

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM III

Úloha č.: XIII

Název: Charakteristika rentgenového záření

Vypracovala: ..... stud. sk. 73..... dne: 11/2004.....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: .....

Posuzoval: ..... dne ..... výsledek klasifikace .....

Připomínky:

## I. Pracovní úkol

- I. Ze zadané hustoty krystalu fluoridu lithného určete vzdálenost  $d$  hlavních atomových rovin.
- II. Proměřte úhlovou závislost intenzity difraktovaného rentgenového záření při pevné orientaci krystalu.
- III. Proměřte spektrum rentgenového záření při konstantním anodovém napětí rentgenky  $U_a = 20kV$ .
- IV. Z mezní hodnoty energie spojitého spektra určete Planckovu konstantu. Určete vlnové délky čar  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$ , jejich vlnočty a odpovídající energetické rozdíly vyjádřete v  $keV$ . Určete konstanty stínění.

## II. Teorie

Rentgenové záření vzniká v rentgence, což je vakuová baňka, ve které jsou umístěny dvě elektrody, katoda a anoda. Rentgenová záření má dvě složky, brzdné záření a charakteristické záření.

Brzdné záření vzniká při brzdění dopadajících elektronů v elektrickém poli atomových jader materiálu anody. Brzdné záření má spojité spektrum. S klesající vlnovou délkou  $\lambda$  klesá intenzita spektra ostře k nule a od jisté mezní hodnoty  $\lambda_m$  je nulová. Platí:

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

$h$  ..... Plankova konstanta

$c$  ..... rychlost světla

$e$  ..... elementární náboj

$U_a$  ..... anodové napětí

Charakteristické záření má diskrétní charakter. Vzniká při přechodu elektronů na nižší hladiny v atomech materiálu anody. Podle Bohrovy teorie platí pro frekvenci fotonu, který přeskakuje mezi hladinami  $i$  a  $j$  vztah:

$$\nu_{ij} = R(Z-s)^2 \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_j^2} \right) \quad (2)$$

$R$  ..... Rydbergova konstanta

$Z$  ..... atomové číslo prvku

$s$  ..... konstanta stínění příslušná většímu termu

Čáry  $K_\alpha$  a  $K_\beta$  představují přechody mezi hladinami:  $K_\alpha$  je přechod z hladiny  $n_2$  na  $n_1$  a  $K_\beta$  je přechod z hladiny  $n_3$  na  $n_1$ .

Spektrum rentgenového záření můžeme zkoumat pomocí difrakce na krystalu. Difraktovaný paprsek vzniká odrazem od určité soustavy rovnoběžných rovin, v nichž jsou atomy v krystalu uspořádány. Dopadající i difraktovaný paprsek svírají s atomovými rovinami stejný úhel  $\vartheta$ , jak odpovídá zákonu odrazu. K pozitivní interferenci difraktovaného paprsku s paprsky odraženými od ostatních atomových rovin dochází, pokud je splněna Braggova podmínka:

$$2d \sin \vartheta = k\lambda \quad (3)$$

$k$  ..... řád interference  
 $\lambda$  ..... vlnová délka  
 $\vartheta$  ..... úhel dopadu měřený od roviny krystalu  
 $d$  ..... vzdálenost atomových rovin

V našem případě jsme zkoumali interferenci rentgenového záření na krystalu  $LiF$ . Tento krystal tvoří kubickou plošně centrovanou mřížku.

Na jednotku objemu připadá látkové množství  $n = \frac{\rho}{M_{Li} + M_F}$ , což je  $N = nN_a$  částic. Na hraně krychle bude tedy  $\sqrt[3]{2N}$ . Odtud vzdálenost mezi atomy je  $d = \frac{1}{\sqrt[3]{2N}}$ , kde  $M_{Li}$  je atomová hmotnost lithia a  $M_F$  je atomová hmotnost fluoru,  $\rho$  je hustota krystalu a  $N_a$  je Avogadrova konstanta.

Měření jsme prováděli na školním rentgenovém přístroji Phywe. Difraktované záření vystupující z krystalu jsme detekovali Greiger-Müllerovým počítačem. Rentgenka měla anodu z mědi. Anodové napětí jsme zjišťovali z proudu protékajícím mikroampérmetrem. Ten byl zapojen na svorky přístroje. Využívali jsme dělič napětí složený z přesných odporů  $100M\Omega$  a  $100k\Omega$ . Vnitřní odpor ampérmetru zanedbáme a anodové napětí vypočítáme z Ohmova zákona.

## III. Výsledky měření

### A. Určení vzdálenosti hlavních atomových rovin

Hustota  $LiF$   $\rho = 2601 \text{ kg/m}^3$

Atomová hmotnost  $Li$   $M_{Li} = 6,941 \text{ g/mol}$

Atomová hmotnost  $F$   $M_F = 18,998403 \text{ g/mol}$

Avogadrova konstanta  $N_a = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Vypočítaná vzdálenost hlavních atomových rovin krystalu  $LiF$   $d = 2,023 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Proud protékající mikroampérmetrem  $I = (0,200 \pm 0,009) \text{ mA}$

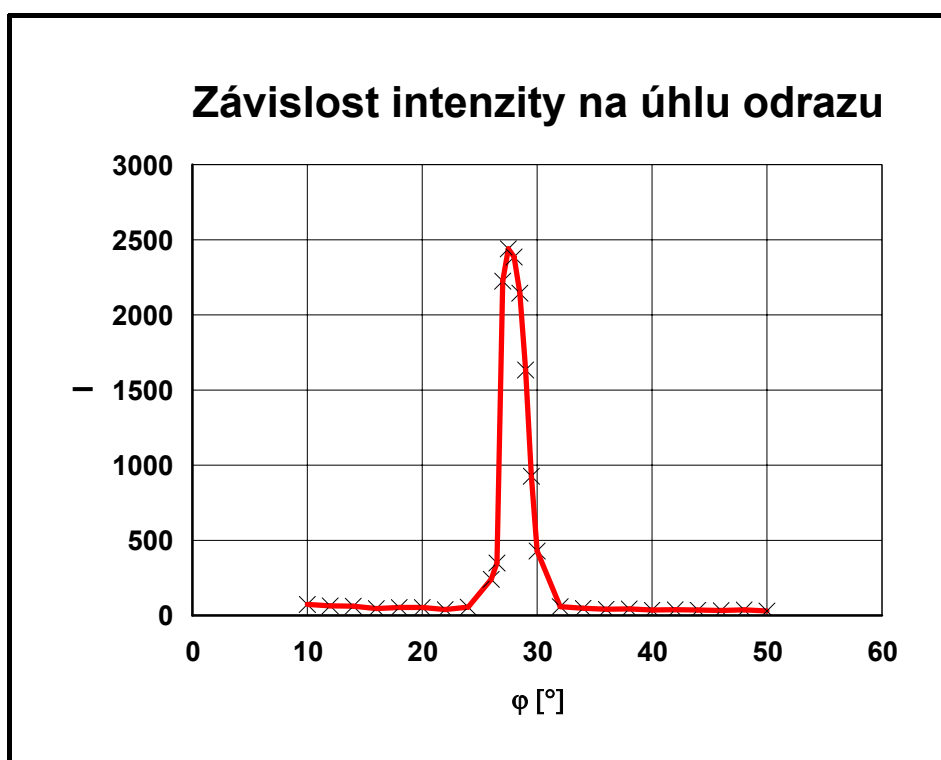
Anodové napětí  $U_a = (20,0 \pm 0,9) \text{ keV}$

## **B. Měření intenzity difragovaného záření při stálé orientaci krystalu**

Natoční krystalu  $\vartheta = 14^\circ$

tab. 1 – závislost intenzity na úhlu odrazu

$\varphi [^\circ]$	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5
I	74	64	62	46	54	54	40	56	241	350	2225	2440	2386	2145
$\varphi [^\circ]$	29,0	29,5	30,0	32,0	34,0	36,0	38,0	40,0	42,0	44,0	46,0	48,0	50,0	
I	1634	927	430	59	48	42	44	37	39	37	34	38	30	



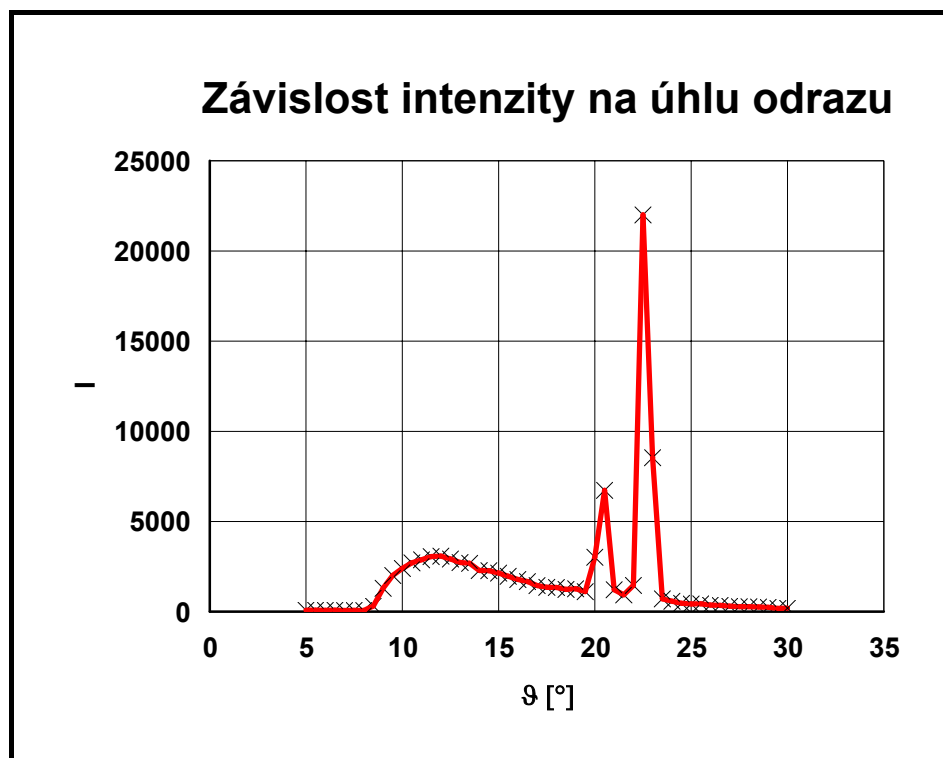
graf 1

Mezní chyba úhlu je odhadnuta na  $0,5^\circ$ .

### C. Spektrum rentgenového záření při konstantním anodovém napětí

tab. 2 – závislost intenzity na úhlu  $\vartheta$

$\vartheta [^\circ]$	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0
I	87	88	77	88	69	75	68	313	1299	2014	2400	2711	2878
$\lambda$ [pm]	35	39	42	46	49	53	56	60	63	67	70	74	77
$\vartheta [^\circ]$	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5
I	3057	3088	2920	2729	2686	2281	2280	2147	1964	1784	1676	1455	1356
$\lambda$ [pm]	81	84	88	91	94	98	101	105	108	112	115	118	122
$\vartheta [^\circ]$	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0
I	1343	1242	1275	1114	3023	6729	1220	938	1463	22002	8539	710	577
$\lambda$ [pm]	125	128	132	135	138	142	145	148	152	155	158	161	165
$\vartheta [^\circ]$	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	
I	469	434	437	372	350	310	280	281	263	241	186	203	
$\lambda$ [pm]	168	171	174	177	181	184	187	190	193	196	199	202	



graf 2

Z grafu 2 a ze vzorce (3) určíme hodnotu  $\lambda_m = (0,061 \pm 0,003) \text{ nm}$ .

Určili jsme Planckovu konstantu  $h = (6,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Dále jsme určili  $K_\alpha$  a  $K_\beta$ :

$$K_\alpha = (0,155 \pm 0,003) \text{ nm},$$

$$K_\beta = (0,142 \pm 0,003) \text{ nm},$$

odpovídající vlnočty jsou:

$$\nu_\alpha = (6,5 \pm 0,1) \cdot 10^9 \text{ m},$$

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

odpovídající energie jsou:

$$E_\alpha = (8,1 \pm 0,2) \text{ keV},$$

$$E_\beta = (8,7 \pm 0,2) \text{ keV}.$$

Stínění vychází:

$$s_\alpha = (0,90 \pm 0,05),$$

$$s_\beta = (2,2 \pm 0,1).$$

## IV. Diskuse

Vzdálenost hlavních atomových rovin nám vyšla  $d = 2,023 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ . Za největší chybu měření odpovídá měření úhlu  $\vartheta$  a  $\varphi$ , protože jsme mohli odečítat na stupnici jen po stupních, ale orientačně nám vychází vše podle předpokladů. Při proměřování závislosti intenzity při konstantním úhlu natočení krystalu ( $\vartheta = 14^\circ$ ) nám maximum vyšlo při  $\varphi = 27,5^\circ$ , což odpovídá předpokladu. Pro měření spektra rentgenového záření jsme dostali závislost, která odpovídá očekávaným hodnotám. Určili jsme mezní vlnovou délku brzdného záření  $\lambda_m = (0,061 \pm 0,003) \text{ nm}$ , z ní jsme vypočítali hodnotu Planckovy konstanty, která nám vyšla  $h = (6,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ , což je ve shodě s tabelovanou hodnotou. Hodnoty vlnových délek charakteristického záření jsou  $K_\alpha = (0,155 \pm 0,003) \text{ nm}$  a  $K_\beta = (0,142 \pm 0,003) \text{ nm}$ , odpovídající vlnočty jsou  $\nu_\alpha = (6,5 \pm 0,1) \cdot 10^9 \text{ m}$  a  $\nu_\beta = (7,0 \pm 0,1) \cdot 10^9 \text{ m}$ , odpovídající energie jsou  $E_\alpha = (8,1 \pm 0,2) \text{ keV}$  a  $E_\beta = (8,7 \pm 0,2) \text{ keV}$ . Stínění nám vyšlo  $s_\alpha = (0,90 \pm 0,05)$  a  $s_\beta = (2,2 \pm 0,1)$ .

## V. Závěr

Vypočítaná vzdálenost hlavních atomových rovin krystalu  $LiF$ :  $d = 2,023 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Mezní vlnová délka brzdného záření:  $\lambda_m = (0,061 \pm 0,003) \text{ nm}$ .

Planckova konstanta  $h = (6,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Tabelovaná hodnota Planckovy konstanty:  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

$K_\alpha = (0,155 \pm 0,003) \text{ nm}$

Tabelovaná hodnota:  $K_\alpha = 0,1540562 \text{ nm}$

$K_\beta = (0,142 \pm 0,003) \text{ nm}$

Tabelovaná hodnota:  $K_\beta = 0,1392218 \text{ nm}$

$\nu_\alpha = (6,5 \pm 0,1) \cdot 10^9 \text{ m}$

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

$E_\alpha = (8,1 \pm 0,2) \text{ keV}$

$E_\beta = (8,7 \pm 0,2) \text{ keV}$

$s_\alpha = (0,90 \pm 0,05),$

$s_\beta = (2,2 \pm 0,1).$

## VI. Použitá literatura

Fyzikální praktikum III – texty z internetu