

## 1 Pracovní úkoly

1. Proveďte energetickou kalibraci gama-spektrometru pomocí alfa-zářiče  $^{241}\text{Am}$ .
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.

## 2 Teoretický úvod

Pokud se nějakým způsobem v atomu objeví neobsazená nízká elektronová energetická hladina (např. je atom excitován, dojde k fotoefektu či K-záchytu) a atom má další elektrony na vyšších hladinách, pak dochází k postupnému poklesu elektronů z vyšších hladin do nižších, přičemž dojde k vyzáření fotonu o specifické energii odpovídající příslušnému přechodu elektronu. Vzhledem k tomu, že tyto energetické hladiny a jejich rozdíly jsou pro každý prvek unikátní, tak se toto záření nazývá charakteristické záření. V první části úlohy se využije gama záření z radioaktivního zdroje pro fotoefekt, v druhé části se bude jednat o K-záchyt elektronu (tedy o pohlcení elektronu jádrem, kde dojde k přeměně protonu na neutron a uvolní se elektronové neutrino).

K fotoefektu nejčastěji dochází na nejspodnější vrstvě k a nejpravděpodobnější jsou přechody mezi sousedními energetickými hladinami. Proto nejčastější bude pozorování gama kvant odpovídajících  $K\alpha$  přechodu. Tyto přechody navíc mají různé typy dané strukturou atomu ( $K\alpha 1$  a  $K\alpha 2$ ), které jsou ovšem energeticky relativně blízké a pozorovaný peak bude jejich superpozicí. V některých případech nemusí být gama záření dostatečně energetické, aby vyrazilo elektron (u prvků s vysokým protonovým číslem např. jako olovo). V tom případě pak budeme pozorovat přechody, které jsou svázány s L slupkou jádra.

V případě, že je vzorek slitinou více dvou prvků, pak můžeme z výtěžku určit poměrné zastoupení jednotlivých prvků ve vzorku. Označíme-li výtěžek získaný z první látky ve slitině jako  $W_1$ , výtěžek odpovídající čisté látce jako  $W_1^0$  a její relativní poměr ve vzorku jako  $w_1$  a u druhé látky s indexem 2 místo 1, pak platí

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

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{W_2^0 w_2}{W_1^0 w_1}. \quad (2)$$

Z toho pak pro jednotlivé části slitiny platí

$$w_1 = \frac{1}{1 + \frac{W_2 W_1^0}{W_1 W_2^0}} \quad (3)$$

## 3 Měření

Nejprve jsem zkalibroval scintilační detektor gama záření pomocí zářiče  $^{241}\text{Am}$ , který byl nastaven proti detektoru. Kalibrace byla provedena pomocí jednoduchých peaků ze spektra tohoto zářiče (peaky, které jsou příliš blízko sebe, nejsou vhodné pro kalibraci).

Naměřená data peaků jsou v tabulce 1. v prvním sloupci je číslo vzorku, resp. v závorce je číslo peaku, který byl naměřen. v případě dobré viditelnosti více peaků jich bylo měřeno totiž více.

Tabulka 1: Měření charakteristického záření vzorků

Č.	$E/\text{keV}$	$\text{FWHM}/\text{keV}$	NET	BACK.	NET C/S	%Err	Prvek	Př.	$E_0/\text{eV}$
1	8,18	1,20	13191	2689	32,9	1,03	Cu	$K\alpha$	8046
2 (1)	25,26	1,09	20693	2200	90,9	0,77	Sn	$K\alpha$	25267
2 (2)	28,60	0,99	4048	1440	18,1	2,05	Sn	$K\beta$	28481
3	20,21	1,02	13480	1474	66,4	0,95	Rh	$K\alpha$	20213
4 (1)	10,63	0,79	2655	1584	17,6	2,86	Pb	$L\alpha$	10550
4 (2)	12,74	0,80	2785	2109	18,4	3,02	Pb	$L\beta$	12612
5 (1)	22,14	1,10	11541	2603	42,1	1,13	Ag	$K\alpha$	22159
5 (2)	25,07	0,98	3044	1671	11,2	2,63	Sn	$K\alpha$	25207
6 (1)	15,79	1,01	9096	3944	49,4	1,43	Zr	$K\alpha$	15772
6 (2)	17,80	0,60	1615	3220	8,8	5,57	Zr	$K\beta$	17665
8 (1)	24,21	1,12	8346	1096	76,6	1,28	In	$K\alpha$	24206
8 (2)	27,36	0,64	1465	810	13,4	3,82	In	$K\beta$	27271
9	17,49	1,09	21462	4708	77,2	0,82	Mo	$K\alpha$	17476
11 (1)	23,17	1,12	17970	2184	95,6	0,83	Cd	$K\alpha$	23170
11 (2)	26,19	0,93	4359	1653	23,2	2,02	Cd	$K\beta$	26091
12 (1)	6,53	0,14	574	1677	1,35	10,98	Fe	$K\alpha$	6403
12 (2)	10,60	0,06	357	1221	0,84	15,97	As	$K\alpha$	10542
13 (1)	10,62	0,96	3794	2430	13,6	2,45	Pb	$L\alpha$	10550
13 (2)	12,69	0,99	4056	3427	14,5	2,56	Pb	$L\beta$	12621
13 (3)	25,25	1,10	9456	1672	33,8	1,19	Sn	$K\alpha$	25267
13 (4)	28,56	0,59	9474	1113	6,8	3,36	Sn	$K\beta$	28481

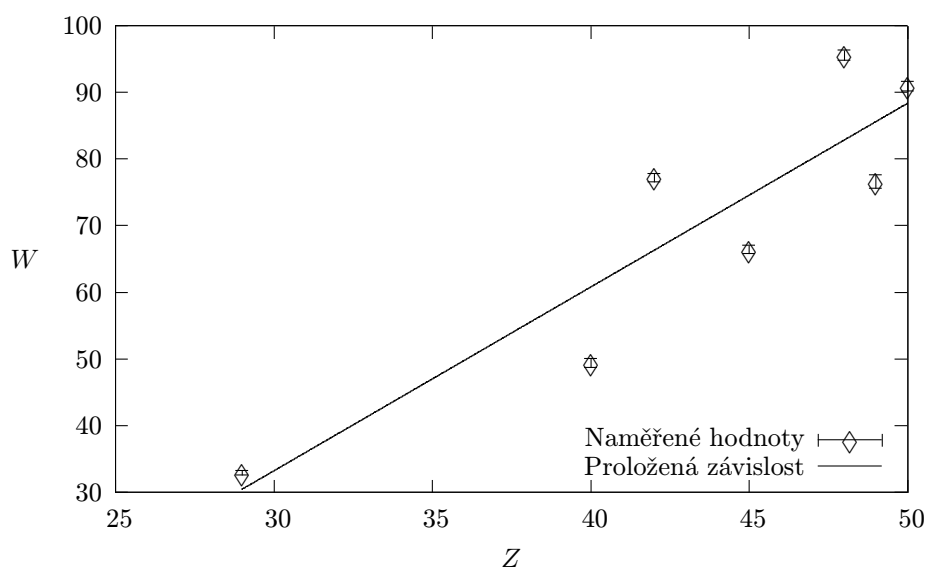
Měření probíhalo tak, že jsem daný peak vybral a počítačový program nafitoval na data v daném rozsahu Gaussovu křivku ještě upravenou na pozadí, u kterého se předpokládá lineární závislost na energii. Data z druhého sloupce jsou pak hodnoty energie odpovídající středu určeného Gaussova rozložení. Z těchto energií pak byla určována odpovídající prvky pomocí tabulek, které byly v praktiku k dispozici. Další údaj (FWHM) určuje šířku peaku. Ta se pohybuje kolem 1 keV. To je jeden z důvodů, proč nelze pozorovat spektrum z oblasti nízkých energií. v určitých degenerovaných případech jako fit vyšla velice úzká křivka a to zejména u peaků, které jsou z malého výtěžku. Hodnota NET je hodnotou počtu data naměřených odpovídajících vyplnění pod Gaussovou křivkou bez šumu a BACK je pozadí - tj. počet měření, které jsou považovány v rámci fitu za šum. Další hodnotou je NET C/S, což je hodnota odpovídající počtu naměřených gama fotonů v daném rozmezí za jednotkový čas. Aparatura byla celou dobu měření relativně v klidu - jenom jsem přehazoval vzorky - a můžu tedy předpokládat, že je to hodnota odpovídající výtěžku. Další hodnotou je %ERR, což je vlastně chyba fitu. Do dalšího sloupce jsem zaznamenal určený prvek vzorku, resp. daného peaku a potažmo prvek ze slitiny. v předposledním sloupci je určení, o který přechod elektronu se jedná. v posledním sloupci pak je energie odpovídající charakteristickému gama záření odpovídajícího prvku dle tabulek z praktika.

U vzorku 12 jsou největší chyby fitu, což je způsobeno jednak tím, že se jednalo nejspíše o prvky s malým protonovým číslem a proto z nich byl malý výtěžek ještě zmenšený tím, že se rozdělil mezi oba prvky. Navíc v té oblasti je relativně velké pozadí kvůli tomu, že radioaktivní izotop používaný při úloze není zcela odstíněný od detektoru. Dalším vzorkem, kde je nejpravděpodobnější chyba v určení je číslo 9, protože zde byly přítomny i další peaky, které všem nebyly příliš výrazné a byly zhruba v oblasti, kde jsou charakteristické peaky pro amerícium.

Z těchto naměřených hodnot jsem pak vybral ty, které odpovídají relativně čistým prvkům. Ty jsem dal do tabulky č.2 a graficky zpracoval jako obr. č. 1. Závislost vypadá v zásadě lineárně s tím, že ale je vidět, že jsou zde velké odchylky od přímky, která je daty proložena. Nafitovaná přímka má parametry

Tabulka 2: Tabulka dat použitých pro určení závislosti výtěžku na protonovém čísle  $Z$ 

Č.	$Z$	NET C/S	%ERR
1	29	32,9	0,34
2 (1)	50	90,9	0,70
3	45	66,4	0,63
6 (1)	40	49,4	0,71
8 (1)	49	76,6	0,98
9	42	77,2	0,63
11 (1)	48	95,6	0,79



Obrázek 1: Závislost výtěžku na protonovém čísle

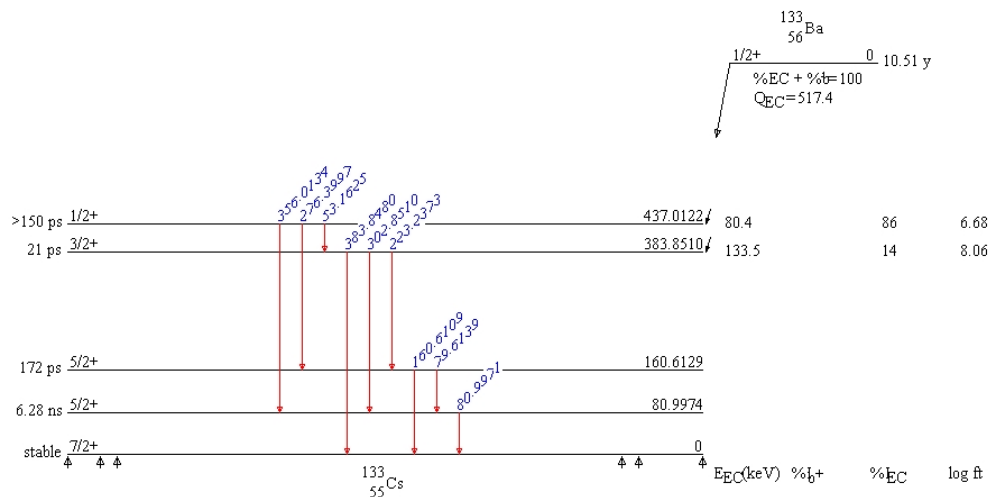
$$W(Z) = -50 + 2,8Z.$$

S tím, že chyba fitu konstantního parametru je 53% a u lineárního členu je 22%. Už z toho je vidět, že jakýkoliv odhad poměru jednotlivých frakcí ve slitině bude v zásadě jenom řádový. Určoval jsem poměrné zastoupení prvků ve vzorku č. 5. Pro ty pak platí podle vzorce uvedeného v teorii

$$w_{Ag} \approx 80\%,$$

$$w_{Sn} \approx 20\%.$$

Dalším úkolem bylo určit radioaktivní prvek na základě charakteristického záření. Prvek, jehož záření bylo pozorováno, byl  $^{133}\text{Cs}$ , což ukazuje na to, že se jedná o radioaktivní  $^{133}\text{Ba}$ , u kterého dochází ke K-záchytu. Naměřil jsem 5 nejnápadnějších peaků ve spektru charakteristického záření a zaznamenal do tabulky č. 3. První spektrální čára odpovídá nejspíše paladiu, ale je možné, že její zdroj je ještě jiný. Další dvě čáry jsou jasné přechody v rámci elektronového obalu cesia. A další dvě naměřené čáry odpovídají jaderným přechodům mezi sousedními stavy - podle [2] - viz. obr. 2 získaný právě z těchto internetových tabulek.



Obrázek 2: Schematický diagram energetických hladin Cs, získáno z [2]

Tabulka 3: Měření spektra rozpadu <sup>133</sup>Ba

Č.	E/keV	FWHM/keV	NET	BACK.	NET C/S	%Err	Prvek	Př.	E <sub>0</sub> /eV
1	21,02	1,08	6074	4224	19,7	1,99	Pd	Kα	21017
2	30,93	1,21	196912	23962	639,3	0,25	Cs	Kα	30968
3	35,11	1,30	46781	8430	151,9	0,54	Cs	Kβ	34981
4	53,14	0,89	3788	3478	12,3	2,75	Cs	jádro	53163
5	80,85	1,18	72973	13546	237,0	0,43	Cs	jádro	80997

## 4 Diskuse

Chyba měření mohla vzniknout již na počátku měření při kalibraci, kdy mohlo dojít k tomu, že peaky byly špatně určeny, nebo byl nedostatečný výtěžek pro dostatečné přesné určení polohy středu peaku. Ale k této chybě nejspíš nedošlo, protože vzorky, u kterých bylo zřejmé, o které látky se jedná, byly určeny pomocí charakteristického gama záření správně. Například vzorek, který vypadal jako měď byl určen jako měď. Stejně tak byla látka určena pomocí charakteristického záření jako olovo a opravdu vypadala jako olovo.

U některých látek jsem mohl, jak již bylo zmíněno, odhadnout jejich složení podle vzhledu, ale u některých je ovšem těžké je rozeznat na základě jejich vzhledu (zejména z toho důvodu, že většina kovů je stříbrošedých) a tak si nemůžu být zcela jist, jestli byly všechny látky určeny správně.

Také se ve vzorcích mohly vyskytovat příměsi, které se ve spektru projevovaly pouze málo nebo na příliš nízkých energetických hodnotách a tak jsem je nemohl určit. Mohlo by se jednat zejména o prvky s malým protonovým číslem nebo jakékoliv prvky v relativně malém množství. Respektive takovém množství, že by peak nebyl k rozpoznání vůči pozadí.

Předpoklad lineární závislosti u určování závislosti výtěžku na protonovém čísle je nejspíše příliš silný, ale na to určit přesnou závislost, by bylo potřeba naměřit větší soubor dat a pak až z tabulky určovat odpovídající hodnoty výtěžků.

U určování radioaktivního izotopu látky je jisté, že se jednalo o baryum - jednak ze dvou peaků charakteristického záření pocházejícího z elektronového obalu a pak z jaderných poklesů energie ke stabilnímu stavu. Je možná trochu otázkou, proč se neprojevily i další přechody v jádře cesia, ale vzhledem ke kalibraci, kde byl využit bod 59, 5 keV, tak by ani nemělo smysl sledovat příliš vysoké energie. Také si nejsme jistý, jaké jsou omezení přístroje a jestli je schopný registrovat a rozeznávat gama záření o vyšších energiích.

Horní omezení nejdůležitějším kanálem gama záření pocházejícím z americia používaného v první části experimentu, je dáno právě také 59, 5 keV, ale v tomto případě ostře, kdežto u kalibrace má smysl brát i o něco vyšší hodnoty. Toto omezení v energiích znamenalo, že u olova byly opravdu pozorovány pouze čáry L série.

## 5 Závěr

Provedl jsem energetickou kalibraci gama-spektrometru pomocí radioaktivní látky  $^{241}\text{Am}$ . Určil jsem, alespoň přibližně, materiál všech vzorků určených k měření.

Odhadl jsem závislost výtěžku záření na protonovém čísle vzorku a z toho poměrné zastoupení prvků ve slitině označené číslem 5. Podíl byl určen jako 80% obsahu stříbra a 20% cínu.

Radioaktivní zářič v druhé části úlohy jsem identifikoval jako  $^{133}\text{Ba}$ .

## 6 Literatura

- [1] **Studijní text k fyzikálnímu praktiku**  
Identifikace prvků na základě jejich charakteristického rentgenového záření  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_403.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_403.pdf)
- [2] *R.B. Firestone and L.P. Ekström: Table of Radioactive Isotopes*  
<http://ie.lbl.gov/toi/index.asp>