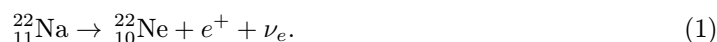


1 Pracovní úkoly

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.

2 Teoretický úvod

Ve vzorku zářiče probíhá β^+ rozpad podle následující rovnice



Z reakce vylétující pozitrony se pak v látce zpomalí a pak s již nízkou hybností anihiluje s elektronem



Vzhledem k tomu, že platí zákon zachování hybnosti a zákon zachování energie, tak fotony gama vyletí v těžištové soustavě přesně proti sobě ($\varphi = 180^\circ$), přičemž mají přesně stejnou energii 511keV . A vzhledem k tomu, že elektron a pozitron mají relativně nízkou kinetickou energii oproti své klidové energii, tak v laboratorní soustavě budou také fotony vylétujícího gama záření svírat úhel 180° .

Při měření předpokládáme, že zdroj záření je bodový. Zanedbat rozměry detektorů naproti tomu nemůžeme. Detektor totiž přijímá signál z celé detekční plochy a kvůli způsobu funkce aparatury je jediná informace, kterou získáme, jestli nějaká dostatečně energetická částice vletěla do detektoru. Pokud použijeme detektory, které sbírají signál z obdélníkové plochy, pak naměřený počet koincidence $p(\alpha)$ by měl být nepřímě úměrný úhlové odchylce od přímého úhlu $\alpha = \varphi - 180^\circ$ - rozdělení by mělo být trojúhelníkové

$$p(\alpha) = -K|\alpha| + K_0, \quad (3)$$

kde K_0 je počet koincidence při přímém úhlu a K je konstanta odpovídající rozměrům obdélníka a vzdálenosti mezi detektory. Pokud by mělo $p(\alpha) \leq 0$, pak $p(\alpha) \equiv 0$. V případě, že použijeme detektory, které mají detekční plochu ve tvaru kruhu, pak pokles v závislosti na úhlu by měl být ještě rychlejší než u čtverce, který by měl stejnou délku strany, jako kruh poloměr. Měření ovšem bude ovlivňovat také Comptonův rozptyl.

Počet náhodných koincidence N_A pro dva detektory s četnostmi N_1 a N_2 je

$$N_A = 2N_1N_2\tau, \quad (4)$$

kde τ je rozlišovací doba koincidenčního zařízení.

3 Měření

Všechna měření byla prováděna po dobu 100s , takže počet četností a koincidence dále uváděný, se vždy bude pojit s tímto časovým intervalem.

Chyby u četností a koincidence určuji jako $\sigma_n = \sqrt{n}$, kde n je naměřená hodnota četnosti, resp. koincidence. A přenos chyb počítám standardním způsobem.

Pro měření byly použity scintilační detektory kruhového průřezu. Nejprve byly koincidence měřeny s detektory tak, jak jsou a pro další měření pak byly použity olověné kolimátory s obdélníkovým průřezem. Chyba určení úhlu na aparatuře byla zhruba $10'$.

Rozlišovací doba koincidenčního zařízení byla nastavena na $\tau = 91,4\text{ns}$. Naměřená četnost prvního detektoru byla $N_1 = 44014 \pm 210$ a druhého detektoru $N_2 = 28920 \pm 170$. Tomu dle (4)

Tabulka 1: Měření koincidence na detektorech bez kolimátorů

$\varphi/^\circ$	N	σ_N	N_c	σ_{N_c}
180	4711	69	4617	69
179	4604	68	4510	69
178	4430	67	4336	67
177	3970	63	3876	64
176	3495	59	3401	60
175	3109	56	3015	57
174	2741	52	2647	53
173	2141	46	2047	47
172	1775	42	1681	43
171	1477	38	1383	40
170	1037	32	943	34
169	744	27	650	29
168	471	22	377	24
167	276	17	182	19
166	129	11	35	15
165	105	10	11	14

Tabulka 2: Měření koincidence na detektorech bez kolimátorů v druhé polovině

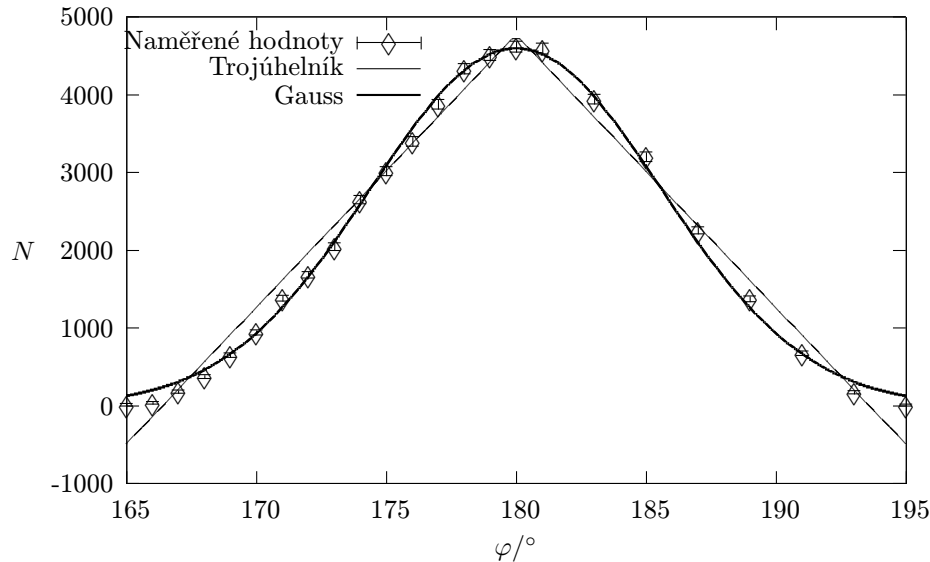
$\varphi/^\circ$	N	σ_N	N_c	σ_{N_c}
181	4685	68	4591	69
183	4036	64	3942	64
185	3296	57	3202	58
187	2349	48	2255	49
189	1469	38	1375	40
191	768	28	674	29
193	268	16	174	19
195	103	10	9	14

odpovídá počet náhodných koincidence $N_A = 233 \pm 2$. To bylo pak ověřováno měřením v pozici, kdy detektory svíraly vůči vzorku úhel $\varphi = 90^\circ$, kdy bylo naměřeno $N_a = 94 \pm 10$. Což se značně liší od předpovězené hodnoty. Jako hodnotu pozadí budu brát $N_a = 94 \pm 10$.

Nejprve bylo provedeno měření s detektory svírajícími úhel $165^\circ - 180^\circ$ po jednom stupni - data z těchto měření jsou v tabulce č. 1. Následně bylo ověřeno, že situace je symetrická pro úhly $181^\circ - 195^\circ$ - data z měření jsou v tabulce č. 2. V prvním sloupci tabulek je vždy úhel sevržený scintilátory φ , v druhém sloupci je naměřený počet koincidence, ve třetím odhad chyby koincidence, ve čtvrtém je zkorigovaná hodnota odečtením pozadí a v posledním je chyba hodnoty po odečtení pozadí. Data z obou tabulek jsou pak sloučena v obrázku grafu č. 1. Vzhledem k tomu, že teorií, kdy jsme uvažovali bodový vzorek a to, že gama fotony s látkou před detektorem nereagují, jsme provedli příliš mnoho zanedbání, vypadá profil naměřených dat jinak oproti očekávání - očekávali jsme ještě rychlejší úbytek koincidence než pro případ s obdélníkovým detektorem, ale data poukazují spíše na Gaussovo rozdělení. Pro proložení jsme použili rovnici

$$N_G = L \exp\left(-\frac{(\varphi - \phi_{max})^2}{2S^2}\right), \quad (5)$$

kde L , ϕ_{max} a S jsou parametry (resp. konkrétně u grafu 1 jsme zafixovali $\phi_{max} = 180^\circ$).



Obrázek 1: Graf měření bez kolimátoru proložený trojúhelníkovou a Gaussovou funkcí

Z porovnání chyb fitovaných konstant opravdu docházíme k tomu, že lépe odpovídá graf Gaussovy funkce a pološířka vypočtená pomocí programu Gnuplot (Gnuplot byl použit na vyplotování všech grafů a pro výpočty fitu) vychází jako $13,2^\circ$.

V sestavě dvou detektorů bez kolimátorů jsme ještě provedli měření pro co nejmenší úhel $\varphi_{min} = 20^\circ$. S takto nastavenou aparaturou jsme naměřili $N_d = 338 \pm 18$, což je značně větší počet koincidence než při úhlu 90° . Tento jev je způsobem Comptonovým rozptylem gama fotonu na slabě vázaných elektronech ve vzduchu.

Dalším měřením bylo měření s kolimátorem, který byl realizován olověnou bariérou s obdélníkovým průřezem. Naměřené hodnoty jsou v obrázku grafu č. 2 a data jsou v tabulce č. 3. Vzhledem k tomu, že jsem bariéry nenastavil přesně kolmo na detektory, tak jsem tím posunul maximum o něco víc než stupeň od pozice 180° . Tentokrát je už je těžší určit, zda lépe odpovídá Gaussova, nebo trojúhelníková funkce, ale vzhledem k tomu, že i po zahození měření u kraje naměřené oblasti (viz graf č. 3 vykazuje statistické zpracování vyšší chybu u trojúhelníkové funkce, tak znovu odhaduji pološířku úhlového rozdělení pomocí Gaussovy funkce a to konkrétně jako $4,1^\circ$.

4 Diskuse

Provedli jsme některá zanedbání, která nemusela být zcela oprávněná. Například jsme předpokládali, že zdroj záření je bodový, ale ve skutečnosti je objemový. To by teoreticky mohlo vysvětlit menší "plato" v oblasti maximální hodnoty úhlu svíraného scintilátory.

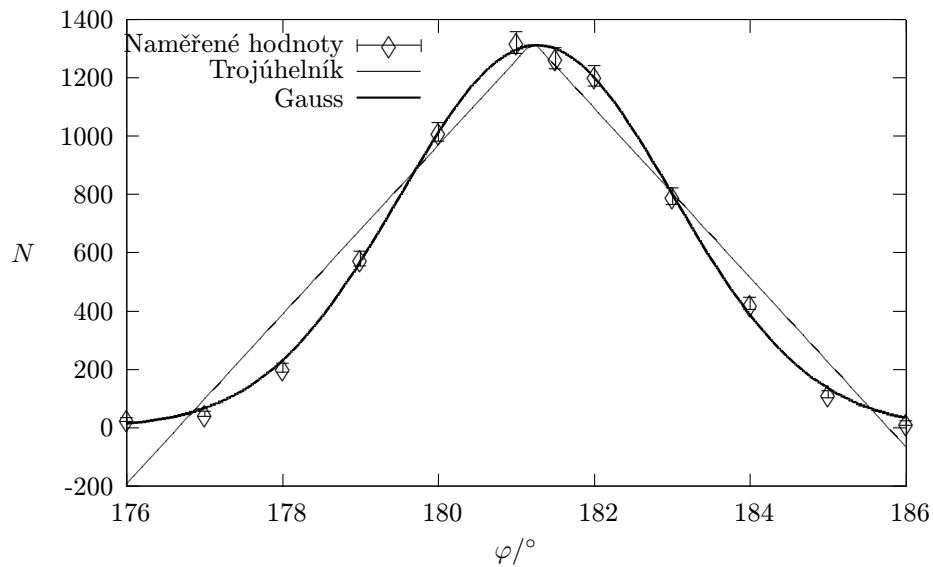
Dalším zanedbáním, které se ukázalo jako příliš silné, bylo neuvažování Comptonova rozptylu. Comptonův rozptyl se na měření podílí poměrně silně, což jsme si ověřili pro měření pod úhlem $\varphi = 20^\circ$. Comptonův jev se právě podílí na tom, že úhlové rozdělení spíše odpovídá Gaussovskému rozdělení než rozdělení, které by odpovídalo pouze tvaru průřezu detektoru.

V teorii předpokládané trojúhelníkové rozdělení u detektorů omezených na obdélníkový průzor nebylo naměřeno právě z v předchozích odstavcích uvedených důvodů. Pološířka rozdělení je pak

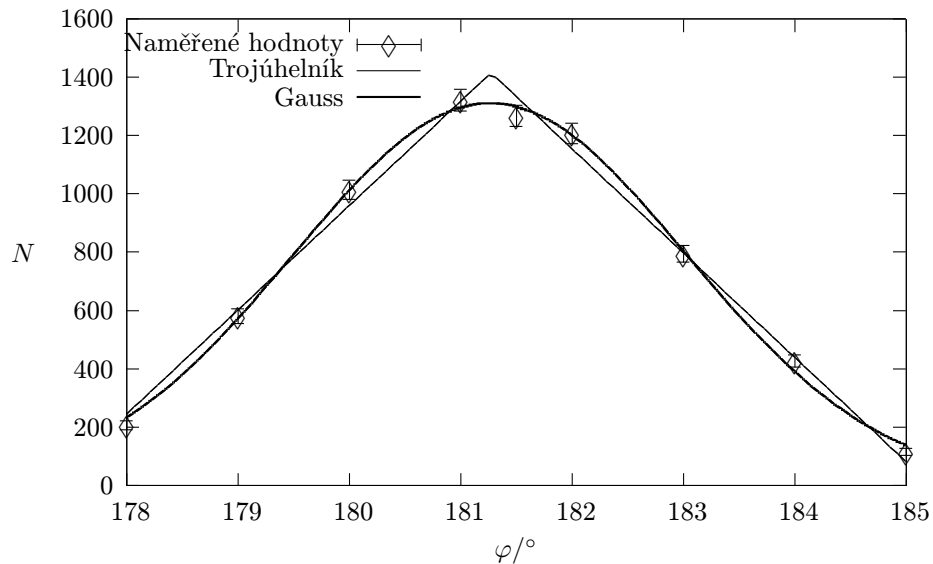
Určení pološířky úhlového rozdělení pak nebylo provedeno na základě funkce určené teorií, ale pomocí proložení funkce, která nejlépe odpovídala, což není fyzikálně zcela správně, ale odpověď na hledanou otázku tak získáváme relativně přesně. A také argumentem pro to použít zrovna Gaussovu funkci je, že Comptonův rozptyl je náhodný děj a Gaussova křivka popisuje náhodné děje.

Tabulka 3: Měření koincidence na detektorech s kolimátorem

$\varphi/^\circ$	N	σ_N	N_c	σ_{N_c}
186	30	5	16	7
185	129	11	115	12
184	440	21	426	21
183	808	28	794	29
182	1221	35	1207	35
181,5	1281	36	1267	36
181	1335	37	1321	37
180	1028	32	1014	32
179	594	24	580	25
178	220	15	206	15
177	62	8	48	9
176	42	6	28	7



Obrázek 2: Graf měření s kolimátorem proložený trojúhelníkovou a Gaussovou funkcí



Obrázek 3: Graf měření s kolimátorem (bez krajních měření) proložený trojúhelníkovou a Gaussovou funkcí

5 Závěr

Měřením jsem ověřil, že fotony gama záření pocházející z jednoho β^+ rozpadu $^{22}_{11}\text{Na}$ svírají přímý úhel.

Pološířku úhlového rozdělení jsem určil jako $13,2^\circ$ pro měření bez kolimátoru a $4,1^\circ$ pro měření s kolimátorem.

Vysvětlil jsem tvar naměřeného úhlového rozdělení.

6 Literatura

[1] **Studijní text k fyzikálnímu praktiku**

Měření úhlového rozdělení fotonů z anihilace elektron-pozitronového páru

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_407.pdf