

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM III

Úloha č. XIII

Název: **Vlastnosti rentgenového záření**

Pracoval: **Jan Polásek**

stud. skup. **11**

dne **5.3.2009**

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 .....

# 1 Pracovní úkol

1. Ze zadané hustoty krystalu fluoridu lithného určete vzdálenost  $d$  hlavních atomových rovin.
2. Proměřte úhlovou závislost intenzity difraktovaného rentgenového záření při pevné orientaci krystalu.
3. Proměřte spektrum rentgenového záření při konstantním anodovém napětí rentgenky  $U_a = 20\text{kV}$ .
4. Z mezní hodnoty energie spojitého spektra určete Planckovu konstantu, porovnejte s tabelovanou hodnotou. Určete vlnové délky čar  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$  (porovnejte s tabelovanými hodnotami), spočítejte jejich vlnočty a odpovídající energetické rozdíly vyjádřete v keV. Určete konstanty stínění.

# 2 Teoretická část

Pro vytvoření rentgenového záření se často používá tzv. rentgenová trubice (rentgenka). Ta se skládá z katody a anody umístěných ve vakuované skleněné baňce. Elektrony emitované z katody žhavené elektrickým proudem jsou urychlovány anodovým napětím  $U_a$  o velikosti obvykle několika desítek až stovek kV. V místě jejich dopadu na anodu vzniká rtg. záření.

Vznikající záření lze rozložit na dvě složky, které se liší způsobem vzniku i charakterem svého spektra: brzdné záření a záření charakteristické. Brzdné záření vzniká při brzdění dopadajících elektronů v elektrických polích atomových jader materiálu anody. Jeho spektrum je spojité. Jeho vlnová délka je ohraničena hodnotou  $\lambda_m$ , po které klesá ostře k nule. Tato hodnota odpovídá případu, kdy elektron předává celou svou energii  $eU_a$  vznikajícímu rtg. fotonu, takže pro odpovídající kmitočet  $f_m$  fotonu platí

$$hf_m = \frac{hc}{\lambda_m} = eU_a \quad (1)$$

kde  $c$  je rychlost světla a  $e$  elementární náboj.

Spektrum charakteristického záření je naproti tomu diskrétní - čárové. Závisí podstatně na materiálu anody - různým chemickým prvkům, z nichž se anoda skládá, odpovídají různé pro ně charakteristické systémy spektrálních čar. Toto záření vzniká, mají-li elektrony dopadající na anodu energii dostatečnou k vyražení některého z elektronů z nižších energetických hladin atomů látky. - elektron může být vyražen na některou vyšší neobsazenou hladinu, nebo - a to častěji - může atom zcela opustit (ionizace). Na uprázdněné místo po elektronu (díra) pak přeskakují elektrony z vyšších obsazených hladin atomu při současné emisi fotonu charakteristického záření. Čára v rtg. spektroskopii označovaná jako  $K_\alpha$  například odpovídá přeskoku z hladiny s hlavním kvantovým číslem  $n = 2$  na hladinu  $n = 1$ , další čára ze stejné série  $K_\beta$  přeskoku z hladiny  $n = 3$  na  $n = 1$  a pod. Podle Bohrovy teorie máme pro vlnočty  $\nu_{12}$  čáry odpovídající přeskoku mezi hladinami  $n = n_1$  a  $n = n_2$  vztah

$$\nu_{12} = R(Z - s)^2 \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad (2)$$

kde  $R$  je Rydbergova konstanta,  $Z$  atomové číslo prvku a  $s$  je korekční člen (tzv. stínící konstanta), který zahrnuje vliv náboje ostatních elektronů. Příslušné energetické rozdíly se dají vypočítat pomocí vztahu

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

Difrakce na krystalech podle teorie otce a syna Bragových vzniká díky odrazu od rovnoběžných ploch krystalu (viz. obrázek 2 v [2]). Tato nesprávná představa dává vzniknout správné podmínce pro interferenční maxima:

$$2d \sin \vartheta = k\lambda \quad (4)$$

kde  $d$  je vzdálenost ploch,  $k$  řád interference a  $\lambda$  vlnová délka. V našem případě měříme difrakci na krystalu LiF. Ze známé hustoty monokrystalu LiF s použitím atomových hmotností Li, F a Avogadrova čísla podle vztahu

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{LiF}}{2\rho}} \quad (5)$$

kde  $M_{LiF}$  je hmotnost molekuly krystalu LiF.

### 3 výsledky měření

Při měření bylo použito školní ho rtg. přístroje Phywe. Nejmenší dílek stupnice pro měření úhlu natočení krystalu a snímače na tomto přístroji je  $1^\circ$ , jakékoli přesnější hodnoty bylo nutno interpolovat. Po domluvě s vedoucím praktika jsem proto po půl stupni měřil pouze při měření úlohy č. 2 v okolí maxim daných spektrálními čarami  $K_\alpha$  a  $K_\beta$ . Chybu určení úhlu odhaduji na  $\pm 0,5^\circ$ . Záření bylo snímáno GM čítačem, který zaznamenával za 40s na něj dopadnuvší počet částic  $N$  přímo úměrný intenzitě záření. Anodové napětí rentgenky bylo po celé měření  $U_a = 20$  kV

Pro splnění úloh je třeba znát následující konstanty ( $\rho$  podle [1], ostatní [2]):

$$c = 299792458 \text{ ms}^{-1}$$

$$\rho = 2601 \text{ kgm}^{-3}$$

$$R = 10973731,57 \text{ m}^{-1}$$

$$h_{tab} = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$M_{LiF} = 43,07 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$Z = 29$$

Z těchto hodnot se dá podle (5) vypočítat vzdálenost  $d$  hlavních atomových rovin:

$$d = 0,2023 \text{ nm}$$

Měření druhé úlohy probíhalo při natočení krystalu  $\theta = 14^\circ$ . Výsledky tohoto měření jsou zaznamenány v tabulce 1 a graficky zpracovány v grafu 2. Hodnoty byly proloženy Gaussovskou funkcí, ze které se dá určit úhel  $\phi_m$ , při němž nastává maximum intenzity:

$$\phi_m = (27,9 \pm 0,5)^\circ$$

Při měření třetí úlohy byl úhel natočení snímače vždy roven dvojnásobku úhlu  $\theta$  natočení krystalu. Výsledky tohoto měření jsou zaneseny v tabulce 2 a graficky zpracovány v grafu 2. Hodnoty jsou proloženy kombinací nesymetrické dvojité sigmoidy a dvou gaussovských funkcí. Odtud se dá určit hodnota hodnota mezní vlnové délky  $\lambda_m$ , stejně jako vlnové délky  $\lambda_\alpha$  a  $\lambda_\beta$  odpovídající spektrálním čárám  $K_\alpha$  a  $K_\beta$ :

$$\lambda_m = (58 \pm 2) \text{ pm}$$

$$\lambda_\alpha = (156 \pm 2) \text{ pm}$$

$$\lambda_\beta = (141 \pm 2) \text{ pm}$$

Příslušné vlnočty jsou tedy

$$\nu_\alpha = (6,4 \pm 0,1) \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$$

$$\nu_\beta = (7,1 \pm 0,1) \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$$

Odtud se podle (1) dá určit hodnota planckovy konstanty:

$$h = (6,2 \pm 0,5) \text{ Js}$$

stejně jako podle (3) hodnoty energie příslušné přeskoku mezi hladinami

$$E_\alpha = (7,9 \pm 0,2) \text{ keV}$$

$$E_\beta = (8,8 \pm 0,2) \text{ keV}$$

a podle (2) hodnoty stínících konstant

$$s_\alpha = (1,1 \pm 0,4)$$

$$s_\beta = (2,0 \pm 0,4)$$

### 4 Diskuse

Jednoznačně největší chybu do měření vnášelo nepřesné určení úhlu natočení krystalu a snímače. Stupnice rozdělená na dílky po  $1^\circ$  je pro toto měření příliš hrubá a ručičky ukazatele na ní navíc přesně nedoléhají.

Jak je vidět z grafu 1, má intenzita svazku klasický gaussovský charakter. Maximum se v rámci chyby shoduje s hodnotou  $28^\circ$ , která odpovídá zákonu odrazu.

V grafu 2 je jasně patrná jak hodnota, od které směrem k nule zaniká brzdné záření, tak jsou zde patrné spektrální čáry  $K_\alpha$  a  $K_\beta$ . Jejich hodnoty se v rámci chyby shodují s hodnotami  $\lambda_{\alpha tab} = 154,0562$  pm a  $\lambda_{\beta tab} = 139,2218$  pm, které jsou k nalezení ve [2]. Tamé naměřená hodnota planckovy konstanty se s tou tabulkovou v rámci chyby shoduje.

## 5 závěr

1. Ze zadané hustoty krystalu fluoridu lithného jsem určil vzdálenost  $d$  hlavních atomových rovin.

$$d = 0,2023 \text{ nm}$$

2. Proměřil jsem úhlovou závislost intenzity difraktovaného rentgenového záření při pevné orientaci krystalu, výsledky zanesl do tabulky 1 a graficky znázornil do grafu 1.
3. Proměřil jsem spektrum rentgenového záření při konstantním anodovém napětí rentgenky  $U_a = 20\text{kV}$ , výsledky zanesl do tabulky 2 a graficky znázornil do grafu 2.
4. Z mezní hodnoty energie spojitého spektra jsem určil Planckovu konstantu

$$h = (6,2 \pm 0,5) \text{ Js}$$

Určil jsem vlnové délky čar  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$

$$\lambda_\alpha = (156 \pm 2) \text{ pm}$$

$$\lambda_\beta = (141 \pm 2) \text{ pm}$$

spočetl jsem jejich vlnočty a odpovídající energetické rozdíly

$$\nu_\alpha = (6,4 \pm 0,1) \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$$

$$\nu_\beta = (7,1 \pm 0,1) \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$$

$$E_\alpha = (7,9 \pm 0,2) \text{ keV}$$

$$E_\beta = (8,8 \pm 0,2) \text{ keV}$$

Spočetl jsem stínící konstanty

$$s_\alpha = (1,1 \pm 0,4)$$

$$s_\beta = (2,0 \pm 0,4)$$

## 6 Literatura

- [1] <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>, studijní text a pokyny k měření k úloze 13
- [2] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha, 1980
- [3] J. English, Zpracování výsledků fyzikálních měření, web, Praha, 2000

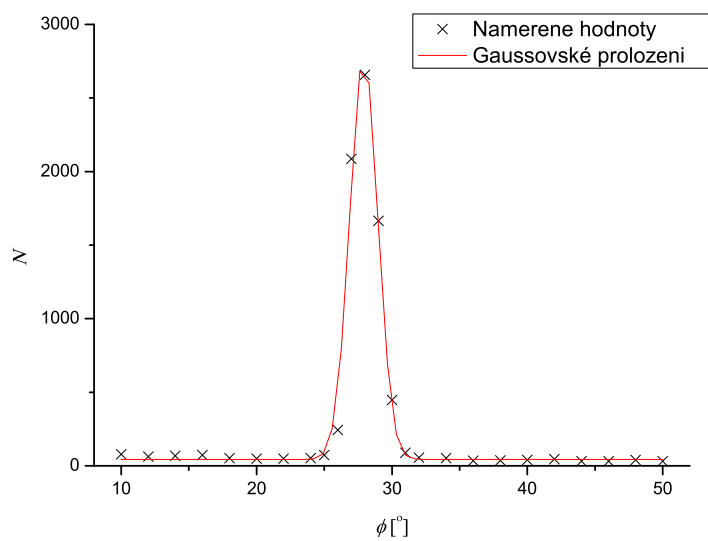
Tabulka 1: Závislost intenzity na natočení detektoru

$\phi$ [°]	10	12	14	16	18
$N$	79	63	68	73	53
$\phi$ [°]	20	22	24	25	26
$N$	48	49	53	73	244
$\phi$ [°]	27	28	29	30	31
$N$	2287	2657	1566	447	88
$\phi$ [°]	32	34	36	38	40
$N$	55	52	34	37	40
$\phi$ [°]	42	44	46	48	50
$N$	45	32	31	40	31

Tabulka 2: Spektrum rentgenového záření

$\theta$ [°]	$\lambda$ [nm]	$N$
5,0	0,035	88
6,0	0,042	84
7,0	0,049	82
8,0	0,056	85
9,0	0,063	1033
10,0	0,070	2476
11,0	0,077	3056
12,0	0,084	3106
13,0	0,091	2975
14,0	0,098	2501
15,0	0,105	2112
16,0	0,112	1677
17,0	0,118	1479
18,0	0,125	1343
19,0	0,132	1238
19,5	0,135	1013
20,0	0,138	2213
20,5	0,142	7939
21,0	0,145	1319
22,0	0,152	1056
22,5	0,155	13360
23,0	0,158	12836
23,5	0,161	639
24,0	0,165	575
25,0	0,171	440
26,0	0,177	358
27,0	0,184	313
28,0	0,190	278
29,0	0,196	223
30,0	0,202	200

Graf 1: Závislost intenzity na natočení detektoru



Graf 2: Spektrum rentgenového záření

