

Úloha č. 12. Relativistické chování elektronů

Pracovní úkoly:

1. Na HPGe detektoru proměřte spektra γ -záření připravených radioizotopů.
2. Určete energie píků plného pohlcení a energie jím příslušejících Comptonových hran
3. Vypočítejte hybnosti odražených Comptonovských elektronů a na grafech ukažte, zda se chovají dle klasické teorie nebo podle teorie relativity.

Teorie:

Gama záření může interagovat s hmotou pomocí Comptonova rozptylu, kdy je část energie gama kvanta předána elektronu. Pokud je energie fotonu plně pohlcena, projeví se ve spektru jako záznam (event) ve fotopíku. Pokud není, je detekována pouze část energie předaná elektronu. Tyto události se ve spektru jeví jako tzv. Comptonovské pozadí. Maximální hybnost a energii může elektron získat, když se foton od elektronu odrazí o 180° , která se projeví jako Comptonovská hrana. Hybnost, která je elektronu předána je

$$p = p_\gamma + p'_\gamma,$$

kde p je hybnost předaná elektronu, p_γ je energie dopadajícího γ -kvanta a p'_γ je hybnost odraženého γ -kvanta. Dále zákon zachování energie dává:

$$p_\gamma = p'_\gamma + T,$$

kde T je energie předaná elektronu (kinetická). Z těchto dvou vztahů a vztahu mezi energií a hybností fotonu ($E_\gamma = p_\gamma c$) lze určit hybnost elektronu:

$$pc = 2E_\gamma - T$$

Žádný z těchto vztahů nepředpokládá znalost teorie relativity.

E_γ je energie fotonu a je to energie fotopíku. T je dána energií Comptonovské hrany.

Klasický vztah mezi kinetickou energií a hybností je $T = \frac{p^2}{2m}$, kde m je klidová hmotnost elektronu, relativistický vztah je dán jako $T = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} - m_0 c^2$

Postup měření:

0. Zkontrolujte, že na HPGe detektor je připojen k multikanálovému analyzátoru Lynx je připojen k měřicímu počítači (ethernetovým kabelem). Na detektoru by měla svítit zelená dioda u nápisu COLD. Pokud svítí oranžová dioda u nápisu

WARM, pak se nesmí s detektorem měřit, došlo by k jeho poškození. Pokud nesvítí žádná dioda, není detektor připojen k analyzátoru popř. není analyzátor zapnut. V tomto případě to nahlašte vedoucímu praktik. Nic neopravujte, nic bez dozoru nezapínejte!

1. Spust'íte počítač a v počítači spust'íte program ProSpect a přihlašte se jako Supervisor.
2. V dolní části okna programu uprostřed vyberte ikonu „Connect to device“, vyberte BEGe Lynx:10.0.0.3 a připojte detektor (zmáčkněte „Connect“).
3. Ze záložek v levé části okna vyberte „Detector“ a zkontrolujte, že typ přezesilovače je RC. Zkontrolujte popř. nastavte „High Voltage Settings (klikněte na ikonku tužky, vlevo od otazníku) dle tabulky

Voltage (V)	3500
Range (V)	5000
Limit (V)	3800
Polarity	Positive
Inhibit polarity	Positive
Inhibit	On. ZAŠKRTNUTO!

4. Ze záložek v levé části okna vyberte „Acquisition“ a nastavte (klikněte na ikonku tužky /Edit Acquisition Settings/) hodnoty dle Tabulky č.10.2. Podobně nastavte hodnoty zisku a filtrování (ikona tužky /Edit Gain/) v záložce „MCA settings“.

Tabulka 10.1

Parametr	Nastavení	Záložka
Acquisition mode	PHA	Acquisition
Preset	Real	Acquisition
Limit	15 minut	Acquisition
LLD mode	Automatic	MCA settings/Gain settings/General
LLD %	0,1	MCA settings/Gain settings/General
Polarity	Positive	MCA settings/Gain settings/General
ULD %	100,0	MCA settings/Gain settings/General
Attenuate	Checked	MCA settings/Gain settings/Miscellaneous
BLR mode	Automatic	MCA settings
Fast disc shape	Normal	MCA settings
Fast disc mode	Automatic	MCA settings
Manual fast disc	1.0	MCA settings

Rise time	1.0	MCA settings
Flap top	1.0	MCA settings
PUR Guard	1.1	MCA settings
Conversion gain	32768	MCA settings/Gain settings

5. V záložce „Detector“ zaškrtněte políčko „On“. Počkejte, až napětí na detektoru skutečně dosáhne 3500 V („Reading (V)“).

6. Vyžádejte si od vedoucího praktik zářič ^{137}Cs a umístěte jej dle instrukcí vedoucího do držáku nad detektor.

7. Spust'te nabírání dat (tlačítko „Start“ ve tvaru trojúhelníku).

8. Nastavte zisk zesilovače tak, aby poloha fotopíku byla zhruba ve dvou třetinách celého rozsahu spektra. (V liště MCA settings nastavujte „Coarse Gain“ a „Fine Gain“.) Poté zastavte nabírání dat (tlačítko „Stop“ reprezentované čtverečkem) a vymažte spektrum (tlačítko „Clear“/zakroucená šipka).

9. Změřte spektrum ^{137}Cs a označte si pík plného pohlcení (najeďte myší vlevo od píku, zmáčkněte levé tlačítko a přetáhněte až na pravou stranu píku, poté pusťte tlačítko myši). Najetím kurzoru myši na označený pík se zobrazí v levém horním rohu informace o píku. Pro přesné určení polohy píku si oblast okolí píku zvětšete (Zoom into region/Reset zoom po stisku pravého tlačítka myši).

10. Proved'te kalibraci. (Bude popsáno v další verzi, zatím se obraťte na vedoucího praktik.) 661,7 keV

Co60, Cs137, Na22, Y88 (1836.05 keV), Eu152(344 keV a 1408 keV)

11. Najeďte kurzorem myši na vyznačenou oblast fotopíku. Ze zobrazených hodnot jsou důležité Centroid (včetně chyby) a FWHM, zaznamenejte si je.

12. Uložte si data pomocí zelené ikonky (vpravo nahoře) „Export data“ do adresáře c:\fpr4\<skoni rok>\<prijmeni>.

13. Vymažte spektrum a postup 6 až 12 opakujte pro vzorky ^{57}Co (122 keV), ^{60}Co (1173,2 keV a 1332,5 keV), ^{22}Na (511 keV a 1274,5 keV), ^{152}Eu (121,8 keV, 244,7 keV, 344,3 keV, 778,9 keV, 964,1 keV, 1112,1 keV a 1408,0 keV [použijte ke kalibraci, pro použití Comptonovy hrany pouze 344 keV a popř. 1408 keV] a pokud bude k dispozici i ^{88}Y (898,0 keV a 1836,1 keV).

14. Vypněte napětí na detektoru. Tj. postupujte dle bodu 5 a odškrtněte políčko „On“. Počkejte, až napětí na detektoru spadne na 6-7 V. Poté můžete vypnout program ProSpect.

Zpracování dat:

15. V MS Excelu nebo jiném tabulkovém procesoru vytvořte graf spektra, nalezněte Comptonovskou hranu příslušného fotopíku (vizte obr.). Odhadněte začátek a konec hrany, hodnoty zaznamenejte a vypočtěte jejich průměrnou hodnotu. Tu poté použijte k výpočtu kinetické energie a hybnosti elektronu.

16. Vytvořte tabulku s energiemi fotopíků, jejich Comptonovskými hranami a vypočtenými hybnostmi a kinetickými energiemi.

17. Vytvořte graf závislosti kinetické energie na hybnosti (v keV a keV/c). Do stejného grafu vynesete teoretickou křivku závislosti relativistickou a klasickou. Výsledek diskutujte.

18. Vytvořte graf závislosti p_c (keV) na β a proložte teoretickou křivkou.

Literatura:

P.L. Jolivet and N. Rouze; Compton scattering, the electron mass, and relativity: A laboratory experiment, *Am. J. Phys.* **62** (3), March 1994