

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.

Teorie

Rentgenové záření vzniká při deexcitaci vzbuzeného stavu atomového obalu. Toto záření je pro daný prvek charakteristické.

V našem experimentálním uspořádání budeme využívat rentgenové-fluorescenční metody k excitaci atomového obalu. Díky fotoefektu jsou vyráženy elektrony z atomového obalu, ten je excitován a při deexcitaci lze pozorovat rentgenové záření charakteristické pro zkoumaný prvek.

V experimentu měříme γ -spektra, která vzniknou při ozáření vzorku γ -zářením z radioaktivního zdroje. Použit je α -zářič ^{241}Am . Ze známého spektra tohoto zářiče určíme kalibraci polovodičového detektoru v první části úlohy.

Energetické rozlišení použitého γ -spektrometru je $\text{FWHM} \approx 0,9\text{keV}$ v oblasti 5-60keV.

Registrace záření o energiích $E_\gamma < 4\text{keV}$ je nemožná, tedy nelze identifikovat prvky s menším protonovým číslem, než $Z = 20$.

Experimentální uspořádání je dobře popsáno v [1].

Pro určení zastoupení prvků ve slitině platí vztahy:

$$\frac{p_1^0 w_1}{p_2^0 w_2} = \frac{p_1}{p_2} \quad (1)$$

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

kde p_1^0 a p_2^0 je výtěžek chemicky čistého kovu, p_1 a p_2 je výtěžek prvků ve slitině a w_1 , w_2 je relativní zastoupení prvků ve slitině.

Výsledky měření

Nejprve jsem okalibrovala polovodičový detektor pomocí známého spektra α -zářiče ^{241}Am . Kalibraci jsem prováděla podle nejsilnější čáry při energii 59,5 keV, dále podle silně patrných peaků v energiích 13,9 keV a 26,4 keV.

Poté jsem započala samotné měření vzorků.

K naměření jsem si vybrala vzorky č.1, 2, 3, 4, 5, 6, 13.

Vzorek č.1: Patrný byl peak v 8,17 keV. Této energii podle přiložené tabulky odpovídá K_α přechod mědi ($_{29}\text{Cu}$). K_β přechod má v tomto případě energii, která je příliš blízko energii přechodu K_α , že ji přístroj není schopen rozlišit.

Vzorek č.2: U tohoto vzorku byly naměřeny dva vrcholy v energetickém spektru. A to při energii 25,25 keV odpovídající K_α přechodu cínu ($_{50}\text{Sn}$). Dále při energii 28,57 keV odpovídající K_β přechodu stejného prvku.

Vzorek č.3: Na spektru byly znovu viditelné dva peaky. Při energiích 20,24 keV a 22,83 keV, které opět odpovídají K_α a K_β přechodu tentokrát prvku rhodia ($_{45}\text{Rh}$).

Vzorek č.4: U tohoto vzorku byly naměřeny maxima v energiích 10,59 keV a 12,64 keV. tyto hodnoty neodpovídají K_α a K_β přechodům žádného prvku. Je tedy zřejmé, že jde o přechody α a β z L slupky (L_α , L_β). Ty odpovídají prvku olovo ($_{82}\text{Pb}$). Nemohli jsme naměřit K přechody, protože jejich energie je již nad rozlišovacím maximem detektoru.

Vzorek č.6: Patrné jsou dva vrcholy 15,80 keV a 17,73 keV připadající K_{α} a K_{β} přechodu zirkonu ($_{40}\text{Zr}$).

Vzorek č.5: Tento vzorek byl slitinou. Patrné byly tři peaky v energiích 8,43 keV, dále 22,17 keV a 25,08 keV. První z hodnot odpovídá K_{α} přechodu zinku ($_{30}\text{Zn}$). Další dvě připisují K_{α} a K_{β} přechodu stříbra ($_{47}\text{Ag}$).

Vzorek č.13: Poslední vzorek byl opět slitina. Naměřila jsem dva peaky v energiích 10,60 a 12,68 odpovídající L_{α} a L_{β} přechodu olova ($_{82}\text{Pb}$) a další dva při energiích 25,28 keV a 28,54 keV, které odpovídají K_{α} a K_{β} přechodu cínu ($_{50}\text{Sn}$).

Tabulka I – výtěžek K_{α} přechodu pro naměřené prvky

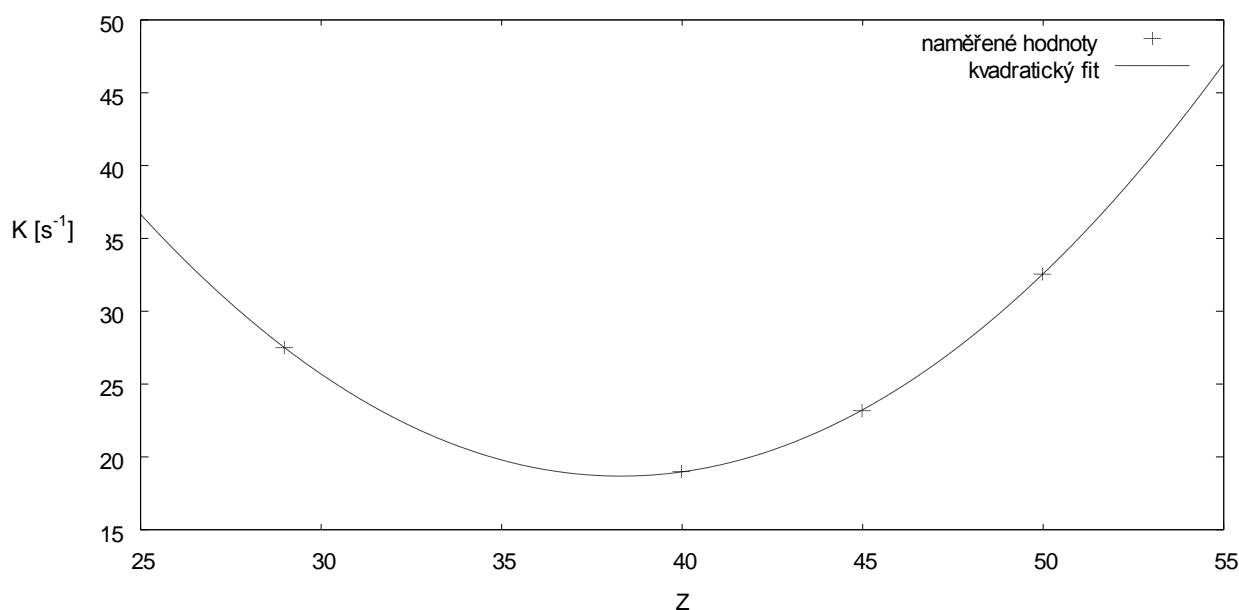
prvek	Cu	Zr	Rh	Sn
Z	29	40	45	50
K_{α} [s^{-1}]	27,456	18,948	23,130	32,503
$\sigma_{K_{\alpha}}$ [%]	5	2,47	1,14	1,02

Bohužel pro fit nemohu použít naměřené hodnoty pro olovo, protože se jednalo o L přechody. Nelze porovnávat výtěžky různých typů přechodů. Chyba naměřeného výtěžku u mědi je sice pouze 2,32%, ale musíme ji zvýšit díky skutečnosti, že peaky odpovídající K_{α} a K_{β} přechodu byly „slité“ v jeden. Tedy výtěžek odpovídá oběma přechodům zároveň. To nám vnáší chybu také do celkového fitu.

Naměřené hodnoty jsem nechala fitovat programem Gnuplot.

Rovnice fitu je: $f(x) = 0,101569x^2 - 7,7845x + 167,79$

Graf I - Závislost výtěžku na protonovém čísle



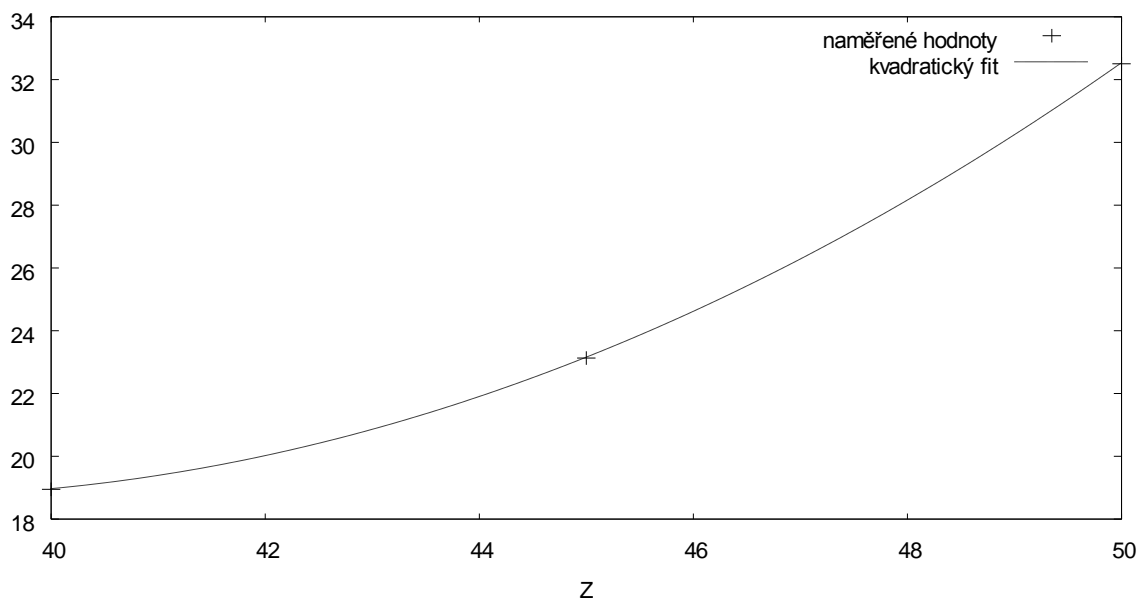
Z Grafu I je patrné, že naměřená hodnota výtěžku mědi nám hodně mění závislost. Proto jsem nechala fitovat tutéž závislost podruhé bez hodnoty mědi. Výsledek je v Grafu II.

Rovnice této závislosti je: $g(x) = 0,10382x^2 - 7,9883x + 172,368$

Ze dvou fitů jsem získala dvě hodnoty pro K_{α} výtěžek stříbra ($_{47}\text{Ag}$), zinku ($_{30}\text{Zn}$) a olova ($_{82}\text{Pb}$), které potřebuji pro určení zastoupení jednotlivých prvků ve slitinách – vzorky č.5 a č.13.

Jsou to hodnoty p^0 ve vztahu (1). Hodnoty p jsme zjistili při samotném měření. Tyto hodnoty uvádím v Tabulce II.

Graf II - Závislost výtěžku na protonovém čísle bez hodnoty Cu



Tabulka II – výtěžek přechodu K_{α} prvků ve slitinách (L_{α} u Pb)

prvek	Zn	Ag	Sn	Pb (výtěžek L_{α})
výtěžek $K_{\alpha 1}$ [s^{-1}] – čistý kov	25,6671	26,28442	32,503	9,177
výtěžek $K_{\alpha 2}$ [s^{-1}] – čistý kov	26,157	26,25628	32,503	-
výtěžek $K_{\alpha 1}$ [s^{-1}] – ve slitině	5,006	15,408	11,283	7,456

Sice jsem si určila hodnotu výtěžku K_{α} přechodu olova z fitu, avšak nemám pro srovnání tuto hodnotu ve slitině. Naměřila jsem pouze výtěžek přechodu L_{α} a L_{β} u tohoto prvku. Protože však jsem naměřila také čisté olovo, můžu srovnat u slitiny č.13 pro olovo hodnoty výtěžku tohoto přechodu.

Ze vztahu (3) jsem dopočetla relativní zastoupení prvků v obou slitinách.

Vzorek č.5: Poměr zastoupení prvků v této slitině jsem počítala pro dva fity závislosti v Grafech I a II. Získala jsem výsledky - Zn:Ag = 75,0:25,0
a z druhého fitu (Zn:Ag)₂ = 75,4:24,6

Po zaokrouhlení výsledků získávám prakticky stejné hodnoty pro oba fity. Avšak přikláním se spíše k výsledkům druhým, protože to není zatíženo chybou naměření výtěžku K_{α} přechodu mědi Cu.

Vzorek č.13: Relativní zastoupení prvků je Sn:Pb = 70,1:29,9.

Nakonec jsem změřila γ -záření neznámého radioaktivního zářiče. Byly pozorovány dva peaky v energiích 30,66 keV a 34,77 keV. Ty odpovídají cesiu ($_{55}\text{Cs}$) a jeho přeskoku K_{α} a K_{β} . Proto se jedná o K-záchyt. Atomové jádro zachytí elektron ve spodním orbitale a při zaplňování uvolněného místa se emituje přesně takovéto záření. Při K-záchytu probíhá reakce $e^{-} + p \rightarrow n + \nu$. Ve vzorku dochází k radioaktivní přeměně $^{133}_{56}\text{Ba} \rightarrow (^{133}_{55}\text{Cs})^{-} + \nu$.

Diskuze

Závěr

Okalibrovali jsme polovodičový spektrometr pomocí α -zářiče ^{241}Am .

Určili jsme materiál těchto vzorků:

vzorek č.1 - měď

vzorek č.2 - cín

vzorek č.3 - rhodium

vzorek č.4 – olovo

vzorek č.5 – stříbro + zinek

vzorek č.6 – zirkon

vzorek č.13 – olovo + cín

Stanovili jsme závislost výtěžku na protonovém čísle dvakrát, podruhé bez započtení výsledků pro měď. Tyto závislosti jsou zakreslena v Grafu I a Grafu II.

Určili jsme relativní zastoupení ve vzorku č.5 - Zn:Ag = 75,4:24,6

ve vzorku č.13 - Sn:Pb = 70,1:29,9

Neznámý zářič je barium, které se rozpadá při K-záchytu na cesium.

Literatura

[1] http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_403.pdf - text úloze