

# 1 – Studium emisního a absorpčního rtg spektra

## Teorie

Rentgenové záření je buzeno, pokud na antikatodu dopadají elektrony, které jsou urychlovány elektrickým polem. Spektrum tohoto záření je jednak spojité a jednak čarové. Spojité spektrum je způsobeno brzděným elektronem. Existuje tzv. minimální vlnová délka  $\lambda_{\min}$ , jelikož energie vyzařovaného fotonu nemůže být větší než celková energie elektronu. Vzhledem k tomu, že urychlení elektronu je realizováno napětím  $U$ , lze minimální vlnovou délku, tedy tzv. hranu spojité části rtg spektra vyjádřit následujícím vztahem

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}. \quad (1)$$

Jak již bylo výše zmíněno, kromě kontinua se zde vyskytuje i čarové. Nazýváme je také charakteristickým zářením, neboť je jedinečné pro každý prvek. Toto spektrum vzniká v hlubokých slupkách atomu. Rtg záření z této slupky vyrazí elektron a na jeho místo sestoupí elektron ze slupky vyšší. S tímto principem koresponduje i pojmenování čar, velké písmeno zde značí hladinu, na kterou elektron přechází a řeské písmeno značí, z které hladiny sem elektron doputuje. Kupříkladu hladina  $K_\alpha$  značí, že elektron přechází z L-té hladiny na hladinu K-tou (přechod o jedna).

U rtg záření můžeme pozorovat i absorpční hrany, které vznikají při dopadu tohoto záření na nějaký materiál. Stejně jako čáry v čarovém spektru jsou i hrany charakteristické pro jednotlivé prvky. Hranou je vlnová délka, při které má foton dostatečnou energii, aby ionizoval slupky uložené hlouběji. Vzhledem k charakteristice čarového i absorpčního rtg spektra je možné takovou metodu provést pro analýzu vzorku. Z charakteristiky pak vyplývá, že můžeme jednoznačně určit, jaké prvky se ve vzorku nachází. Prvkovou analýzu provedeme tak, že vzorek ozáříme rtg zářením a to je následně ze vzorku emitováno (resp. je emitováno sekundární záření), které je též charakteristické. Výhodou této metody je fakt, že se zabýváme spodními slupkami atomů, které nejsou použity pro chemické vazby (narozdíl od viditelného světla, kde se spektrum utváří pomocí valenčních elektronů, které jsou pro chemickou vazbu použity).

## Výsledky

Pro měření byl použit monokrystal LiF s mřížkovým parametrem  $4.028 \text{ \AA}$ . Urychlovací napětí bylo pro všechna měření  $35 \text{ kV}$ .

Byl měřen Braggův úhel, který je možno dle Braggovy rovnice převést na vlnové délky. Braggova rovnice (pro kubické krystaly) je

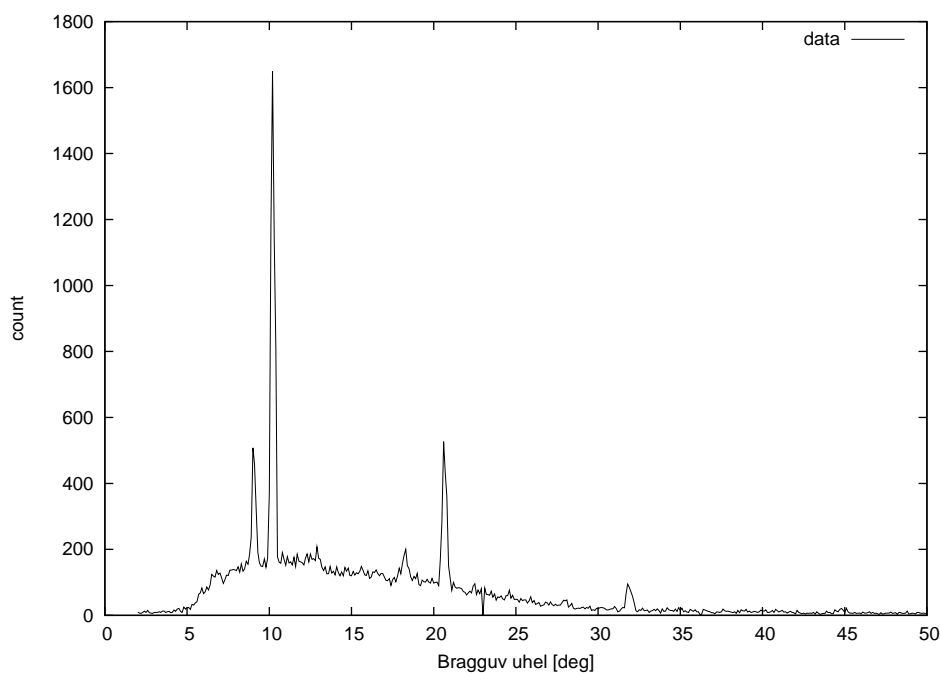
$$2a \sin \vartheta = \lambda \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}, \quad (2)$$

kde  $h, k, l$  jsou Laueho indexy a  $a$  je mřížový parametr monokrystalu. Proměřované spektrum bylo z molybdenové antikatody. První dvojice čar odpovídá rovině (002), druhá dvojice rovině (004). V následující tabulce jsou uvedeny polohy čar

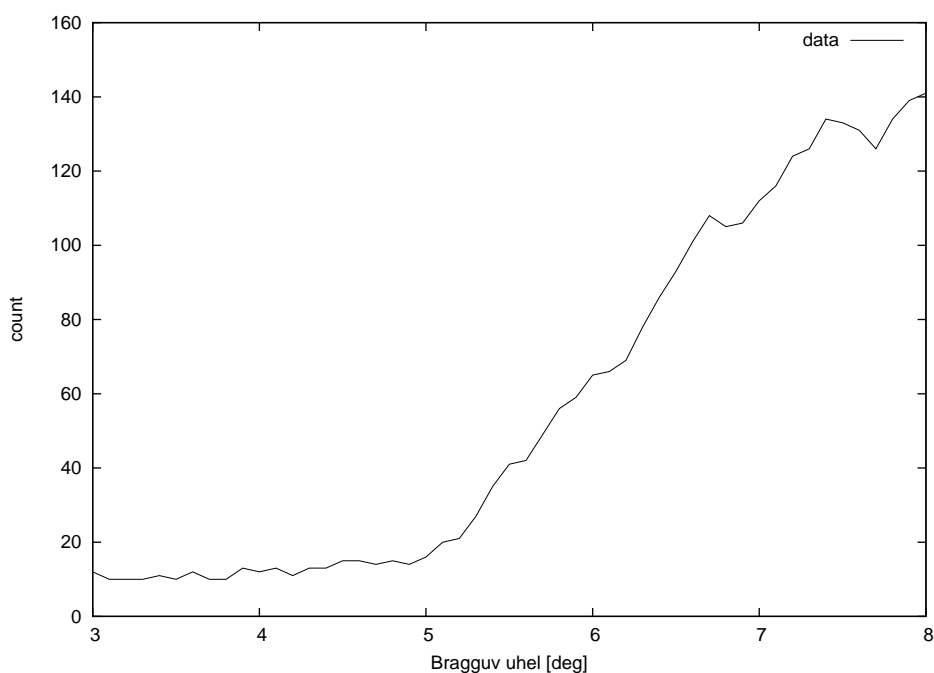
Po zprůměrování jsou výsledné vlnové délky  $\lambda_{K_\beta} = 0.631 \text{ \AA}$  a  $\lambda_{K_\alpha} = 0.711 \text{ \AA}$ , tabulkové hodnoty molybdenové rentgenky jsou přitom  $0.632 \text{ \AA}$  pro čáru  $K_\beta$  a  $0.711$  pro čáru  $K_\alpha$ .

Tabulka 1: Poloha čar pro Molybdenovou rentgenku

čára	$\vartheta$ [°]	$\lambda$ [Å]
$K_\alpha$ (002)	10.2	0.713
$K_\alpha$ (004)	20.6	0.709
$K_\beta$ (002)	9	0.630
$K_\beta$ (004)	18.3	0.632

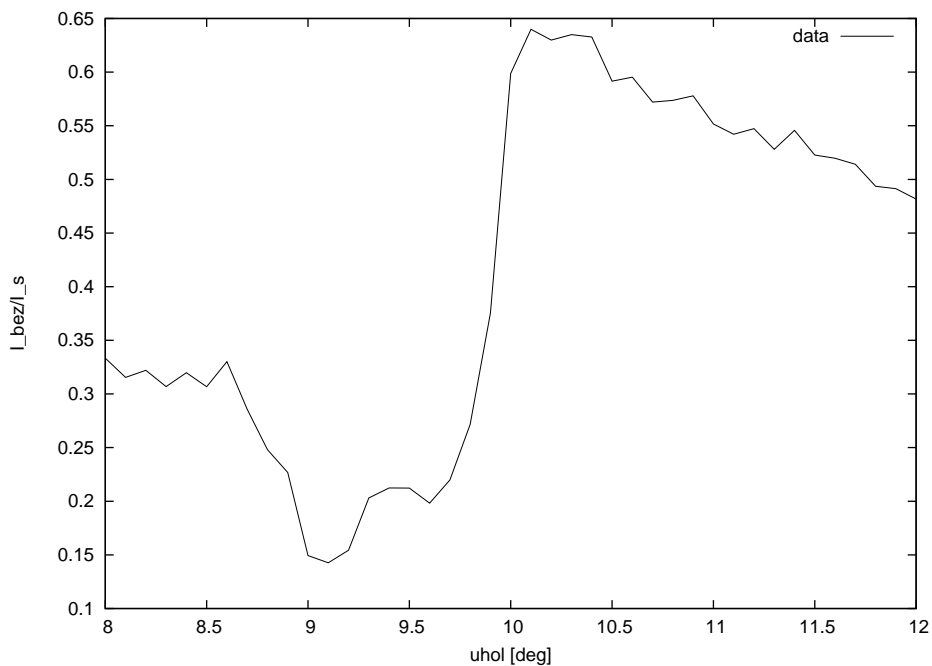
Obrázek 1: Spektrum rtg záření molybdenové antikatydy. První peak je  $K_\beta$ , druhý  $K_\alpha$ .

Následně jsme proměřili důkladněji počátek. Pokud určíme hlanu spektra, můžeme pak z výše uvedeného vztahu určit Planckovy konstantu. Spektrum jsme proložili přímkou, tam kde se protla přímka s nulou jsme určili  $\lambda_{\min}$ . Výsledný úhel  $\vartheta = 4.73^\circ$ . Odhad Planckovy konstanty je  $\hbar = (5.90 \pm 0.2) \cdot 10^{-34}$ .



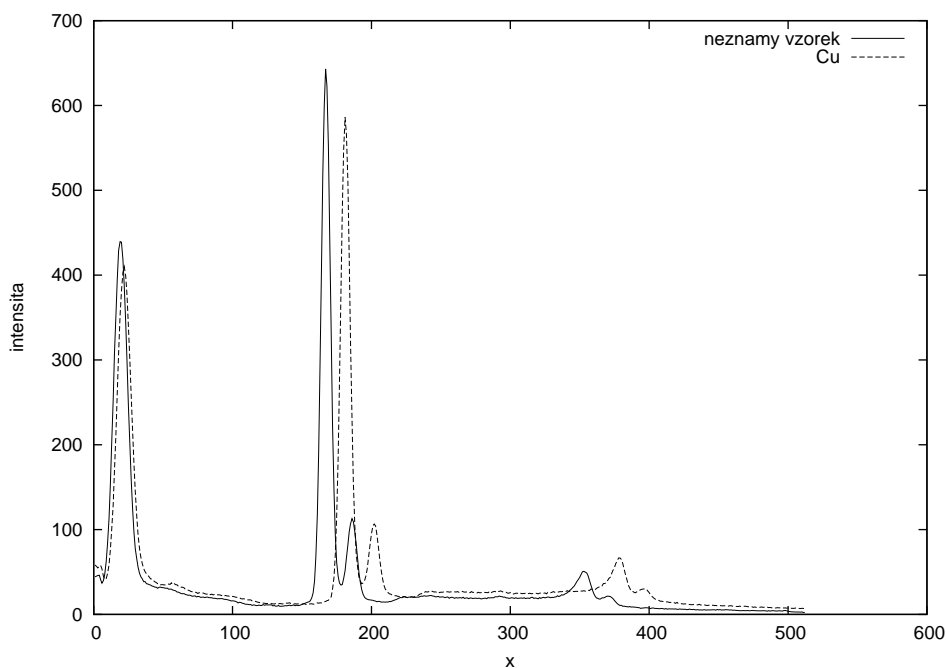
Obrázek 2: Proměřená hrana, která byla následně lineárně fitována

Dále jsme určovali absorpční hranu manganu (v K slupce). Bylo proměřeno spektrum s manganovým filtrem a následně bez něj. Tyto dvě spektra byla dána do poměru, který je zobrazen na následujícím grafu. Z tohoto grafu je také dobře patrná absorpční hrana. Absorbce má Mn na  $\vartheta = 9.92^\circ$ , což je  $\lambda_{\min} = 1.84 \text{ \AA}$ . Tabulková hodnota je  $1.90 \text{ \AA}$ . Měření bylo zjevně vcelku úspěšné.



Obrázek 3: Poměr spektra bez filtru a s filtrem, kde je dobře patrná hrana

V poslední části měření bylo třeba provést prvkovou analýzu. Prvne bylo naměřeno spektrum mědi, které nám sloužilo k ocejchování detektoru. Následně byl proměřen neznámý vzorek. Pro neznámý vzorek vychází  $K_\alpha = 1.5279$  a  $K_\beta = 1.3893$ , což opět odpovídá mědi. Z přiloženého obrázku je také patrné, že obě spektra vcelku splývají a tak jsme usoudili, že se zjevně taktéž bude jednat o měď.



Obrázek 4: Spektrum Cu a neznámého vrorku (pravděpodobně také Cu).

## Závěr

Dílčí závěry jsou uvedeny u jednotlivých úkolů. Jediný problém nastal v posledním úkolu, kde jsme zjevně předpokládali, že budeme určovat jiný prvek, než Cu.