X. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, II. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

A versenykiírás értelmében az I., illetve II. kategóriában versenyző diákok két-két feladata különböző volt. Ezeket, valamint a két kategóriában azonos számítógépes és mérési feladatot mutatjuk be. Részletes beszámolónkat a verseny eredményének ismertetésével zárjuk.

Az I. kategória (11–12. osztályosok) utolsó két feladata

9. feladat (kitűzte: *Sükösd Csaba*)

Az ITER nevű, nemzetközi összefogásban Cadarache-ban (Franciaország) épülő, tokamak típusú kísérleti fúziós berendezésben a szupravezető tekercsek 11 T indukciójú mágneses mezőt hoznak létre. A több millió fokos deutérium-trícium plazmában D + T → ^{4}He + n atommag-reakció következik be, amelyben 17,6 MeV energia szabadul fel. A plazma hőmérsékletének fenntartásához az is kell, hogy a keletkező ^{4}He részecskék (α-részecskék) legnagyobb része a plazmában adja le a mozgási energiáját (a szakemberek ezt α-fűtésnek hívják).

a) Mekkora a keletkezett α-részecskék mozgási energiája?

b) Az α-részecskék a mágneses erővonalak mentén spirális pályán mozognak. Legfeljebb mekkora sugara van ennek a spirálisnak, ha a mágneses indukció 11 T?

c) Mekkora átmérőjűnek kell lenni a plazmának, hogy a keletkezett α-részecskék 90%-a a mozgása során biztosan ne lépjen ki a plazmából, azaz a teljes energiáját a plazmában adja le?

Adatok, megjegyzés: Az α-részecske $6{,}644656 \cdot 10^{-27}$ kg tömegű. Tegyük fel, hogy az R sugarú plazmában egyenletes a részecskesűrűség, és a magreakciók is egyenletes sűrűséggel következnek be. (5 pont)

Megoldás:

A feladat megoldása három részre bontható.

a) Először azt határozzuk meg, hogy mekkora energiával keletkeznek az α-részek az említett atommag-reakcióban. Annak ellenére, hogy a reakció több millió fokos hőmérsékleten zajlik, a D és a T kezdeti mozgási energiáját elhanyagolhatjuk, hiszen az a reakcióban felszabaduló energiának csak mintegy ezreléke. Ennek alapján úgy vehetjük, hogy a D és a T „áll” a reakció előtt, azaz a teljes lendület nulla. A lendület úgy marad meg, ha a keletkező neutron és az α-részecske lendületének abszolút értéke (p) megegyezik, és irányuk ellentétes. Az energiamérleg-egyenlet tehát:

$$\frac{p^2}{2\,m_n} + \frac{p^2}{2\,m_\alpha} = 17{,}6\ \text{MeV}.$$

Mivel $m_n \approx m_\alpha/4$, így kapjuk, hogy $E_\alpha = 3{,}52$ MeV.

b) Az α-részecskék adott sebessége (energiája) mellett a spirális pálya sugara a sebességvektornak a mágneses térerősség-vektorral bezárt szögétől függ. Ha a sebességvektor párhuzamos a térerősség-vektorral, akkor a részecske egyenes vonalban halad („0 sugarú” spirális). A maximális pályasugarat akkor kapjuk, amikor a sebességvektor éppen merőleges a mágneses térerősség-vektorra. Ekkor is elfajult lesz a spirális: körmozgást kapunk. A körpálya sugarát a centripetális gyorsulásból határozhatjuk meg:

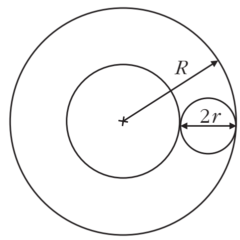
$$\frac{v^2}{r} = \frac{q\,v\,B}{m}.$$

Ebből kapjuk

$$r = \frac{m\,v}{q\,B} = \frac{\sqrt{2\,m\,E_\alpha}}{2\,e\,B}.$$

Behelyettesítve az adatokat az α-részecskék maximális pályasugarára 2,46 cm adódik.

c) Az előző pont alapján azok az α-részecskék, amelyek a plazma szélétől $2\,r = 2 \cdot 2{,}46 = 4{,}92$ cm-rel beljebb keletkeznek a plazmában, biztosan nem jutnak ki a plazmából útjuk során. Annak a feltétele tehát, hogy ezek aránya 90% legyen:



$$\frac{\pi\,(R - 2\,r)^2}{\pi\,R^2} = 0{,}9.$$

Ebből R kifejezhető:

$$R = r\,\frac{2}{1 - \sqrt{0{,}9}}.$$

Behelyettesítve az $r = 2{,}46$ cm értéket, kapjuk $R = 95{,}88$ cm. Azaz a „plazmafonal” átmérőjének majdnem 2 méternek kell lennie! Érthető, hogy miért van szükség óriási berendezésre az önfenntartó reakció megvalósításához.

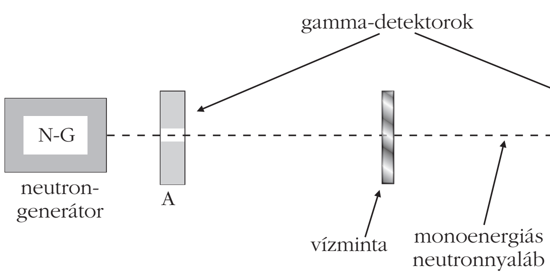
Megjegyzések: Ténylegesen ennél kisebb átmérőre van szükség. A megoldás során két közelítést is tettünk. Az egyik az, hogy a plazma egyenletes sűrűségű. A valóságban a plazma közepe sűrűbb, ezért a széle körüli részeken viszonylagosan kevesebb részecske tartózkodik, így a kiszökés is kisebb valószínűségű. A másik ok, ami miatt valamivel kisebb plazmasugár is elegendő az, hogy a szélén (az $R-2r$ körgyűrűben) keletkezett α-részek egy része is benne marad a plazmában, attól függően, hogy éppen milyen irányú sebességvektorral keletkeztek. Ezeket pedig a megoldásban nem vettük figyelembe a 90% meghatározásakor.

10. feladat (kitűzte: *Szűcs József*)

Neutronok ^{1}H magokban való elnyelődésének vizsgálatára neutrongenerátorból keskeny, monoenergiás neutronnyalábot nagyon vékony vízmintán vezetnek keresztül (lásd *ábra*). A vízminta előtt és mögött egy-egy gamma-detektorral (A és B) regisztrálják a ^{1}H(n,γ)^{2}H magreakció során kibocsátott gamma-fotonokat. Az egyik detektor E_1 = 3,32 MeV energiájú, a másik detektor pedig E_2 = 3,57 MeV energiájú gamma-fotonokat detektál. A detektált fotonok irányát vehetjük a neutronnyalábbal párhuzamosnak!

a) Melyik detektor (A vagy B) érzékeli az E_1 energiájú gamma-fotonokat, és miért?

b) A mért adatokból számítsuk ki a részecskenyaláb neutronjainak E_n energiáját és a keletkező deuteronok E_k kötési energiáját!



Adatok: A számításkor a neutronok tömegét vegyük $m_n = 1{,}67\cdot10^{-27}$ kg kerekített értéknek, a deuteron magokét $m_D = 3{,}34\cdot10^{-27}$ kg-nak. 1 MeV = $1{,}6\cdot10^{-13}$ J, $c = 3\cdot10^8$ m/s értékekkel számoljunk. (5 pont)

Megoldás:

a) A bejövő neutronok lendületvektorának iránya (és ezzel a reakciópartnerek teljes lendületének iránya is) a „B” detektor felé mutat. Ezért a „B” detektorban detektált foton lesz a nagyobb energiájú, hiszen ebben az esetben a gamma-foton a reakció teljes lendületéből nagyobb részt hordoz, mint amikor a foton az „A” detektor felé bocsátódik ki. Nagyobb lendület pedig nagyobb energiát is jelent $E = pc$ alapján.

b) Az energiák kvantitatív meghatározásához a reakciók lendület- és energiamegmaradási egyenleteit kell felírni mindkét esetben.

Előre szóródó foton esetében a megmaradási tételek egyenletei:

$$p_n = p_D + \frac{E_f}{c}, \tag{1}$$

$$\frac{p_n^2}{2\,m_n} + E_k = \frac{p_D^2}{2\,m_D} + E_f. \tag{2}$$

ahol p_n és p_D a neutron és a deuteron, az E_f/c pedig a gamma-foton lendülete, E_k a deuteron kötési energiája, E_f az előre haladó foton energiája.

Megjegyzés: A nem nulla nyugalmi tömegű részecskék mozgási energiáját a klasszikus képlettel írhatjuk fel, mivel azok nagyságrendje legfeljebb néhány MeV, amely a körülbelül 1000–2000 MeV nyugalmi tömegnek megfelelő energiák mintegy 0,1%-a, így a tömegnövekedés elhanyagolható.

Visszafelé szóródó foton esetében a megmaradási egyenletek:

$$p_n = p_D' - \frac{E_f'}{c}, \tag{1'}$$

$$\frac{p_n^2}{2\,m_n} + E_k = \frac{p_D'^2}{2\,m_D} + E_f', \tag{2'}$$

ahol p_D' az előre lökődő deuteron, az (E_f'/c) pedig a hátra szóródó foton lendülete, míg E_f' a foton energiája.

Az (1′) és az (1) egyenletek kivonásából kapjuk a (3), a (2′) és (2) egyenletek különbségéből pedig a (4) egyenletet:

$$p_D' - p_D = \frac{E_f' + E_f}{c}, \tag{3}$$

$$p_D'^2 - p_D^2 = 2\,m_D\left(E_f' - E_f\right). \tag{4}$$

A (4) és (3) hányadosából egyszerűsítés és rendezés után kapjuk az (5) egyenlet:

$$p_D' + p_D = \frac{E_f - E_f'}{E_f + E_f'}\,2\,m_D\,c. \tag{5}$$

A (3) és az (5) egyenlet összeadása, illetve kivonásából megkapjuk mindkét esetre a deuteronok lendületét:

$$p_D' = \frac{E_f - E_f'}{E_f + E_f'}\,m_D\,c + \frac{E_f + E_f'}{2\,c}, \tag{6}$$

$$p_D = \frac{E_f - E_f'}{E_f + E_f'}\,m_D\,c - \frac{E_f + E_f'}{2\,c}. \tag{7}$$

Az (1) egyenletből pedig a neutronok kezdeti lendülete adódik:

$$p_n = \frac{E_f - E_f'}{E_f + E_f'}\,m_D\,c + \frac{E_f - E_f'}{2\,c}. \tag{8}$$

A (6), (7), (8) egyenletekbe az adatok behelyettesítésével nyerjük az alábbi lendületértékeket, melyekből a neutronok és a deuteronok mozgási energiája kiszámítható:

$$p_D' = 3{,}82\cdot10^{-20}\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}},$$

$$E_D' = \frac{p_D'^2}{2\,m_D} = 2{,}18\cdot10^{-13}\ \mathrm{J} = 1{,}27\ \mathrm{MeV},$$

$$p_D = 3{,}46 \cdot 10^{-20}\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}},$$

$$E_D = \frac{p_D^2}{2\,m_D} = 1{,}79 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 1{,}12\ \mathrm{MeV},$$

$$p_n = 3{,}65 \cdot 10^{-20}\ \mathrm{kg}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}},$$

$$E_n = \frac{p_n^2}{2\,m_n} = 3{,}99 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 2{,}49\ \mathrm{MeV}.$$

A (2) vagy (2′) energiamérleg-egyenletekből pedig a deuteron kötési energiájára kapjuk az $E_k = 3{,}52 \cdot 10^{-13}$ J = 2,2 MeV értéket.

Megjegyzés: Ilyen nagy energiájú neutronok protonokon történő befogódásának roppant kicsiny a valószínűsége (a hatáskeresztmetszet mikrobarnokban mérhető), lassú neutronok befogódásának valószínűsége több nagyságrenddel nagyobb. Ezért nagyon vékony céltárgyat kell készíteni, hogy a gyors neutronok ne fékeződhessenek le, és ne zavarják meg a mérést. Vékony céltárgy esetén pedig a reakciósebesség (időegység alatt bekövetkező reakciók száma) lesz roppant kicsiny. Tehát e folyamat tényleges megmérése igen gondosan előkészített, hosszú ideig tartó kísérlettel történhetne csak meg.

II. kategória (juniorok) utolsó két feladata

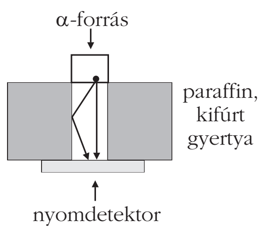
9. feladat (kitűzte: *Ujvári Sándor*)

Becsüld meg, mennyivel csökken egy atomerőmű üzemanyag-kazettájának tömege, ha a kiégés során a benne lévő ^{235}U magok 10%-a szenved hasadást! Az üzemanyag-kazettában lévő UO_2 tömege kezdetben 220 kg, és ebben a ^{235}U dúsítási aránya 3%. (Tegyük fel, hogy körülbelül 200 MeV szabadul fel minden hasadáskor, és csak az ^{235}U hasadásával számolunk.) (5 pont)

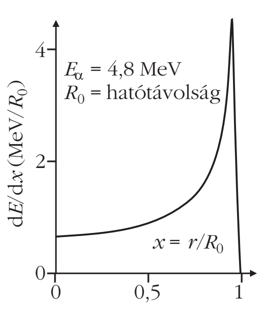
Megoldás: A viszonylag könnyű számítást elvégezve kapjuk: $\Delta m = 0{,}526 \cdot 10^{-3}$ kg, azaz körülbelül 0,53 g.

10. feladat (kitűzte *Kaszás Dezső*)

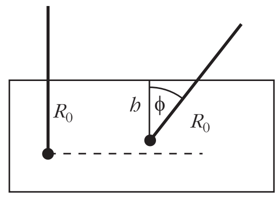
Szilárdtest-nyomdetektorral az *ábra* szerinti elrendezésben kényelmesen vizsgálható α-részecskék szóródása atommagokon. A szóródott részecskéket arról ismerhetjük meg, hogy az általuk keltett nyom a maratás után más, mint a detektort irányváltozás nélkül elérő részecskéké.



Vajon hogyan tér el a szóródott részecskék nyoma a nem szóródott részecskék nyomától? Indokold is meg a választ! (5 pont)



Megoldás: Az α-részecskék útjuk végén roncsolják leginkább az anyagot (az *ábrán* példaként egy 4,8 MeV energiájú α-részecske energialeadásának eloszlását mutatjuk be). Jelöljük R_0-val az alfa-részecskék hatótávolságát az anyagban. A merőlegesen beesett részecskék természetesen ilyen mélységben hagynak nyomot (*ábra*). A ϕ szög alatt beesett részecskék azonban csak $h = R_0 \cdot \cos\phi$ mélységig jutnak el. Mivel a maratás többé-kevésbé egyenletes rétegeket távolít el a nyomdetektor felszínéről, először azon részecskék nyomait látjuk majd, amelyek ferdén estek be a felületre. Ezek lesznek a szóródott részecskék nyomai. A nem (vagy csak kis szögben) szóródott részecskék nyomait hosszabb idejű maratás után tehetjük láthatóvá, miután vastagabb anyagréteget lemarattunk a nyomdetektor felszínéről. (A zsűri itt mond köszönetet *Tóth Eszter* tanárnőnek, aki a megoldások ismertetése során fontos kiegészítő megjegyzést tett.)



Számítógépes feladat

A versenyzők a következő szövegű feladatkitűzést kapták: „Ismert, hogy egy pontszerű sugárforrástól R távolságra lévő detektor által érzékelt gamma-fotonok száma a detektor távolságának négyzetével fordítottan arányos, azaz $N \sim 1/R^2$. Egy kiterjedt detektornál azonban kérdéses az, hogy a detektor mely részétől kell mérni az R-et? A detektor geometriai homlokfelületétől (a forráshoz legközelebb lévő felülettől)? A detektor közepétől? Vagy valahonnan máshonnan?

A mérés célja:

A szimuláció segítségével egy kiterjedt (6 cm átmérőjű és 6 cm magas), henger alakú szcintillációs detektor „effektív homlokfelületének” helyzetét kell meghatározni különböző energiájú gamma-fotonokra vonatkozólag. A detektor egy radioaktív forrás által kibocsátott gamma-sugarakat észleli, és azok spektrumát fel tudjuk venni.

A pontszerű radioaktív forrás „kevert” radioaktív izotópokat tartalmaz, és a következő energiájú gammafotonokat bocsátja ki: 662 keV, 2560 keV és 3750 keV.

A detektort a sugárforrástól 3 cm és 40 cm közötti tartományban tudjuk mozgatni. A programról leolvashatjuk a detektor geometriai homlokfelületének távolságát a sugárforrástól.

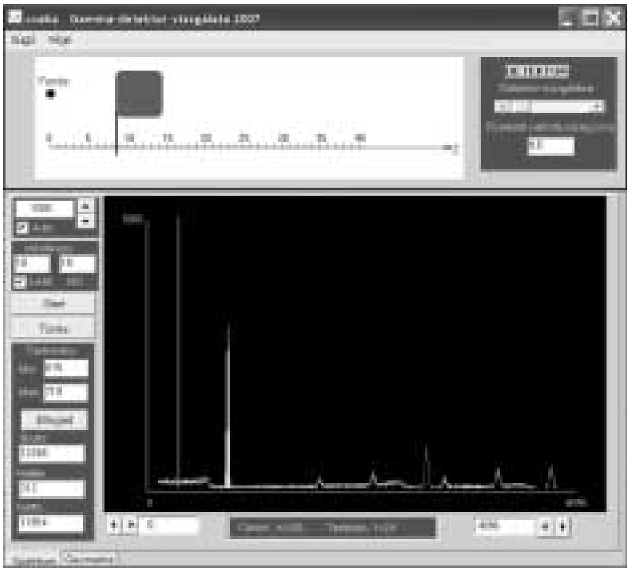
Legyen az effektív homlokfelület d cm-rel mélyebben a detektor belsejében, a geometriai homlokfelület mögött. Ez azt jelenti, hogy a detektor által érzékelt N beütésszám

$$N = \frac{\mathrm{konst}}{(r + d)^2}, \qquad (1)$$

ahol R a detektor geometriai homlokfelületének távolsága a sugárforrástól. Több, különböző R távolságban való méréssel a d távolság meghatározható.

Segítség: vegyük az (1) egyenlet reciprokát, és vonjunk mindkét oldalból négyzetgyököt. Ekkor látható, hogy $1/\sqrt{N}$-et az R függvényében ábrázolva egyenest kapunk. Az egyenes paramétereiből a d meghatározható (pl. egyenes illesztésével a mérési pontokra).

A program kezelőfelületét az alábbi *ábrá*n láthatjuk:



Konkrét feladatok:

1) Először „kalibráljuk" a detektorunkat, azaz a fentebb felsorolt, három ismert gamma-energia segítségével tájékozódjunk arról, hogy melyik gamma-foton melyik „csatorna" környékére ad „teljesenergia-csúcs"-ot. (A csatornaszám az energia lineáris függvénye.)

2) Vegyük fel a spektrumot több különböző detektortávolság mellett, és jegyezzük fel a három „teljesenergia-csúcs"-ban talált nettó beütésszámokat azonos mérési idők mellett (Lásd a „program használata" című útmutató „csúcsterület meghatározása" című pontját).

3) A kapott beütésszámok alapján határozzuk meg a detektor „effektív homlokfelületé"-nek helyzetét a három gamma-energiára vonatkozólag. Adjuk meg az eredmények bizonytalanságát (hibáját) is. (Ehhez akár milliméter-papiros egyenesillesztést, akár az Excel-programot, akár más, egyéni módszert és segédeszközt is használhatunk.) Minden esetben dokumentáljuk azonban, hogy a nyers mérési eredményekből hogyan jutottunk el a végeredményig!

4) Próbáljunk magyarázatot adni arra, hogy miért függ a megfigyelt módon az effektív homlokfelület helyzete a gamma-fotonok energiájától!

5) *„Szorgalmi" feladat:* adjunk magyarázatot arra, hogy miért látunk háromnál több csúcsot. (Ez nem szerves része a feladatnak, de többletpontot lehet érte kapni. Tehát, ha nem sikerül gyorsan választ adni erre, ne töltsünk el vele sok időt.)

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(eke)t,

– a végeredmény(ek) hibáját és a hiba kiszámítási vagy becslési módját,

– az eredmények diszkutálását,

– valamint minden olyan információt, amely a mérés reprodukáláshoz szükséges.

A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy annak alapján bárki a mérést megismételhesse, és (a statisztikus hibákon belül) hasonló eredményt kaphasson".

Kísérleti feladat

A mérési eszközök mellé a versenyzők a következő tájékoztatót kapták:

„β-sugárzás energiájára adott
nagyságrendi becslés"

A radioaktivitás felfedezése (1896) után hamarosan megállapították, hogy a sugárzás általában 3 komponensre bontható: α-, β-, és γ-sugárzásra. Az is kiderült, hogy a β-sugárzás során elektronok lépnek ki a sugárzó anyagból. Nagy meglepetést okozott viszont, hogy ezeknek az elektronoknak a megszokott kémiai energiáknál nagyságrendekkel nagyobb volt az energiájuk. Ebben a mérésben viszonylag egyszerű eszközökkel meghatározzuk egy β-sugárzó preparátumból kilépő elektronok energiájának nagyságrendjét.

A mérés elve:

A kollimált (nagyjából egy irányba haladó) β-nyalábot Geiger–Müller-számlálócsővel detektáljuk. A mozgó elektronokat mágneses mezővel eltérítjük, és a mágneses mező ismeretében az eltérülés mérésével adunk becslést az elektronok energiájára. Az erős állandó mágnesekkel létrehozott mágneses indukció erősségét egy árammal átjárt vezetőre (kengyelre) gyakorolt hatásából lehet meghatározni.

A méréshez rendelkezésére áll:

- egy kollimátorban elhelyezett radioaktív sugárforrás (csak β-sugárzást bocsát ki),
- egy számítógéphez csatlakoztatott Geiger–Müller-számláló,
- egy tartóba erősített mágnespár,
- egy felfüggesztett kengyel,
- árammérő,
- változtatható ellenállás,
- 9 voltos elem.

A mágnes átmérőjét és a kengyel adatait, (méret, tömeg) a kísérletvezető tanár adja meg.

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(eke)t,

– a végeredmény(ek) hibáját és a hiba kiszámítási vagy becslési módját,

– az eredmények diszkutálását,

– valamint minden olyan információt, amely a mérés reprodukáláshoz szükséges.

A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lennie, hogy annak alapján bárki a mérést megismételhesse, és (a statisztikus hibákon belül) hasonló eredményt kaphasson.

Tanácsok a feladat végrehajtásához:

a) Először mérjük meg a „hátteret”. Távolítsuk el a kollimált sugárforrást, és mérjük a beütésszámot lehetőleg hosszú ideig. A mért beütésszám mellett jegyezzük fel azt is, hogy mennyi ideig mértünk.

b) Mérjük meg a kollimátorból kijövő β-sugárzást *mágnes nélkül,* több különböző szög mellett annak érdekében, hogy a mért „szögeloszlást” majd összehasonlíthassuk a mágnes jelenlétében mért szögeloszlással. A mért beütésszámokat korrigáljuk a háttérrel!

c) Vegyük fel a szögeloszlást ismét, ezúttal a *mágnes jelenlétében.* A szögeloszlást összehasonlítva az előző pontbeli szögeloszlással, határozzuk meg az eltérítés szögét (α)!

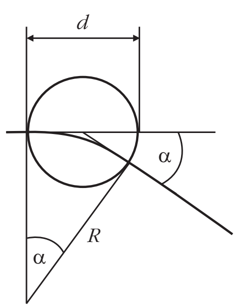
d) A *mágneses indukció erősségének meghatározása* a kengyel segítségével: Célszerű a kengyelt a mágneses mező széléhez tenni, és akkora áramerősséget beállítani a potenciométerrel, hogy a kengyel kitérítve kerüljön a mágneses mező közepére. A kitérítés szögéből (a kengyel adatainak az ismeretében) határozzuk meg a kengyelre ható erő nagyságát, és ebből a mágneses indukció értékét!

e) A c) pontban meghatározott szög és a d) pontban meghatározott mágneses indukció segítségével adjunk becslést az elektronok átlagos energiájára! Az energia meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy az elektronok sebessége a fénysebesség nagyságrendjébe eshet.

f) Diszkutáljuk (elemezzük) az eredményt. Milyen hibák adódhatnak a mérés során, és ezek mekkorák lehetnek? Miért csak nagyságrendi becslést ad ez a mérés?

Néhány segítség:

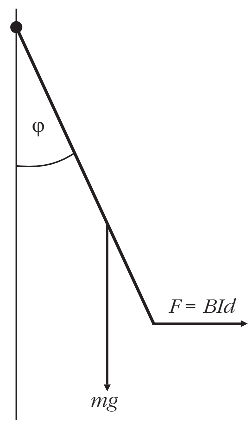
1) Az eltérülés szögéből határozzuk meg először annak a körpályának a sugarát (R), amelyen a β-részecskék mozognak. A rajz alapján



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

A szög mérésével R meghatározható.

2) A mágneses indukció erősségének a meghatározása: ha a kengyelben I áramerősség folyik, és a kengyel éppen a d átmérőjű mágnes „közepére” lóg be, akkor a rá ható erő: $F = B \cdot I \cdot d$. Az F erőt a kengyel függőlegestől való kitérülésének szögéből (φ) lehet meghatározni (egyszerű statikai feladat). Vegyük figyelembe, hogy a súlyerő a kengyel súlypontjában „hat”, a mágneses mező pedig a kengyelnek a mágneses mezőben lévő részén!



3) A mágneses térben haladó részecske p lendületét a B mágneses indukció és az R pályasugár ismeretében meghatározhatjuk abból kiindulva, hogy a körpályához szükséges centripetális erőt a mágneses Lorentz-erő ($F_L = e \cdot v \cdot B$) adja:

$$a_{cp} = \frac{F_L}{m}, \quad \text{azaz} \quad \frac{v^2}{R} = \frac{e \cdot v \cdot B}{m}$$

és ebből $p = m \cdot v = e \cdot R \cdot B$.

4) A lendületből az energiát relativisztikus összefüggés segítségével határozzuk meg.

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

Itt m_0 az elektron nyugalmi tömege ($m_0 c^2$ = 0,511 MeV = $0{,}8176 \cdot 10^{-13}$ J).”

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 20 pontot, a kísérleti feladat teljes megoldása 30 pontot hozhatott, ez összesen 100 pont lehetett. Az idén valamivel alacsonyabb pontszámok születtek, mint 2006-ban, mivel a számítógépes feladat különösen nehéznek bizonyult. A legkiválóbb I. kategóriás versenyző 70 pontot ért el (tavaly 78 pont volt a legjobb eredmény). A legjobb junior versenyző 76 pontot ért el (tavaly 83 pont volt a legjobb). Az elméleti feladatok közül legnehezebbnek az I. kategóriás versenyzők 8. és 10. feladata bizonyult, de minden feladatra – még ezekre is – érkezett helyes megoldás! Az elméleti feladatok megoldásában *Vajna Szabolcs* (Berze Nagy J. Gimn. Gyöngyös), valamint *Meszéna Balázs* (Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn. Budapest) érték el a legjobb eredményt – egyaránt 39 pontot a maximális 50-ből. A mérési feladatot *Nagy Viktor* (Zrínyi M. Gimn. Zalaegerszeg), valamint *Horváth László* (Batthyány K. Gimn. Szigetszentmiklós) oldotta meg maximális, 30 ponttal. Különösen értékelendő, hogy Horváth László junior kategóriás versenyzőként érte el ezt a szép eredményt. A számítógépes feladatra a legtöbb pontot Vajna Szabolcs kapta, aki a maximális 20 pontból 14 pontot tudott megszerezni.

Az összesített pontszámok alapján 2007-ben a díjakat a következő diákok kapták:

I. kategória (11–12. osztályosok)

I. díj: KÓNYA GÁBOR (70 pont), Fazekas M. Főv. Gyak. Gimn. (Budapest), tanára *Horváth Gábor,*

II. díj: NAGY VIKTOR (68 pont), Zrínyi M. Gimn. (Zalaegerszeg), tanára *Pálovics Róbert,*

III. díj: VAJNA SZABOLCS (66 pont), Berze Nagy J. Gimn. (Gyöngyös), tanárai *Ombódiné Madai Judit* és *Kiss Miklós.*

„Junior” kategória

I. helyezett: HORVÁTH LÁSZLÓ (76 pont), Batthyány K. Gimn. (Szigetszentmiklós), tanára *Bülgözdi László,*

II. helyezett: LOVAS LIA IZABELLA (64 pont), Leöwey K. Gimn. (Pécs), tanára *Simon Péter,*

III. helyezett: BOKÁNYI ESZTER (58 pont), Zrínyi M. Gimn. (Zalaegerszeg), tanára: *Pálovics Róbert.*

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-díjat ZSIGRI FERENC, az Apáczai Csere J. Gyakorló Gimn. (Budapest) tanára kapta. A Delfin-díj alapszabályának megfelelően a Delfin-díj bizottságnak lehetősége van egy külön Delfin-díj kiadására is. Ezzel a lehetőséggel az idén élt a bizottság, SÜKÖSD CSABA (BME Budapest) részesült külön Delfin-díjban a nukleáris ismeretek terjesztésében kifejtett tevékenységéért, valamint a Szilárd Verseny versenybizottsága vezetőjeként végzett munkájáért. A *Marx György Vándordíj*at – amelyet minden évben a pontversenyben legkiválóbb eredményt elért iskolának ítél oda a Versenybizottság – idén a *Zrínyi Miklós Gimnázium* (Zalaegerszeg) nyerte el. Az iskola teljesítményét még jobban dicséri, hogy már 2003-ban is ők őrizhették egy évig a Marx György Vándordíjat.

A Magyar Nukleáris Társaság „női” szakcsoportja, a WIN (Women in Nuclear) meglepetést készített a Szilárd Leó versenyen résztvevő diákok és tanárok számára. A gazdagon megrakott ajándékcsomagban atomenergiával és nukleáris ismeretek terjesztésével kapcsolatos sok hasznos anyag, nyomtatvány, CD volt.

Az ünnepi beszédek után Sükösd Csaba köszönetét fejezte ki a versenyt támogató Paksi Atomerőműnek és a paksi Energetikai Szakközépiskolának a verseny megrendezésében nyújtott segítségükért, valamint az MNT WIN szakcsoportjának az ajándékokért. A versenyt 2008-ban is megrendezzük változatlan tematikával (versenykiírás a *Fizikai Szemlé*ben). Ismételten bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák tanulóit is arra, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyre.

ÉLMÉNYRÉSZECSKÉK A RÉSZECSKE-ÉLMÉNYEINKBŐL

– Beszámoló a magyar fizikatanárok 2007. évi továbbképzéséről a CERN-ben

Kirsch Éva
Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma, Debrecen
Elblinger Ferenc
Garay János Gimnázium, Szekszárd
Tepliczky István
Bláthy Ottó Villamosipari Szakközépiskola, Miskolc

A CERN kezdeményezésére 2006 januárjában indult a nemzeti nyelven folyó egyhetes részecskefizikai tanárprogramoknak a rendszere. 2006 augusztusában elsőként a magyar fizikatanárok vettek részt ilyen módon szervezett programon. 2007. augusztus 12–19. közt, immáron másodszorra Magyarországról, 39 középiskolai fizikatanár látogathatott el a svájci–francia határra. A CERN részéről az idén is *Mick Storr* biztosította a feltételeket és látta el a házigazda szerepét, a tanulmányút itthoni megszervezését pedig most is *Sükösd Csaba* és *Jarosievitz Beáta* vállalták, akik a tavalyi jól bevált szervezési formákat és ötleteket újakkal vegyítve és továbbfejlesztve még változatosabb programot biztosítottak számunkra. A tavalyi tanulmányút sikere a fizikatanárok közt gyorsan elterjedt, úgyhogy az idén még nagyobb várakozásokkal indult útjára a csapat. Persze mindenki mást és mást várt ettől a programtól, más és más motívumok juttatták el Genfbe, vagy éppen a Mont Blanc-hoz. Például *Tepliczky István* erről így vélekedett:

„Régóta bosszant az az emberi tulajdonság (és butaság), hogy aki hangosabb, annak nagyobb valószínűséggel van igaza. Nos, sajnos így van ez évek hosszú sora óta a nukleáris technika, az atomenergia előállítása és felhasználása vonatkozásában hazánkban és talán Európában is. A magam módján és szakterületén igyekszem is tenni ellene, amit tudok. Az egyik várakozásom az volt, hogy tapasztalatokat szerzek, olyan információkat kapok, melyek segítségével érvekkel, konkrét adatokkal bizonyítani tudom a szakmai tudás fontosságát, értékét és becsületét.

Gyerekkorom óta érdekel a csillagászat, azon belül is a kozmológia, a Világegyetem keletkezésének és fejlődésének kérdései. A filozófus most azt mondja ben-