

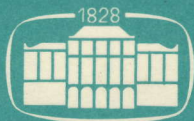
 **AZ ATOMENERGIA-
ÉS MAGKUTATÁS
ÚJABB EREDMÉNYEI**

VERES ÁRPÁD

**Magizomerek
gamma-aktivációja
és alkalmazásuk**

HORDÓSY GÁBOR-HREHUSS GYULA

A tokamak



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

Az atomenergia- és magkutatás
újabb eredményei

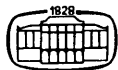
3. kötet

Szerkeszti

KOLTAY EDE

A szerkesztő bizottság tagjai

Berényi Dénes, Csikai Gyula, Csom Gyula, Gyimesi Zoltán,
Keszthelyi Lajos, Korecz László, Dörnyeiné Németh Judit,
Pócs Lajos, Szathmári Zoltán, Szabó Ferenc, Veres Árpád



Akadémiai Kiadó · Budapest 1984

Az atomenergia- és magkutatás újabb eredményei

3

Veres Árpád

Magizomerek gamma-aktivációja és alkalmazásuk

Hordósy Gábor—Hrehuss Gyula

A tokamak



Akadémiai Kiadó · Budapest 1984

Magizomerek gamma-aktivációja és alkalmazásuk

Veres Árpád

Ez a tanulmány a szerző „Gamma activation of nuclear isomers and its application” című, az Atomic Energy Review 18. kötetének 271—328. oldalain 1980-ban megjelent munkájának átdolgozott magyar nyelvű változata. Köszönetet mondunk a folyóirat kiadójának, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségnek azért, hogy a jelen tanulmány megjelentetéséhez hozzájárult.

1. Bevezetés	9
2. Izomergerjesztés rugalmatlanul szóródott gamma-sugarakkal	11
2.1 A hatáskeresztmetszet	11
2.2 Az aktivációs nívó energiájának mérése a spektrális fluxussűrűség kalibrálásával	16
2.3 Gamma-sugárforrások	20
3. A szórt spektrum számítása és mérése	28
3.1 A spektrális fluxussűrűség meghatározása	28
3.2 Kísérleti eljárások	32
4. Az értékelhető adatok áttekintése	39
4.1 A magizomerek hatáskeresztmetszete és aktivációs nívói	39
4.2 A mérhető legkisebb koncentráció	58
5. Alkalmazások	63
5.1 Gyakorlati alkalmazások	63
5.1.1 Nagy aktivitás és dózisintenzitás mérése	68
5.1.2 Nemesfémek meghatározása műkincsben, régiségben, pénzermében és ipari hulladékokban	69
5.1.3 Néhány elem meghatározása élelmiszerben és gyógyszerben	71
5.1.4 Atomerőművek fűtőelemei kiegészének vizsgálata	72
5.2 Forrátoom-kémiai alkalmazás	74
6. Következtetések	76
7. Irodalom	78

Az izomer állapottal rendelkező stabilis atommagok igen alkalmasak a γ -sugarak rugalmatlan rezonanciaszóródásának tanulmányozására, olyan esetekben, amelyeket (γ, γ') típusú reakcióval írhatunk le. Azokban a szóródási kísérletekben ugyanis, amelyekben az atommag egy olyan, az izomer állapotnál nagyobb energiájú nívóra gerjesztődik, amelyről van véges valószínűségű átmenet a metastabilis nívóra, nem lép fel zavaró háttérként az atomi elektronokon lejátszódó nem-rezonanciaszóródás. Sok hosszú felezési idejű magizomer a zárt héjakhoz közeli tartományban fordul elő, és így a kísérletileg kapott magadatok az egyrészcsekmodell minél jobb megalkotásához szolgáltathatnak hasznos információkat. Másrészt az a tény, hogy viszonylag kevés izomer állapot gerjeszthető megfelelő intenzitással, a gyakorlati alkalmazásnál igen nagy szelektivitást tesz lehetővé, és így alkalmas jól megválasztott egyéni sajátságokkal rendelkező problémák tanulmányozására és rutinszerű felhasználásra.

A magizomeria jelenségét és gyakorlati alkalmazhatóságát az irodalomban elektrongyorsítók folytonos energiaeloszlású fékezési γ -sugaraival [1–23] és a radioaktív bomlást kísérő monoenergiás γ -sugarak felhasználását lehetővé tevő zárt sugárforrásokkal vizsgálták [24–25]. A fékezési sugárzásos vizsgálatok során a „fotogerjesztés” és „fotoaktivációs analízis” kifejezést széleskörűen alkalmazzák. A monoenergiás γ -sugarakkal végzett vizsgálatok megkülönböztetése céljából mi a következőkben az izomergerjesztésre a „gamma-aktiváció” és „gamma-aktivációs analízis (GAA)” kifejezést használjuk.

A fotoaktivációs módszert izomer állapotok gerjesztésére először mintegy 40 évvel ezelőtt Pontecorvo és Lazard alkalmazta [1]. Ezután több mérést végeztek gyorsítók fékezési sugárzásával több

magizomer esetében annak eldöntésére, hogy fellép-e az effektus, és hogy meghatározzák az izomer állapot fölött elhelyezkedő bizonyos gerjesztett (aktivációs) nivók energiáját [2–6]. Lukens és munkatársai [7] a nemesgázok kivételével valamennyi magizomert megvizsgálták 1 mA-es, 3 MeV-os Van de Graaff-gyorsító fékezési sugaraival. Kaminishi és Kojima [9] 18 magizomert állított elő 20–100 mA-es elektrongyorsítóval, a 4–6 MeV energiátartományban (azaz a kötési energia értéke alatt), és tanulmányozta az aktivációs analitikai lehetőségeket is. Öt páros-páros atommagnál nem tudtak mérni izomeraktivitást.

A gyorsítóenergia növelésével a nagyobb energiátartományban (30–60 MeV) szintén végeztek vizsgálatokat. Az óriásrezonancia-tartományban a (γ, γ') típusú reakció mellett (γ, n) , (γ, p) stb. fotonukleáris reakciók is végbemennek, és így a gyakorlati felhasználás (főleg az aktivációs analízis) a vizsgálatok központjába került [8–23]. Mivel az itt említett cikkek között is számos jó összefoglaló értékelés található, a továbbiakban nem foglalkozunk a gyorsítók fékezési sugárzását használó izomeraktiválásos módszerekkel.

A fotoaktivációnál alig két évvel korábban, 1939-ben Goldhaber és munkatársai [24] próbálták először monoenergiás γ -sugarakat izomeraktiválásra használni, a 0,5 grammos ^{226}Ra γ -forrással azonban nem sikerült az indium izomerjeit kimutatni.

Másfél évtizeddel később teremtődött meg az ilyen vizsgálatok feltétele az atomreaktorban előállított mesterséges radioaktív izotópok nagy intenzitású, 100 TBq (2,7 kCi) nagyságrendű γ -sugárforrásai képében. Harbottle [25] a $^{115}\text{In}^m$ és $^{111}\text{Cd}^m$ izomer aktivitását mérte 3,7–66,6 TBq (100–1800 Ci) ^{60}Co és 48,1 TBq (1300 Ci) ^{182}Ta sugárforrással. A [25–58] irodalmi hivatkozásban az integrális és a primer γ -kvantumokra vonatkoztatott kísérleti hatáskeresztmetszeteket határozták meg, és néhány esetben más paraméterek becslését is elvégezték. Több gyakorlati alkalmazásra is tesznek javaslatot a szerzők, és várható, hogy e téren továbbfejlődés előtt állunk. A GAA módszer szelektivitása, gyorsasága és egyszerűsége ígéretessé teheti alkalmazását bizonyos jól megválasztott problémák vizsgálatára. A továbbiakban a mért nukleáris adatok összegyűjtése mellett a gyakorlati alkalmazás példáira helyezük a hangsúlyt.

2. Izomergerjesztés rugalmatlanul szóródott gamma-sugarakkal

2.1 A hatáskeresztmetszet

Az izomeraktiválás mechanizmusát az atommagok rezonanciafluoreszcenciájának elmélete alapján értelmezhetjük. A jelenség részletes leírását megtalálhatjuk Dzselepov [59] és Metzger [60] összefoglaló munkáiban. Ezeket összegezve egy E energiájú foton rezonanciafluoreszcens hatáskeresztmetszete, olyan szigorú feltétel mellett, amikor csak egy közvetlen átmenet létezik a gerjesztett nivóról az alapállapotba, az alábbi:

$$\sigma_0(E) = \pi \lambda^2 \frac{2I_1 + 1}{2(2I_0 + 1)} \frac{\Gamma^2}{(E - E_r)^2 + \frac{1}{4} \Gamma^2}, \quad (1)$$

ahol I_1 a gerjesztett nivó és I_0 az alapállapot teljes impulzummomentuma, E_r a rezonancianívó energiája, λ a 2π -vel osztott hullámhossz és Γ a természetes nivószélesség. A nevezőben levő 2 szorzószám a foton lehetséges két független polarizációját jelzi.

Ha a gerjesztett nivóról az alapállapotba több átmenet létezik, akkor a gerjesztett nivó teljes szélességét a parciális nivószélességek összegével adhatjuk meg, azaz $\Gamma = \sum_i \Gamma_i$. Ekkor az i -edik átmenet hatáskeresztmetszete:

$$\sigma_i(E) = \pi \lambda^2 \frac{2I_1 + 1}{2(2I_0 + 1)} \frac{\Gamma_0 \Gamma_i}{(E - E_r)^2 + \frac{1}{4} \Gamma^2}, \quad (2)$$