

# Měření rentgenových spekter Cu anody

Josef Navrátil, Bořek Leitl, Jan Stránský

Gymnázium I.O. Semily, SPS Stavební Plzeň, Gymnázium Dobruška

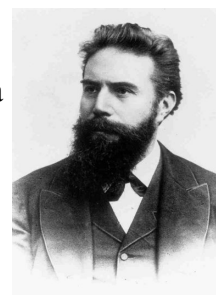
[pepa.navratil@gmail.com](mailto:pepa.navratil@gmail.com), [leitlb@seznam.cz](mailto:leitlb@seznam.cz), [str.jan@seznam.cz](mailto:str.jan@seznam.cz)

## Abstrakt:

Cílem našeho měření bylo pozorování rentgenového záření a jeho vlastností pomocí krystalového spektrometru LiF, a také změření Planckovy konstanty.

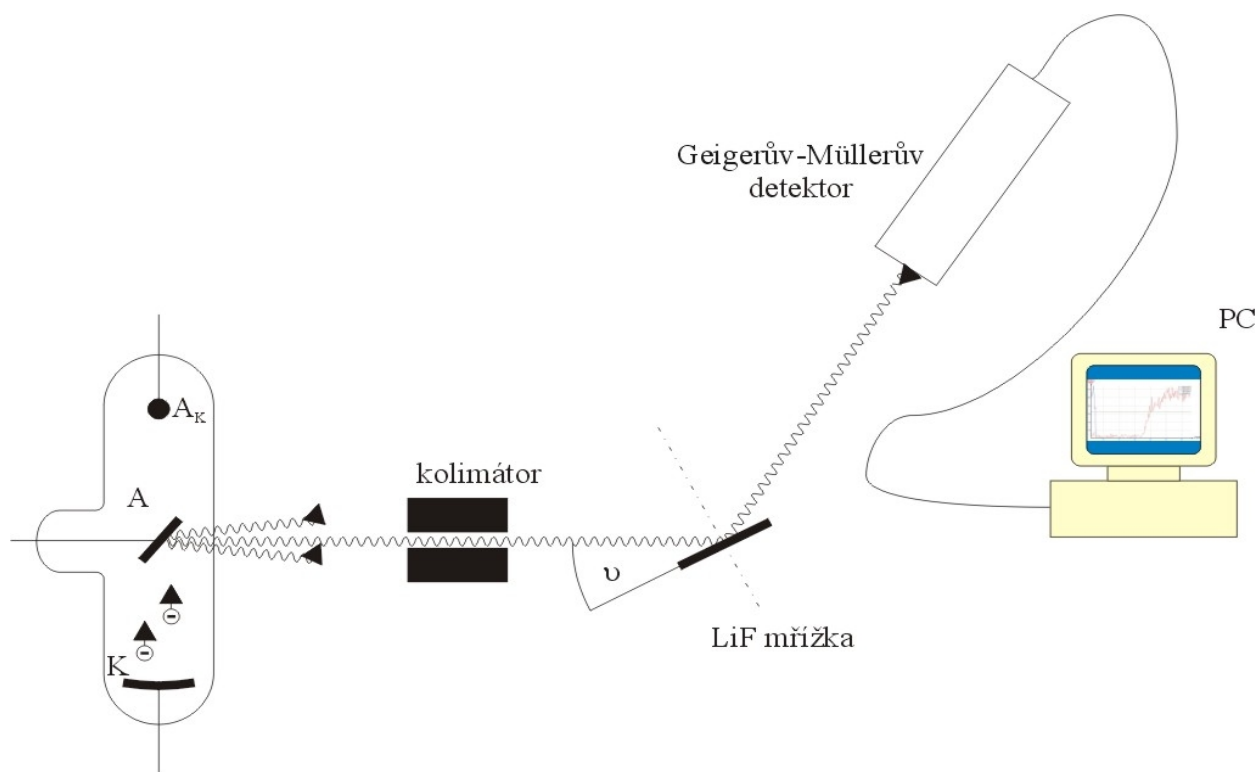
## 1 Úvod

Rentgenové záření objevil náhodou v roce 1895 německý badatel W.C. Rentgen a v roce 1901 za tento objev získal jako první Nobelovu Cenu za Fyziku. V roce 1906 C.G. Barkla. Největšího využití našel jeho objev v medicíně při zjišťování diagnózy.



W. C. Röntgen

## 2 Aparatura



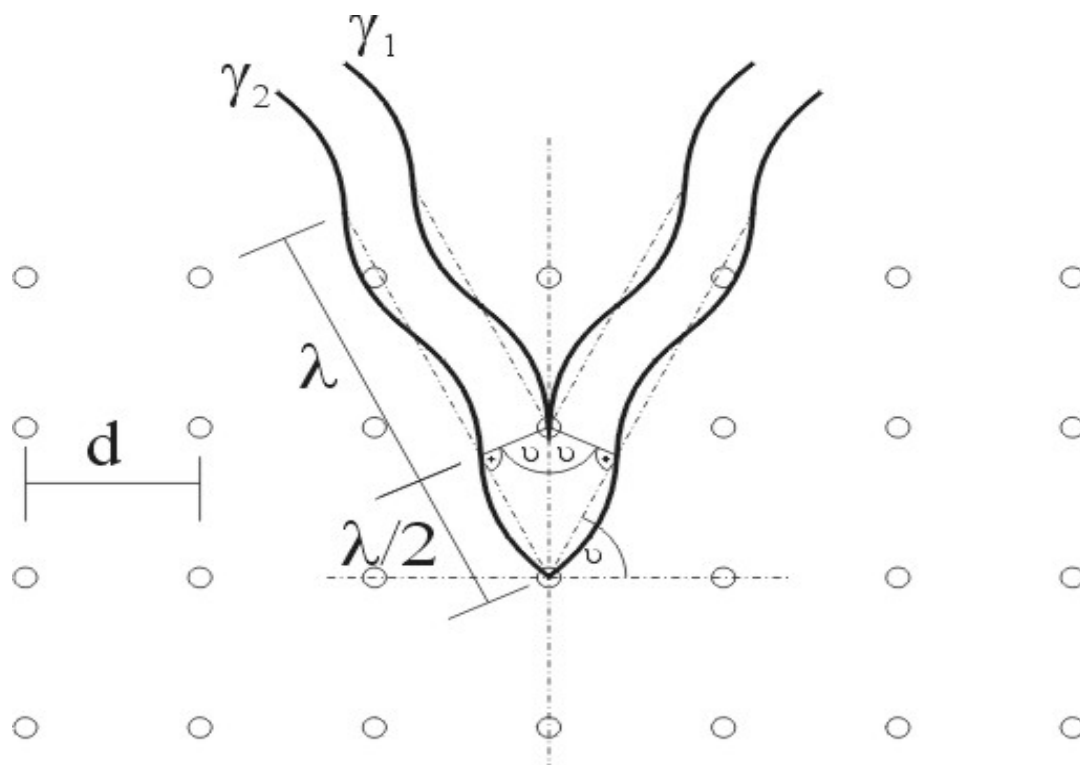
Obr 1: Schéma přístroje

Základem přístroje je rentgenka, tj. dioda zapojená v obvodu s vysokým napětím (v našem případě 15-35kV). Na žhavené katodě se emitují elektrony s energií danou Boltzmannovským rozdělením rychlostí. Tyto elektrony jsou vysokým napětím urychleny a dopadají na anodu, kde mohou vyrazit elektron z atomu a po přechodu elektronu z vyšších hladin dojde k vyzáření tzv. charakterického záření, nebo mohou dopadem na anodu zbrzdit a vzniká brzdné záření – záření X, které vylétá z trubice ven. Energie letících elektronů je vyjádřena vztahem  $E=e \cdot U$ , kde  $e$  je elementární elektrický náboj a  $U$  je urychlující napětí. Energie, která se přemění na rentgenové záření je přímo úměrná protonovému číslu materiálu, ze kterého je vyrobena anoda. Proto se na její výrobu používají těžké kovy (nejčastěji Wolfram).

Další část přístroje tvoří kolimátor, který kolimuje rentgenové záření do svazku rovnoběžných paprsků.

Poté paprsek pokračuje ke krystalu LiF umístěnému na goniometru (přístroj na měření úhlů), kde dochází k interferenčnímu rozptylu a výslednou interzitu rozptýleného svazku detekujeme na Geiger-Müllerově detektoru, který je připojen k počítači.

### 3 Braggova rovnice



Obr 2: Odvození Braggovy rovnice

Rovnice, která popisuje interferenční rozptyl na krystalu se nazývá Braggova rovnice a má tvar  $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$  (1)

kde  $d$  je mřížková konstanta,  $n$  řád maxima,  $\lambda$  vlnová délka záření a  $\theta$  úhel rozptylu záření. Pokud budeme měnit úhel  $\theta$ , bude se měnit intenzita rozptylu. Při určitém úhlu bude intenzita záření nejvyšší, protože obě vlny budou mít stejnou fázi a bude zde tzv. první reflexe.

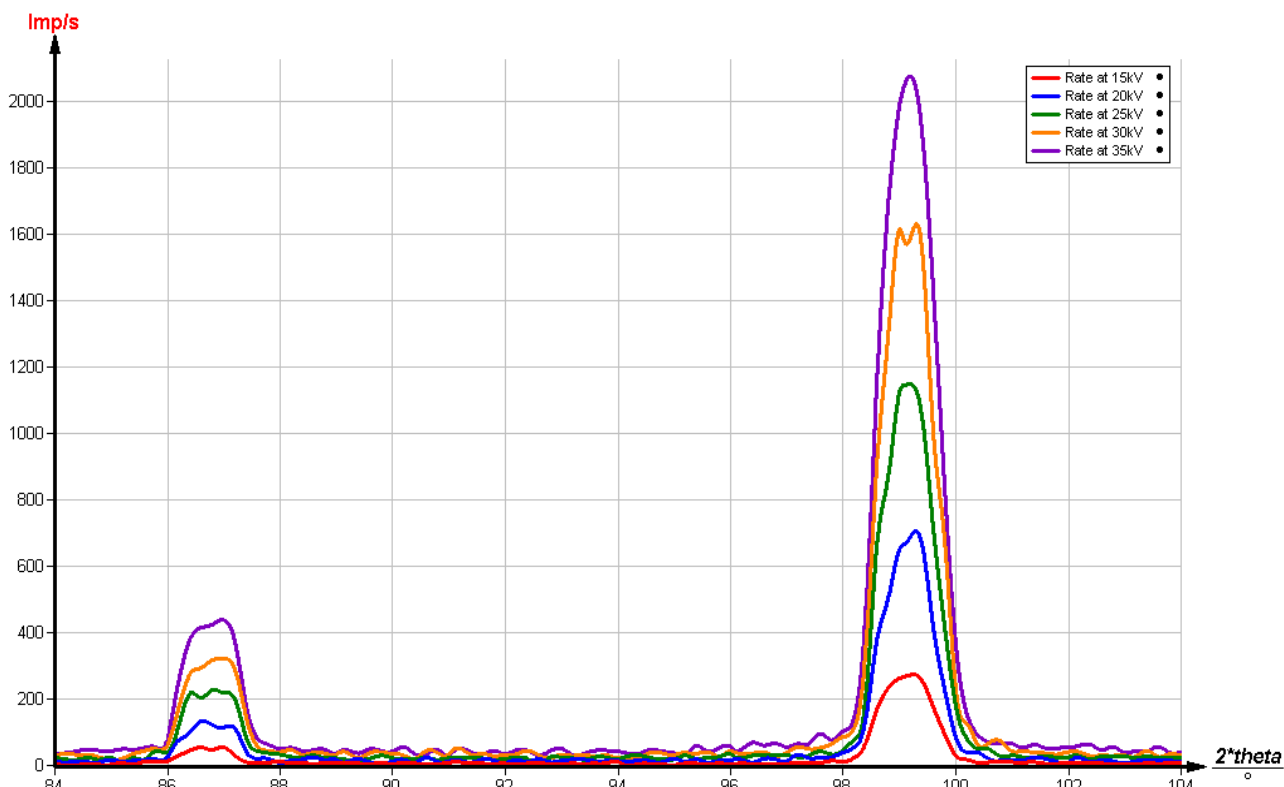
Pokud do Braggovy rovnice dosadíme  $\lambda = h \cdot c / E$  dostáváme vztah:

$$\frac{n \cdot h \cdot c}{E} = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \Leftrightarrow E = \frac{n \cdot h \cdot c}{2 \cdot d \cdot \sin \theta} \quad (2)$$

Hodnoty  $\theta$  získáme měřením. Později budeme schopni z tohoto vztahu vypočítat hodnotu Planckovy konstanty.

## 4 Výsledky měření a výpočet Planckovy konstanty

Měřila se závislost intenzity rozptýleného záření a úhlu  $\theta$  při různých napětích (15-35 kV). Výsledky se zaznamenávaly v počítači do grafu. Z výsledných grafů lze nalézt maxima prvního a druhého řádu pomocí nafitování křivky Gaussovým rozdělením a vypočítat jejich energie v maximech.



Obr 3: Graf závislosti počtu impulsů na úhlu  $\theta$  a různých napětích. Levý peak – brzdné záření; Pravý peak – charakteristické záření

U(kV) / I	$K_{\alpha 1} - E(J)$	$K_{\alpha 2} - E(J)$	$K_{\beta 1} - E(J)$	$K_{\beta 1} - E(J)$
15	1,317E-18	1,303E-18	1,456E-18	1,442E-18
20	1,320E-18	1,306E-18	1,456E-18	1,442E-18
25	1,317E-18	1,303E-18	1,456E-18	1,442E-18
30	1,317E-18	1,303E-18	1,456E-18	1,442E-18
35	1,314E-18	1,300E-18	1,456E-18	1,442E-18

Tabulka 1: Energie hladin  $\alpha$  a  $\beta$  (maxima prvního řádu)

U(kV) / I	$K_{\alpha 1} - E(J)$	$K_{\alpha 2} - E(J)$	$K_{\beta 1} - E(J)$	$K_{\beta 1} - E(J)$
15	1,302E-18	1,299E-18	1,439E-18	1,438E-18
20	1,301E-18	1,299E-18	1,439E-18	1,438E-18
25	1,301E-18	1,299E-18	1,443E-18	1,438E-18
30	1,301E-18	1,299E-18	1,443E-18	1,437E-18
35	1,301E-18	1,298E-18	1,443E-18	1,437E-18

Tabulka 2: Energie hladin  $\alpha$  a  $\beta$  (maxima druhého řádu)

Pokud známe urychlovací napětí, můžeme využít Braggovu rovnici a dosazením hodnot získat velikost Planckovy konstanty. Víme, že  $E=e.U$ , kde  $e$  je elementární elektrický náboj.

$$\frac{n.h.c}{e.U} = 2.d.\sin \theta \Leftrightarrow h = \frac{2.d.e.U.\sin \theta}{nc} \quad (3)$$

Měření jsme provedli pro různé hodnoty napětí, a pro výpočet jsme použili metodu nejmenších čtverců. Vyšla nám hodnota:

$$h = 6,04 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}^{-1} ,$$

což se od tabulkové hodnoty liší přibližně o 11%.

## 5 Shrnutí

Podařilo se nám změřit energii hladin  $\alpha$  a  $\beta$ , dále jsme dokázali získat přibližnou hodnotu Planckovy konstanty, která je jedinou konstantou v kvantové mechanice a také jsme se naučili pracovat s rentgenovou aparaturou PHYWE.

## Poděkování

Děkujeme našemu supervizorovi Davidu Tlustému, Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské v Praze a nadačnímu fondu teoretické fyziky

## Reference:

- [1] RNDr. Ullmann Vojtěch.: *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření*  
URL: <<http://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>> [cit. 19.06.2007]
- [2] Vladimír Linhart.: *Studium rentgenového spektra – úvod*, 2003
- [3] URL: <<http://fyzika.fjfi.cvut.cz/index.php?said=19&sbid0=83&sbid1=101&task=001>>  
[cit. 19.06.2007]