

Pracovní úkol

1. V této úloze se používá zářič ^{90}Sr , který se rozpadá podle schématu na obr.5. Spektrum emitovaných elektronů je superpozicí dvou beta-spekter a absorpce bude mít tvar (1), kde $N_{(1)}(0)$ resp. $N_{(2)}(0)$ je počet elektronů z 1. resp. 2. rozpadu registrovaný za zvolený časový interval, $E_0^{(1)}$ resp. $E_0^{(2)}$ je maximální energie 1. resp. 2. β -spektra a N je pozadí. Vaším úkolem je určit hodnoty $E_0^{(1)}$ a $E_0^{(2)}$ z naměřené absorpční křivky, a to jak z absorpčních koeficientů, tak z maximálních doletů. K dispozici budete mít okénkovaný Geiger-Müllerův detektor, soupravu s čítačem a sadu hliníkových absorbátorů. Vnější pozadí bude redukováno olověným stíněním zářiče-absorbátoru-detektoru.

Teorie

Záření β je proud elektronů vznikající při radioaktivním rozpadu. Protože v tomto rozpadu vzniká kromě elektronu i antineutrino, je energetické spektrum elektronů spojitě. Energie elektronů se v této úloze zkoumá interakcí se stíněním, absorpcí (brždění a odchylení ze svazku). Pro elektrony s určitou energií existuje maximální dolet R_β v prostředí. Pro různá prostředí existují empiricky určené vztahy mezi R_β a maximální energií elektronů E_0 .

Pro elektronové záření z β rozpadu lze považovat závislost intenzity na tloušťce stínění za přibližně exponenciální. Ve zkoumaném vzorku probíhají dva β rozpady s různými energiemi a navíc je nutno uvažovat pozadí a to jak vnější (velmi potlačené olověnou schránkou) tak vnitřní (elektrony, které rozptylem v materiálu obešly stínění a γ záření). Celková intenzita N by měla odpovídat vztahu:

$$N = N_1 \exp\left(-\frac{\mu_1 d}{\rho}\right) + N_2 \exp\left(-\frac{\mu_2 d}{\rho}\right) + N_B \quad (1)$$

kde d je plošná hmotnost absorbátoru, ρ je hustota materiálu a N_B a μ závisí na energii takto:

$$\frac{\mu}{\rho} [\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}] = 22(E_0 [\text{MeV}])^{-4/3} \quad (2)$$

Pro závislost doletu R_β existují empirické vztahy:

$$R_\beta [\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}] = \begin{cases} 0,407(E_0 [\text{MeV}])^{1,38} & 0,15 < E_0 \leq 0,8 \text{ MeV} \\ 0,542(E_0 [\text{MeV}]) - 0,133 & E_0 > 0,8 \text{ MeV} \end{cases} \quad (3)$$

kde R_β je vyjádřen pomocí plošné hmotnosti.

Měření

Měřila jsem čas potřebný k detekování 1000 impulzů a postupně jsem zesilovala stínění přidáváním hliníkových plíšků. Pro každou tloušťku jsem měřila podle expoziční doby jednou až pětkrát. Použila jsem střední hodnotu s chybou danou Poissonovým rozdělením. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1. Při měření s velmi silnou vrstvou stínění (asi 6mm olověný plech) jsem určila hodnotu pozadí $N_0 = (0,63 \pm 0,02)$ impulzů za sekundu. Vzhledem k odlišnému materiálu i tvaru stínění může být tato hodnota odlišná od skutečné hodnoty N_B .

Zjištěné hodnoty jsou vyneseny v Grafu 1. Programem *Origin* jsem proložila naměřené hodnoty vztahem (1) s výslednými hodnotami:

$$\begin{aligned} N_1 &= (132 \pm 6) \text{ s}^{-1} & N_2 &= (98 \pm 7) \text{ s}^{-1} \\ \mu_1/\rho &= (30 \pm 3) \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} & \mu_2/\rho &= (5,8 \pm 0,5) \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \\ N_B &= (1,4 \pm 0,8) \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

Použitím postupu uvedeným v [1] jsem určila hodnoty:

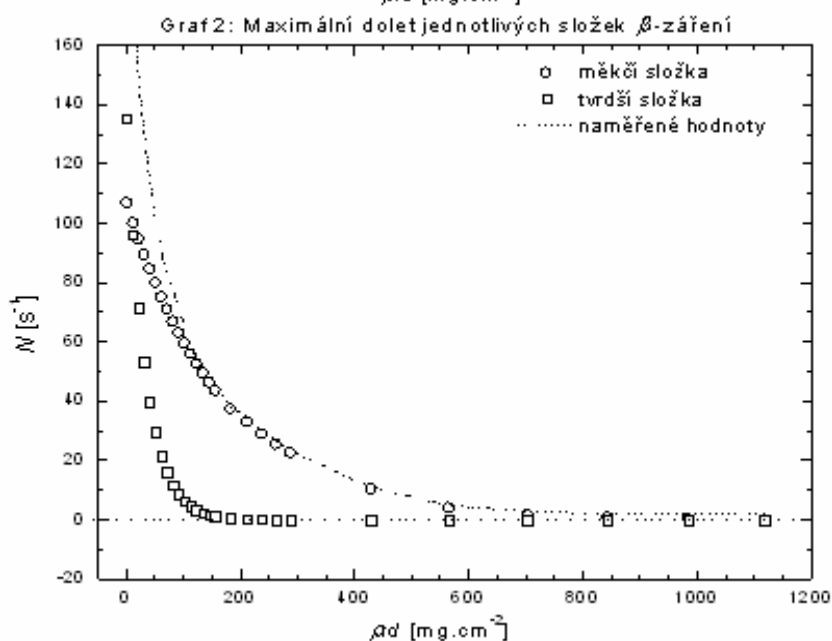
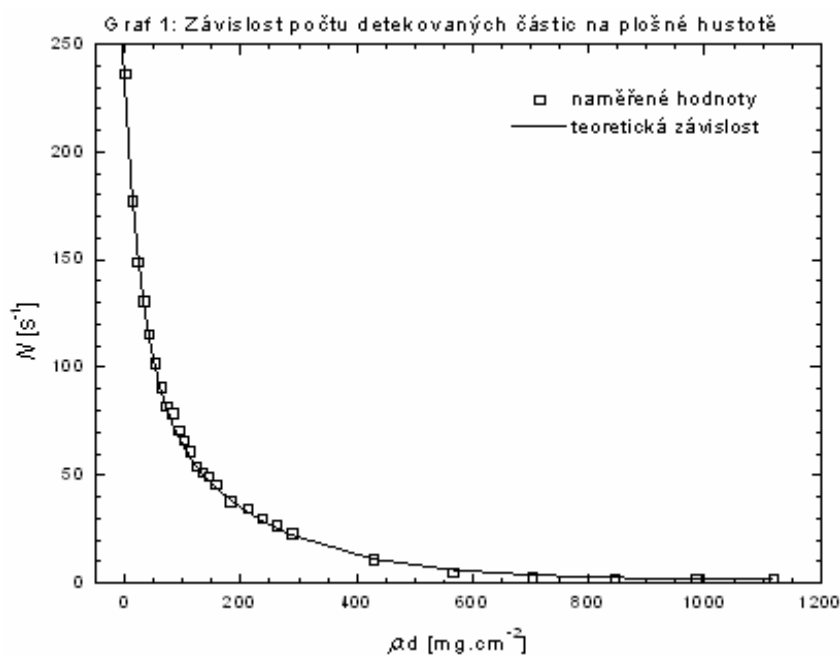
$$N_1 = (135 \pm 3) \text{ s}^{-1}, N_2 = (107 \pm 4) \text{ s}^{-1}, \mu_1/\rho = (30 \pm 2) \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}, \mu_2/\rho = (5,8 \pm 0,2) \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}, N_B = (0,63 \pm 0,02) \text{ s}^{-1}$$

Koeficienty zjištěné oběma metodami se v rámci chyb shodují.

Ze vztahu (2) jsem určila hodnoty $E_0^{(1)}$ a $E_0^{(2)}$:

$$E_0^{(1)} = (733 \pm 21) \text{ keV} \quad E_0^{(2)} = (2723 \pm 64) \text{ keV}$$

| Tabulka 1: Závislost počtu detekovaných částic na tloušťce stínítka | | | | | |
|---|------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| $d \cdot \rho$ [mg.cm ⁻²] | N [s ⁻¹] | σ_N [s ⁻¹] | $d \cdot \rho$ [mg.cm ⁻²] | N [s ⁻¹] | σ_N [s ⁻¹] |
| 0,0 | 236,4 | 7,5 | 144,6 | 49,7 | 1,6 |
| 11,3 | 177,6 | 5,6 | 155,2 | 45,9 | 1,4 |
| 21,1 | 149,1 | 4,7 | 181,4 | 38,2 | 1,2 |
| 30,8 | 131,1 | 4,1 | 211,0 | 34,8 | 1,1 |
| 40,5 | 115,7 | 3,7 | 236,3 | 30,01 | 0,95 |
| 50,2 | 102,1 | 3,2 | 261,6 | 26,78 | 0,85 |
| 60,8 | 90,9 | 2,9 | 286,7 | 23,28 | 0,74 |
| 70,6 | 82,2 | 2,6 | 427,7 | 10,99 | 0,35 |
| 80,9 | 78,9 | 2,5 | 564,7 | 4,81 | 0,15 |
| 91,1 | 71,2 | 2,3 | 701,7 | 2,70 | 0,09 |
| 101,0 | 66,6 | 2,1 | 842,7 | 2,08 | 0,07 |
| 112,0 | 61,3 | 1,9 | 983,8 | 1,89 | 0,06 |
| 122,5 | 54,1 | 1,7 | 1117,8 | 1,71 | 0,05 |
| 133,3 | 51,8 | 1,6 | | | |



Pro odhad maximálního doletu částic jsem použila závislosti tvrdší a měkčí složky záření zjištěné pomocí metody v [1] a tyto závislosti vynesla do Grafu 2. Z Grafu jsem určila:

$$R_{\beta,1} = (230 \pm 20) \text{ mg.cm}^{-2}, R_{\beta,2} = (1300 \pm 130) \text{ mg.cm}^{-2}$$

Což podle vztahů (3) dává:

$$E_0^{(1)} = (662 \pm 42) \text{ keV}$$

$$E_0^{(2)} = (2399 \pm 240) \text{ keV}$$

Chyby R_{β} jsem určila odhadem.

Diskuse

Nafitovaná a změřená hodnota pozadí se sice v rámci chyb shodují, ale v poměru jsou jejich velikosti dosti odlišné. To, že při použití olověného absorbátoru vychází nižší hodnoty pozadí, můžu přisoudit jednak jinému tvaru vzorku a jednak nedostatečnému počtu měření při velkých tloušťkách.

Energie vypočítané různými metodami se v rámci chyby shodují, ale hodnoty určené z maximálních doletů jsou nižší než hodnoty určené z absorpčních koeficientů, což může být způsobeno nepřesnou metodou určování maximálních doletů.

Závěr

Změřila jsem intenzitu β záření pro různé absorpční tloušťky a ověřila platnost vztahu (1). Pomocí vztahů (2) a (3) jsem určila hodnoty maximálních energií, které se v rámci chyb shodují, i když metoda určení pomocí maximálních doletů je hodně subjektivní. Číselné hodnoty jsou pro vztah (2):

$$E_0^{(1)} = (733 \pm 21) \text{ keV}$$

$$E_0^{(2)} = (2723 \pm 64) \text{ keV}$$

a pro vztah (3):

$$E_0^{(1)} = (662 \pm 42) \text{ keV}$$

$$E_0^{(2)} = (2399 \pm 240) \text{ keV}$$