

## Alfa-sugárzás energiájának és egy minta aktivitásának mérése

Előjáróban leszögezzük, hogy ez a szimuláció a valóságosnál jóval egyszerűbb alfa-spektroszkópot modellez. Arra azonban biztosan jó, hogy megismerkedjünk az alfa-részecskék detektálásának néhány vonásával.

A detektálás folyamatának a megértéséhez kövessük végig, hogy hogyan érzékelünk egy adott energiájú alfa-részecskét.

### Hatásfok és a hatásfok meghatározása

Nézzük először a detektor hatásfokát! Emlékezzünk arra, hogy az alfa-részecske hatótávolsága nagyon kicsi (szilárd anyagban a milliméter törtrésze), ezért egy szilárd anyagból készült mintának csak a legfelső vékony rétegéből lépnek ki egyáltalán alfa-részecskék. Felesleges tehát ennél vastagabb mintákat készíteni, ezért az alfa-emittáló mintákat nagyon vékonyra preparálják. Bár a detektort közel tesszük a mintához (egyrészt, hogy a közöttük lévő levegő se nyelje el a kibocsátott alfa-részecskéket, másrészt, hogy a minden irányban kibocsátott részecskék közül minél több találkozzon a detektorral), így sem éri el azonban minden kibocsátott részecske a detektort. Ha fel is tételezzük, hogy minden részecskét érzékelünk, amely a detektort eléri, akkor sem tudunk detektálni minden kibocsátott részecskét!

A detektált részecskéknek a forrás által kibocsátott részecskékhez viszonyított arányát a detektor teljes hatásfokának nevezzük.

$$\varepsilon_{teljes} = \frac{\text{detektált részecskék száma}}{\text{kibocsátott részecskék száma}}$$

Ezt általában úgy tudjuk meghatározni, hogy ismert aktivitású alfa-forrást – etalont – vizsgálunk, és megnézzük, hogy a detektorunk ennek hányad részét tudja detektálni. Ez a hatásfok általában függ a részecskék energiájától, a mi szimulációnkban azonban független az energiától.

### Energia és csatornaszám

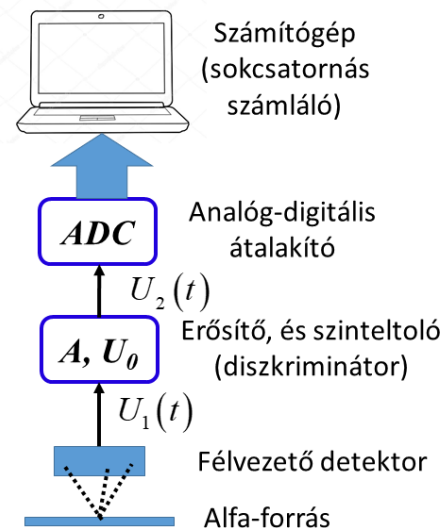
Mivel az alfa-részecskék hatótávolsága igen kicsiny, ezért joggal feltehetjük, hogy a detektorba becsapódó alfa-részecske teljes egészében lefékeződik, és átadja teljes energiáját a félvezető detektornak. (Ez lényegében egy záró irányban előfeszített félvezető dióda). Az átadott energia a félvezető detektorban az átadott energiával arányos számú töltéshordozót (elektron-lyuk párt) kelt, amelyek gyors mozgása a detektorban egy rövid ideig tartó áramlökést kelt.

$$I(t) = \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t}$$

Ez az áramlökés egy ellenálláson áthaladva feszültségváltozást – feszültséglökést, impulzust – okoz:

$U_1(t) = R \cdot I(t)$ . Ez a feszültséglökés még eléggé kicsi, ezért a további feldolgozás érdekében erősíteni kell. Ebben a lépésben még a feszültség nulla szintje is eltolható valamekkora értékkel:  $U_2(t) = A \cdot U_1(t) + U_0$ .

Itt  $A$  az erősítés,  $U_0$  pedig a szinteltolás értéke. Ahhoz, hogy az  $U_2(t)$  feszültséglökést számítógéppel feldolgozhassuk, digitális számokká kell alakítani. Erre szolgál egy úgynevezett analóg-digitális átalakító (ADC), amely a bemeneti tartományba tartozó feszültség-impulzusokat 0-tól 4096-ig terjedő számokká alakítja. Így tehát ebből már minden egyes alfa-részecske beesése esetén egy – a részecske energiájával lineáris kapcsolatban lévő – szám jön ki, ezt hívjuk csatornaszámnak. Minden csatorna egy-egy külön számláló, amely azt számolja, hogy hány alfa-részecskét detektáltunk a neki megfelelő



szűk energiatarományban (pl. 4000 és 4002 keV között). Egy részecske detektálásakor tehát az energiájának megfelelő számláló (csatorna) értéke növekszik eggyel – az alfa-spektrum hisztogramja e csatornák tartalmából áll össze.

Sajnos azonban azt, hogy milyen átalakítások történnek addig, amíg a részecske energiájából csatornaszám lesz, általában nem tudjuk pontosan. Annyit azonban feltételezhetünk, hogy a  $E$  részecske-energia és a  $C$  csatornaszám között megmarad a lineáris összefüggés, azaz hogy  $E = a \cdot C + b$ . Ahhoz, hogy az egyes megmért csatornaszámokból részecske-energiára tudjunk következtetni, az  $a$  és a  $b$  konstansokat meg kell határozni. Ezt úgy tudjuk megtenni, ha megmérjük, hogy (legalább kettő, de inkább több) ismert energiájú alfa-sugárzás milyen csatornába esik. A szimulációban erre használhatjuk az  $^{238}\text{U} / ^{234}\text{U}$  radioaktív egyensúlyban lévő mintát (etalon), hiszen az általuk kibocsátott alfa-sugárzás energiáit a program „Alfa-energiák” menüpontjából előhívható táblázatból kikereshetjük.

### Holtidő és élőidő

A detektorból jövő impulzusok analizéséhez, feldolgozásához még egy gyors elektronikus áramkörnek (vagy egy számítógépnek) is időre van szüksége. Ez alatt az idő alatt a műszer nem képes újabb részecske impulzusát fogadni. Ezt nevezzük „holtidőnek”. Tegyük fel, hogy minden részecske feldolgozása  $\tau$  ideig tart, azaz  $\tau$  a **holtidő**. Ha  $T$  idő alatt  $N$  részecskét detektált a műszer, akkor  $N \cdot \tau$  ideig volt „halott”, azaz az **élőidő**:  $T_{\text{elő}} = T - N \cdot \tau$ . Ennyi idő alatt jött a mért  $N$  beütésszám, a beütésszámok „sebessége” tehát:  $n_{\text{valódi}} = \frac{N}{T_{\text{elő}}} = \frac{N}{T - N \cdot \tau} = \frac{N/T}{1 - \tau \cdot (N/T)} = \frac{n_{\text{mért}}}{1 - n_{\text{mért}} \cdot \tau}$ . Ezt nevezzük holtidő-

korrekciónak. Ez kiszámítható a mért beütésszám-sebesség ismeretében, ha ismerjük a holtidő mennyiségét. Vannak olyan mérőeszközök, ahol a holtidő függ a részecskék energiájától is, ezért az még bonyolultabbá teszi az adatok feldolgozását. A mi szimulációs programunkban a holtidő egy rögzített érték, amit a program által kijelzett élőidő segítségével meg tudunk határozni.

### Feladatok

#### 1) Feladat (0 pont)

- Ismerkedjünk meg a programmal! (Lásd külön, a programkezelési útmutatót!) Vizsgáljuk meg, hogy az egyes kezelő szervek hogyan működnek.

#### 2) Feladat (4 pont)

- Vizsgáljuk meg az alacsony energiás elektronikus zajt 50-es erősítésnél, sugárforrás nélkül! Próbáljuk meghatározni, hogy milyen függvény szerint változik az elektronikus zaj intenzitása az impulzusok amplitúdója (csatornaszám) függvényében!
- Vegyünk fel egy olyan ROI-t (lásd a programkezelést), amelyben valamennyi, a zajból származó beütésszám benne van. A mért beütésszámból és a program által kijelzett élőidőből határozzuk meg a holtidő nagyságát! (Mentsük el a képernyőt a zsűri számára)
- Vizsgáljuk a kör alakú kezelőszervvel rendelkező helikális potenciométer hatását! Próbáljuk úgy beállítani, hogy az elektronikus zaj ne legyen zavaró nagyságú.

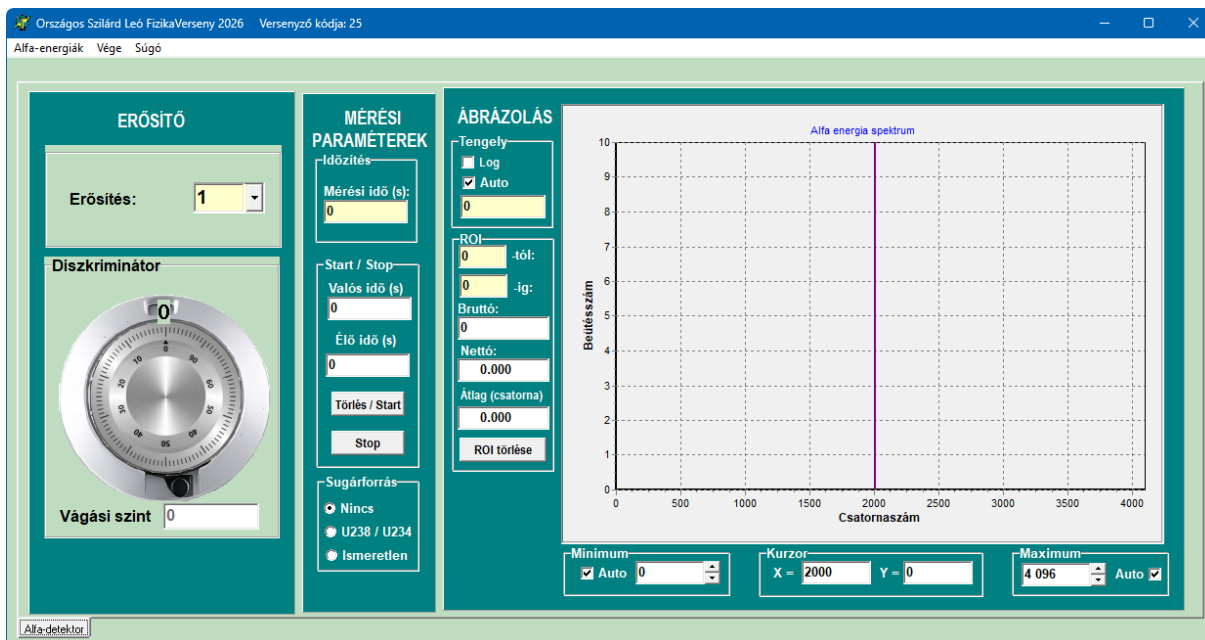
#### 3) Feladat (8 pont)

- Ismerkedjünk meg az „Alfa-energiák” táblázattal! gondoljuk végig, hogy mit jelenthetnek az egyes oszlopokban lévő adatok, azok hogyan jelennek meg a spektrumban!
- Az energia és határfok meghatározásához válasszuk ki az U-238 / U-234 etalon mintát! Írjuk le a jegyzőkönyvben, hogy mit jelent az, hogy a mintában szekuláris egyensúly van!
- Gyors „mintamérésekkel” állapítsuk meg, hogy milyen erősítést lehet és érdemes használni a hosszabb mérések során. Ellenőrizzük, hogy ez a beállítás megfelelő lesz-e az ismeretlen minta mérésénél is! Indokoljuk a döntést a jegyzőkönyvben! Figyeljünk arra is, hogy az elektronikus zaj ne legyen zavaró. (Szükség esetén változtassunk a diszkriminátor beállításán.). Figyeljünk arra, hogy a továbbiakban ne változtassunk az erősítés és a diszkriminátor paraméterein!

- Vegyük fel az U-minta alfa-spektrumát elegendően hosszú ideig a statisztikus bizonytalanságok csökkentése érdekében, és próbáljuk hozzárendelni a mért csúcsokhoz a táblázatbeli alfa-energiákat! (Mentsük el a képernyőt a zsűri számára)
  - Ábrázoljuk az alfa-energiák értékét a kapott csatornaszámok függvényében, és illesszünk rájuk egyenest! Jegyezzük fel az illesztett egyenes  $E = a \cdot C + b$  egyenletét, illetve az  $a$  és  $b$  paramétereket! Az ábrázolást javasolt a számítógépen található EXCEL segítségével kivitelezni, de milliméter-papíron is lehet dolgozni. Ha a számítógépen dolgozunk, mentjük el az Excel fájlt a zsűri számára a saját kódszámunkkal jelölt mappába!
- 4) **Feladat (2 pont)**
- Tudván, hogy az urán mintában az U-238 aktivitása éppen 10 kBq, határozzuk meg az alfa-spektroszkópunk teljes hatásfokát!
- 5) **Feladat (8 pont)**
- Válasszuk ki az ismeretlen mintát, és vegyük fel a spektrumát! (Mentsük el a képernyőt a zsűri számára.)
  - A korábban meghatározott  $a$  és  $b$  konstansok ismeretében határozzuk meg a spektrumban található csúcsokhoz tartozó energiákat! Az energiák ismeretében próbáljuk meghatározni, hogy milyen alfa-bomló atomfajták (nuklidok) lehetnek az ismeretlen mintában!
  - A spektroszkóp hatásfokának ismeretében határozzuk meg az egyes atomfajták aktivitását!
- 6) **Feladat (3 pont)**
- **Dokumentáljuk** a munkánkat, írjuk le a gondolatmenetünket és az eredményeket!

## Alfa-sugárzás energiájának mérése

A program indítása (és bejelentkezés) után a képernyő közepén egy „*Alfa-spektroszkóp*” képet látjuk. Három, jól megkülönböztethető panel különíti el az egyes kezelőszerveket.



### A menüsor

A lap tetején lévő menüsor „*Alfa-energiák*” menüpontja megnyit egy listát, ahol különböző izotópok által kibocsátott alfa-sugárzás energiái és intenzitásai vannak felsorolva. Ennek segítségével lehet egyrészt elvégezni a detektorunk energia-csatornaszám függvényének meghatározását (lásd lentebb), másrészt ennek ismeretében meghatározni az ismeretlen mintából kijövő alfa-sugárzások energiáját, és így beazonosítani az ismeretlen atommagokat. A program elindításakor a lista az atommagok rendszáma szerint van emelkedő sorrendbe téve. Jó tudni azonban, hogy a lista tetején lévő „*Alfa-energia (keV)*” mezőre kattintva, az alfa-sugárzások energiája szerint is sorrendbe lehet tenni a listát. Ez megkönnyítheti az ismeretlen atommagok beazonosítását. A menüsor „*Vége*” és „*Súgó*” pontjai nem igényelnek külön magyarázatot.

### Az ERŐSÍTŐ

A képernyő bal oldalán lévő, ERŐSÍTŐ elnevezésű panelen van két kezelőszerv: az *Erősítés*, hiszen az alfa-detektorról jövő elektronikus jeleket fel kell ahhoz erősíteni, hogy jól kiértékelhető elektronikus impulzusokat kapjunk. Minden elektronikus berendezésnek – és így ennek a rendszernek is – van elektronikus zaja, amely a kis amplitúdójú jelek tartományába esik. Ezek a zajok esetleg elfedhetik a hasznos jeleket, vagy leterhelhetik a fontosabb és bonyolultabb műveleteket végző elektronikus eszközöket, ezért célszerű ezeket elnyomni. Erre szolgál a *Diszkriminátor*, amely megemeli az azt követő elektronikus áramkörök nulla szintjét, és ezzel azokat az elektronikus zajok fölé tudja helyezni. Ennek a változtatására szolgál egy úgynevezett helikális potenciométer (változtatható ellenállás). Ennek az értékét a kör alakú fém forgatógombbal lehet változtatni. Mivel ennek a helyzete befolyásolja a mért értékeket, ezért célszerű ezt – beállítása után – rögzíteni. Erre szolgál az alján lévő kis fekete kar, amelyre kattintva a forgatógomb rögzíthető, vagy kioldható (a program bejelentkezésekor ez rögzítve

van). A gombot többször is körbe lehet forgatni, így elég finoman lehet állítani. A diszkriminációs szintet közvetlenül is be lehet írni a **Vágási szint** nevű mezőbe, ha a potenciométer ki van oldva (ilyenkor a beviteli mező színe világossárgára változik).

## MÉRÉSI PARAMÉTEREK

Ezen a panelen a felül lévő **Időzítés** nevű keretben egyetlen adatot adhatunk meg: a mérés idejét másodpercben (**Mérési idő (s)**). Ennek nulla értéke esetén a mérés nincs időzítve, kézzel állíthatjuk le.

A **Start / Stop** elnevezésű keretben van a mérés indítására és leállítására szolgáló két gomb, valamint két információs mező: a mérés kezdete óta eltelt valós idő, és az élőidő. Ez utóbbi a holtidővel kapcsolatos. Erről részletesebben a mérési feladatok részben olvashatunk. Ezek a fehér színű mezők csak kijelzésre szolgálnak, ezekbe nem írhatunk semmit.

A **Sugárforrás** csoportban három választásunk lehet, ezek közül kettőnek a felirata magától értetődő. A középső választás az energia- és hatásfok meghatározása számára fontos: ekkor a detektorunk mintatartójába  $^{238}\text{U}$ , és vele szekuláris egyensúlyban lévő  $^{234}\text{U}$  kerül. A mérések szerint az etalon  $^{238}\text{U}$  atomfajtának az aktivitása éppen 10000 Bq.

## Az **ÁBRÁZOLÁS**

Az ablak jobb oldalát foglalja el ez a panel. Ennek legnagyobb része egy grafikon megjelenítésére alkalmas téglalap. Ennek vízszintes tengelye 4096 részre van osztva, ezek a csatornák. A függőleges tengelyen vannak a csatornánkénti beütésszámok. A detektálás folyamata során az alfa-részecske megmért energiája digitális számokká – csatorna sorszámokká – alakul át. Az energia-csatornaszám (lineáris) függvény meghatározása után (lásd a „Feladatok”) a csatornaszámokat (a vízszintes koordinátákat) vissza tudjuk számolni energiává. A grafikon megfelelő helyére kattintva a kurzor mutatja az adott csatorna sorszámát (X) és a benne lévő beütésszámot (Y). A grafikon kisebb részeit ki is tudjuk nagyítani az ábrázolás **Minimum** és a **Maximum** határainak változtatásával. A függőleges tengelyt a **Tengely** mező változtatásával módosíthatjuk. Az **Auto** kiválasztásával automatikusan a maximumhoz igazodik az ábrázolás.

## A **ROI** („Region of Interest”) – **Vizsgálandó tartomány**

A programban ki lehet jelölni egy tartományt, amelyre vonatkozóan a program elvégez néhány egyszerű műveletet. A **-tól** és az **-ig** mezők mutatják, hogy melyik csatornától melyik csatornáig van a kijelölt tartomány. Ha ez a két mező különböző, akkor a program kiszámítja és megjeleníti a következőket:

- Összeadja a csatornák beütésszámait, és megjeleníti a **Bruttó** mezőben.
- Lineáris háttérrel feltételez (be is rajzolja) a kijelölt tartomány kezdete és vége között, és a bruttóból kivonja az ez alatt lévő területet. Ez lesz a **Nettó** érték.
- A háttér figyelembe vételével kiszámítja a kijelölt terület súlypontjának X koordinátáját (**Átlag (csatorna)**).

A ROI nemcsak a **-tól** és **-ig** mezőkbe való beírással, hanem a Shift gomb lenyomása mellett az egérrel az ábra megfelelő helyére történő kattintással is kijelölhető. Ez kis gyakorlás után meggyorsíthatja a munkát. Egy új ROI kijelölése előtt a régit törölni kell (**ROI törlése**).

Végül, az ablak bármely részén az **egér jobb gombjával** történő kattintással az aktuális ablakról **kép készíthető**. Ezekkel a képekkel a feladatok elvégzésének menetét jól dokumentálhatjuk.