

SPECTROMETRIA RADIĂȚILOR GAMA FOLOSIND DETECTOR CU SCINTILAȚIE ȘI ANALIZOR MULTICANAL

1. Scopul lucrării.

Înregistrarea spectrelor energetice ale unor surse radioactive (^{241}Am , ^{60}Co , ^{22}Na și ^{137}Cs). Funcționarea unui lanț spectrometric. Calibrarea unui spectru energetic și identificarea caracteristicilor sale.

2. Teoria lucrării.

Radiațiile gama sunt de natură electromagnetică, cu frecvența foarte mare (deci și cu energii mari de ordinul keV sau MeV), care 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. Măsurătorile spectrometrice determină energia nivelelor nucleare excitate, a probabilității de tranziție și a naturii stărilor nucleare (paritate, spin, timp de viață). În aplicații industriale, măsurătorile prin spectrometrie gama pot identifica compoziția chimică a unei substanțe (identificând concentrații de ordinul $10^{-6} \div 10^{-9}$ procente – impurități în substanțe), utilizând analiza prin activare, datare radioactivă etc.

Determinarea energiei radiațiilor gama se bazează pe interacția lor cu un detector care produce un semnal proporțional cu energia radiațiilor detectate (detector Geiger - Müller proporțional), detector cu scintilație; detector cu semiconductori.

Detectorul cu scintilație, utilizat în această lucrare este compus dintr-un material scintilator (NaI(Tl)) și un fotomultiplicator (fig.1.). La interacția radiației gama cu cristalul de NaI(Tl), prin efect fotoelectric asupra atomilor de I (fiind cel mai probabil datorită numărului mare de electroni în comparație cu atomii de Na), se eliberează fotoelectroni cu energie proporțională cu energia radiațiilor gama.

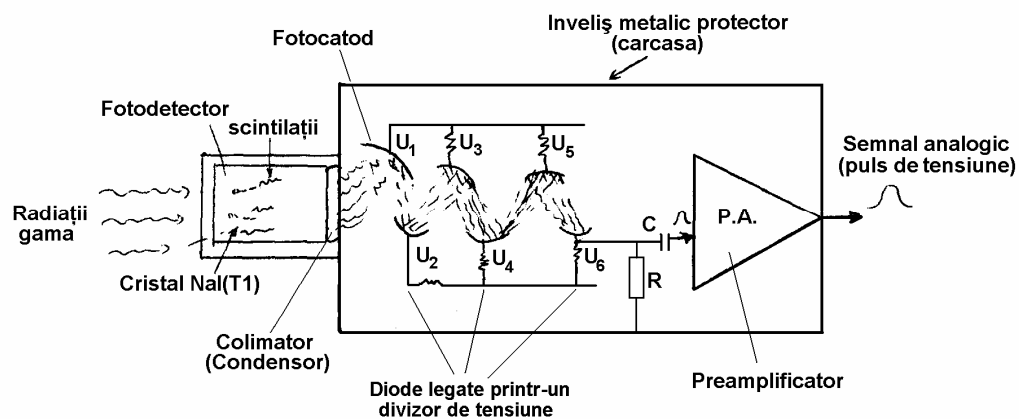


Fig.1. Detector cu scintilație.

Aceștia sunt frânați, prin interacție electrostatică cu învelișul electronic al atomilor de Na, care sunt aduși astfel în stare excitată, iar după un interval de timp foarte scurt (10^{-8} s) se dezexcită prin emisie de radiație luminoasă (scintilație) monocromatică (galbenă).

În acest mod numărul de scintilații, deci intensitatea luminoasă este proporțională cu energia fotoelectronilor, adică energia radiațiilor gama. Astfel, are loc conversia energiei radiației gama în energie luminoasă, care este colectată printr-un condensator, situat între cristalul de NaI(Tl) și fotomultiplicator, și focalizată pe un fotocatod al fotomultiplicatorului. În urma interacțiunii radiației luminoase (scintilațiile) cu fotocatodul se eliberează fotoelectroni, care suferă o multiplicare prin intermediul dinodelor, de ordinul $10^{+6} \div 10^8$ ori, prin emisie secundară și aceștia sunt colectați pe anod, în care se formează un puls de tensiune proporțional cu energia radiației gama. Astfel în fotomultiplicator are loc conversia energiei luminoase (scintilații) în puls de tensiune care este amplificat cu ajutorul unui preamplificator și semnalul (pulsul de tensiune) obținut este proporțional cu energia radiației gama, care este analizat cu ajutorul unui analizor multicanal.

Analizorul multicanal (MCA) este un dispozitiv electronic care permite selectarea unor variații foarte mici ale tensiunii impulsurilor primite de la detector și înregistrarea (numărarea) lor într-un canal corespunzător unui interval energetic ($E ; E + \Delta E$) a radiațiilor gama, astfel încât permite înregistrarea spectrului energetic al unei surse radioactive pe un număr de canale (256; 512; 1024 etc.). Detectorul, sursa de tensiune înaltă, analizorul multicanal și calculatorul, care înregistrează spectrul energetic, formează un lanț spectrometric.

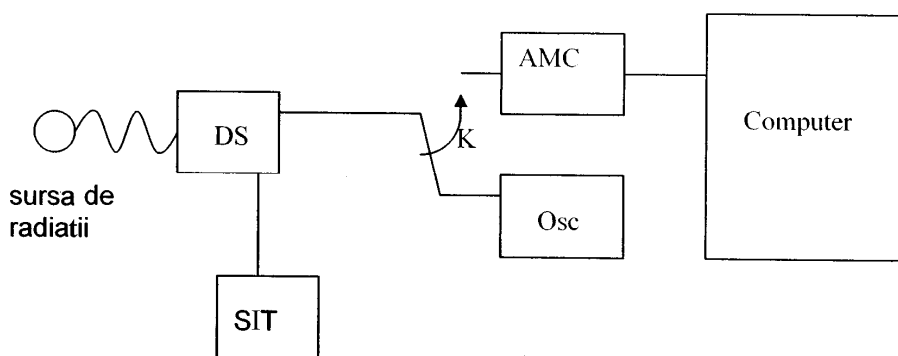


Fig. 2. Lanț spectrometric.

Alegerea lanțului spectrometric pentru măsurători prin spectrometrie gama se face ținând cont de caracteristicile detectorului (eficacitate, rezoluție și timpul de formare a impulsului) precum și de performanțele sistemului electronic de analiză și înregistrare a numărului de impulsuri pentru a atinge scopul propus.

Eficacitatea detectorului este determinată de raportul dintre intensitatea radiației incidente și intensitatea radiației detectate.

Rezoluția energetică este datorată procesului statistic de interacțiune pentru detectarea radiației și se exprimă prin măsura energetică a lărgimii fotopeak-ului la jumătatea înălțimii lui.

Timpul de formare a impulsului este determinat de intervalul de timp scurs de la interacția radiației până la formarea impulsului analog, proporțional cu energia radiației gama detectate (în cazul detectorului cu scintilație NaI (Tl) acesta este de ordinul sutelor de ns (timpul de frânare al fotoelectronilor, timpul de colectare a scintilațiilor + timpul de multiplicare prin procesul de emisie secundară etc.).

În afară de efectul fotoelectric, care are loc la interacția radiației gama cu atomii din cristalul de NaI(Tl), radiația gama mai poate interacționa prin efect Compton și formare de perechi electron-pozitron (dacă energia radiației gama >1,022 MeV). Reprezentând grafic numărul de impulsuri înregistrate în funcție de tensiune (canal), care este proporțional cu energia radiației detectate se obține spectrul radiației detectate de la o sursă de radiații gama. Acest spectru conține toate radiațiile gama ce rezultă din interacția radiației gama, provenită de la sursă și cristalul detector. Fotopick-ul este dat de interacția prin efect fotoelectric, apoi frontul (sau creasta) Compton determinat de interacția Compton, fotopick-ul determinat de generarea de perechi (0,511 MeV).

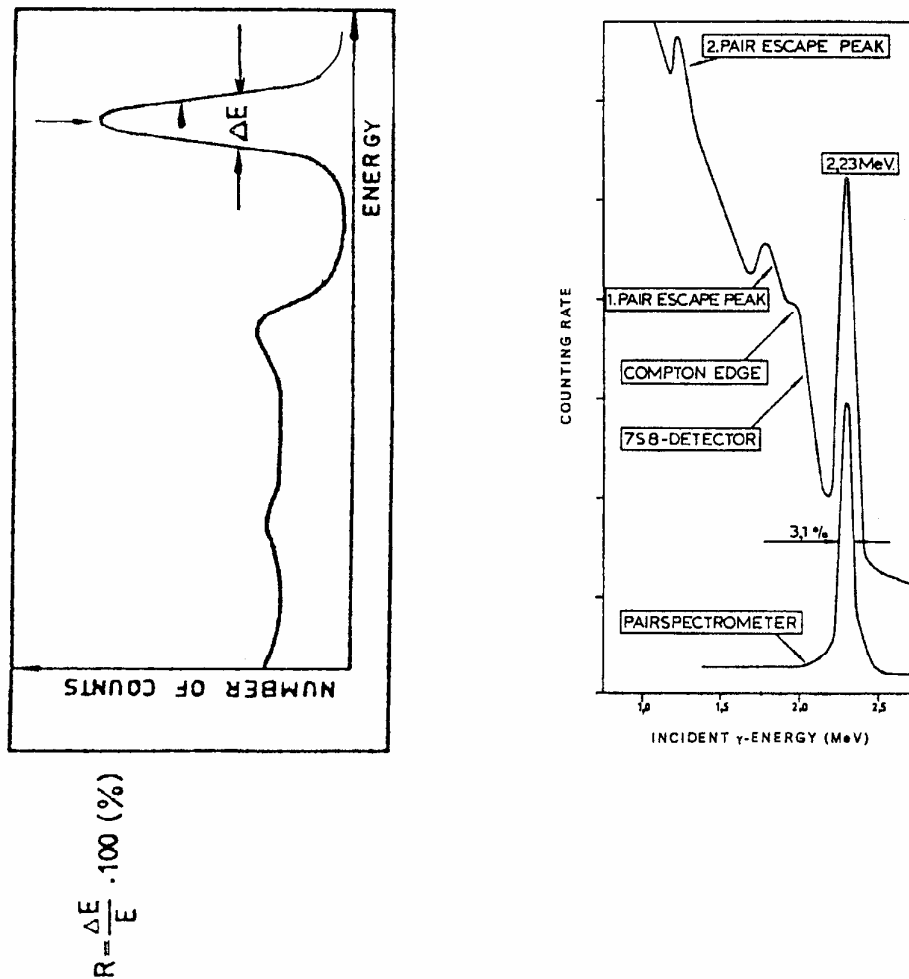


Fig. 3. Spectrul unei surse gama monoenergetice.

Energia electronilor în urma difuziei Compton este

$$E_e = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (1)$$

iar energia frontului Compton este

$$E_c^{(\max)} = \frac{E_\gamma^2}{2E_\gamma + m_0 c^2} \quad E_\gamma \text{ -energ. fotopea k} \quad E_r = E_\gamma - E_c \quad (2)$$

În urma difuziei Compton (formula (1)) apare peak-ul de retroîmprăștiere în spectrul γ obținut, iar energia frontului Compton se determină utilizând formula (2).

Cunoscând energia fotopeak-ului $y_1 = E_1 = 1332 \text{ keV}$ cu vârful în canalul $x_1 =$ număr canal cu cele mai multe impulsuri în fotopeak și energia $y_2 = E_2 = 662 \text{ keV}$ corespunzătoare sursei de ^{137}Cs cu vârful în $x_2 =$ număr canal corespunzător "fotopeakului", putem trasa o dreaptă:

$$y = m x + n \quad (3)$$

care reprezintă dreapta de calibrare energetică a detectorului.

Panta m reprezintă energia pe fiecare canal astfel încât putem determina rezoluția energetică

$$R = \frac{\Delta E}{E} \cdot 100\% \quad ; \quad \Delta E = m \cdot \Delta n \quad (4)$$

unde $\Delta E =$ [numărul de canale (lățimea fotopeak-ului) la jumătatea înălțimii fotopeak-ului]. m (panta dreptei).

Pe un domeniu larg de energii, 1 MeV , pot apare erori față de variația liniară a dreptei de calibrare energetică și se recomandă ca această calibrare să fie făcută pe intervale mici de energie ($< 300 \text{ keV}$).

În această lucrare din graficul spectrului de energie pentru o sursă de ^{60}Co , și pentru o sursă de ^{137}Cs , se determină dreapta de calibrare și rezoluția energetică.

3. Modul de lucru și interpretarea rezultatelor experimentale.

- Se verifică și se identifică dispozitivele care alcătuiesc lanțul spectrometric. Se asigură că sursa de tensiune înaltă este la 0. Semnalul de ieșire din detector, conectat la analizorul multicanal se introduce în osciloscop (se scoate cablul de la analizorul multicanal și se introduce în osciloscop). Se alimentează dispozitivele din lanțul spectrometric și osciloscopul și se crește încet tensiunea de la dispozitivul de tensiune înaltă, observându-se impulsurile și forma lor pe ecranul osciloscopului. Se crește tensiunea până la $0,65 \div 0,7 \text{ kV}$, când se observă că amplitudinea impulsurilor este "tăiată" (forma curbă din vârf devine dreaptă).

- Se scoate semnalul de la osciloscop și se introduce la analizorul multicanal, astfel încât lanțul spectrometric este funcțional, și se stabilește tensiunea înaltă la $0,67 \text{ kV}$.

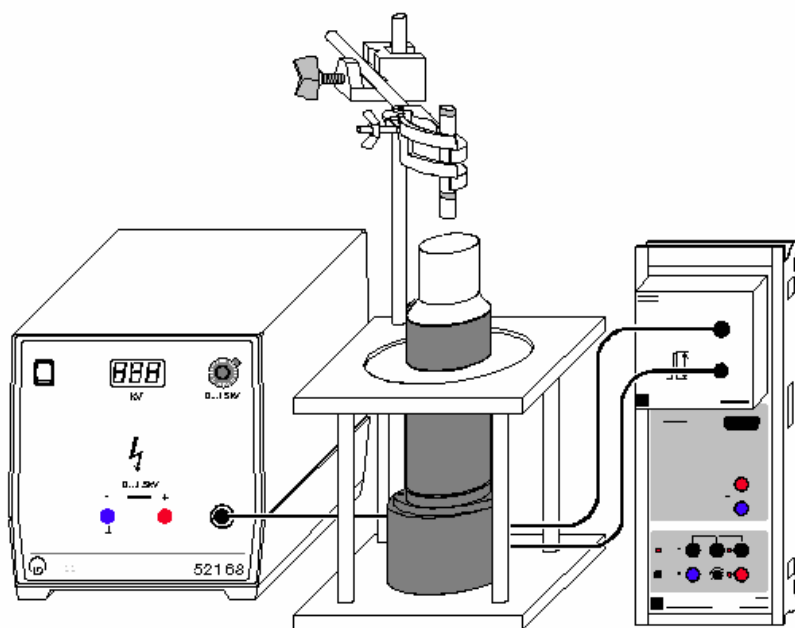


Fig. 4. Montajul experimental

- Se pornește calculatorul și se activează "LabFiz" (clic stânga). De pe ecran se alege programul 6551 (clic dublu pe stânga) și apare o fereastră "Settings". Se activează canalul de măsurare (butonul roșu) și se continuă în fereastra "Measuring Parameters" în care se face clic pe "Multichannel", apoi "New Spectrum" și "2048" (numărul de canale). Se stabilește timpul de măsurare (de exemplu 300 s) și se închid cele două ferestre. Acum se poate porni înregistrarea spectrului energetic al radiațiilor gama.

- Se înregistrează spectrul radiațiilor gama emise de ^{60}Co , ^{137}Cs și ^{22}Na . Pentru un timp de 600 s se înregistrează și spectrul energetic al radiațiilor gama din fondul natural.

Atenție! Utilizarea surselor radioactive se face numai pe timpul efectuării măsurătorilor, după care se predau cadrului didactic sau laborantei.

- Se completează următorul tabel:

$$\Delta E = m \cdot \Delta n \text{ sau } \Delta E = m' \cdot \Delta n \quad R = \frac{\Delta E}{E}$$

Radionuclid	Centru fotopeak	Energie fotopeak E (keV)	Rezoluție energetică			Front Compton		Peak de retroîmprăștiere	
			Δn	ΔE	R (%)	n	$E^{(\max)}$	n	E_r
^{60}Co		1172							
		1332							
^{137}Cs		662							
		32							
^{22}Na									
^{241}Am									

$y = mx + n$, $y = \text{energie}$; $x = \text{nr. canal}$

$$\left. \begin{array}{l} 1172 = mx_1 + n \\ 662 = mx_2 + n \end{array} \right\} \Rightarrow m, n = ? \qquad \left. \begin{array}{l} 662 = m'x'_1 + n' \\ 32 = m'x'_2 + n' \end{array} \right\} \Rightarrow m', n' = ?$$

4. Interpretarea rezultatelor măsurătorilor experimentale

Făcând clic pe dreapta apare pe ecran o fereastră care permite prelucrarea rezultatelor măsurătorilor experimentale și făcând clic pe "Other Evaluations" putem găsi centrul fotopeak-ului înregistrat, care este afișat jos în stânga. Cunoscând canalele corespunzătoare fotopeak-urilor putem face calibrarea energetică a spectrului și determinarea energiei fotopeak-urilor înregistrate de la alte surse sau din fond și le putem compara cu cele cunoscute (Fig. 5). Se calculează rezoluția energetică pentru fiecare peak din spectrele energetice înregistrate și se reprezintă grafic variația acesteia în funcție de energie. Se identifică caracteristicile spectrului energetic (fotopeak, front Compton, peak-ul de formare de perechi, peak-ul de retroîmprăștiere).

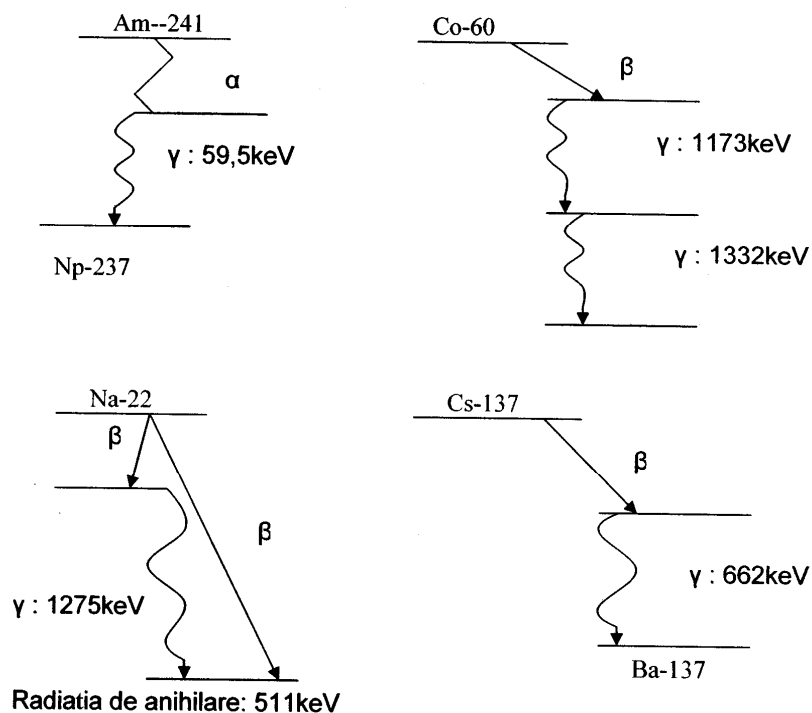


Fig. 5.

Referatul va cuprinde:

- calibrarea energetică utilizând energiile cunoscute emise de ^{137}Cs și ^{60}Co (662 keV și 1173 keV);
- calculul energiilor fotopeak-urilor rămase și se compară cu energiile cunoscute. Energiile corespunzătoare frontului Compton și peak-ului de retroîmprăștiere și se compară cu măsurătorile efectuate;
- calculul rezoluției energetice pentru fiecare fotopeak și reprezentarea grafică a lui R în funcție de energie.

5. Întrebări:

- a) Ce reprezintă un spectru și cum se realizează
- b) Ce este eficacitatea unui detector și cum se calculează
- c) Care sunt caracteristicile spectrului unei surse cu radiații de energie $> 1,5 \text{ MeV}$
- d) Cum se realizează calibrarea energetică a unui spectru
- e) Ce este rezoluția energetică și cum se calculează
- f) Descrieți un lanț spectrometric utilizat în spectrometria gama

**Osciloscop: A: 1 μs ; T_t: 0s
1 GSa**