

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum 4

Úloha č. A 07

Název: Měření úhlového rozdělení fotonů z anihilace elektron-pozitronového páru

Pracoval: Mária Šoltéssová stud.sk.: F-14 dne: 25.10.2006

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:

Pracovná úloha:

1. Overte meraním, že smery výletu anihilačných fotónov vznikajúcich po β^+ rozpade jadier ^{22}Na zvierajú uhol 180° .
2. Určte pološíрку uhlového rozdelenia.
3. Vysvetlite tvar nameraného uhlového rozdelenia.

Teoretická časť:

Pri β^+ rozpade niektorých rádioaktívnych izotopov, napríklad ^{22}Na , vznikajú pozitrony – antičastice elektrónov. V pozorovanej prírode sa bežne nevyskytujú, pretože rýchlo anihilujú s elektrónmi. K anihilácii dochádza po zabrzdení pozitronov v dôsledku interakcií s elektrónmi, takže pri anihilácii majú obidve častice takmer nulovú hybnosť. Vznikajú v prevažnej väčšine prípadov dva anihilačné fotóny. Podľa zákona zachovania energie je súčet energií fotónov rovný súčtu pokojových energií elektrónu a pozitronu. Podľa zákona zachovania hybnosti musia mať oba fotóny rovnako veľké a opačne orientované hybnosti. Dochádza teda k vyžiareniu dvoch fotónov s energiami 511 keV so smermi výletu zvierajúcimi uhol 180° .

Popísaný jav je možno merať pomocou tzv. koincidenčného merania. Znamená to, že na výstupe detektoru sa objaví impulz iba vtedy, ak oba detektory zaregistrujú impulz súčasne (v rámci rozlišovacej doby τ). Experimentálne usporiadanie je popísané v [1].

Uhlové usporiadanie výletu γ -kvánt zo žiariča meriame pomocou dvoch scintilačných detektorov umiestnených na stole s uhlovou stupnicou. Jeden z detektorov je upevnený k stolu, druhý je spojený s otočným ramenom, pričom v osi otáčania sa nachádza zdroj žiarenia. Uhol natočenia detektorov odčítame na uhlovej stupnici. Impulzy z oboch detektorov sú po zosilnení a diskriminácii vedené na koincidenčný obvod a odtiaľ na čítač impulzov.

Výsledky meraní:

Merali sme závislosť počtu koincencií počas doby $T = 100$ s na uhle natočenia detektorov. Diskriminačná úroveň bola nastavená tak, že diskriminátor prepustil len pulzy s energiou väčšou ako 5 – 10 % energie γ -kvanta (511 keV). Scintilačné detektory mali rozmery 40 x 40 mm. Detektory boli vybavené odnímateľnými kolimátormi so šírkou štrbiny $t = 1$ cm. Vzdialenosť vzorku od detektora bola $l \approx 15$ cm. Priestorový uhol, pod ktorým vidia detektory zdroj žiarenia je teda pre detektor bez kolimátora $\Omega_1 \approx 0,07$ sr a pre detektor s kolimátorom $\Omega_2 \approx 0,02$ sr.

Robili sme dve merania – bez kolimátorov a s kolimátormi v rozmedzí uhlov natočenia detektora θ od -15° do 15° s krokom po 1° . Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1, závislosti sú vynesené v grafe 1. N udáva počet impulzov pre meranie bez kolimátora, N_k udáva počet impulzom pri meraní s kolimátorom.

Namerané hodnoty závislosti meranej bez kolimátorov sme preložili Gaussovou krivkou v tvaru

$$y_0 + Ae^{-\frac{(q-q_c)^2}{2s^2}} \quad (1)$$

Závislosť meraní s kolimátormi sme preložili súčtom dvoch Gaussových kriviek v tvare

$$y_0 + A_1 e^{-\frac{(q-q_{1c})^2}{2s_1^2}} + A_2 e^{-\frac{(q-q_{2c})^2}{2s_2^2}} \quad (2)$$

Parametre určené fitovaním pomocou programu Origin sú uvedené v tabuľke 2. Uvedenú pološírku rozdelenia závislosti (1) sme určili podľa vzťahu

$$FWHM = 2s\sqrt{2\ln 2}, \quad (3)$$

pričom za polovicu výšky považujeme

$$y = y_0 + \frac{A}{2}.$$

Dostali sme hodnotu

$$FWHM_1 = (13,9 \pm 0,1)^\circ$$

Pološírku súčtu dvoch Gaussových kriviek sme určili ako šírku vo výške

$$y = y_0 + \frac{1}{2}(A_1 + A_2)$$

numerickým riešením príslušnej rovnice pomocou programu *Mathematica*. Dostali sme hodnotu

$$FWHM_2 = (7,4 \pm 0,1)^\circ.$$

Odchýlky sú určené na základe odchýlok parametrov σ príslušných kriviek.

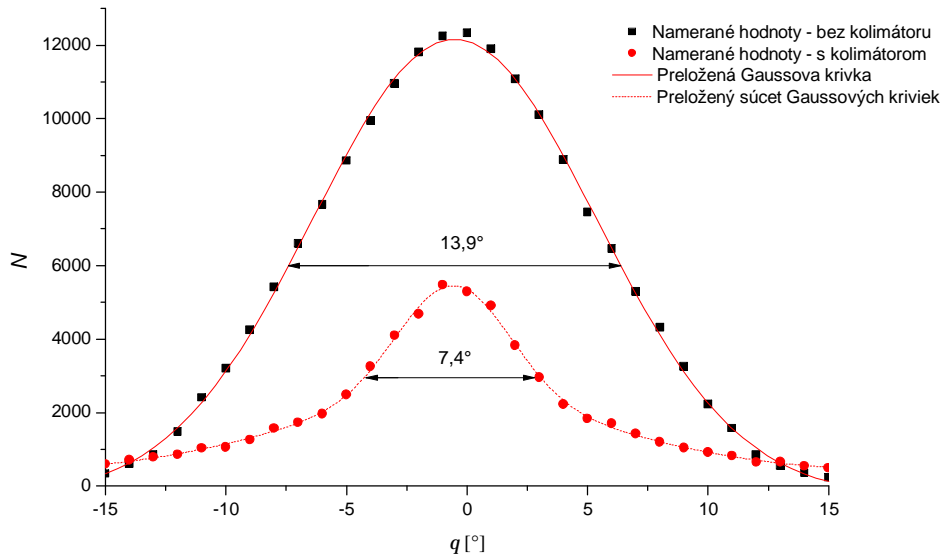
Tabuľka 1: Namerané hodnoty

θ [°]	N	N_k	θ [°]	N	N_k
-15	337	601	1	11890	4911
-14	609	709	2	11073	3833
-13	858	791	3	10102	2958
-12	1478	867	4	8879	2229
-11	2409	1030	5	7455	1835
-10	3197	1056	6	6458	1710
-9	4247	1262	7	5290	1431
-8	5421	1573	8	4311	1198
-7	6603	1736	9	3260	1045
-6	7661	1962	10	2222	917
-5	8852	2485	11	1573	831
-4	9951	3254	12	851	655
-3	10958	4106	13	547	661
-2	11804	4685	14	358	541
-1	12241	5476	15	241	495
0	12333	5295			

Tabuľka 2: Parametre fitovaných Gaussových kriviek

$y_0 + Ae^{-\frac{(q-q_c)^2}{2s^2}}$		$y_0 + A_1 e^{-\frac{(q-q_{1c})^2}{2s_1^2}} + A_2 e^{-\frac{(q-q_{2c})^2}{2s_2^2}}$	
y_0	-270 ± 90	y_0	380 ± 110
A	12530 ± 90	A_1	1910 ± 130
θ_c	$-0,51^\circ \pm 0,03^\circ$	θ_{1c}	$-0,8^\circ \pm 0,1^\circ$
σ	$5,89^\circ \pm 0,06^\circ$	σ_1	$6,8^\circ \pm 0,7^\circ$
$FWHM_1$	$13,9^\circ \pm 0,1^\circ$	A_2	3170 ± 180
		θ_{2c}	$-0,56^\circ \pm 0,05^\circ$
		σ_2	$2,3^\circ \pm 0,1^\circ$
		$FWHM_2$	$7,4^\circ \pm 0,1^\circ$

Graf 1: Namerané uhlové závislosti



Diskusia:

Hoci smery výletu anihilačných fotónov zo vzorku zvierajú uhol 180° , bol detegovaný nenulový počet koincencií aj pri iných uhloch vzájomného natočenia detektorov. Pozorované uhlové rozdelenie anihilačných fotónov bolo spôsobené tým, že aj pri pootočení detektorov sa ich detekčné plochy čiastočne prekrývajú. Nemožno teda zanedbať rozmery detektorov a považovať ich za bodové.

Uhlové rozdelenie počtu koincencií pri meraní bez kolimátora sme aproximovali Gaussovou krivkou, ktorá dobre vystihuje nameranú závislosť.

Uhlové rozdelenie pri meraní s kolimátorom sa dá dobre aproximovať súčtom dvoch Gaussových kriviek, čo môžeme vysvetliť tak, že jedna z nich (užšia) zodpovedá rozdeleniu fotónov prepustených štrbinou kolimátora, druhá (širšia) reprezentuje rozdelenie fotónov, ktoré neboli odtienené kolimátorom, a teda mohli byť detekované celou plochou detektora. Pološírka rozdelenia pri meraní bez kolimátora (so $s = (5,89 \pm 0,06)^\circ$) totiž približne súhlasí s pološírkou širšej Gaussovej krivky z rozdelenia meraného s kolimátorom (so $s_2 = (6,8 \pm 0,7)^\circ$). To podporuje myšlienku, že širšia Gaussova krivka je spôsobená nedostatočne odtienenými fotónmi.

Pomer pološírky užšej Gaussovej krivky (so $s_1 = (2,3 \pm 0,1)^\circ$) a Gaussovej krivky rozdelenia meraného bez kolimátora (so $s = (5,89 \pm 0,06)^\circ$) približne zodpovedá pomeru priestorových uhlov, pod ktorými vidí zdroj detektor s kolimátorom a bez kolimátora.

Záver:

Zmerali sme uhlové rozdelenie fotónov z anihilácie elektrón- pozitronového páru pre detektor bez kolimátora a detektor s kolimátorom. Namerané závislosti sú vynesené v grafe 1. Nameranú závislosť pre detektor bez kolimátora sme aproximovali Gaussovou krivkou, ktorej pološírka je

$$FWHM_1 = (13,9 \pm 0,1)^\circ.$$

Nameranú závislosť s kolimátormi sme aproximovali súčtom dvoch Gaussových kriviek. Určili sme pološírky tejto závislosti ako

$$FWHM_2 = (7,4 \pm 0,1)^\circ.$$

Literatúra:

[1] Študijný text k úlohe č. A 07, <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>