

# X1

## PROMIENIOWANIE X

### Tematyka ćwiczenia

Lampa z wolframową anodą produkuje promieniowanie X, które jest rejestrowane przy użyciu monokryształu w funkcji kąta Bragga, podczas gdy licznik Geigera-Müllera służy do pomiaru natężenia tego promieniowania. Energia promieniowania wyznaczana jest na podstawie kątów odbicia charakterystycznych linii promieni X.

### Niezbędne informacje

- promieniowanie X - oddziaływanie z materią;
- budowa i zasada działania lampy rentgenowskiej
- jonizacja (energia jonizacji);
- bremsstrahlung;
- reguły wyboru.

### Podstawy teoretyczne

Kiedy elektron o dużej energii kinetycznej pada na anodę w lampie promieni X, powoduje powstanie promieniowania X o ciągłym widmie energetycznym (bremsstrahlung), które nakłada się na dodatkowe dyskretne linie. Jeżeli atom materiału anody jest zjonizowany, np. na wewnętrznej powłoce z powodu uderzenia elektronu, to elektron z wyższej powłoki może przejść na wolne miejsce na niższej powłoce emitując kwant promieniowania X. Energia tego promieniowania odpowiada oczywiście różnicy energii między powłokami, które biorą udział w opisywanym procesie. Ponieważ różnica między powłokami zależy od danego atomu, tak więc powstające promieniowanie jest charakterystyczne dla danego pierwiastka. Kiedy promieniowanie X o długości fali  $\lambda$  pada na powierzchnię sieci kryształu pod kątem  $\vartheta$ , to pozytywna interferencja promieni odbitych może nastąpić jedynie wtedy, gdy różnica dróg optycznych  $\Delta$  promieni odbitych od poszczególnych płaszczyzn sieci kryształu jest całkowitą wielokrotnością długości fali (prawo Bragga):

$$2d \sin\vartheta = n\lambda, \quad (1)$$

gdzie  $d$  jest odległością płaszczyzn sieci krystalicznej, a  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Jeżeli odległość  $d$  jest znana, to długość fali  $\lambda$  można określić w oparciu o kąt padania promieniowania. Energia promieniowania jest wtedy równa:

$$E = h \cdot f = hc / \lambda. \quad (2)$$

W oparciu o równania 1 i 2 można wyznaczyć:

$$E = n \cdot h \cdot c / (2d \sin\vartheta), \quad (3)$$

gdzie

stała Plancka  $h = 6.6256 \cdot 10^{-34}$  Js,

prędkość światła  $c = 2.9979 \cdot 10^8$  m/s,

odległość między płaszczyznami sieci krystalicznej dla LiF (200)  $d = 2.014 \cdot 10^{-10}$  m,

oraz  $1 \text{ eV} = 1.6021 \cdot 10^{-19}$  J.

Rys. 1 przedstawia diagram poziomów energetycznych atomu wolframu. Ponieważ energia powłoki K wynosi  $\sim 70$  keV, to ze względu na maksymalną energię wiązki lampy w zestawie (35 keV), nie

jest możliwe wzbudzenie powłoki K. Zgodnie z kwantowomechanicznymi regułami wyboru możliwe przejścia dipolowe z powłoki L aż do powłoki O przedstawione są na Rys. 1 (przejścia kwadrupolowe ze znacznie mniejszą intensywnością mogą być tutaj zaniedbane):

$$\Delta l = \pm 1 \text{ oraz } \Delta j = 0, \pm 1 \quad (4)$$

gdzie  $l$  to orbitalny moment pędu, a  $j$  całkowity moment pędu. W dostępnym układzie doświadczalnym możliwe jest zarejestrowanie około 27 charakterystycznych linii widmowych dla wolframu.

### Aparatura

1. Aparat rentgenowski z wolframową anodą.
2. Licznik Geigera-Müllera (GM).
3. Kryształ fluorku litu (LiF).
4. Diafragma.

### Zadania

1. Pomiar widma promieniowania X emitowanego przez wolframową anodę w funkcji kąta Bragga z wykorzystaniem monokryształu LiF jako analizatora.
2. Wyznaczenie wartości energii charakterystycznego promieniowania X wolframu.

### Montaż zestawu pomiarowego

Przymocowanie diafragmy 2mm i podłączenie goniometru i licznika do odpowiednich gniazdek wewnątrz aparatu rentgenowskiego. Przymocowanie goniometru wraz z kryształem oraz licznika do aparatu rentgenowskiego. Należy pamiętać o zamontowaniu diafragmy do licznika GM. Zmontowany układ przedstawiony jest na Rys. 1.

Kalibracja: Po upewnieniu się, że zamontowany został odpowiedni kryształ należy wybrać "Menu", "Goniometer", "Autocalibration". W tym momencie urządzenie określi optymalne położenie kryształu i goniometru względem siebie.

### Plan pomiaru

1. Połączenie układu lampy promieniowania X z komputerem przy pomocy kabla USB.
2. Uruchomienie programu „measure”.
3. Po kliknięciu na komorę eksperymentalną możliwe będzie wprowadzenie parametrów pomiaru.
4. Po kliknięciu na lampę promieniowania X możliwe będzie wprowadzenie napięcia i natężenia pracy lampy.
5. Uruchomienie pomiaru następuje przez kliknięcie na czerwone kółko.
6. Po skończonym pomiarze należy wybrać opcję „send all data to measure”, co spowoduje automatyczne przeniesienie zebranych danych do programu „measure”.

### Zestawienie parametrów pracy goniometru oraz lampy promieniowania X

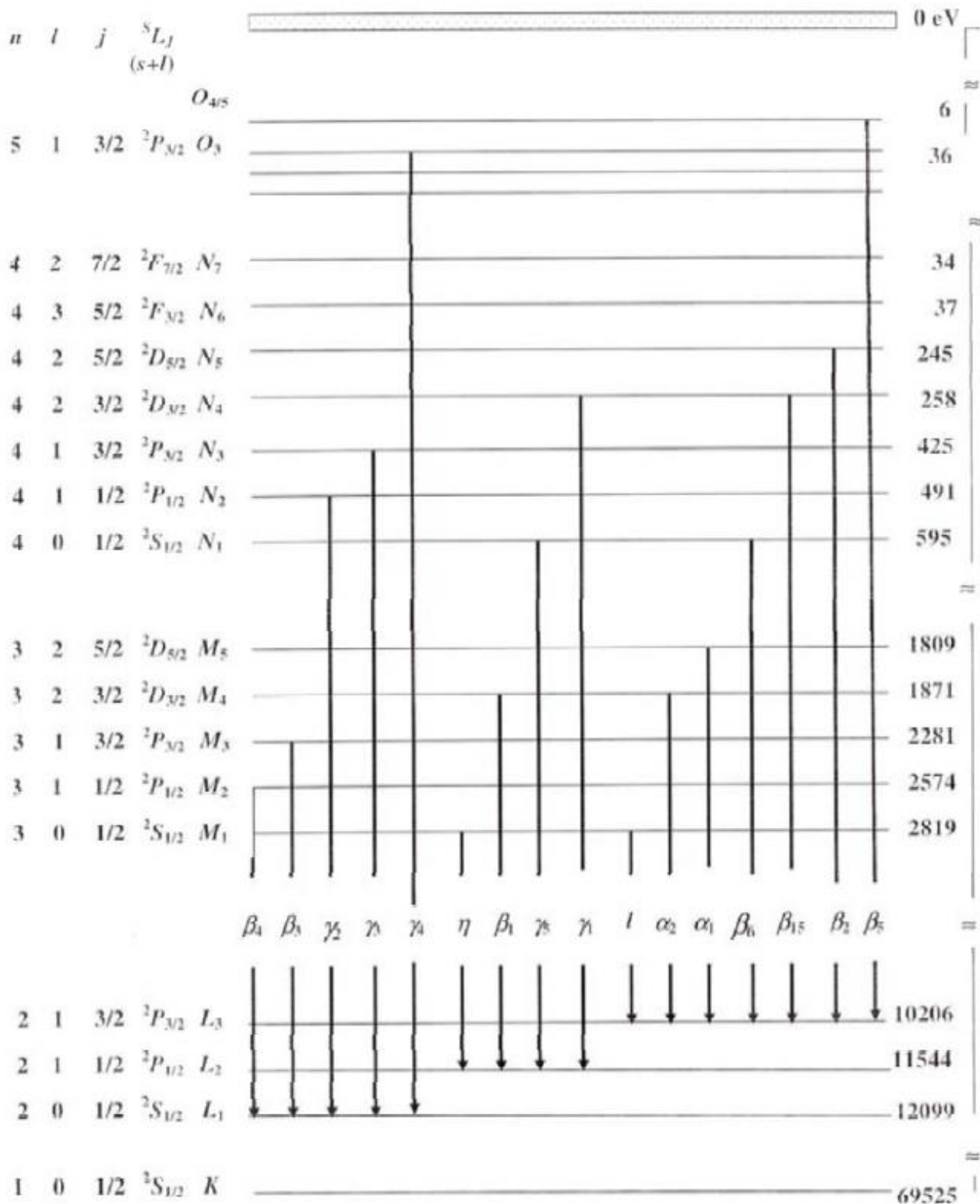
1. Sprzężenie 2:1 (*coupling mode*).
2. Kąt detektora 8°.
3. Brak absorbera.
4. Kryształ LiF (100);  $d=201.4$  pm.
5. Czas pomiaru 6s.
6. Podziałka kąta 0.1°.
7. Zakres pomiaru dla monokryształu LiF 4°-80°.
8. Napięcie (35kV) i natężenie (1mA) anody.

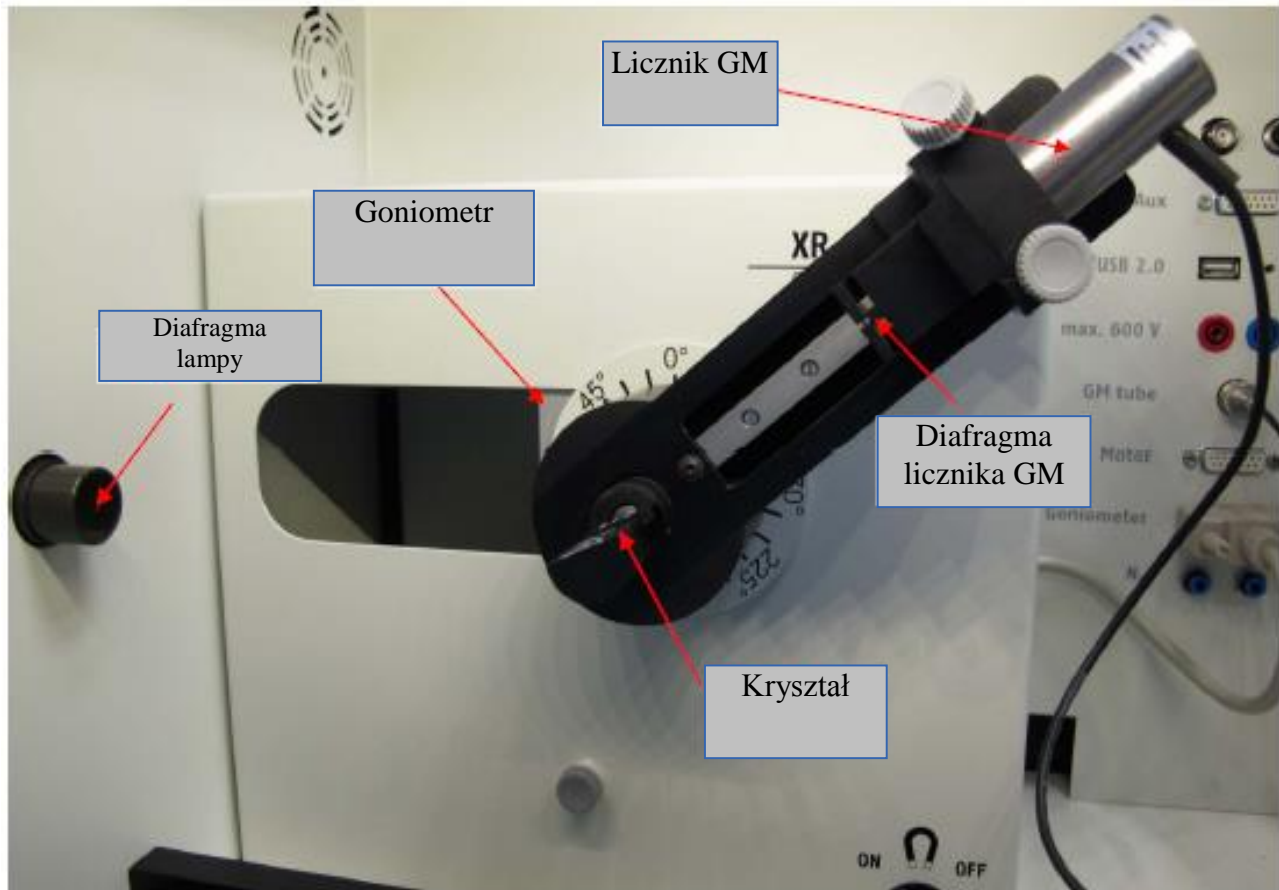
Uwaga: Nigdy nie narażaj licznika GM na oświetlenie bezpośrednią wiązką promieni X przez

dłuższy czas.

**Opracowanie wyników**

W oparciu o zmierzone widmo intensywności poszczególnych linii widmowych w funkcji kąta Bragg należy obliczyć energię poszczególnych przejść (3) i je zidentyfikować (Rys. 1).



Rys. 1: Schematyczne przedstawienie poziomów energetycznych wolframu ( $Z=74$ ).

Rys. 2: Poprawnie zmontowany układ pomiarowy.

**Literatura**

1. H. Haken, H.C. Wolf *Atomy i kwanty*, PWN 2002.
2. A. Strzałkowski *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, PWN 1978.
3. W.R. Leo *Techniques for nuclear and particle physics experiments*, S.-Verlag 1987.
4. V. Acosta, G.L. Cowan, B.J. Graham *Podstawy fizyki współczesnej*, PWN 1981.