

SPECTROMETRIA RADIAȚIEI GAMMA/ VARIAȚIA COEFICIENTULUI DE ATENUARE PENTRU RADIAȚIA GAMMA CU ENERGIA

I. Spectrometria radiației gamma

(lucrare recomandată pentru studenții la licență, anul I sau anul II)

Scopul lucrării:

Inregistrarea, cu ajutorul unui analizor multicanal, a spectrelor de radiații emise de diferite surse radioactive, evaluarea energiilor de fotpeak și a rezoluției detectorului.

Principiul lucrării

Radiațiile gama au natură electromagnetică și frecvența foarte mare deci și energia lor este foarte mare, de ordinul megaelectronvolților. Ele rezultă în urma dezintegrărilor radioactive din nuclee excitate în reacții nucleare. Determinarea energiilor radiațiilor γ precum și a intensității lor (numărul de fotoni), constituie obiectul spectrometriei gama. Pentru o determinare eficientă a energiei radiațiilor emise și/sau a intensității lor este necesară cunoașterea modurilor de interacție a radiației γ cu substanța.

Principalele moduri în care radiația gamma interacționează cu materia sunt: **efectul fotoelectric intern, efectul Compton și producerea de perechi**. Alte interacții posibile sunt procesele de împrăștiere Rayleigh și Mie. Aceste interacții au diverse energii de prag și există anumite energii pentru care secțiunile eficace de interacție au valori mari pentru diferite materiale. Chiar dacă fotonii din fascicul au energie suficientă pentru a suferi orice tip de interacție nu toți fotonii suferă aceleași interacții. Acest lucru se petrece deoarece modul în care trebuie privită interacția fotonilor cu materia este unul statistic, probabilitatea de interacție fiind caracterizată cu ajutorul secțiunii eficace.

Efectul fotoelectric constă în scoaterea unui electron dintr-un atom atunci când acesta interacționează cu un foton. El este predominant la energii joase (mai mici decât 300 keV), motiv pentru care, în spectrograma specifică unei surse, acest efect produce un fotpeak localizat în zona primelor canale.

Efectul Compton constă în împrăștierea unui foton pe un electron liber sau aproape liber. El este predominant în zona energiilor medii (între 200keV și 2MeV) și este evidențiat în spectrograma sub forma unui peak foarte larg cu înălțime considerabil mai mică decât cea a fotipeak-ului (creasta Compton). Fotonii care interacționează prin împrăștiere Compton cu materialele din jurul detectorului sub un unghi foarte mare (peste 110° - 120°) vor da în spectrograma un varf numit peak de retroîmprăștiere.

Când un foton de energie mare (peste 1,022 MeV), interacționează cu un câmp electromagnetic intens, precum acela produs de un nucleu, energia sa poate fi convertită fie într-o pereche electron-pozitron. **Producerea de perechi** este un exemplu clasic al teoriei relativității a lui Einstein. Energia rămasă după proces se împarte între electron e^- și pozitron e^+ dar aceasta nu este împărțită în mod egal. Pozitronul primește un exces de energie deoarece asupra pozitronului acționează o forță de respingere din partea nucleului, iar electronul este încetinit. Și acest proces va genera în histograma un peak bine conturat,

localizat la capătul spectrului, în zona energiilor foarte înalte. Un exemplu de spectrograma este cea pentru ^{137}Cs prezentată în Fig.1

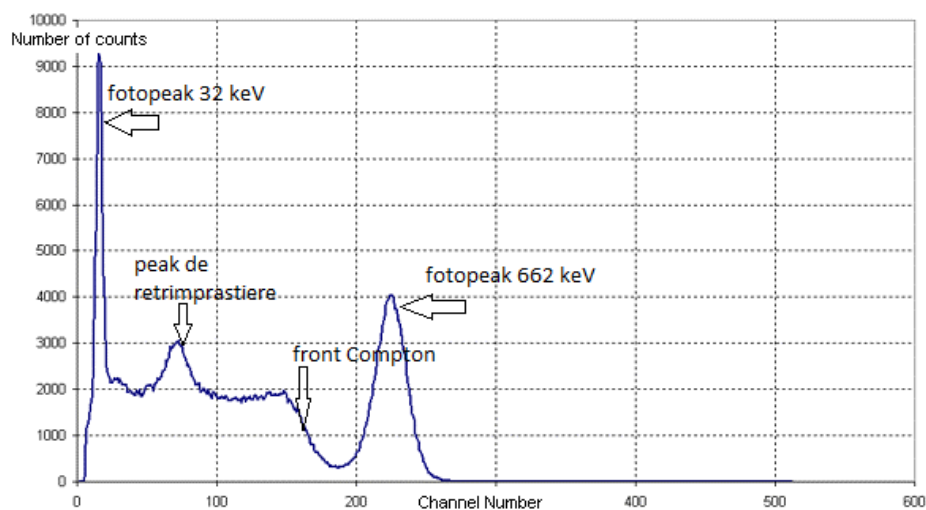


Fig.1 Spectrograma ^{137}Cs

Rezoluția unui detector reprezintă o măsură a capacității acestuia de a analiza două picuri foarte apropiate energetic. Parametrul utilizat pentru precizarea rezoluției unui detector este lărgimea totală a fotopicului (de energie totală) la jumătate din înălțimea maximă.

Dispozitivul experimental

Dispozitivul experimental (Fig.2) este alcătuit din: suport pentru sursa de radiații (A), detector cu scintilații (B), unitate de operare pentru detector (C), analizor multicanal (D) și computer pentru achiziția datelor și prelucrarea datelor.

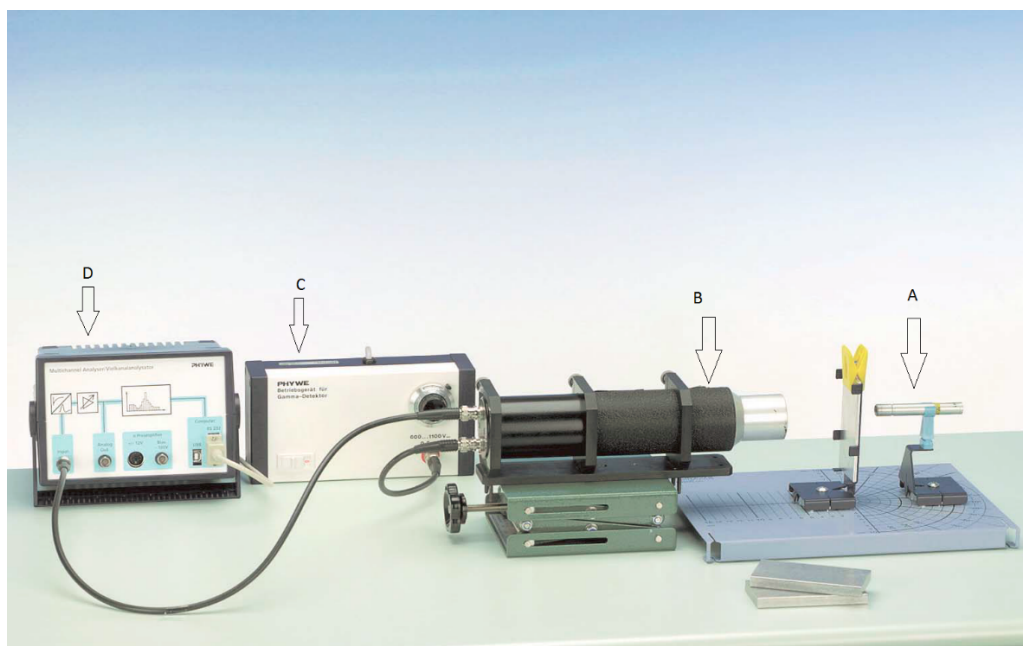


Fig. 2 Dispozitivul experimental.

Modul de lucru:

- Se alimentează lanțul spectrometric de la priză și se pun în funcțiune: calculatorul, sursa de înaltă tensiune pentru detector (aveți grijă să fie inițial pusă pe valoarea zero)
- Se pornește calculatorul, se intră în programul de măsurare PHYWE iar în fereastra deschisă se selectează opțiunea *Spectra recording* (Fig.3)

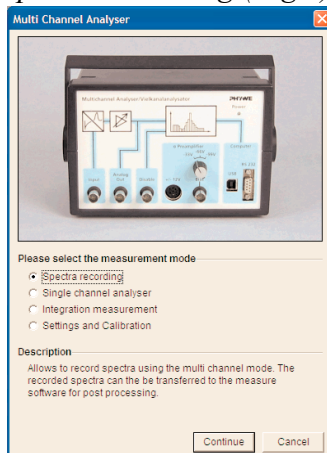


Fig.3 Fereastra de start pentru analizorul multicanal (MCA)

- În fereastra ce se deschide pe ecran, (Fig.4) se fixează amplificarea (Gain) pe valoarea 1 și se alege Channel number ca parametru pe axa Ox, se debifează comanda Start/Stop pentru a întrerupe înregistrarea și se resetează datele deja înregistrate.

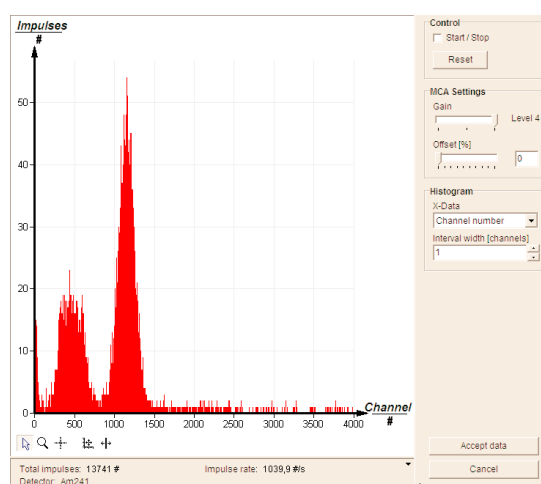


Fig. 4 Fereastră pentru înregistrarea unui spectru de radiații – Exemplu pentru ^{241}Am , cu amplificare 4

- Se fixează sursa de ^{137}Cs în suport la aproximativ 15 cm de detector și se pornește procesul de înregistrare în același timp cu cronometrul personal; se înregistrează spectrul de radiații timp de 3 min.
- Se salvează datele (dati click pe Accept data) iar spectrul înregistrat apare într-o altă fereastră cu mai multe opțiuni de prelucrare a datelor
- Se dă click pe iconita SMOOTH DATA (pentru a obține o formă mai netedă a spectrului înregistrat) și apoi pe peak analysis, pe ecran apare un tabel cu date

- Se identifică fotopeak-urile din spectrograma iar apoi se vor căuta în tabel valorile, $n_i(\text{onset})$, $n_f(\text{offset})$ și $n_{\text{centru}}(\text{maximum})$ pentru fiecare fotopeak. Datele se trec în Tabelul 1
- Se repetă procedeul pentru toate celelalte surse de radiații puse la dispoziție (^{241}Am , ^{22}Na și ^{60}Co)
- Spectrele pentru ^{137}Cs și ^{60}Co vor fi folosite pentru etalonare. În tabelul 1 sunt date energiile de fotopeak pentru aceste două surse. Cu ajutorul acestor date, și al valorilor n_{centru} obținute pentru cele patru fotopeak-uri, se va realiza graficul de etalonare $E_{\text{centru}} = f(n_{\text{centru}})$.
- Punctele obținute se fitează cu o dreaptă (folosiți programul OriginPro pentru reprezentare grafică și fitare) și se notează parametrii dreptei: *intercept* și *slope*.
- Se obține ecuația energiei în funcție de numărul de canal:

$$E_f = a + bn_{\text{med}}$$

unde $a = \text{intercept}$ și $b = \text{slope}$

- Se calculează și energiile de fotopeak pentru celelalte surse (americium și sodiu) și se compară valorile obținute cu cele rezultate din schemele de dezintegrare din Anexa 1
- Cu aceiași parametri a și b se calculează și energiile E_f și E_i corespunzătoare limitelor de lărgime ale fotopeak-urilor (n_f și n_i)
- Se calculează rezoluția energetică a detectorului cu ajutorul formulei

$$R = \frac{E_f - E_i}{E_{\text{centru}}}$$

Tabelul 1:

Sursă	Nr. fotopeak	n_{centru} (maximum)	E_{centru}	n_i (onset)	E_i	n_f (offset)	E_f	R
^{137}Cs	1		32					
	2		662					
^{60}Co	1		1173					
	2		1332					
^{22}Na								
^{241}Am								

II. Variația coeficientului de atenuare pentru radiația gamma cu energia (lucrare recomandată pentru studenții din anii mai mari sau pentru cei de la master)

Pentru această parte a lucrării, se va evalua coeficientul de atenuare a radiațiilor gamma provenite de la fiecare din cele șapte fotopeak-uri identificate anterior în aluminiu.

Legea de atenuare a intensității fascicolului gamma este

$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x)$$

unde I_0 reprezintă intensitatea fascicolului de radiații la intrarea în substanță ($x=0$), iar I este intensitatea fascicolului după traversarea stratului de grosime x . Coeficientul μ reprezintă inversul grosimii pentru care intensitatea fascicolului se reduce de e ori. Valoarea lui depinde de energia cuantelor γ , precum și de natura materialului atenuator

Modul de lucru

- Procedând la fel ca în prima parte a lucrării, se vor înregistra (pentru fiecare sursă în parte) spectrele obținute la trecerea radiației prin diferite grosimi de aluminiu (0 cm, 0.5 cm, 1.0 cm, 1.5 cm); *timpul alocat fiecărei măsurători este de 1 min*
- Din tabelul rezultat în urma analizei spectrului înregistrat, se vor nota, parametrii $Area$, n_i (onset), n (centru) și n_f (offset). Datele se trec în Tabelul 2
- Se calculează intensitatea radiației conform formulei

$$I(x) = \frac{Area}{n_f - n_i}$$

- Se reprezintă grafic funcțiile $\ln I = f(x)$ pentru fiecare fotopeak, se fitează fiecare dependență cu o dreaptă (Fig.5) și se calculează coeficienții de atenuare corespunzători

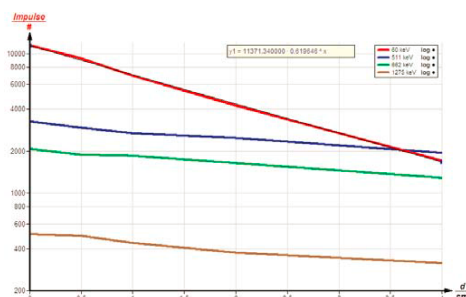


Fig.5 Variațiile $\ln I = f(x)$ pentru diferite energii de fotopeak ale radiației incidente

- Se reprezintă grafic coeficienții de atenuare obținuți în funcție de energie. Graficul obținut este similar celui din figura 6

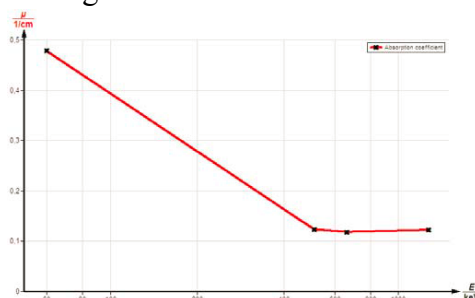


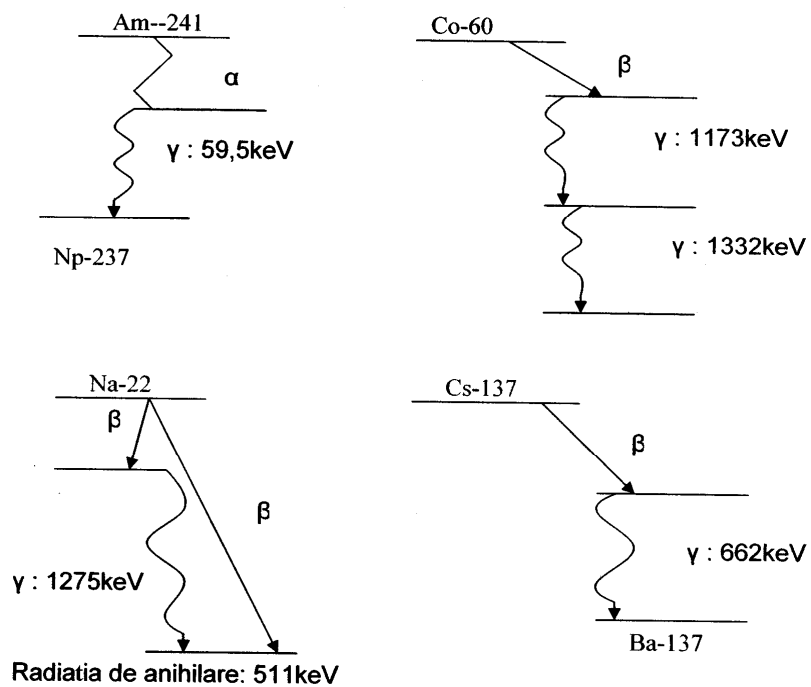
Fig. 6: Variația coeficientului de atenuare liniară cu energia radiației gamma

Tabelul 2:

sursa	Cs						Na						Co						Am		
E (keV)	32			662			511			1275			1172			1332			59.5		
x (cm)	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	
Area																					
n_i (onset)																					
n (centru)																					
n_j (offset)																					
I (imp)																					
$\ln I$																					
$\mu \pm \sigma_\mu$ (cm ⁻¹)																					

Anexa1:

Schemele de dezintegrare pentru sursele de radiații ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{22}Na și ^{60}Co :



sursa	Cs								Na								Co								Am			
E (keV)	32				662				511				1275				1172				1332				59.5			
x (cm)	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5
Area																												
n_i (onset)																												
n (centru)																												
n_f (offset)																												
I (imp)																												
$\ln I$																												
$\mu \pm \sigma_\mu$ (cm ⁻¹)																												