

SPECTROSCOPIA RADIAȚIILOR BETA

Scopul lucrării:

Determinarea energiei maxime a radiațiilor beta.

Principiul lucrării:

Radiațiile beta sunt fascicule de electroni (β^-) sau pozitroni (β^+) provenite din nucleele atomilor radioactivi în urma proceselor de dezintegrare (dezintegrare beta).

Radiația β^- apare în interiorul nucleului ca urmare a unui proces de dezintegrare din nucleu, în urma căruia un neutron se transformă într-un proton (p) cu emisie de antineutrino ($\bar{\nu}$) și un electron (e^-) care este expulzat:



În mod similar, în urma dezintegrării β^+ , un proton se transformă într-un neutron, un neutrino și un pozitron care, deasemenea, este expulzat:



Spectrul energetic al radiațiilor beta este unul continuu, energia obținută în urma procesului de dezintegrare fiind împărțită între electron și antineutrino (sau pozitron și neutrino).

Energia maximă a radiației beta (E_{\max}) este de trei ori mai mare decât energia cea mai probabilă (E_h) care se poate determina experimental din dependența numărului de impulsuri înregistrate în funcție de energia cinetică a particulei beta (electron sau pozitron): $N = f(E)$ (Fig. 1).

$$E_{\max} = 3E_h \quad (3)$$

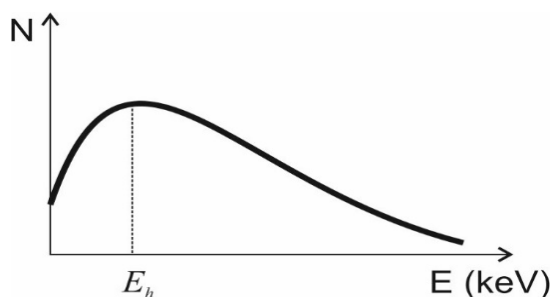


Fig. 1 Spectrul energetic al radiației beta

Deoarece, în cazul de față, particulele sunt deviate într-un câmp magnetic (de către forța Lorenz), o reprezentare corectă a dependenței $N = f(E)$ necesită studiul influenței acestui câmp asupra energiei cinetice a particulei.

Atunci când pătrund într-un câmp magnetic uniform, particulele încărcate cu sarcină electrică sunt supuse acțiunii forței Lorenz (f_L).

$$\vec{f}_L = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (3)$$

Unde $q = \pm 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ este sarcina particulei, B este inducția câmpului magnetic aplicat iar v este viteza particulei.

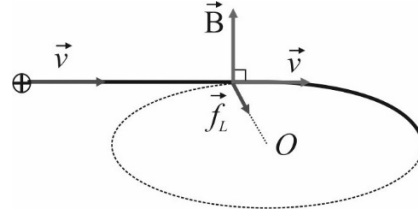


Fig.2: Acțiunea forței Lorentz asupra unei particule încărcate cu sarcină electrică

În cazul particular în care câmpul este perpendicular pe direcția de deplasare a particulei (fig. 2) modulul forței Lorentz este

$$f_L = q \cdot v \cdot B \quad (4)$$

Astfel, ea va imprima o accelerație normală ($a_{cp} = m \frac{v^2}{R}$) transformând traiectoria, initial rectilinie, a particulei într-una circulară. Aplicând principiul al doilea al mecanicii obținem:

$$f_L = m \frac{v^2}{R} \quad (5)$$

Unde m este masa particulei (electron sau pozitron) iar R este raza traiectoriei circulare. Din ecuațiile (4) și (5) putem calcula viteza particulei:

$$v = \frac{qRB}{m} \quad (6)$$

Particulele constitutive ale radiației β au viteze apropiate de cea a luminii, deci sunt particule relativiste a căror energie totală este

$$E_t^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4 \quad (7)$$

Unde $p = mv$ este impulsul lor iar c este viteza luminii

Se obține astfel energia totală a particulei:

$$E_t = \sqrt{(qRBc)^2 + m_0^2 c^4} \quad (8)$$

Iar energia ei cinetică:

$$E = \sqrt{(qRBc)^2 + m_0^2 c^4} - m_0 c^2 \quad (9)$$

Se observă că în expresia de mai sus apare și energia de repaus a particulei beta ($m_0 c^2$) care depinde doar de mărimi constante și cunoscute: masa electronului $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ și viteza luminii $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Transformand această energie în electronvolți, obținem

$m_0c^2 = 511\text{keV}$, deci putem exprima și energia cinetică a particulei în camp magnetic tot în keV după cum urmează:

$$E(\text{keV}) = \sqrt{(RBc/1000)^2 + 511^2} - 511 \quad (9')$$

Prin urmare, cunoscând valoarea câmpului magnetic aplicat, se poate calcula energia particulelor β și se poate trasa graficul $N = f(E)$.

Dispozitivul experimental

Pentru realizarea experimentului avem nevoie de un electromagnet (E), o sursă de tensiune (S), un suport inelar pentru detectorul de radiații (D), sursa radioactivă (SR) și sonda Hall (H), un numărător (N), un multimetru portabil (M) și un teslametru (T).

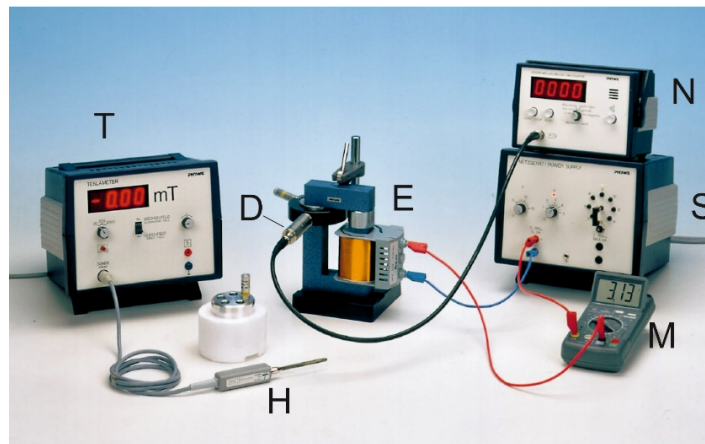


Fig. 3 Dispozitivul experimental

În Fig. 4 este prezentată schematic o secțiune prin suportul circular. Acțiunea câmpului magnetic asupra fascicului de particule beta produse de sursa de radiații (SR) va determina o curbare a traiectoriei acestora ghidându-le spre detector (D).

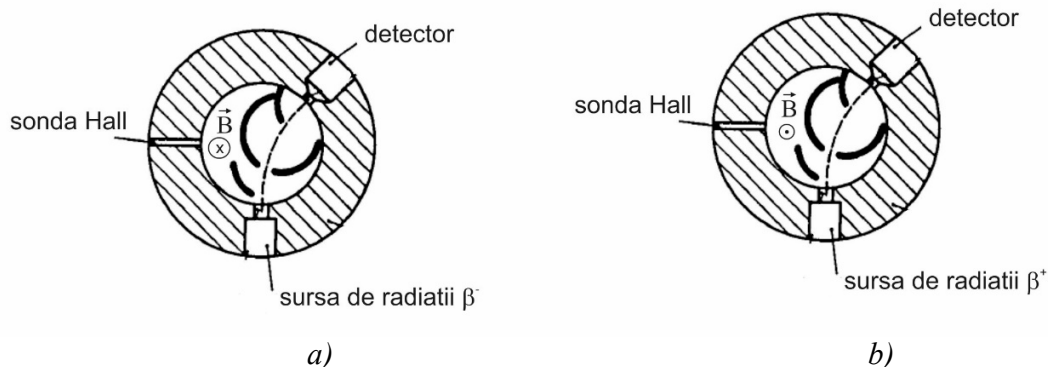


Fig. 4. Secțiune prin suportul circular: a) pentru ^{90}Sr (dezintegrare β^-), b) pentru ^{22}Na (dezintegrare β^+)

Modul de conectare a electromagnetului la sursa de tensiune depinde de sursa de radiații folosită. Dacă folosim sursa ^{90}Sr cu emisie β^- (a se vedea schemele de dezintegrare din Fig. 6), trebuie să cuplăm borna pozitivă a sursei de tensiune la borna marcată cu β^- a bobinei pentru a obține un fascicul de electroni în detector (Fig. 5a). Dacă se utilizează sursa ^{22}Na cu emisie β^+ , se schimbă semnul forței Lorentz ceea ce duce la o curbare a traiectoriei pozitronului departe de fereastra detectorului. Schimbând orientarea câmpului magnetic, prin cuplarea bornei pozitive a sursei de tensiune la borna β^+ a bobinei, obținem orientarea pozitronilor către detector (a carui poziție este fixă)

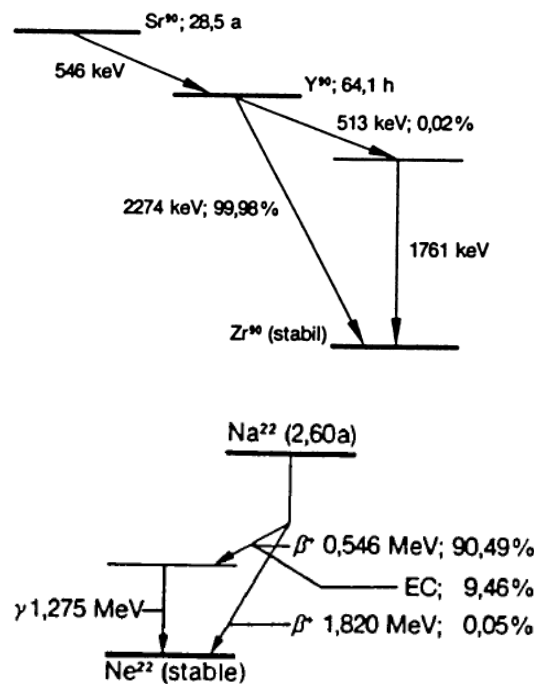


Fig. 5 Schemele de dezintegrare pentru materialele radioactive folosite în experiment (^{90}Sr și ^{22}Na)

Modul de lucru

1. **Calibrarea energetică a spectrometrului magnetic.** Utilizând ecuația (9') se vor calcula energiile corespunzătoare valorilor câmpului magnetic din Tabelul 1.

Rezultatele se vor exprima în keV. ($1\text{keV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{J}$). Se cunoaște $R = 5 \text{ cm}$.

Dacă timpul alocat laboratorului nu permite efectuarea acestei operații, se pot folosi valorile energiilor deja calculate din Tabelul 1

2. **Inregistrarea fondului de radiații.**

- Se montează detectorul în slotul special din suportul circular, se setează numărătorul în modul infinit (∞) și se înregistrează numărul de impulsuri (F), pentru radiația de fond timp de 10 minute ($t_f = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$).
- Se calculează viteza de numărare a fondului:

$$f = \frac{F}{t_f} [\text{imp} / \text{s}]$$

3. Înregistrarea spectrului de radiații pentru ^{90}Sr

- Se montează sursa de radiații, detectorul și sonda Hall în suportul circular.
- Se cuplează borna pozitivă a sursei de alimentare la borna β^- a bobinei
- Se fixează valoarea câmpului magnetic modificând tensiunea de alimentare
- Se setează timerul numărătorului la $t = 60\text{s}$ și se înregistrează numărul de impulsuri (N)
- Se repetă măsurătorile pentru toate valorile câmpului magnetic din Tabelul 1
- Se reprezintă grafic $n_{\text{Sr}} = f(E)$
- Se determină din grafic energia cea mai probabilă E_h
- Se calculează energia maximă a electronilor cu ajutorul formulei (3)

4. Înregistrarea spectrului de radiații pentru ^{22}Na

- Se schimbă sursa de radiații
- Se cuplează borna pozitivă a sursei de alimentare la borna β^+ a bobinei
- Se repetă procedura de la punctul 3 se notează datele în Tabelul 2 și se calculează energia maximă a pozitronilor

Tabelul 1: Sursa radioactivă ^{90}Sr

Nr. crt.	I(A)	B(mT)	E(keV)	N(imp)	$n' = \frac{N}{t}$	$n = n' - f$	σ_n
1	0	4.4	5.47459				
2	0.1	15.4	21.56079				
3	0.2	24.5	47.34219				
4	0.3	34.7	81.55464				
5	0.4	45.7	122.83436				
6	0.5	56.1	169.8972				
7	0.6	65.8	221.62951				
8	0.7	78.0	277.1123				
9	0.8	87.0	335.60853				
10	0.9	97.4	396.53567				
11	1.0	107.4	459.43598				
12	1.1	120.2	523.94976				
13	1.2	128.5	589.79335				
14	1.3	140.0	656.74184				
15	1.4	149.0	724.61564				
16	1.5	159.3	793.27029				
17	1.6	168.1	862.58873				
18	1.7	174.7	932.47532				

Tabelul 2: Sursa radioactivă ^{22}Na

Nr. crt.	I(A)	B(mT)	E(keV)	N(imp)	$n' = \frac{N}{t}$	$n = n' - f$	σ_n
1	0	4.4	5.47459				
2	0.1	15.4	21.56079				
3	0.2	24.5	47.34219				
4	0.3	34.7	81.55464				
5	0.4	45.7	122.83436				
6	0.5	56.1	169.8972				
7	0.6	65.8	221.62951				
8	0.7	78.0	277.1123				
9	0.8	87.0	335.60853				
10	0.9	97.4	396.53567				
11	1.0	107.4	459.43598				
12	1.1	120.2	523.94976				
13	1.2	128.5	589.79335				
14	1.3	140.0	656.74184				
15	1.4	149.0	724.61564				
16	1.5	159.3	793.27029				
17	1.6	168.1	862.58873				
18	1.7	174.7	932.47532				

Dispersia σ_n se calculeaza cu ajutorul formulei $\sigma_n = \sqrt{\frac{n}{t} + \frac{f}{t_f}}$ unde t este timpul necesar unei măsurători cu sursa de radiații ($t = 60$ s) iar t_f este timpul de măsurare pentru fondul de radiații ($t_f = 600$ s)