

Spektrometrie záření gama

K. Procházková – Gymnázium Písek, karlaprochazkova@seznam.cz

J. Grepl – VOŠ a SPŠ stavební, Náchod, kuba.grepl@seznam.cz

J. Michelfeit – Gymnázium Brno, tř. Kpt. Jaroše, jmichelf@seznam.cz

P. Svačina – Arcibiskupské gymnázium v Praze,
sraxuvmail@quick.cz

Supervizor: Ing. Ibrahima Ndiaye – FJFI ČVUT Praha,
ibrahima.ndiaye@utef.cvut.cz

Abstrakt:

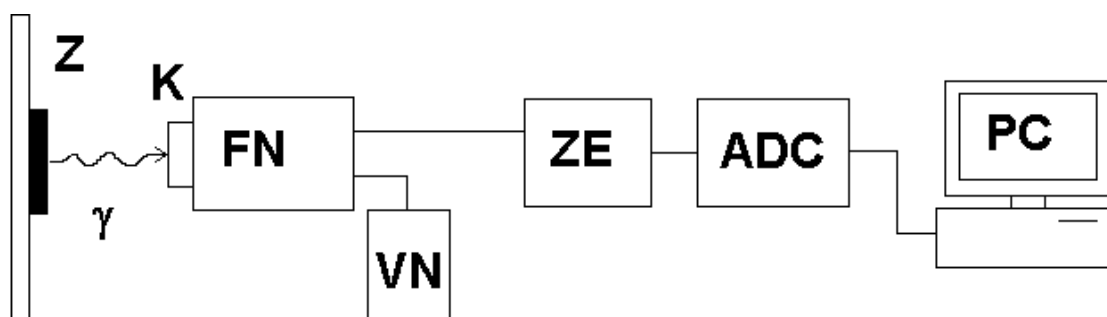
Úkolem naší práce byly tři dílčí měření. Zaprvé jsme měli určit diferenciální spektrum gama záření ^{137}Cs a ^{60}Co . Dále určení neznámého vzorku zářiče na základě zjištěného spektra. Nakonec jsme dostali za úkol stanovit poločas rozpadu $^{137\text{m}}\text{Ba}$.

1 Úvod

Gama záření je elektromagnetické záření, které vzniká při pochodech v jádrech radionuklidů. Energie jednotlivých fotonů tohoto záření se pohybuje v rozmezí desítek keV až desítek MeV. Díky tomu, že jádro ve vzbuzeném stavu vyzařuje fotony s charakteristickou energií pro každý prvek, lze určit, o který prvek se jedná. Tohoto se dá využít k zjištění zastoupení různých prvků v daném vzorku materiálu i v případě stopového množství a obsahu radioaktivních prvků v životním prostředí.

2 Princip měření

K měření spektra záření gama jsme využívali scintilační spektrometr.



Spektrometr se skládá ze zdroje záření (Z), scintilačního krystalu NaI(Tl) (K), fotonásobiče (FN) připojeného na zdroj vysokého napětí (VN), zesilovače (ZE), analogově-digitálního převodníku (ADC), který převádí amplitudu na čísla a počítače (PC), který vyhodnotí výsledky měření.

Zdrojem záření je zkoumaný vzorek. Fotony záření gama ve scintilačním krystalu interagují s látkou scintilátoru. Přitom vznikají elektrony, které excitují atomy scintilátoru. Ty pak deexcitují za vzniku záblesku viditelného světla (tento záblesk se nazývá scintilace). Vzniklé fotony jsou vedeny na katodu fotonásobiče, z níž vyrážejí fotoelektrony, které jsou usměrněny na systém dynod, z nichž jsou sekundární emisí lavinovitě uvolňovány další elektrony. Takto vznikne dostatečně silný proud elektronů, který po zesílení vedeme na vstup AD převodníku. Digitalizovaný výstup je zpracován v počítači.

Druhy interakcí záření gama se scintilátorem:

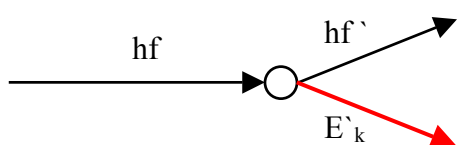
1) Fotoefekt

Je to proces, při kterém foton záření γ vyrazí elektron z atomu scintilátoru (krystal NaI obohacený příměsí Tl). Aby k fotoefektu došlo, musí být vazebná energie elektronu menší než energie fotonu γ . Atom se po fotoefektu nachází ve vzbuzeném (ionizovaném) stavu a jeho deexcitace probíhá prostřednictvím dvou procesů – emisí Röntgenova záření nebo Augerova elektronu.

γ	+	atom	$\rightarrow$	ionizovaný atom	+	fotoelektron
			bud'	$\rightarrow$ atom	+	char. Röntgenovo záření
		nebo		$\rightarrow$ atom	+	Augerův elektron

2) Comptonův rozptyl

Vzniká při srážce fotonu s volným elektronem. Tento jev je patrný při energiích od 200 keV do 5 MeV. Při interakci dopadající foton zaniká, vzniká nový foton s menší energií a zbylou část energie získává odražený elektron. Frekvence záření rozptýleného pod určitým úhlem pak musí vyhovovat rovnici:



$$hf = hf' + E_k$$

3) Elektron – pozitronový pár

Pokud je energie fotonu γ větší než 1,022 MeV přidá se ke Comptonovu rozptylu a fotoefektu tvorba elektron – pozitronových párů. V blízkosti atomového jádra vlivem jaderných sil se foton γ rozpadne na elektron a pozitron o energiích 511 keV a foton o zbytkové energii.

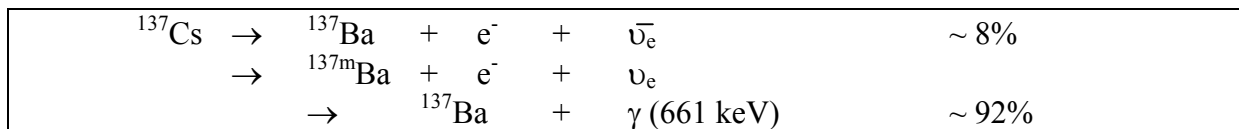
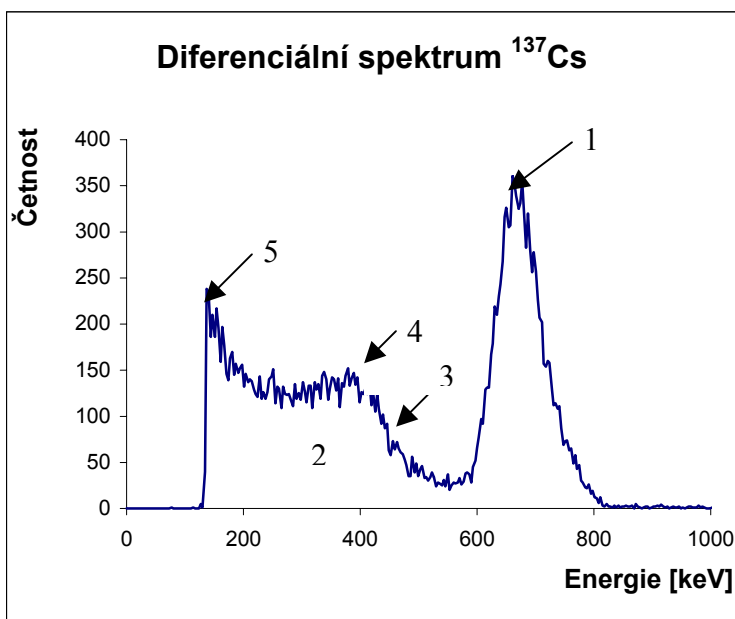
3 Proces měření

Po nahřátí spektrometru, jsme museli zkalibrovat vyhodnocovací program. Kalibrace se provádí za použití vzorků se známými diferenciálními spektry. K tomuto účelu jsme použili vzorky ^{137}Cs a ^{60}Co . Nastavili jsme zesílení tak, aby se spektra obou prvků vešla do rozsahu AD převodníku. Do grafu závislosti četnosti fotonů na jejich energii jsme zároveň zobrazili spektra obou prvků a přiřazením známých hodnot energií dostatečně vzdáleným píkům jsme provedli kalibraci.

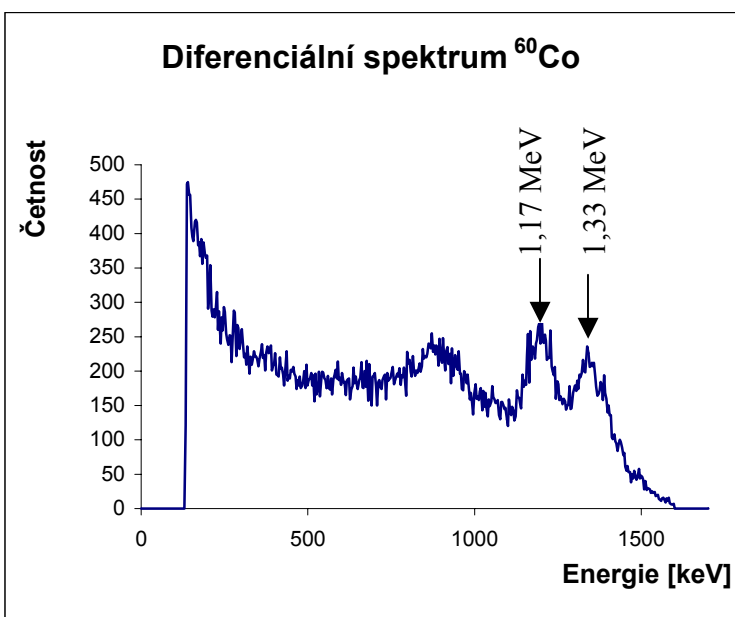
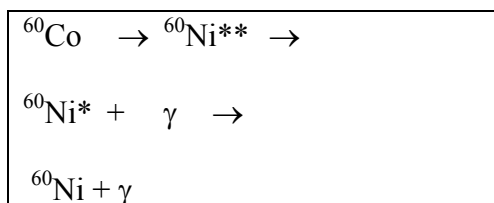
1) K zobrazení celého spektra samotného ^{137}Cs jsme museli znovu provést měření. ^{137}Cs se rozpadá v 8% případů na ^{137}Ba , elektron a elektronové antineutrino. V dalších 92% se přeměňuje na $^{137\text{m}}\text{Ba}$, které se stabilizuje na ^{137}Ba za uvolnění γ záření.

Popis grafu:

- 1 – pík úplného pohlcení E_γ
- 2 – Comptonovské kontinuum
- 3 – Comptonova hrana
- 4 – pík zpětného rozptylu
- 5 – pík úplné absorpce čáry K_α Röntgenova záření z ^{137}Ba

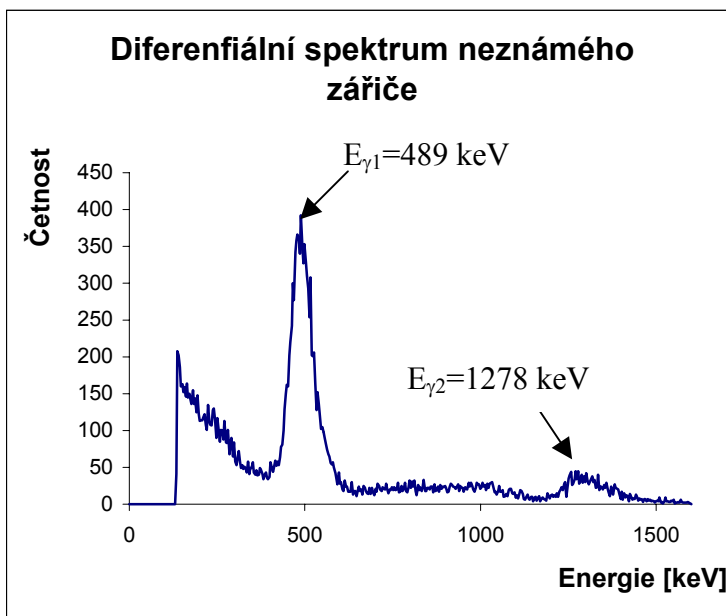


2) K zobrazení celého spektra samotného ^{60}Co jsme museli znovu vyměnit vzorek. ^{60}Co se rozpadá na $^{60}\text{Ni}^{**}$ s poločasem rozpadu 5,2let. $^{60}\text{Ni}^{**}$ má energii 2505 keV. Po vyzáření 1 fotonu s energií 1173 keV se dostane na energii 1332 keV a po vyzáření 2. fotonu přechází do základního stavu.



3) Dalším úkolem bylo určení neznámého vzorku. Ze spektra jsme odečetli počet píků a jejich energii. Spektrum vzorku mělo dva píky o energiích $E_{\gamma 1}=489$ keV a $E_{\gamma 2}=1278$ keV. Poté jsme museli určit rozlišovací schopnost spektrometru. Tu zjistíme tak, že v polovině četnosti píku určíme šířku píku. Tuto šířku vydělíme celkovou energií a vynásobíme 100. Poté dostáváme rozlišovací schopnost v procentech. Z tabulek jsme zjistili, že našim hodnotám s přihlédnutím k rozlišovací schopnosti 13,62% nejvíce vyhovuje ^{22}Na . Tabulková energie píků ^{22}Na je $E_{\gamma 1}=511$ keV a $E_{\gamma 2}=1274,5$ keV.

Pík $E_{\gamma 1}=511$ keV, který jsme našli ve spektru je důsledkem β^+ rozpadu (jádro vyzařuje pozitrony rychlostí světla, které anihilují s elektrony za vzniku dvou fotonů s $E=511$ keV) a tvorbou elektron-pozitronových párů z fotonu s $E=1274,5$ keV, které také anihilují za vzniku dvou fotonů s $E=511$ keV. Fotony se zbylou energií $E=252,5$ keV vytvoří pík, který zanikne v Comptonově kontinuu. Fotony, které se nedostanou do blízkosti žádného jádra a neanihilují vytvoří pík $E_{\gamma 2}=1274,5$ keV.



4) Jako poslední jsme dostali za úkol určit poločas rozpadu $^{137\text{m}}\text{Ba}$. K tomu je třeba použít postupu zvaného dojení krávy. Spočívá ve vymývání $^{137\text{m}}\text{Ba}$ z ^{137}Cs roztokem NaCl. Tento vzorek postavíme na Geiger – Müllerův počítač a poté na impulzovém čítači pozorujeme počet impulsů za určitý časový úsek (v našem případě 100s). Předem máme změřenou aktivitu pozadí. Měření opakujeme do té doby, než se hodnoty nezačnou blížit aktivitě pozadí. Poté měření ukončíme a od všech naměřených hodnot odečítáme průměrnou aktivitu prostředí. Provedli jsme celkem 5 měření po zhruba 12 stosekundových intervalech. U prvních 5 intervalů v každém měření jsme určili hodnotu poločasu rozpadu dle rovnice:

$$T = \frac{t \cdot \log \frac{1}{2}}{\log \frac{N}{N_0}}$$

T – poločas rozpadu

t – délka intervalu

N_0 – počet jader na začátku intervalu

N – počet jader na konci intervalu

Aritmetický průměr ze všech intervalů je přibližným poločasem rozpadu metastabilního radionuklidu $^{137\text{m}}\text{Ba}$.

$$T = 163,8 \text{ s}$$



4 Shrnutí

Ačkoli nikdo z nás netušil, co od miniprojektu může čekat, byli jsme všichni mile překvapeni jeho zajímavostí a kvalitou výsledků. Ty nejenže potvrdily předchozí měření ostatních velkých badatelů, ale přinesly nám i mnohé užitečné zkušenosti při laboratorní praxi. Velice nás potěšilo určení neznámého prvku na ^{22}Na a zjištění poločasu rozpadu $^{137\text{m}}\text{Ba}$ $T=163,8\text{s}$.

Poděkování

Zprv musíme poděkovat FJFI ČVUT za to, že jsme mohli tento miniprojekt vůbec realizovat, a Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc a kolektivu za výbornou organizaci. Dále Prof. Ing. Zdeňkovi Janoutovi, CSc za přípravnou teoretickou přednášku, písemné podklady a další praktické rady. Zvláštní poděkování patří i našemu supervizorovi Ing. Ibrahimovi Ndiayemu, který nám vždy vše ochotně vysvětlil a ukázal. A nakonec děkujeme společnosti ČEZ za poskytnutí dojně krávy.

Reference:

- [1] MATĚJKA, K.: *Vybrané analytické metody pro životní prostředí* ČVUT 1998 43-48
- [2] KOLEKTIV KATEDRY FYZIKY: *Fyzikální praktikum II* ČVUT 1989 139-141
- [3] ŠTOLL, I.: *Fyzika mikrosvěta* Prometheus 2002 48-49