

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI ČVUT V PRAZE

Datum měření: 4.3.2011	Jméno: Jakub Kákona
Pracovní skupina: 4	Ročník a kroužek: Pa 9:30
Spolupracovníci: Jana Navrátilová	Hodnocení:

Úloha 5: Studium rentgenových spekter Mo a Cu anody

Abstrakt

1 Úvod

1.1 Zadání

1. V domácí přípravě vytvořte graf závislosti energie a vlnové délky záření na úhlu rozptylu na krystalu LiF. Vycházejte z tabulkových hodnot h a c , mřížkovou konstantu krystalu berte jako $d = 201\text{pm}$. Položte $n = 1^1$.
2. Pomocí ručního ovládání rentgenové aparatury PHYWE změřte spektrum rentgenového záření měděné nebo molybdenové anody při napětí 35 kV. Volte skoky poloh G.-M. počítače po 1 stupni (otáčení krystalu spřažené s goniometrem), proud 0.8 – 1.0 mA. Počet fotonů zaznamenaných G.-M. počítačem v závislosti na energii nebo vlnové délce vynesete do grafu.
3. Pomocí softwarového ovládání a odečítání dat změřte spektra měděné a molybdenové anody pro urychlovací napětí 15 kV, 19 kV, 22 kV a 30 kV. Volte skoky poloh G.-M. počítače po 0.25° nebo jemněji, nastavte nejvyšší možný proud. Označte maxima charakteristického záření pro oba materiály, spočítejte jejich energii a srovnajte je s tabulkovými hodnotami. Měření pro všechna napětí na dané anodě vynášejte do jednoho² grafu v závislosti na energii nebo vlnové délce.
4. Za použití dříve naměřených spekter určete přibližně hodnotu Planckovy konstanty. Z Braggovy rovnice plyne

$$\sin \vartheta = \frac{hc}{2dE} \quad (1)$$

kde E je energie dopadajícího záření. Protože víte, jaká je maximální energie, kterou je ve spektru možné nalézt ($E_{max} = eU$), a můžete určit úhel, na kterém spektrum končí, lze hodnotu h dopočítat, znáte-li velikosti ostatních konstant. Budete postupovat následovně. Výše uvedenou rovnici lze upravit na tvar

$$\sin \vartheta = \frac{hc}{2deU} \quad (2)$$

¹Pro pozorování maxim vyšších řádů než $n = 2$ by bylo třeba vzít krystal s menší mřížkovou konstantou, např. KBr.

²Tj. získáte dva grafy - jeden pro molybdenovou a druhý pro měděnou anodu.

kde U je urychlovací napětí. Vynesete-li do grafu hodnoty $\sin \vartheta$ v závislosti na $1/U$, získáte body, které by teoreticky měly ležet na přímce. Proložíte-li vnesené hodnoty přímkou, pak z její směrnice

$$\sin \vartheta = a \cdot \frac{1}{U} \quad a = \frac{hc}{2de} \quad (3)$$

dopočítáte hodnotu Planckovy konstanty jako

$$h = a \frac{2de}{c} \quad (4)$$

Nalezenou konstantu h srovnejte s tabulkovou hodnotou.

2 Experimentální uspořádání a metody

2.1 Pomůcky

35 kV rentgen PHYWE s vyměnitelnou anodou, PC.

2.2 Teoretický úvod

Rozlišujeme dva typy vzniku rentgenového záření brzdné a charakteristické. Princip brzdného je založen na rychle letících elektronech, které při interakci s elektrickými poli atomů terče vyzařují svou energii ve formě elektromagnetického záření. Toto záření je spojité protože zpomalující elektron může vyzařit jakoukoliv hodnotu energie avšak maximálně eU , kde U je urychlovací napětí, jeho spektrum je spojité a široké. Na rozdíl charakteristické záření se vytváří, pomocí rychle letící elektronů, které vyzařují z anody určitého prvku elektrony v nižších hladinách. U těch pak dochází k přechodu elektronů z vyšších slupek na ty nižší, prázdné a vyzařují tedy diskrétní spektrum záření, tedy alespoň v ideálním případě. Reálně atomy na svých hladinách lehce zakmitávají a my můžeme pozorovat špičky (peaky).

Braggova rovnice popisuje rozptyl rentgenového záření na krystalu. Matematickou podmínku pak můžeme jednoduše zapsat rovnicí

$$n\lambda = 2d \sin \vartheta. \quad (5)$$

Pro elektromagnetické vlny platí vztah

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (6)$$

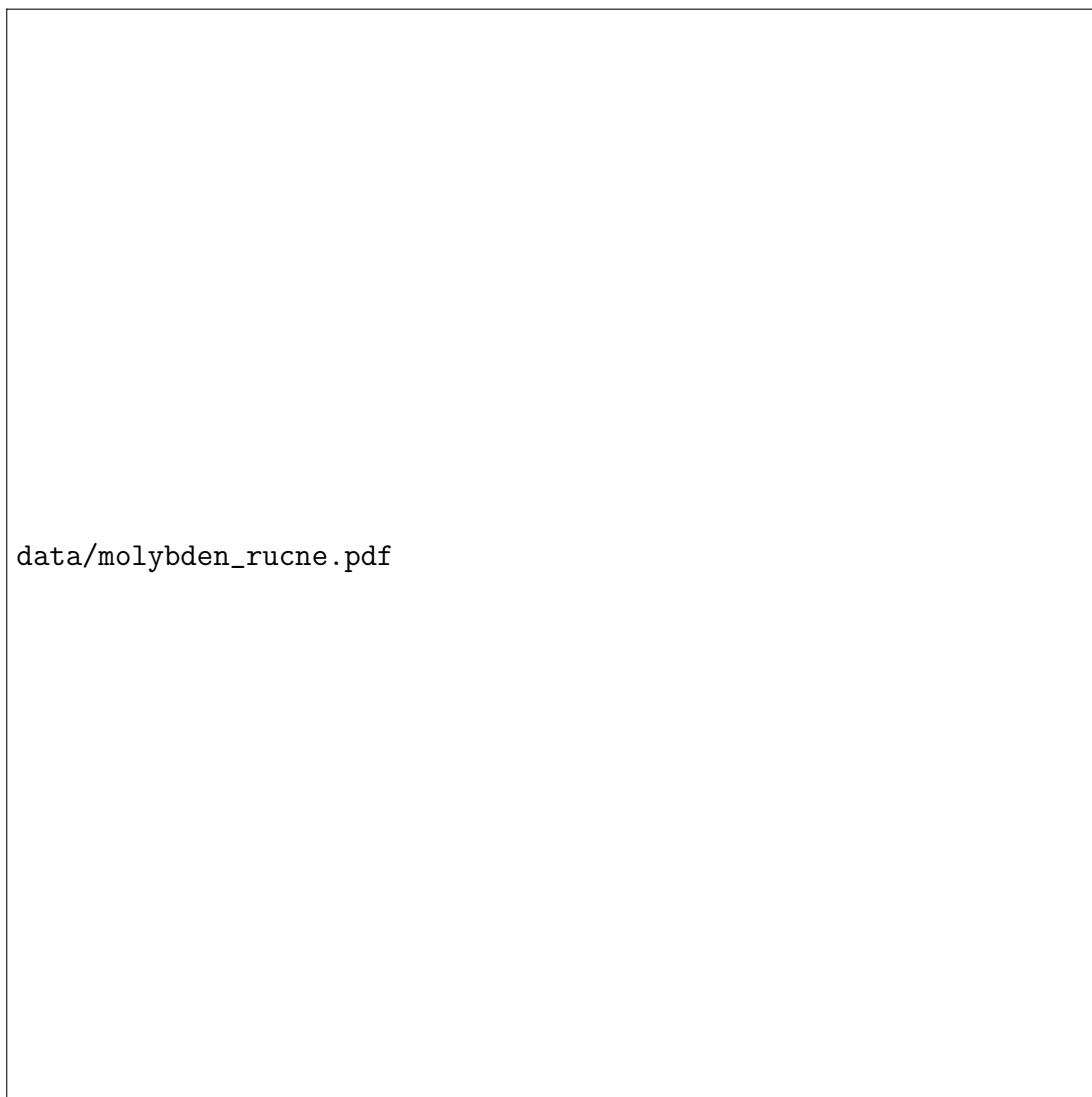
z těchto dvou předešlých vztahů dosazením jednoho do druhého a dosazením $n = 1$, lze odvodit vztah 1.

3 Výsledky a postup měření

3.1 Měření spektra rentgenového záření molybdenové anody pomocí ručního ovládání

Zapnuly jsme přístroj rentgen PHYWE a dle návodu se seznámili s ovládacím panelem. Následně jsme dle bodu zadání 2 začali měřit rentgenové spektrum molybdenové anody, jelikož byla právě

v přístroji. Nastavili jsme tedy urychlovací napětí 35kV, žhavicí proud katody 1mA a bránu (gate) na 10s. Začali jsme proměřovat spektrum anody od 3° až po 52° s krokem 1°. Ovšem při zjištění špičky (peaku), jsme radikálně zjemnili většinou na 0.2°. Takto naměřenou charakteristiku jsme uvedli na obrázku 1.



Obrázek 1: Závislost zaznamenaných fotonů za 1s na vlnové délce, ruční měření anody Mo.

3.2 Měření spektra rentgenového záření molybdenové a měděné anody pomocí počítačového řízení

Zapnuli jsme počítač a software pro automatické měření. Nastavili jsme parametry měření, žhavicí proud katody 1mA, počáteční úhle 2°, krok 0.2°, konečný úhel 60°, bránu (gate) 1s a provedli jsme čtyři měření pro urychlovací napětí anody 15, 19, 22, 30kV. Až jsme měli vše změřeno zaměnili jsme molybdenovou anodu za měděnou a celé měření jsme zopakovali. Naměřené grafy jsou na obrázcích 2, 3. Z naměřených hodnot jsme pro oba materiály vybraly charakteristické špičky (peaky) a přiřadili jim tabulkové hodnoty (určili jsme přechod) podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 1, 2. Dále jsme pro tyto špičky určili $\sin\theta$, které jsme v závislosti na $1/U$ vynesli do grafu a proložili, obrázek 4. Z fitu jsme určili hodnoty Planckovy konstanty $h_{Mo} = (4.8 \pm 0.4)10^{-34} Js$, $h_{Cu} = (4.9 \pm 0.3)10^{-34} Js$.

$Peak[^\circ]$	$E_M[keV]$	Řád	Přechod	$E_{TAB}[keV]$	$\delta_E[\%]$
8.4	21.129	1	$k\beta_1$	19.608	7.76
18.8	19.156	2	$k\beta_1$	19.608	2.31
30.0	18.520	3	$k\alpha_1 + k\alpha_2$	17.429	6.26
44.4	17.646	4	$k\alpha_1 + k\alpha_2$	17.429	1.25


Tabulka 1: Charakteristické špičky molybdenové anody, naměřené i tabulkové hodnoty.

$Peak[^\circ]$	$E_M[keV]$	Řád	Přechod	$E_{TAB}[keV]$	$\delta_E[\%]$
18.0	9.989	1	$k\beta_1$	8.905	12.17
20.4	8.855	1	$k\alpha_1 + k\alpha_2$	8.037	10.18
41.6	9.298	2	$k\beta_1$	8.905	4.41
47.8	8.333	2	$k\alpha_1 + k\alpha_2$	8.037	3.69

Tabulka 2: Charakteristické špičky měděné anody, naměřené i tabulkové hodnoty.




Obrázek 2: Závislost zaznamenaných fotonů za 1s na vlnové délce, PC měření anody Mo.




data/cu_data.pdf

Obrázek 3: Závislost zaznamenaných fotonů za 1s na vlnové délce, PC měření anody Cu.



data/dominik/mo.png



data/dominik/cu.png

Obrázek 4: Proložení závislosti $\sin\theta$ na $1/U$ (vlevo: Mo anoda; vpravo: Cu anoda).

4 Diskuse

- V domácí přípravě jsem vytvořili grafy daných závislostí a uvedli jsme je v příloze, jako obrázky 5,6.
- Pomocí ručního ovládání rentgenové aparatury jsem změřili spektrum rentgenového záření molybdenové anody. Naměřenou závislost jsme vynesli do grafu obrázek 1.
- Rentgenovou aparaturou a softwarovou nástavbou jsme změřili spektra měděné a molybdenové anody pro urychlovací napětí 15, 19, 22, 30kV. Grafy jsou uvedeny na obrázcích 2, 3. Označili jsme maxima a určili jejich energii, té jsme pak přiřazovali tabulkové hodnoty, podrobnosti v tabulce 1, 2. Podíváme-li se do tabulek zjistíme, že relativní chyba je dosti vysoká, přesněji se jedná převážně o systematickou chybu. Tedy hodnoty nám vycházeli řádově o 9% vyšší než tabulkové, s nižšími energiemi tento faktor mizel. Je možné, že samotný přístroj není zcela zkalibrovaný a odchylky se projevují nejvíce právě v té části, kde je úhel velmi malý, tedy funkce sinus se má dramatictější růst.
- Z fitu, obrázek 4, jsme určili hodnotu Planckovy konstanty $h_{Mo} = (4.8 \pm 0.4)10^{-34} Js$, $h_{Cu} = (4.9 \pm 0.3)10^{-34} Js$, která se liší od tabulkové hodnoty $h = (6.626)10^{-34} Js$ o 26%. Tento výsledek je nevalný a dal se předpovídat již z nepřesnosti naměřených maxim (peaků).

5 Závěr

Pomocí aparatury rentgen PHYWE, jsme změřili charakteristické spektrum rentgenového záření molybdenové a měděné anody. Z naměřených hodnot jsme určili maxima a pomocí fitu zjistili hodnoty Planckovy konstanty $h_{Mo} = (4.8 \pm 0.4)10^{-34} Js$, $h_{Cu} = (4.9 \pm 0.3)10^{-34} Js$, která se liší od tabulkové hodnoty $h = (6.626)10^{-34} Js$ o 26%.

Reference

- [1] Z. Johan, R. Rotter, E. Slánský: "Analýza látek rentgenovými paprsky", SNTL 1970
- [2] R. Faukner: "Moderní fyzika", knihtiskárna Svoboda v Praze 1947
- [3] Ch. Kittel: "Úvod do fyziky pevných látek", Academia 1985
- [4] kol. autorů: "Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz", nakladatelství Prometheus 2001
- [5] kol. autorů: "X-ray data booklet", Lawrence Berkeley National Laboratory University of California January 2001
- [6] Particle Data Group: "Particle Physics Booklet", AIP July 1994
- [7] <<http://ojs.ujf.cas.cz/wagner/>>