

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: **VIII**

Název: Absorpce β záření

Vypracoval: **Michal Bareš**

dne 20.12.2007

Pracovní úkol

- 1) Ověřte měřením, že směry výletu anihilačních fotonů vznikajících po β^+ rozpadu jader ^{22}Na svírají úhel 180° .
- 2) Určete pološířku úhlového rozdělení.
- 3) Vysvětlete tvar naměřeného úhlového rozdělení.

Teorie

Při průchodu elektronů s energií $10^4 - 10^7$ eV (které jsou emitované při β -rozpadech) látkou dochází ke dvěma dominantním procesům

- 1) pružné srážky s jádry
- 2) interakce s atomárními elektrony, vedoucí k excitaci nebo ionizaci atomů

Registrujeme-li rozpadové elektrony pomocí lokalizovaného detektoru, před který vkládáme různé silné vrstvy stínícího materiálu, výše uvedené procesy ovlivňují množství detekovaných elektronů – v poměru k počtu elektronů registrovaných detektorem bez stínění hovoříme o jejich absorpci.

Množství detekovaných elektronů zřejmě závisí na jejich energii, tloušťce stínícího materiálu a jeho hustotě. Elektrony emitované při β -rozpadu mají spojité energetické spektrum a jejich absorpce se řídí přibližně exponenciálním zákonem

$$N(d) = N_0 e^{-\frac{\mu d}{\rho}} \quad (1)$$

kde $N(d)$ je počet elektronů zaregistrovaných za určitý čas při použití absorptoru tloušťky d a hustoty ρ . μ je pak konstanta příslušející konkrétnímu emitujícímu zdroji a absorbujícímu materiálu. Kromě rozpadových elektronů přilétajících přímo ze zdroje je detekováno i určité pozadí, které je nutné pro použití vztahu (1) uvažovat. Tento vztah je pouze přibližný, což dokládá existence jisté tloušťky materiálu, za kterou se již žádné elektrony nedostanou (maximální dolet R_β). Pomocí veličin μ a R_β je možné určit maximální energii E_0 emitovaných elektronů. Pro hliník jakožto materiál absorptoru použitého v experimentu platí

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

Pro maximální dolet existují různé empirické vztahy, např.:

$$\frac{R_\beta \rho}{\text{cm}^{-2} \text{g}} = \begin{cases} 0,407 \left(\frac{E_0}{\text{MeV}} \right)^{1,38} & 0,15 \text{MeV} < E_0 < 0,8 \text{MeV} \\ 0,542 \left(\frac{E_0}{\text{MeV}} \right) - 0,133 & 0,8 \text{MeV} < E_0 \end{cases} \quad (3)$$

V experimentu je použit zářič ^{90}Sr , který se rozpadá dvěma β -rozpady. Spektrum elektronů emitovaných zářičem je tak superpozicí spekter obou dílčích rozpadů a absorpce má tvar

$$N(d) = N_0^1 e^{-\frac{\mu(E_0^1)d}{\rho}} + N_0^2 e^{-\frac{\mu(E_0^2)d}{\rho}} + N_B \quad (4)$$

kde veličiny s indexy $^{1,(2)}$ přísluší 1. (2.) rozpadu a N_B je pozadí.

Vzhledem k tomu, že jednotlivé rozpady se značně liší maximální energií emitovaných elektronů, je možné naměřená data zpracovávat zjednodušeným způsobem, za použití té oblasti měření, kde se již uplatňuje pouze jedna (tvrdší) složka celkového spektra.

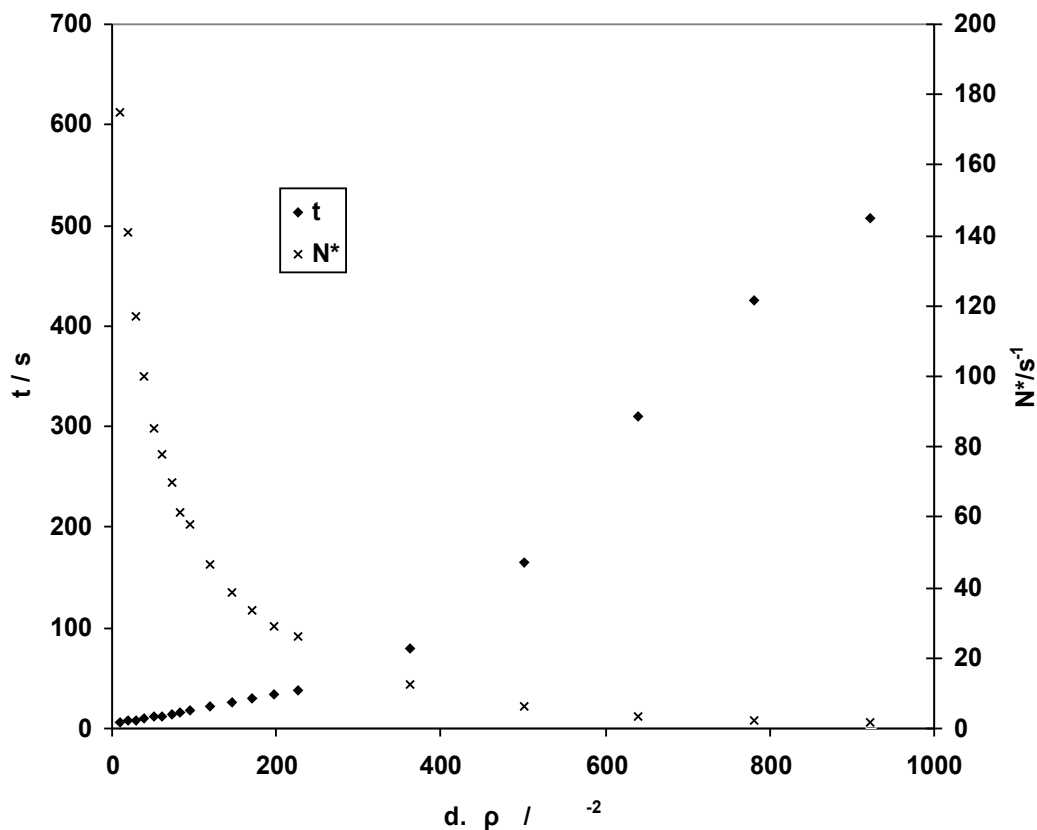
Výsledky měření

Měřil jsem čas t potřebný k detekování 1000 elektronů, přičemž jsem před detektor jako absorptor postupně vkládal hliníkové plíšky o různých tloušťkách (plošných hmotnostech). Naměřená data jsou uvedena v tabulce 1 a znázorněna v grafu 1. Pozadí jsem změřil pomocí tlusté destičky. Rovněž jsem spočítal průměrný počet elektronů detekovaných za 1s (značeno N).

Tabulka 1: Čas potřebný k detekci 1000 elektronů a průměrný počet registrovaných elektronů

$\rho \cdot d / \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$	t / s	N^*
9,7	5,71	175
19,6	7,11	141
29,8	8,57	117
40,1	9,97	100
50,6	11,7	85,3
61,9	12,8	78,0
72,9	14,3	70,0
83,5	16,4	61,1
94,8	17,3	57,8
119,9	21,5	46,5
145,2	25,7	38,9
170,5	29,6	33,7
196,7	34,2	29,2
226,3	38,3	26,1
363,3	79,2	12,6
500,3	165	6,06
640,3	310	3,23
781,3	426	2,35
922,3	507	1,97
pozadí	603	1,65

Graf 1: Čas potřebný k detekci 1000 elektronů a průměrný počet registrovaných elektronů



U tlouštěk absorbátoru odpovídajících plošné hustotě $>200 \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ jsem předpokládal, že veškeré rozpadové detekované elektrony patří rozpadu s vyšší energií. Odečetl jsem od nich pozadí, hodnoty zlogaritmoval a pomocí lineární regrese určil absorpční koeficient energetičtějšího rozpadu. Z toho jsem po dosazení do vzorce (2) získal maximální energii $E_0^1 = (2,55 \pm 0,04) \text{MeV}$. Příslušnou konstantu N_0^1 (počet elektronů z energetičtějšího rozpadu, které by měly být registrovány bez stínění) jsem určil též z regrese jako $N_0^1 = (100 \pm 7) \cdot \text{s}^{-1}$.

Takto spočítanou absorpční závislost jsem odečetl spolu s pozadím od hodnot registrovaných elektronů v oblasti tlouštěk stínění $0-120\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$. Předpokládám, že zbylý počet detekcí odpovídá méně energetickému rozpadu. Opět jsem hodnoty zlogaritoval a pomocí lineární regrese spočítal absorpční koeficient, potažmo maximální energii jako $E_0^2 = (0,50\pm 0,05)\text{MeV}$. Konstantu odpovídající registraci elektronů bez stínění jsem určil jako $N_0^2 = (170\pm 60)\cdot\text{s}^{-1}$.

Maximální dolet elektronů jsem odhadl jako $R_{\beta}^1\rho = (1,1\pm 0,1)\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ pro tvrdší elektrony a $R_{\beta}^2\rho = (0,16\pm 0,04)\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$.

Odpovídající maximální energie spočítané podle (3) jsou $E_0^1 = (2,3\pm 0,2)\text{MeV}$ resp. $E_0^2 = (0,5\pm 0,1)\text{MeV}$.

Chyby vypočítávaných veličin jsem uvažoval jako chyby plynoucí z příslušné lineární regrese na které jsem aplikoval standardní pravidla přenosu chyb (více např. [2]).

Diskuze

Absorpce obecně závisí na mnoha parametrech experimentálního uspořádání. Dochází k ní mimo jiné i ve vrstvě vzduchu mezi jednotlivými plíškami hliníku a na okénku detektoru. Plíšky nebyly úplně rovné a pod vlastní vahou navíc docházelo k jejich průhybům, takže reálný absorbátor odpovídal ideálnímu homogennímu materiálu dané tloušťky pouze přibližně.

Při zpracování jsem zjistil, že nemám poznamenanou hodnotu času, za který je zaregistrováno 1000 elektronů bez přítomnosti stínění. Kvůli tomu jsem přišel o důležitý datový bod a určení parametrů rozpadů (především měkčího) je zatíženo určitou chybou.

Odhadování maximálního doletu elektronů z naměřených dat bylo do značné míry subjektivní a zejména v případě měkčího rozpadu velmi nejisté, proto dosahuje chyba spočítané maximální energie až 20%.

Maximální energie obou rozpadů spočítané oběma metodami (pomocí maximálních doletů i absorpčních koeficientů) se v rámci stanovených chyb shodují.

Závěr

Změřil jsem čas potřebný k detekci 1000 elektronů emitovaných při β -rozpadu ^{90}Sr při použití různě tlustých hliníkových absorbátorů. Z naměřených dat jsem spočítal maximální energie obou rozpadů k nimž dochází jako

$E_0^1 = (2,55\pm 0,04)\text{MeV}$ resp. $E_0^2 = (0,50\pm 0,05)\text{MeV}$ pomocí výpočtu absorpčního koeficientu

a

$E_0^1 = (2,3\pm 0,2)\text{MeV}$ resp. $E_0^2 = (0,5\pm 0,1)\text{MeV}$ pomocí odhadu maximálního doletu elektronů

Literatura

[1] studijní text k úloze č. 7; <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>

[2] Zpracování výsledků fyzikálních měření, J. Englich, 1999