

UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI
CATEDRA DE FIZICĂ

LABORATORUL BN 030

DETERMINAREA ACTIVITĂȚII ABSOLUTE
A UNEI SURSE DE RADIAȚII
PRIN METODA UNGHIULUI SOLID CUNOSCUȚ

2009

DETERMINAREA ACTIVITĂȚII ABSOLUTE A UNEI SURSE DE RADIĂȚII PRIN METODA UNGHIULUI SOLID CUNOSCUT

1. Scopul lucrării

În lucrarea de față se determină viteza de dezintegrare a unei surse γ active, denumită și activitate absolută, cu ajutorul unui detector γ , cunoscând eficacitatea absolută a detectorului de radiații.

2. Teoria lucrării

Lucrarea se bazează pe relația de legătură dintre activitatea unei surse radioactive, viteza de numărare și eficacitatea detectorului de radiații folosit. Reamintim că:

Activitatea unei surse radioactive reprezintă numărul de dezintegrări care se produc în unitatea de timp în sursă: $\Lambda = \lim_{t \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|$, și se măsoară în dezintegrări /s sau (Becquerel, 1 Bq = 1 dez/s) sau în Curie (1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ dez/s).

Viteza de numărare este numărul de impulsuri înregistrate de numărător în unitatea de timp (se măsoară în imp/s).

Viteza de numărare ce se obține la măsurarea activității unei surse de radiație Λ este:

$$R = g \cdot \Lambda,$$

unde g este **factorul de detectare**, care depinde de geometria măsurării, de tipul și energia radiațiilor înregistrate, de tipul substanțelor străbătute de radiație pe drumul sursă - detector ș.a.m.d.; se obține astfel relația:

$$R = \Lambda S \frac{\Omega}{4\pi} f_{rs} f_{as} f_c \left[e^{-\mu x} B(\mu x) \right] \cdot e^{-\mu_p x_p} \cdot \varepsilon \cdot T \cdot k_t \quad (1)$$

unde

Ω - unghiul solid sub care sursa (presupusă punctiformă) "vede" partea activă (sensibilă la radiații) a detectorului.

ε - eficacitatea detectorului de radiații γ (raportul dintre numărul de particule înregistrate și numărul total de particule ce intră în detector).

f_{rs} - factorul de corecție pentru retroîmprăștierea radiațiilor de către suportul sursei

f_{as} - factorul de corecție pentru absorbția radiațiilor în însăși grosimea sursei

S - factorul schemă, adică probabilitatea de emisie a radiației respective (cuantă sau corpuscul) la o singură dezintegrare

f_c - factorul de colimare care depinde de geometria colimatorului, radiația fiind atenuată și difuzată de pereții acestuia.

Factorul $\left[e^{-\mu x} B(\mu x) \right]$ ține seama de atenuarea radiațiilor pe drumul de la sursă la detector ($e^{-\mu x}$) și de împrăștierile multiple care se produc, prin factorul de acumulare $B(\mu x)$ în diferitele materiale aflate pe parcursul sursă-detector.

$e^{-\mu x_p}$ - factorul de atenuare al peretelui detectorului; x_p este grosimea peretelui detectorului de radiații sau a protecției cristalului scintilator.

R - este viteza de numărare reală:

$$R = \frac{r}{1 - \tau r} - \frac{r_f}{1 - \tau r_f}; \quad (2)$$

r - este viteza de numărare observată (r fiind viteza de numărare în prezența sursei, iar r_f viteza de numărare în absența ei, datorată radiațiilor cosmice); τ este timpul mort al detectorului.

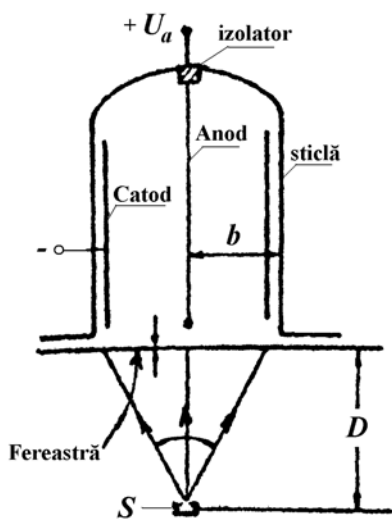


Fig. 1.

1) Pentru a afla valoarea corectă a vitezei de numărare, se va calcula R după formula (2), ținându-se deci seama și de fondul detectorului r_f și de timpul mort τ . De obicei un contor Geiger-Müller cu fereastră are $\tau = 100 \mu s$, iar un detector cu scintilație are $\tau \cong 1 \mu s$.

Pentru început, vom presupune că sursa punctiformă S emite la fiecare dezintegrare o singură particulă, dar numai o mică parte din particulele α, β sau fotonii γ ajung la detector. Reamintim că detectorul cu fereastră servește la detectarea radiației β , "fereastra" fiind o porțiune subțiată a peretelui detectorului, prin care pătrunde radiația β .

Calculul unghiului solid sub care sursa "vede" detectorul, se face cu ajutorul integralei:

$$\Omega_0 = \iint_S \frac{\bar{r} \cdot \bar{n}}{r^3} \cdot d\sigma$$

unde S - suprafața sferică de rază D , distanța sursă-detector; \bar{n} - versorul normalei la suprafață; \bar{r} - vectorul de poziție al elementului de arie.

Alegând deci punctul S ca originea axelor de coordonate, iar axele Ox și Oy astfel ca planul xOy să fie paralele cu sursa S și lucrând în coordonate cilindrice, obținem:

$$\frac{\Omega_0}{4\pi} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{b/2} d\rho \int_0^{2\pi} a\varphi \cdot \rho \cdot \frac{(\rho \cos \varphi \bar{i} + \rho \sin \varphi \bar{j} + D\bar{k}) \bar{k}}{(D^2 + \rho^2)^{3/2}} =$$

$$= \frac{D}{4\pi} \int_0^{b/2} d\rho \int_0^{2\pi} a\varphi \cdot \frac{\rho}{(D^2 + \rho^2)^{3/2}} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{b^2}{4D^2}}} \right], \quad (3)$$

unde b este diametrul ferestrei circulare a detectorului. Dacă sursa nu este punctiformă ci are forma unui disc cu diametrul d , expresia (3) trebuie multiplicată cu factorul de corecție

$$f_{\Omega} = \frac{8D^2}{d^2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{d^2}{4D^2}}} \right], \quad (4)$$

calculat în mod analog, deci

$$\frac{\Omega}{4\pi} = \frac{\Omega_0}{4\pi} f_{\Omega}. \quad (5)$$

2) Produsul $g_s = f_{rs} f_{as} f_c$ este un factor care depinde de natura sursei și de tipul suportului și colimatorului folosit, astfel:

a) f_{rs} este factorul de retroîmprăștiere pe suport al radiației sursei și are expresia:

$$f_{rs} = 1 + \rho.$$

$$\rho = \rho_{sat} (1 - e^{-2\mu x})$$

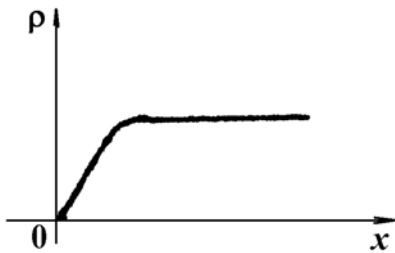


Fig. 2.

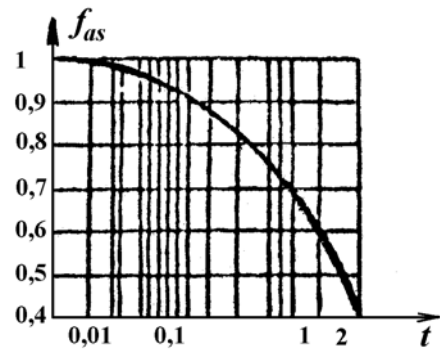


Fig. 3.

b) f_{as} este factorul de autoabsorbție al sursei. Sursa de radiații constând din mai multe straturi de substanță radioactivă, particulele emise de straturile inferioare fiind parțial absorbite de straturile superioare ale sursei. În ipoteza unei atenuări exponențiale, pentru radiațiile gamma $f_{as} = 1$, iar pentru radiațiile β :

$$f_{as} = \frac{1 - e^{-\mu t}}{\mu t}, \text{ unde } t \text{ este grosimea sursei.}$$

De obicei, sursele folosite în laborator sunt subțiri. De aceea, putem considera că $f_{as} \cong 1$.

Deci practic, vom lucra cu $g_s = f_{rs} f_{as} f_c \approx 1$.

3) $g_m = f_{at} \cdot B(\mu d)$ este un factor al produsului g , care depinde de mediul dintre sursă și detector, aici:

a) $f_{at} = e^{-\mu d}$ este factorul de atenuare al acestui mediu, μ fiind coeficientul liniar de absorbție al mediului străbătut (de regulă aer), iar d - distanța între sursă și detector. f_{at} poate fi calculat folosind tabelele sau graficele care ne dau fie μ , fie $\frac{\mu}{\rho}$ pentru diferite surse și pentru diferite medii de absorbție, ca de exemplu:

Tabelul 1

Radionuclidul	Co ⁶⁰	Cl ³⁶	P ³²	Co ⁶⁰	Ra ²²⁶
Tipul radiație	β	β	β	γ	γ
Energia [MeV]	0,306	0,714	1,71	1,71	0,184...2,198
$(\mu/\rho)_{aer}$ [cm ² /mg]	0,085	0,0225	0,007	$0,058 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
μ_{aer} [cm ⁻¹]	$1,095 \cdot 10^{-1}$	$2,90 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$

b) $B(\mu d)$ este factorul de acumulare, care exprimă raportul dintre intensitatea radiației ajunsă de la sursă la detector pe toate căile de trecere și intensitatea radiației ajunsă la detector numai pe cale directă. În aer $B(\mu d) \approx 1$.

4) De multe ori, la o dezintegrare nu se produce doar o singură cantă gamma, ci mai multe sau mai puține. Deci, ținând seama de acest lucru, activitatea echivalentă a sursei va rezulta în general mai mare sau mai mică decât dacă nu am ține seama de acest fapt. Pentru a-l descrie, s-a introdus aici factorul de schemă al dezintegrării, S .

Luând în considerare cuantele de energie W_j , viteza de numărare corespunzătoare acestora va fi: $R_j = g' s_j \Lambda$, unde g' înglobează toți factorii care, într-o primă aproximație, nu depind de energia radiației, iar s_j este factorul de schemă corespunzător cuantelor de energie E_j . Pentru o sursă care emite mai multe tipuri de cuante γ , numărul total de impulsuri înregistrate în unitatea de timp, va fi deci:

$$R = \sum R_j = s \Lambda,$$

unde s este factorul de schemă, care reprezintă numărul total de cuante, indiferent de energia lor, emise la o dezintegrare.

Factorul de schemă se deduce din schemele de dezintegrare, așa rezultă din următoarele exemple (Cesiu 134, Cobalt 60).

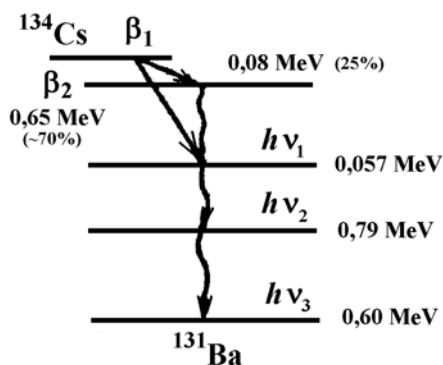


Fig. 4.

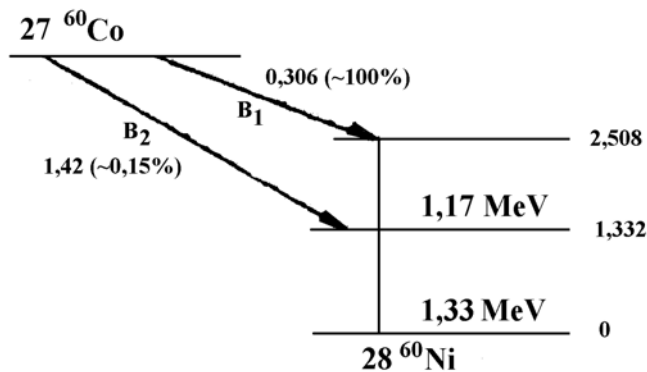


Fig. 5.

Observăm că la o singură dezintegrare a ^{134}Cs se vor emite însă mai multe cuante gamma, și anume 2,25 cuante la fiecare dezintegrare. În cazul cobaltului 60, avem:

$$s_{\beta} = 1; \quad s_{\gamma} = 2,$$

deoarece la o dezintegrare se produc două cuante gamma.

Pentru P^{23} : $s_{\beta} = 1$; $s_{\gamma} = 0$ (nu se emit radiații gamma), etc.

5) Factorul $g_d = \varepsilon T$ depinde de detectorul de radiații. Aici:

a) ε este eficacitatea detectorului, care exprimă raportul dintre numărul de impulsuri produse de detector. Acest parametru este dat în fișa detectorului.

Eficacitatea ε este subunitară, deoarece nu toate particulele ce intră în detector dau o ionizare eficientă pentru a se produce o descărcare electrică în gazul ce umple contorul. La detectoarele Geiger-Müller, eficacitatea pentru radiații gamma este de 1 ... 5%, iar pentru radiații β , $\varepsilon_{\beta} = 80\text{...}100\%$.

b) T este factorul de transmisie prin fereastră, respectiv prin peretele detectorului. Este de aceeași formă ca f_{at} :

$$T = e^{-\mu_p d_p}$$

unde μ_p este factorul de atenuare al peretelui; d_p este grosimea peretelui; ρ_p este densitatea superficială a ferestrei exprimată în g/cm^2 , un parametru indicat de obicei în fișa detectorului (1 ... 5 g/cm^2).

$\frac{\mu_p}{\rho_p}$ este coeficientul masic de absorbție.

Știind că $\frac{\mu_s}{\rho_s} = \frac{\mu_p}{\rho_p}$ (coeficientul masic de absorbție pentru o radiație de o anumită

energie, nu depinde practic de material), și folosind Tabelul 1 putem determina și acest coeficient (aproximativ).

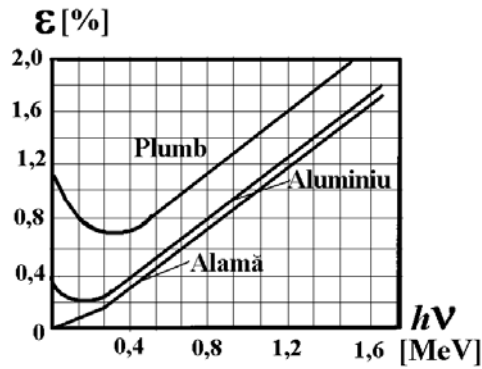


Fig. 6.

Luând deci în considerare aproximările făcute, formula $R = g s \Lambda$ devine:

$$R = \frac{\Omega}{4\pi} e^{-\mu d} e^{-\mu_p d} \rho_s \Lambda.$$

Analizând schema de dezintegrare (simplificată) a ^{134}Cs dată în figura 4, observăm că aici apar trei cuante gamma de energii:

$$E_{\gamma_1} = 0,57 \text{ MeV}; \quad E_{\gamma_2} = 0,79 \text{ MeV}; \quad E_{\gamma_3} = 0,60 \text{ MeV}.$$

În afara radiațiilor β și γ indicate, mai apar și alte radiații β și γ foarte slabe, de care putem să nu ținem seama. Din schema de dezintegrare, se vede că la fiecare dezintegrare se emite o cantă cu energia W_2 și una cu energia W_3 , indiferent dacă inițial s-au emis particulele β_1 sau β_2 . Deci, $S_2 = 1$; $S_3 = 1$.

De asemenea, $S_1 = 0,25$ deoarece cuanta E_{γ_1} apare numai în 25% din cazuri (rezultat experimental prealabil). Eficacitățile $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ se vor scoate din curbele din figura 6, folosind curba dată pentru alamă. Cu aceste precizări, formula $R = g s \Lambda$ transcrisă pentru activitatea ^{134}Cs , arată astfel:

$$\Lambda = \frac{R}{g} = \frac{4\pi}{\Omega} \frac{R}{0,25\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}.$$

În mod analog, în cazul ^{60}Co , $S_1 \cong S_2 \cong 1$; notând

$$S_1 \cong S_2 \cong 2, \quad \varepsilon = \frac{S_1\varepsilon_1 + S_2\varepsilon_2}{S} \cong \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$$

și avem:

$$\Lambda = \frac{4\pi}{\Omega} \frac{R}{\varepsilon S}. \quad (6)$$

Activitatea unui preparat radioactiv poate fi determinată și prin compararea cu activitatea unui preparat etalon, căruia i se atribuie, în mod convențional, activitatea unitate. Activitățile obținute în acest fel se numesc **activități relative**. Cunoașterea activității relative este suficientă pentru rezolvarea unui foarte mare număr de probleme practice. În aceste cazuri, știm numai de câte ori un preparat este mai activ decât altul, dar nu știm care este activitatea absolută.

3. Dispozitivul experimental și instrucțiunile de utilizare

Montajul cuprinde un detector cu scintilație conectat la un numărător electronic (NUMEPORT-632) și se folosește o sursă de radiații γ aflată într-un container de Pb.

Pe panoul frontal al numărătorului electronic se găsesc trei butoane (START, STOP, RESET); prin apăsarea butonului START se înregistrează numărul de impulsuri afișate în caseta COUNTS, iar timpul de înregistrare este afișat în secunde în caseta SECONDS. Comutatorul MODE trebuie să fie pe poziția NORMAL, comutatorul COUNTS să fie pe 2×10^5 , iar comutatorul SENSITIVITY pe o poziție corespunzătoare unei viteze mici de numărare (preferabil între $2 \div 4$). În timpul măsurătorii nu este permisă schimbarea poziției comutatorului SENSITIVITY. Se alimentează numărătorul electronic de la rețeaua de curent și se trece comutatorul POWER pe poziția ON. Apăsând pe butonul START numărătorul înregistrează și afișează numărul de impulsuri în timpul dat. Dacă se apasă butonul STOP se oprește înregistrarea și este afișat numărul de impulsuri în timpul considerat. Apăsând pe butonul RESET se șterge înregistrarea numărului de impulsuri și a timpului afișat.

4. Modul de lucru

Se înregistrează numărul de impulsuri detectate pentru fond (F) în timpul de 10 min ($t_f = 600 \text{ sec}$) și se determină viteza de numărare pentru fond:

$$n_f = \frac{F}{t_f} \text{ (imp/s);}$$

cum $\tau \cong 1 \mu\text{s}$, corecția de timp mort se poate neglija, iar eroarea de măsură corespunzătoare este:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{f}{t_f}} \text{ (imp/s).}$$

Se întocmește un tabel după modelul următor:

Tabelul 2

Distanța d (mm)	$\frac{\Omega}{4\pi}$	t (min)	Q (imp)	$q = Q/t$ (imp/min)	$r = q - f$ (imp/min)	$\sigma_r = \sqrt{\frac{q}{t} + \frac{f}{t_f}}$

Se așează sursa de radiații γ (^{60}Co) coaxial cu cristalul detectorului, se măsoară distanța d_i de la suprafața detectorului până la suprafața sursei radioactive și se înregistrează numărul de impulsuri Q într-un interval de timp convenabil ales.

Se completează tabelul prin calculele cerute pentru fiecare distanță d_i , calculându-se $\frac{\Omega}{4\pi}$ cu ajutorul relațiilor (3) ÷ (5).

5. Prelucrarea datelor experimentale

Se reprezintă grafic viteza de numărare (r_i) în funcție de $\frac{\Omega}{4\pi}$ notându-se pentru fiecare punct erorile ($r + \sigma_r, r - \sigma_r$). Graficul va fi o dreaptă ce trece prin origine, $r = \varepsilon S \Lambda \frac{\Omega}{4\pi}$, panta dreptei fiind $m = \frac{\Delta r}{\Delta \frac{\Omega}{4\pi}} = \varepsilon S \Lambda$. De aici se obține $\Lambda = \frac{m}{\varepsilon S}$, unde

$S = 2$ și $\varepsilon = 0,2$.

6. Utilizarea lucrării și aplicații în economie

Metoda poate fi folosită pentru determinarea activității absolute a unei surse în scopul construirii de instalații bine etalonate pentru utilizarea în industrie, în medicină, în metrologia radiațiilor, dozimetrie etc.

7. Întrebări

1. Ce este și din ce se compune un detector gamma ?
2. Ce aparate se folosesc în lucrarea de față ?
3. Ce este activitatea unei surse radioactive ?
4. Ce este viteza de numărare ?
5. Ce este activitatea relativă a unei surse radioactive ?
6. Ce este eficacitatea unui detector de radiații ?
7. Care sunt operațiile preliminare lucrării ?
8. Care este unghiul solid ? Cum se poate evita în această lucrare calculul acestuia ?
9. De ce este utilă reprezentarea grafică în scara logaritmică ?

8. Observații

În același scop poate fi folosită o instalație cu un detector Geiger-Müller. Cunoscând activitatea absolută a unei surse, am văzut că se poate determina eficacitatea absolută a unui detector sau alți parametri ai procesului de numărare, lucru care poate fi strict necesar în cazul proiectării anumitor instalații care folosesc surse de radiații.