

COMPORTAREA RADIAȚIILOR BETA ȘI GAMMA ÎN CÂMP MAGNETIC

Introducere

Nucleele atomice sunt formate din neutroni și protoni, particule care sunt denumite generic *nucleoni*. Între neutroni și protoni acționează forța nucleară tare, de rază scurtă, iar între protoni acționează simultan forța de repulsie Coulomb, mai slabă decât forța nucleară tare, dar de rază lungă. Cele două forțe acționează în sens opus, forța nucleară tare tinde să țină nucleonii legați, în timp ce interacțiunea Coulomb tinde să reducă energia de legătură a sistemului. Energia de legătură este energia necesară extracției unui nucleon (proton sau neutron) și îndepărtarea acestuia departe de raza de acțiune a forțelor nucleare. Datorită competiției între cele două forțe și a razelor lor de acțiune diferite, în nucleul atomic se stabilește o relație stransă între numărul de protoni Z și numărul de neutroni N necesari pentru a menține nucleul legat. Cu alte cuvinte, pentru un număr dat de protoni, există un număr optim de neutroni, astfel încât energia de legătură a nucleului este maximă. Existența perturbațiilor care apar în bilanțul dintre numărul de neutroni și protoni din nucleu conduce la instabilitatea nucleelor care se manifestă prin procesul de radioactivitate. Așadar radioactivitatea este fenomenul de emisie de radiații de către unele substanțe numite substanțe radioactive. Procesul constă în emisia a trei tipuri de radiații: α , β și γ , primele două fiind de natură corpusculară iar ultima de natură electromagnetică.

În prezent sunt cunoscute peste 3300 de nuclee naturale sau artificiale, dintre care sub 10% se află pe linia de stabilitate a hărții nucleelor. Asta înseamnă că o bună parte din nucleele cunoscute se afla fie într-o stare de dezechilibru izotopic (departe de un raport optim între neutroni și protoni), fie într-o configurație în care numărul mare de protoni duce nucleul pe un canal de dezintegrare în care "eliminarea" un cluster de nucleoni duce la creșterea semnificativă a energiei de legătură a nucleului. În ambele cazuri, tendința naturală a nucleelor de a-și maximiza energia de legătură duce la transformări capabile de emisia uneia sau mai multor particule, transformări numite dezintegrări.

Dezintegrarea α

Se observă experimental că nucleele cu un număr mare de protoni ($Z > 82$) au tendința de a elimina patru nucleoni legați, doi protoni și doi neutroni. Acești nucleoni se află la randul lor într-o stare puternic legată, și poartă denumirea de particulă alfa. Ca și compoziție, particula α este identică cu nucleul de heliu ${}^4_2\text{He}$. Procesul decurge după relația:



Datorită schimbării majore a compoziției nucleului inițial, procesul este considerat o dezintegrare - dezintegrarea α . În urma dezintegrării este eliberată o cantitate de energie, numită "caldură de reacție" Q , energie ce este împărțită între nucleul rezultat ${}^{A-4}_{Z-2} Y$ și particula α conform legilor de conservare a energiei și a impulsului. Asta face ca particula alfa să preia o cantitate fixă (cuantificată) de energie.

Dezintegrarea beta

În cazul în care raportul între numărul de neutroni și numărul de protoni din nucleu nu este cel optim, unul dintre nucleonii în exces se va transforma în celălalt având ca rezultat schimbarea identității nucleului, creșterea energiei de legătură a acestuia și eliminarea unor particule energetice. Dacă nucleul inițial este neutroexcedent, unul dintre neutroni se transformă într-un proton, un electron și un antineutrino electronic, conform relației:

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e \quad (2)$$

Protonul nou creat rămâne prins în nucleu, dar perechea electron-neutrino este eliminată din acesta. Această transformare poartă numele de dezintegrare “*beta minus*”, termenul “dezintegrare” sugerând din nou o schimbare radicală în compoziția nucleului inițial, iar termenul “minus” rezultând din sarcina electrică a electronului.

În cazul în care nucleul inițial este protonoexcedentar (sau altfel spus, neutronodeficient), unul dintre protoni se transformă într-un neutron, un antielectron (antiparticula electronului, numită și pozitron) și un neutrino electronic, conform relației:

$$p \rightarrow n + \bar{e} + \nu_e \quad (3)$$

Acest mod de transformare poartă numele de dezintegrare “*beta plus*”, după sarcina pozitronului. Neutronul nou creat rămâne legat de nucleu, iar perechea pozitron-neutrino este eliminată. Este evident din relațiile (2) și (3) că nucleul nou format păstrează același număr de masă A , dar își schimbă numărul atomic Z și cel neutronic N .

În urma dezintegrărilor (2) și (3), are loc o eliberare de energie ce este preluată sub formă de energie cinetică de către nucleul rezultat și perechea electron-antineutrino sau pozitron-neutrino, după caz. Energia de recul a nucleului este mică, așadar se poate considera că perechea $e + \bar{\nu}$ (sau $\bar{e} + \nu$) preia întreaga energie Q . Totuși, există un număr infinit de moduri în care nucleul final, e (sau \bar{e}) și $\bar{\nu}_e$ (sau ν_e) pot împărți energia cinetică între ele respectând regulile de conservare a impulsului; așadar electronii sau pozitronii observați au energii cuprinse între 0 și Q , iar spectrul lor este unul continuu.

Dezintegrarea gamma

Nucleul atomic este prin excelență un obiect cuantic, așadar modul în care el se comportă și interacționează cu restul universului este guvernat de legile mecanicii cuantice. El se poate afla pe starea sa fundamentală sau poate fi excitat pe unul dintre nivelele sale energetice. Dezexcitare acestuia se face prin emisiunea unuia sau mai multor fotoni de energii mari, ce variază de la 41,5 keV la cativa MeV în funcție de nucleu și de nivelele energetice implicate. Procesul de dezexcitare poate fi descris de:

$${}^A_Z X^* \rightarrow {}^A_Z X + \gamma \quad (4)$$

Datorită faptului că sunt implicate nivele de energie bine cuantificate, fotonii emiși au la rândul lor energie bine determinată, egală cu diferența de energie între cele două nivele. Fotonii emiși poartă numele colectiv de “*radiație gamma*”, iar procesul se numește “*dezintegrare gamma*”. Este important de menționat faptul că termenul de “dezintegrare” folosit este oarecum impropriu; după cum se observă din relația (4), compoziția nucleului rămâne neschimbată.

În urma dezintegrărilor α și β , nucleul rezultat se poate afla pe oricare din stările sale de excitare permise de mecanica cuantică. De fapt, experimental sunt foarte rare acele cazuri în care dezintegrările α sau β lasă nucleul fiică în starea sa fundamentală. Astfel, radiația gamma însoțește aproape mereu toate transformările suferite de nucleele atomice. Ca exemplu, se poate reda dezintegrarea beta minus a nucleului ${}^{60}_{27}\text{Co}$ în ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ prin relațiile (5-6), și reprezenta schematic în Figura 1:

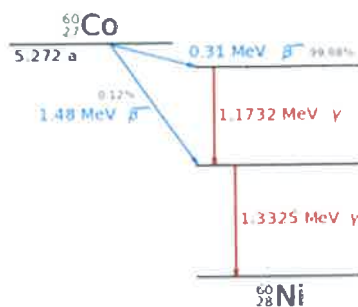
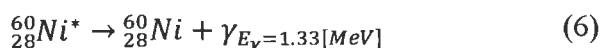
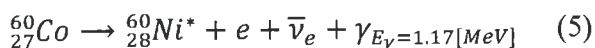


Fig. 1. Schema de dezintegrare a ${}^{60}_{27}\text{Co}$



Comportarea în câmp magnetic

În urma dezintegrării alfa și beta sunt emise particule energetice încărcate electric (nuclee de He , respectiv electroni/pozitroni), iar în urma dezintegrării gamma sunt produși fotoni energetici lipsiți de sarcină electrică.

În cazul particulelor încărcate, atunci când traiectoria acestora intersectează o regiune a spațiului străbătută de un câmp magnetic, asupra lor va acționa forța Lorentz:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (7)$$

Aceasta înseamnă că prin folosirea unui câmp magnetic se pot identifica cele trei tipuri de particule ca radiații purtătoare sau lipsite de sarcină, iar dintre cele purtătoare de sarcină se poate pune în evidență semnul sarcinii după direcția în care ele sunt deviate de câmpul magnetic.

Echipament necesar:

- 1) Detector de radiații Geiger-Mueller
- 2) Numărător
- 3) Suport pentru surse de radiații
- 4) Surse de radiații alfa, beta și gamma + straturi atenuatoare (daca este cazul)
- 5) Suport gradat
- 6) Magnet potcoava

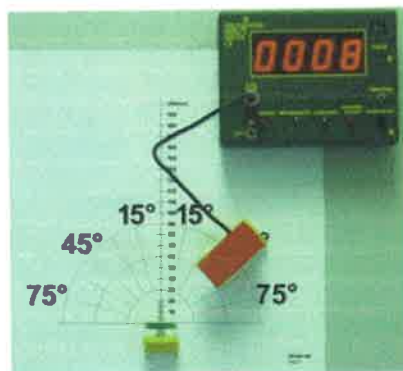


Fig.2: Aranjamentul experimental (exemplu)

Mersul lucrării

A) Determinarea fondului

1. Se fac un număr de $N = 10$ de măsurători F_1, F_2, \dots, F_N a câte 10s în absența oricărei surse radioactive și se calculează media acestora \bar{F} .

2. Se calculează deviația standard folosind formula: $\sigma_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})^2}{N-1}}$.

3. Se determină valoarea fondului ca $\bar{F} \pm \sigma_F$.

B) Determinarea profilului de emisie a unei surse gamma

1. Se fixează sursa radioactivă în suport și acesta se plasează în poziția indicată în Figura 2.
2. Se plasează detectorul Geiger-Muller la distanța $d = 60[mm]$ față de sursă și se notează poziția sa.
3. Se efectuează 10 măsurători a câte 10[s], se calculează valoarea medie $\bar{N}_{d,\theta}^i$, deviația standard $\sigma_{d,\theta}$, iar valorile se trec în Tabelul 2. Valoarea reală se calculează conform relației:

$$\bar{N}_{d,\theta} = \bar{N}_{d,\theta}^i - \bar{F} \pm \sqrt{\sigma_{d,\theta}^2 + \sigma_F^2}.$$

4. Se modifică poziția detectorului din 15° în 15° și se repetă punctul 3 până când sunt epuizate toate pozițiile de pe semicerc.
5. Se reprezintă grafic profilul emisie sursei gamma, în absența câmpului magnetic, ca în Figura 3.

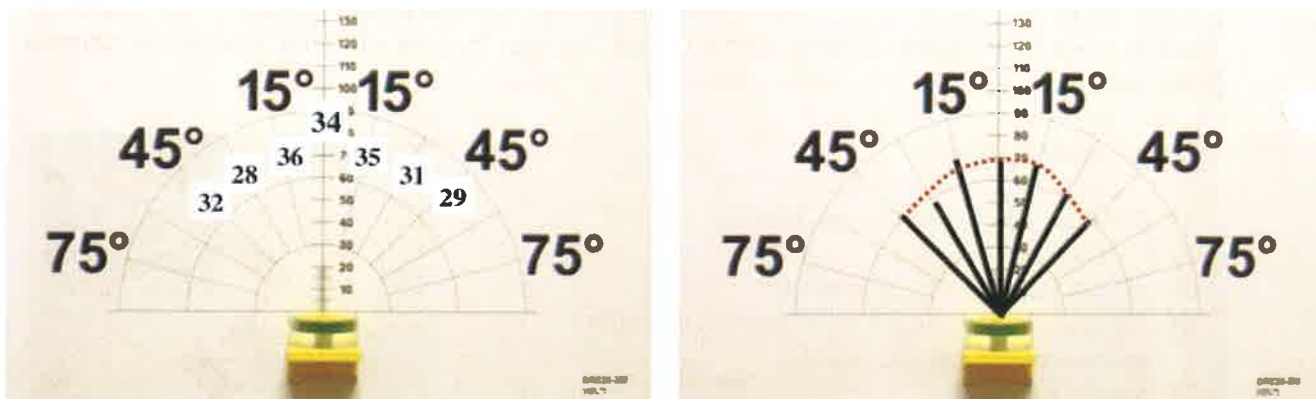


Fig. 3: Exemple de reprezentare a profilului de emisie a unei surse de radiații gamma.

C) Determinarea profilului emisiei unei surse gamma în prezența unui câmp magnetic

1. Se repetă mersul lucrării de la punctul B), dar în prezența unui câmp magnetic.

D) Determinarea profilului emisiei unei surse beta în absența și în prezența unui câmp magnetic

1. Se repetă mersul lucrării de la punctul B), respective C), dar pentru o sursa beta, in absența și în prezența unui câmp magnetic.

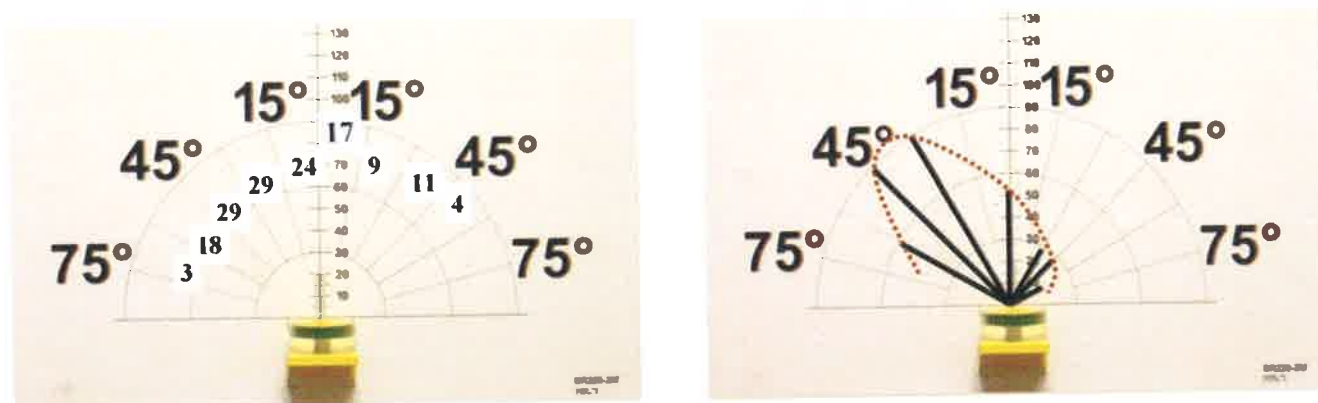


Fig. 3: Exemple de reprezentare a profilului de emisie a unei surse de radiatii beta in prezenta unui camp magnetic.

<i>Nr. Crt.</i>	F_i	\bar{F}	$F_i - \bar{F}$	σ
1.				
2.				
...				

Tabelul 1: Valorile necesare determinarii fondului.

d [mm]	θ [grade]	N_i^+ [imp]	$\langle N^+ \rangle$ [imp]	σ_{N^+} [imp]	N_i^- [imp]	$\langle N^- \rangle$ [imp]	σ_{N^-} [imp]
	0						
	15						

Tabelul 1: Valorile necesare determinarii profilurilor de emisie.

