

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK		
<b>PRAKTIKUM III</b>		
Úloha č.: 13		
Název: Vlastnosti rentgenového záření		
Vypracoval: Vít MAREK	stud. sk. F12	dne 19.3.2001
Odevzdal dne: ..... vráceno: .....		
Odevzdal dne: ..... vráceno: .....		
Odevzdal dne: .....		
Posuzoval: ..... dne ..... výsledek klasifikace .....		
Připomínky:		

### 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. Určete vlnové délky čar  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$ , jejich vlnočty a odpovídající energetické rozdíly vyjádřete v keV. Určete konstanty stínění.

Teorie:

Z geometrie (viz. obr. 1) lze odvodit vzdálenost  $d$  atomů v LiF:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_r}{2\rho N_A}}$$

(1) kde  $M_r$  je molekulová hmotnost,  $\rho$  hustota látky,  $N_A$  Avogadrova konstanta

Brzdné záření má spojité spektrum. Na krátkovlnné straně klesá intenzita spektra ostře k nule a od jisté vlnové délky  $\lambda_m$  směrem ke kratším vlnovým délkám je nulová. Tato mezní hodnota  $\lambda_m$  odpovídá případu, kdy elektron předá celou svou energii  $eU_a$  vznikajícímu fotonu:

$$h f_m = \frac{hc}{\lambda_m} = eU_a$$

(2) kde  $h$  je Planckova konstanta,  $f_m$  kmitočet fotonu,  $c$

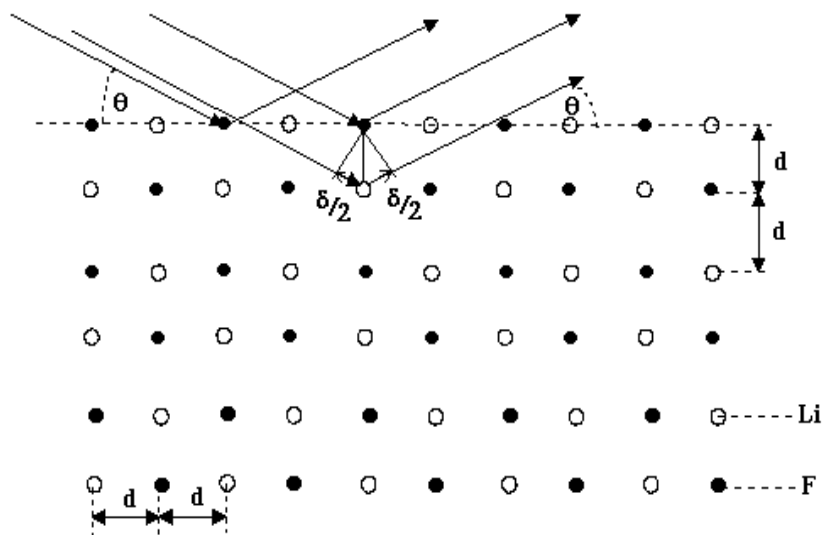
rychlost

světla

Pro vlnové čáry odpovídající přeskoku mezi hladinami  $n=n_1$  a  $n=n_2$  je vztah:

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

(3) kde  $R$  je Rydbergova konstanta,  $Z$  atomové číslo prvku,  $s$  stínící konstanta



Obr. 1

Při difrakci spolu paprsky interferují. Maxima jsou pak ve směrech splňující Braggovu podmínku:

$$2d \sin \vartheta = k\lambda$$

(4) kde  $d$  vzdálenost atomových rovin,  $\vartheta$  úhel dopadu (viz. obr. 1),

$k$  řád interference,  $\lambda$  vlnová délka záření

Vlnový počet je definován:

$$v = \frac{1}{\lambda}$$

(5) kde  $\lambda$  je vlnová délka

Podrobněji viz. [1].

### Výsledky měření:

1, Dosazením tabulkových hodnot do *vztahu* (1) jsem určil vzdálenost atomových rovin krystalu LiF:

$$M_r(\text{LiF}) = 25,94 \cdot 10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1} \quad [2] \text{ str. 23-24}; \quad N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad [2] \text{ str. 21}$$

$$\rho(\text{LiF}) = 2601 \text{ kg.m}^{-3} \quad [2] \text{ str. 28}$$

Vypočtená vzdálenost atomových rovin je  $d = 2,023 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ .

2, Krystal LiF jsem natočil tak, aby záření dopadalo na jeho povrch pod úhlem  $14^\circ$ . Pak jsem proměřil intenzitu difraktovaného rentgenového záření v závislosti na úhlu vůči povrchu krystalu od  $-4^\circ$  do  $36^\circ$ . Měření jsem prováděl po dobu 40 s. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v *tabulce 1*. Chybu počtu detekovaných částic jsem odhadl na 5%. Závislost intenzity na směru difraktovaného záření je zakreslena v *grafu 1*. Intenzita záření je přímo úměrná počtu detekovaných částic.

3, Spektrum jsem proměřoval při zachování podmínek odrazu v rozmezí úhlu dopadu záření od  $5^\circ$  do  $30^\circ$  s krokem  $0,5^\circ$  při anodovém napětí rentgenky  $U_a = (21,0 \pm 0,9) \text{ kV}$ . Naměřené hodnoty jsou uvedeny v *tabulce 2*. Příslušnou vlnovou délku jsem určil ze *vztahu* (4). Závislost intenzity rentgenova záření na vlnové délce je zakreslena v *grafu 2*.

4, Pro přesnější určení mezní hodnoty vlnové délky jsem zakreslil data z okolí úhlu  $8^\circ$  do *grafu 3* a závislost proložil křivkou. Pak jsem z *grafu 3* odečetl hodnotu  $\lambda_m$  a dosadil do *vztahu* (2). Získal jsem tak hodnotu Planckovy konstanty:

$$h = (6,56 \pm 0,32) \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Z *grafu 2* jsem určil příslušné čáry  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$  a z odpovídajících úhlů jsem určil dosazením do *vztahu* (4) vlnové délky čar a jejich vlnočty a energie:

$$\begin{array}{lll} \lambda_{K_\alpha} = (155 \pm 1) \text{ pm} & \nu_{K_\alpha} = (646 \pm 5) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} & E_{K_\alpha} = (8,01 \pm 0,07) \text{ keV} \\ \lambda_{K_\beta} = (140 \pm 1) \text{ pm} & \nu_{K_\beta} = (712 \pm 7) \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} & E_{K_\beta} = (8,03 \pm 0,08) \text{ keV} \end{array}$$

Dosazením těchto hodnot do *vztahu* (3) jsem určil příslušné konstanty stínění. Rydbergovu konstantu jsem použil z [2] str. 22:

$$R_\infty = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$s_{K_\alpha} = (1,0 \pm 0,1)$$

$$s_{K_\beta} = (2,0 \pm 0,1)$$

### Diskuse:

Porovnáním vypočtené hodnoty vzdálenosti atomových rovin  $d$  s tabulkovou hodnotou ( $d = 2,009 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  viz. [2] str. 102) jsem zjistil, že se tyto hodnoty liší asi o 1%. To může být způsobeno nereálností ideálního krystalu.

V *grafu 1* neodpovídá maximum intenzity  $14^\circ$ , ale je mírně vychýleno. To může být způsobeno nepřesným uchycením vzorku nebo chybou proměřování po  $0,5^\circ$  (krok by mohl být menší).

Průběh spektra rtg. záření vyšel podle očekávání. Nenulové hodnoty do úhlu  $\theta$  jsou šum. Hodnota vypočtené Planckovy konstanty se v rámci chyby shoduje s tabulkovou hodnotou ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Js). Také hodnoty vlnových délek čar  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$  odpovídají v rámci tabulkových hodnot pro měď ( $\lambda_{K\alpha} = 154 \text{ pm}$ ,  $\lambda_{K\beta} = 139 \text{ pm}$ ).

Vlnová délka závisí podle vztahu (4) na  $\sin \vartheta$ , ale její chyba je úměrná  $\cos \vartheta$  \* (chyba  $\vartheta$ ). Protože se však úhel mění v rozmezí  $5^\circ - 30^\circ$ , tak je  $\cos \vartheta$  blízký jedničce. Chyba  $\lambda$  se tak mění v rozmezí  $1,2 (30^\circ) - 1,4 \text{ pm} (5^\circ)$ . A tento rozdíl nejde skutečně z grafu 2 poznat.

### **Závěr:**

- 1, Vzdálenost hlavních atomových rovin LiF je  $d = 2,023 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ .
- 2, Úhlová závislost intenzity difraktovaného rentgenového záření při pevné orientaci krystalu je zakreslena v grafu 1.
- 3, Spektrum rentgenového záření při konstantním anodovém napětí rentgenky je zakresleno v grafu 2.
- 4, Naměřená hodnota Planckovy konstanty je  $h = (6,56 \pm 0,32) \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$   
Vlnové délky čar  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$ , jejich vlnočty, odpovídající energetické rozdíly a konstanty stínění jsou uvedeny v bodě 4.

### **Použitá literatura:**

- [1] <http://www.mff.cuni.cz/iso/study/xbk/zfp/home.htm> L III, Úloha 13  
 [2] Fyzikální a matematické tabulky J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch SNTL Praha 1980