XIV. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, I. rész

Kis Dániel Péter, 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 is részt vehetnek. Sajnos idén jóval kevesebben éltek ezzel a lehetőséggel, mint a tavalyi évben. A János Zsigmond Unitárius Kollégium (Kolozsvár) és a Nagykárolyi Elméleti Líceum (Nagykároly) összesen 3 első kategóriás (11–12. osztályos) tanulót nevezett be a versenybe, szemben a tavalyi, összesen 20 határon túli tanulóval. Sajnos, Szerbiából és Horvátországból, a Felvidékről és Kárpátaljáról 2011-ben nem kaptunk nevezéseket. A tavalyi 251-gyel szemben összesen 239 első kategóriás – a már említett határon túliakon kívül 169 (tavaly 177) vidéki és 67 (tavaly 54) budapesti – valamint 113 (tavaly 140) junior kategóriás – vidékről 93 (tavaly 118), Budapestről 20 (tavaly 22) – nevezés érkezett.

A 2011. február 21-én megtartott első forduló (válogató verseny) tíz feladatát az iskolákban lehetett megoldani három óra alatt. A verseny fordulóin (mobiltelefon és Internet kivételével) bármilyen segédeszköz használható volt. 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 – a 2. részben pedig a döntő – feladatait és röviden a megoldásokat. Valamennyi feladatra 5 pontot lehetett kapni.

A válogató verseny (I. forduló) feladatai és megoldásuk

1. feladat

1 liter vízben elkevertek 1 gramm jódot, amelyet 11 100 Bq aktivitású, 8,04 napos felezési idejű, 131-es jód izotóppal nyomjeleztek. Négy nap elteltével a szilárd jódot nem tartalmazó oldatból 1 dl mintát vettek, és ennek aktivitását 185 Bq-nek találták.

a) A jód hány százaléka oldódott fel a vízben?

b) Mennyi a jód oldékonysága mg/liter egységben?

Megoldás

Ha 1 dl víz aktivitása 185 Bq, akkor egy liter víz aktivitása 1850 Bq lenne. Négy nap alatt a bevitt jód aktivitása csökkent:

$$A = 11100 \cdot 2^{-\frac{4}{8,04}} = 7872 \text{ Bq}.$$

Ebből: 1850/7872 = 0,235, azaz a jód 23,5%-a oldódott bele a vízbe.

b) Mivel a jód teljes mennyisége 1 gramm volt, ennek a 23,5%-a 235 mg. A jód oldékonysága tehát 235 mg/liter.

2. feladat

Egy kritikus állapotban lévő atomreaktorba állandó intenzitású külső neutronforrást helyezünk. Hogyan változik időben a neutronok száma? Indokoljuk meg a választ!

Megoldás

A magyarázathoz vegyünk egy egyszerű gondolatmenetet. Kritikus állapotban a reaktorban lévő neutronok száma legyen n. Mivel a reaktor kritikus állapotban van, a neutronok száma időben állandó, *függetlenül attól, hogy éppen mekkora az n*. Ha tehát egy ilyen rendszerbe egy plusz neutront juttatunk, akkor a reaktorban lévő összes neutron száma immáron $n+1$ lesz. Ez meg is marad, mivel a reaktor továbbra is kritikus állapotban lesz, azaz a neutronszám időben állandó. Ha ezután újabb neutron kerül a rendszerbe, akkor az állandó neutronszám $n+2$ lesz. Ha időben állandó ritmusban juttatunk neutronokat a reaktorba, akkor a fentiekből következően a neutronszám időben egyenletesen (az idővel lineárisan) nő.

3. feladat

a) A paksi 500 MW villamos teljesítményű, 34%-os hatásfokú blokkok kazettái 3,82%-os átlagos ^{235}U dúsítású üzemanyagot tartalmaznak. Mekkora tömegű üzemanyag tartalmaz annyi ^{235}U-t, amennyit egy blokk egy óra alatt elhasznál?

b) Mennyi 10 MJ/kg fűtőértékű barnaszenet használ fel óránként egy 30%-os hatásfokú szénerőmű 500 MW villamos teljesítmény eléréséhez?

Megoldás

Az összes teljesítmény

$$P_ö = \frac{P_b}{\eta} = \frac{500 \text{ MW}}{0,34} = 1471 \text{ MW}.$$

a) Egy óra alatt megtermelt energia:

$$E = P_ö t = 1471 \cdot 10^6 \,[\text{W}] \cdot 3600 \,[\text{s}] = 5,30 \cdot 10^{12} \text{ J}.$$

1 atommag hasadásakor $32 \cdot 10^{-12}$ J szabadul fel. Ezért a megtermelt energia

$$n = \frac{5,30 \cdot 10^{12} \,[\text{J}]}{32 \cdot 10^{-12} \,[\text{J}]} = 1,66 \cdot 10^{23} \text{ db}$$

atommag hasadásából származik. A hasadások ^{235}U-ból termelik az energiát. Ezért ennyi atommag tömege

$$\frac{1,66 \cdot 10^{23}}{6 \cdot 10^{23}} \cdot 235 \,[\text{g}] = 65,0 \text{ g } ^{235}\text{U}.$$

Ez viszont csak az üzemanyag 3,82%-át teszi ki, tehát ennyi ^{235}U-t:

$$m = \frac{65{,}0}{3{,}82} \cdot 100\ [\mathrm{g}] = 1700\ [\mathrm{g}] = 1{,}70\ \mathrm{kg}$$

átlagos dúsítású üzemanyag tartalmaz.

b) A barnaszén átlagos fűtőértéke 10 MJ/kg. A szénerőmű hőteljesítménye:

$$P_ő = \frac{500 \cdot 10^6 \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}\right]}{0{,}3} = 1{,}67 \cdot 10^9\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}.$$

Egy óra alatt megtermelt teljes energia

$$Q = P_ő\, t = 1{,}67 \cdot 10^9 \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}\right] \cdot 3600\ [\mathrm{s}] = 6 \cdot 10^{12}\ \mathrm{J}.$$

Az 1 óra alatt felhasznált szén mennyisége

$$m = \frac{6 \cdot 10^{12}\ [\mathrm{J}]}{10^7 \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right]} = 6 \cdot 10^5\ \mathrm{kg} = 600\ \text{tonna}.$$

4. feladat

A *Népszabadság* 2010. április 27-i számában egy érdekes híradás jelent meg *Koronczay Dávid* írásában, amelyből részleteket közlünk:

„Időszámításunk előtt 50 körül indult utolsó útjára a hispániai Carthago Nova városából Itáliába az a kereskedelmi gálya, amely rakományként különféle típusú amforák mellett közel hetventonnányi ólmot szállított.

A történetünkben szereplő hajó azonban sohasem érte el úti célját: a szardíniai partoktól mindössze egy kilométerre, a mai Oristano mellett elsüllyedt. A roncs számára eseménytelenül telt el az elkövetkezendő kétezer év. Ezután azonban felgyorsultak az események. A leletekről szóló híradás megjelent az újságokban, és azt egy nukleáris fizikával foglalkozó milánói kutató, *Ettore Fiorini* is olvasta. Azonnal felcsillant a szeme, amikor megtudta, mi volt az ókori hajó rakománya. Gyorsan elutazott Cagliariba, a sziget fővárosába, és felajánlotta az INFN, az olasz nukleáris fizikai kutatóintézet segítségét az archeológiai főfelügyeletnek. A pénzügyi támogatásért cserébe azt kérte, hogy hadd kapják meg a fizikusok az ólomtéglák egy részét, miután a régészek alaposan kielemezték azokat. A megegyezést nyélbe ütötték, és a kétezer téglából meg is kaptak százhúsz darabot. Mindez több mint húsz évvel ezelőtt történt. Most, áprilisban azonban további százötven ólomtégla érkezik Cagliari múzeumából az Appenninek alatt megbúvó, föld alatti Gran Sasso Nemzeti Laboratóriumba, ahol új feladatot kapnak.

Az ólomöntvényekbe előállításuk során elkerülhetetlenül belekerülnek természetes eredetű radioaktív ólomizotópok is.”

a) Milyen célra használják a nukleáris és a részecskefizikusok az ólmot?

b) Milyen természetes eredetű radioaktív ólomizotópról lehet szó az utolsó mondatban?

c) Melyik magyar Nobel-díjas tudós foglalkozott ezzel az izotóppal?

d) Melyik bomlási sor tagja ez az ólomizotóp?

e) Miért jobb az ókori ólom a mainál?

Megoldás

Létezik egy sor magfizikai és részecskefizikai kísérlet, amelyek sikere azon múlik, hogy a detektorokat megfelelően le tudják árnyékolni a környezetben található leggyengébb radioaktív sugárzásoktól is. Az ólom, mint nagy rendszámú elem, kiváló és széles körben használt *árnyékoló anyag*. Azonban az öntvényekbe előállításuk során elkerülhetetlenül belekerülő természetes eredetű radioaktív izotópok bomlása, bármilyen kicsiny mennyiségről van is szó, tönkreteheti a méréseket.

A kérdéses radioaktív izotóp az ólom *22 éves felezési idejű 210-es izotópja,* amelyet *Hevesy György vizsgált*. Ez az izotóp a *238-as urán bomlási sorában* található.

A kétezer évvel ezelőtt előállított ólomtéglákban viszont ez az izotóp mára már *tökéletesen elbomlott*. Az antik ólom ezért számít ideális árnyékoló, keresett anyagnak.

5. feladat

Az 1910-es évek elején a kutatók azt a furcsaságot vették észre a bomlástermékeitől megtisztított természetes urán bomlásának vizsgálatakor, hogy az átalakulások során α-részecske kibocsátása közben kétféle felezési idejű anyag (ahogy akkor nevezték UX és UY) keletkezik.

Róna Erzsébet meg is jegyezte 1914-ben megjelent cikkének végén: „Ezen sorozaton szokatlannak tűnik fel, hogy az urán mindkét elágazása α-átalakulás eredménye. Eddig ilyen esetet nem ismertünk és azt hittük, hogy elágazások csak úgy jöhetnek létre, hogy az atomok egy része α-részt, a másika β-részt lövell ki.”

a) Mi lehet a probléma megoldása?

b) Milyen termékek keletkeznek?

Megoldás

A probléma megoldása az, hogy a bomlástermékeitől megtisztított természetes uránban két izotóp van: a ^{238}U és a ^{235}U. Ezt akkor még nem tudhatták, hiszen a ^{235}U-t csak 1935-ben fedezték fel. Mindkét izotóp alfa-bomló, de az alfa-bomlást követően természetesen különböző tömegszámú tórium-izotópok keletkeznek, amelyeknek különböző a felezési ideje. Az egyik a ^{234}Th, amelynek 24,1 nap felezési ideje van, míg a másik a ^{231}Th, amelynek a felezési ideje 25,6 óra.

6. feladat

Legalább mekkora sebességgel kell haladnia vízben egy elektronnak, hogy Cserenkov-sugárzás keletkezzen? Alkalmazható-e a klasszikus közelítés? Mekkora feszültséggel lehet az elektront ekkora sebességre felgyorsítani?

Megoldás

Egy n törésmutatójú közegben a Cserenkov-sugárzás keltéséhez szükséges minimális sebesség

$$v = \frac{c}{n}, \quad \text{azaz} \quad \frac{v}{c} = \frac{1}{n}.$$

Az elektron relativisztikus mozgási energiája tehát:

$$E = m c^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) =$$

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

A víz törésmutatója $n = 1{,}337$, az elektron nyugalmi energiája pedig 0,511 MeV, ezeket behelyettesítve kapjuk:

$$E = 0{,}511 \ \text{MeV} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{1{,}337^2}}} - 1 \right) = 0{,}259 \ \text{MeV}.$$

A tömegnövekedés aránya:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0{,}259 \ \text{MeV}}{0{,}511 \ \text{MeV}} \approx 0{,}5.$$

Ez már kicsit relativisztikus, ezért kellett így számolni a mozgási energiát.

A gyorsításkor nyert energia $E = eU$, ebből következően U = 259 000 V feszültség lenne szükséges a Cserenkov-sugárzás keltéséhez.

7. feladat

Nátrium fémből készült 1 mm² keresztmetszetű vezetéken (petróleum alatt) 16 mA áramot hajtunk át.

a) Mekkora sebességgel haladnak az áramvezetést biztosító elektronok?

b) Hogyan értelmezhető az, hogy az elektromos jel a fémhuzalokban fénysebességhez közeli sebességgel halad?

Adatok: a nátrium móltömege 23 g/mol, sűrűsége 970 kg/m³.

Megoldás:

a) 16 mA áram azt jelenti, hogy a vezető keresztmetszetén másodpercenként 16 mC töltés halad át. Ez az érték

$$N = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-2}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 10^{17}$$

darab elektron áthaladását jelenti másodpercenként. A nátriumban a legkülső, egyetlen elektron vesz részt a vezetésben, ezért az elektronok sűrűsége megegyezik az atomok sűrűségével. Az atomok térfogati sűrűsége pedig:

$$\rho = 6 \cdot 10^{23} \cdot \frac{0{,}97}{23} = 2{,}5 \cdot 10^{22} \ \text{cm}^{-3}.$$

Ezért 10^{17} atom

$$V = \frac{10^{17}}{2{,}5 \cdot 10^{22}} = 4 \cdot 10^{-6} \ \text{cm}^3$$

nátriumban van. Ekkora térfogata egy

$$L = \frac{4 \cdot 10^{-6} \ \text{cm}^3}{1 \ \text{mm}^2} = 4 \cdot 10^{-4} \ \text{cm} = 4 \cdot 10^{-6} \ \text{m}$$

hosszú, 1 mm² keresztmetszetű vezetékdarabnak van.

Ahhoz tehát, hogy a vezeték keresztmetszetén másodpercenként 16 mC töltés haladjon át, ebből a vezetékdarabból kell az elektronokat áthajtani. Az elektronok sebessége tehát $v = 4 \cdot 10^{-6}$ m/s.

b) Az elektromos jel sebessége nem az elektronok sebességével kapcsolatos, hanem azzal, hogy a vezeték különböző helyein lévő elektronok mozgásállapot-változása között mennyi idő telik el. Hasonló ez egy kereszteződésben álló autósorhoz. Amikor az első elindul, a mögötte levő észreveszi, és elindul; amikor a második indul el, a harmadik veszi észre stb. Az „indulási információ” sokkal gyorsabban terjed a sor mentén, mint az autók tényleges sebessége.

Vagyis a vezeték mentén az elektromos tér (mező) halad nagyon gyorsan (fénysebességhez közeli sebességgel). A mező gyorsan megjelenő hatására indul el mindenütt a nagyon nagy térfogati sűrűségben jelenlevő elektronok lassú „vánszorgása”. A nagy elektronsűrűségnek köszönhető, hogy a lassú vánszorgás jelenthet nagy áramerősséget is.

8. feladat

Milyen lenne a világ, ha

a) …a Planck-állandó kisebb lenne?

b)..ha nulla lenne?

c) …ha jóval nagyobb (mondjuk 1 Js) lenne az értéke?

Megoldás

a) Ha kisebb lenne, akkor kisebbek lennének az atomok. Például a H-atom sugara a Bohr-modellben:

$$r = \frac{\hbar^2}{\left(\frac{1}{4 \pi \varepsilon_0} \right) e^2 m_e}.$$

b) Ha zérus lenne, akkor nem is léteznének atomok. A klasszikus fizika létezne csak, de abban nem jöhetnének létre állandó struktúrájú atomokból felépülő makroszkopikus objektumok sem.

c) Ha nagyobb lenne, akkor makroszkopikus méretűek lennének az atomok és a kvantumeffektusok.

9. feladat

100 évvel ezelőtt 1911-ben publikálta *Ernest Rutherford* munkatársaival (*Marsden* és *Geiger*) az atommag felfedezéséhez vezető híres szórási kísérle-

tét. Rutherfordék vékony aranyfüstlemezt bombáztak alfa-részekkel. Azt találták, hogy a 0,5 mikron vastagságú lemezre bocsátott alfa-részek túlnyomó többsége szinte akadálytalanuk haladt át a vékony anyagrétegen, de körülbelül minden 100 000-dik alfa-rész úgymond „visszapattant” a lemezről. Ezt a jelenséget nevezte Rutherford tudományos tevékenysége legmeglepőbb eseményének.

a) A megfigyelt visszapattanási arányból becsüljük meg a szórócentrumok méretét!

b) Miért használtak vékony aranylemezt?

c) A becslésnél milyen pontatlanságot követtünk el?

Útmutatás: az aranyatomok méretének becslésénél használjuk fel az arany $A = 197$ relatív atomtömegét és 19,3 g/cm^3 nagyságú sűrűségét!

Megoldás

a) A becsléshez olyan modellt használunk, amelyben az atommagokat nagy tömegű, kis, kemény, kör keresztmetszetű részecskéknek képzeljük, amelyekről egy alfa-részecske visszapattan, ha eltalálja. Ha az alfa-részecske nem talál el egy ilyen atommagot sem, akkor továbbhalad. Az atommagok az aranyatomokat tartalmazó térfogatok közepén helyezkednek el. Ha egyrétegű lenne az aranyfólia, akkor a „találati arányt” az atommag keresztmetszetének és az aranyatom keresztmetszetének aránya adná meg. A fóliában azonban több rétegben (k) helyezkednek el az aranyatomok. Feltesszük, hogy az atomi rétegek véletlenszerű elrendezése miatt az atommagok nincsenek „fedésben”, ezért egy aranyatomra jutó keresztmetszetnek megfelelő „csőben” mind a k atommagon szóródhatnak az alfa-részek.

A visszapattanási arány megegyezik a hatásos felületek arányával:

$$\frac{1}{10^5} = \frac{k R_{mag}^2 \pi}{F_{atom}}.$$

Ahhoz, hogy a mag sugarát meg tudjuk határozni, meg kell határozni mind a k, mind az F_{atom} mennyiségeket.

Az atomokat kis kockákba helyezett gömböknek képzeljük, és ezek a kockák sűrűn kitöltik a teret. A kockák élhossza nyilván $d = 2R_{atom}$, a kockák „keresztmetszete” pedig $F_{atom} = d^2$. A kockák méretét a következőképpen határozhatjuk meg: mólnyi menynyiségű, azaz 197 g arany térfogata:

$$V = \frac{197}{19{,}3} = 10{,}2\ \text{cm}^3.$$

Ebben $6 \cdot 10^{23}$ aranyatom van, így egy aranyatomra jutó térfogat

$$V_a = \frac{10{,}2}{0{,}6} \cdot 10^{-24}\ \text{cm}^3.$$

Ezért a kocka oldalhossza

$$d = \sqrt[3]{\frac{10{,}2}{0{,}6}} \cdot 10^{-8}\ \text{cm} = 2{,}57 \cdot 10^{-10}\ \text{m}.$$

Eszerint $F_{atom} = 6{,}6 \cdot 10^{-20}$ m^2. Az aranyfólia vastagsága $L = 5 \cdot 10^{-7}$ m, ezért abban

$$k = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{2{,}57 \cdot 10^{-10}} = 1994 \approx 2000$$

atomréteg van. Most már visszahelyettesíthetünk a fenti kifejezésbe:

$$\frac{1}{10^5} = \frac{k R_{mag}^2 \pi}{F_{atom}}.$$

Ebből

$$R_{mag} = \sqrt{\frac{F_{atom}}{10^5 k \pi}} =$$

$$= \sqrt{\frac{6{,}6 \cdot 10^{-20}}{6{,}264 \cdot 10^8}} = 1{,}02 \cdot 10^{-14} \approx 10{,}2 \cdot 10^{-15}\ \text{m}.$$

b) Azért használtak aranyat, mert az aranyból lehetett a lehető legvékonyabb fóliát előállítani. A fólia vékonysága viszont fontos volt, mert egy vastagabb fólia elnyeli az alfa-részeket.

c) Elhanyagolások:

1. Az egyik elhanyagolás abból a feltevésből adódik, hogy az egymás mögötti atomrétegek atommagjai nem „fedik” egymást. Ha a rétegek véletlenszerűen helyezkednek el egymás mögött, akkor ez jó közelítés, mint az már a visszapattanási arányból is következik. Kristályrácsnál – amilyen az arany fémrácsa is – ez a feltételezés nem magától értetődő.

2. A valóságban nincs egyértelmű „visszapattanás”, csak nagy szögben szóródott részecskék. Meg kellene mondani azt, hogy mekkora szögtől kezdve tekintjük „visszapattantnak” a részecskét. Ezt a szögtartományt változtatva más és más visszapattanási arányt, és ennek következtében más és más „hatásos” atommag-keresztmetszetet kapnánk.

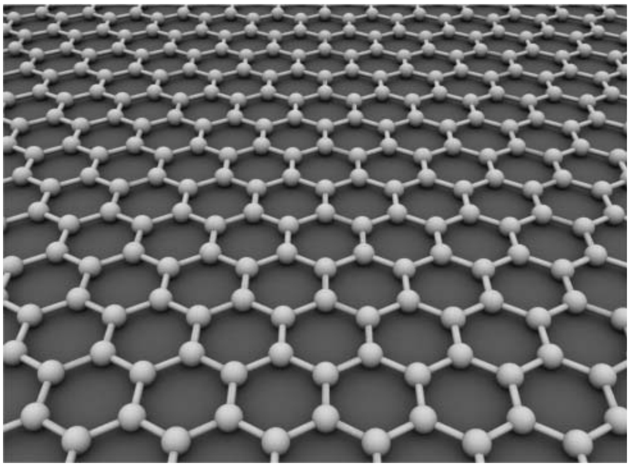
3. Az atomok méretének becslésekor nem vettük figyelembe azt, hogy az atomok nem mint „kockákban lévő gömbök” helyezkednek el, hanem megfelelő kristálystruktúra mentén. Ezért a térkitöltés más, mint amit mi egyszerűen feltételeztünk.

10. feladat

2010-ben két orosz származású fiatal tudós – *Andre Geim* (született 1958-ban) és *Konstantin Novoselov* (született 1974-ben) – nyerte el a fizikai Nobel-díjat a grafének felfedezéséért.

A grafén kétdimenziós – egy atomi rétegű – grafit kristályrács, ahol a szénatomok szabályos hatszögek csúcsaiban helyezkednek el.

„A szén grafén nevű formája egészen új kutatási irány az anyagtudományban, az elmúlt pár évben lett felkapott anyag a nanotechnológiában. Az biztos, hogy a grafénmegoldások területe a következő évtizedekben nagyot fog robbanni, akár már tíz éven belül megjelenhetnek az első termékek, amelyekben grafén



A grafén modellje.

van." – A Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet kutatócsoport-vezetője, *Biró László Péter* nyilatkozata.

a) Becsüljük meg, hogy egy 1 cm élhosszúságú grafitkockából maximálisan mekkora területű grafénlemez készíthető?

b) Hányszor kisebb a grafénlemez fajlagos tömege egy A4-es másolópapír 80 g/m^2 fajlagos tömegénél?

Adatok: A grafit sűrűsége 2,26 g/cm^3. A hatszögrács állandója: 0,14 nm. A szén moláris tömege: 12 g/mol, az Avogadro-állandó: $6\cdot 10^{23}$ 1/mol.

Megoldás

a) A kockában lévő szénatomok száma:

$$N = \frac{2{,}26\ \mathrm{g}}{12\ \dfrac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} \cdot 6\cdot 10^{23}\ \frac{1}{\mathrm{mol}} = 1{,}13\cdot 10^{23}.$$

Mivel minden hatszöghöz 6 szénatom tartozik, ugyanakkor egy szénatomhoz 3 hatszög, ezért a hatszögek száma:

$$N_h = \frac{N}{2} = 5{,}65\cdot 10^{22}.$$

Egy hatszög területe:

$$t_h = \frac{3\sqrt{3}}{2}\, d^2 = 5{,}09\cdot 10^{-20}\ \mathrm{m}^2.$$

Így a grafénlemez területe:

$$T = N_h\, t_h = 5{,}65\cdot 10^{22}\cdot 5{,}09\cdot 10^{-20}\ \mathrm{m}^2 \approx 2876\ \mathrm{m}^2.$$

b) A grafénlemez fajlagos tömege:

$$\mu = \frac{2{,}26\ \mathrm{g}}{2876\ \mathrm{m}^2} = 7{,}86\cdot 10^{-4}\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{m}^2}.$$

Ez körülbelül 100 ezerszer kisebb, mint a másoló papírlap fajlagos tömege.

Megjegyzés: ebből arra is következtethetünk, hogy a grafénlap vastagsága is (vagyis az atomok átmérője) körülbelül 100 ezred része a papírlap 0,05 mm vastagságának.

Az elődöntő eredményei

Az elődöntő feladatait 46 fő I. kategóriás – Budapestről 11-en, vidékről 35-en – és 18 fő junior versenyző – 1 budapesti, 17 vidéki – teljesítette olyan szinten, hogy dolgozataikat a javító tanárok tovább tudták küldeni a BME Nukleáris Technika Tanszékére további rangsorolás végett. Határon túli iskolából sajnos nem érkezett ilyen szintű megoldás.

A beküldött dolgozatokat ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb 10 junior versenyzőt és a legjobb 20 első kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2011. április 9-én megrendezett döntőre. A kiértesítést követően a kaposvári Táncsics Mihály Gimnáziumból értesítették a Versenybizottságot, hogy döntőbe jutott két tanulójuk lemondta a versenyt a kémia OKTV-vel való ütközés miatt. A Versenybizottság úgy döntött, hogy helyettük a pontszámuk alapján soron következő két tanulót hívja be a döntőbe. Röviddel a döntő előtt még egy diák lemondta a versenyt, így végül 19 fő I. kategóriás és 10 fő második (Junior) kategóriás diák versenyzett.

Az idén csak két lány jutott be a verseny döntőjébe: *Takács Hajna* (Budapest, ELTE Trefort Ágoston Gimnázium) az I. kategóriában és *Garami Anna* (Pécs, Leöwey Klára Gimnázium) a juniorok között.

(Folytatás a következő számban.)