

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

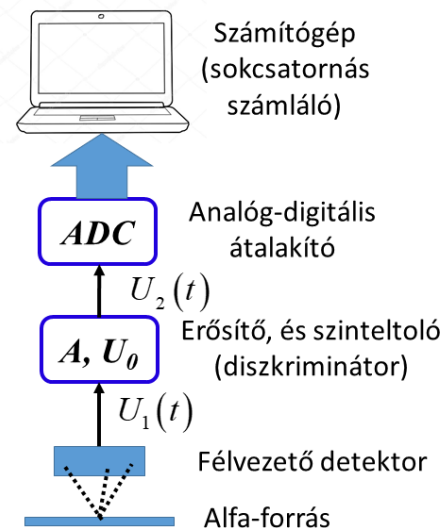
Mivel az alfa-részecskék hatótávolsága igen kicsiny, ezért joggal feltehetjük, hogy a detektorba becsapódó alfa-részecske teljes egészében lefékeződik, és átadja teljes energiáját a félvezető detektornak. (Ez lényegében egy záró irányban előfeszített félvezető dióda). Az átadott energia a félvezető detektorban 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 τ ideig tart, azaz τ 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!