Edit) és *Varga Ádám* (Szeged, SzTE Sárvári Endre Gyakorló Gimnázium, 11. évfolyam, *Tóth Károly, Hilbert Margit*).

Dicséretben részesültek: *Aczél Gergely* (BME fizika szak, Pápa, Pápai Református Kollégium Gimnáziuma, *Somosi István*), *Farkas Márton Bence* (BME fizika szak, Budapest, Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, Horváth Gábor), *Fülep Csilla* (Budapest, Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, 12. évfolyam, Horváth Gábor), *Lászlóffy András* (PPKE, mérnök-informatika szak, Budapest, Piarista Gimnázium, *Futó Béla*) és *Wang Daqian* (Budapest, Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, 12. évfolyam, Horváth Gábor).

Hét tanulóval ismerkedhettünk meg személyesen, ketten nem tudtak eljönni a díjkiosztó ünnepségre.

A jutalmazott diákok tanárai értékes könyvekből válogathattak, amelyeket a Vince Kiadó, az Akadémia Kiadó, a Matfund Alapítvány és az ELFT ajánlott fel.

Eötvös-verseny érem

A díjkiosztása után az ünnepség csúcspontja következett, az Eötvös-verseny érem átadása, amellyel az ELFT 2002 óta jutalmazza az I. díjas versenyzőt. Radnai Gyula ismét a győztest szólította. Lovas Lia Izabelláról elmondta, hogy a Mexikóban 2009-ben megrendezett diákolimpián egyetlen lányként ő szerzett aranyérmet az egyébként kiválóan teljesítő magyar csapatból, és most az Eötvös-versenyen is maga mögé utasította a fiúkat.

A verseny történetében eddig 1908-ban nyert *Orphanides Etelka,* 1929-ben kapott fizikából megosztott első díjat *Székely Lídia*. Azóta – fizikából – lány versenyző nem ért el kiemelkedő eredményt, míg most hárman is a jutalmazottak között vannak.

A 60 évvel ezelőtti helyezett Holics László Gnädig Péterrel.

Az érem átadása után igazi meglepetésben volt részünk. Radnai tanár úr így szólt: „Még nincs vége. Szeretném köszönteni Holics László tanár urat, aki a 60 évvel ezelőtti Eötvös-verseny egyik díjazottja volt. Kérem, fogadja szeretettel ezen a szép évfordulón az Eötvös Loránd Fizikai Társulat ajándékát, Lánczos Kornél összes műveinek hat kötetbe szerkesztett kiadását.”

A rendezvény hivatalos része ezzel zárult, elkészült főszereplőiről a csoportkép. A vendégek állófogadáson még beszélgethettek, ismerkedhettek és megtekinthették közelről is az összeállított kísérleteket.

Zárásként itt mondunk köszönetet a versenybizottság nevében a verseny támogatóinak, *Gutai László* fizikusnak az Egyesült Államokból, az Indotek Zrt.-nek és a Ramasoft Zrt.-nek Budapestről. Köszönet továbbá a képek készítőjének, *Harkai Zsolt*nak.

Zagyva Tiborné
Szent István Gimnázium, Budapest

XII. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

II. rész: a döntő feladatai, a verseny értékelése

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

I. Kategóriájú feladatok[1]

1. feladat (kitűzte: *Sükösd Csaba* és *Tallián Miklós*)

a) A sötét színű szilíciumlapka az infravörös sugárzásra nézve átlátszó. Mi lehet ennek az anyagszerkezeti magyarázata?

b) A szilíciumszeletekre egyes esetekben szigetelő réteget (oxid vagy nitrid) növesztenek, ennek vastagsága a néhány nanométertől a néhányszáz nanométerig terjedhet. Mit gondol, látható-e szabad szemmel egy ilyen réteg? Indokolja a választ!

Megoldás: a) A szilícium félvezető szilárdtest, így elektronjainak energiája sávokba rendeződik. A vegyértéksáv telítve van, és a vezetési sávban lévő első üres állapot eléréséhez legalább 0,18 aJ ($1{,}8\cdot 10^{-19}$ J) energia befektetése szükséges. A látható fény fotonjainak energiája ennél nagyobb, ezért a szilícium el tudja nyelni a látható fényt, emiatt sötét színű. Az infravörös fotonok energiája azonban kisebb, megközelítőleg $2\cdot 10^{-22}$ J és $8\cdot 10^{-20}$ J között van. Így ezen fotonok energiája nem elég a szilícium vegyértéksávjában lévő elektronok gerjesztéséhez. Emiatt az infravörös fény számára a szilícium átlátszó.

b) A szigetelő réteg maga nem látható, de a mérete (vastagsága) összemérhető a látható fény hullámhosszúságával. Így a réteg tetejéről és aljáról visszave-

[1] 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.

A verseny győztese, Lovas Lia Izabella az elméleti feladatok megoldása közben.

rődő hullámok egymással interferálnak, és attól függően, hogy milyen irányból tekintünk a rétegre, másmás színt láthatunk, amelyet az adott irányban érvényes erősítés hoz létre.

2. feladat (kitűzte: *Kaszás Dezső* és *Szűcs József*)

Mekkora energiára lehetne felgyorsítani az egész Földet körülölelő gyorsítóban a protonokat, ha abban mindenütt a Föld saját mágneses indukciója tartaná körpályán a részecskéket? Mekkora lesz a protonok sebessége? Tegyük fel, hogy a „gyorsítógyűrű” éppen a Föld felszínén van!

Adatok: a Föld mágneses indukciójának értékét vegyük 30 μT-nak.

Megoldás: A centripetális erőt a mágneses Lorentz-erő szolgáltatja:

$$\frac{p^2}{m\,R} = B\,Q\,v, \text{ ebből } p = B\,Q\,R.$$

Az energia pedig relativisztikusan számolva:

$$E = \sqrt{p^2\,c^2 + \left(m_0\,c^2\right)^2}\,, \text{ azaz}$$

$$E = \sqrt{\left(B\,Q\,R\right)^2\,c^2 + \left(m_0\,c^2\right)^2} = m_0\,c^2\sqrt{\left(\frac{B\,Q\,R}{m_0\,c}\right)^2 + 1}\,.$$

A mozgási energia:

$$E_{\text{kin}} = E - m_0\,c^2 = m_0\,c^2\left[\sqrt{\left(\frac{B\,Q\,R}{m_0\,c}\right)^2 + 1} - 1\right].$$

Behelyettesítve kapjuk: $E_{\text{kin}} = 56{,}27$ GeV.

A sebességre pedig az

$$E = \frac{m_0\,c^2}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = m_0\,c^2\sqrt{\left(\frac{B\,Q\,R}{m_0\,c}\right)^2 + 1}$$

energia kifejezése alapján

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{1 + \left(\dfrac{B\,Q\,R}{m_0\,c}\right)^2}\,,$$

amiből

$$v = c\sqrt{1 - \frac{1}{1 + \left(\dfrac{B\,Q\,R}{m_0\,c}\right)^2}}\,.$$

Behelyettesítve, a felgyorsított protonok sebessége

$$v \approx c - 4\cdot 10^4\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

3. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A *Wigner Jenő* által tervezett első hanfordi atomreaktor (üzemanyag: fém urán, moderátor: grafit, hűtőközeg: víz) üzemviteli naplója szerint a reaktor 1944. szeptember 26-án kedden 23:48 perckor érte el először az üzemi teljesítményt. Valamivel később a teljesítmény fokozatosan csökkenni kezdett, majd a szabályozó rudak teljes kihúzása ellenére a reaktor szerda reggelre leállt. Csütörtökön reggel a reaktor váratlanul ismét elkezdett működni, magától. Vajon mi lehet a furcsa viselkedés oka?

Megoldás: A reaktor „xenonmérgezést” szenvedett. A reaktorban hasadási termékként sokféle izotóp, köztük ^{135}Xe (xenon) és ^{135}I (jód) is keletkezik. A xenon más úton is szaporodik, mert a ^{135}I izotóp is xenonná alakul körülbelül 6 és fél órás felezési idővel.

A következő bomlási folyamatok mennek végbe:

$$^{135}\text{Te} \rightarrow {}^{135}\text{I} \rightarrow {}^{135}\text{Xe} \rightarrow {}^{135}\text{Cs} \rightarrow {}^{135}\text{Ba}.$$

A xenon nagyon jó neutronelnyelő anyag, mivel egy neutron elnyelésével mágikus neutronszám (82) alakul ki benne.

A felszaporodott, jó neutronelnyelő ^{135}Xe a reaktorban elnyeli a neutronokat („lemérgezi” a reaktort). Így a reaktor leáll, ha a tervezéskor nem veszik figyelembe ezt az effektust, és nem eleve olyanra tervezik, hogy a szabályozó rudakkal ezt kompenzálni lehessen. A leállt reaktorban a ^{135}I-ból egy ideig több ^{135}Xe keletkezik, mint amennyi a 9,2 órás felezési idővel történő radioaktív bomlása miatt fogy, így a ^{135}Xe mennyisége egy ideig tovább nő. Néhány óra múlva azonban a jódizotóp már eléggé elfogy ahhoz, hogy kevesebb ^{135}Xe keletkezzen belőle, mint amennyi a ^{135}Xe radioaktív bomlása miatt fogy. Emiatt a ^{135}Xe mennyisége is csökkenni kezd, és egy idő után már annyira csökken (a „mérgezés” megszűnik), hogy a reaktor spontán újra tud indulni.

Ilyenkor az újraindulás veszélyes folyamat is lehet, hiszen az újra elindult reaktor a neutronok révén elkezdi fogyasztani a ^{135}Xe-t ($^{135}\text{Xe} + \text{n} \rightarrow {}^{136}\text{Xe}$), s ez tovább segíti az induló láncreakciót (pozitív visszacsatolás).

4. feladat (kitűzte: *Radnóti Katalin*)

Marie Curie doktori értekezésében lehet megtalálni a következő táblázatot:

e/m (elektromágneses egységben)	v (cm/s)	
$1{,}865 \cdot 10^7$	$0{,}7 \cdot 10^{10}$	katódsugaraknál
1,31 "	$2{,}36 \cdot 10^{10}$	rádiumsugaraknál
1,17 "	$2{,}48 \cdot 10^{10}$	
0,97 "	$2{,}59 \cdot 10^{10}$	
0,77 "	$2{,}72 \cdot 10^{10}$	
0,63 "	$2{,}83 \cdot 10^{10}$	

Mi látható a fenti adatsorból mai tudásunk szerint?

Megoldás: A relativisztikus tömegnövekedés első „bizonyítéka”. Ezt *Einstein* csak 1905-ben fedezte fel, cikke 1905. szeptember 27-én érkezett az *Annalen der Physik* szerkesztőségébe. A megjelenés dátuma: 1906. (Teljes pontszámot kapott az a diák is, aki nem tudta a dátumokat.)

5. feladat (kitűzte: Szűcs József)

1930-ban *Bothe* és *Becker* berilliumot sugároztak be alfa-részekkel. A besugárzás hatására nagy áthatolóképességű semleges sugárzás keletkezett. *I. Curie* és *F. Joliot* a sugárzás mibenlétének felderítésére a sugárzás útjába parafinréteget tettek. Azt tapasztalták, hogy a sugárzás a parafinból nagy energiájú protonokat váltott ki. A protonok energiája maximum 5,7 MeV volt. Arra gondoltak, hogy a semleges sugárzás gamma-kvantumokból áll, azok lökik meg frontális ütközéssel a protonokat. Azonban a számítások szerint a gamma-fotonok energiájára szokatlanul nagy érték adódott. Semmilyen természetes és mesterséges magreakció során ilyen nagy energiájú gamma-sugárzást nem észleltek korábban. Ekkor támadt *J. Chadwick* skót fizikus ötlete: a semleges sugárzást nem gammafotonok, hanem semleges részecskék, neutronok alkotják.

a) Legalább mekkora energiájú gamma-fotonok lennének képesek a protonokat úgy meglökni, hogy azok mozgási energiája 5,7 MeV legyen?

b) Mekkora energiájúak lehettek a protonokat meglökő neutronok, ha azok tömege közel azonos a protonok tömegével ($m_n \approx m_p$)?

c) Írja fel a kísérletben szereplő magreakció (alfasugarak esnek a berilliumra) helyes egyenletét!

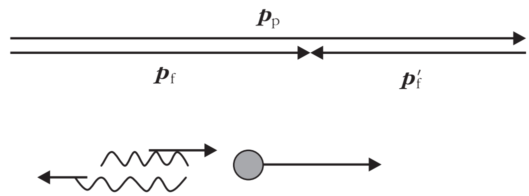
Megoldás: a) A fotonok frontális ütközés során adnak le legnagyobb energiát a parafinban állónak tekintett protonoknak.

Az ütközés lendület- és energiamegmaradás egyenletei (lásd az *ábrát*):

$$\frac{h}{\lambda} = p_p - \frac{h}{\lambda'}, \qquad (1)$$

$$\frac{h\,c}{\lambda} = E_p + \frac{h\,c}{\lambda'}, \qquad (2)$$

ahol p_p és E_p a meglökött proton lendülete, illetve mozgási energiája. A λ és λ' pedig a beérkező, illetve visszapattanó foton hullámhossza.



Az (1) egyenletet c-vel beszorozva, majd az (1), (2) egyenletet összeadva kapjuk:

$$2\,\frac{h\,c}{\lambda} = c\,p_p + E_p.$$

A proton lendülete (nem-relativisztikusan):

$$p_p = \sqrt{2\,m_p\,E_p}\,,$$

így a gamma-foton energiája

$$E_f = \frac{1}{2}\left(c\sqrt{2\,m_p\,E_p} + E_p\right) = 54{,}5\ \text{MeV}.$$

Megjegyzés: a kinetikus energiára nyugodtan alkalmazhatjuk a klasszikus formulát, mivel értéke kisebb a proton nyugalmi energiájának 1%-ánál.

b) Mivel a neutronok tömege közel akkora, mint a protonoké, ezért rugalmas, egyenes ütközéskor a teljes mozgási energiájukat át tudják adni, azaz a neutronok energiája is 5,7 MeV.

c) A reakció egyenlete: ${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + \text{n}$.

6. feladat (kitűzte: *Papp Gergely*)

A foton effektív tömegére vonatkozó

$$m_{eff} = \frac{h\nu}{c^2}$$

összefüggést szeretnénk igazolni a gravitációs vöröseltolódás jelenségének segítségével. Ehhez egy torony tetejére helyezzük detektorunkat, a sugárforrást pedig alatta a földre tesszük. Hány százalékos pontossággal kell mérnünk a detektált fotonok energiáját, ha a sugárforrásunk 1 GBq aktivitású, és a méréshez legalább 1 foton/s beütési gyakoriság szükséges az 1 cm^2 felületű detektoron? (g = 10 m/s^2)

Megoldás: Az egyszerűség kedvéért legyen a keresett mennyiség

$$x = \frac{\Delta E_{grav}}{E_\gamma}, \ \text{ahol}\ E_\gamma = m_{eff}\,c^2.$$

A gravitációs vöröseltolódást kihasználhatjuk, ha például függőlegesen d távolságra tesszük egymástól a forrást és a detektort. Ekkor

$$\Delta E_{grav} = m_{eff}\,g\,d \Rightarrow x = \frac{g\,d}{c^2} = \frac{1}{9}\cdot 10^{-15}\,d.$$

Tehát a probléma lényegét a magasságkülönbség okozza a detektor és a forrás között. Minél nagyobb a $d,$ annál könnyebb lesz a megfelelő pontosságot elérni. A lehetséges legnagyobb távolságot a megadott beütésszámból kaphatjuk meg:

$$\frac{1}{10^9} = \frac{0{,}0001}{4\pi\, h_{\max}^2}, \text{ amiből } h_{\max} = \sqrt{\frac{10^5}{4\pi}} = 89{,}2 \text{ m.}$$

A szükséges mérési pontosság $x = 9{,}91 \cdot 10^{-15} \approx 10^{-12}\%$.

Ilyen kis energiaeltolódást csak a Mössbauer-effektus segítségével lehet kimutatni.

7. feladat (kitűzte: *Vastagh György*)

Mekkora annak a vörös óriás csillagnak a hőmérséklete, amely a Földtől $1{,}2 \cdot 10^7$ m/s sebességgel távolodik és spektrumában a legnagyobb intenzitású sugárzás hullámhossza a Földről nézve 780 nm? (Tekintsük a csillagot abszolút feketetestnek, amelyre teljesül a Wien-féle eltolódási törvény.)

Megoldás: A vöröseltolódás (mint Doppler-effektus) alapján a távolodás sebességét a következő összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c},$$

ahol v a távolodás sebessége, c a fénysebesség, λ_0 a kibocsátott fény hullámhossza, $\Delta\lambda$ a hullámhossz-eltolódás ($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, ahol λ a Földön mért hullámhossz). Így:

$$\frac{780 - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{1{,}2 \cdot 10^7}{3 \cdot 10^8} = 0{,}04, \text{ és innen } \lambda_0 = 750 \text{ nm.}$$

A Wien-féle eltolódási törvény szerint $\lambda_{\max} \cdot T = 2{,}89 \cdot 10^6$ nm·K, ebből $T \approx 3853$ K.

8. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

2002-ben Dubnában a Flerov Laboratóriumban (Oroszország) egy orosz–amerikai közös kutatócsoportnak sikerült előállítani a 118 rendszámú szupernehéz elemet, amelyet Unonoctiumnak neveztek. Nem túl nagy mennyiségben: 2002 tavaszán egyetlen atomot, 2005-ben további két atomot. Az előállítás a következő atommag-reakcióval sikerült:

$${}^{249}_{98}\mathrm{Cf} + {}^{48}_{20}\mathrm{Ca} \rightarrow {}^{294}_{118}\mathrm{Uuo} + 3\,{}^{1}\mathrm{n}.$$

Kémiai szempontból milyen lenne az unonoctium, ha sikerülne nagy mennyiségben előállítani? (Milyen lenne halmazállapota normál nyomáson és hőmérsékleten, milyen lenne kémiai reakcióképessége, milyen ismert kémiai elemhez lenne hasonlítható?)

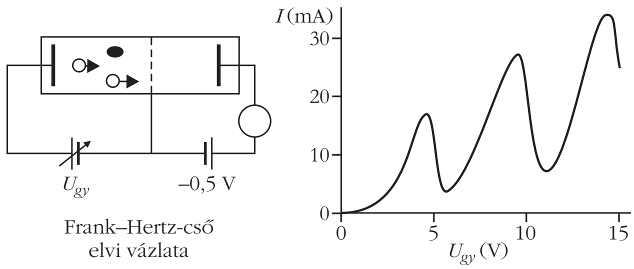
Megoldás: A természetben található utolsó „befejezett” periódus (a hatodik periódus) a 86 rendszámú radonnal ér véget. A periódus kezdete ${}_{55}$Cs és a vége ${}_{86}$Rn között $86 - 55 + 1 = 32$ hely van (azért kell +1-et venni, mert az első és az utolsó elem is benne van a periódusban). Ez a következőképpen töltődik be elektronokkal:

s-mező	2 elektron
f-mező (lantanoidák)	14 elektron
d-mező	10 elektron
p-mező	6 elektron

A hetedik periódus a ${}_{87}$Fr-mal kezdődik. A lantanoidák helyére itt az aktinoidák lépnek. A 92 rendszámú urán az aktinoidák egyik tagja. Ha az elektronpályák ugyanolyan sorrendben töltődnek fel, mint az előző periódusban, akkor ennek a periódusnak a végén éppen a $87 + 32 - 1 = 118$ rendszámú elem áll. Az unonoctium tehát kémiai szempontból nemesgáz lenne. Normál állapotban valószínűleg gáz halmazállapotú, és kémiai szempontból nem reakcióképes. Kémiai viselkedésében a radonhoz hasonlítana leginkább.

9. feladat (kitűzte: Szűcs József)

Franck és *Hertz* 1913-ban – a Bohr-elmélet megszületése után – végezték el a híres elektron-atom ütközéses kísérletüket, amellyel alátámasztották *Niels Bohr* feltevését, miszerint az atomok meghatározott energiaszintekkel rendelkeznek. A kísérlet során légritkított csőben (a Franck–Hertz-csőben) Hg atomokat párologtattak el. A ráccsal ellátott elektroncsőben (lásd *ábra* bal oldala) a katódból kilépő elektronokat gyorsították, amelyek ütköztek a térben lévő Hg atomokkal.



Frank–Hertz-cső elvi vázlata

Amikor az U_{gy} gyorsítófeszültség elérte a 4,9 V-ot, a körben lévő anódáram erőssége hirtelen visszaesett. Ez a visszaesés 9,8 V és 14,7 V feszültség értékeknél megismétlődik, de kisebb mértékben (lásd *ábra* jobb oldala).

Hogyan magyarázhatók a kísérlet során bekövetkező újabb áramerősség-visszaesések?

Megoldás: A katódból kiinduló elektronok gyorsulnak a csőben, miközben ütköznek a Hg atomokkal. Amíg a Hg atomok nem tudnak gerjesztődni, addig az ütközések rugalmasak, azaz az elektronok lényegében nem veszítenek energiát (hiszen a Hg atomok sokkal nagyobb tömegűek). Amikor azonban az elektronok energiája eléri a Hg atomok első gerjesztési energiáját, akkor az ütközés hirtelen rugalmatlanná válik, a Hg atomok energiát vesznek fel, az elektronok pedig az ütközés során lelassulnak. Amikor ez először bekövetkezik – 4,9 V gyorsító feszültségnél – ez a folyamat a rács közelében történik. A lelassult elektronok már nem tudnak áthaladni a 0,5 V-os „fékező” téren, emiatt az anódáram hirtelen visszaesik.

Ahogy tovább növeljük a gyorsító feszültséget, az elektronok a rácstól egyre távolabb érik el a 4,9 eV energiát, és gerjesztik a Hg atomokat. A rugalmatlan ütközés után tovább tudnak gyorsulni. Amikor a gyorsító feszültség $9{,}8 = 2 \cdot 4{,}9$ V, az elektronok másodszor is elérik a 4,9 eV-os energiát (a rács közelében), és emiatt az anódáram ismét visszaesik. Ugyanez ismétlődik a $3 \cdot 4{,}9 = 14{,}7$ V-nál.

10. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Az Egyesült Államokban épített NIF (National Ignition Facility) fúziós kísérleti berendezés 192 db hatalmas lézere nemrégen készült el. A lézerek 1 ns hosszúságú impulzusban összesen 1,8 MJ energiát koncentrálnak egy 1 mm sugarú kis gömböcske felszínére, amely 150 mikrogrammnyi 1:1 atomarányú D-T keveréket tartalmaz. A gömböcskében lezajló fúziós reakciók tízszer annyi energiát produkálnak, mint amit a gömböcske fűtésére fordítottak.

Adatok: a trícium felezési ideje 12,33 év, egyetlen D-T fúziós reakcióban felszabaduló energia 17,6 MeV.

a) Mekkora a gömböcske aktivitása?

b) Mekkora a maximális fénynyomás, amit a lézerek ki tudnak fejteni a gömböcskére?

c) Mennyi neutron szabadul fel?

Megoldás: a) A gömböcskében lévő trícium atommagok tömegaránya: 3/5, azaz a trícium tömege 90 μg. Ebben a trícium atommagok száma

$$\frac{90\cdot 10^{-6}}{3}\cdot 6\cdot 10^{23} = 18\cdot 10^{18}.$$

A trícium aktivitása:

$$A = N\frac{\ln 2}{T} = \frac{18\cdot 10^{18}\cdot 0{,}693}{3{,}9\cdot 10^{8}} = 3{,}2\cdot 10^{10} =$$

$$= 32 \text{ GBq}.$$

b) A nyomás: $p = F/A$, a kifejtett erő viszont az időegység alatt átadott lendületből számítható.

Akkor kapunk maximális fénynyomást, ha minden foton visszaverődik a felületről, mert ekkor minden foton $2q$ lendületet ad át (itt q egyetlen foton lendülete). Mivel minden foton lendületének abszolút értéke E/c, ezért a teljes nyaláb lendülete is így számítható, csak itt E a teljes nyaláb energiája. Ennek kétszerese adódik át Δt = 1 ns alatt, tehát a gömböcske felszínére ható erő:

$$F = \frac{2E}{c\,\Delta t} = \frac{3{,}6\cdot 10^{6}}{3\cdot 10^{8}\cdot 1\cdot 10^{-9}} = 1{,}2\cdot 10^{7} \text{ N}.$$

A gömböcske felszíne:

$$A = 4\pi R^2 = 12{,}56\cdot\left(10^{-3}\right)^2 = 1{,}26\cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

A maximális fénynyomás tehát:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{1{,}2\cdot 10^{7}}{1{,}26\cdot 10^{-5}} \approx 10^{12} \text{ Pa} = 10^{7} \text{ bar}.$$

c) A fúziós reakció: ${}^2_1\mathrm{H} + {}^3_1\mathrm{H} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + \mathrm{n}$, azaz minden reakcióban egy neutron keletkezik. Mivel a fúziós reakciókban 18 MJ energia szabadul fel, emiatt

$$\frac{18\cdot 10^{6}}{17{,}6\cdot 1{,}6\cdot 10^{-13}} = 6{,}4\cdot 10^{18}$$

neutron keletkezik.

Junior (II. Kategóriájú feladatok)

9. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egyesek azt állítják, hogy a biomassza (pl. tűzifa) elégetése semmivel sem járul hozzá a földi atmoszféra széndioxid egyensúlyának felborulásához. Igaz vagy hamis ez az állítás? Indokold meg.

Megoldás: Az állítás igaz, legalábbis közép- és hosszú távon, amíg a biomassza felhasználása épeszű korlátok között marad. A biomassza ugyanis a növények által *rövid távon* megkötött széndioxidot juttatja vissza a légkörbe, szemben a fosszilis tüzelőanyagok által visszajuttatott széndioxiddal, amely évmilliók során gyűlt össze. Természetesen, ha ezt is túlzásba vinnénk (pl. az összes erdőt és növényt eltüzelnénk), akkor felborulna az egyensúly, mert megszűnne a légkörből a széndioxid kivonása, és az egyensúlyi mennyiségnél jóval több széndioxidot juttatnánk vissza, ha az egész növényzetet (vagy annak nagy részét) hirtelen elégetnénk.

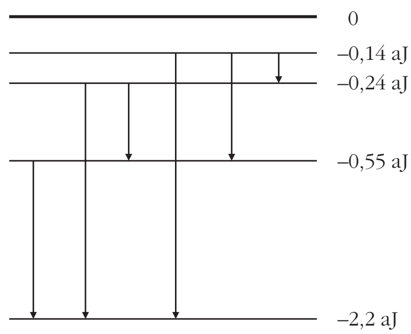
10. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Atomos hidrogéngáz elektronjai külső gerjesztés hatására legfeljebb a harmadik gerjesztési állapotba kerülnek.

a) Hány vonal jelenik meg a gáz színképében és melyek a láthatók?

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

Megoldás: a) A H-atom energiaszintjeit mutatja az *ábra*. Hat vonal jelenik meg.



$$E_{10} = 1{,}65 \text{ aJ},\quad E_{20} = 1{,}94 \text{ aJ},\quad E_{21} = 0{,}29 \text{ aJ},$$

$$E_{30} = 2{,}06 \text{ aJ},\quad E_{31} = 0{,}4125 \text{ aJ},\quad E_{32} = 0{,}1225 \text{ aJ}.$$

Mivel a látható fény tartománya 0,22–0,48 aJ, így ebbe a tartományba két vonal esik: E_{21} = 0,29 aJ, E_{31} = 0,4125 aJ.

b) A fotoelektromos jelenség energiaegyenlege:

$$h\nu = W_{ki} + \frac{1}{2}mv^2 \text{ és } \frac{1}{2}mv^2 = eU,$$

ahol U a zárófeszültség és 0,3 aJ a kilépési munka. Így: $0{,}4125\cdot 10^{-18} = 0{,}3\cdot 10^{-18} + eU$ és $e = -1{,}6\cdot 10^{-19}$ C, innen:

$$U = \frac{1{,}125\cdot 10^{-19}}{1{,}6\cdot 10^{-19}} \approx 0{,}7 \text{ V}.$$

Számítógépes feladat

A feladatban egy négyzetrácson felépített atomreaktor aktív zónájával kellett a versenyzőknek kísérletezni és a reaktor szabályozórúdját kalibrálni. A feladatban ugyanazt a számítógépes modellt használták, amelyet már a 2005. évi Szilárd Leó Fizikaversenyen is használtak a versenyzők, csak itt más volt a feladat, mint 2005-ben.

A versenyzők megkapták a program kezelésének leírását (itt nem közöljük), valamint a következő feladatleírást:

Szabályozó rúd kalibrációja

Elméleti bevezetés

Az atomreaktorok külső beavatkozással történő szabályozása az aktív zónában elhelyezett neutronelnyelő anyagot tartalmazó, úgynevezett szabályozó rúddal valósítható meg. A szabályozó rúd mozgatásával a zónában lévő neutronelnyelő anyag mennyisége módosítható, ezzel változtathatjuk a reaktor neutronsokszorozási tényezőjét, azaz előállítható szubkritikus, kritikus és szuperkritikus reaktorállapot is. A reaktorfizikában a sokszorozási tényező (k_{eff}) helyett gyakran a *reaktivitás*t (ρ) használják a láncreakció jellemzésére, amely definíció szerint

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}.$$

A reaktorban a maghasadás és egyéb magreakciók következtében a hasadóanyag mennyisége csökken, ebből következően a működés során csökken a reaktivitás, és szubkritikussá válhat a zóna. A reaktor hosszú távú működéséhez kompenzálni kell ezt a reaktivitáscsökkenést. Emiatt indításkor a reaktorba több hasadóanyagot – s ezzel többletreaktivitást – építenek be, mint amennyi a működéshez éppen hogy csak szükséges. Ezt a többletreaktivitást nevezik *reaktivitástartalék*nak. A biztonságos működéshez viszont ezt a többletreaktivitást szabályozó rúddal kompenzálni kell, „le kell kötni”, különben a reaktor erősen szuperkritikus lenne és megszaladna. A működés során a reaktivitás csökkenése a szabályozó rúd pozíciójának változtatásával korrigálható.

A számítógépes feladat megoldása közben

Az üzemeltetés szempontjából kulcsfontosságú tényező annak ismerete, hogy a szabályozó rúd hosszegységenként mekkora reaktivitást köt le a zóna reaktivitástartalékából. A szimulációs feladat egy szabályozó rúd reaktivitáslekötésének meghatározása.

A feladat elvégzéséhez szubkritikus reaktorállapotra van szükség, ekkor az effektív sokszorozási tényező, $k_{eff} < 1$, illetve az ebből származtatott *reaktivitás,* $\rho < 0$.

Az önfenntartó láncreakció ebben az esetben nem valósul meg, a magára hagyott reaktor magától leáll. Azonban, ha külső forrást helyezünk az aktív zónába, a neutronok száma állandósult állapotba kerül, a kialakuló neutronszám (N) és a zóna reaktivitása között a következő összefüggés áll fenn:

$$\rho = -\frac{A}{N},$$

ahol A egy konstans arányossági tényező. Amennyiben változtatjuk a szabályozó rúd pozícióját (z), megváltozik a reaktivitás, és ezzel együtt a kialakuló állandósult neutronszám is, azaz

$$\rho(z) = -\frac{A}{N(z)}.$$

Az A együttható meghatározásának egyik módja a fenti képletből adódik: szubkritikus zónában két különböző rúdpozícióban (z_1 és z_2) meghatározzuk a reaktivitást (ρ_1 és ρ_2) és az állandósult neutronszámot a detektoron (N_1 és N_2), majd a fenti képlet alapján a

$$\rho_1 - \rho_2 = \frac{A}{N_1} - \frac{A}{N_2}$$

összefüggésből kifejezhető az A. Ez az eljárás a gyakorlatban is használatos a szabályozó rúd kalibrációs görbéjének meghatározásához. Az eljárás neve *1/N módszer* (arra utal, hogy a reaktivitás arányos az $1/N$-nel).

Feladat

A szimuláció alkalmazásával határozza meg a szabályozó rúd kalibrációjához szükséges A együtthatót, valamint határozza meg a rúd 1%-os elmozdulásához tartozó reaktivitáslekötést két különböző rúdpozícióban!

Lépések:

1. Építsen kritikus, szabályozó rúddal szabályozható reaktorzónát!

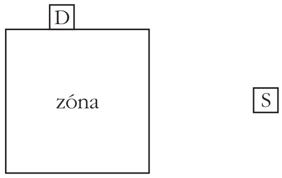
Útmutatás: A kritikus rendszer összeállításához olyan 4 pálcából álló kötegeket használjon alapegységnek, amelyek 3 urán, illetve 1 moderátorpálcát tartalmaznak (*1. ábra*). A szabályozhatóságot egy olyan 4-es köteggel valósítsa meg, ahol a moderátorpálca helyett neutronelnyelő pálca (szabályozó rúd) van, ezt az elemet a zóna közepére helyezze el. A szimulációkor minden esetben *kapcsolja ki a hőmérsékleti*

M	U
U	U

NA	U
U	U

1. ábra. A zóna felépítéséhez használatos alapelemek, jelölés: U – urán; M – moderátor; NA – neutronelnyelő.

visszacsatolásokat! Moderátorként használjon nehézvizet, üzemanyag gyanánt dúsított uránt. Az önfenntartó nukleáris láncreakció beindításához mindenképpen szükség van egy *neutronforrás*ra, ezért helyezzen el egy forrást a zónától távol (*2. ábra*). A kritikus reaktorállapotot a szabályozó rúd pozíciójának változtatásával állítsa be úgy, hogy – miután a neutronsokszorozás elindult – a forrást cserélje ki egy üres elemmel. A neutronok számának időbeli változását egy *detektor*ral vizsgálja, amelyet közvetlenül az aktív zóna mellé helyezzen (*2. ábra*)! A neutronforrás nélkül a reaktorunk akkor van kritikus állapotban, ha a detektor által érzékelt neutronok száma időben nem változik.



2. ábra. Az alapelemekből felépített zóna, a méréshez szükséges neutrondetektor (D), illetve a forrás (S) ajánlott elrendezése.

2. A kritikus állapot elérése után állítsa le a szimulációt, és helyezzen el egy forrást az elrendezéstől távol (a forrás sor-oszlop koordinátáját jegyezze fel, mert a további feladatok során azonos pozícióba kell majd visszahelyezni), majd a szabályozó rúd pozícióját növelje meg 5%-kal (tolja beljebb a rudat a reaktorba, és ezzel hozza szubkritikus állapotba a rendszert) és indítsa újra a szimulációt! Vizsgálja meg a detektoron mért neutronok számának időbeli változását! Magyarázza meg a karakterisztikát, majd az állandósult állapot beállta után jegyezze fel a detektoron mért neutronok számát és állítsa le a szimulációt! Vegye ki a forrást rendszerből és folytassa (ne indítsa újra!) a szimulációt, majd jegyezze fel a detektor adataiból számított sokszorozási tényezőt (ez az utolsó két értékében egy átlag körül ingadozó mennyiség lesz, ezért célszerű egyes időlépésenként feljegyezni pár tipikus értéket és azokból átlagot számolni), és végül állítsa le a szimulációt!

3. A 2. feladat elvégzése után helyezze vissza a forrást az adott pozícióba, és ismét növelje a szabályozó rúd pozícióját 5%-kal, majd indítsa újra a szimulációt! Ismételje meg a 2. feladat lépéseit az új rúdállás mellett is!

4. A 2. és 3. feladatban felvett detektorjelek, illetve sokszorozási tényezők felhasználásával határozza meg a fenti összefüggések alapján a rúd kalibrációjához szükséges *A* együtthatót, valamint határozza meg a rúd 1%-os elmozdulásához tartozó reaktivitáslekötést!

5. A szabályozó rudat (nem az egész elemet) cserélje meg egy, a zóna szélétől három pálcára lévő moderátorelemmel! Ismételje meg a 2. 3. és 4. feladatot, és hasonlítsa össze a két pozíció mellett végzett szimulációk eredményeit! Magyarázza meg tapasztalatait!

Kísérleti feladat – galvanizálás hatásfokának meghatározása

Feladat:

Egy méter hosszú vezetéket rézzel kell bevonni. Ennek érdekében a vezetéket rézszulfát oldatba helyezzük, és úgy galvanizáljuk rá a rezet. Határozzuk meg, hogy a kivált réz hány százaléka tapad meg a vezetőn!

A mérésről készítsen jegyzőkönyvet! A jegyzőkönyv tartalmazza:

– A méréshez használt kapcsolási rajzot.

– A mérés menetét, a végzett számításokat és a kapott eredményeket.

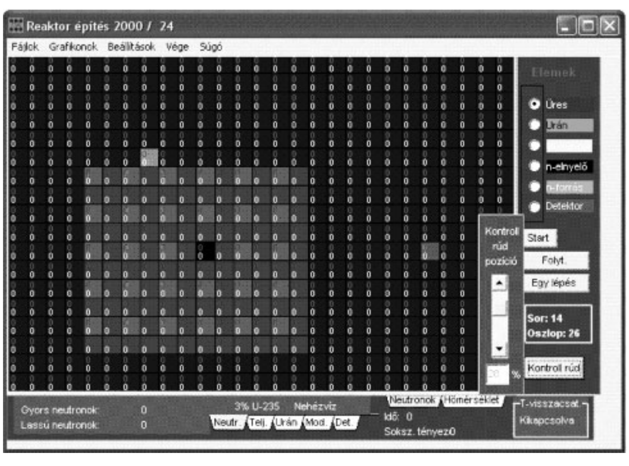
– A hibalehetőségek elemzését.

Eszközök: 1 m 20 cm hosszú ellenálláshuzal; egyenáramú tápegység, ellenállásmérő, árammérő (vagy egy multiméter); röpzsinórok, krokodilcsipeszek; tál, rézszalag elektróda; laborállványok, diók; rézszulfát oldat.

Adatok: a réz fajlagos ellenállása: $1{,}695 \cdot 10^{-8}$ Ωm; a réz sűrűsége 8920 kg/m^3; a vezeték átmérőjét a mérést felügyelő tanár adja meg.

Javaslatok: A galvanizáláshoz maximum 1 A áramot használjon! Körülbelül 10–15 percig végezze a galvanizálást! A vezetőn megtapadt réz mennyiségét a vezető ellenállásának változásából határozza meg, miután a vezeték megszáradt. A mérés során vegyen fel áramerősség-idő függvényt és ebből számítsa az átáramlott töltés mennyiségét!

Az egyik versenyző által összeállított tipikus elrendezés



Galvanizálás közben

A verseny értékelése

A verseny döntőjének délelőttjén a tíz elméleti feladat megoldására 3 óra, délután a számítógépes feladatra másfél óra, a kísérleti feladatra szintén másfél óra állt a versenyzők rendelkezésére. Egy-egy feladat teljes megoldása 5 pontot, a számítógépes feladat teljes megoldása 25 pontot, a kísérleti feladat teljes megoldása 25 pontot hozhatott. Maximálisan tehát 100 pontot lehetett szerezni. A legkiválóbb I. kategóriás versenyző 83 pontot ért el (tavaly 82 pont volt a legjobb eredmény). A legjobb junior versenyző 76 pontot ért el (tavaly 63 pont volt a legjobb). Az elméleti feladatok közül legnehezebbnek – meglepetésre – az I. kategóriás versenyzők 1. és 9. feladata bizonyult, de minden feladatra – még ezekre is – érkezett helyes megoldás! Az elméleti feladatok megoldásában *Lovas Lia Izabella* (Leőwey Klára Gimnázium, Pécs) I. kategóriás, valamint *Varga Ádám* (SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged) érték el a legjobb eredményt: 48, illetve 41 pontot a maximális 50-ből.

A mérési feladatra három versenyző ért el 24 pontot a maximális 25 pontból: *Balogh Máté* (Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, Budapest), valamint *Almády Balázs* és *Tiborcz Lívia,* mindketten a tatai Eötvös József Gimnázium tanulói. A versenyt megelőzően a Versenybizottság hosszasan tanakodott azon, hogy nem lesz-e túl nehéz – elsősorban fogalmilag – a számítógépes feladat. Úgy tűnik azonban, hogy ez az aggodalom megalapozatlan volt, hiszen a számítógépes feladatra ebben az évben 6 versenyző is maximális, 25 pontot kapott. A Junior kategóriában az I. helyezett Varga Ádám (SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium Szeged) érte el a legtöbb pontot a mérési feladatra és a számítógépes feladatra is: 20, illetve 15 pontot a maximális 25-ből.

Az összesített pontszámok alapján 2009-ben a díjakat a következő diákok kapták:

I. kategória (11–12. osztályosok)

I. díj: Lovas Lia Izabella (83 pont), Leőwey Klára Gimnázium, Pécs, tanára *Simon Péter.*

II. díj: Balogh Máté (75 pont), Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, Budapest, tanára *Horváth Gábor.*

III. díj: *Lajtai Gergő* (74 pont), Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Pálovics Róbert.*

Az I. kategória győztese: Lovas Lia Izabella

A „Junior” kategóriában Varga Ádám győzött.

„Junior” kategória

I. helyezett: Varga Ádám (76 pont), SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged, tanára *Kovács László.*

II. helyezettek: *Budai Ádám* (47 pont), Földes Ferenc Gimnázium, Miskolc, tanára *Bíró István,* illetve *Garaguly Gergő* (47 pont), Verseghy Ferenc Gimnázium, Szolnok, tanára *Pécsi István.*

✧

A záróülésen az I. kategória díjait *Süli János,* a Paksi Atomerőmű Zrt. vezérigazgatója adta át. A Magyar Nukleáris Társaság WIN (Women in Nuclear) tagozatának különdíját a legjobb női versenyző, Lovas Lia Izabella *Radnóti Katalin*tól vette át. A tanulói díjak és oklevelek átadása után a tanárok pontversenyében legjobb eredményt elért Pálovics Róbert (Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg) vehette át a *Delfin-díj*at. Pálovics Róbert tanár úr már 2001-ben és 2005-ben is elnyerte azt, így ő az első, aki immár háromszoros díjazott! A Delfin-díj alapszabályának megfelelően a díjbizottságnak lehetősége van egy külön Delfin-díj kiadására is, mellyel 2009-ben élt a bizottság, és *Jurisits József*nek, a szekszárdi Garay János Gimnázium tanárának adott egy külön Delfin-díjat. Jurisits József a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány 1997-es alapításától 2002-ig a kuratórium tagja volt, s emellett a Szilárd Leó fizikaverseny versenybizottságában kezdetektől nyugdíjba vonulásáig aktívan dolgozott. Nyugdíjba vonulásakor, 2007-ben, a Szilárd Leó Tanári Delfin-díj összesített pontversenyében a második helyen állt.

A *Marx György Vándordíj*at – amelyet minden évben a pontversenyben legkiválóbb eredményt elért iskolának ítél oda a Versenybizottság – 2009-ben a *Verseghy Ferenc Gimnázium* (Szolnok) nyerte el.

Minden nyertesnek gratulálunk!

Az ünnepi beszédek után Sükösd Csaba köszönetét fejezte ki a versenyt támogató Paksi Atomerőmű Zrt.-nek és a paksi Energetikai Szakközépiskolának a verseny megrendezésében nyújtott segítségükért. A versenyt 2010-ben is megrendezzük változatlan tematikával (lásd *Fizikai Szemle* 2009. november, 396. oldal). Ismételten *bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák* tanulóit is arra, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyre. A nevezéseket a verseny honlapjáról kiindulva lehet megtenni: http://www.szilardverseny.hu.