

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM IV – Jaderná a subjaderná fyzika

Úloha č. A3

Název: Identifikace prvků na základě jejich charakteristického rentgenového záření

Pracoval: Radim Pechal

dne 27. října 2009

Odevzdal dne: .....

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval: ..... dne .....

## Pracovní úkol

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.

## Teoretický úvod

V atomech se mohou elektrony vyskytovat pouze v diskrétních stavech, kterým přísluší daná energie. V základním stavu má atom obsaženy nejnižší energetické hladiny. V případě, že dojde ke ztrátě elektronu (ionizace, K-záchyt atd.), obsadí se uvolněné místo elektronem z vyšší hladiny a vyzáří se foton s energií odpovídající změně energie elektronu. Pro hladiny blízké jádru se vyzáří rentgenové záření.

Používaný detektor detekuje záření v oblasti rentgenových paprsků. Proto nás při určování prvků budou zajímat spektra K. Tyto spektra vznikají při sestupu elektronů na nejnižší hladinu. Dle [1] se tak děje několika způsoby. Buď ionizací atomu rentgenovým zářením, tedy pokud dostatečně energetické spektrum uvolní elektron z K orbitalu, nebo K - záchytem, kdy dochází k jaderné interakci  $e^- + p \rightarrow n + \nu$  a zároveň k uvolnění místa v K - orbitalu a vyzáření fotonu charakteristického pro dceřiné jádro, a nebo také deexcitací samotného jádra, kdy po jaderné přeměně může být excitované samotné dceřiné jádro a při deexcitaci se vyzáří  $\gamma$  - záření.

U slitiny dvou prvků můžeme při naměřených hodnotách výtěžků rentgenového záření  $N_1$  a  $N_2$  jednotlivých prvků určit jejich poměrné zastoupení  $\eta_1$  a  $\eta_2$ . Je zřejmé, že musí platit

$$\eta_1 + \eta_2 = 1. \quad (1)$$

Kvantitativní zastoupení prvku, u něhož jsme naměřili  $N_2$ , můžeme určit vztahem

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \frac{N_1 N_{20}}{p_1 o p_2}}, \quad (2)$$

kde  $N_{10}$  a  $N_{20}$  jsou výtěžky samotných kovů.

## Výsledky měření

Nejdříve jsem zkalibroval spektrometr. Využíval jsem k tomu známých energií píků ve spektru používaného alfa-zářiče  $^{241}\text{Am}$ .

Následně jsem proměřil předložené vzorky. V naměřeném histogramu jsem vybral výrazné píky, které nebyly dány pozadím a u nich určil energii  $E$  a výtěžek rentgenového záření  $N$ . Z příložených tabulek jsem pomocí energie identifikoval obsažené prvky. Tabulkové hodnoty energií  $E_{\text{tab}}$  spolu s naměřenými hodnotami jsem zapsal do tabulky 1.

Z naměřených hodnot jsem dále sestavil závislost výtěžku rentgenového záření na protonovém čísle  $Z$ . Tuto závislost jsem fitoval. Zvolil jsem dva postupy. Naměřené hodnoty jsem fitoval polynomem čtvrtého řádu ve tvaru

$$N = a \cdot Z^4 + b \cdot Z^3 + c \cdot Z^2 + d \cdot Z + e.$$

Data jsem také proložil lineární závislostí

$$N = \alpha \cdot Z + \beta,$$

Vzorek	$E$ [keV]	$N$ [ $s^{-1}$ ]	Prvek	$Z$	Čára	$E_{\text{tab}}$ [keV]
1	8,17	$82,5 \pm 0,5$	Cu	29	$K\alpha_1$	8,046
					$K\beta_1$	8,904
2	25,24	$80,0 \pm 0,6$	Sn	50	$K\alpha_1$	25,267
	28,57				$K\beta_1$	28,482
3	20,22	$59,0 \pm 0,6$	Rh	45	$K\alpha_1$	20,213
	22,81				$K\beta_1$	22,720
5	22,16	$40,3 \pm 0,5$	Ag	47	$K\alpha_1$	22,159
	25,04				$K\beta_1$	24,938
	8,36				Cu	29
6	15,78	$50,0 \pm 0,6$	Zr	40	$K\alpha_1$	15,722
	17,8				$K\beta_1$	17,665
8	24,18	$71,1 \pm 0,7$	In	49	$K\alpha_1$	24,206
	27,36				$K\beta_1$	27,271
9	17,49	$73,3 \pm 0,5$	Mo	42	$K\alpha_1$	17,476
	19,74				$K\beta_1$	19,605
	7,68				Ni	28
10	8,74	$58,4 \pm 0,4$	Zn	30	$K\alpha_1$	8,637
					$K\beta_1$	9,570
	6,54	$2,96 \pm 0,13$	Fe	26	$K\alpha_1$	6,403
					$K\beta_1$	7,057
11	23,16	$83,9 \pm 0,6$	Cd	48	$K\alpha_1$	23,170
	26,16				$K\beta_1$	26,091
12	6,55	$22,3 \pm 0,4$	Fe	26	$K\alpha_1$	6,403
					$K\beta_1$	7,057
13	25,24	$28,9 \pm 0,3$	Sn	50	$K\alpha_1$	25,267
	28,57				$K\beta_1$	28,482

Tabulka 1: Určení neznámých prvků.

komentář je v části s diskusí výsledků. Obě proložení jsem znázornil v grafu 1.

Pomocí fitování mi vyšly tyto koeficienty:  $a = -0,0068 \pm 0,0018$ ,  $b = 1,1 \pm 0,3$ ,  $c = -62 \pm 16$ ,  $d = 1576 \pm 380$ ,  $e = -14607 \pm 3436$ ,  $\alpha = 2,06 \pm 0,12$ ,  $\beta = -31 \pm 5$ . K dalšímu zpracování jsem používal lineární závislost.

S využitím výše zmíněných dat jsem určil poměr kovů ve slitinách. Z nafitovaného vztahu jsem určil  $N_0$  a vztahem (2) jsem dopočítal  $\eta_2$ . Pomocí vztahu (1) jsem spočetl  $\eta_1$ . Hodnoty jsem zapsal do tabulky 2.

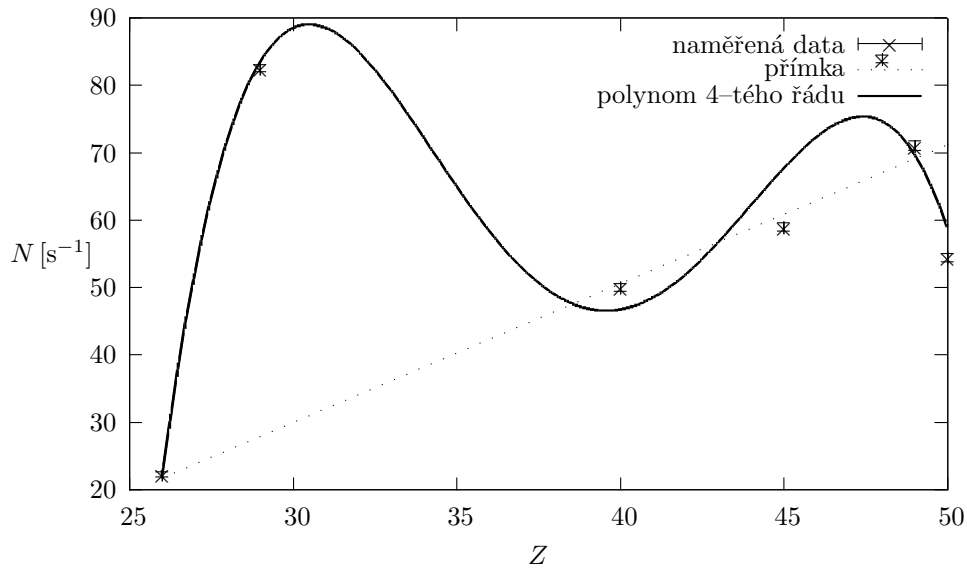
Posledním bodem mého měření bylo určení neznámého zářiče. Postupoval jsem stejně jako v bodu 2. Naměřené a určené hodnoty jsem zapsal do tabulky 3.

Vzorek	$N [s^{-1}]$	Prvek	$N_0 [s^{-1}]$	$\eta$
5	$40,3 \pm 0,5$	Ag	$66 \pm 7$	$0,50 \pm 0,05$
	$17,7 \pm 0,3$	Cu	$29 \pm 5$	$0,50 \pm 0,05$
9	$73,3 \pm 0,5$	Mo	$56 \pm 10$	$0,73 \pm 0,04$
	$13,0 \pm 0,3$	Ni	$27 \pm 5$	$0,27 \pm 0,04$
10	$58,4 \pm 0,4$	Zn	$31 \pm 9$	$0,94 \pm 0,02$
	$2,96 \pm 0,13$	Fe	$23 \pm 5$	$0,06 \pm 0,02$

Tabulka 2: Určení poměru prvků ve slitinách.

$E [keV]$	$N [s^{-1}]$	Prvek	$Z$	Čára	$E_{tab} [keV]$
30,88	$1954 \pm 3$	Cs	55	$K\alpha_1$	30,968
35,07	$547 \pm 2$			$K\beta_1$	34,981
20,98	$76,0 \pm 0,8$	Ag	47	$K\alpha_1$	21,987
25,20	$9,5 \pm 0,6$			$K\beta_1$	24,938
53,16	$75,0 \pm 0,8$	Lu	71	$K\alpha_1$	54,061
61,62	$31,0 \pm 0,8$			$K\beta_1$	61,272

Tabulka 3: Určení neznámého zářiče.



Graf 1: Závislost účinnosti výtěžku rentgenového záření na atomovém čísle.

## Diskuse výsledků

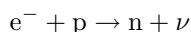
Určovaný prvek byl obvykle jednoznačný. Měřil jsem vždy čáru  $K\alpha_1$ , což je nejintenzivnější čára. Vzniká při obsazení prázdného místa na K – orbitalu elektronem z L – orbitalu. Pro větší rozdíly energií byly také pozorovatelné čáry  $K\beta_1$ , které vznikají při obsazení prázdného místa elektronem z M – orbitalu. Pro některá měření nebyla pozorovatelná  $K\beta_1$  čára, protože splývala s  $K\alpha_1$  čarou. To že opravdu byla pohlcena jde vidět také z pološířky měřených píků, které jsem v tabulce 1 z

důvodu přehlednosti neuváděl, ale je dohledatelná v příloženém záznamu.

Při určování poměrného zastoupení prvků ve slitině bylo nejobtížnější určit  $N_0$  u daných prvků. Využil jsem hodnot, které jsem naměřil při určování prvků. Daná charakteristika měla malý počet bodů pro určování funkce, kterou by šly proložit. Hlavním problémem byly chybějící hodnoty pro prvky s atomovým číslem v rozsahu (30, 40). Jako jedno z možných se jevil polynom čtvrtého řádu. Toto proložení jsem také znázornil v grafu 1. Ovšem naftované koeficienty byly zatíženy značnou chybou (řádově 30%). Proto jsem volil jiné řešení.

Data jsem proložil přímkou. V tomto případě jsem však musel vyloučit některé hodnoty, které měly vůči určené přímce velkou chybu. Což naznačuje, že jsou znehodnocena hrubou chybou. Ovšem měření bylo automatizované, což téměř vylučuje hrubou chybu. V případě, že by bylo dosaženo nižších hodnot, než by bylo očekávané, vysvětloval by to fakt, že v měřeném prvku mohla být příměs, která nebyla vzhledem k šumu pozadí detekována. Ovšem například pro měď ( $Z = 29$ ) byla hodnota mnohem větší. Ovšem, jak se ukazuje u vzorků 2 a 13, tak se hodnoty liší i pro stejné prvky. Bylo by vhodné pro daný prvek provést více měření a zpracovat jej statisticky.

Při určování materiálu zářiče jsem naměřil tři prvky. Měření jsem prováděl tak, že jsem zářič položil na detektor a měřil. Vzhledem k naměření netypického lutecia jsem zářič umístil před detektor, abych minimalizoval vliv obalu detektoru. Lutecium bylo však opět detekováno a tak předpokládám, že se jedná o příměs, která vznikla při výrobě. Stejně tak stříbro. Naměřeným radioaktivním prvkem je cesium. Tento prvek vzniká K – záchytem



z Baria, které má protonové číslo 56. Proces jde popsat tak, že proton z jádra může být zachycen elektronem, který leží v K – orbitalu. Vznikne tak neutron a vyzáří se záření. Vznikne tak nový prvek – cesium. Tento prvek má neobsazen elektron v K – orbitalu. Ten se obsadí z vyšší hladiny a vznikne tak rentgenové záření, které můžeme detekovat.

## Závěr

Určil jsem prvky, ze kterých jsou složeny vzorky. Určené prvky jsem znázornil v tabulce 1. U vzorků 5, 9 a 10, které jsou slitinami, jsem určil poměrné zastoupení. Výsledky jsem zapsal do tabulky 2. K výpočtu poměrného zastoupení prvků jsem určil závislost účinnosti výtěžku rentgenového záření na protonovém čísle. Tuto závislost jsem proložil přímkou.

Předložený zářič se skládá z baria, které se rozpadá na cesium. V zářiči je přimícháno stříbro a lutecium.

## Seznam použité literatury

- [1] D. Nosek, M. Krtička: *Studijní text:*  
A3. Identifikace prvků na základě jejich charakteristického rentgenového záření + tabulky  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_403.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_403.pdf). 24. října 2003.