

Pracovní úkol:

1. Proved'te 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:

V atomech všech prvků se elektrony v elektronovém obalu mohou vyskytovat pouze v diskretních kvantových stavech. Každému stavu přísluší určitá energie. V základním stavu jsou obsazeny nejnižší energetické hladiny. Pokud nějakým způsobem odstraníme z obalu jeden elektron, obsadí tento stav elektron některého z vyšších stavů. Při tomto přeskoku se vyzáří foton s energií odpovídající rozdílu příslušných hladin. Vazbové energie elektronů na vyšších hladinách jsou řádově jednotky až desítky elektronvoltů. Přejchody na těchto hladinách generují ultrafialové záření. Naproti tomu vazbové energie elektronů blízko jádra jsou o několik řádů vyšší – desítky kiloelektronvoltů. Jedná se o fotony rentgenového záření.

V této úloze proměříme rentgenová elektronová spektra K. K jejich získání je potřeba uvolnit nejnižší elektronové hladiny v atomu. To je možné několika způsoby.:

1. *Ionizace atomu rentgenovým zářením* – dostatečně energetické rentgenové záření může úplně uvolnit elektron z K orbitalu (případně L – orbitalu) atomu. Vzniklá díra je zaplněna elektrony z vyšších orbitalů a je vyzářen γ – foton s charakteristickou energií.
2. *K – záchyt vnitřního elektronu* – dochází zde k jaderné reakci $e^- + p \rightarrow n + \nu$. Přitom se uvolní místo v K – orbitalu a vyzáří se foton charakteristický pro dceřinné jádro.
3. *Deexcitace samotného jádra* – po jaderné přeměně může být excitované samo dceřinné jádro a při jeho deexcitaci se opět emituje γ – záření.

V úloze se proměří spektra atomů excitovaných γ – zářením vzniklým při rozpadu ^{241}Am . Rozsah použitého spektrometru (přibližně 5 – 70 keV) spolu s energií γ – záření americia vymezuje prvky, které se dají detekovat. Tuto aparaturu nemůžeme použít pro prvky lehčí než přibližně vanad, protože u nich jsou i čáry K-série mimo rozsah spektrometru. Naopak u těžších prvků (od yterbia výše) už energie γ – záření nestačí na uvolnění elektronu z K-hladiny a je možné pozorovat jen čáry příslušející přechodům na L-hladiny.

V úkolu 4 se má určit relativní zastoupení prvků ve vzorku. Pro kvantitativní zastoupení prvků ve slitině platí:

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

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

kde p^0 je počet přechodů za jednotku času v chemicky čistém vzorku (zjistím odečtením z grafu), p je počet přechodů za jednotku času ve slitině (zjistím přímým měřením) a w je relativní zastoupení prvků ve slitině. Ze vztahů (1) a (2) plyne pro w_2 následující vztah :

$$w_2 = \frac{1}{1 + \frac{p_1 p_2^0}{p_1^0 p_2}} \quad (3)$$

a analogicky pro w_1 .

Vypracování:

Kalibraci aparatury jsem provedla pomocí radioizotopu ^{241}Am , kdy jednotlivým spektrálním čarám byly přiřazeny jejich hodnoty podle grafu, který byl k dispozici u úlohy. Tento izotop byl zároveň v dalších měřeních použit k excitaci atomů zkoumaných vzorků. Neurčitost kalibrace se na pozorovaném rozsahu pohybuje okolo 0,2 až 0,3 keV.

Proměřila jsem spektra 5 vzorků prvků, jeden vzorek slitiny a jeden vzorek radioaktivního prvku. V tabulkách energií jsem vyhledala prvky s o K_α a K_β přechody (případně L_α a L_β), které byly blízké naměřeným hodnotám. Výsledky měření jsou shrnuty v tabulce 1.

vzorek č.	E [keV]	prvek	Z	čára	výtěžek [s^{-1}]	tabelované hodnoty	
						název	E [keV]
1	8,08	Cu	29	K_α	7,47	$K_{\alpha 1}$	8,026
						$K_{\alpha 2}$	8,046
2	25,05	Sn	50	K_α	17,75	$K_{\alpha 1}$	25,267
						$K_{\alpha 2}$	25,040
	K_β			4,14	$K_{\beta 1}$	28,481	
					$K_{\beta 2}$	29,104	
					$K_{\beta 3}$	28,439	
3	20,01	Rh	45	K_α	7,88	$K_{\alpha 1}$	20,213
						$K_{\alpha 2}$	20,070
4	10,52	Pb	82	L_α	0,83	$L_{\alpha 1}$	10,55
						$L_{\alpha 2}$	10,448
	L_β			1,03	$L_{\beta 1}$	12,612	
					$L_{\beta 2}$	12,621	
					$L_{\beta 3}$	12,791	
5	21,92	Ag	47	K_α	6,92	$K_{\alpha 1}$	22,199
						$K_{\alpha 2}$	21,987
5	24,29	Ni?	28	K_β	1,61	$K_{\beta 1}$	24,938
						$K_{\beta 2}$	25,452
						$K_{\beta 3}$	24,907
6	7,20	Zr	40	K_α	4,75	$K_{\alpha 1}$	7,477
						$K_{\alpha 2}$	7,460
6	15,78	Zr	40	K_α	4,75	$K_{\alpha 1}$	15,772
						$K_{\alpha 2}$	15,688
vzorek č.	E [keV]	prvek	Z	čára	výtěžek [s^{-1}]	tabelované hodnoty	

						název	E [keV]
8	24,19	In	49	K_{α}	12,29	$K_{\alpha 1}$	24,206
						$K_{\alpha 2}$	23,998
	27,20			K_{β}	1,62	$K_{\beta 1}$	27,271
						$K_{\beta 2}$	27,856
radioaktivní vzorek	30,68	Cs	55	K_{α}	40,35	$K_{\alpha 1}$	30,968
						$K_{\alpha 2}$	30,620
	34,90			K_{β}	7,74	$K_{\beta 1}$	34,981
						$K_{\beta 2}$	35,815
						$K_{\beta 3}$	34,913

Tabulka 1 : Identifikace prvků, energie a typy přechodů, četnosti

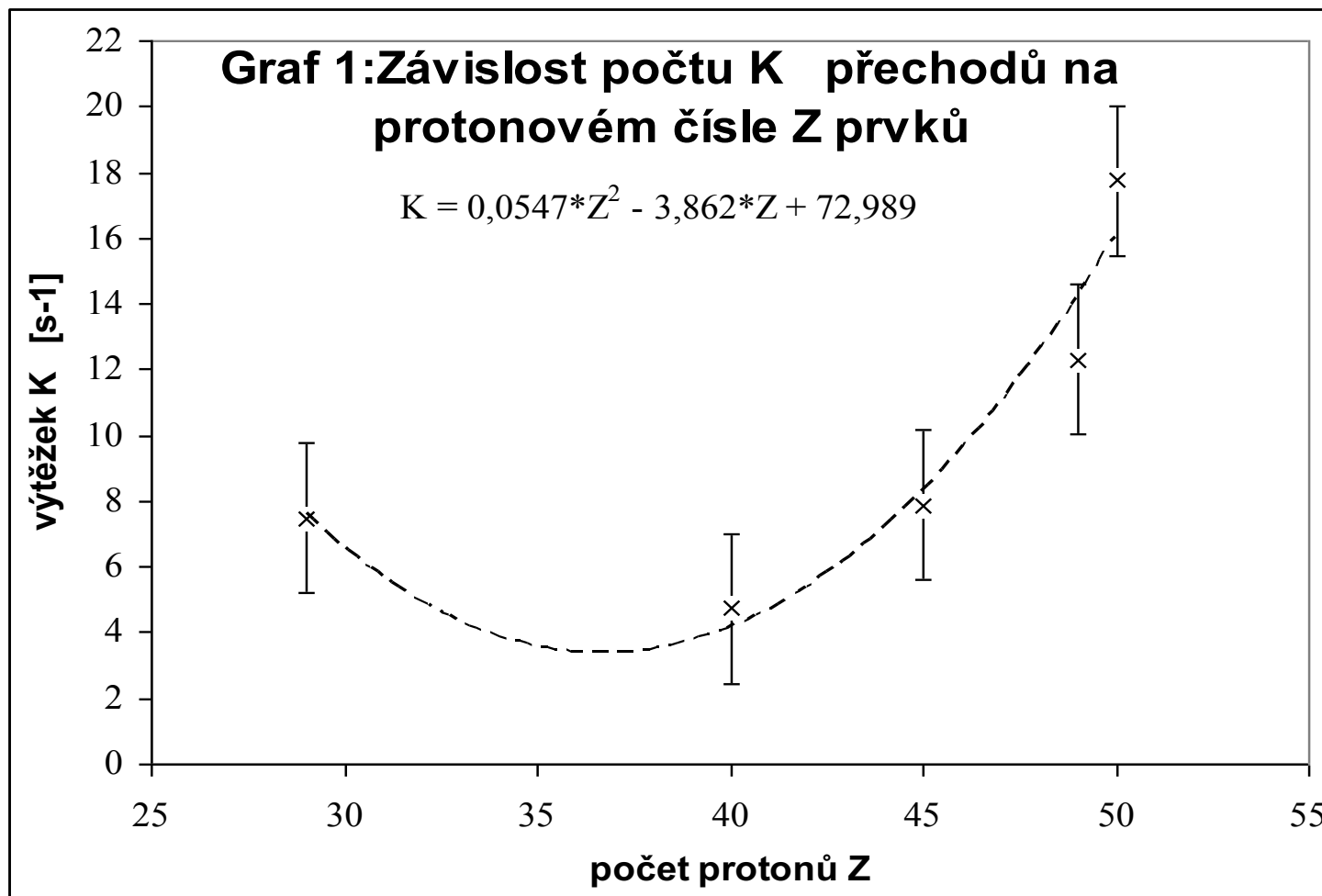
Naměřené hodnoty výtěžku (uvedené v tabulce 1) jsem vynesla do grafu jako závislost na atomovém čísle prvku. Pomocí počítače jsem na ně nafitovala kvadratickou závislost $A \cdot Z^2 + BZ + C$. Byly získány tyto koeficienty rovnice:

$$A = 0,0547$$

$$B = -3,862$$

$$C = 72,989$$

Ve všech parametrech je poměrně velká chyba. Pro přibližnou interpolaci to však postačuje.



Vzorek 5 jsem identifikovala jako slitinu stříbra s niklem. Jako výtěžek čistých prvků jsem dosazovala hodnoty dopočítané výše proloženou závislostí:

$$p_{Ag}^0 = 12,31 \text{ s}^{-1}$$

$$p_{Ni}^0 = 7,74 \text{ s}^{-1}$$

Přímým měřením jsem zjistila počet přechodů ve slitině:

$$p_{Ag} = 6,92 \text{ s}^{-1}$$

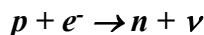
$$p_{Ni} = 0,42 \text{ s}^{-1}$$

Pomocí vztahů (2) a (3) jsem určila:

relativní zastoupení stříbra... $p_{Ag} = 91 \%$

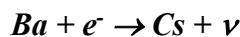
relativní zastoupení niklu (resp. mědi)... $p_{Ni} = 9 \%$.

Na základě rentgenového záření jsem identifikovala radioaktivní prvek a typ rozpadu. Jedná se o ^{133}Cs , které vzniklo tzv. **K-záchytem** v atomu ^{133}Ba . Inverzní **β -rozpad** probíhající v jádře je popsán:



kde **p** je proton, **e⁻** elektron, **n** neutron a **ν** elektronové neutrino.

V našem vzorku:



Diskuse:

Identifikace prvků je shrnuta v tabulce 1. Jedná se většinou o spektrální čáry K-série. Pouze v případě olova, kdy excitační záření nemělo dostatek energie k vyrazení elektronu z nejnižší slupky, byly pozorovány čáry série L.

Identifikace jednotlivých vzorků byly poměrně jednoznačné. U 1.vzorku se však měření odehrávalo na hranici energetického rozlišení spektrometru, což znesnadňovalo jeho určení. Nemělo smysl rozlišovat energie K_α a K_β , protože jejich rozdíl je v tomto případě mnohem menší než šířka peaku. Tento vzorek byl určen jako měď. Tomu i odpovídá jeho vzhled.

Z tohoto důvodu se mi také nepodařilo určit přesné složení slitiny (vzorek 5). Naměřená hodnota energie nejvíce odpovídala niklu, nemohu však zcela vyloučit, že se nejedná o některý ze sousedních prvků. Chyba procentuálního zastoupení jednotlivých složek je hodně velká a plyne z nepřesného určení závislosti výtěžku na atomovém čísle. Pro vyšší přesnost by bylo také vhodné naměřit více bodů (viz graf 1). Při většině měření nebylo možné dosáhnout doporučené chyby menší než 3%, protože by se měření neúměrně protahovalo.

Spektrum radioaktivního vzorku odpovídá spektru cesia. Ve vzorku dochází ke **K-záchytu**, a jelikož deexcituje až výsledný produkt, identifikovala jsem neznámý vzorek jako barium.

Závěr:

Provedla jsem energetickou kalibraci spektrometru pomocí zářiče ^{241}Am . Určila jsem materiál 5 vzorků (tabulka 2). Stanovila jsem závislost výtěžku rentgenového záření na atomovém čísle prvku (graf 1, tabulka 2). Určila jsem relativní zastoupení stříbra a niklu ve vzorku 5: $p_{Ag} = 91\%$, $p_{Ni} = 9 \%$. Na základě rentgenového záření jsem identifikovala radioaktivní vzorek jako barium, které díky K-záchytu přechází na cesium.

Vzorek č.	1	2	3	4	5	6	8
-----------	---	---	---	---	---	---	---

Prvek	Cu	Sn	Rh	Pb	Ag + Ni	Zr	In
-------	----	----	----	----	---------	----	----

Tabulka 2: Identifikované vzorky

Literatura:

[1] Nosek, D., Krtička, M.: A3. Identifikace prvků na základě jejich charakteristického rentgenového záření. Studijní text k úloze A3

[2] Tabulky rentgenových spekter atomů

