IX. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ TANULMÁNYI VERSENY

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

2006 tavaszán a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat kilencedik alkalommal rendezte meg az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyt. Már a 2004-es verseny meghirdetésekor a hagyományos tematika kibővült: a nukleáris témák mellé egyéb „modern fizikai” területek is bekerültek a kitűzött feladatok tematikájába. 2006-ban – újdonságképpen – határon túli magyar anyanyelvű iskolák tanulói részére is megnyílt a részvétel lehetősége. Ezzel 32 erdélyi tanuló élt is. Sajnos, Felvidékről, Vajdaságból és Kárpátaljáról nem érkezett nevezés. A verseny iránti érdeklődésben, a benevező diákok számában néhány év óta mutatkozó csökkenő tendencia nem változott. Míg korábban rendszeresen 400 fölött volt a jelentkezési létszám, 2005-ben a háromszázat sem érte el, 2006-ban is csak a határon túli résztvevőknek köszönhetően haladta meg a háromszázat. Ennek oka talán az, hogy az új érettségi-felvételi rendszer bevezetésekor, 2005-ben, az Oktatási Minisztérium – az OKTV kivételével – megvonta a felvételi kedvezményeket a magas színvonalú szakmai tanulmányi versenyek nyerteseitől.

Az első forduló (válogató verseny) 10 példáját az iskolákban lehetett megoldani 3 óra alatt. Kijavítás után a tanárok azokat a megoldásokat küldték be az Eötvös Társulatba, amelyekkel a 9–10. osztályos (junior) versenyzők legalább 40%-os, a 11–12. osztályos (szenior) versenyzők legalább 60%-os eredményt értek el. Ezeket ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb 10 junior versenyzőt és a legjobb 20 szenior versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolába (ESZI) a 2006. április 29-én megrendezett döntőre. Sajnos a döntő időpontja egybeesett az Országos Irinyi Kémiai Versennyel, ezért a behívott junior versenyzők egyike nem tudott megjelenni. Végeredményben 20 szenior és 9 junior versenyző vett részt a döntőn. A versenyeken bármilyen segédeszköz (mobiltelefon és internet kivételével) használható volt.

A verseny lebonyolításáért felelős versenybizottság vezetője *Sükösd Csaba,* tagjai *Berta Miklós, Czifrus Szabolcs, Radnóti Katalin, Szűcs József* egyetemi, illetve főiskolai oktatók, *Csajági Sándor, Kaszás Dezső, Kopcsa József, Mester András, Ujvári Sándor* és *Vastagh György* középiskolai tanárok voltak. Különös gondot fordítottak arra, hogy a feladatok kitűzői, illetve a döntő dolgozatainak elbírálói között senki ne legyen, akinek tanítványa indult a versenyen.

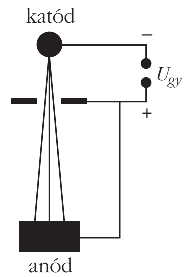
Ismertetjük a válogató verseny, valamint a döntő feladatait, és a megoldások lényeges gondolatait.

A válogató verseny (I. forduló) feladatai

1. feladat

Egy röntgencső gyorsító feszültsége U_{gy}.

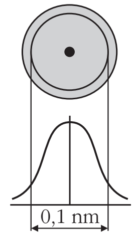
a) Mi annak a feltétele, hogy az anódból kiinduló röntgensugárzás fotonjai frontális ütközés során megállítsák a keltő elektronokat?



b) Legfeljebb mekkora lehet a röntgenfoton energiája egy ilyen ütközés után? (5 pont)

Megoldás: A feladatban leírt foton–elektron ütközés (egy speciális Compton-szóródás) a rajz alapján már teljesen felgyorsult elektronokon fog bekövetkezni. A kérdéses feltételt a lendület- és energiamegmaradási egyenletek felírásából lehet meghatározni. Az eredmény: a gyorsító feszültségnek 113,7 kV-nak, vagy ennél nagyobbnak kell lenni. A b) kérdésre a válasz: a foton energiája legfeljebb két elektron teljes energiájával, azaz $2\,eU$-val lehet egyenlő.

2. feladat



A hidrogénatomban a proton vonzása tartja fogva az elektront. A hullámmodell szerint *alapállapotban* az elektront egy gömbszimmetrikus, csomófelület-mentes állóhullám írja le. Egyensúlyi állapotban a gömb alakú atom sugara $R_0 \approx 0{,}05$ nm, energiája $E_{H0} = -2{,}2$ aJ. A proton vonzásából származó *átlagos elektrosztatikus energia* $1/R$-rel arányos és értéke alapállapotban $E_{p0} = -4{,}4$ aJ. Az „atomba zárt”, kvantumos nyüzsgést végző elektron *átlagos mozgási energiája* pedig $1/R^2$-tel arányos.

Becsüljük meg, hogy a hidrogénatomot mekkora külső nyomással lehetne úgy összepréselni, hogy térfogata 1%-kal csökkenjen? (5 pont)

Megoldás: Vezessük be az $\alpha = R_0/R$ jelölést! Ahhoz, hogy az atom térfogata 1%-kal csökkenjen (azaz az eredetinek 0,99-szorosa legyen), a sugarát $(0{,}99)^{1/3} = 0{,}9967$-szeresre kell csökkenteni. Ekkor tehát $\alpha = 1/0{,}9967 = 1{,}0033$. Az „összenyomott” H-atom energiaváltozása α segítségével felírható: $\Delta E = -E_{H0}(\alpha - 1)^2$. Emiatt $\Delta E = 2{,}4\cdot 10^{-23}$ J. Az összenyomáshoz szükséges nyomást az energianövekedéshez szükséges munkavégzés $\Delta E = p\cdot\Delta V$ alapján becsülhetjük. Az eredmény: $p = 4{,}58\cdot 10^9$ Pa.

Megjegyzés: A $\Delta E = p\cdot\Delta V$ képlet alkalmazása csak közelítés a térfogati munkára, hiszen az összenyomás nem állandó nyomáson történik.

3. feladat

A Rák köd középpontjában – az 1300-as években történt szupernóva-robbanás maradványaként – egy neutroncsillag található, amelyet a csillagászok Rák-pulzárnak neveztek el. A Rák-pulzár saját tengelye körül 30 Hz-es fordulatszámmal forog. A csillag anyaga atommag sűrűségűnek vehető ($\approx 1{,}4\cdot 10^{17}$ kg/m^3).

a) Becsüljük meg, mekkora lehet a gömb alakúnak képzelt csillag sugara, ha tömegét a Nap tömegével ($2\cdot 10^{30}$ kg) vesszük azonosnak!

b) A csillag felszínén mekkora lehet a nehézségi gyorsulás (g_n) értéke?

c) Vizsgáljuk meg, hogy a g_n értékét mennyire befolyásolja a csillag gyors forgása! Hasonlítsuk össze a Földön lévő viszonyokkal! (5 pont)

Megoldás: A csillag sugara körülbelül 15 km, a felszínén a gravitációs gyorsulás $6 \cdot 10^{11}$ m/s^2. A centrifugális gyorsulás nagysága kereken ezredrésze a gravitációs gyorsulásénak, így a nehézségi gyorsulás értékét (a két gyorsulás eredőjét) a csillag forgása csak kis mértékben befolyásolja, akárcsak Földünk esetében.

4. feladat

Melyik az az atommag, amelynek nukleonokból történő keletkezésekor előálló 0,908 százalékos tömeghiány 306,8 MeV energiának felel meg? A magot azonos számú proton és neutron alkotja. (5 pont)

Megoldás: $\Delta E/c^2 = \Delta m = 9{,}08 \cdot 10^{-3} Z(m_p + m_n)$. Ebből $Z = 17{,}97 \approx 18$, azaz az $^{36}_{18}$Ar argon atommagról van szó.

5. feladat

Egy 50 m^3 térfogatú, jól záró szobában, amelyet már régen nem szellőztettek, a radon aktivitáskoncentrációja 800 Bq/m^3.

a) Hány gramm radon áramlik be óránként a szobába a padlón keresztül?

b) Mit ajánlhatunk a lakóknak ilyen, vagy ennél nagyobb aktivitáskoncentrációnál? (5 pont)

Megoldás: Ebben a szobában egy óra alatt átlagosan $N = A \cdot 3600 \cdot V = 1{,}44 \cdot 10^8$ radon atom bomlik el. Akkor marad fenn az egyensúly, ha ugyanennyi részecske áramlik be egy óra alatt. Ennek tömege $5{,}33 \cdot 10^{-14}$ g. Az Európai Unió ajánlása szerint 400 Bq/m^3 aktivitáskoncentráció fölött a lakásban lakókat figyelmeztetni kell arra, hogy a radonkoncentráció túl magas. Általában gyakoribb szellőztetést, különösen esti, lefekvés előtti szellőztetést javaslunk.

6. feladat

A Greenpeace aktivistái tüntettek annak idején a német egyesítés után nekünk átadott friss, használatlan atomerőművi üzemanyag-kazetták vasúti szállítása ellen, féltvén a környezetet a „sugárfertőzéstől”. Mi a véleményed erről az eseményről? (5 pont)

Megoldás: A használatlan üzemanyag-kazetták aktivitása nagyon kicsi, mert nagyon nagy felezési idejű urándioxidot tartalmaznak. A 238-as tömegszámú uránizotóp felezési ideje 4,5 milliárd év, a 235-ösé 700 millió év. Az üzemanyag-kazetták csak azután tesznek szert veszélyes aktivitásra, hogy a reaktorban már használatba vették őket, de ilyenkor igen komoly biztonsági szabályok betartásával kezelik. A másik probléma a sugárfertőzés fogalmának használata. A sugárzás nem fertőz, ilyenkor a sugárszennyezés, sugárterhelés a megfelelő kifejezés.

7. feladat

Biológiailag az azonos energiájú neutron- vagy α-sugárzás a veszélyesebb? (5 pont)

Megoldás: Külső sugárzás esetén a nagyobb áthatolóképességű neutron, mivel belső szerveket is ér, főként protonokat lök meg, melyek már ionizálnak, így szabad gyökök keletkeznek. Az α-sugárzás nem tud áthatolni a bőrön, ezért külső sugárzás esetén kevésbé veszélyes. Belső sugárzáskor (inkorporációnál), ha bekerül a szervezetbe, akkor az α-sugárzás minden részecskéje igen erősen ionizál, míg a neutronok egy része csak hosszabb úton adja le az energiáját. Így inkorporált sugárzó anyag esetén az alfa-sugárzás a veszélyesebb.

8. feladat

A protonokat és neutronokat kétféle kvark alkotja. Az egyik az up kvark, töltése +2/3-szorosa az elemi töltésnek, a másik a down kvark, ennek töltése −1/3-szorosa az elemi töltésnek. A proton 2 up és 1 down kvarkból, a neutron 2 down és 1 up kvarkból áll. A kvarkok nem tudnak kiszabadulni, hanem csak a proton és a neutron belsejében, kötött állapotban léteznek. Mekkora energiájú elektronokkal végzett szóráskísérlettel tehetők ezek a kvarkok „láthatóvá”? (5 pont)

Megoldás: A proton nagyságrendileg 10^{-15} m méretű. Egy kvark megfigyeléséhez olyan hullám már megfelelő lehet, amellyel ennek tizedrészét, 10^{-16} m-t lehet megfigyelni. A de Broglie-összefüggés segítségével ebből az elektron lendülete, a relativisztikus $E = p \cdot c$ összefüggés segítségével pedig az energiája is meghatározható. Az eredmény körülbelül 12,5 GeV.

9. feladat

A párizsi Eiffel-torony 324 m magas, fémből (acélból) készült. A fémben lévő vezetési elektronok a fémben szabadon elmozdulhatnak. Az elektronoknak van tömege, mégsem „esnek le” mind a torony aljára.

a) Miért?

b) Mi történne abszolút 0 fokon? (5 pont)

Megoldás: Két oka is van annak, hogy a vezetési elektronok nem esnek le mind a torony aljára. Az egyik ok az elektrongázban lévő elektronok hőmozgása. Abszolút nulla fokon sem esne le azonban minden elektron a torony aljára. Az elektronok egy része „leesik”, és ezáltal potenciálkülönbség jön létre a torony alja és teteje között. Az így kialakult térerősség akadályozza meg a többi elektront, hogy leessen. Az egyensúly feltétele az, hogy az elektromos térerősségből származó erő éppen egyensúlyt tartson az elektronra ható gravitációs erővel. Azaz: $eE = mg$, amiből a szükséges térerősség kifejezhető, és a torony teteje és alja közötti potenciálkülönbségre körülbelül 18 nV-ot kapunk.

10. feladat

Gyakran hallani arról, hogy a globális felmelegedés következtében előfordulhat, hogy leáll a meleg Golf-áramlat, és Nyugat-Európára újabb jégkorszak vár. Mi lehet ennek a magyarázata? (5 pont)

Megoldás: A Golf-áramlat hajtóereje az északi sarkkör és a déli meleg tengerek közötti hőmérséklet-különbség. A globális felmelegedés azonban nem egyenletesen melegíti a Föld minden területét. Míg a déli tengereken néhány fok felmelegedést okoz, a sarkkörökön a felmelegedés a tíz fokot is meghaladhatja (olvad a jég, csökken a hótakaró által fedett terület, növekszik a napfényből az energia elnyelése, és ez felerősíti a helyi melegedést). Ezáltal végeredményben csökken az áramlatot hajtó hőmérséklet-különbség. Ehhez hozzájárul még, hogy a sarkkörökön megolvadó jégből és hóból származó édesvíz éppen ott hígítja fel az áramlat vizét, ahol a hosszú úton történő párolgás következtében megnőtt sótartalom miatt a mélybe kellene buknia. A hígabb víznek kisebb lesz a sűrűsége, és ezért nem fog lebukni. Az áramlat keringési rendszere tehát megszakad.

A döntő versenyfeladatai

Ezen a versenyen is, mint az első Szilárd-versenyen (valamint 2004 óta ismét), a Junior kategória versenyfeladatai részben eltértek a „nagyok” feladataitól.

1. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A csernobili atomerőmű balesetekor a baleset helyszínétől távol a lakosság legnagyobb sugárterhelését a ^{131}I és a ^{137}Cs izotópok jelentették. Melyik a veszélyesebb? Ugyanakkora aktivitású ^{137}Cs, vagy ^{131}I bekerülése a szervezetbe? (5 pont)

Adatok: a ^{137}Cs fizikai felezési ideje 30 év, biológiai felezési ideje 100 nap, a bomlásakor felszabaduló összenergia 1,176 MeV, amelyből 662 keV a leánymag gamma-sugárzása során keletkezik, a többi béta-bomláskor. A ^{131}I felezési ideje 8 nap, a bomlásakor felszabaduló összenergia 0,971 MeV, amelyből átlagosan 380 keV gamma-sugárzás formájában, a többi béta-bomlásban szabadul fel.

Megoldás: a két izotóp bomlásonként körülbelül ugyanannyi energiát ad le mind béta-, mind gamma-sugárzás formájában. A cézium azonban vízben oldódó alkálifém, mindenütt jelen van, ahová a szervezetben el tud jutni vízben feloldódva, a jód pedig specifikusan a pajzsmirigyben kötődik, és ott fel is halmozódik. Azonos aktivitás esetén tehát ugyanannyi leadott energia cézium esetén a teljes testben nyelődik el, jód esetén pedig kizárólag a pajzsmirigyben. Így a jód károsító hatása sokkal nagyobb.

2. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Egy TOKAMAK belsejében a következő fúziós folyamatot használják energiaátalakításra: $D+D \rightarrow {}^3He+n$. A TOKAMAK plazmájának magas hőmérsékletén a részecskéknek 10 keV átlagos mozgási energiájuk van. Mennyire közelíthetik meg egymást az ekkora átlagos energiával rendelkező részecskék? Valóban létrejöhet-e a fúzió ezen a hőmérsékleten? (5 pont)

Megoldás: $2E$ = 20 keV = $3{,}2\cdot10^{-15}$ J, innen átlagosan $R = kq_1q_2/2E = 0{,}72\cdot10^{-13}$ méterre közelítik meg egymást. Egy kisebb atommag sugara 10^{-15} m körül van, ez ennek az értéknek körülbelül a 100-ad része (72-ed része). Az $R_{mag} = 10^{-15}$ m-es távolság eléréséhez a részecskéknek $2E = kq_1q_2/R_{mag} \approx 2{,}3\cdot10^{-13}$ J = 1,44 MeV energiával kell(ene) rendelkezniük, azaz részecskénként 0,72 MeV energiával. Ezek szerint a fúzió nem jöhetne létre. Az, hogy mégis létrejön, két tényezőnek köszönhető:

– a részecskék egy része az átlagos energiánál jóval nagyobb energiával is mozoghat a Boltzmann-eloszlásnak megfelelően;

– az alagúteffektus miatt a Coulomb-gátnál kisebb energiájú részecskék is létrehozhatnak fúziót.

3. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

A radioaktivitás felfedezését követően komoly feladat volt a keletkező részecskék energiájának meghatározása. Az első adatok az α-részecskékre vonatkoztak. Az könynyen észrevehető volt, hogy a rádiumvegyületek mindig kissé melegebbek, mint a környezetük. Ha egy ilyen vegyületet kaloriméterbe helyeztek, megállapítható volt, hogy mennyi hőt fejleszt óránként. Ezt az értéket elosztva az óránként keletkező α-részecskék számával, meg lehet határozni egy részecske energiáját. A következő feladat tehát a bomlások számának meghatározása. Ez úgynevezett spintariszkóp segítségével történt.

A spintariszkóp egy kis méretű doboz, amelynek az alját belülről cink-szulfiddal (ZnS) vonták be, míg a másik oldalán egy lencse van. A lencse és a cink-szulfid felület közé egy tűt helyeztek, melyre kis mennyiségű radioaktív anyagot vittek fel. A tűről a cink-szulfid felületre került α-részecskék a nagyítón keresztül megfigyelhető szcintillációt, fényfelvillanást hoznak létre.

A rádium bomlási sora olyan, hogy három olyan bomlási termék, leányelem is felhalmozódik, melyek szintén α-részecskéket bocsátanak ki.

Egy konkrét mérés a következőképp történhetett: Kaloriméterben lemérték, hogy 1 gramm rádium 588 J hőt fejleszt óránként. Ezután lemértek 5 mg rádiumot tartalmazó sót, melyet 5 liter vízben feloldottak. A jól összekevert oldatból ez után 1 mm^3 oldatot juttattak a spintariszkóp tűjére, ahonnan a víz elpárolgott, és a rádiumtartalmú anyag ott maradt. A berendezés elrendezése olyan volt, hogy az α-részecskéknek csak századrészét lehetett észlelni. A mérés során 100 másodperc alatt 37 felvillanás volt látható. Ezeknek alapján mekkora lehet az α-részecske energiája? (5 pont)

Megoldás: A feladatban megadott adatokkal a rádium bomlásában keletkező α-részecskék energiájára körülbelül $1{,}1\cdot10^{-12}$ J értéket kapunk.

4. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A lakásban lévő fogyasztásmérőben (villanyóra) forgó elektromos mezőt hoznak létre a benne lévő tekercsek, amikor valamilyen fogyasztót rákapcsolunk a hálózatra. Ebben a forgó elektromos mezőben az ott elhelyezett alumínium korong forgásba jön.

Mi történne, ha alumínium korong helyett

a) szigetelő korongot,

b) szupravezető (pontosan 0 ellenállású) anyagból készült korongot

építenénk be a villanyórába? Többet, vagy kevesebbet mérne? Indokold meg a válaszokat! (5 pont)

Megoldás: Az alumínium korong azért kezd el forogni, mert a benne lévő szabad (vezetési) elektronokat a forgó elektromos mező gyorsítja. Mozgásuk közben azonban az elektronok a fémráccsal ütköznek (ettől van az anyagnak ellenállása), és lendületet (és energiát) adnak át a korongnak, miáltal az is forgásba jön. A szigetelő korong nem kezdene el forogni, mert nincsenek benne szabad elektronok, amelyeket a forgó elektromos mező fel tudna gyorsítani. A szupravezető korong sem jönne forgásba, mert abban vannak ugyan szabad elektronok, de energiájukat és lendületüket nem tudják átadni az anyagnak, mivel nem ütköznek a ráccsal (ha ütköznének, akkor energiát adnának át, és az anyagnak lenne elektromos ellenállása, azaz nem lenne szupravezető.) Tehát sem a szigetelő, sem a szupravezető korong nem fog forogni, a villanyóra semmit sem mérne.

5. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

Legalább mekkora annak a láncmolekulának a hossza, amelynek vizes oldatát kémcsőbe helyezve zöld színűnek látjuk áteső fényben? (5 pont)

Megoldás: A molekula a piros fényt nyeli el, ha áteső fényben zöldnek látszik. Az egydimenziós húrmodell alapján ebből a húr (molekula) hosszára $a \approx 7{,}97 \cdot 10^{-10}$ m kapunk.

6. feladat (kitűzte: Radnóti Katalin)

A müon az elektronnál 207-szer nagyobb tömegű, de azzal megegyező töltésű elemi részecske, amely a kozmikus sugárzás hatására keletkezik átlagosan 2 GeV energiával, magasan a földi légkörben. Mivel nehezebb az elektronnál, így elbomlik elektronra és neutrínókra a következő folyamat szerint: $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$.

Átlagos élettartama mindössze $\tau = 2{,}15 \cdot 10^{-6}$ s. Érthetetlen volt azonban, hogy ilyen rövid élettartam mellett hogyan képes a müonok jelentős része áthatolni például 10 km vastag légrétegen, hiszen nem haladhatnak gyorsabban, mint a vákuumbeli fénysebesség? Mi a probléma megoldása? (5 pont)

Megoldás: 10 km-es magasságról fénysebességgel körülbelül a müon élettartamának tízszerese alatt lehetne leérni. Ez persze nem zárja ki, hogy müonok leérjenek, hiszen ez csak annyit jelent, hogy a fent keletkező müonoknak csak nagyon kicsi, $e^{-10} = 4{,}5 \cdot 10^{-5}$-ed része érne le. Van azonban egy másik hatás is, a relativisztikus idődilatáció, amely miatt a gyorsan mozgó müon saját koordinátarendszerében másként múlik az idő, mint ahogyan azt mi látjuk. Ami a 2 GeV mozgási energiájú müon számára $\tau = 2{,}15{-}10^{-6}$ s, az egy földi megfigyelő számára $\tau' = 4{,}2 \cdot 10^{-5}$ s. Ez okozza, hogy a fent keletkező müonok jelentős része (kb. 63%-a) leér a Föld felszínére.

7. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

Egy Pu–Be neutronforrás másodpercenként 10^4 neutront bocsát ki tokozás nélkül. A forrást polietilénből készült, vastag falú műanyag tokba helyezzük. (A polietilén szenet és hidrogént tartalmaz.)

a) Jöhet-e ki *kevesebb* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

b) Jöhet-e ki *több* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

c) Jöhet-e ki *ugyanannyi* neutron a tokozott forrásból, mint a tokozás nélküliből?

A választ minden esetben indokolja is meg.

Megjegyzések:

1) A Pu–Be forrásban a következő Pu-izotópok vannak különböző koncentrációban: ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu. Ezek között vannak alfa-bomló, és hasadóképes izotópok is.

2) A valóságos Pu–Be forrásokat fémtokba helyezik. (5 pont)

Megoldás: mindhárom kérdésre igen a válasz. A polietilén tokozásnak kétféle hatása lehet:

- Elnyeli a neutronok egy részét. Emiatt jöhet ki *kevesebb* neutron tokkal, mint tok nélkül.
- Lelassítja és visszaszórja a neutronokat a forrás felé. A lassú neutronok a forrásban lévő hasadóképes Pu-izotópokban maghasadást okoznak, és ez többlet-neutronok fellépéséhez vezethet. Emiatt jöhet ki *több* neutron tokkal, mint tok nélkül.

A körülményektől (a tok vastagságától, a forrás izotóp-összetételétől stb.) függ, hogy melyik hatás dominál. Ha a két hatás éppen kiegyenlíti egymást, akkor éppen ugyanannyi neutron is kijöhet tokkal, mint tok nélkül.

8. feladat (kitűzte: Ujvári Sándor)

a) Mekkora, és milyen irányú a gyorsulása annak a Cosmos 1 nevű napvitorlásnak, amelynek tömege 100 kg, és a 600 m^2 felületű, tükröző felületű napvitorla a sugárzásra merőlegesen áll? A vitorlást nem a napszél, hanem a Nap által kibocsátott fotonok hajtják.

b) Mekkora és milyen irányú lesz a gyorsulás, ha a napvitorlát az előzőhöz képest 45 fokkal elfordítjuk?

c) Mi történne, ha a napvitorla nem tükröző lenne, hanem fekete? (5 pont)

Adatok: A Napból jövő fotonok teljesítménye 1353 W/m^2 a Föld távolságában. A Nap tömege $2 \cdot 10^{30}$ kg, a Nap–Föld távolság $1{,}5 \cdot 10^{11}$ m.

Megoldás: A Nap gravitációs vonzóereje a vitorlásra 0,59 N, és a Nap felé mutat. A fotonok által a vitorlásra gyakorolt erő az időegység alatt átadott lendületből határozható meg: 0,0027 N. Itt két esetet kell megkülönböztetnünk:

a) Ha a vitorla fekete, azaz teljesen elnyeli a sugárzást, akkor ennyi lendületet vesz át a sugárzásból, ezért a vitorlásra „kifelé” ekkora erő hat. Az eredő erő tehát $0{,}59 - 0{,}0027 = 0{,}5873$ N a Nap felé.

b) Ha a vitorla teljesen tükröző, akkor a ráeső sugárzást visszaveri, és akkor az átvett lendület az előzőnek a kétszerese. Az eredő erő még ekkor is a Nap felé mutat.

Ha a vitorlát elfordítjuk, az átadott lendület iránya is megváltozik, és a gravitációs és a fénynyomásból eredő erők vektori eredőjét kell kiszámítani. Ez lehetőséget ad a „pályamenti” gyorsításra, és így a napvitorlás fokozatosan energiát nyerhet.

I. kategória (szeniorok) utolsó két feladata

9. feladat (kitűzte: Sükösd Csaba)

A sok ismert *stabil* atommag között mindössze négy olyan van, amelyekben mind a protonok, mind a neutronok száma páratlan. Ezek: $^2_1$H, $^6_3$Li, $^{10}_5$B, $^{14}_7$N.

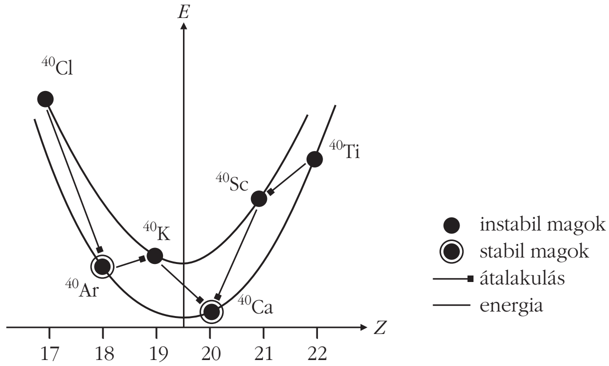
a) Mi az oka annak, hogy a páros proton- és/vagy neutronszámú atommagok általában stabilabbak?

b) Mi lehet az oka, hogy csak a legkisebb páratlan számok esetén vannak stabilan létező páratlan-páratlan atommagok? (5 pont)

Megoldás:

a) A párenergia az oka annak, hogy a páratlan-páratlan atommagok kevésbé erősen kötöttek („magasabb energiájúak”), mint a páros-páros atommagok.

b) Az alapállapotú atommagok (kötési) energiafelületének tulajdonságaiból következik, hogy az azonos tömegszámú (A) atommagok energiája a rendszám (Z) függvényében parabola mentén helyezkedik el. Ezt azonban a párenergia jelenléte módosítja. A tömegszám a rendszámnak (Z) és a neutronok számának (N) összege: $A = Z+N$. Páros tömegszámot (pl. 40) azonban kétféleképpen is elő lehet állítani: páros Z + páros N, valamint páratlan Z + páratlan N.

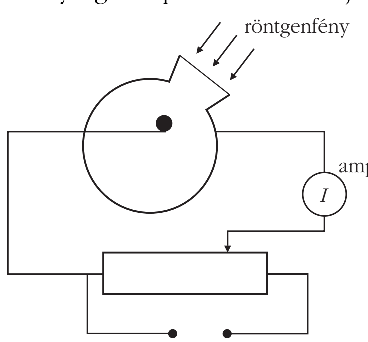


Ez ahhoz vezet, hogy egy páratlan-páratlan atommagnak mindkét oldalon lehet olyan „szomszédja”, amelyekre való bomlás energetikailag kedvező. A ^{40}K-hoz hasonló atommagokat tehát az energiavölgy „alján” lévő, páratlan-páratlan atommagok között kereshetjük. Az energiavölgy „oldalán” már a Pauli-lejtő meredeksége miatt nem fordulhat elő, hogy mindkét szomszéd alacsonyabb energiájú legyen.

A könnyű atommagoknál már olyan meredek a parabola, hogy a szomszédok mindenképpen feljebb kerülnek. Ezért vannak stabil páratlan-páratlan atommagok csak a könnyű atommagok között.

10. feladat (kitűzte Szűcs József)

Az *ábrá*n látható kísérleti összeállításban egy gömb alakú, fémházas légritkított edény közepébe lítiumból készült katódot helyezünk. A katódot ablakon keresztül ismeretlen hullámhosszúságú, monokromatikus röntgenfénnyel sugározzuk be. A besugárzás hatására a katódból kilépő elektronok zárják az összeállítás áramkörét: a nagy érzékenységű ampermérő áramot jelez.



Az ellentér feszültségét növelve két komponens figyelhető meg. Körülbelül U = 100 V feszültségig az áramerősség folyamatosan csökken. Ezt követően az áramerősség kis értéken marad, és csak körülbelül U = 5000 V feszültséggel lehetne teljesen megszüntetni.

a) Mekkora lehet a monokromatikus röntgensugárzás hullámhossza?

b) Mi lehet az oka a két komponens felléptének? (A feltételezést számítással is támasszuk alá) (5 pont)

Megjegyzés: a lítium kilépési munkáját a számításokban elhanyagolhatjuk.

Megoldás: A „fotocella” elektronjait két folyamat válthatja ki: a fotoeffektus, illetve a Compton-effektus. Ez az oka a két komponens felléptének.

a) Mivel 5000 volton szűnik meg minden áram, így biztos, hogy a lítium a röntgenfoton teljes energiáját elnyeli fotoeffektussal. Ebből a röntgensugárzás hullámhosszára $2{,}48 \cdot 10^{-11}$ m adódik.

b) A Compton-szórás esetén az elektronok akkor kapják a legnagyobb energiát, amikor a szóródott foton éppen visszafelé szóródik. A Compton-effektusra vonatkozó összefüggésekből a meglökött elektron energiájára ilyen feltételekkel 95,96 eV adódik, s ez teljesen összefér a kísérletben tapasztaltakkal.

II. kategória (juniorok) utolsó két feladata

9. feladat (kitűzte: Vastagh György)

Egy gyorsítócsőben a céltárgyra 32 fJ energiájú deuteronnyaláb érkezik. Az ionáram erőssége 300 μA. Mennyi energiát kell másodpercenként elvezetni a céltárgyról, hogy az ne melegedjen? (5 pont)

Megoldás: annyi energiát kell elvonni, amennyit a deuteronok a céltárgynak átadnak. Az áramerősségből az időegység alatt a céltárgyba becsapódó részecskék száma, és ebből végül is a céltárgynak átadott energia meghatározható. Az eredmény: 60 J másodpercenként.

10. feladat (kitűzte Vastagh György)

Egy üzemben a hegesztési varratok átvilágítására ^{60}Co izotóp gamma-sugárzását használják. A ^{60}Co bomlásakor atommagonként két gamma-foton keletkezik. Az egyik foton energiája 0,187 pJ, a másiké 0,213 pJ. A radioaktív preparátum a beszerzéskor $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq aktivitású volt, egy év alatt az aktivitása 12,2%-kal csökkent.

a) Mennyi a felezési idő?

b) Mekkora volt a preparátumból egy másodperc alatt kilépő gamma-fotonok összenergiája a beszerzéskor? (5 pont)

Megoldás:

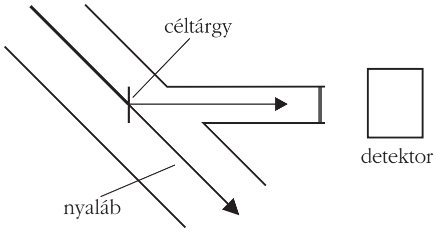
a) A felezési idő az egy év alatti aktivitáscsökkenésből az exponenciális bomlástörvény alapján meghatározható. Az eredmény: T = 5,33 év.

b) Egy másodperc alatt elbomlott atommagok száma: $N = A \cdot t = 3{,}7 \cdot 10^{10}$. A fotonok összenergiája $E = N(E_1 + E_2) = 3{,}7 \cdot 10^{10} \cdot (1{,}87 + 2{,}13) \cdot 10^{-13} = 1{,}48 \cdot 10^{-2}$ J.

Számítógépes feladat

Egy gyorsítóberendezés mellett a következő kísérletet hajtjuk végre:

A gyorsítóban ^{10}B ionokat (atommagokat) gyorsítunk, amelyek protonokat tartalmazó céltárgyra (pl. vékony polietilén-fólia) esnek. Ott rugalmatlanul szóródnak, és gerjesztett állapotba kerülnek. A detektor felé repülésük



közben elbomlanak, és gamma-sugarakat bocsátanak ki. Ezek a gamma-fotonok a Doppler-jelenség miatt módosított energiával érkeznek a detektorba. Vannak olyan atommagok is, amelyek csak az után bomlanak el, hogy a változtatható hosszúságú repülési cső végében lévő lemezben lefékeződnek. A detektor a kibocsátott gamma-sugarakat észleli.

Feladatok:

1) A gyorsító kikapcsolt állapotában „kalibráljuk” a detektorunkat standard sugárforrások segítségével (^{137}Cs – 662 keV, ^{60}Co – 1170 keV, 1333 keV)

2) Vegyük fel a spektrumot a gyorsító bekapcsolt állapota mellett, különböző repülési csőhosszúságok esetén.

3) A felvett spektrumok alapján határozzuk meg a következőket:

a. a gerjesztett állapot energiáját,
b. a rugalmatlanul szóródott részecskék energiáját,
c. a gerjesztett állapot élettartamát.

Figyelem! A számítógépes kísérlet elvégzéséről külön „mérési jegyzőkönyvet” kell beadni. A jegyzőkönyv tartalmazzon minden olyan adatot, amelyek a „kísérlet” megismétléséhez és az eredmények ellenőrzéséhez szükségesek (kiindulási, mérési adatok, számítási módszer, végeredmény stb.)! A kiértékeléshez és a jegyzőkönyv elkészítéséhez minden segédeszköz használható – beleértve a számítógépen rendelkezésre álló eszközöket is (pl. Excel). Excel használata esetén az Excel-táblát el kell menteni, és a jegyzőkönyvben fel kell tüntetni a nevét, hogy a kiértékeléskor a zsűri belenézhessen.

Segítség: A relativisztikus Doppler-effektus képlete:

$$f' = f \frac{\sqrt{1 + \frac{v}{c}}}{\sqrt{1 - \frac{v}{c}}}.$$

(A program használatát külön részletes útmutató magyarázta el.)

Kísérleti feladat

Természetes eredetű radioaktív elemek vizsgálata

A mérésekhez a következő eszközök állnak rendelkezésre: 1 db porszívó, 1 db GM-csöves sugárzásmérő detektorral, 1 db Bunsen-állvány fogókkal, 1 db műanyag írásvetítő fólia, 2 db léggömb, 1 csomag gézlap, 1 tekercs szigetelő szalag.

Feladatok: Gyűjts a méréseidhez radont és radon-leányelemeket! Írd le a jegyzőkönyvbe a gyűjtési módszered fontosabb elemeit!

Figyeld meg és jegyzőkönyvben dokumentáld a levegőben lévő, természetes eredetű radioaktív nemesgáz, a radon összegyűjthető leányelemeinek bomlását! Várhatóan mennyi idő alatt fog a mérhető aktivitás a kezdeti aktivitás század részére csökkenni?

Mérésekhez a következőket tanácsoljuk: A radon-leányok összegyűjtése hosszú időt vesz igénybe, ezért ennek elindításával kezdd a kísérleti munkát!

(A versenyzők számára még egy részletes útmutató is rendelkezésre állt a GM-csöves sugárzásmérő készülék, valamint a hozzákapcsolt számítógépes mérőprogram használatára vonatkozóan).

Értékelés

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, ez összesen 100 pont lehetett. A döntő I. kategóriás 10. feladatának kivételével valamennyi elméleti feladatra született tökéletes megoldás. A döntőben a legkiválóbb szenior versenyző 77 pontot ért el (tavaly 85 pont volt a legjobb eredmény). A legjobb junior versenyző 66 pontot ért el (tavaly 56 pont volt a legjobb). Legnehezebbnek a szenior versenyzők 10. feladata bizonyult – ahogyan arra a Versenybizottság számított is. A Versenybizottságnak meglepetést okozott az, hogy a kísérleti feladatra kevés helyes megoldás született, hiszen ez a feladat már szerepelt egyszer a Szilárd Leó versenyek történetében (1998-ban). Ennek oka valószínűleg kettős: egyrészt a felkészítő tanárok csapata lassan kicserélődik, másrészt pedig az ismeretek idővel „elkopnak”. Emiatt időnként nem árt megismételni egy-egy feladatot.

2006. évi díjazottak

„Szenior” kategória

I. díj: SZÉCHENYI GÁBOR (77 pont) Verseghy Ferenc Gimnázium (Szolnok), tanára *Pécsi István,*

II. díj: MOLNÁR KRISTÓF (75 pont), Zrínyi Miklós Gimnázium (Zalaegerszeg), tanára *Pálovics Róbert,*

III. díj: NAGY PÉTER (74 pont), Verseghy Ferenc Gimnázium (Szolnok), tanára Pécsi István.

„Junior” kategória

I. helyezett: PÓSFAI PÉTER (66 pont), Bolyai János Gimnázium (Kecskemét), tanára *Svihrán Éva,*

II. helyezett: ALMÁSI GÁBOR (61 pont), Leöwey Klára Gimnázium (Pécs), tanára *Simon Péter,*

III. helyezett: *Szolnoki Lénárd* (58 pont) Dóczy Gimnázium (Debrecen), tanára *Tőfalusi Péter.*

A döntő résztvevői közt három leány volt: *Lovas Lia Izabella* (Junior 4.) Pécsről, *Szíjártó Rita* (Szenior 9.) Szekszárdról és *Kovács Noémi* (Szenior 18.) Budapestről.

A záróülésen a tanulói díjak és oklevelek átadása után került sor az idei *Delfin-díj* átadására, amelyet minden évben a tanárok pontversenyében a legjobb eredményt elért tanárnak ítél oda a versenybizottság. Ebben az évben a *Delfin-díj*at NAGY TIBOR, a Bethlen Gábor Református Gimnázium (Hódmezővásárhely) tanára kapta. A *Delfin-díj* Alapszabályában a következő bekezdés is olvasható: „Az Alapítvány Kuratóriuma saját hatáskörben a nukleáris fizikai ismeretek oktatásában, népszerűsítésében kiemelkedő teljesítményt nyújtó további egy tanárt évente egy alkalommal részesíthet *Tanári Delfin-díj*ban.” Sükösd Csaba javaslatára a Kuratórium az idén külön *Delfin-díj*at is kiadott, amelyet CSAJÁGI SÁNDOR tanár úr (ESZI) kapott, az Országos Szilárd Leó tanulmányi versenyek döntőjének immár kilencedik éve történő tökéletes szervezéséért, és a verseny lebonyolításában kifejtett áldozatos munkájáért. A *Marx György Vándordíj*at – melyet a pontverseny legkiválóbb eredményt elérő iskolájának ítél a Versenybizottság – idén a *Verseghy Ferenc Gimnázium* (Szolnok) nyerte el.

Az ünnepi beszédek után Sükösd Csaba köszönetét fejezte ki a versenyt támogató Paksi Atomerőműnek és a paksi Energetikai Szakközépiskolának. A versenyt 2007-ban is megrendezzük változatlan tematikával. Jövőre még inkább *bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák tanulóit* is arra, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyre.

NÉGYSZÖGLETES KERÉK

139. PROBLÉMA

Egy fiatal eszkimó fókavadász az új szigonyát próbálgatja. A kisméretű, de nehéz szigonyhoz a földön fekvő vékony, hosszú, gondosan (gubancolódásmentesen) összetekert lánc csatlakozik. Amikor az eszkimó függőlegesen felfelé elhajítja szigonyát, az olyan magasra emelkedik, hogy a róla lelógó lánc tömege éppen megegyezik a szigony tömegével. Vajon hányszor magasabbra repülne az ugyanekkora kezdősebességgel függőlegesen feldobott szigony, ha nem lenne hozzákötve a lánc?

(*Varga István,* Békéscsaba)

A 139. PROBLÉMA MEGOLDÁSA

Jelöljük a szigony tömegét M-mel, a lánc hosszegységre jutó tömegét ϱ-val, a lánc pillanatnyi hosszát x-szel, ennek az idő szerinti deriváltját, vagyis a szigony pillanatnyi sebességét pedig v-vel! A lánc egyes darabkái úgy jönnek mozgásba, hogy a már mozgó lánc újabb és újabb szemeket ránt magával. Ez rugalmatlan ütközések sorozatán keresztül valósul meg, melyeknél a mechanikai energia *nem* marad állandó! Alkalmazható viszont az impulzusváltozás Newton-féle törvénye:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left[(M+\varrho x)\,v\right] = -(M+\varrho x)\,g.$$

A bal oldalt átalakíthatjuk az alábbi módon:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left[(M+\varrho x)\,v\right] = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\,\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left[(M+\varrho x)\,v\right] = v\,\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left[(M+\varrho x)\,v\right],$$

amit $(M+\varrho x)$-vel megszorozva teljes deriváltat kapunk:

$$(M+\varrho x)\,v\,\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left[(M+\varrho x)\,v\right] = \frac{1}{2}\,\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left[(M+\varrho x)\,v\right]^2.$$

Integráljuk az

$$\frac{1}{2}\,\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left[(M+\varrho x)\,v\right]^2 = -(M+\varrho x)^2\,g$$

mozgásegyenletet x szerint a szigony v_0 kezdősebességű eldobásától az emelkedés teljes H magasságáig, ahol $v=0$:

$$\frac{1}{2}\int_0^H \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\left[(M+\varrho x)\,v\right]^2\mathrm{d}x = -\frac{M^2 v_0^2}{2} = -g\int_0^H \left(M^2 + 2M\varrho x + \varrho^2 x^2\right)\mathrm{d}x = -g\left(M^2 H + M\varrho H^2 + \varrho^2\,\frac{H^3}{3}\right).$$