

Pracovní úkol

1. Provedte energetickou kalibraci gama-spektrometru pomocí alfa-zářiče ^{241}Am .
2. Určete materiál několika vzorků.
3. Stanovte závislost účinnosti výtěžku rentgenového záření na atomovém čísle elementu v daném experimentálním uspořádání.
4. Určete relativní zastoupení prvků v jednom ze vzorků.
5. Na základě rentgenového záření identifikujte radioaktivní vzorek a stanovte typ pozorovaného rozpadu.

Teoretický úvod

Díky fotoefektu jsou z atomového obalu pomocí γ -záření vyráženy elektrony. Pokud má záření dostatečnou energii vyráží přednostně elektrony s K slupky. Na uprázdněné místo deexcitují elektrony z nejbližších vyšších energetických hladin a je vyzářen foton nesoucí energii odpovídající rozdílu energií jednotlivých hladin. V detekovaném spektru pozorujeme čáry K_α a K_β .

Při zpracování budeme potřebovat

$$\Delta E = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

kde N odpovídá počtu měření události ze stochastického procesu.

V experimentu použijeme radioaktivní zářič ^{241}Am , který vyzařuje fotony gama, které pak nejčastěji vyrážejí elektrony v K a L slupkách zkoumaného materiálu. Při zaplňování děr v K a L slupce vzorek vyzařuje charakteristické rentgenové záření.

Pro určení relativního zastoupení prvků ve slitině použijeme vztahy

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (2)$$

$$\frac{g_i w_i}{g_j w_j} = \frac{e_i}{e_j} \quad (3)$$

kde i, j indexují prvky ve slitině, w vyjádřuje relativní zastoupení prvku ve slitině, e je naměřená hodnota výtěžku prvku ve slitině, g je výtěžka čistého elementu, určená z grafu č. 1.

Při detekci radioaktivního rozpadu by mělo naměřené rentgenové spektrum odpovídat spektru charakteristickému pro produkt rozpadu.

Výsledky měření

Aparatura a pomůcky

- Polovodičový spektrometr s germaniovým detektorem.
- Kalibrační γ -zářič ^{241}Am .

- Radioaktivní zářiče • Sada vozků.
- Tabulka energií charakteristického rentgenového záření.

Používaný software aproximoval naměřený histogram gausiánem a udával parametry FWHM (full width at half maximum), Net Area (celkový počet události za dobu měření), chybu určení Net Area, počet událostí za sekundu Net/s.

Zmíněné FWHM je ve vztahu $FWHM = 2\sqrt{2\ln 2} \sigma$ s parametrem σ Gaussova rozdělení.

Klibrace

Kalibraci jsme provedli pomocí zářiče ^{241}Am . Nejprve jsme naměřili spektrum zářiče. Dále jsme identifikovali peaky porovnáním se „vzorovým“ spektrem, který byl k dispozici v praxi. Sice pozorovali jsme více peaků, použili jsme ke kalibraci jenom tři, jelikož některé peaky ve skutečnosti odpovídali dvěma, které se kvůli horšímu rozlišení detektoru v praxi sloučily do jednoho.

Identifikace prvků pomocí charakteristického záření

Záření ze zdroje jsme nechali dopadat na destičky o stejné velikosti z různých materiálů. Měřili jsme spektrum do té doby, než relativní chyba měření parametru Net Area neklesla na 3% (400-800 s). V obdrženém spektru jsme určovali energie pro každý peak a porovnávali jsme je s tabulkami, které byly k dispozici v praxi [2]. Tak jsme zjišťovali, jakému prvku a přechodu odpovídají dané spektrální čáry.

Tabulka 1: Identifikované prvky s odpovídajícími naměřenými a tabelovanými energiemi a přechody

E_{peak} [keV]	E_{Tab} [keV]	Čára	Prvek	Z	# vzorku
8,42(1)	8,904	K_{α}	Cu	29	1
	8,046	K_{β}			
24,89(1)	25,04	K_{α}	Sn	50	2
28,15(1)	27,439	K_{β}			
20,01(1)	20,07	K_{α}	Rh	45	3
22,53(1)	22,695	K_{β}			
12,79(1)	12,689	L_{β}	Bi(?)	83	4
	12,791	L_{β}	Pb(?)	82	
10,72(1)	10,55	L_{α}	Pb(?)	82	
	10,837	L_{α}	Bi(?)	83	
8,59(2)	8,637	K_{α}	Zn	30	5
17,12(2)	17,371	K_{α}	Mo	42	
21,88(1)	21,987	K_{α}	Ag	47	
24,7(1)	24907	K_{β}			
15,72(1)	15,772	K_{α}	Zr	40	6
17,64(1)	17,651	K_{β}			
17,36(1)	17,371	K_{α}	Mo	42	9
19,55(2)	19,587	K_{β}			

Chybu měření energie peaku jsme určili pomocí vztahu (1).

Při měření vzorku č. 1 jsme místo dvou čár odpovídajících K_{α} a K_{β} pozorovali jen jeden peak umístěný mezi očekávanými hodnotami protože peaky byly dost široké a čáry splynuly.

Při určení prvku, jemuž odpovídal vzorek č.4 jsme nenašli podobnou hodnotu energie pro K -přechod, a tak jsme hledali v následujícím nejpravděpodobnějším přechodu – L .

Jak lze nahlédnout z tabulky 1 odchylka od tabelovaných hodnot je řádově stovek eV, což komplikuje určení příslušejícího prvku. V případě vzorku č. 4 tato neurčitost znemožnila zjistit, zda záření odpovídá přechodům olova nebo bismutu, jelikož zmíněné čáry leží příliš blízko k sobě.

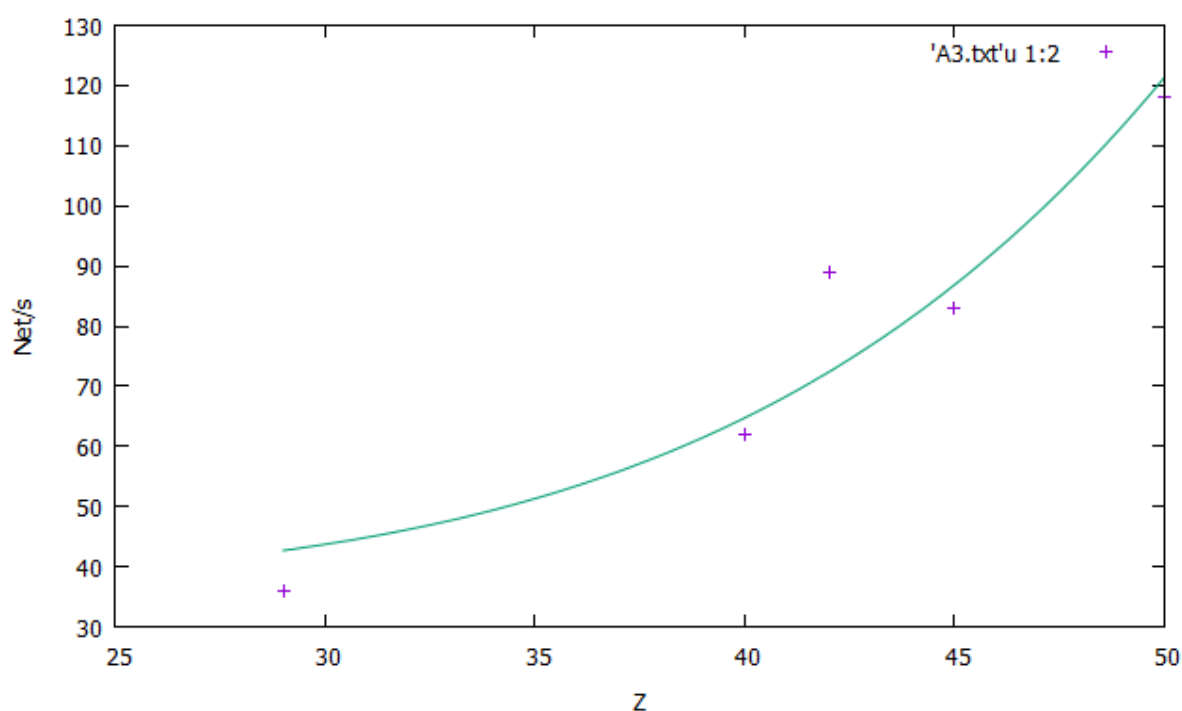
Ukázalo se, že vzorek č. 5 je slitina ze tří prvků – Zn, Mo a Ag.

Závislost účinnosti výtěžku rentgenového záření na atomovém čísle elementu

Z naměřených hodnot výtěžku rentgenového záření jsme sestavili závislost na protonovém čísle, kterou jsme aproximovali v programu GNUPLOT funkcí ve tvaru $f(Z) = a + b \cdot Z^5$.

Výsledné koeficienty jsou $a = 37 \pm 9$, $b = (2,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-7}$.

Graf 1: Závislost intenzity záření čár $K_{\alpha} + K_{\beta}$ v závislosti na protonovém čísle



Relativní zastoupení prvků ve vzorku #5

V předchozích úkolech jsme určili, že ve slitině jsou stopy zinku, molibdenu a stříbra. Pro určení relativních zastoupení jsme vycházeli ze vzorců 2-3 (viz teoretický úvod).

Dostali jsme následující hodnoty:

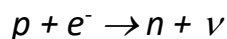
$$w_{Zn} = (68 \pm 7)\%$$

$$w_{Mo} = (28 \pm 6)\%$$

$$w_{\text{Ag}} = (4 \pm 3)\%$$

Identifikace radioaktivního vzorku a stanovení typu pozorovaného rozpadu

Na základě rentgenovského záření jsem identifikoval radioaktivní prvek a typ rozpadu. Jedná se o ^{133}Cs , které vzniklo tzv. K-záchytem v atomu ^{133}Ba (někdy se nazývá inverzní β -rozpad). Původní prvek jsme určili pomocí vztahu



kde p – proton, e^- – elektron, n – neutron, ν – elektronové neutrino.

Diskuze výsledků

Při měření jsme vždy pozorovali peaky, odpovídající rozpadům v zářiči. V kombinaci s nedokonalou rozlišovací schopností to v některých případech zkomplikovalo nebo znemožnilo určení parametrů měřených peaků.

Jak lze nahlédnout z tabulky 1 naměřené hodnoty se znatelně liší od tabelovaných. Nejpravděpodobnějším důvodem k tomu je horší kalibrace, zlepšit kterou bychom mohli zvýšením počtu použitých peaků.

Některé prvky (měď a olovo) byly rozeznatelné i podle vzhledu. Některé píky ale byly dost nevýrazné a úzké a tak bylo těžké určit integrál píky a přesné hranice, kde začíná a končí.

Abychom měli lepší přesnost při určení výtěžku na protonovém čísle (tedy bychom mohli použít i měření pro Cu, kde se peaky K_α a K_β nedali rozlišit) jsme hledali závislost výtěžku $K_\alpha + K_\beta$ na Z . Dle doporučení jsme hledali závislost ve tvaru $f(Z) = a + b(Z^5)$. Výsledná závislost je uvedena ve grafu 1.

Prvky s odlišným protonovým číslem mají různou intenzitu záření, a tak pro prvky s nižším Z jsme měli delší expoziční dobu měření, abychom dosahli srovnatelné statistické chyby měření.

Jedním z měřených vzorků bylo stříbro. Naměřili jsme však jen peak, odpovídající přechodu K_α , jelikož K_β splývala s peaky zářiče a tak Ag nebyl zařazen do závislosti.

Obecně byla největším zdrojem chyb nevýraznost a nepřesné hranice některých píků, záření vyvolané přechody v samotném zářiči, malé rozlišení detektoru a také nepřesně provedená kalibrace.

Závěr

Určili jsme závislost výtěžku na protonovém čísle. Závislost je znázorněna ve grafu 1.

Vzorek č. 5 je slitinou zinku ($68 \pm 7\%$), molibdenu ($28 \pm 6\%$) a argenticum ($4 \pm 3\%$).

Neznámí radioaktivní izotop je Barium ^{133}Ba , mění se na stabilní Cesium ^{133}Cs .

Literatura

[1] Studijní text k úloze 13. [11.11.2017] Dostupné z

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/media/zadani/texty/txt_403.pdf

[2] Tabulka rentgenových spekter pro různé prvky (je k dispozici v praktiku)