

## Nukleáris műszerek 11. (befejező rész)

### 17. téma: Összefoglalás

Mint azt a sorozatban többször hangsúlyoztuk, a műszer használhatóságát elsősorban a felhasznált detektor határozza meg, az adott feladathoz a megfelelő felépítésű detektort kell alkalmazni, hogy optimálisan végezhesük a mérést. A szerző saját mérési tapasztalati alapján állította össze a mellékelt táblázatot, amely ahhoz nyújt segítséget, hogy az olvasó a legmegfelelőbb detektort válassza. Nem érvényes ez a neutronok mérésére, mert ez manapság az atomenergia felhasználásának fontossága miatt önálló tudományággá fejlődött.

Minden nukleáris mérés legfontosabb feltétele, hogy a mérni kívánt részecske vagy foton bejusson a detektor érzékeny térfogatába, intenzitás mérés esetén minél jobb hatásfokkal, energiamérés esetén pedig itt adja le lehetőleg teljes energiáját. Másodsorban az ár határozza meg, hogy az adott feladathoz melyik detektort alkalmazzuk. Nem érdemes olyan feladatra, amelyet olcsóbb detektorral is megoldhatunk, sokkal drágább detektort és elektronikát vásárolni.

Az előző részekben már minden elvi kérdést részletesen tárgyaltunk, ezért ez a téma új elméleti ismereteket nem tartalmaz, csak a táblázat felépítésének magyarázatára szorítkozik, és arra, hogy miért éppen az adott detektort javasoljuk a mérés céljaira. Ennek megértéséhez az előző tíz részben közöltek ismerete szükségesek.

A táblázat négy oszlopból áll. Az első a mérendő sugárzás fajtáját tartalmazza, az elektronok, fotonok és a neutronok esetében még energiatartomány szerint is két csoportot érdemes képezni.

A második oszlopban az egyszerűbb (és olcsóbb) intenzitásmérésre alkalmas detektorokat soroltuk fel. Csak emlékeztetőül: az aktivitásmérés az intenzitásmérés speciális esete, ezért megfelelő geometriai kialakítás esetén ezek a detektorok használhatók aktivitás, és a műszerünk megfelelő kalibrálásával dozimetriai mérés céljaira is.

A harmadik oszlopban az energia mérésére, spektroszkópiai célokra alkalmas detektorokat soroljuk fel. A korábban ismertetett detektorok közül erre a feladatra az ún. nem energiaszelektív detektorok nem alkalmasak.

Az utolsó oszlop azt mutatja, hogy a javasolt detektor melyik detektor fajtába tartozik, ezzel a korábbi részekben való keresést könnyítjük meg.

#### **Nehéz töltött részek (alfa) mérése**

A mérést nehezíti a részecskék kis hatótávolsága és a mérendő forrásban lejátszódó önabszorpció. Amennyiben vastag a sugárforrás, a felső rétegben elhelyezkedő sugárzó anyag elnyeli az alsóbb rétegekből távozó részecskéket. Ez meghamisíthatja a felületi szennyezettség mérés eredményét és torzítja az energiaspektrumot. A másik nehézség akkor lép fel, ha nagyon kis aktivitás, illetve felületi szennyezettség kimutatására, ennek megfelelően hosszadalmas mérésre van szükség. A környezetből ez alatt beérkező elektromos zavarok is meghamisíthatják a mérések eredményeit. Ebben az esetben segít a mérendő minta aktivitásának növelése bepárlással vagy más módon.

Az alfa-sugárzók energiatartománya MeV tartományban található, ezért itt nem képeztünk két csoportot, mint a többi sugárzástípusnál. A gázionizációs detektorok közül a vékony csillámablakos (felületi sűrűség  $<1,5 \text{ mg/cm}^2$ ) GM cső alkalmas alfa-intenzitás mérésére. A csövek meglehetősen magas „saját háttér” értéke nem teszi lehetővé alacsony szennyezettség és aktivitás értékek mérését. Amennyiben a szennyezőanyag a töltőgázba keverhető, nagyon jól használhatók az ún. átáramlásos proporcionális számlálócsövek erre a célra.

Sokkal drágább, de hatásosabb a szilícium detektorok használata. Az alfa-részek elnyelődése miatt a detektort a mintához közel kell elhelyezni. A PIPS struktúra mellett intenzitás mérésre megfelelőek a p – n szerkezetű felületi záróréteges detektorok, amennyiben a detektort meg

tudjuk védeni az elszennyeződéstől. Régebben a rosszabb felbontóképességű felületi záróréteges Si detektorokat építették be a füstjelzőkbe.

A szcintillációs detektorok közül az ezüsttel aktivált ZnS(Ag) detektorokat alkalmazzák alfa-részek számlálására. Mivel ebből nagy felületű polikristályos struktúra hozható létre, különleges elektronsokszorozók felhasználásával jó hatásfokú felületi szennyezettség mérőket gyártanak.

### **Béta-számlálás**

Az elektronokat a maximális energiájuk alapján önkényesen két csoportba osztjuk (emlékeztetőül: a béta-spektrum folytonos): alacsony energiájú  $e < 200$  keV és magas energiájú  $e > 200$  keV csoportba. Az első csoport számlálása hasonlóan nehéz, mint az alfa-részeké, mert az elektronok a legnagyobb valószínűséggel a maximális energia  $2/3$  értékénél lépnek ki.

Gázionizációs detektorok közül ezért csak az átáramlásos proporcionális számlálók alkalmasak, amennyiben a mérendő minta keverhető a töltőgázzal.

Félvezető detektorok ebben az energiatartományban az elektronok jelentős visszaszórása miatt nem alkalmazhatók.

Nem olcsó eljárás, de ha szükség van a két legalacsonyabb energiájú  $^3\text{H}$  (18 keV, trícium) és  $^{14}\text{C}$  (155 keV) mérésére, főleg a folyadékszcintillációs eljárást alkalmazzák. Egy üvegedénybe, amelyet körbevesznek az elektronsokszorozók, szerves szcintilláló folyadékot töltenek, ebbe keverik a mérendő mintát.

A nagyobb energiájú béta-sugárzás mérése esetén lényegesebb nagyobb a választék, mert a detektor ablakról történő visszaszórás valószínűsége magasabb energiánál kisebb.

Gázionizációs detektorok közül lehet végablakos GM csövet vagy áram üzemmódú ionizációs kamrát alkalmazni.

Szilícium detektort az ára miatt általában nem alkalmaznak.

Az egészségügyben és egyéb laboratóriumi körülmények között optimálisan alkalmazhatók a plasztik szcintillátorral felszerelt mérési összeállítások. A szcintillátor vastagsága lehet 1 – 3 mm, mert nem kell, hogy a részecske a teljes energiáját a detektorban adja le. A minta távolsága sem kritikus, mert kisebb az elektronok elnyelődése a levegőben, és az önabszorpció sem jelentős. Ólomtoronyban történő mérésnél plexibevonatot alkalmaznak a detektor környezetében a fékezési sugárzás kiszűrése érdekében.

### **Fotonsugárzás mérése**

A fotonsugárzást a mérések szempontjából ismét két energiatartományra osztjuk fel.

Nevezzük az  $e < 50$  keV tartományt a röntgen fotonok, az  $e > 50$  keV tartományt a gamma-fotonok tartományának, és ez szerint válasszuk szét a két területet, bár ez megint csak önkényes, és elvileg is helytelen, mert a kétféle sugárzást nem az energiaérték különbözteti meg, hanem hogy az elektronhéjról vagy a magból származik.

Röntgen detektorként mindhárom gázionizációs detektor alkalmazható, a végablakos GM cső, az alumínium falú proporcionális számláló és a levegőtöltésű ionizációs kamra. Ez utóbbit javasoljuk áram üzemmódban, mert megfelelő (szövetekvivalens) falkialakítás esetén a legkisebb az energiafüggésből adódó mérési hiba.

Ebben a tartományban a szilícium detektor csak hűtve használható, ez nagyon megrágítja a mérést, ezért nem javasolható.

A talliummal aktivált nátriumjodid, NaI(Tl) szcintillátorokat széleskörűen alkalmazzák, csak gondoskodni kell a vékony fényelválasztó ablakról.

Magasabb energiatartományban szintén mindhárom fajta gázionizációs detektor alkalmazható. Korábban egyeduralgó volt a GM csövek használata a hosszú holtidő és a jelentős energiafüggés ellenére. Az utóbbi időben a szigorúbb követelmények és a háttérszintű mérés igénye miatt a nagyérzékenységű fémfalú proporcionális számlálók terjedtek el a környezeti méréseknél. Igazán pontos, hitelesítő mérésekhez az áramüzemű ionkamrákat alkalmazzák.

A szakemberek között mindig vitatott téma volt a lítiummal driftelt Si, Si(Li) detektorok alkalmazása környezeti gamma-mérések céljára, azok kis érzékenysége miatt, ami a szilícium kis rendszámából adódik. A kétkomponensű félvezető anyagoknál, mint pl. a kadmium telluridnál ez a hátrány nem áll fenn. Magas ára miatt viszont csak akkor indokolt a felhasználása, amennyiben lényeges a detektor kis mérete, pl. az egészségügyben, amikor in vivo eljárások során a szervezetben kell a méréseket végezni.

Igazán nagy érzékenységű gamma-detektorokat lehet készíteni NaI(Tl) szcintillátorok felhasználásával. Ma már vannak módszerek a hőmérséklet és energiafüggés kompenzálására, ezek segítségével terepi körülmények között is alkalmazhatók, de fő felhasználási területük továbbra is a laboratóriumi és egészségügyi mérések.

#### **A neutronfluxus mérése**

Termikus neutronoknak nevezzük a 0,1 eV-nál kisebb energiájú neutronokat. Mivel a csökkenő energiával nő a magreakciók valószínűsége, ezért a mérésekhez a neutronokat lelassítjuk, „moderáljuk”. A neutronok detektálására többnyire ezeket a magreakciókat használjuk fel, a keletkezett új, másodlagos részecske detektálható.

A bórrifluorid, BF<sub>3</sub> töltésű proporcionális számlálóban a neutron-<sup>10</sup>B magreakció során alfa-részecske keletkezik. Ezek keltette impulzusokat számláljuk, amelyek jól megkülönböztethetők a gamma-háttérből adódó jelektől.

A szilícium detektorok mellett hasonló tartalmú konvertereket alkalmaznak, és az alfa-sugárzást mérik.

A szcintillátorok közül a <sup>6</sup>Li tartalmú anyagokat használják.

#### **Alfa-spektroszkópia**

A legkényesebb művelet, mert a legalaposabb minta előkészítést igényli. A forrást legtöbbször csak néhány atomnyi vastagságban galvanizálják a hordozóra. Az energiamérés legalább egy nagyságrenddel drágább, mint az intenzitásmérés, ezért csak akkor végzik, ha a feladat az ismeretlen sugárforrás meghatározása. A jó felbontóképesség azért szükséges, mert alfa-szennyeződés esetén csak így tudjuk a komponenseket meghatározni.

A gázionizációs detektorok közül az ún. rácsos ionizációs kamrát használhatják jó eredménnyel. Lassú eljárás, mert a kamraajtót ki kell nyitni, a forrást behelyezni, lezárni, a kamrát átöblíteni, a mérőgázt betölteni, az elektródafeszültségeket rákapcsolni és csak ezután lehet a mérést megkezdeni.

Gyorsabban kapunk eredményt és jobb felbontást PIPS szerkezetű alfa-detektorral, amennyiben vákuumkamrában történik a mérés. A légritkítás azért szükséges, mert a detektort a forrástól néhány cm távolságra lehet elhelyezni, így a részecskék merőlegesen és elnyelődés nélkül jutnak a detektorba. Megfelelő jelfeldolgozó elektronikával 50 keV félértékszélességű csúcsokat lehet mérni.

Alfa-spektroszkópiái célra szcintillációs detektorok nem használhatók.

#### **Béta-spektroszkópia**

Az említett folyamatos energiaspektrum miatt elektronok energiaeloszlását főleg tudományos célokból, konverziós elektronsugárzás (<sup>137</sup>Cs), összetett béta-spektrumok (<sup>90</sup>Sr<sup>90</sup>Y) stb.

vizsgálatára végeznek. Kevert sugárzások esetén a komponensek meghatározása nehézkes. Alacsony energiatarományban egyáltalán nem végeznek energiamérést, nagyobb energiánál viszont arra kell ügyelni, hogy az elektron a teljes energiáját a detektor érzékeny térfogatában adja le, vagyis szilícium detektornál az intrinsic réteg vastagsága legalább 3 – 10 mm, a pasztik szcintillátoré 5 – 10 mm legyen a mérendő energiától függően. Az energiafelbontó képességet az említett belső konverziós csúcsok segítségével lehet lemérni.

#### **Röntgen fluoreszcenciás anyagvizsgálat és gamma-spektroszkópia**

Röntgen spektroszkópiát főleg anyagvizsgálat céljából alkalmaznak. A vizsgálat lényege, hogy külső sugárforrással vagy röntgensugárral gerjesztik a vizsgálandó anyag elektronjait. Amikor ezek az elektronok energetikailag alacsonyabb állapotba (külső elektronehéjra)

belsőbb héjra) kerülnek, az atomra jellemző „karakterisztikus” röntgensugárzást bocsátanak ki. A kapott energiaspektrumból lehet következtetni az anyag összetételére (pl. az ötvöző- vagy a szennyezőanyagok jelenlétére, mennyiségére). Korábban a gázionizációs detektorok közül a proporcionális számlálót alkalmazták erre a célra. Mivel a mérendő fotonoknak teljes energiáját a gáztérben kell leadnia, a számláló nagyon vékony berillium ablakkal volt ellátva és kb. 10 keV energiáig volt használható.

A hűtött Si(Li) detektorok kiszorították az anyagvizsgálat területéről az említett detektorfajtát. Röntgen spektrumot még NaI(Tl) detektorral lehet felvenni, de az előzőhöz képest nagyon rossz felbontással.

Ezzel elérkeztünk a nukleáris mérés technika legfontosabb területére a gamma-spektroszkópiához. A nagy áthatolóképességű sugárzások közül ez mérhető a legkönnyebben, és így sok információt nyújt a magban lejátszódó átalakulásokról.

Történetileg gamma-spektroszkópiáról csak a második világháború utáni évektől beszélhetünk, amikor a szcintillációs mérés technika a fotoelektron-sokszorozók alkalmazása következtében kialakult, és sikerült minden egyes gamma-izotóp spektrumát jó minőségű és nagyméretű NaI(Tl) kristályokkal megmérni. Ez óriási lépés volt az izotóptechnika fejlődése terén, annak ellenére, hogy az említett szcintillátorokkal csak kb. 10% energiafelbontó képességet sikerült elérni.

A hatvanas években nagy áttörést hozott a cseppfolyós N<sub>2</sub> hőmérsékletére hűtött lítium driftelt germánium detektorok alkalmazása, mert a felbontóképességük egy nagyságrenddel jobb volt, majd a HPGe detektorok, amelyek nem igényeltek folyamatos hűtést, elég volt ezt a mérés idején alkalmazni. Azóta is ezek a leginkább elterjedt és legjobb spektroszkópiai detektorok, csak a formai kialakítás, a hűtés és a jelfeldolgozás módja változott.

### **Neutron spektroszkópia**

Neutronok energiájának mérése termikus neutronok esetében nem, csak gyors neutronokra értelmezhető. A szokásos alkalmazásoknál (nedvességmérés, nukleáris geofizikai mérések) ismert energia eloszlású forrásokat alkalmaznak, ezért spektroszkópiára ritkán van szükség. A reaktorokban lejátszódó folyamatok vizsgálatának fontossága viszont létrehozott egy teljesen külön tudományágat, a neutronfizikát.

Mint már említettem, ezen a területen nincs tapasztalatom, de a teljesség kedvéért irodalmi források alapján kitöltöttem a táblázatot. Eszerint energiamérésre a gázionizációs detektorok közül a <sup>3</sup>He töltésű proporcionális számláló, a megfelelő konverterrel ellátott Si detektor és a szerves szcintillátorok alkalmasak. A mérések kiértékelését nehezíti, hogy az egyes magreakciók (neutron-proton, neutron-alfa) hatáskeresztmetszete (valószínűsége) erősen függ a neutronenergiától.

### **Irodalom**

Nagy Lajos György, Nagyné László Krisztina: Radiokémia és izotóptechnika 3. kiadás (Műegyetemi Kiadó, Budapest 1997.)

Glenn F. Knoll: Radiation Detection and Measurement (John Wiley & Sons kiadása, New York 1979.)

Rózsa Sándor: Nukleáris mérések az iparban (MK 1979.)

Deme Sándor: Félvezető detektorok magsugárzás mérésére (MK 1968.)

Dési Sándor: Nukleáris detektorok (Tankönyvkiadó, 1966.)

### Mit, mivel mérjek?

Sugárzás	Intenzitás (aktivitás) mérés, dozimetria	Energia mérés, spektroszkópia	Detektor fajta
<b>(Alfa) Nehéz töltött részek</b>	végablakos GM cső (<math><1,5 \text{ mg/cm}^2</math>) átáramlásos cső	rácsos ionizációs kamra, minta előkészítés!	Gázionizációs
	felületi záróréteges Si (füstjelző) p - n struktúra	felületi zréteges (PIPS), jó felbontás, vákuumkamrában	Félvezető
	ZnS(Ag)	nem használható	Szcintillációs
<b>(Béta) Gyors elektron e&lt;200 keV</b>	proporcionális számláló (átáramlásos)	-	Gázionizációs
	nem használható (jelentős visszaszórás)	-	Félvezető
	folyadékszcintilláció ( $^3\text{H}$ ; $^{14}\text{C}$ )	-	Szcintillációs
<b>(Béta) Gyors elektron e&gt;200 keV</b>	végablakos GM cső, ionizációs kamra (áram üzemmód)	-	Gázionizációs
	drága	felületi zréteges (PIPS) ("i" réteg vastagsága 3 - 10 mm)	Félvezető
	plasztik szcintillátor (1 - 3 mm)	plasztik (5 - 10 mm) rosszabb felbontás	Szcintillációs
<b>Rtg. foton e = 10 - 50 keV</b>	levegőtöltésű ionkamra áram üzemmódban	berillium ablakú prporc. számláló (anyagvizsgálat)	Gázionizációs
	drága	hűtött Si(Li), anyagvizsgálat	Félvezető
	vékony belépőablakú NaI(Tl)	vékony NaI(Tl) (rossz felbontás)	Szcintillációs
<b>Gamma foton e = 50 keV - 1,5 MeV</b>	GM cső, fémfalú proporc. számláló, ionkamra	-	Gázionizációs
	szobahőm. Si(Li) kis érzékenység., CdTe (orvosi)	csak hűtött Ge(Li) vagy HPGe	Félvezető
	NaI(Tl) (laboratóriumi)	Na(Tl) rosszabb felbontás	Szcintillációs
<b>Termikus neutronok</b>	$^{10}\text{BF}_3$ töltésű proporc. számláló	-	Gázionizációs
	konverter + felületi zr. Si detektor	-	Félvezető
	$^6\text{Li}$ tartalmú szcintillátor	-	Szcintillációs
<b>Gyors neutronok</b>	a fentiek moderátorral	$^3\text{He}$ töltésű proporcionális számláló	Gázionizációs
		konverter + Si detektor	Félvezető
		szerves szcintillátor	Szcintillációs