

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICĂ" DIN BUCUREȘTI
DEPARTAMENTUL DE FIZICĂ**

LABORATORUL BN 030

**DETERMINAREA ACTIVITĂȚII ABSOLUTE A UNEI
SURSE DE RADIAȚII PRIN METODA UNGHIULUI
SOLID
CUNOSCUȚ CU AJUTORUL
UNUI DETECTOR CU SCINTILAȚIE**

2016

DETERMINAREA ACTIVITĂȚII ABSOLUTE A UNEI SURSE DE RADIAȚII PRIN METODA UNGHIULUI SOLID CUNOSCUT CU AJUTORUL UNUI DETECTOR CU SCINTILAȚIE

1.Scopul lucrării. Determinarea activității absolute a unei surse de radiații prin metoda unghiului solid.

2. Teoria lucrării.

Detectoarele cu scintilație sunt alcătuite dintr-un cristal cu scintilație și un fotomultiplicator. Radiațiile nucleare incidente pe cristal, pătrund în interiorul acestuia și interacționează cu atomii provocând scurte emisii de lumină (scintilații). Aceste cuante de lumină cad pe fotocatodul detectorului care emite electroni prin efect fotoelectric. Electronii astfel produși sunt multiplicați cu ajutorul unui sistem de dinode și al unui preamplificator până la obținerea unui puls suficient de mare pentru a putea fi detectat cu ajutorul unui aparat de măsură și contorizat cu ajutorul unui numărător.

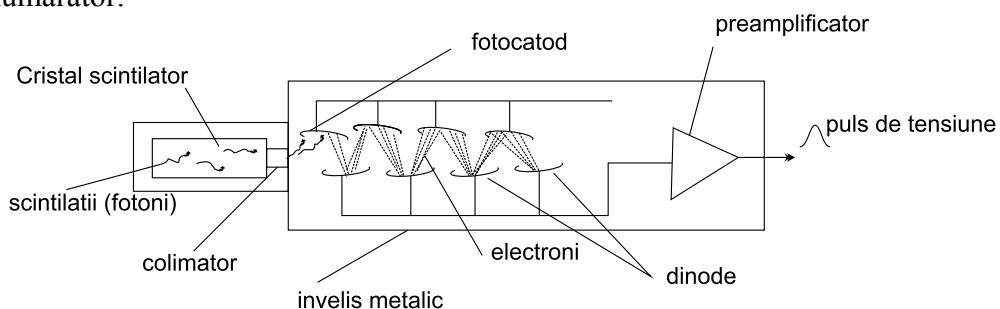


Fig.1 Detectorul cu scintilații

Legătura dintre activitatea Λ a unei surse radioactive și cadența n a unui detector de radiații cu scintilații, adică între numărul de dezintegrări produse în sursă în fiecare secundă și numărul de impulsuri înregistrate de detector în unitatea de timp, se poate scrie sub forma următoarei relații de proporționalitate :

$$n = g\Lambda \quad (1)$$

În această relație, g poartă numele de “factor de detectare” și se poate scrie:

$$g = \frac{\Omega}{4\pi} f \varepsilon S \quad (2)$$

unde:

$\frac{\Omega}{4\pi}$ reprezintă corecția de unghi solid, care arată ce fracțiune din intensitatea radiației emise este incidentă pe suprafața a detectorului

f este un factor de împrăștiere și atenuare care cuprinde : factorul de retroîmprăștiere al radiațiilor pe suportul sursei, factorul de corecție pentru autoabsorbția radiațiilor în însăși grosimea sursei de radiații, factorul de atenuare în aer pe distanța sursă – detector, factorul de atenuare al radiațiilor în peretele detectorului, un factor de atenuare datorat colimării fascicului, factorul de corecție datorat «acumulării» radiației în detector prin «împrăștieri» multiple; acest factor este aproximativ unitar $f \approx 1$

ε este eficacitatea detectorului care, pentru detectorul din laborator, este de 20% sau $\varepsilon = 0,2$

S este factorul de schemă care ne arată câte cuante (sau electroni etc.) se emit la o dezintegrare.

In cazul sursei de ^{60}Co acest factor este $S = 2$

Din (1) și (2) și ținând cont de aproximația făcută, rezultă ușor:

$$n = \frac{\Omega}{4\pi} \varepsilon S \Lambda \quad (3)$$

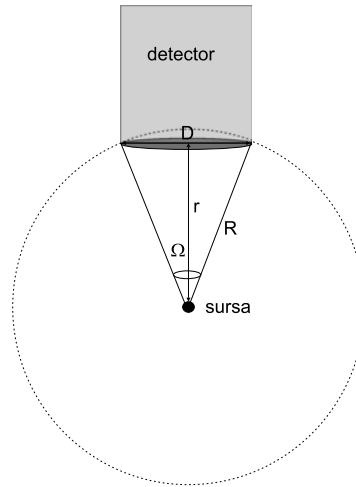


Fig.2 Corecția de unghi solid

Corecția de unghi solid este necesară deoarece detectorul inregistrează doar o parte din radiația emisă de sursă (vezi figura 2). Fereastra detectorului decupează o calotă în suprafața sferică de rază R ce înconjoară sursa. Conform definiției, unghiul solid reprezintă raportul dintre suprafața calotei și R^2 :

$$\Omega = \frac{\text{Aria calotei sferice}}{R^2} \quad (4)$$

Dar

$$\text{Aria calotei sferice} = 2\pi R(R - r) \quad (5)$$

unde

$$R^2 = (D/2)^2 + r^2 \quad (6)$$

Astfel obținem

$$\frac{\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{4 + (D/r)^2}} \quad (7)$$

unde r reprezintă distanța de la sursă la detector iar $D = 2\text{ cm}$ este diametrul detectorului.

Pentru simplificarea calculelor, putem simplifica expresia de mai sus fără a afecta rezultatele în mod semnificativ astfel:

$$\frac{\Omega}{4\pi} \approx \frac{D^2}{16r^2} \quad (8)$$

3. Dispozitivul experimental.

Pentru determinarea activității absolute a unei surse de radiații se folosește un detector cu scintilații conectat la un numărător digital de tip NUMEDIT 632. Detectorul este montat într-un suport la baza căruia se află un stativ cu tăviță mobilă (pentru sursă) ce poate fi așezată la diferite distanțe (r) față de detector. (Fig.3)

4. Modul de lucru.

METODA 1.

- Se înregistrează numărul de impulsuri efectuate la diferite distanțe, (r_1, r_2, r_3 etc.) față de detector și se notează datele obținute în Tabelul 1
- Timpul de măsură este de 600 s pentru radiația de fond și de 300 s pentru măsurătorile cu sursă
- Se execută graficul $n = f(r)$ de unde $n = \frac{\Delta N}{\Delta t}$. La intersecția graficului extrapolat cu axa ordonatelor se obține $n_{extrapolat}$, adică valoarea lui n pentru care $r = 0$. La limita $r \rightarrow 0$, suprafața detectorului expusă sursei va capta radiațiile din toată semisfera ce conține sursa,

$$\left(\text{adică } \frac{\Omega}{4\pi} \xrightarrow{r \rightarrow 0} \frac{\frac{1}{2} \cdot 4\pi}{4\pi} = \frac{1}{2}\right).$$

- Din ecuația (3) obținem activitatea absolută a sursei pentru acest unghi:

$$\Lambda = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot S \cdot n_{extrapolat}$$

- Se va efectua un calcul aproximativ al erorii cu care este determinată activitatea absolută prin această metodă.

Tabelul 1

r (cm)	t (s)	N (imp)	$\sigma_N = \sqrt{N}$	$n' = N/t$	$\sigma_{n'} = \frac{\sqrt{N}}{t}$	n''	$\sigma_{n''}$	$n = n'' - f$	σ_n
∞ (fond de radiații)									

METODA 2.

- Se înregistrează numărul de impulsuri efectuate la diferite distanțe, (r_1, r_2, r_3 etc.) față de detector și se notează datele obținute în Tabelul 2
- Timpul de măsură este de 600 s pentru radiația de fond și de 300 s pentru măsurătorile cu sursă
- Se calculează corecția de unghi solid cu ajutorul formulei (7) sau al formulei simplificate (8) și se trec datele tot în Tabelul 2
- Se reprezintă grafic $n = f\left(\frac{\Omega}{4\pi}\right)$
- Se calculează panta dreptei duse prin/printre punctele experimentale și se egalează rezultatul obținut cu produsul $\varepsilon S \Lambda$ (vezi relația (3)). Cu valorile $\varepsilon = 0,2$ și $S = 2$ se calculează valoarea activității absolute a sursei măsurate, $\Lambda = \frac{m}{\varepsilon \cdot S}$.

Metoda 1 generează mai multe erori, dar poate fi folosită pentru aprofundarea noțiunii de extrapolare grafică.

Tabelul 2

x (cm)	$\Omega/4\pi$	t (s)	N (imp)	$\sigma_N = \sqrt{N}$	$n' = N/t$	$\sigma_{n'} = \frac{\sqrt{N}}{t}$	n''	$\sigma_{n''}$	$n = n'' - f$	σ_n
∞ (fond de radiații)	0									

În tabelele de mai sus, n' este viteza de numărare în prezența fondului, n'' este viteza de numărare în prezența fondului corectată ținând cont de timpul mort al detectorului, iar n este viteza de numărare datorată sursei radioactive $n = n'' - f$.

Corecția de timp mort determină $n'' = \frac{n'}{1 - \tau \cdot n'}$ (unde $\tau = 10^{-6}$ s). Erorile de măsură sunt calculate

astfel: $\sigma_f = \frac{\sqrt{F}}{t}$, $\sigma_{n''} = \frac{\sigma_{n'}}{(1 - \tau n')^2}$, $\sigma_n = \sqrt{(\sigma_{n''})^2 + \sigma_f^2}$.

4. Se calculează panta dreptei duse prin/printre punctele experimentale și se egalează rezultatul obținut cu produsul $\varepsilon S \Lambda$ (vezi relația (4)). Cu valorile $\varepsilon = 0,2$ și $S = 2$ se calculează valoarea activității absolute a sursei măsurate, $\Lambda = \frac{m}{\varepsilon \cdot S}$. Metoda 1 generează mai multe erori, dar poate fi folosită pentru aprofundarea noțiunii de extrapolare grafică.

6. Întrebări.

- Definiți activitatea unei surse de radiații. Care este unitatea ei de măsură în S.I. ? Ce altă unitate de măsură se folosește în mod obișnuit pentru activitate radioactivă ?
- Ce sînt detectoarele cu scintilație ?
- Ce este un fotomultiplicator ?
- Ce sînt și la ce folosesc dinodele din tubul fotomultiplicatorului ?
- Ce înțelegeți prin «factorul de schemă» al unei dezintegrări radioactive ?
- Cu ajutorul unui detector cu raza de 1 cm aflat la o distanță de 1 m de o sursă radioactivă punctiformă se numără 5000 impulsuri în timpul de 5 min în prezența sursei și 1500 impulsuri în timpul de 10 min în absența sursei. Să se determine activitatea sursei. (Se dă $n = \varepsilon S \Lambda \cdot \frac{\Omega}{4\pi}$, unde $\varepsilon = 10\%$, $S = 3$)
- Cu ajutorul unui detector cu raza de 1 cm aflat la o distanță de 1 m de o sursă radioactivă punctiformă se numără 13000 impulsuri în timpul de 20 min iar la o distanță de 2 m de sursă se numără 4000 impulsuri în același timp. Să se determine activitatea sursei. (Se dă $n = \varepsilon S \Lambda \cdot \frac{\Omega}{4\pi}$, unde $\varepsilon = 10\%$, $S = 3$)

ANEXA : Structura și funcționarea unui detector cu scintilații

Detectoarele cu scintilație sunt alcătuite dintr-un cristal cu scintilație și un fotomultiplicator (vezi fig.2). Radiațiile nucleare incidente pe cristalul C, pătrund în cristal și interacționează cu atomii acestuia, provocând scurte emisii de lumină (scintilații). Intensitatea acestor scintilații, adică numărul de fotoni emiși de cristal pentru fiecare cantitate absorbită, este proporțională cu energia radiației incidente (mai precis cu energia absorbită de cristal de la radiația incidentă), ceea ce face ca detectorul cu scintilație să producă impulsuri având o amplitudine proporțională cu energia radiației incidente. Fotonii (cuantele de lumină) produși de cristalul scintilator intră în fotomultiplicator trecând prin ghidul de lumină G (care la unele tipuri de detector cu scintilație poate lipsi).

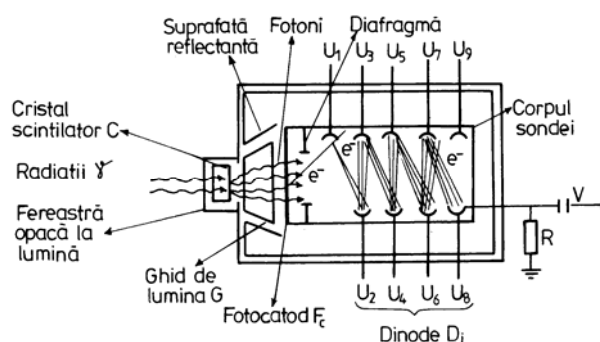


Fig. 2

Pentru a micșora pierderile, se caută să se adapteze optic trecerea de la cristal la fotocatodul fotomultiplicatorului. Fotomultiplicatorul este format dintr-un tub de sticlă vidat în care sunt montate: un fotocatod FC, mai mulți electrozi, numiți dinodă $D_1 \dots D_n$, care sunt conectați la tensiune succesiv crescătoare față de fotocatod și un anod A.

Sub acțiunea cuantelor de lumină (fotonilor) emise de cristalul scintilator, care cad pe fotocatod, fotocatodul emite electroni prin efect fotoelectric. Electronii sunt accelerați de prima dinodă D_1 și, căzând pe aceasta, scot din ea un număr de electroni secundari. Ajungând la dinoda următoare, fiecare electron, având o energie cinetică mare, smulge mai mulți electroni secundari care sunt mai departe accelerați spre dinoda următoare. Procesul de multiplicare se repetă la fiecare dinodă. Coeficientul de emisie secundară este supraunitar, astfel încât se produce o multiplicare a numărului de electroni de la o dinodă la alta și de aceea la anod ajung mai mulți electroni decât au fost emiși de fotocatod (multiplicarea totală este de ordinul $10^6 - 10^7$). Astfel, la ieșirea fotomultiplicatorului se obține un impuls de tensiune suficient de mare, cu toate că scintilația ce apare în cristal, ca urmare a interacțiunii cu radiația, este atât de slabă încât o celulă fotoelectrică obișnuită (fără multiplicare electronică) nu ar putea produce un semnal sesizabil la un instrument de măsură. Până la urmă, pe anod se obține un curent de electroni cu mult mai mare decât cel emis de fotocatod.

Pentru a evita distrugerea fotomultiplicatorului, detectorul este întotdeauna ecranat față de exterior. "Fereastra" prin care radiațiile ajung la cristalul scintilator este o foaie metalică opacă pentru lumină, dar transparentă pentru radiațiile detectate.

Detectorul cu scintilație este caracterizat printr-un timp de răspuns foarte scurt (circa 10^{-8} s) și o durată relativ mică a impulsului produs (circa 10^{-5} s). Natura cristalului scintilator utilizat depinde de tipul radiațiilor ce trebuie detectate. Astfel, pentru radiația γ se utilizează cristale de iodură de sodiu activată cu taliiu, pentru radiația β se folosesc scintilatoare organice (antracen, stilben), iar pentru radiația α se utilizează cristale subțiri de sulfură de zinc activată cu argint.