

## SPECTROSCOPIA RADIAȚIILOR BETA

### Scopul lucrării:

Determinarea energiei maxime a radiațiilor beta.

### Principiul lucrării:

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

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



În mod similar, în urma dezintegrării  $\beta^+$ , 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 graficul  $N = f(E)$  (Fig. 1).

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

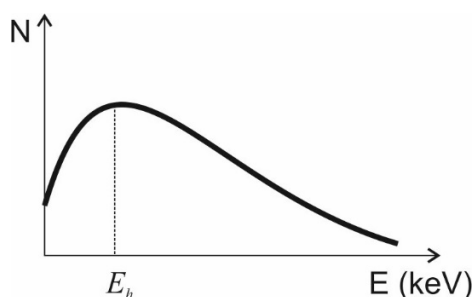


Fig. 1 Spectrul energetic al radiației beta

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

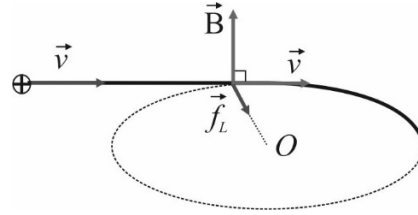


Fig.2: Acțiunea forței Lorentz asupra unei particule încărcate cu sarcină electrică

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  $\beta$  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:

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

Iar energia cinetică

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

Adică

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

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

### Dispozitivul experimental

Elementele componente ale instalației experimentale sunt:

Un electromagnet (EM) cu ecran gradat (E) alimentat de la o sursă de tensiune (SA), un multimetrul digital (M) pentru înregistrarea curentului prin spirele electromagnetului și un detector de radiații (D) cu numărător (N).

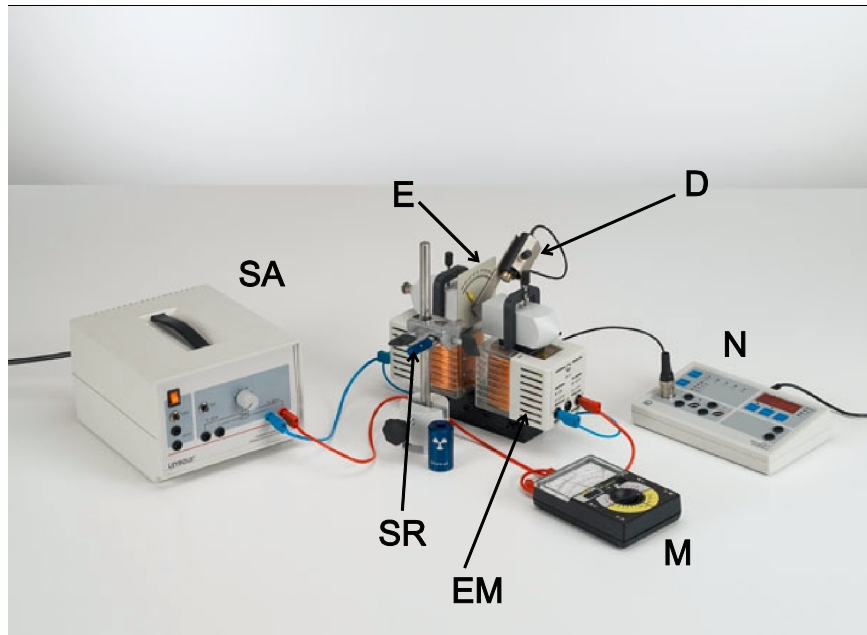


Fig. 3 Dispozitivul experimental

Electronii (sau pozitronii) proveniți de la sursa de radiații SR vor fi deviați de la direcția inițială de câmpul magnetic dintre poli electromagnetului (EM) urmând o traiectorie circulară de rază R. La ieșirea lor dintre poli electromagnetului, radiațiile beta sunt captate de detector (Fig.4).

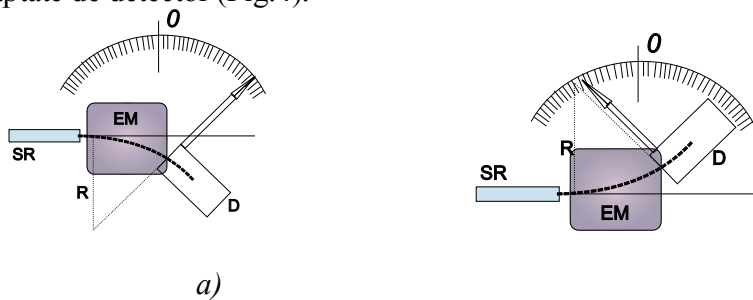


Fig.5 Reprezentare schematică a traseului radiației beta între sursa (SR) și detector (D): a) pentru  $^{90}\text{Sr}$ , b) pentru  $^{22}\text{Na}$ .

Stabilirea unghiului de înclinare pentru suportul detectorului depinde de sursa de radiații utilizată. Dacă folosim sursa  $^{90}\text{Sr}$  cu emisie  $\beta^-$  (a se vedea schemele de dezintegrare din Fig. 5), trebuie să fixăm acul indicator al suportului pe cadranul din dreapta al ecranului (Fig. 4a). Dacă se utilizează sursa  $^{22}\text{Na}$  cu emisie  $\beta^+$ , se schimbă semnul forței Lorentz ceea ce duce la o curbare a traiectoriei pozitronului departe de

fereastra detectorului. Schimbând orientarea detectorului, prin fixarea acului indicator pe cadranul din stânga al ecranului vom putea înregistra radiația  $\beta^+$  orientată în sens opus (Fig. 4b)

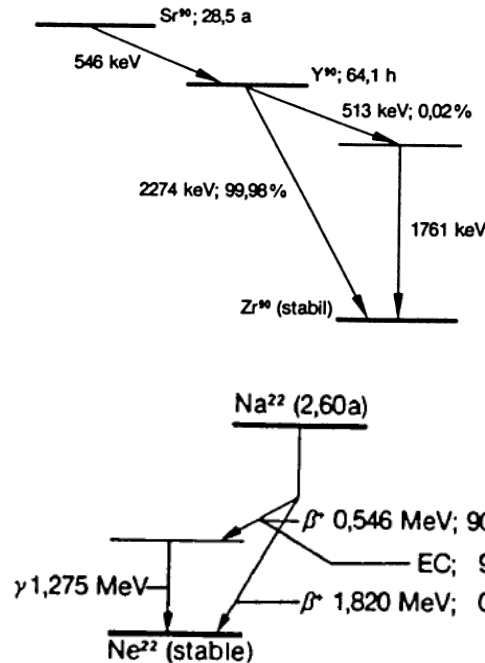


Fig. 5 Schemele de dezintegrare pentru materialele radioactive folosite în experiment ( $^{90}\text{Sr}$  și  $^{22}\text{Na}$ )

### Modul de lucru

1. **Calibrarea energetică a spectrometrului magnetic.** Utilizând ecuația (9') se calculează energia particulelor beta pentru fiecare dintre valorile câmpului magnetic din Tabelul 1. Pentru o distanță sursă-detector  $d = 5 \text{ cm}$  și un unghi de deviație  $\alpha = 20^\circ$ , raza de curbura este  $R = 14 \text{ cm}$ .

2. **Inregistrarea fondului de radiații.**

- Se montează detectorul în suportul special, se setează numărătorul în modul infinit ( $\infty$ ) 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  $^{90}\text{Sr}$**

- Se montează sursa de radiații ( $^{90}\text{Sr}$ ) în suportul special (NUMAI ÎN PREZENTA CADRULUI DIDACTIC!!!!).

*Observație: Pentru obținerea unor rezultate bune, se recomandă utilizarea colimatorului.*

- Se fixează acul indicator al suportului detectorului de radiații în dreptul valorii de  $20^\circ$  din cadranul din dreapta al ecranului (Fig.5a)

- Se modifică tensiunea de alimentare a electromagnetului pentru a obține, rand pe rand, valorile curentului electric prin bobină indicate în Tabelul 1. (Aceste valori se citesc pe multimetrul M)
- Se setează timerul numărătorului la  $t = 60s$  și se înregistrează numărul de impulsuri (N)
- Se repetă măsurătorile pentru toate valorile câmpului magnetic din Tabelul 1
- Se reprezintă grafic  $n_{sr} = f(E)$
- 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 cu cea de sodiu ( $^{22}Na$ )
- Se înclină suportul detectorului până în dreptul valorii de  $20^\circ$  din cadranul din stânga al ecranului (Fig.5b)
- Se repetă procedurile de la punctul 3, se notează datele în Tabelul 2 și se calculează energia maximă a pozitronilor

Tabelul 1: Sursa radioactivă  $^{22}Na$

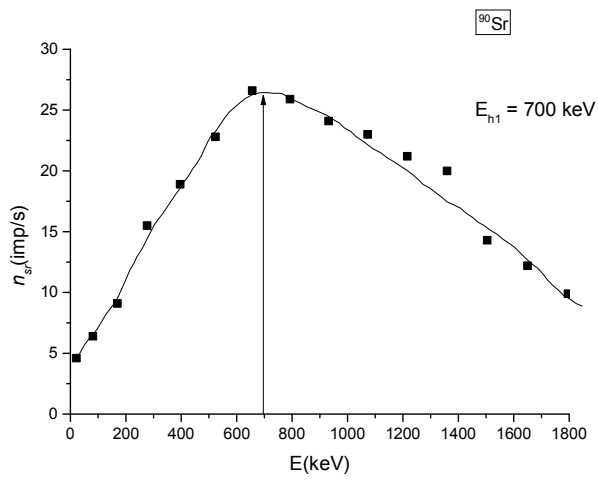
Nr. crt.	I(A)	B(mT)	E(keV)	N(imp)	$n' = \frac{N}{t}$	$n = n' - f$	$\sigma_n$
1	0	2.1	1.40				
2	0,1	4.6	19.58				
3	0,2	6.9	53.30				
4	0,3	9.3	102.89				
5	0,4	12.5	186.39				
6	0,5	14.5	246.07				
7	0,6	16.8	319.91				
8	0,7	19.6	415.47				
9	0,8	22.3	511.97				
10	0,9	24.8	604.17				
11	1,0	28.2	732.82				
12	1,1	31	840.89				
13	1,2	32.7	907.26				
14	1,3	36.1	1041.32				
15	1,4	38.2	1124.86				
16	1,5	41.1	1240.98				
17	1,6	44.1	1361.86				
18	1,7	46.7	1467.14				

Tabelul 2: Sursa radioactivă  $^{22}\text{Na}$

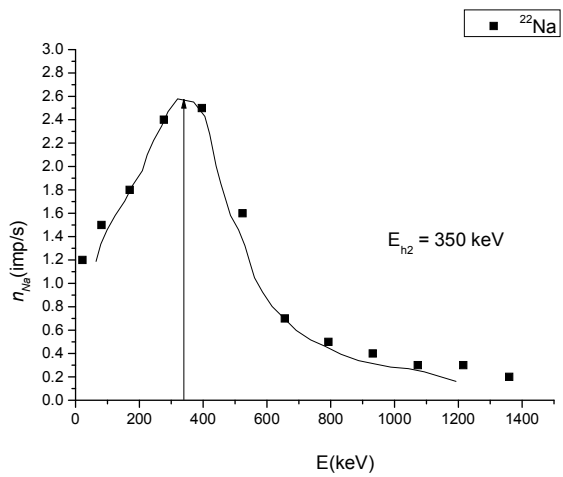
Nr. crt.	I(A)	B(mT)	E(keV)	$N(\text{imp})$	$n' = \frac{N}{t}$	$n = n' - f$	$\sigma_n$
1	0	2.1	1.40				
2	0,1	4.6	19.58				
3	0,2	6.9	53.30				
4	0,3	9.3	102.89				
5	0,4	12.5	186.39				
6	0,5	14.5	246.07				
7	0,6	16.8	319.91				
8	0,7	19.6	415.47				
9	0,8	22.3	511.97				
10	0,9	24.8	604.17				
11	1,0	28.2	732.82				
12	1,1	31	840.89				
13	1,2	32.7	907.26				
14	1,3	36.1	1041.32				
15	1,4	38.2	1124.86				
16	1,5	41.1	1240.98				
17	1,6	44.1	1361.86				
18	1,7	46.7	1467.14				

Dispersia  $\sigma_n$  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)

**Exemplu rezultate experimentale:**



$E_{\text{max}1} = 2100 \text{ keV}$



$E_{\text{max}2} = 1050 \text{ keV}$