

XVI. ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY

Beszámoló, III. rész: a döntő feladatai és megoldásuk

Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

Számítógépes szimulációs feladat

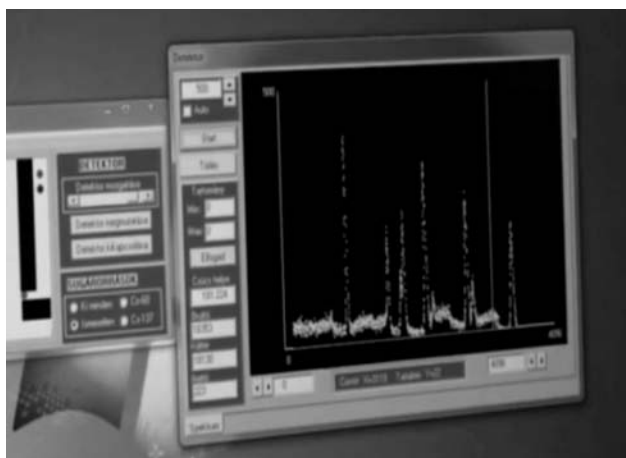
A versenyzők a következő feladatlapot kapták. A feladat során egy ismeretlen minta összetételét fogjuk meghatározni a minta – neutron-aktivációt követő – gamma-spektrumának analízise alapján. A kristályos minta anyagát atomreaktorban előzetesen már besugározták, amelynek következtében a minta egyes atomjai befogták a neutronokat, és ezáltal radioaktívvá váltak. A radioaktív atommagok leányelemei az elemre jellemző energiájú gamma-fotonokat bocsátanak ki. Egy (szcintillációs) detektorral a gamma-sugarak energiaspektrumát fel tudjuk venni. Ha meghatározzuk a kibocsátott gamma-sugarak energiáját, a gamma-sugarak táblázatából meghatározhatjuk, hogy milyen atommagok bocsátották ki a sugarakat. Ez a minőségi (kvalitatív) analízis. A feladat során csak ilyen analízist kell elvégezzünk.

Megjegyzés: a minta egyes komponenseinek mennyiségét is meg lehet határozni a kibocsátott gamma-fotonok intenzitásának mérésével. Ehhez azonban a detektor (és a detektálási geometria) teljes határfokát is ismerni kell a gamma-energia függvényében. A mostani feladat során mennyiségi (kvantitatív) analízist nem kell végezni, ezért nincs szükség a határfokfüggvény ismeretére sem.

Feladatok

1. *A detektor energiakalibrálása.* Ehhez vegyük fel külön-külön a két rendelkezésre álló standard sugárforrás (^{137}Cs és ^{60}Co) spektrumát! Ezek gamma-kvantumainak pontos energiáját keressük ki a gammaenergia-táblázatból (a táblázat pdf-formátumban a Sűgő menüpontból érhető el)! A „kalibrálás” azt jelenti, hogy meghatározzuk mely „csatornába” teszi a detektor a beérkező, különböző energiájú gamma-foto-

A szimulált bomlási spektrum



nok jeleit. Feltételezhetjük, hogy detektorunk válasza lineáris, azaz az E gamma-energia és a C csatornaszám között a következő összefüggés áll fenn: $E = aC + b$. Az energiakalibrálás lényegében az a és b konstansok meghatározását jelenti.

2. *Vegyük fel az ismeretlen minta spektrumát* egy új spektrumba, és az előző pontban elvégzett energiakalibráció segítségével határozzuk meg a detektort ért gamma-kvantumok energiáját!

3. A gamma-energiák ismeretében a táblázat felhasználásával *határozzuk meg, hogy milyen elemekből állhat* a besugárzott kristályos minta!

4. Az elvégzett mérésekből *készítsünk jegyzőkönyvet!* Ebben minden fontos adatnak és eljárásnak szerepelni kell. A jegyzőkönyvnek olyanoknak kell lenni, hogy annak alapján bárki reprodukálhassa (és ellenőrizhesse) a mérést. Szerepeljenek benne a „nyers” mérési adatok, az adatok feldolgozási módszere, a következtetések és az indoklások. Célszerű néhány képet is kimenteni a zsűri számára (a kép kimentésének módját lásd a Program használati útmutatójának végén). A jegyzőkönyvben jelezzük, hogy miről készültek képek! *A zsűri a jegyzőkönyvek alapján pontozza a versenyzők munkáját!*

A γ -energia táblázat használata

a) A táblázat első oszlopa $E(\text{keV})$ a kibocsátott gamma-foton energiáját mutatja;

b) a második oszlop (*Intensity*) azt mutatja meg, hogy 100 bomlásból átlagosan hány gamma-foton bocsátódik ki ilyen energiával (lényegében a bomlásonkénti százalékos arány);

c) a harmadik oszlop (*Nuclide*) az anyamagot mutatja, utána áll a bomlási mód és a felezési idő. Például:

$E(\text{keV})$	Intensity	Nuclide		
γ -energia	%	anyamag	bomlási mód	felezési idő
249,794(15)	90	Xe-135	β^-	9,14 h

A példa azt jelenti, hogy a ^{135}Xe atommag 9,14 óra felezési idővel, negatív béta-bomlással (β^-) bomlik (^{135}Cs -ra, de ez nincs jelölve), és a bomlást követően az esetek 90%-ban kibocsátódik egy 249,794 keV energiájú γ -foton, amelynek energiáját $\pm 0,00015$ keV pontosan ismerjük (az energia után zárójelben lévő szám).

Segítség: a spektrum kiértékelésénél, a csúcsok azonosításánál emlékezzünk arra, hogy még egy monoenergiás γ -fotonokat kibocsátó forrás spektruma sem mindig csak egyetlen csúcsot tartalmaz (kiszökési csúcsok)!

A program kezeléséhez a tanulók még egy részletes útmutatót is kaptak.

Kísérleti feladat

Mágneses indukció nagyságának becslése β -sugárzás eltérülésének segítségével

A radioaktivitás felfedezése (1896) után hamarosan megállapították, hogy a sugárzás általában három komponensre bontható mágneses vagy elektromos térben: α -, β -, és γ -sugárzásra. A béta-sugárzás energiaspektruma folytonos, nincs jellemző energia, de megadható egy átlagos energia.

A mérés elve

A vékony csőben lévő radioaktív izotópból béta-sugárzás lép ki a nyitott oldalon. A nagyjából egy irányba haladó (kollimált) β -nyalábot Geiger–Müller-számlálócsővel detektáljuk. A mozgó elektronokat mágneses mezővel eltérítjük, és az előre megadott átlagos energia ismeretében az eltérés szögének mérésével adunk becslést az eltérítő mágneses mező indukciójára.

A méréshez rendelkezésére áll

- egy sárgaréz kollimátorban elhelyezett radioaktív sugárforrás,
- egy számítógéphez csatlakoztatott Geiger–Müller-számláló,
- egy tartóba erősített mágnespár,
- szögmérő.

A mágnes átmérőjét és a β -sugárzás átlagos energiáját a kísérletvezető tanár adja meg.

A feladat

a) Először mérjük meg a sugárzási háttér intenzitását! Távolítsuk el a sugárforrást, és mérjük a beütésszámot hosszú ideig! Mérjük és jegyezzük fel az eltelteket is!

b) Mérjük meg a kollimátorból kijövő β -sugárzás intenzitását mágnes nélkül, több különböző szög mellett annak érdekében, hogy a mért szögeloszlást majd összehasonlíthassuk a mágnes hatására módosult szögeloszlással! Az értékelésnél vegyük figyelembe a mért háttérrel is!

c) Vegyük fel a szögeloszlást a mágnes jelenlétében is! Határozzuk meg az átlagos szögeltérést!

A mérési összeállítás, balra a GM-cső



d) A c) pontban meghatározott szög és az energia segítségével adjunk becslést az eltérítő mágneses mező indukciójára! Az indukció meghatározásánál figyelembe kell venni annak lehetőségét, hogy az elektron sebessége a fénysebesség nagyságrendjébe eshet.

e) Határozzuk meg az eltérítő mágneses mező irányát, a mágnesek polaritását!

f) Elemezzük az eredményt! Milyen hibák adódhatnak a mérés során, és ezek mekkorák lehetnek? Miért csak nagyságrendi becslést ad ez a mérés?

Tanácsok a méréshez

• Időt takaríthatunk meg, ha a feladat értelmezése közben már elkezdünk háttérrel mérni.

• Lehet, hogy egy-egy pont méréséhez hosszabb mérési időre van szükség. Ezt a háttér és a beütések számának ismeretében lehet meghatározni. A mérésre rendelkezésre álló idő rövid, ezért a kollimátort tekintésük szimmetrikusnak (elegendő csak az egyik oldalon mérni).

Segítség az energia kiszámításához

1) Az eltérés szögéből először azon körpálya R sugarát határozzuk meg, amelyen a β -részecskék haladnak! A mellékelt rajz alapján:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{d/2}{R}.$$

2) A mágneses térben haladó részecske p lendületét a B mágneses indukció és az R pályasugár ismeretében meghatározhatjuk abból kiindulva, hogy a körpályán tartáshoz szükséges erőt a mágneses Lorentz-erő ($F = evB$) adja:

$$a_{cp} = \frac{F_l}{m}, \text{ azaz } \frac{v^2}{R} = \frac{e v B}{m} \text{ és ebből } p = e B R.$$

3) Az energiából a lendületet a

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + (m_0 c^2)^2} - m_0 c^2$$

relativisztikus összefüggés segítségével határozzuk meg. Itt m_0 az elektron nyugalmi tömege ($m_0 c^2 = 0,511 \text{ MeV} = 0,8176 \cdot 10^{-13} \text{ J}$). Ebből visszaszámolva megállapíthatjuk a mágneses indukció nagyságát.

Adatok: átlagos energia, fénysebesség, elektron tömege, elektron töltése.

Fontos! Beadandó a „Mérési jegyzőkönyv”, amely tartalmazza a mérést végző azonosítóját, a mérések minden fontos paraméterét, a mért nyers adatokat, az eljárást (lépésenként), amellyel a végeredményhez eljutottunk, a végeredmény(ek)e)t, a végeredmény(ek)

hibáját és a hiba kiszámítási vagy becslési módját, az eredmények diszkutálását, valamint minden olyan információt, amely a mérés reprodukálásához szükséges. A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy annak alapján bárki a mérést megismételhesse, és (a statisztikus hibákon belül) hasonló eredményt kaphasson.

A verseny értékelése

A verseny döntőjének délelőttjén a tíz elméleti feladat megoldására három óra, délután a számítógépes feladatra másfél óra, a kísérleti feladatra szintén másfél óra állt a versenyzők rendelkezésére. Egy-egy feladat teljes megoldása 5 pontot ért, tehát az írásbeli fordulón összesen 50 pontot lehetett szerezni, 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 89 pontot ért el. A legjobb junior versenyző 57 pontot szerzett. Az elméleti feladatok közül legnehezebbnek az I. kategóriás versenyzők 4. feladata bizonyult, erre a feladatra 3 pont volt a legjobb eredmény.

Az összesített pontszámok alapján 2013-ban a következő diákok érték el a legjobb helyezéseket:

I. kategória (11–12. osztályosok)

I. helyezett (89 pont): *Szabó Attila*, Leőwey Klára Gimnázium, Pécs, tanára *Simon Péter*,

II. helyezett (77 pont): *Jenei Márk*, Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorlóiskola, Budapest, tanárai *Dvorák Cecília*, *Csefkő Zoltán*,

III. helyezett (75 pont): *Jubász Péter*, Piarista Gimnázium, Budapest, tanárai *Horváth Gábor*, *Urbán János*.

„Junior” kategória

I. helyezett (57 pont): *Somogyi Péter*, ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Gimnázium, Budapest, tanára *Hornyek Gyula*,

II. helyezett (56 pont): *Büki Máté*, Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Pálovics Róbert*,

III. helyezett (53 pont): *Tamás Gábor*, Batthyány Kázmér Gimnázium, Szigetszentmiklós, tanára *Bülgözdí László*.

A díjakat és az okleveleket az I. kategória versenyzőinek *Mittler István*, az MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt. kommunikációs vezetője, az ESZI Intézményfenntartó és Működtető Alapítvány kuratóriumának elnöke, a II. kategória versenyzőinek *Kiss István*, az MVM Paks Atomerőmű Zrt. oktatási fősztályvezetője adta át.

Különdíjként az Eötvös Loránd Fizikai Társulat egy-egy éves *Fizikai Szemle* előfizetést ajánlott fel a két kategória első öt helyezettjének, amelyet *Kürti Jenő*, az ELFT főtítkára adott át.

Az MNT Nőtágozata (WIN) a legjobb leányversenyzőt, *Sisák Anna Mária*t – különdíjként – meghívta egynapos látogatásra a Paksi Atomerőműbe. A látogatás célja az atomerőműben dolgozó, mérnöki beosztásban lévő nők munkájának megismerése.

A záróülésem a tanulói díjak, különdíjak és oklevelek átadása után került sor az idei Szilárd Leó Tanári Delfin-díj átadására, amelyet minden évben a tanárok pontversenyében legjobb eredményt elért tanárnak ítél oda a versenybizottság. A Delfin-díjat *Csajági Sándor* adta át *Kovács Lászlónak*, a szegedi SZTE Ságvári Endre Gimnázium tanárának. Szilárd Leó Tanári Delfin-díjat kapott még *Szűcs József*, a versenybizottság tagja is. Gratulálunk!

A Marx György Vándordíjat, amelyet minden évben a pontversenyben legkiválóbb eredményt elért iskolának ítél oda a Versenybizottság, idén a *Szent István Gimnázium* tanára, *Gyimesi Éva* és a gimnázium csapata vehette át.

A Szilárd Leó Tanári Delfin-díjon kívül több kisebb elismeréssel kívánjuk a felkészítő tanárok munkáját jutalmazni. A Magyar Nukleáris Társaság a legsikeresebb felkészítő tanárt külön könyvjutalomban részesítette. A 2013. év legsikeresebb felkészítő tanára Gyimesi Éva (Szent István Gimnázium, Budapest).

A 2013. július 1–6. között megrendezendő VII. Nukleáris Szaktáborra jogosító kedvezményeket *Mester András*, a tábor vezetője adta át mindkét kategória 1–3. helyezettjének.

Az 1. helyezést elért versenyzők 100%-os a 2. helyezettek 50%-os a 3. helyezettek 25%-os kedvezményben részesülnek.

Köszönjük a lap hasábjain a Szilárd Leó Tehetség-gondozó Alapítvány támogatóinak, hogy anyagi támogatásukkal lehetővé tették az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2013. évi megrendezését. Versenyünk főszponzora az MVM Paks Atomerőmű Zrt. További támogatóink: Országos Villamos-távvezeték Zrt., Magyar Nukleáris Társaság és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Az Emberi Erőforrás Minisztérium a Nemzeti Tehetség Program pályázati kiírásán keresztül anyagi támogatásban részesítette a Szilárd Leó Tehetseg-gondozó Alapítványt.

Továbbá köszönet a Simon Péter – Szabó Attila: *Modern fizika* című szakköri jegyzet 2. bővített és javított változatának összeállításáért és kiadásáért, amelyet minden résztvevő megkapott.

Köszönet a nagyszerű tanári program megszervezésért, amelynek során két kiváló előadást hallgathattunk meg. *Nős Bálint* (Stratégiai és mérnöki irodavezető RHK Kft.) a radioaktív hulladékok biztonságos kezeléséről tartott előadást, míg *Lenkei István* *Az atomenergia szerepe a hazai villamos energia ellátásban* címmel tartott kiváló prezentációt.

A versenyt 2014-ben is megrendezzük változatlan tematikával. Ismételten bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák tanulóit is arra, hogy vegyenek részt az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyen. Nevezni a verseny <http://www.szilardverseny.hu> honlapjáról kiindulva lehet.