felelőbbnek bizonyuló volfrámötvözettel történő helyettesítését oldotta meg, majd megalkotta a mérések fotografikus regisztrálását, valamint az inga méretét jelentősen csökkentette. Ez, az „Auterbal” fantázianevű inga a két világháború között igen népszerűvé vált az egész világon.

A háborút követően, az 1952-ben publikált újabb kutatási eredményei alapján (a lecsökkentett lengésidőnek köszönhetően gyorsabb, pontosabb mérés) kifejlesztette az E 54 jelzésű ingát, melyet az 1958-as brüsszeli expó magyar pavilonjában mutattak be (*12. ábra*). A műszer elnyerte a világkiállítás nagydíját.

Az E 54 kifejlesztése (*13. ábra*) a korábbiakhoz hasonlóan az ELGI-ben történt, gyártása pedig a Süss-vállalat államosítását követően utódjában, a Magyar Optikai Művekben folyt továbbra is.

A FIZIKA TANÍTÁSA

XII. 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. Az idén ezzel három erdélyi iskola, a Berde Mózes Unitárius Kollégium (Székelykeresztúr), a János Zsigmond Unitárius Kollégium (Kolozsvár) valamint a Nagykárolyi Elméleti Líceum (Nagykároly) élt, ahonnan összesen hét első kategóriás (11–12. osztályos), és egy junior kategóriás tanulót neveztek be a versenybe. Sajnos, Felvidékről, Vajdaságból és Kárpátaljáról 2008-ban sem kaptunk nevezéseket. Összesen 220 első kategóriás (a már említett határon túliakon kívül 160 vidéki és 53 budapesti) valamint 169 junior kategóriás (vidékről 103, Budapestről 65) nevezés érkezett.

A 2009. március 2-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. Az első forduló után 49 db I. kategóriás (38 vidéki, 11 budapesti) és 16 db II. kategóriás (15 vidéki és 1 budapesti) dolgozatot küldtek be a javító tanárok. Határon túlról sajnos egy dolgozat sem érkezett.

A beküldött dolgozatokat ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb tíz junior versenyzőt és a legjobb húsz első kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2009. április 25-én megrendezett döntőre. A döntőn minden behívott versenyző megjelent. Az idén hét lány jutott be a verseny döntőjébe, öten az I. kategóriában, ketten a juniorok között. A verseny fordulóin (mobiltelefon és Internet kivételével) bármilyen segédeszköz használható volt.

✧

A döntőt megelőző napon a versenyzők és kísérő tanáraik üzemlátogatáson vettek részt a Paksi Atomerőműben, este pedig – kulturális programként – az érdeklődők megnézhették *Michael Frayn: Koppenhága* című színdarabját, amelyet a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Karának három hallgatója állított színre.

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

A válogató verseny (I. forduló) feladatai és megoldásuk

1. feladat

A ^{32}P foszforizotópot az orvosi gyakorlatban is használják radioaktív nyomjelzőként. A vizsgálathoz a kórház $6\cdot10^6$ Bq aktivitású ^{32}P-t tartalmazó preparátumot kap.

a) Mennyi ideig használhatják ezt, ha aktivitásának $3{,}7\cdot10^5$ Bq-re történő csökkenése esetén már nem alkalmazhatják?

b) A ^{32}P izotópot egy magyar tudós állította elő először. Ki volt ő? Mit tudsz még róla?

Adatok: A ^{32}P szükséges adatait a *Függvénytáblázat* tartalmazza.

Megoldás: a) A bomlási törvény alkalmazásával

$$3{,}7\cdot10^5 = 6\cdot10^6\cdot2^{-\frac{t}{14{,}2}},\ \text{azaz}\ 16{,}22 = 2^{\frac{t}{14{,}2}}.$$

Ebből

$$t = 14{,}2\cdot\frac{\lg 16{,}22}{\lg 2} = 57\ \text{nap}.$$

b) A ^{32}P első előállítója *Hevesy György* (1885–1966), aki 1943-ban kapott Nobel-díjat a radioaktív nyomjelzéses vizsgálatok felfedezéséért.

2. feladat

A fénymikroszkóp felbontóképessége az a legkisebb távolság két pont között (Δx), amit még meg tudunk különböztetni. Ez arányos a mikroszkóphoz használt fény λ hullámhosszával ($\Delta x \sim \lambda$). Felgyorsított elektronokat elektromos és mágneses mezők úgy el tudnak téríteni, mint a fénysugarakat a lencsék. Ezt felhasználva elektronmikroszkópot készíthetünk. Tekintsünk egy olyan elektronmikroszkópot, ahol az elektronokat 10 kV feszültséggel gyorsítjuk.

a) Hányszor kisebb távolságokat lehet ezzel felbontani, mint a 340 nm hullámhosszúságra érzékeny fénymikroszkóppal?

b) Diszkutáljuk, hogy milyen elhanyagolásokkal, feltételezésekkel éltünk a megoldás során!

Megoldás: a) A de Broglie-összefüggés: $\lambda = h/p$, és az energiamegmaradás szerint (klasszikusan)

$$\frac{p^2}{2\,m} = e\,U.$$

Így

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\,m\,e\,U}}.$$

Behelyettesítve a megfelelő értékeket, az elektron hullámhossza $1{,}23 \cdot 10^{-11}$ m.

A feladat szövege szerint a felbontóképesség egyenesen arányos a hullámhosszal, tehát a felbontóképességek aránya:

$$\frac{340 \cdot 10^{-9}}{1{,}23 \cdot 10^{-11}} = 27642.$$

b) Az egyik elhanyagolás az volt, hogy az elektronok lendületét nem relativisztikusan számítottuk ki. Másrészt feltételeztük, hogy az elektronmikroszkópra ugyanaz az arányossági tényező a hullámhossz és a felbontóképesség között, mint a fénymikroszkópnál. Ez nem feltétlenül van így.

3. feladat

Egy, a bőrgyógyászatban használt CO_2 lézer 10,6 μm hullámhosszúságú fényt bocsát ki, amely hegesedés nélküli beavatkozások elvégzésére alkalmas. A lézerfényt a bőrön egy 100 μm átmérőjű köralakú foltra fókuszálva ott 5 GW/m^2 teljesítménysűrűséget kapunk. Hány foton érkezik másodpercenként a bőrre?

Megoldás: A kör alakú folt területe: $A = r^2\pi = (5 \cdot 10^{-5})^2\pi = 7{,}85 \cdot 10^{-9}$ m^2. A bőrre a lézerfényből másodpercenként érkező energia (teljesítmény): $P = I \cdot A = 5 \cdot 10^9 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-9} = 39{,}25$ W. A lézerforrás által kibocsátott foton energiája:

$$E_0 = h\,\frac{c}{\lambda} = 1{,}876 \cdot 10^{-20}\ \text{J}.$$

A másodpercenként érkező fotonok száma:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{39{,}25}{1{,}876 \cdot 10^{-20}} = 2{,}092 \cdot 10^{21}\ \text{db}.$$

4. feladat

A Föld természetes uránkészletét 2,2 megatonnára (Mt) becsülik. Ha ezzel az uránkészlettel termikus reaktorokban (hő formájában felszabaduló) energiát termelnénk, hány m^3 gázolajjal lenne ez egyenértékű? Csak a ^{235}U tömegszámú uránizotóp hasadásából nyerhető energiával számoljunk!

Adatok: Az uránkészlet 0,72 tömegszázaléka ^{235}U. A ^{235}U hasadásakor felszabaduló energiát vegyük 200 MeV-nek. A gázolaj adatait a *Függvénytáblázat* tartalmazza.

Megoldás: Az urán 235 atommagok száma:

$$N_1 = \frac{7{,}2 \cdot 2{,}2 \cdot 10^{12}}{235} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 4 \cdot 10^{31}.$$

Ennek elhasításakor keletkező energia (amely hő formájában szabadul fel):

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{31} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-11} = 1{,}28 \cdot 10^{21}\ \text{J}.$$

Ugyanennyi energiát

$$m_2 = \frac{Q_1}{L_f} = \frac{1{,}28 \cdot 10^{21}}{4{,}35 \cdot 10^{7}} = 2{,}94 \cdot 10^{13}\ \text{kg}$$

gázolajból nyerhetnénk. Ennek a térfogata

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{2{,}94 \cdot 10^{13}}{840} = 3{,}5 \cdot 10^{10}\ \text{m}^3\ \text{lenne}.$$

5. feladat

A müon az elektron nagyobb tömegű változata, a tömege 207-szer nagyobb, mint az elektroné. Vegyünk egy olyan hidrogénatomot, amelyben az elektron helyét elfoglalja egy müon (ez a müónium). A hidrogénatom négy színt bocsát ki a látható fény tartományában, (Balmer-sorozat) ezek hullámhossza: ibolya: 410,1 nm; kék: 434 nm; világoskék: 486,1 nm, és piros: 656,3 nm.

Milyen hullámhosszúak a müónium által kibocsátott, ezeknek megfelelő elektromágneses hullámok? Hogy nevezzük a nagyságrendileg ilyen hullámhosszú sugarakat?

Megoldás: Az atommag körül keringő elektron n-edik pályájának energiája a következő képlettel határozható meg:

$$E_n = -\frac{m\,e^4\,Z^2}{8\,\varepsilon_0^2\,h^2} \cdot \frac{1}{n^2}.$$

Ebből látszik, hogy az atommag körül elhelyezkedő részecske energiája az m tömeggel egyenesen arányos. Valamely ($n \to k$) átmenet során kibocsátott fotonok energiája:

$$hf = E_n - E_k = m \frac{e^4 Z^2}{8 \varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

illetve hullámhossza:

$$\lambda = \frac{1}{m} \frac{hc}{\frac{e^4 Z^2}{8 \varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)}.$$

Mivel a müónium „Balmer-sorozatának” hullámhosszait keressük, ezért a képletben egyedül a tömeg különbözik, minden más paraméter ugyanaz marad. Így a második törtet összefoglalhatjuk egy K konstansba:

$$\lambda = \frac{1}{m} K.$$

Tehát a kibocsátott fotonok hullámhossza annyiszor kisebb lesz, ahányszor nagyobb tömeget kell ebbe a képletbe helyettesíteni.

A müontömeg az elektrontömeg 207-szerese, tehát a kibocsátott fotonok hullámhossza 207-szer kisebb, azaz

$$\frac{410{,}1}{207} = 1{,}98 \text{ nm}, \qquad \frac{434{,}0}{207} = 2{,}1 \text{ nm},$$
$$\frac{486{,}1}{207} = 2{,}35 \text{ nm}, \qquad \frac{656{,}3}{207} = 3{,}17 \text{ nm}.$$

Ezek már a röntgen-tartományba esnek.

Ha a tanuló a hullámmodell alapján jut arra a következtetésre, hogy a hullámhosszak 207-ed részükre csökkennek, azt is teljes értékű megoldásnak fogadjuk el.

Bár nem követelmény, de kiemelendő, ha a diák rájön arra, hogy a müóniumnál már figyelembe kell venni azt, hogy a proton és a müon tömege között nincs olyan nagy különbség, mint az elektron és a proton tömege között, ezért a fenti képletbe nem a müon tömegét, hanem a müon-proton rendszer redukált tömegét kell behelyettesíteni. Itt is célszerű a redukált tömeg és az elektrontömeg arányát kiszámítani (sőt, még pontosabb számításnál a müon redukált tömegének és az elektron redukált tömegének az arányát):

$$m_{r\mu} = \frac{m_p m_\mu}{m_p + m_\mu}, \qquad m_{re} = \frac{m_p m_e}{m_p + m_e},$$

tehát

$$\frac{m_{r\mu}}{m_{re}} = \frac{m_\mu}{m_e} \frac{m_p + m_e}{m_p + m_\mu} = 207 \frac{1836 + 1}{1836 + 207} = 186{,}13.$$

Vagyis pontosabb értéket kapunk, ha 207 helyett ezzel az értékkel osztunk, azaz

$$\frac{410{,}1}{186{,}13} = 2{,}20 \text{ nm}, \qquad \frac{434{,}0}{186{,}13} = 2{,}33 \text{ nm},$$
$$\frac{486{,}1}{186{,}13} = 2{,}61 \text{ nm}, \qquad \frac{656{,}3}{186{,}13} = 3{,}53 \text{ nm}.$$

6. feladat

A CERN új gyorsítójában, a 26,7 km kerületű LHC-ben 7 TeV energiájú protonok keringenek és ütköznek. A teljes kerület mentén 2808 csomagban keringenek a protonok. Egy csomagban $1{,}15 \cdot 10^{11}$ darab proton van.

a) Mekkora egy protoncsomag teljes energiája? Ha egy 150 kg tömegű kismotor ekkora mozgási energiával rendelkezne, mekkora sebességgel mozogna?

b) Mekkora a teljes kerület mentén mozgó protonok energiája? Mekkora tömegű 25 °C fokos aranytömböt lehetne megolvasztani ekkora energiával?

Adatok: az arany móltömege M = 197 g, mólhője: 25,418 J/(K·mol), olvadáspontja: 1337,6 K, olvadáshője pedig 12 550 J/mol.

Megoldás: a) 7 TeV = $7 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 1{,}12 \cdot 10^{-6}$ J egy darab részecske energiája. Egy csomag energiája tehát: $1{,}12 \cdot 10^{-6}$ J $\cdot\, 1{,}15 \cdot 10^{11} = 1{,}29 \cdot 10^5$ J.

A kismotor sebessége

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2{,}58 \cdot 10^5}{150}} = 41{,}47 \text{ m/s} \approx 149 \text{ km/h}.$$

b) A teljes kerület mentén mozgó összes proton energiája: $E_{össz} = 1{,}29 \cdot 10^5$ J $\cdot\, 2808 = 362{,}2$ MJ. Nyilván $E_{össz} = c \cdot m \cdot \Delta T + L \cdot m$, amiből kapjuk:

$$m = \frac{E_{össz}}{c \Delta T + L} =$$

$$= \frac{3{,}622 \cdot 10^8}{25{,}418 \cdot (1337{,}6 - 298) + 12550} = 9293 \text{ mol}.$$

Ennek a tömege 1830,8 kg.

7. feladat

Egy 25 keV mozgási energiával rendelkező elektron esetén hány %-os relatív hibát követünk el de Broglie-hullámhosszának kiszámításakor, ha relativisztikus számolás helyett a klasszikus utat választjuk? És neutron esetén?

Megoldás: A de Broglie-hullámhossz: $\lambda = h/p$. A klasszikusan, illetve relativisztikusan számolt hullámhosszak annyiban térnek el, hogy az egyiknél a lendületet klasszikusan, a másiknál relativisztikusan kell meghatározni a részecske mozgási energiájának segítségével.

Klasszikusan

$$p_k = \sqrt{2 m_0 E_m},$$

ahol E_m a részecske mozgási energiája, m_0 pedig a (nyugalmi) tömege. Innen

$$\lambda_k = \frac{h}{\sqrt{2 m_0 E_m}}.$$

Relativisztikusan

$$E_m = \sqrt{p^2 c^2 + \left(m_0 c^2 \right)^2} - m_0 c^2,$$

amiből átrendezés és négyzetre emelés után kapjuk:

$$p^2 c^2 = E_m\left(E_m + 2\, m_0\, c^2\right).$$

Végül tehát a lendület relativisztikus kifejezése a mozgási energiával:

$$p_r = \frac{1}{c}\sqrt{E_m\left(E_m + 2\, m_0\, c^2\right)}\ .$$

Ennek alapján tehát

$$\lambda_r = \frac{h\, c}{\sqrt{E_m\left(E_m + 2\, m_0\, c^2\right)}}.$$

A relatív eltérés:

$$s = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_r} = \frac{\lambda_k - \lambda_r}{\lambda_r} = \frac{\lambda_k}{\lambda_r} - 1 =$$

$$= \frac{\sqrt{E_m\left(E_m + 2\, m_0\, c^2\right)}}{\sqrt{2\, m_0\, c^2\, E_m}} - 1 = \sqrt{1 + \frac{E_m}{2\, m_0\, c^2}} - 1.$$

Ebből adódik elektron esetén:

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)_e = \sqrt{1 + \frac{4\cdot 10^{-15}}{2\cdot 9\cdot 10^{-31}\cdot 9\cdot 10^{16}}} - 1 =$$

$$= 0{,}0123 = 1{,}23\%.$$

Neutron esetén:

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)_n = \sqrt{1 + \frac{4\cdot 10^{-15}}{2\cdot 1{,}67\cdot 10^{-27}\cdot 9\cdot 10^{16}}} - 1 =$$

$$= 0{,}0000067 = 0{,}00067\%.$$

8. feladat

A paksi atomreaktorokban a víz alulról felfelé áramlik keresztül az aktív zónán. A nyitott, „medence” típusú oktató- és kutatóreaktorokban viszont a sugárvédelmi szakemberek javaslatára felülről lefelé keringetik a hűtővizet. Mi lehet ennek az oka?

Megoldás: A reaktor belsejében keletkezhetnek radioaktív izotópok (aktivációs termékek), amelyek a hűtővízbe kerülhetnek, vagy már eleve a vízben voltak (pl. oldott sók). Ha lefelé kering a hűtővíz, akkor mire a víz körbeér, és ismét a felszínre kerül, addigra a rövid felezési idejű aktivációs termékek elbomlanak, így a környezetet érő sugárterhelés csökkenthető. Az energiatermelő reaktorokban a hűtővíz hermetikusan el van zárva a környezettől, így ez nem tervezési szempont.

9. feladat

A Nap fő energiatermelő folyamata az úgynevezett pp-ciklus, amelynek során (több részfolyamatban) végeredményben négy protonból hélium keletkezik: $4p \rightarrow {}^4\mathrm{He} + 2\,e^+ + 2\,\nu_e + 26$ MeV.

A Nap anyagának összetétele kezdetben: 75% (tömegszázalék) hidrogén, 25% hélium. A Nap működésének első 7 milliárd évében a kezdeti protontartalom körülbelül 10%-a alakul át a pp-ciklusban. A Nap átlagos sugárzási teljesítménye (luminozitása) $L \approx 3{,}86\cdot 10^{26}$ W. Ezek alapján becsüljük meg a következőket:

a) Kezdetben átlagosan hány proton lehetett a Napban?

b) Mekkora volt a Nap teljes tömege?

c) Mennyit változik a Nap tömege 7 milliárd év alatt a kisugárzott energia következtében?

Adatok: a proton tömegét vegyük a *Függvénytáblázat*ból!

Megoldás: Első lépésben azt határozzuk meg, hogy a Napban az adott energiatermelési szakaszban összesen hány pp-ciklus zajlott le. Ehhez a kisugárzott teljes energiát el kell osztani egyetlen pp-ciklus alatt felszabadult energiával:

$$N_{pp} = \frac{t\cdot L}{\Delta E} = \frac{7\cdot 10^9\cdot 365\cdot 24\cdot 3600\cdot 3{,}86\cdot 10^{26}}{1{,}602\cdot 10^{-19}\cdot 26\cdot 10^6} =$$

$$= 2{,}046\cdot 10^{55}.$$

Tudjuk, hogy egy pp-ciklusban 4 proton vesz részt, tehát a folyamat során összesen $4N_{pp} = 8{,}183\cdot 10^{55}$ proton fogyott el. Mivel a Nap kezdeti protontartalmának mindössze 10%-a vett részt az energiatermelésben, könnyen kiszámíthatjuk a kezdeti teljes protonszámot:

a) $N = 8{,}183\cdot 10^{55}/0{,}1 = 8{,}183\cdot 10^{56}$.

Ennyi proton tömege: $M^p = 8{,}183\cdot 10^{56}\cdot 1{,}672\cdot 10^{-27} = 1{,}37\cdot 10^{30}$ kg. A protonok a Nap tömegének csak 75%-át tették ki, tehát a Nap kezdeti tömege:

b) $M = 1{,}37\cdot 10^{30}/0{,}75 = 1{,}82\cdot 10^{30}$ kg

c) A 7 milliárd év alatt kisugárzott teljes energia:

$$N_{pp}\cdot 26\ \mathrm{MeV} = 2{,}46\cdot 10^{55}\,\frac{26\cdot 10^6}{1{,}602\cdot 10^{19}} = 8{,}522\cdot 1043\ \mathrm{J}.$$

Ennek megfelelő tömeg:

$$\Delta M = \frac{E}{c^2} = \frac{8{,}522\cdot 10^{43}}{9\cdot 10^{16}} = 9{,}47\cdot 10^{26}\ \mathrm{kg}.$$

Ez ugyan óriási tömeg (kb. százötvenszer akkor, mint a Föld tömege), de a Nap kezdeti tömegének mindössze 5 tízezreléke.

Megjegyzések:

1) A megoldás során feltételeztük, hogy a 7 milliárd év alatt a Nap luminozitása nem változik. Ez a valóságban nincs így.

2) Az irodalomban megtalálható (*Particle Physics Booklet,* 2004) naptömeg: $1{,}98844(30)\cdot 10^{30}$ kg. Látható, hogy ezzel az egyszerű gondolatmenettel is már nagyságrendileg jó eredményt kapunk.

10. feladat

Az úgynevezett „mikrorobbantásos” fúziós berendezésekben nagy, gömb alakú reaktorkamrába egyenként belőtt kicsiny üzemanyag-kapszulákat hevítenek lézerekkel, ily módon indítva be a fúziós reakciót. Egy 1 mm átmérőjű üzemanyag-kapszula térfogatának fele 1000 kg/m^3 sűrűségű deutérium-trícium (D-T) keverék, a másik fele egyéb anyag.

a) Számítsuk ki, hogy egy 1 GW termikus teljesítményű fúziós erőműnél másodpercenként hány kapszulát kell felrobbantani, ha az elégetett üzemanyag aránya 30%. Számoljunk csak a fúzióban felszabaduló energiával!

b) Milyen korrekciók lennének még az energiamérleghez, ha nem csak a fúziós reakcióban felszabaduló összes energiával számolnánk? (Nem számszerű eredményt várunk!)

c) A kapszula másik felét alkotó adalékanyagok elpárolognak, és egyenletesen lerakódnak a 10 m átmérőjű, gömb alakú reaktorkamra falán. Milyen vastag réteg képződik ezekből egy év alatt?

Adatok: a D-T (^{2}H + ^{3}H) fúziós reakció adatait vegyük a *Függvénytáblázat*ból!

Megoldás: a) Egy kapszula térfogata:

$$V = \frac{4\, r^3 \pi}{3} = \frac{4 \cdot \left(5 \cdot 10^{-4}\right)^3 \cdot \pi}{3} = 5{,}2 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{m}^3.$$

Ennek fele D-T keverék. A kapszulában lévő D-T tömege: $m = \rho \cdot V = 1000 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-10} = 2{,}6 \cdot 10^{-7}$ kg. Ennek 30%-a vesz részt a reakcióban, ezért a reakcióban résztvevő tömeg: $7{,}8 \cdot 10^{-8}$ kg. Egy D-T „pár” móltömege 5 g, ezért

$$\frac{7{,}8 \cdot 10^{-5}}{5} \cdot 6 \cdot 10^{26} = 9{,}36 \cdot 10^{18}\ \text{részecskepár van.}$$

Egyetlen kapszulából keletkező energia:

$$E = 9{,}36 \cdot 10^{18} \cdot 17{,}62\ \mathrm{MeV} = 26{,}4\ \mathrm{MJ}.$$

Innen a robbanások gyakorisága:

$$f = \frac{10^9\ \mathrm{J/s}}{26{,}4 \cdot 10^6\ \mathrm{J}} = 38\ \mathrm{Hz}.$$

b) A fúzióban felszabaduló energia jelentős részét (kb. 80%-át) a neutronok viszik el. Bár a neutronok nagy részét a reaktort körülvevő köpenyben befogják, egy részük mégis kiszökhet a reaktorból. Az ezek által elvitt energia nyilván nem hasznosítható, csökkenti az energiamérleget. Másrészt azonban a köpenyben befogott neutronok nemcsak a mozgási energiájukat adják le, hanem további magreakciókat is létrehozhatnak, amelyek további (esetleg hasznosítható) energiaforrást jelenthetnek. Ez viszont növelheti a megtermelt energiát.

c) Egy év alatt $38 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 1{,}2 \cdot 10^9$ kapszulát kell „felrobbantani”. A kapszulák térfogatának fele rakódik le a reaktortartály felszínére, azaz

$$d\, 4\pi R^2 = 1{,}2 \cdot 10^9\, \frac{V}{2} = 1{,}2 \cdot 10^9 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-10} = 0{,}312\ \mathrm{m}^3.$$

Mivel $R = 5$ m, ezért a lerakódott réteg vastagsága

$$d = \frac{0{,}312}{4\pi \cdot 5^2} = 1\ \mathrm{mm}.$$

✧

Az elődöntő feladatait 51 fő I. kategóriás, és 16 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 húsz I. kategóriás, és a legjobb tíz junior versenyzőt, akiket behívtak a döntőbe.

BECSLÉSI VERSENY AZ ÁRPÁD VEZÉR GIMNÁZIUM ÉS KOLLÉGIUMBAN

Bigus Imre
Árpád Vezér Gimnázium, Sárospatak

A matematikában és a természettudományokban, de a mindennapi életben is gyakran előfordulnak olyan problémák, feladatok, amikor valaminek az értékét nem határozzuk meg pontosan, vagy azért, mert nincs rá szükségünk, vagy azért, mert nem is tudjuk meghatározni. Ezekben az esetekben megpróbálunk valamilyen becsült értéket adni. Sok esetben az érzékelt (látott, hallott, tapintott) jelenségeket a bennünk kialakult képességek alapján igyekszünk térben és időben elhelyezni, becsüljük a nagyságot, a tőlünk való távolságot. Egyes emberekben nagyon pontos időérzék alakul ki, mások térbeli látása, tájékozódása kiváló.

Megtervezik, mennyi lesz a privatizációs bevétel vagy a gazdaság egyes ágazataiban a termelés, a fogyasztás, megbecsülik, mennyi jut az oktatásra a nemzeti jövedelemből. A mezőgazdaságban becsüljük a várható termést, a kárszakértő becsüli a kárt. Természetesen becsléskor bizonyos dolgoktól eltekintünk, így a becslési adatok nem minden esetben felelnek meg az adott terület szakemberei által igényelt szintnek.

Melyek azok az oktatási értékek, amelyek a becslési képesség növelésében rejtőznek?

Úgy gondolom, hogy a becslési képesség fejlesztése elősegíti a matematikai képességek és a mindennapi életben a helyes döntések számának növekedését. Ezért a tanulókat meg kell tanítani arra, hogy legyenek képesek a mindennapi életben használt méretek, mértékek, árak becslésére.