyobb valószínűséggel következhet be, tehát azonos számú atommagból időegység alatt több bomlik el, vagyis az izotóp felezési ideje kisebb (hamarabb elbomlik a fele).

## HÍRNEVES ISKOLA – 450, KIVÁLÓ TANÁR – 75, VERSENYZŐ DIÁKOK – 25

Friss turisztikai élménnyel indítom ezt az írást. Írország Meath nevű körzetében, Dublintól északra, a Boyne folyó völgyében hatalmas, gömbsüveg alakú kősrhalom látható: Newgrange, a világörökség része. Az egyiptomi piramisoknál is idősebb kőkorszaki emlék bejáratánál, és egy helyen belül a sírkamra kőfalán is látható három egymásba fonódó spirális díszítés. Nincs elfogadott értelmezés az 5000 éves műalkotás jelentésére. Jelképezheti a Napot, Holdat, Földet, vagy az Anyát, Apát, Gyermeket. Számomra az Iskolát, a Tanárt és a Diákot ábrázolja.

Az iskola nemcsak maga az épület, hanem – esetenként – a több száz éves hagyomány, az összes eddigi diák és tanár eszmei együttese. A most éppen ta-

nító tanár szoros kapcsolatban áll az iskolával: ezt fejezi ki a háromszorosan egymásba kapcsolódó két spirál, s éppen elválik tőle a közös alkotás: a diák.

A soproni Berzsényi Dániel Evangélikus Gimnázium (Líceum), Dunántúl egyik legrégebbi középiskolája 450 éves. Sok neves diákja közül a névadó Berzsényi mellett megemlítjük Döbrönteit Gábort, az MTA első főtítkárárt, a költő Vajda Pétert, az orvosprofesszor Balassa Jánost, a nyelvész Gombócz Zoltánt és természetesen kedvenc, kiváló tanár-fizikusainkat: Mikola Sándort, Rátz Lászlót, Renner Jánost és Vermes Miklóst. Értékeesebbé, országos hírűvé tették az iskolát mozgalmai: 1790-től működött az iskolában a soproni Magyar Társaság, 1827-től a diákkormányzatok elődje a Deák-