

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: 7

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

Vypracoval: Vít MAREK stud. sk. F/3 dne 14.11.2001

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval:dne výsledek klasifikace

Připomínky:

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:

Pozitron je antičástice elektronu. V pozorované přírodě se běžně nevyskytuje, protože velice ochotně anihiluje s elektronem, který je jedním ze základních kamenů hmoty kolem nás. Při anihilaci obě tyto částice zaniknou za vzniku anihilačních fotonů. Pozitrony jsou emitovány při rozpadu některých radioizotopů, např. ^{22}Na . Tyto pozitrony nejprve ztrácejí svou kinetickou energii velkým množstvím srážek s elektrony a nakonec, když je jejich kinetická energie prakticky nulová, anihilují. Od rozpadu jádra do anihilace elektron-pozitronového páru uplyne řádově $10^7 - 10^{10}$ s. Při anihilaci vznikají v převážné ve většině případů dva anihilační fotony. Podle zákona zachování energie jsou součet energií anihilačních fotonů je roven součtu klidových energií pozitronu a elektronu (antičástice mají stejnou hmotnost). Ze zákona zachování hybnosti plyne, že anihilační fotony mají stejně velké, opačně orientované hybnosti. Při anihilaci tedy dochází k současnému vyzáření dvou fotonů s energiemi 511 keV se směry výletu svírajícími 180° .

Současné fyzikální děje je možno studovat tzv. koincidenčním měřením. Základem je elektronický, tzv. koincidenční blok, na jehož výstupu se objeví impuls pouze tehdy, když na jeho vstupy jsou přivedeny impulsy, které se časově překrývají. Současnost naměřených dějů je vždy zatížena jistou chybou danou časovou fluktuací vytváření signálu v detektorech a vlastní časovou rozlišovací chybou koincidenčního zařízení. Celkové časové rozlišení současných dvou a více dějů je dáno hlavně rychlostí vytváření signálu v detektorech a pohybuje se při současné technice v mezích $10^{-6} - 10^{-12}$ s. Počet náhodných koincidencí N_a je pro n detektorů s četností N_i a rozlišovací dobou koincidenčního zařízení τ dán:

$$N_a = 2^{n-1} \cdot N_1 N_2 \dots N_n \tau^{n-1} \quad (1)$$

Úhlové uspořádání výletu gama kvant z radioaktivního zdroje měníme pomocí dvou scintilačních detektorů se scintilátory NaI umístěných na stole s úhlovou stupnicí. Jeden z detektorů je pevně uchycen a druhý je spojen s otočným ramenem, na jehož ose otáčení se nachází měřený radioaktivní zdroj. Osy detektorů se vždy protínají ve středu zdroje. Impulsy z obou detektorů se po zesílení a diskriminaci vedou na koincidenční obvod a odtud na čítač impulsů. Četnosti z jednotlivých detektorů jsou registrovány dalšími dvěma čítači.

Výsledky měření:

1, Pro proměření úhlového rozdělení vyletujících fotonů jsem použil dva NaI scintilační detektory. Jeden byl pevně uchycen a druhý se mohl volně otáčet kolem osy procházející studovaným vzorkem. Pro studium β^+ rozpadu jsem použil ^{22}Na . Úhlovou závislost jsem proměřil v rozsahu $30^\circ - 195^\circ$ (úhel svírající oba detektory). Pro lepší odhad chyby jsem každé měření opakoval pět krát. Měřící dobu jsem zvolil 20s. Rozlišovací dobu koincidenčního zařízení jsem zvolil $0,05 \mu\text{s}$. Výsledky měření jsou zaznamenány v protokolu z měření. Pro každou polohu jsem pak určil průměrný počet zaznamenaných fotonů a směrodatnou odchylku. Hodnoty pro jednotlivé polohy jsou zaznamenány v *tabulce 1*. Výsledná závislost je zakreslena do *grafu 1*. V *grafu 2* je zakreslena závislost počtu detekovaných fotonů pro výchylku 15° na obě strany od 180° .

2, Z *grafu 2* jsem v programu Origin 6 odečetl pološířku úhlového rozdělení detekovaných fotonů. Pološířka je $(12,94 \pm 0,04) [^\circ]$. Chybu jsem odhadl na základě odečítání z grafu.

3, Podle teorie by jsem měl naměřit nenulovou intenzitu záření jen pro úhel 180° . Naměřené data však tomu neodpovídají. Je to způsobeno poměrně velikou detekční plochou detektorů. Trajektorie detekovaných fotonů nejsou v jedné přímce, ale v určitém prostorovém úhlu. Detektory tak zaznamenávají dvojici vyzářených fotonů, i když svírají úhel různý od 180° .

Tabulka 1 – Úhlové rozdělení počtu detekovaných fotonů

$\varphi [^\circ]$	n	er n	$\varphi [^\circ]$	n	er n
195	140	10	175	4740	70
194	220	20	174	4030	50
193	340	20	173	3410	60
192	610	20	172	2770	30
191	960	20	171	2170	30
190	1420	30	170	1600	10
189	1980	30	169	1110	40
188	2530	20	168	720	20
187	3140	20	167	420	10
186	3840	60	166	250	10
185	4530	30	165	170	10
184	5150	50	160	130	10
183	5850	50	150	134	4
182	6490	60	130	120	7
181	6940	50	110	110	10
180	7300	30	90	127	5
179	7080	50	75	140	10
178	6640	50	60	157	6
177	6030	50	45	211	6
176	5370	70	30	320	20

φ úhel svírající detektor, n počet detekovaných částic, $er\ n$ jeho chyba

Diskuse:

Při určování úhlového rozdělení detekovaných fotonů je celé měření zatíženo chybou způsobenou náhodnými scintilacemi, kdy detektory proletí gama záření neprocházející přímo od sledovaného zdroje. Tento příspěvek je poměrně malý pro detektory při naklonění o 180° . Ale jak je z měření patrné, roste při přibližování detektoru. Při přibližování totiž roste prostorový úhel, pod kterým částice může letět, aby způsobila scintilaci. Tím také roste počet částic splňujících tuto podmínku a tím i počet scintilací. Tomu odpovídá i nárůst počtu detekovaných fotonů při malých úhlech. Při podrobnějším prozkoumání *grafu 2* jsem zjistil, že naměřená závislost není symetrická podle polohy 180° , ale je mírně posunutá (asi $179^\circ 40'$). To je pravděpodobně způsobeno nepřesnou polohou pevně uchyceného detektoru.

Zjištěná pološířka by se mohla zmenšit (a tím i přesněji ověřit pohyb fotonů pod úhlem 180°) zmenšením detekčních ploch detektorů. Tím by se však zmenšil při daném čase počet detekovaných fotonů. Bylo by také obtížnější oba detektory seřadit, aby byly v přímce.

Při úhlu 180° jsem také změřil závislost počtu detekovaných fotonů na natočení zdroje. Při otočení zdroje záření o 45° klesl počet detekovaných fotonů asi o 7,5%, a při 90° až o 11%. To může být způsobeno pohybem fotonů v materiálu zářiče nebo není zářič uchycen v ose otáčení vzorku.

Závěr:

- 1, Závislost úhlového rozdělení vyletujících fotonů je zakreslena v *grafu 1*.
- 2, Pološířka úhlového rozdělení je $12,94 \pm 0,04 [^\circ]$.

Použitá literatura:

- [1] Studijní text k úloze 7 PIV: <http://www.mff.cuni.cz/iso/study/xbk/zfp/home.htm>