

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...



Úloha č.

Název úlohy:

Jméno: Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření:

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkoly

1. Cílem studované úlohy je seznámit posluchače s vlastnostmi spekter gama záření získaných polovodičovým spektrometrem. Měření je prováděno se zářiči s jednoduchým spektrem gama záření: ^{137}Cs ($E_\gamma = 661,66 \text{ keV}$) a ^{24}Na ($E_\gamma = 1368,63$ a $2754,03 \text{ keV}$).

Teoretická část

Budeme studovat spektrum gama záření polovodičovým spektrometrem. Po dopadu fotonu vznikají elektrony, jejichž energii detektor měří. Výsledné spektrum je energetické spektrum takto vzniklých elektronů. Elektrony vznikají třemi hlavními způsoby.

1. *Fotoefekt*[1] — Foton vyrazí z atomu elektron a předá mu všechnu svoji energii. Výstupní práce je zpravidla zanedbatelná vůči energii fotonu, takže pík bude mít energii téměř rovnou energii vstupního gama záření. Mluvíme o *píku plně absorbce* (FEP).
2. *Comptonův jev*[1] — Foton se pružně rozptýlí na volném elektronu a předá mu část své energie. Největší možnou energii E_c foton předá při rozptýlu o úhel 180° . Pokud tento rozptýlený foton z detektoru unikne, je spektrum spojitě v energiích od 0 do E_c . V E_c tedy budeme ve spektru pozorovat *comptonovu hranu*.

Rozptýlený foton však může dále interagovat. Pokud se například ještě jednou pružně rozptýlí a poté unikne, může předat maximální energii $E_{2c} > E_c$ a budeme pozorovat spojitě spektrum od 0 do E_{2c} . V E_{2c} budeme tedy pozorovat další hranu.

3. *Tvorba elektron-pozitronových párů*[1] — Pokud je energie dopadajícího fotonu dostatečně vysok (větší než $2m_e c^2 = 2 \cdot 511 \text{ keV}$), může foton zaniknout a vytvořit pár elektron-pozitron. Pozitron velmi rychle anihiluje za vzniku dvou fotonů s energií 511 keV a opačnou hybností. Fotony dále interagují s detektorem a pozorujeme podobné efekty jako výše.

Pokud jeden z fotonů unikne z detektoru, naměříme energii o 511 keV menší než energii dopadajícího fotonu, pak mluvíme o *píku jednoho úniku* (SEP). Pokud uniknou oba fotony, naměříme o $2 \cdot 511 \text{ keV}$ menší energii a mluvíme o *píku dvou úniků* (DEP).

Foton se může také nejdříve rozptýlit mimo aktivní část detektoru a až poté být detekován. Energetické spektrum je opět omezeno minimální energií rozptýleného elektronu a geometrií detektoru. Proto ve spektru pozorujeme *hranu zpětného odrazu*.

Také se může stát, že elektron-pozitronový pár vznikne mimo aktivní oblast detektoru. Jeden z fotonů potom většinou dolétne do aktivní části a my pozorujeme tzv. *anihilační pík* na 511 keV .

Statistickou nejistotu energií píků určujeme následujícím způsobem. Předpokládáme, že se jednotlivé události řídí normálním rozdělením. Pokud změříme N událostí (net count) tak naměřené rozdělení bude mít standardní odchylku

$$\sigma_N = \frac{\text{FWHM}}{2\sqrt{2\log 2}}, \quad (1)$$

kde FWHM je šířka pík v polovině maxima, kterou nafituje program. Nejistota určení středu rozdělení je potom

$$\sigma = \frac{\sigma_N}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Výsledky měření

Provedli jsme kalibraci spektrometru pomocí ^{226}Ra . Přesnost kalibrace jsme posuzovali pomocí přirozeného radiačního prostředí. V místě přibližně uprostřed mezi dvěma kalibračními body se kalibrace odchylovala o $0,25 \text{ keV}$, což považujeme za mezní chybu kalibrace. Blízko kalibračních bodů jsme naměřili odchylku $0,03 \text{ keV}$. Celkově odhadujeme nejistotu způsobenou touto systematickou chybou za $0,10 \text{ keV}$.

^{137}Cs

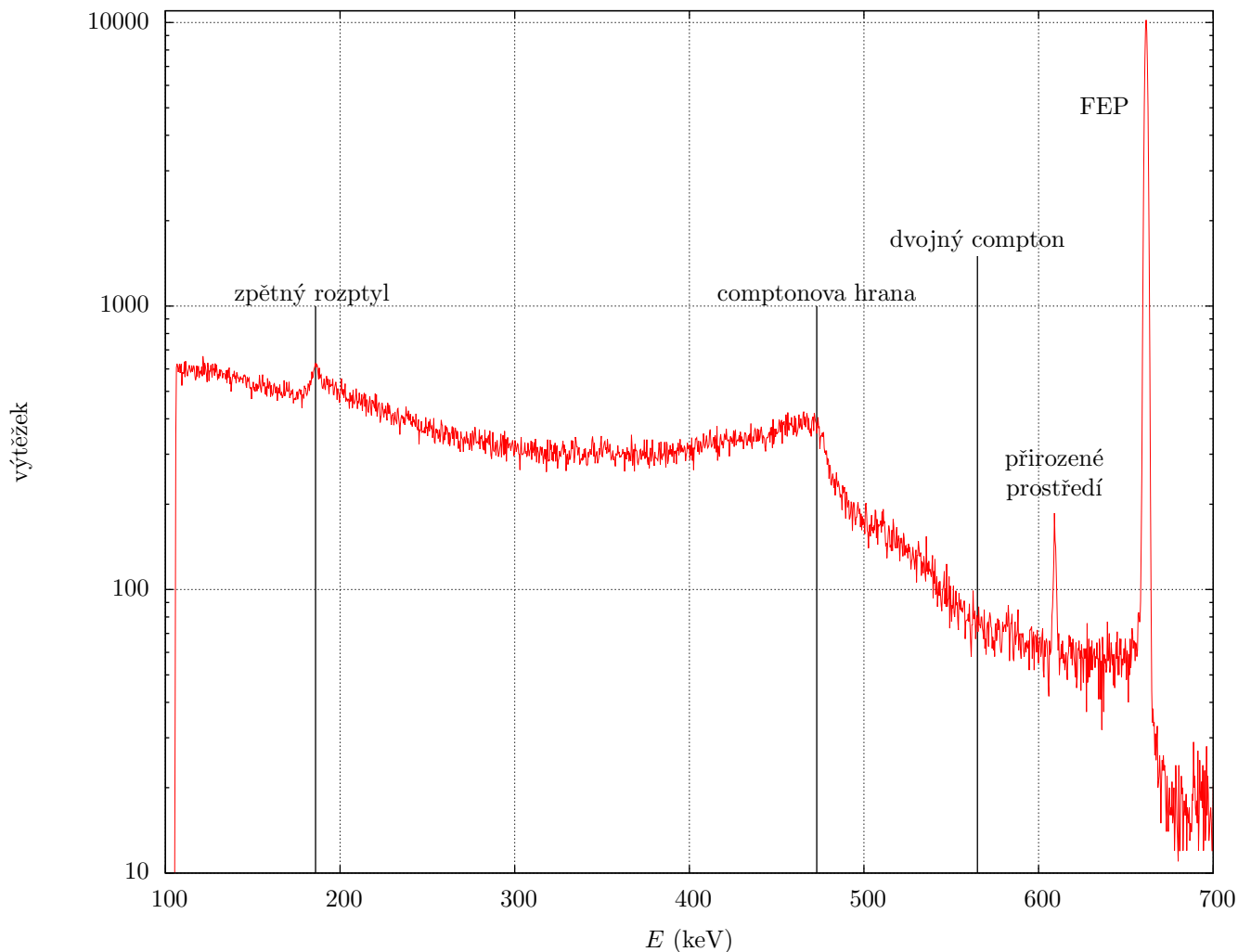
Energie FEP byla $(661,67 \pm 0,01^{\text{stat}} \pm 0,10^{\text{sys}}) \text{ keV}$ (FWHM = $2,10 \text{ keV}$).

Poloha comptonovy hrany byla $465\text{--}480 \text{ keV}$. Druhá comptonova hrana byla na $555\text{--}575 \text{ keV}$.

Pík zpětného rozptylu byl na 184–187 keV. Pík přibližně na 610 keV je z přirozeného pozadí, pozorovali jsme ho i při kalibraci. Na grafu 1 jsou vyznačené středy těchto intervalů.

Pozadí mezi druhou comptonovou hranou a FEP je způsobeno různými druhotnými jevy.

Energie příchozího γ -záření není dostatečně vysoká, aby nastaly jevy spojené se vznikem elektron-pozitronových párů.



Graf 1: Aparturní spektrum ^{137}Cs

$^{24}\text{Na} + ^{36}\text{Cl}$

Energie FEP1 byla $(1368,62 \pm 0,02^{\text{stat}} \pm 0,10^{\text{sys}})\text{keV}$ (FWHM = 2,27 keV).

Energie FEP2 byla $(2754,15 \pm 0,03^{\text{stat}} \pm 0,10^{\text{sys}})\text{keV}$ (FWHM = 2,80 keV).

Energie SEP2 $(2243,10 \pm 0,05^{\text{stat}} \pm 0,10^{\text{sys}})\text{keV}$ (FWHM = 2,96 keV).

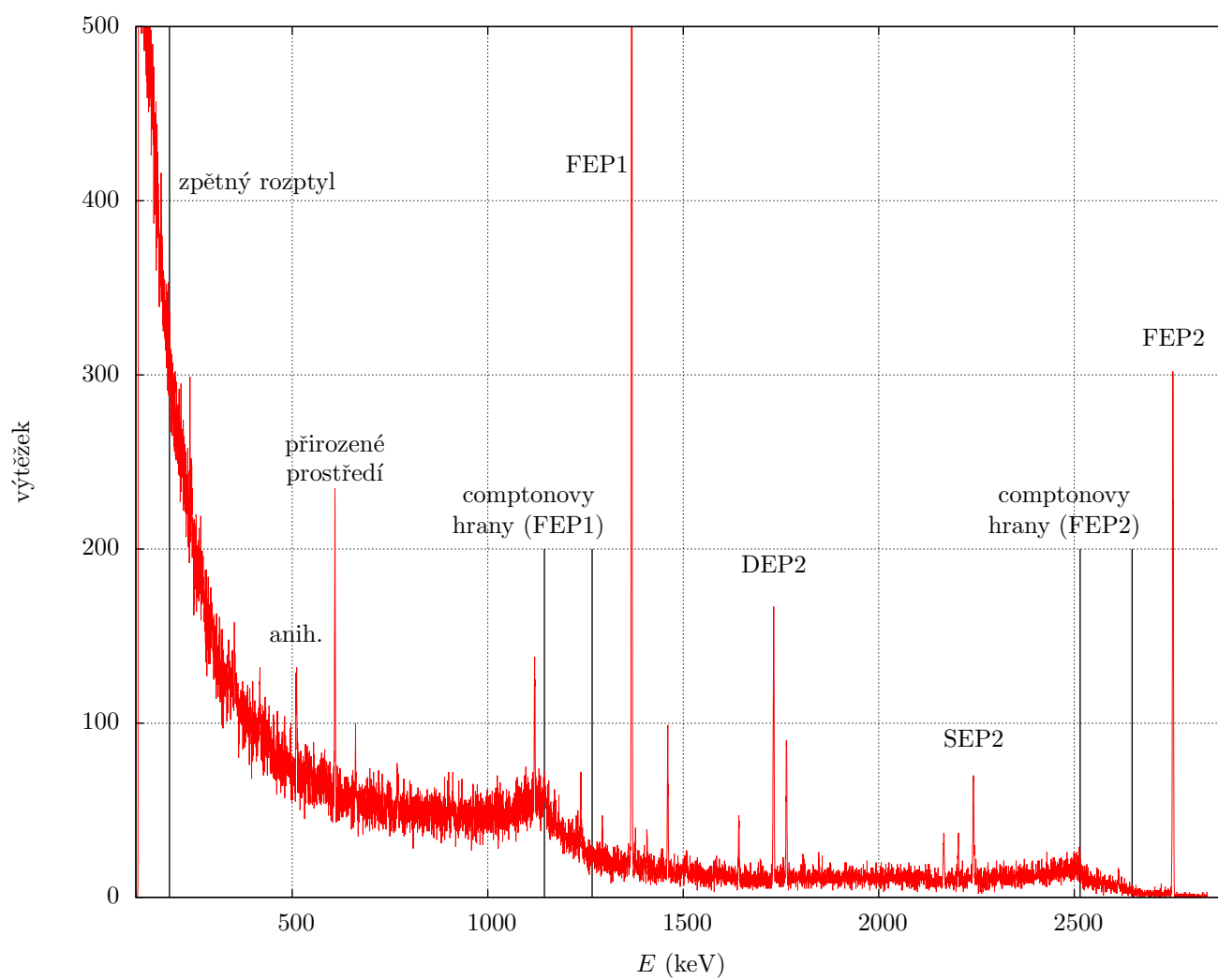
Energie DEP2 $(1732,01 \pm 0,04^{\text{stat}} \pm 0,10^{\text{sys}})\text{keV}$ (FWHM = 2,72 keV).

Pro FEP1 byla comptonova hrana byla na 1129–1160 keV a druhá na 1244–1290 keV.

Pro FEP2 byla comptonova hrana byla na 2500–2530 keV a druhá na 2625–2670 keV.

Anihilační pík měl energii $(510,50 \pm 0,07^{\text{stat}} \pm 0,10^{\text{sys}})\text{keV}$ (FWHM = 3,13 keV).

Hranu zpětného rozptylu se nám nepodařilo najít. V grafu 2 je jako "zpětný rozptyl" vyznačena hodnota změřená u ^{137}Cs , protože by se od ní neměla příliš lišit [1]. Pík označený jako "přirozené pozadí" je stejný pík na cca 610 keV jako v grafu 1.

Graf 2: Aparaturní spektrum $^{24}\text{Na} + ^{36}\text{Cl}$

Diskuze

Hrana zpětného odrazu u $^{24}\text{Na}+^{36}\text{Cl}$ v grafu 2 je pouze hodnota z měření ^{137}Cs , ze samotného spektra jsme jí nedokázali určit. Podle [1] by měla být hrana zpětného odrazu přibližně stejná.

Další neoznačené píky v grafu 2 jsou z přirozeného pozadí.

Comptonovské hrany $^{24}\text{Na}+^{36}\text{Cl}$ jsou určeny jen hodně zhruba, obzvláště pak druhá comptonova hrana.

Závěr

Pozorovali jsme aparaturní spektrum ^{137}Cs a $^{24}\text{Na}+^{36}\text{Cl}$ (viz graf 1 respektive 2). Určili jsme energie a původ pozorovaných objektů (viz *Výsledky měření*).

Seznam použité literatury

1. *Studium spekter záření gama polovodičovým spektrometrem—Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/400>.