

# PROMIENIOWANIE RENTGENOWSKIE

## 1. Zagadnienia teoretyczne

Promieniowanie rentgenowskie, poziomy energetyczne w atomie, stała Planck'a i metody wyznaczania jej wartości, struktura krystalograficzna, dyfrakcyjne metody badania kryształów

## 2. Literatura

- a. *Ch. Kittel*, Wstęp do fizyki ciała stałego,
- b. *H. Ibach, H. Luth*, Fizyka ciała stałego,
- c. *Sz. Szczeniowski*, Fizyka doświadczalna, tom 5,
- d. *L. Kalinowski*, Fizyka metali,
- e. T. Greczyło, E. Dębowska, *Aparat rentgenowski w zaawansowanej pracowni fizycznej*, Aparatura Badawcza i Dydaktyczna, tom IX, nr 2 (2004), 118-125
- f. *K. Hermbecker*, Handbook Physics, X-ray experiments,

## 3. Cel ćwiczenia

Ćwiczenie umożliwia wykonanie następujących zadań doświadczalnych:

- a. Wyznaczanie stałej Planck'a z krótkofalowej granicy promieniowania rentgenowskiego z wykorzystaniem kryształu NaCl lub LiF. Prowadzący decyduje o rodzaju monokryształu, którego używa w ćwiczeniu student (NaCl lub LiF).
- b. Określanie stałych sieci wybranych monokryształów (NaCl (100), LiF (100), KBr (100), KCl (100)) w oparciu o widmo wzorcowe jednego z nich. Prowadzący decyduje, który z kryształów student przyjmuje jako wzorzec.

## 4. Zestaw doświadczalny

Zestaw doświadczalny składa się z:

- lampy rentgenowskiej z katodą Cu,
- licznika G-M,
- goniometru, na którym mocowany jest licznik oraz badana próbka,
- obudowy, w której znajdują się wyżej wymienione elementy oraz ich moduły zasilające,
- komputera wraz z oprogramowaniem umożliwiającym sterowanie urządzeniem oraz gromadzenie danych.

## 5. Część doświadczalna

Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia należy zapoznać się ze skróconym opisem aparatu rentgenowskiego *Phywe X-ray unit* oraz oprogramowania *Measure*.

### ***a. Wyznaczanie stałej Planck'a z krótkofalowej granicy promieniowania rentgenowskiego z wykorzystaniem kryształu NaCl lub LiF.***

- zamontować diafragmę o otworze 1 mm dla próbki NaCl (2 mm dla LiF);
- ustawić goniometr w pozycji 6;
- zamontować próbkę wskazaną przez prowadzącego (LiF lub NaCl) – próbki montujemy w osi goniometru, kryształem ku górze; ustawić synchroniczne obracania próbki i licznika w proporcji kątowej 2:1;
- zarejestrować serię spektrów liczby zliczeń licznika G-M w funkcji kąta padania wiązki promieniowania rentgenowskiego dla ustawień lampy rentgenowskiej: prąd 1 mA napięcie kolejno od 15 kV do 35 kV co 2 kV oraz kąta padania wiązki promieniowania rentgenowskiego na próbkę w zakresie od 3° do 15° z krokiem 0,1° dla NaCl (od 3° do 21° krokiem 0,1° dla LiF);
- na podstawie spektrów wyznaczyć granicę krótkofalową promieniowania rentgenowskiego dla różnych wartości napięcia anodowego;
- wyznaczyć stałą Planck'a.

### ***b. Określanie stałych sieci wybranych monokryształów (NaCl (100), LiF (100), KBr (100), KCl (100)) w oparciu o widmo wzorcowe jednego z nich.***

- zamontować diafragmę o otworze 2 mm;
- ustawić goniometr w pozycji 5;
- zamontować próbkę wzorcową wskazaną przez prowadzącego; ustawić synchroniczne obracania próbki i licznika w proporcji kątowej 2:1;
- ustawić maksymalne wartości prądu emisyjnego oraz napięcia anodowego lampy rentgenowskiej (1 mA i 35 kV);
- zarejestrować spektrum liczby zliczeń licznika G-M w funkcji kąta padania wiązki promieniowania rentgenowskiego dla wybranych kryształów dla kąta w zakresie od 3° do 55° z krokiem 0,2°;
- na podstawie położenia pików  $K_\alpha$  i  $K_\beta$  ustalić stałą (parametr) sieci i zidentyfikować próbki;

- powtórzyć rejestrację spektrum liczby zliczeń licznika G-M w funkcji kąta padania wiązki promieniowania rentgenowskiego dla wybranych kryształów z parametrami z tabeli 1; ustawienia lampy rentgenowskiej jak wyżej (1 mA i 35 kV)

Kryształ	Zakres kątów	Krok	Obrót licznik/prób ka	Otwór diafragmy	Położenie goniometru
	[ ° ]	[ ° ]		[mm]	
NaCl (100)	4 – 56	0,1	2:1	1	6
LiF (100)	4 – 51	0,1	2:1	2	5
KBr (100)	6 – 71	0,1	2:1	1	2
KCl (100)	5 – 60	0,1	2:1	2	6

Tab. 1 Zalecane ustawienia aparatu rentgenowskiego dla pomiarów poszczególnych kryształów

- wyniki doświadczenia porównać z wartościami teoretycznymi.

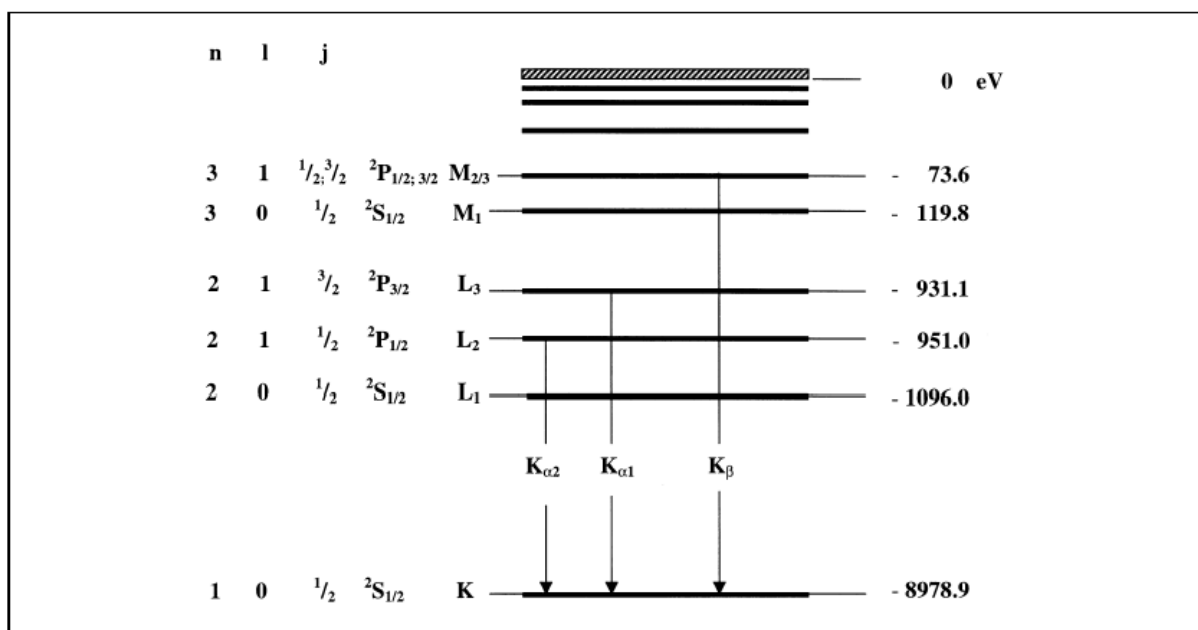
## 6. Opracowanie niepewności pomiarowych

Podczas wykreślania zależności  $\sin\theta = f\left(\frac{1}{U}\right)$  na wykresach nanieść niepewności poszczególnych wielkości wynikające z uwzględnienia niepewności wzorcowania i niepewności eksperymentatora dla wartości kąta i napięcia oraz prawa przenoszenia niepewności pomiarowych. Następnie wykorzystać metodę regresji liniowej (metoda najmniejszych kwadratów) do wyznaczenia współczynnika nachylenia prostej najlepszego dopasowania dla wyników eksperymentalnych oraz jej niepewność standardową. Ostatecznie do wyznaczenia niepewności stałej Plancka wykorzystać prawo przenoszenia niepewności pomiarowych.

Wartość odległości między płaszczyznami dla badanego kryształu wyznaczyć jako średnią ważoną wyników otrzymanych dla poszczególnych rzędów dyfrakcji. Obliczyć jej niepewność standardową.

## 7. Załącznik

### a. Poziomy energetyczne dla Cu ( $Z=29$ )



### b. Poziomy energetyczne dla różnych materiałów anody lampy rentgenowskiej

	$E_K$ / eV	$E_{L1}$ / eV	$E_{L2}$ / eV	$E_{L3}$ / eV	$E_{M1}$ / eV	$E_{M2/3}$ / eV	$E_{M2}$ / eV	$E_{M3}$ / eV
Fe ( $Z = 26$ )	7112.0	846.1	721.1	708.1	92.9	54.0	-	-
Cu ( $Z = 29$ )	8978.9	1096.1	951.0	931.4	119.8	73.6	-	-
Mo ( $Z = 42$ )	19999.5	2865.5	2625.1	2520.2	504.6	-	409.7	392.3

### c. Linie charakterystyczne dla różnych materiałów anody lampy rentgenowskiej

	$E-K\alpha_1$ / eV	$E-K\alpha_2$ / eV	$E-K\beta$ / eV	$\lambda-K\alpha_1$ / pm	$\lambda-K\alpha_2$ / pm	$\lambda-K\beta$ / pm
Fe ( $Z = 26$ )	6404	6391	7058	194.00	193.60	175.66
Cu ( $Z = 29$ )	8048	8028	8905	154.05	154.44	139.23
Mo ( $Z = 42$ )	17479	17374	19599	70.93	71.36	63.26

d. Stałe sieci oraz struktury krystalograficzne wybranych kryształów

Kristall	Typ	a <sub>(100)</sub> / pm	d <sub>(110)</sub> / pm	d <sub>(111)</sub> / pm
LiF	fcc	402.8	297.6	243.0
KBr	fcc	658.0	465.3	379.9
NaCl	fcc	564.1	398.8	325.6
KCl	fcc	629.3	444.1	362.6
Cu	fcc	361.5	255.6	208.7
Al	fcc	404.1	285.7	233.3
Ta	bcc	329.1	232.7	190.0
Mo	bcc	314.0	222.0	181.3
Ge	Diamant	565.8	400.1	326.7
Si	Diamant	543.1	384.0	313.6
		a / pm	c / pm	
Zn	hex.	266.5	494.7	
Graphit	hex.	246.1	670.8	

Na podstawie

*K.Hermbecker*, Handbook Physics, X-ray experiments

Phywe, Operating Instructions, X-ray unit, 35 kV

Phywe, Manual

sporządził Tomasz Greczyło