

# Efectul Compton

## 1 Obiectul lucrarii

Verificarea experimentală a teoriei efectului Compton, de schimbare a lungimii de undă a fotonilor imprăștiati, în funcție de unghiul de imprăștiere folosind un spectrometru  $\gamma$  cu detector cu scintilații și o sursă  $\gamma$  de 661 KeV.

## 2 Principiul lucrarii

Efectul Compton constă în imprăștirea elastică a unui foton pe un electron cu schimbarea lungimii de undă a fotonului. În calculele teoretice se consideră electronul liber și în repaus.

Un foton având energia  $h\nu$ , impulsul  $h\nu/c$  și lungimea de undă  $\lambda$  interacționează cu un electron liber în repaus, conform legilor de conservare ale energiei și impulsului.

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2 \quad (1)$$

$$p^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2\frac{h\nu}{c} \cdot \frac{h\nu'}{c} \cos\theta \quad (2)$$

unde  $m_0c^2$  este energia de repaus a electronului,  $h\nu'$  energia fotonilor imprăștiati sub unghiul  $\theta$ ,  $mc^2$  energia totală a electronului imprăștiat, iar  $\vec{p}$  impulsul electronului după interacție.

Scotând din prima relație  $mc^2$  și din a doua relație  $p^2$  și introducându-le în relația relativistă dintre impuls și energie:

$$(mc^2)^2 = p^2c^2 + (m_0c^2)^2 \quad (3)$$

obținem

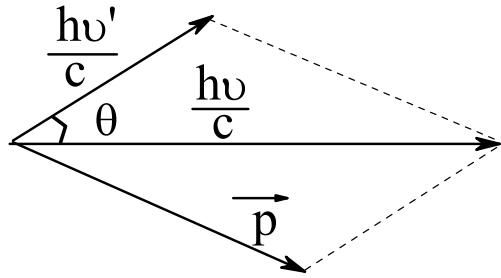


Figure 1: Diagrama impulsurilor

$$(h\nu + m_0 c^2 - h\nu')^2 = h^2 \nu^2 + h\nu'^2 + 2h^2 \cdot \nu \cdot \nu' \cos \theta + (m_0 c^2)^2 \quad (4)$$

De aici se poate calcula  $\nu'$  în funcție de  $\theta$  respectiv  $\lambda$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = f(\theta) \quad (5)$$

Rezulta creșterea lungimii de undă a fotonului imprăștiat

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad (6)$$

In prezentă lucrare se verifică justitatea relației de mai sus, măsurând schimbarea lungimii de undă  $\Delta\lambda$  la diferențele unghiuri.

### **3 Dispozitivul experimental**

Dispozitivul experimental este ilustrat în figura 2.

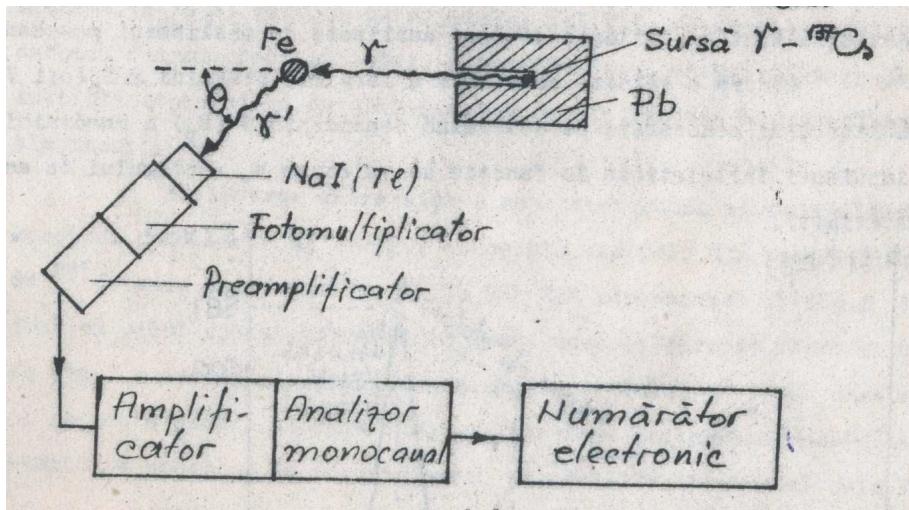


Figure 2: Dispozitiv experimental

Sursa radioactiva (S) de  $^{137}Cs$  de 5 mCi emite cuanta  $\gamma$  de  $E_\gamma = 661\text{KeV}$ , printr-un colimator de  $Pb$  spre o tinta cilindrica de  $Fe$ . Aceasta contine multi electroni foarte slab legati si cu energie destul de mica, incat pot fi considerati practic liberi si in repaus, in comparatie cu energia mult mai mare a radiatiei gamma incidente.

Energia  $E_{\gamma'}$  a fotonilor  $\gamma'$  imprastiasi Compton la diferite unghiuri  $\theta$  este determinata cu ajutorul unui lant spectrometric  $\gamma$  format dintr-un detector cu scintilatie, un amplificator analizator monocanal de impulsuri si dintr-un numarator electronic.

Variatia unghiulara theta se face prin deplasarea bratului mobil pe care este fixat detectorul, unghiul  $\theta$  putand fi citit pe un cerc gradat coaxial cu cilindrul de  $Fe$ .

In cristalul de  $NaI(Tl)$  al detectorului, cuanta  $\gamma'$  produce prin efect fotoelectric fotoelectroni de energie totala  $\approx E_{\gamma'}$  sau prin imprastiere Compton in atomii cristalului, electroni de recul. Energia dissipata in cristal se transforma parcial si foarte rapid ( in  $10^{-9}\text{s}$ ), in scintilatii luminoase, care apoi cu ajutorul fotomultiplicatorului se transforma in impulsuri de tensiune electrica  $U_d$  fiecare proportionala cu energia cuantei  $\gamma'$  detectata. Impulsurile  $U_d$  furnizate de sonda de detectie sunt amplificate si apoi analizate de analizatorul monocanal.

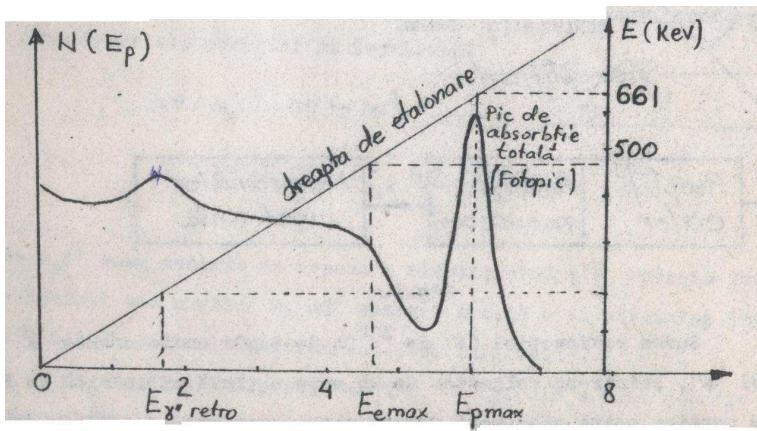


Figure 3: Spectrul de amplitudini ale impulsurilor furnizate de cunatele  $\gamma$  de 661 Kev intr-un detector de scintilatie de NaI(Tl)

Pentru o valoare constanta a largimii pragului  $\Delta E_p(0.1 V)$  a analizatorului monocanal, se determina dependenta  $N(E_p)$  a numarului de impulsuri inregistrate in functie de valoarea  $E_p$  a pragului de analiza (vezi figura 3).

Prima portiune corespunde electronilor Compton produsi de cuanta  $\gamma$  in cristal, iar picul din a doua portiune corespunde absorbtiei totale a energiei cuantelor  $\gamma$  in cristalul scintilator.

Picul de absorbtie totala se mai numeste si fotopic pentru ca la formarea lui contribuie cel putin un proces de absorbtie fotoelectrica a cuantelor  $\gamma$  detectate sau a cuantelor  $\gamma'$  imprastiate compton. In acelasi timp se observa ca prezena efectului fotoelectric nu produce decat un singur fotoelectron de energie  $E_\gamma - E_X$  urmat de o raza X caracteristica Iodului.  $E_X$  este energia de ionizare a paturii K (sau L). Numai prin detectia si a acestei raze X emise imediat dupa primul efect fotoelectric (tot printr-un efect fotoelectric produs de radiatia X) in cristal se disipa intreaga energie a cuantei  $\gamma$  initiale.

Pozitia pragului picului de absorbtie totala  $(E_p)_{max}$ , este proportionala cu: energia cuantelor  $\gamma$ , randamentul de escintilatii luminoase  $(n_s/E_\gamma)$  produse de cristal de NaI(Tl), de sensibilitatea fotocatodei fotomultiplicatorului, de coeficientul de amplificare al fotomultiplicatorului si de coeficientul de amplificare al amplificatorului electronic.

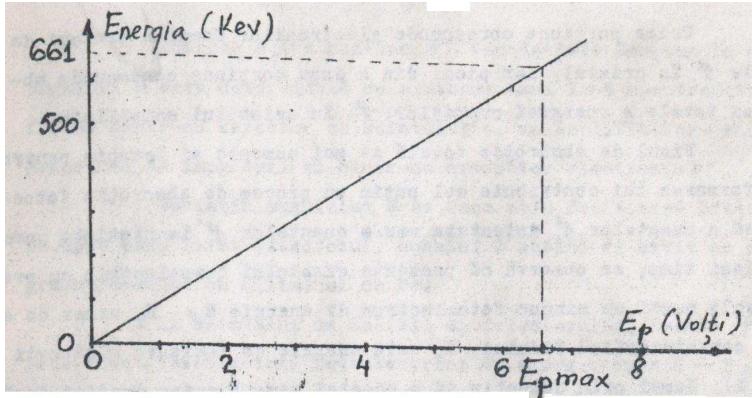


Figure 4: Dreapta de etalonare energetica. Pragului  $(E_p)_{max}$  ii corespunde energia de 661 KeV, iar pragului 0 ii corespunde energia 0 KeV

Etalonarea energetica a spectrometrului se face masurand spectrul unei surse de energie cunoscută. Astfel din spectrul sursei de  $^{137}Cs$  care emite cuantă gamma de 661 KeV reprezentat în figura 3 se deduce că picul apare la pragul  $(E_p)_{max}$  acesta permite reprezentarea în figura 4 a dreptei de etalonare a spectrometrului  $\gamma$ , din care apoi să se poată deduce energia cuantei detectate corespunzătoare oricărei pozitii a pragului de discriminare, cuprinsă în intervalul 0-10V.

Proportionalitatea dintre poziția picului de absorbtie totală (a fotopicului) și energia cuantelor gamma permite determinarea energiei cuantelor  $\gamma'$  pentru diferite unghiuri  $\theta$  și apoi calcularea lungimii

$$\lambda' = \frac{hc}{E_{\gamma'}} \quad (7)$$

## 4 Modul de luru

1. Se verifică conectarea la apărătoare a cordoanelor de alimentare de la rețea și a cablurilor de legătură dintre analizator și numărător.
2. Punerea în funcțiune a amplificatorului analizator monocanal Va-V-100 se face prin: conectarea tensiunii de alimentare de 220V prin punerea

comutatorului NETZ in pozitia EIN. Conectarea blocului de alimentare cu inalta tensiune prin apasarea pe butonului HOCHSPANNUNG indica prin aprinderea becului rosu; becul alb indica polaritatea negativa a tensiunii inalte care se aplica pe fotomultiplicator.

Rotind helipotul HOCHSPANNUNG se stabeleste tensiunea de 700 V. Comutoarele VERSTARKUNG stablesco coeficientul de amplificare pentru impulsurile venite de la detector. Legatura dintre coeficientul de amplificare exprimat in dB,  $K_{dB}$  si raportul  $K_a U_{iesire} / U_{intrare}$  este  $K_{dB} = 20 \cdot \log K_a$ .

Comutatorul POLARITATE se stabeleste in pozitia corespunzatoare polaritatii negative a impulsurilor  $U_d$  de intrare in amplificator.

Comutatoarele  $T_1$ ,  $T_2$  si TOTZEIT stablesco, duratele frontului impulsului, a cozii impulsului si a duratei impulsului, acestea toate fixandu-se pe pozitia  $1\mu$ .

Helipotul PEGEL determina nivelul  $E_p$  al pragului de discriminare. Potentiometrul LAUTSTARKE variaza intensitatea sonora a zgomotului produs de fiecare impuls Up de la iesirea analizatorului. In spatele apparatului, intrerupatorul AUTOMATIC trebuie sa fie pus in pozitia AUS.

3. Punerea in functiune a numaratorului electronic VA-G-120 se face prin : conectarea tensiunii de alimentare, comutarea NETZ pe EIN. Conectarea cronometrului electronic WIEDERHOLUNG pe EIN. Conectarea butonului ZEIBASIS la  $10^{-3}$ s si fixarea timpului de masura la ZEITVORWAHL la 10s. Comutatorul MESSABSTAND indica timpul dupa care este automat pornit numaratorul de la momentul pornirii anterioare. Comutatorul ANZEIGH se pune in pozitia IMP, iar KONTROLLE in AUS.
4. Stabilirea coeficientului de amplificare la VERSTARKUNG (30-40 dB) se face in asa fel incat pozitia picului la  $\theta = 0$  sa fie intre 6 si 8V a pragului de discriminare PEGEL.
5. Masurarea spectrelor radiatiilor  $\gamma'$  imprastiate la unghiuri de  $\theta = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$  si  $100^\circ$  grade se face variind pragul de discriminare din 0.2 in 0.2 V iar in jurul picului din 0.1 in 0.1 V.

## 5 Prelucrarea datelor

- Se etaloneaza analizatorul monocanal astfel: pe graficul spectrului de  $\theta = 0^\circ$  (figura 3) se traseaza dreapta care trece prin origine si punctul de coordonate  $x = (E_p)_{max}(\theta = 0^\circ)$  si  $y = 661\text{KeV}$ . Aceasta dreapta de etalonare permite, in continuare, determinarea directa a energiei cuantelor  $\gamma'$  in functie de diferitele pozitii  $(E_p)_{max}$  obtinute.
- Din reprezentarea grafica a spectrelor masurate se determina egergiile  $E_{\gamma'}$  pentru diferitele unghiuri  $\theta$  si se calculeaza datele conform urmatorului tabel:

$\theta^\circ$	$(E_p)_{max}$ (V)	$E_{\gamma'}$ (KeV)	$\lambda(10^{-2}\text{\AA})$	$\Delta\lambda(10^{-2}\text{\AA})$	$1 - \cos \theta$
0°					
20°					
40°					
60°					
100°					

- Se reprezinta grafic dependenta  $\Delta\lambda$  in functie de  $1 - \cos \theta$ . Prin punctele obtinute se traseaza o dreapta  $y = mx$ . Valoarea experimentală a pantei dreptei ( $m$ ) se compara cu cea teoretica:

$$m_{teor} = \frac{h}{m_0 c} \quad (8)$$

- Din spectrul obtinut la  $\theta = 0^\circ$  se va determina energia maxima  $(E_e)_{max}$  a electronilor Compton obtinuti in cristalul de NaI(Tl) prin imprastierea Compton a cuantelor  $\gamma'$  pe electronii liberi ai cristalului. Pozitia  $(E_e)_{max}$  corespunde punctului de panta maxima a portiunii spectrului electronilor de recul (figura 4). Din acelasi spectru se determina  $(E_{\gamma''})_{retro}$  a picului de retroimprastiere datorat cuantelor care neinteractionand initial cu detectorul au suferit imprastiere Compton de  $180^\circ$  si apoi au revenit in cristal fiind detectate. Valorile experimentale ale lui  $(E_e)_{max}$  si  $(E_{\gamma''})_{retro}$  vor fi comparate cu valorile lor obtinute din teoria efectului Compton

## 6 Probleme si intrebari

1. Sa se calculeze energia  $E_{\gamma'}$ , a cuantelor  $\gamma'$  imprastiate si energia  $E_e$  a electronilor de recul rezultati in fuctie de energia  $E_\gamma$  si unghiul  $\theta$  de imprastiere Compton.
2. Sa se explice de ce un spectrometru de scintilatii furnizeaza un spectru continuu de amplitudini la detectia cunatelor  $\gamma$  monoenergetice ( de 661 KeV in cazul  $\theta = 0^\circ$  al prezentei lucrari). sa se explice provenienta fiecarei portiuni a spectrului obtinut experimental.
3. Folosind aparatura utilizata si o placa de Fe de grosime cunoscuta, sa se descrie masuratorile si calculele care trebuie efectuate pentru a determina: a) Coeficientul liniar si coeficientul masic de interactie a cunatelor  $\gamma$  si sectiunea eficace corespunzatoare acestei interactiuni globale; b) Sectiunea diferentiala de imprastiere Compton presupunand ca acest efect este preponderent la aceste energii.
4. Sa se descrie calitativ felul in care este afectat spectrul spectrul masurat experimental de diferitele valori ale largimii pragului de discriminare  $\Delta E_p = 0.05; 0.2; 2; 5 V$ . Care este largimea optima?
5. Cum se schimba rezultatele experientei din prezenta lucrare daca in locul cilindrului de Fe este flosit un cilindru de carbon sau unu de Pb?
6. De cine si cum depinde pozitia piculu de absorbtie totala dintr-un spectru  $\gamma$  obtinut cu detector de scintilatie?
7. Cum se poate determina experimental timpul mediu dintre doua cunate  $\gamma$  detectate de instalatia utilizata?

$$h = 6.625 * 10^{-34} \text{ } j * s$$

$$1eV = 1.602 * 10^{-19} \text{ } j$$

$$m_0 = 9.1 * 10^{-31} \text{ } Kg$$

$$\cos 20^\circ = 0.940$$

$$\cos 40^\circ = 0.766$$

$$\cos 60^\circ = 0.500$$

$$\cos 80^\circ = 0.174$$

$$\cos 180^\circ = -0.174$$

## References

- [1] G.Semenescu, S.Rapeanu, T.Magda: **Fizica Atomica si Nucleara**, Ed.Tehnica, Bucuresti 1976,pag 35-38, 276-283.
- [2] K.N.Muhin, **Fizica nucleara experimentală**,vol.I *Fizica nucleului atomic*, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1981, pag. 335-341.
- [3] S.Muscalu, **Fizica Atomica**, Bucuresti 1977, pag. 61-69.
- [4] E.V.Sploski, **Fizica Atomica**,Ed.Tehnica, 1953, vol.II, pag.428; pag.462.