

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: 8

Název: Absorpcia beta žiarenia. Určenie energie beta-rozpadu meraním
absorpcie emitovaného žiarenia

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk.F3..... dne: 27. 11. 2006

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	
Výsledky měření	0 - 10	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 2	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:.....

Pracovné úlohy:

1. V tejto úlohe sa používa žiarič ^{90}Sr , ktorý sa rozpadá podľa schémy na obr. 5. Spektrum emitovaných elektrónov je superpozíciou dvoch β -spektier a absorpcia bude mať tvar (1), kde $N^{(1)}(0)$ resp. $N^{(2)}(0)$ je počet elektrónov z 1. resp. 2. rozpadu registrovaný za zvolený interval, $E_0^{(1)}$ resp. $E_0^{(2)}$ je maximálna energia z 1. resp. 2. β -spektra a N_B je pozadie. Vašou úlohou je určiť hodnoty $E_0^{(1)}$ a $E_0^{(2)}$ z nameranej absorpčnej krivky, a to ako z absorpčných koeficientov, tak z maximálnych doletov. K dispozícii budete mať okienkový Geiger-Müllerov detektor, súpravu s čítačom a sadu hliníkových absorbátorov. Vonkajšie pozadie bude redukované oloveným tienením žiariča-absorbátora-detektora.

Teoretická časť:

Žiarenie β je prúd elektrónov vznikajúci pri rádioaktívnom rozpade. Pretože v tomto rozpade vzniká okrem elektrónu i antoneutrino, je energetické spektrum elektrónov spojité. Energia elektrónov sa v tejto úlohe skúma interakciou s tienením, absorpciou (brzdenie a odchylenie zo zväzku) – pomocou detektora sledujeme, že počet dopadajúcich častíc klesá s rastúcou hrúbkou absorbátora. Pre elektrónové žiarenie z β rozpadu môžeme považovať závislosť intenzity na hrúbke tienenia za približne exponenciálnu. V skúmanej vzorke prebiehajú dva β rozpady s rôznymi energiami a navyše musíme uvažovať aj pozadie – vonkajšie (dosť potlačené olovenou schránkou) a vnútorné elektróny, ktoré rozptylom v materiáli obišli tienenie a γ žiarenie. Počet zaregistrovaných častíc za jednotku času v závislosti na plošnej hustote absorbátora d je

$$N(d) = N^{(1)}(0) \exp\left(-\frac{\mu(E_0^{(1)})}{\rho} d\right) + N^{(2)}(0) \exp\left(-\frac{\mu(E_0^{(2)})}{\rho} d\right) + N_B, \quad (1)$$

kde ρ je hustota absorbátora a μ je absorpčná konštanta pre daný materiál a energiu β -žiarenia. Pre hliník platí vzťah

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

Z nameraných závislostí môžeme odčítať maximálny dolet elektrónov R_β . Empirické vzťahy medzi R_β a E_0 sú

$$R_\beta \cdot \rho [\text{g} \cdot \text{cm}^2] = 0,407 (E_0 [\text{MeV}])^{1,38} \quad \text{pre } 0,15 < E_0 \leq 0,8 \text{ MeV}, \quad (3)$$

$$R_\beta \cdot \rho [\text{g} \cdot \text{cm}^2] = 0,542 (E_0 [\text{MeV}]) - 0,133 \quad \text{pre } E_0 > 0,8 \text{ MeV}. \quad (4)$$

Výsledky meraní:

Medzi žiarič a detektor som umiestňoval hliníkové pliešky s rôznou plošnou hustotou. Pomocou Geiger-Müllerovho počítača som meral čas, za ktorý bolo zaznamenaných 2000 impulzov¹. Pre každú hrúbku d som meral jedenkrát až trikrát podľa dĺžky expozičnej doby. Zaznamenávanie rovnakého počtu impulzov vedie k rovnakej relatívnej chybe jednotlivých meraní. Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 1* a zobrazené v *grafe 1*.

Hodnotu pozadia som určoval na základe merania hliníkového absorbátora s hrúbkou 8 – 9 mm (v skutočnosti to boli tri hliníkové doštičky). Na určenie pozadia som meral čas potrebný na detekovanie 4000 impulzov

$$t_{\text{pozadie}} = 509,7 \text{ s},$$

t.j. pre počet detekovaných impulzov za sekundu platí

$$N_B = (7,85 \pm 0,12).$$

¹ V praktických pokynoch v študijnom texte je uvedený počet 1000 častíc, ktoré by sme mali registrovať. Keďže pred meraním mi bolo na meracom prístroji nastavené vyššie napätie, tak jednotlivé časy potrebné na zaregistrovanie 1000 impulzov boli dosť krátke, a tak som zvolil počet 2000 impulzov.

Vzhľadom k odlišnému materiálu i tvaru tienenia môže byť táto hodnota odlišná od skutočnej hodnoty N_B .

Nameranými hodnotami som v programe *Origin* preložil vzťah (1) s výslednými hodnotami.

$$\frac{m_1}{r} = (31,9 \pm 1,9) \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1},$$

$$N^{(1)}(0) = (321 \pm 16),$$

$$\frac{m_2}{r} = (5,5 \pm 0,5) \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1},$$

$$N^{(2)}(0) = (266 \pm 15),$$

$$N_B = (5,3 \pm 3,5).$$

Z absorpčných koeficientov som podľa vzťahu (2) určil energie $E_0^{(1)}$ a $E_0^{(2)}$, pričom ich chybu som určil podľa kvadratického zákona prenosy chýb, vid' [2]

$$E_0^{(1)} = (756 \pm 18) \text{keV},$$

$$E_0^{(2)} = (2,84 \pm 0,39) \text{MeV}.$$

Hodnota $E_0^{(1)}$ zodpovedá maximu energie elektrónov pri rozpade ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{90}_{39}\text{Y} + e^- + \bar{n}$ a $E_0^{(2)}$ zodpovedá rozpadu ${}^{90}_{39}\text{Y} \rightarrow {}^{90}_{40}\text{Zr} + e^- + \bar{n}$.

Maximálny dolet elektrónov som určil z podmienky, že daná komponenta žiarenia prestáva prispievať, ak počet registrovaných impulzov je veľmi blízky počtu registrovaných impulzov od pozadia (zvolil som si 5% z S_{N_B}), t.j. túto podmienku môžeme vyjadriť ako

$$N(d) = N_B + 0,05 S_{N_B}. \quad (5)$$

S využitím tejto podmienky pre maximálny dolet R_β platí

$$R_b^{(1)} = \left(\frac{m^{(1)}}{r} \right)^{-1} \ln \frac{N^{(1)}}{0,05 S_{N_B}}. \quad (6)$$

Ak do vzťahu (6) dosadíme predchádzajúce výsledky, tak dostaneme

$$R_b^{(1)} = (236 \pm 14) \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2},$$

$$R_b^{(2)} = (1332 \pm 122) \text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}.$$

Tieto vypočítané hodnoty maximálneho doletu som overil aj odhadnutím z grafu 1. Keďže odhadnuté hodnoty sa v rámci chyby zhodujú s vypočítanými hodnotami, tak uvažujem vypočítané hodnoty.

Z maximálnych doletov som podľa vzťahov (3) a (4) určil energie $E_0^{(1)}$ a $E_0^{(2)}$

$$E_0^{(1)} = (674 \pm 17) \text{MeV},$$

$$E_0^{(2)} = (2,70 \pm 0,25) \text{MeV}.$$

Diskusia:

Z grafu 1 vyplýva, že nameraná závislosť sa zhoduje s predpokladanou závislosťou (1), t.j. potvrdil sa exponenciálny pokles počtu detekovaných impulzov so zväčšujúcou sa hrúbkou absorbátora.

Pri jednotlivých meraniach som určoval čas potrebný na detekovanie 2000 impulzov, a tak každé meranie bolo zaťažené rovnakou štatistickou chybou. Chybu určenia hrúbky jednotlivých absorbátorov som neuvažoval (hodnoty boli uvedené na jednotlivých absorbátoroch).

Stredné hodnoty zmeranej a vypočítanej hodnoty pozadia sa odlišujú asi o 30%, no v rámci dosť veľkej chyby sa zhodujú. Je to pravdepodobne spôsobené odlišným materiálom i tvarom tienenia.

Vypočítané hodnoty energie $E_0^{(2)}$ sa v rámci chyby zhodujú, no hodnoty energie $E_0^{(1)}$ sa líšia (stredné hodnoty určené oboma metódami sa líšia asi o 10%). Určovanie maximálnych energií $E_0^{(i)}$ z maximálnych doletov je založené na subjektívnom posúdení (ak nepoužijeme odhad podľa vzťahu (5)), a to je hlavným zdrojom chyby určenia $E_0^{(i)}$.

Záver:

Premeral som absorpčnú krivku β -žiarenia. Nameraná závislosť sa zhoduje s očakávanou empirickou závislosťou (1).

Pomocou vzťahov (2), (3) a (4) som určil hodnoty maximálnych energií pre β -žiarenie

- výpočtom pomocou absorpčných koeficientov

$$E_0^{(1)} = (756 \pm 18) \text{keV}, E_0^{(2)} = (2,84 \pm 0,39) \text{MeV},$$

- výpočtom z maximálnych doletov

$$E_0^{(1)} = (674 \pm 17) \text{MeV}, E_0^{(2)} = (2,70 \pm 0,25) \text{MeV}.$$

Literatúra:

[1] študijný text na stránkach fyzikálneho praktika: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

[2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 1999

Tabuľka 1 – Závislosť počtu detekovaných častíc na hrúbke tienidla

$d [\text{mg.cm}^{-2}]$	$t_{2000} [s]$	$N [s^{-1}]$	$\sigma_N [s^{-1}]$
0,0	3,40	587,7	24,2
9,8	3,98	502,3	22,4
19,7	4,81	415,5	20,4
29,5	5,65	354,1	18,8
39,2	6,47	309,3	17,6
48,9	7,48	267,4	16,4
58,6	7,83	255,5	16,0
65,5	8,65	231,3	15,2
75,2	9,75	205,1	14,3
81,1	9,90	202,0	14,2
90,8	10,83	184,6	13,6
100,5	11,61	172,2	13,1
106,4	11,95	167,4	12,9
116,1	12,66	158,0	12,6
125,8	13,71	145,9	12,1
131,5	14,88	134,5	11,6
141,2	15,78	126,8	11,3
151,0	15,73	127,2	11,3
242,3	27,17	73,6	8,6
282,1	31,02	64,5	8,0
416,1	64,95	30,8	5,5
471,0	76,96	26,0	5,1
608,0	151,71	13,2	3,6
745,0	196,03	10,2	3,2
886,0	238,97	8,4	2,9
962,6	240,00	8,3	2,9

Graf 1 - Závislost' počtu detekovaných častíc na plošnej hustote

