

11. fejezet

Radioaktív sugárzás elnyelődésének vizsgálata



Az ólomtorony és a szcintillációs számláló

A természetes radioaktív anyagok esetében háromféle sugárzást lehet megkülönböztetni. Erre egyszerű kísérlet, hogy ólomtömbbe fűrt üregbe zárt radioaktív preparátumnak a doboz kis nyílásán kilépő sugárzását erős elektromos vagy mágneses tér hatásának vetjük alá. Kimutatható, hogy a sugárnyaláb mágneses térben három részre oszlik: az α -sugarak viszonylag kevésbé és olyan irányban térülnek el, mint a pozitív ionokból álló csősugarak, a β -sugarak eltérése jóval nagyobb, és olyan értelmű, mint az elektronsugaraké, végül a γ -sugarak irányváltozás nélkül haladnak, miként a röntgensugarak.

Az α -részecskék két pozitív elemi töltésű héliumionok (He^{++} -ionok). Az eltérítési mérések alapján az α -részecskék kezdeti sebessége a kibocsátó radioaktív anyagtól függően $1,4 \cdot 10^9 \text{ cm/s} - 2,1 \cdot 10^9 \text{ cm/s}$, azaz a fénysebességnek kerekén 5–7%-a. A sebesség helyett rendszerint a kinetikai energiát ($m_\alpha v^2/2$) adják meg, millió elektronvolt (MeV) egységben. Így, mivel $1 \text{ MeV} = 1,602 \cdot 10^{13}$ joule, az α -részecskék kinetikai energiája 4 és 9 MeV között van.

A β -sugárzás az eltérítési kísérletek értelmében elektronokból áll, más szóval a β -részecskék elektronok. Egy meghatározott radioaktív anyag kibocsátotta β -részecskék sebessége tág határok között bármely értéket felvehet (a „sebességspektrum” folytonos), a maximális sebesség egyes anyagok esetében a fénysebesség 99%-át is meghaladja. A β -részecskék maximális kinetikai energiája a kibocsátó anyagtól függően néhány keV és több MeV közötti érték.

A γ -sugárzás a kristályokon fellépő elhajlás és más jelenségek tanúsága szerint igen kis hullámhosszú, azaz nagy frekvenciájú elektromágneses sugárzás, illetve nagy energiájú fotonokból, γ -fotonokból (γ -kvantumokból) álló sugárzás. A γ -fotonok energiája rendszerint 0,01–4 MeV között van.

Az α -, β -részecskék és γ -sugarak intenzitása az anyagon való áthaladásuk során – az anyaggal történő kölcsönhatás következtében – csökken. Erősebb ionizáló hatásnak nagyobb abszorpció, azaz kisebb áthatolóképesség felel meg. Nagy, >9 MeV energiájú α -részecskéket kb. 10 cm vastag levegő-, vagy 0,05 mm vastag alumíniumréteg, közepes, >1 MeV energiájú β -részecskéket kb. 4 m-es levegő, vagy 2 mm-es alumíniumréteg teljesen elnyeli. A γ -sugárzás viszont több száz méteres levegő-, vagy több deciméteres alumíniumrétegen is áthatol.

Az α -sugárzás I intenzitása a sugárforrástól mért x távolság függvényében eleinte állandó, majd hirtelen csökken. Azt a távolságot, amelyet az α -részecske az abszorbenzben megtesz, hatótávolságnak nevezük. A közepes hatótávolságot ($d_{1/2}$) azzal a távolsággal definiálják, amelynél a részecskék száma eredeti értékük felére csökken. A β -sugárzás I intenzitása az abszorbenz x vastagságának függvényében eleinte exponenciálisan csökken, majd nagyobb távolságban (vagyis a legmesszebb hatoló legnagyobb energiájú β -részecskékre nézve) eléri a zérust. A maximális hatótávolság az a rétegvastagság, amelyen túlra a β -sugarak nem jutnak el. A γ -sugárzásnál az intenzitás exponenciális csökkenése mindvégig fennáll, ezért az előző értelemben vett hatótávolságról nem is lehet beszélni.

11.1. A β -sugárzás hatótávolságának meghatározása



Az alumíniumfóliák behelyezése és kivétele csipesszel történik! A preparátumot nem kell elmozdítani a gyakorlat folyamán!

A radioaktív magok β -sugárzása nagy sebességű elektronokból áll. A β -bomlás során az atommagban egy neutron átalakul protonná és közben egy elektron és egy antineutrínó keletkezik. Az antineutrínó keletkezése miatt a β -részecskék energiája nem lesz jól meghatározott, hanem folytonos energiaeoszlást mutat. A β -spektrum felső határa (E_{\max}) azon esetnek felel meg, amikor a teljes energiát az elektron viszi el. Meg kell jegyezni, hogy a β -bomlás során a leányelem (a végmag) gyakran gerjesztett állapotú, ekkor az elektron kibocsátását egy γ -kvantum emissziója követi.

Ha a β -részecskék anyagon haladnak keresztül, energiájuk lecsökken. A gyengülés három alapvető kölcsönhatás eredménye: a β -részecskék ionizálják vagy gerjesztik a közeg atomjait (ionizációs veszteség), rugalmas szóródást szenvednek a közeg atommagjain, illetve atomi elektronjain (Coulomb-veszteség), nagyobb energiáknál fékezési sugárzás révén kisugározzák energiájukat (radiációs veszteség).

A hatótávolság az az anyagvastagság, amely ahhoz szükséges, hogy az anyagréteg felületére merőlegesen beeső részecskék teljesen lefékeződjenek.¹

Ha az abszorbens vastagságának függvényében ábrázoljuk az abszorbensen áthaladt β -részecskék számának a beesők számához viszonyított arányát, az ún. transzmissziós görbét kapjuk. A β -sugárzás intenzitásváltozására közelítőleg az

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

összefüggés írható fel, ahol I_0 , illetve I a sugárzás intenzitása az anyagon való áthaladás előtt és után, x az abszorbens rétegvastagsága [hosszúság], μ a lineáris abszorpciók együttható [hosszúság⁻¹].

Tapasztalat szerint kis rendszámú ($Z \leq 13$) elemeknél a μ lineáris abszorpciók együttható arányosnak tekinthető az abszorbeáló közeg ρ sűrűségével. Ebből adódóan célszerű a kettő hányadosával számolni:

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho},$$

amelynek neve tömegabszorpciók együttható, mértékegysége m²/kg. A tömegabszorpciók együttható közelítőleg független az abszorbens anyagi minőségétől. Ez szigorúan nem érvényes, de sok esetben a számításoknál megengedhető feltételezés, mivel a $Z \leq 13$ rendszámú elemeknél a tapasztalat szerint

$$\mu' \approx \frac{35Z}{M_A E_{\max}^{-1,14}},$$

ahol a rendszám körülbelül a tömegszám fele:

$$Z/M_A \propto 0,5,$$

ahol M_A az abszorbens relatív atomtömege. A $Z \geq 14$ esetben

$$\mu' \approx \frac{7,7Z^{0,31}}{E_{\max}^{-1,14}}$$

azaz nagyobb rendszámú elemeknél már nem tekinthetünk el a rendszámfüggéstől (az anyagi minőségtől). A tömegabszorpciók együttható segítségével definiálhatjuk az elnyelő közeg felületi sűrűségét:

$$x' := \rho x,$$

ekkor

$$\mu \rho = \mu' \rho',$$

vagyis az elnyelési egyenlet

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu' x'}$$

alakba írható. A sugárzás intenzitása exponenciálisan csökken. Az $\ln(I/I_0) = -x$ (vagy $-x'$) egyenes meredekségéből a μ (vagy μ') abszorpciókoefficiens meghatározható. A meredekségből a felezési rétegvastagság egyszerűen számítható:

$$d_{1/2} = \frac{0,693}{\mu},$$

$$d'_{1/2} = \frac{0,693}{\mu'}.$$

A valóságban a fenti egyenlet sohasem írja le pontosan a viszonyokat, az $\ln(I/I_0) = -x$ ($-x'$) függvény nem egyenes, hanem a legtöbb esetben lefelé görbül. Ennek az a magyarázata, hogy az energia csökkenésével a fajlagos ionizáció nő, tehát a gyengülés rohamosabb. Sok esetben a görbe a hatótávolságnak megfelelő rétegvastagság közelében csaknem függőlegesbe megy át. Ilyen esetben a hatótávolság viszonylag pontosan meghatározható. Gyakran előfordul az az eset is, hogy a görbe vége a vízszintes felé hajlik. Ez a β -sugárzást kísérő, nagy áthatolóképességű γ -sugárzás jelenlétére utal.

¹Ez a mennyiség azon nehéz töltött részecskék esetén tekinthető meghatározottnak, amelyek pályája az anyagban egyenes. Ugyanakkor a mag Coulomb-terében való többszörös szóródás következtében az elektron útja az anyagban zegzugos. Az intenzív szóródás következménye, hogy az egyenlő kezdeti energiájú β -részecskék különböző mélységet érnek el. A fentiekből érthető, hogy az elektronok hatótávolsága a részecskék energiájának nem olyan egyértelmű függvénye, mint a nehéz töltött részecskéké.

11.2. A β -sugárzás maximális energiájának meghatározása

A β -részecskék maximális energiájának meghatározására a legpontosabb módszer a β -részecskék energiaspektrumának felvétele. Erre a célra különböző spektrométereket alkalmaznak. Ez a módszer azonban nagy pontosságú berendezéseket igényel, ezért azokban az esetekben, amikor E_{\max} igen pontos meghatározása nem követelmény, az abszorpciós módszert alkalmazzuk. Az abszorpciós együttható a sugárzás maximális energiájától függ. Alumíniumban különböző maximális energiájú β -sugárzókkal mérve $\mu' = \mu/\rho$ értékét, a (3) illetve a (4) egyenlet a következő egyszerűbb alakba írható:

$$\mu' = \mu/\rho = 17 \cdot E_{\max}^{-1,14}.$$

A D hatótávolság és a maximális energia között az alább felsorolt empirikus összefüggések állnak fenn: Az összefüggésekben az E_{\max} energia MeV-ban, a D hatótávolság g/cm^2 , a μ' tömegabszorpciós együttható

$D = \frac{2}{3}E_{\max}^{5/3},$	ha $E_{\max} < 0,2$
$D = 0,407E_{\max}^{1,38},$	ha $0,15 < E_{\max} < 0,82$
$D = 0,542E_{\max} - 0,133,$	ha $0,8 < E_{\max} < 1,0$
$D = 0,571E_{\max} - 0,161,$	ha $E_{\max} > 1,0$

cm^2/g egységben értendő. Az E_{\max} és D a radioaktív anyagra jellemző és nem függ az abszorbeáló anyag anyagi minőségétől ($Z \leq 13$). A $d = D/\rho$ a ρ sűrűségű (egysége g/cm^3) abszorbens cm -ben mért hatótávolságát adja. Az I. táblázatban néhány fontosabb β -sugárzó izotóp fontosabb paramétereit tüntettük fel.

Izotóp	Felezési idő (nap)	Maximális energia (MeV)
^{45}Ca	165	0,255
^{35}S	88	0,167
^{185}W	75	0,430
^{131}I	8,1	0,606
^{204}Tl	3,8 (év)	0,766

Az abszorpciós görbe felvételénél a β -részecskék számlálása szcintillációs számlálóval történik. A számláló egy mérőközegeből (scintillátor) és egy fotodetektorból áll: a beérkező elektronok felvillanásokat keltenek a szcintillátorban, amelyeket a fotodetektor elektromos jellé alakít. Ezt elektronikusan feldolgozva visszaalakíthatjuk beütésszámokká, amely megmutatja, hogy hány elektron keltett a közegben jól megfigyelhető felvillanásokat. A mérésnél az alumínium abszorbenseket két „vájattal” a preparátum fölé kell helyezni. A detektor kémelése érdekében a gyakorlat végén a legvastagabb fóliát kell elhelyezni a preparátum fölött két vájattal, és e fölött két vájattal egy második, mégpedig a második legvastagabb fóliát **A preparátumot a gyakorlat folyamán nem kell elmozdítani, az ólomtoronyból kivenni, különösen pedig megérinteni szigorúan tilos!**

11.3. Feladatok

Eszközök: 1 db ólomtorony, 1 db szcintillációs számláló, fóliasorozat

- Mérje meg a kiadott β -sugárzó preparátum intenzitását az Al-abszorbens rétegvastagságának függvényében! Két perc integrációs időt válasszon! (A bal felső panelen 120,00 másodpercet kell beállítani, a Time base = sec és a Preset = time beállítása mellett.)
- Linearizálva ábrázolja az intenzitást az abszorbens rétegvastagságának függvényében! Határozza meg az Al-abszorbens abszorpciós koefficiensét, és a felezési rétegvastagságát!

3. Határozza meg a kiadott preparátum β -sugárzásának tömegabszorpciós koefficiensét, maximális energiáját és D hatótávolságát!
4. D ismeretében számítsa ki a β részecskék hatótávolságát Al-ban és levegőben!