

Fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze
Spektrum gama záření
Rentgenová fluorescenční spektroskopie

Číslo úlohy: 7
Jméno: **Vojtěch HORNÝ**
Spolupracoval: Jaroslav Zeman
Datum měření: 29. 3. 2010
Číslo kroužku: pondělí 13:30
Číslo skupiny: 2
Klasifikace:

Zadání

1. Pozorujte osciloskopem impulsy přiložených zářičů na výstupu jednobandového spektrometru. Pokuste se odhadnout tvar spektra. (Osciloskop ukazuje tvary a amplitudy jednotlivých pulsů. Počet pulsů je dán intenzitou barvy a energie výškou impulsu.)
 2. Naměřte spektrum impulsů ^{137}Cs pomocí manuálního měření. Okno volte o šířce 100mV. Zpracujte hodnoty do grafu.
 3. Naměřte spektrum impulsů ^{137}Cs pomocí mnohobandového analyzátoru. Dobu měření volte alespoň 400s. Přiložte graf a porovnejte s předchozími dvěma metodami.
 4. Zkalibrujte osu 3 bodovou kalibrací pomocí dvojice zářičů ^{137}Cs a ^{60}Co .
 5. Změřte spektra všech přiložených zářičů (kromě neznámého) multikanalovým analyzátozem a proveďte určení poloh hlavních píků. Dobu měření volte alespoň 400s. Grafy přiložte do protokolu.
 6. Určete neznámý zářič zjištěním polohy hlavního píku a porovnáním s tabulkou.
 7. Pomocí rentgenové fluorescenční spektroskopie určete spektrum zářiče v přítomnosti olova, zlata a wolframu. Určete hodnoty K_{α} a porovnejte je s tabulkou. Doporučuji použít cesium nebo kobalt.
 8. Změřte radiační pozadí v místnosti (zářiče je třeba dát do trezoru). Okomentujte, zda má šum vliv na tvar vámi změřených spekter.
 9. Určete rozlišovací schopnost spektrometru pro energii spektrální čáry ^{137}Cs .
- Volitelně:
10. Určete složení přinesených kovových předmětů (řetízek, prstýnek....) pomocí XRF. Citlivost detektoru je taková, že hodnoty $K_{\alpha} < 50 \text{ keV}$ jsou překryty elektronickým šumem a tedy je třeba brát předměty složené z materiálů s vyšším K_{α} .
 11. Naměřte integrální spektrum ^{60}Co pomocí jednobandového analyzátoru a přiložte graf.

Základní pojmy a vztahy

Radioaktivita je jev, při kterém se jádra atomů určitého prvku samovolně přeměňují na jádra jiného prvku, přičemž je emitováno vysokoenergetické záření. Jádra vykazující tuto vlastnost se nazývají radionuklidy. Látky složené z radionuklidů nazýváme radioaktivní zářiče.

Rozlišujeme tři druhy radioaktivní přeměny:

1. α rozpad, z jádra radioaktivního izotopu vylétávají jádra helia ^4He ,
2. β rozpad, vylétává buď pozitron β^+ , nebo elektron β^- ,
3. γ záření, emitován je foton.

Záření γ je v přírodě pozorovatelné pouze jako doprovodný jev přeměny α nebo β . Po těchto přeměnách je výsledný produkt často v excitovaném vztahu. Foton γ je vyzářen při deexcitaci jádra na stabilní nebo metastabilní hladinu.

Aktivita je veličina charakterizující sílu zářiče. Je to počet jader za jednotku času. Jednotkou aktivity je Becquerel. Počet jader, který je v danou chvíli ve vzorku, se řídí exponenciálním zákonem rozpadu:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}.$$

N_0 je počet nepřeměněných jader na počátku měření, λ je rozpadová konstanta. Pro ni platí vztah

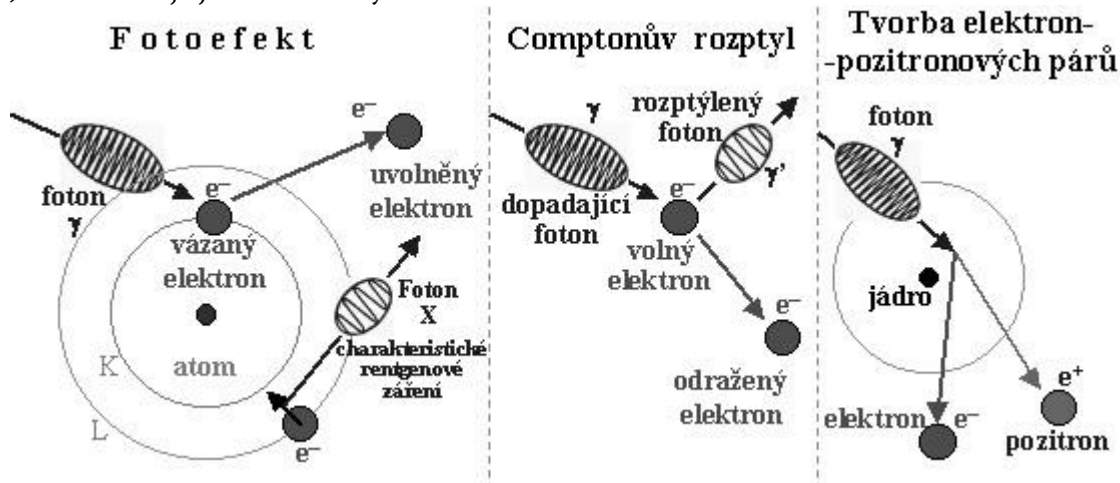
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}},$$

kde $T_{1/2}$ je poločas rozpadu, tedy doba, za kterou se rozpadne právě jedna polovina jader. Poločas rozpadu je charakteristický pro každý radionuklid a pohybuje se od zlomků sekund do desítek tisíc let. Tak velké rozdíly jsou dány různou pravděpodobností, že dojde k příslušnému procesu v jádře.

Průchod záření látkou může díky své vysoké energii vyvolat excitaci či ionizaci atomů. Ionizující záření může produkovat sekundární elektrony odtržením z atomů či může být v látce pohlceno. Nenabitě γ záření může vyvolat ionizaci nepřímo následujícími způsoby:

- fotoefekt
- Comptonův rozptyl
- tvorba páru elektron-pozitron a následná anihilace.

Jednotlivé děje jsou naznačeny na obrázku 1.



Obrázek 1 – k průchodu záření látkou

Rentgenová fluorescence je specifická metoda určování složení materiálů. K excitaci využívá rentgenové záření vzniklé při radioaktivních rozpadech. Má-li foton dostatečnou energii na vyražení elektronu z nevnitřnější slupky, pak k tomuto jevu bude docházet s největší pravděpodobností. Takto tedy vzniknou v látce ionizované atomy, které vzápětí samovolně přejdou na stabilní konfiguraci. Jelikož soubor hladin je pro každý atom jednoznačný a charakteristický (plyne z kvantově-mechanického modelu atomu), budou i energie deexcitačních fotonů jednoznačné a charakteristické pro daný materiál. Spektroskopické značení jednotlivých charakteristických energií je postaveno na značení elektronových slupek v atomu. Pokud označíme jednotlivé slupky od té nevnitřnější K, L, M, ..., potom K_α označuje přechod z L na K, K_β přechod z M na K a podobně L_α přechod z M na L.

Spektrum je stěžejním pojmem pro popis γ záření. Je to závislost počtu zaregistrovaných částic na energii těchto částic.

Scintilátor je zařízení pro detekci ionizujícího záření založené na principu excitace elektronu do vyššího energetického stavu zářením, přičemž návrat elektronu do základního stavu se projeví

jako světelný záblesk. Nejprve je ionizující záření převedeno na viditelné světlo ve scintilačním krystalu. Viditelné záření se registruje a vytváří se elektronický signál.

Pomůcky

Scintilační detektor, zdroj vysokého napětí NL2410, jednokanálový analyzátor PHYWE, čítač impulsů NL2301, multikanálový analyzátor PHYWE, osciloskop, osobní počítač, zdroje gama záření, USB link PASCO 2100, materiály pro rentgenovou fluorescenci - Pb, Au, program pro datový sběr Data Studio, program MEASURE.

Postup měření

Postup měření byl jednoduchý, stále jsme opakovali stejné rutiny.

Manuální měření

Zapojili jsme výstup ze scintilátoru na do vstupu jednokanálového analyzátoru (INPUT). Zapnuli jsme zdroj vysokého napětí, jednokanálový analyzátor a čítač impulsů. Přepnuli jsme jednokanálový do manuálního módu pomocí tlačítka pod led diodou AUTOMAN. Připojili jsme osciloskop na analogový výstup OUT OSCILOSCOPE a čítač na výstup. Nastavili jsme dolní diskriminační hladinu pomocí kolečka BASE a šířku okna pomocí tlačítka FENSTER. Začali jsme s dolní diskriminační hladinou 0 a pevnou šířkou okna. Zaznamenávali jsme hodnotu z čítače. Ta je dána ve formě počet impulsů za sekundu. Poté jsme posunuli základnu o šířku okna a znovu zaznamenali hodnotu. Takto jsme pokračovali až do 10V.

Měření mnohokanálovým analyzátozem

Zapojili jsme výstup ze scintilátoru na vstup (INPUT) a osciloskop na analogový výstup z multikanálu. Zároveň byl multikanál zapojen kabelem do USB soutu na počítači. Otevřeli jsme program MEASURE a zmáčkli jsme v něm na liště tlačítko s červeným kolečkem. Zaškrtnuli jsme "měření spektra." Měření začalo automaticky.

Kalibrace

Zapojení jsme ponechali jako u multikanálu, ale v menu programu jsme zvolili MEASURE zvolte místo „měření spektra“ možnost „energetická kalibrace.“ Příslušné čáry ve spektru jsme posunuli na polohy píků a do příslušných okének jsme vepsali hodnoty energií z tabulky

Výsledky

Na fotonásobiči bylo po celou dobu měření nastaveno napětí 800 V.

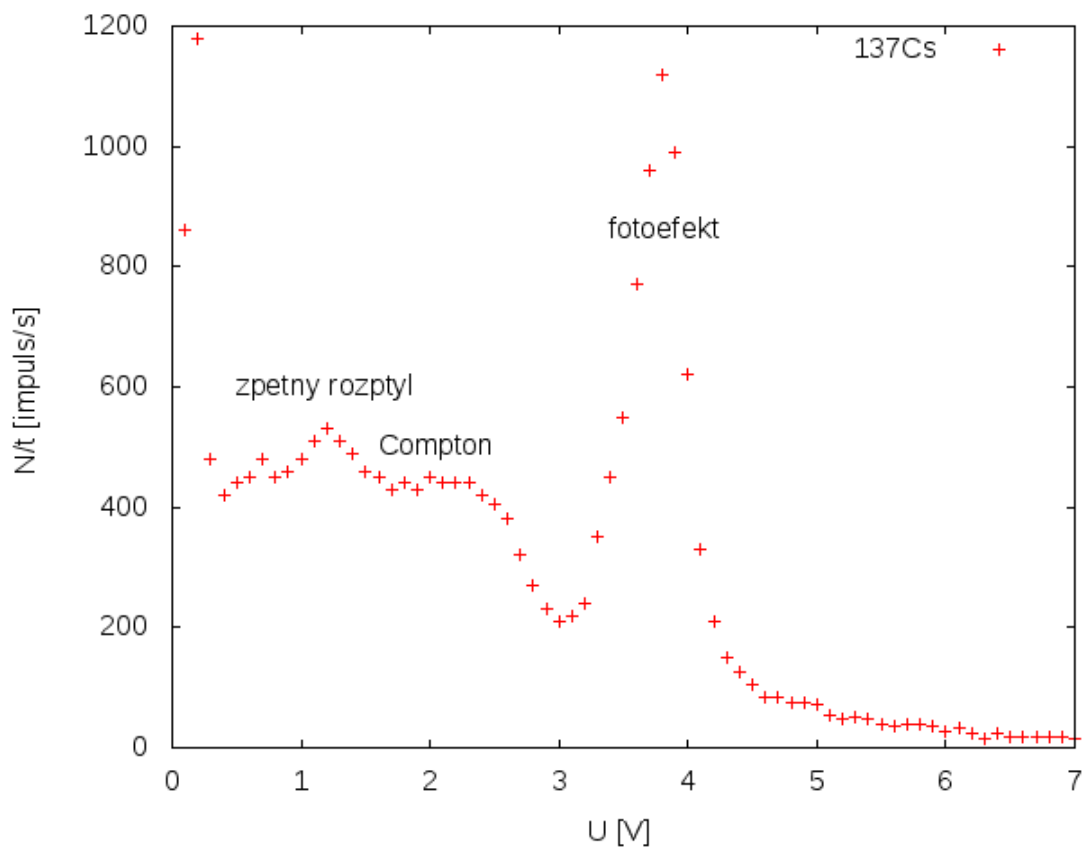
Osciloskopem jsme pozorovali impulsy přiložených zářičů na výstupu přiložených zářičů. Podle intenzity čáry a výšky bodu jsme se snažili nakreslit spektra jednotlivých zářičů.

Manuální měření

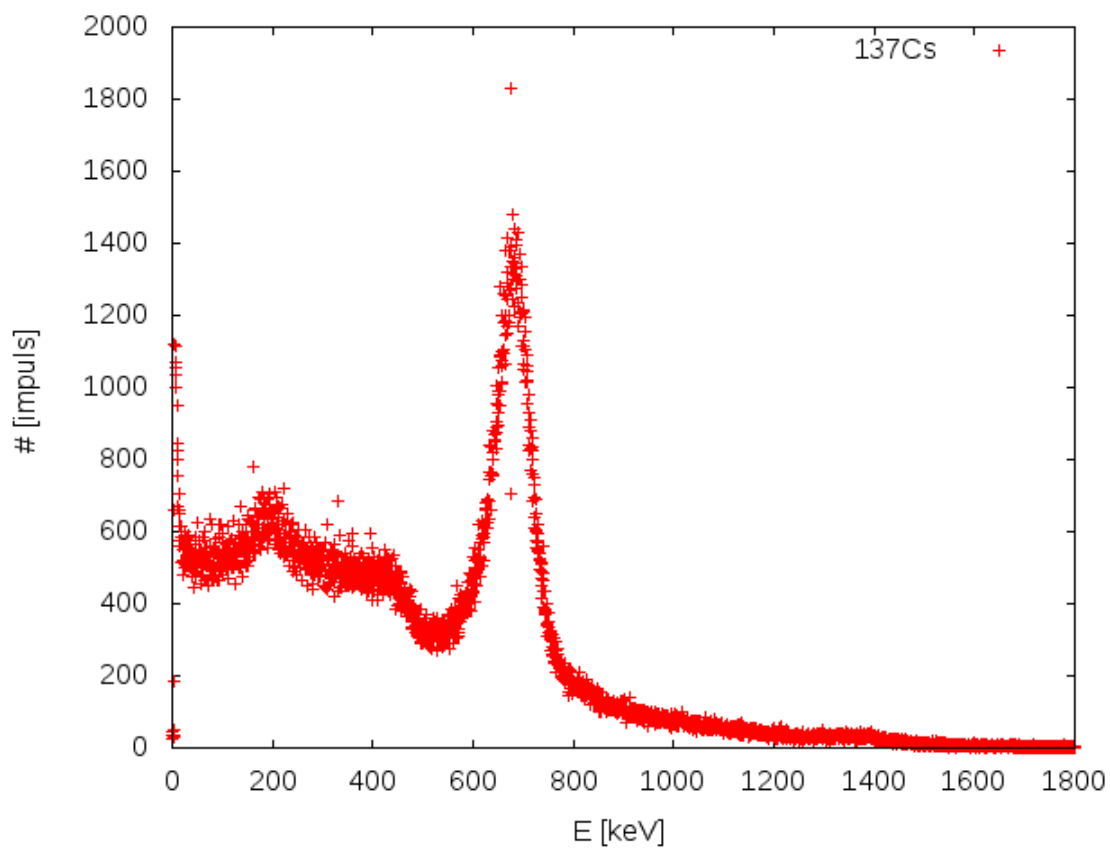
Spektrum impulsů ^{137}Cs pomocí manuálního měření jsou znázorněny v Graf 1, který ukazuje závislost četnosti scintilací na napětí. Šířka okna byla nastavena na 100 mV, odečítali jsme data po šířce okna.

Počítačem řízené měření

Výstup z fotonásobiče jsme zavedli do multikanálového analyzátoru a nechali jsme spektrum měřit automaticky programem PHYWE MEASURE. Graf 2 znázorňuje spektrum ^{137}Cs , závislost četnosti částic na energii.



Graf 1 – manuální měření spektra ^{137}Cs .

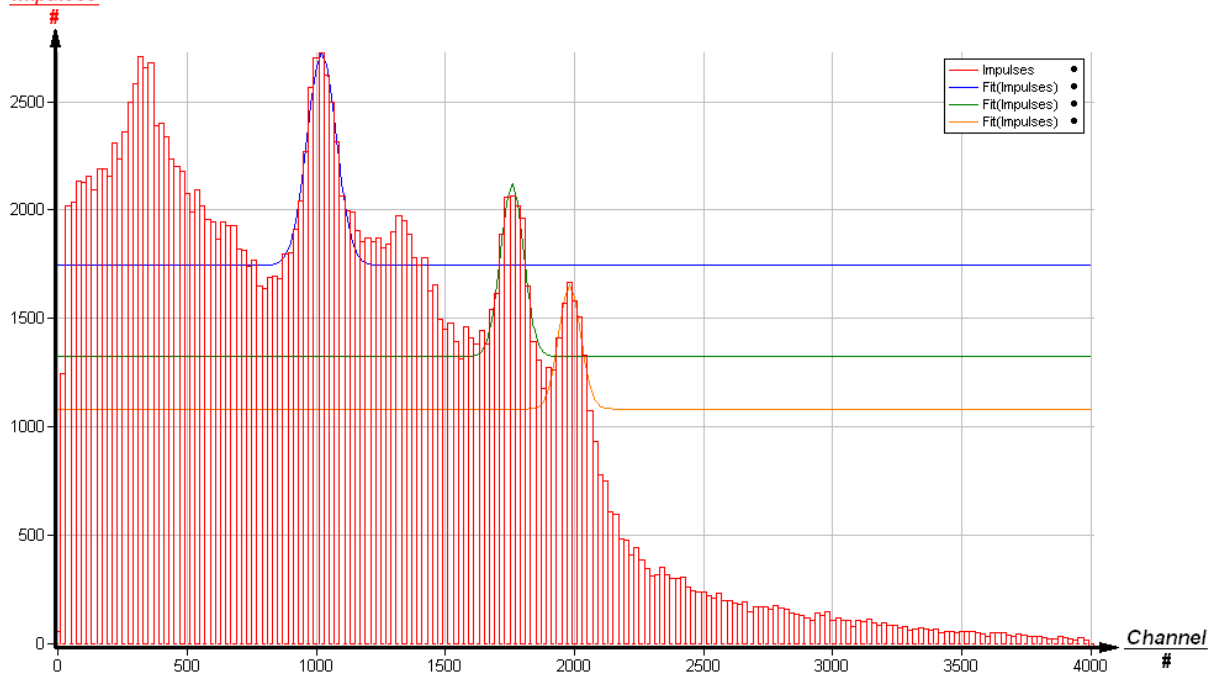


Graf 2 – automatické měření spektra ^{137}Cs .

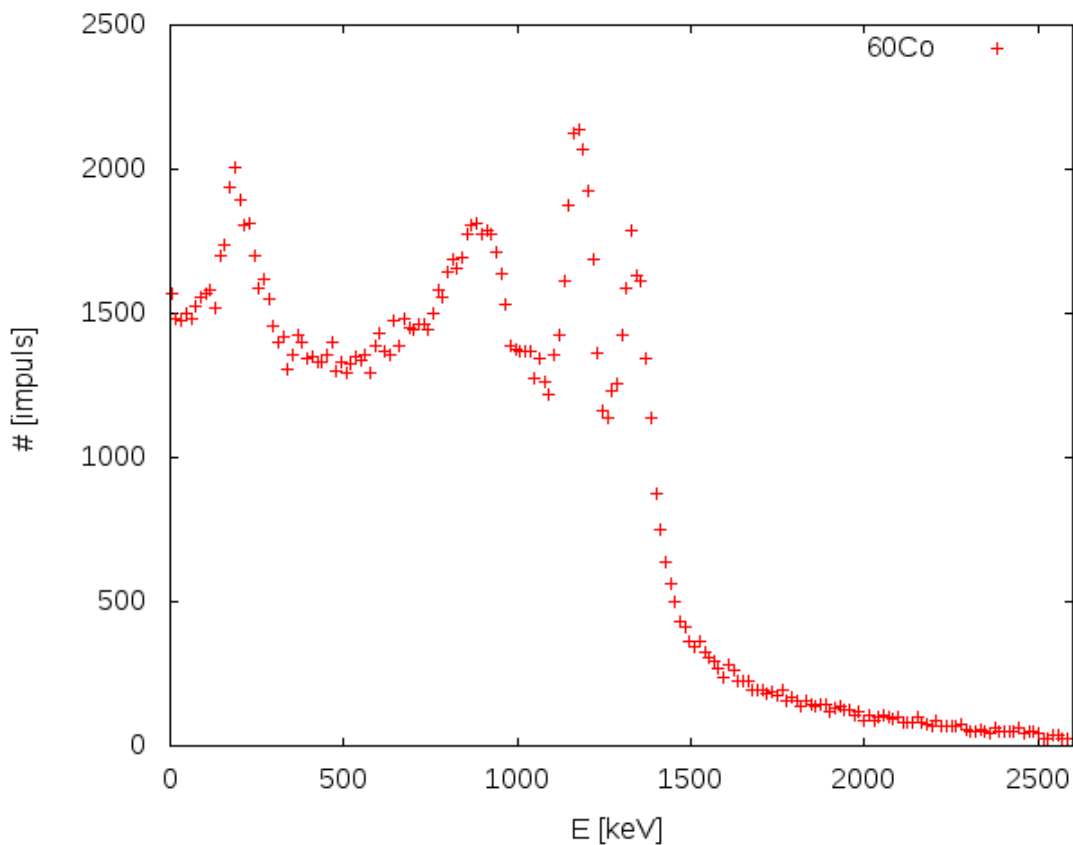
Kalibrace kanálů energií

Provedli jsme pomocí programu PHYWE MEASURE třibodovou kalibraci kanálů energií na základě známých tabulkových hodnot pro ^{137}Cs 661,657 keV a pro ^{60}Co 1173,237 keV a 1332,501 keV. Rád bych alespoň v tabulce uvedl i příslušné čísla kanálů, bohužel jsme o ně opakovaně přicházeli kvůli padajícímu systému.

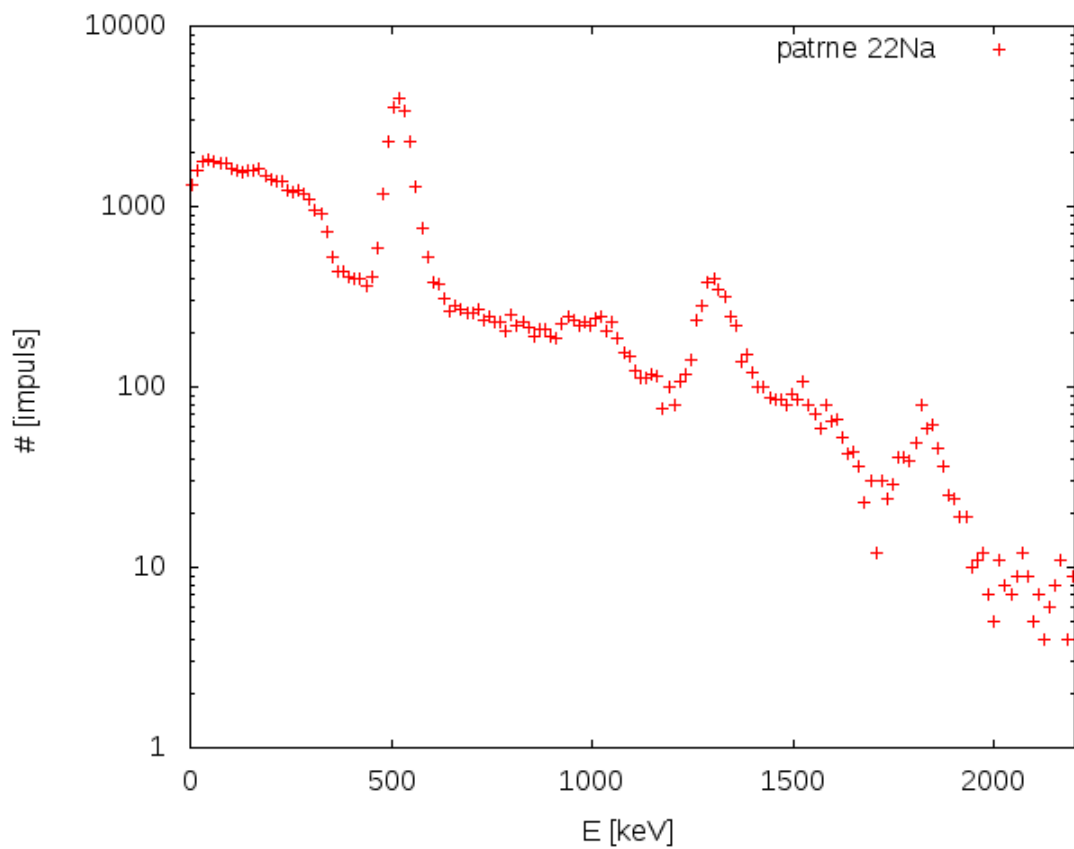
Impulses



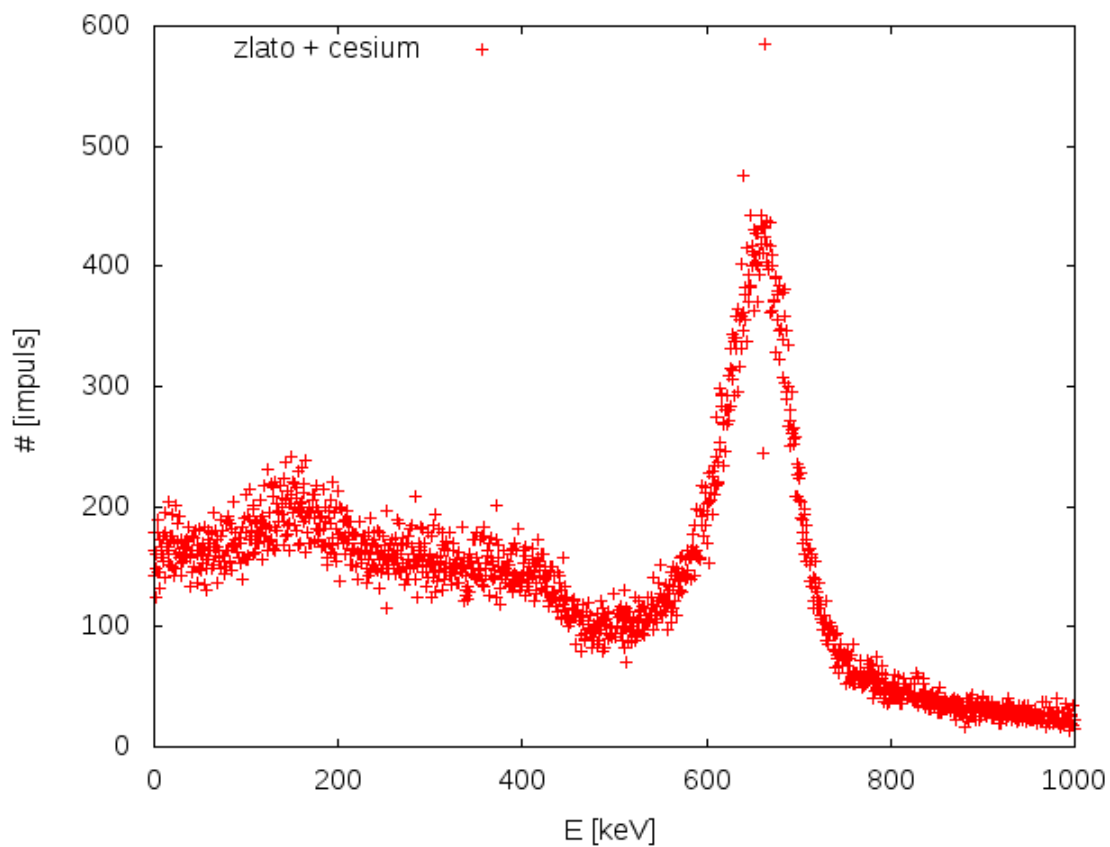
Graf 3 – kalibrace kanálů energií pomocí dvojice zářičů ^{137}Cu , ^{60}Co .



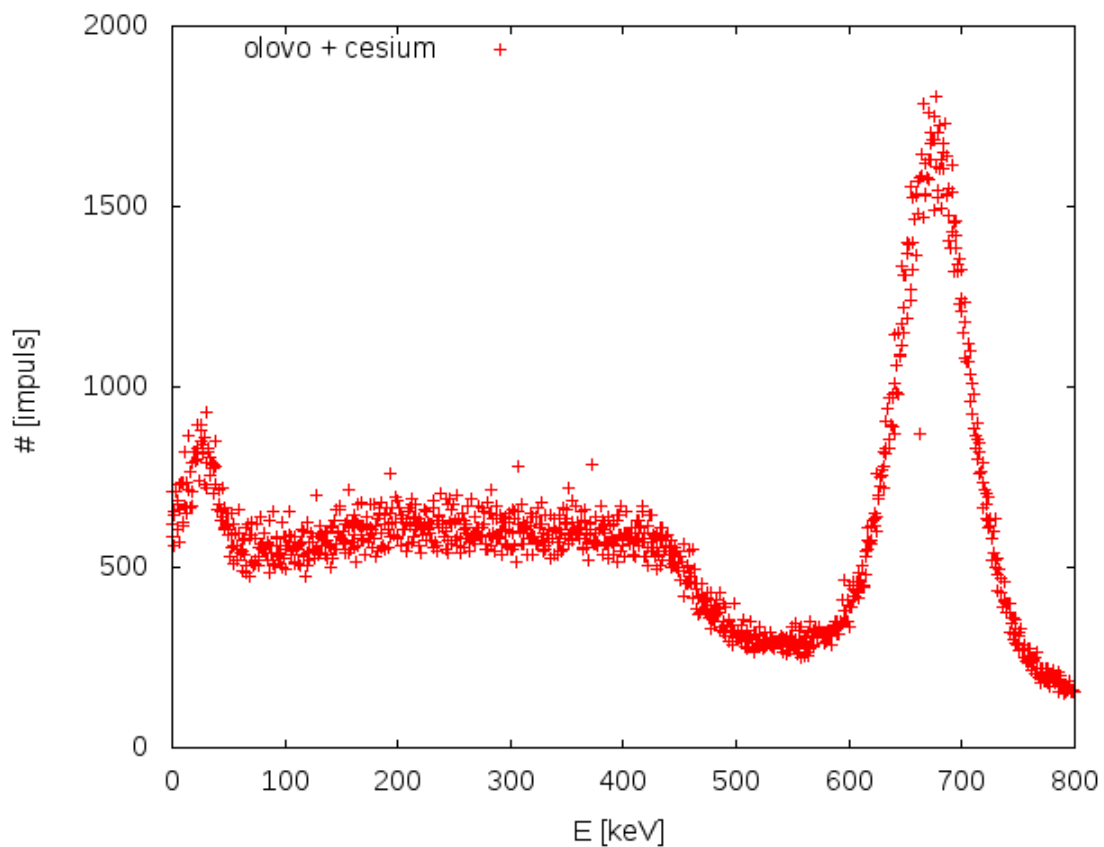
Graf 4 – automaticky měřené spektrum ^{60}Co .



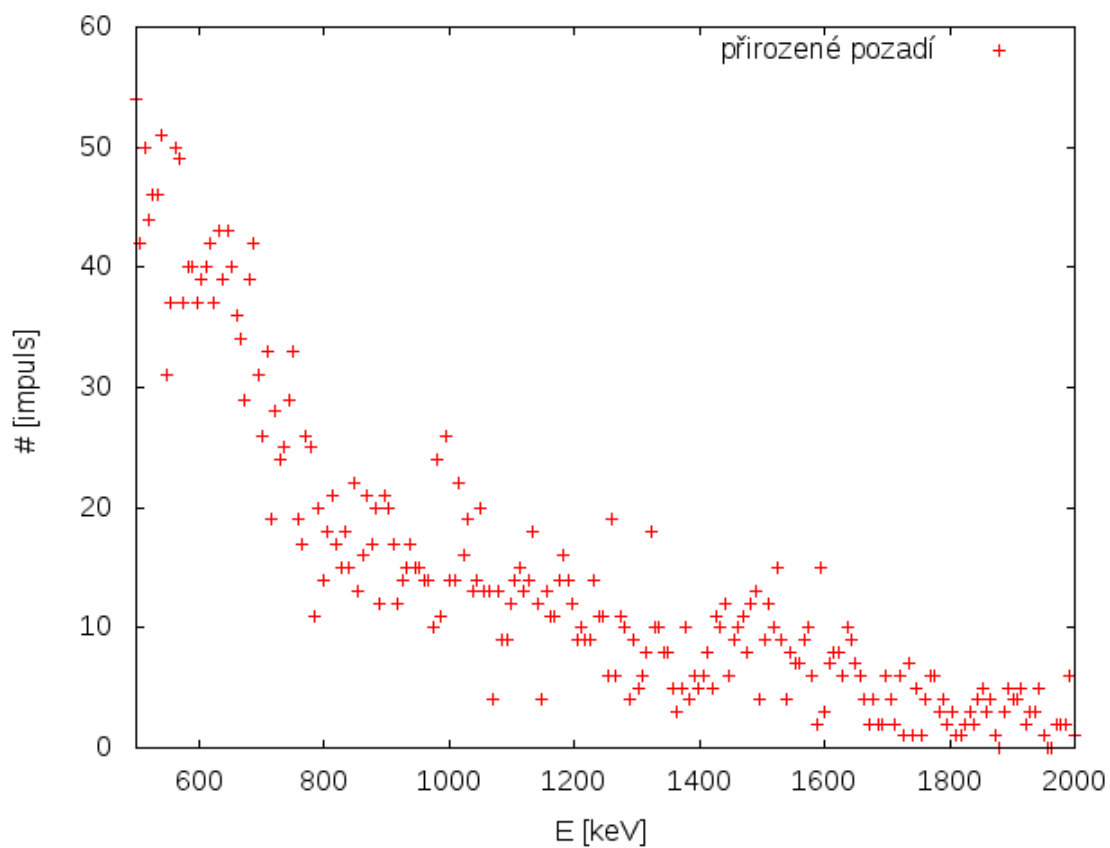
Graf 5 – Spektrum neznámého záříče. Patrně se jedná o ^{22}Na .



Graf 6 - Rentgenová fluorescenční spektroskopie, spektrum ^{137}Cs v přítomnosti zlata.



Graf 7 - Rentgenová fluorescenční spektroskopie, spektrum ^{137}Cs v přítomnosti olova.



Graf 8 – přirozené pozadí v laboratoři

Dalším našim úkolem je ze spektra Cs ještě určit rozlišovací schopnost spektrometru definovanou vztahem $S = \frac{\Delta E}{E}$, kde ΔE je šířka poloviny píku energie E . Pro náš případ vychází

$$S = \frac{701 - 590}{661} \approx 17\%.$$

Spektra jednotlivých zářičů

Stejnou metodou jsme měřili i spektra dalších přiložených zářičů. Tabulka 1 ukazuje přehled naměřených peaků, grafy 3, 4 a 5 ukazují postupně celá spektra ^{137}Cs , ^{60}Co a neznámého zářiče. Kvůli nekvalitní kalibraci se od očekávaných hodnot liší i v řádu desítek.

Izotop	Energie píků [keV]
^{137}Cs	675
^{60}Co	1330, 1855, 890
neznámý	519, 1299

S přihlédnutím k této skutečnosti odhaduji, že neznámým zářičem je ^{22}Na .

Rentgenová fluorescenční spektroskopie

Jako zářič bylo použito cesium. Mezi něj jsme postupně umístili nejprve olovenou destičku, poté zlatou folii.

Výsledky bohužel nejsou příliš uspokojivé. U měření s olovem (Graf 7) vyšlo maximum přibližně na hodnotě 20 keV, očekávaná hodnota by byla 60 keV. U měření se zlatem (Graf 6) se nám nepovedlo zachytit vůbec nic. Velká chyba je způsobena nepřesnou kalibrací.

Pozadí

Nakonec jsme odevzdali zářiče asistentovi a měřili jsme spektrum pozadí. Už se začal výrazněji rýsovat jeden výraznější pík, pravděpodobně se jednalo o ^{40}K . Bohužel další zřícení systému nás o tyto data připravila. Hledat nějaký pík v Graf 8 je spíše věštění než fyzikální zpracování výsledků.

Diskuse

Srovnání jednotlivých metod měření

Třemi metodami jsme proměřili spektrum cesia. Nejméně přesné bylo měření osciloskopem, svým charakterem vyloženě orientační. Manuální měření již má nějakou vypovídající hodnotu, ale s automatickým měřením se nedá srovnat. U automatického měření byly měřeny všechny kanály zároveň po dobu alespoň 400 sekund, u manuálního jsme každému kanálu věnovali přibližně 15 vteřin a u vyšších energií ještě méně. Automatické měření navíc nebylo ovlivněno subjektivním vjemem experimentátora. Chyba určení jednoho měření tedy byla výrazně menší.

Na druhou stranu je nutné podotknout, že charakteristické tvary spektra se u manuálního a automatického měření velmi podobají. Abychom mohli cokoli usuzovat, bylo by nutné naše měření opakovat a třeba i pozměnit parametry experimentální sestavy.

Kalibrace osy

Použili jsme tříbodovou kalibraci programem PHYWE MEASURE. Nepřesnost naší kalibrace jsme mohli snížit následujícími vylepšeními:

- fitování naší kalibrační závislosti polynomem stupně 2,
- uvážení nuly jako kalibračního bodu
- užití kalibračních bodů, které jsou více vzájemně vzdálené
- prodloužení doby sběru dat.

První tři body nás během měření nenapadly. Doba sběru dat byla dostatečná, ale zklamala nás výpočetní technika. Během sběru dat nám dvakrát zamrzl počítač a o všechna data jsme přišli. Nikoli z nedostatku času, ale z obavy z další ztráty dat jsme tedy měření výrazně zkrátali.

Hodnoty chyb naměřených energií nemůžeme zodpovědně odhadnout, neznáme totiž přesnost kalibrace.

Spektrum neznámého zářiče

Naměřené energie neznámého zářiče jsou 519 keV a 1299 keV. První pík pravděpodobně odpovídá energii 511 keV, což je energie elektronu. Jde tedy o foton vyzářený při anihilaci pozitron-elektron. Určit, čemu by mohl odpovídat druhý pík je poněkud obtížnější. Patrně se jedná o foton vyzářený ^{22}Na s tabulkovou energií 1273,53 keV.

Rentgenová fluorescenční spektroskopie

V případě velmi tenkého plátku zlata jsme nenaměřili nic, u měření s olovem jsme byli úspěšnější. Objevil se další pík o energii 20 keV, očekávali jsme ale tabulkovou hodnotu 75 keV. Měření s wolframem jsme neprováděli, bylo jej málo.

Přirozené pozadí

Bohužel se nám kvůli technickým problémům nepodařilo potvrdit přítomnost ^{40}K . Pozadí nabývá vyšších hodnot u nižších energií. Měření spekter jednotlivých zářičů tedy nebylo výrazně ovlivněno přirozeným pozadím.

Závěr

Třemi způsoby jsme proměřili spektrum ^{137}Cs , nejprve jsme pozorovali osciloskopem impulsy přiložených zářičů na výstupu jednonábového spektrometru, poté jsme měřili manuálně a nakonec automaticky pomocí mnohonábového analyzátoru.

Pomocí dvojice zářičů ^{137}Cs a ^{60}Co jsme třibodově zkalibrovali jednotlivé kanály mnohonábového analyzátoru energií. Kalibrace nebyla přesná.

Změřili jsme spektra ^{137}Cs , ^{60}Co a neznámého zářiče a určili jsme polohy hlavních píků. Neznámým zářičem byl pravděpodobně sodík ^{22}Na .

Pomocí rentgenové fluorescenční spektrografie jsme určili spektra cesia v přítomnosti olova a zlata. U olovené desky se podařilo objevit pík příslušející olovu. U zlaté folie jsme úspěšní nebyli.

Určili jsme rozlišovací schopnost spektrometru pro energii spektrální čáry ^{137}Cs na 17%.

Další úlohy jsme již neprováděli, ačkoli jsme měli dostatek času. Důvodem byla nespolehlivost výpočetní techniky.

Použitá literatura

- [1] Kolektiv katedry fyziky, *Úlohy fyzikálních praktik – Spektrum záření gama; Rentgenová fluorescenční spektroskopie*, [cit. 1. dubna 2010],
URL: <http://praktika.fjfi.cvut.cz/GammaSpektr/>
- [2] FIRESTONE, R.B., *WWW Table of Radioactive Isotopes*, [cit. 2010-03-16],
URL: <http://ie.lbl.gov/toi/nucSearch.asp>