

Ćwiczenie nr 10b

Spektroskopia rentgenowska. Prawo przesunięć Duane-Hunta. Wyznaczanie stałej Plancka

Zagadnienia

Zbadanie zależności intensywności linii K_α i K_β promieniowania charakterystycznego X emitowanego przez anodę Cu w zależności od napięcia i prądu anodowego przy użyciu monokryształu LiF jako analizatora.

Wyznaczenie zależności najkrótszej długości fali λ_{\min} promieniowania ciągłego (hamowania) od napięcia i prądu anodowego. Sprawdzenie prawa przesunięć Duane-Hunta.

Wyznaczenie stałej Plancka.

Wstęp teoretyczny

Założmy, że widmo charakterystyczne (patrz opis ćwiczenia 10a) składa się z linii K_α i K_β . Intensywność I_K promieniowania wynika z prawa Langmuira i opisana jest zależnością:

$$I_K = B I_A (U_A - U_K)^n \quad (1)$$

gdzie B jest stałą zależną od geometrii elektrod i tego z czego są wykonane, I_A prądem anodowym, U_A napięciem anodowym a U_K potencjałem jonizacyjnym poziomu (powłoki) K, który np. dla Cu wynosi $U_K=8,979$ kV. Wykładnik potęgowy ma wartość $n = 1,5$. Głębokość wnikania zjonizowanych elektronów a tym samym głębokość generacji promieniowania X są ograniczone, tak więc ograniczona jest także stosowalność równania (1).

Jako analizatora używamy w tym przypadku monokryształu LiF, więc z widma $I(\theta)$ korzystając z równania Bragga:

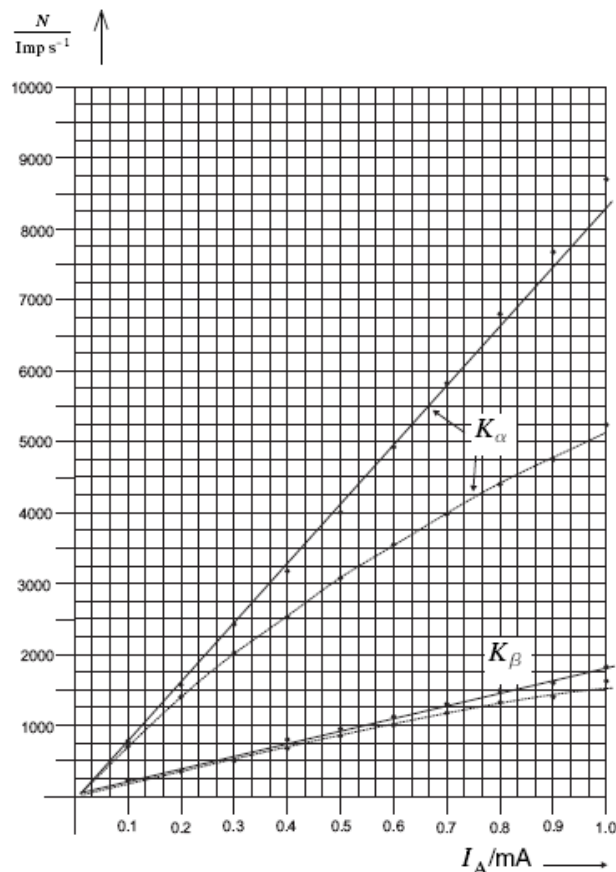
$$2d \sin \theta = n\lambda, \quad (2)$$

(gdzie d jest odległością między płaszczyznami atomowymi LiF, a n rzędem dyfrakcji) można wyznaczyć długość fali i energię linii K_α i K_β .

Rysunek 1 przedstawia przykładową zależność ilości zliczeń N od prądu anodowego I_A przy stałym napięciu anodowym dla linii K_α i K_β . Linie przerywane przedstawiają zmierzone zależności. Jak widać, kształt tych linii odbiega od liniowego. W rzeczywistości tuba zliczająca charakteryzuje się tzw. martwym czasem (ang. *dead time*), który powoduje, że właściwa ilość zliczeń powinna być większa od zmierzonej. Tak, więc rzeczywista ilość zliczeń N wyraża się poprzez zmierzoną ilość zliczeń, N_0 zależnością:

$$N = \frac{N_0}{1 - \tau \cdot N_0} \quad (3)$$

gdzie $\tau = 90 \mu\text{s}$. Zależności uwzględniające tzw. martwy czas detektora przedstawione są na Rys.1 liniami ciągłymi.



Rys. 1. Intensywności linii K_α i K_β . w funkcji prądu anodowego przy stałym napięciu anodowym, z uwzględnieniem (linie ciągłe) i bez uwzględnienia tzw. martwego czasu detektora.

Elektrony, których źródłem jest katoda, zwalniając emitują ciągłe promieniowanie elektromagnetyczne (patrz Cz. 1). Niektóre z elektronów zamieniają swą energię kinetyczną w promieniowanie elektromagnetyczne w pojedynczym procesie, wytwarzając promieniowanie, które stanowi minimalną długość fali λ_{\min} wypromieniowaną w danych warunkach. W 1915 Duane i Hunt odkryli empiryczne prawo, mówiące, że iloczyn napięcia anodowego i minimalnej długości fali jest stały, czyli

$$U_A \cdot \lambda_{\min} = \text{const.} \quad (4)$$

Zależność ta może w prosty sposób zostać wyprowadzona z równania Einsteina:

$$E_{\text{kin}} = eU_A = hf_{\text{max}} = h \frac{c}{\lambda_{\min}}. \quad (5)$$

Przekształcając powyższe równanie dostajemy

$$\lambda_{\min} = 1,2398 \cdot 10^{-6} \frac{1}{U_A} \text{ V} \cdot \text{m}. \quad (6)$$

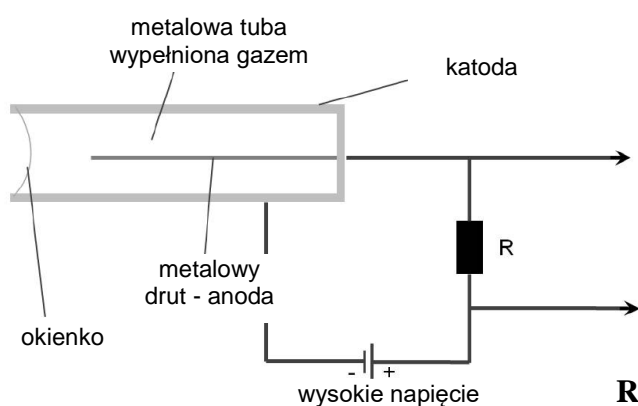
Wykreślając, więc zależność $\lambda_{\min}(1/U_A)$ powinniśmy otrzymać linię prostą. Korzystając z równania (5) i (2) można napisać, że

$$\sin \vartheta_{\min} = \frac{hc}{2ed U_A} \cdot 1 \quad (7)$$

Tak, więc i dla zależności $\sin \vartheta_{\min}(1/U_A)$ powinniśmy otrzymać linię prostą. Z zależności $\sin \vartheta_{\min}(1/U_A)$ możemy także wyznaczyć wartość stałej Plancka.

Licznik Geigera-Müllera

Jest to urządzenie opracowane przez H. Geigera i W. Müllera w 1928 roku, służące do detekcji wysokoenergetycznego promieniowania. Zbudowany jest z rury metalowej (z aluminium) – Rys. 2, która stanowi elektrodę ujemną – katodę. Przez środek rury katody przebiega cienki drut stanowiący elektrodę dodatnią. Rura wypełniona jest mieszaniną gazów: ok. 90 % gazu szlachetnego (np. argonu) i ok. 10 % par alkoholu.



Rys. 2 Schemat licznika G-M.

Kiedy promieniowanie X wpada do tuby jonizuje cząsteczki gazu wytwarzając dodatnio naładowane jony i swobodne elektrony. Poprzez przyłożone napięcie elektrony przyspieszane są w kierunku dodatnio spolaryzowanego drutu po drodze zyskując wystarczającą energię do jonizacji kolejnych cząsteczek gazu – zwielokrotniając liczbę elektronów docierających do anody (drutu). Powoduje to przepływ prądu pomiędzy licznikiem (drutem) a tubą. Z wykorzystaniem opornika R można zamienić prąd na sygnał napięciowy. Sygnał napięciowy jest elektronicznie wzmacniany.

Zadania do wykonania

1. Zmierzyć zależności intensywności N promieniowania X od kąta ϑ Bragga dla lampy rentgenowskiej z anodą Cu w zadanym przedziale ϑ dla monokryształu analizującego LiF w zależności od prądu anodowego (przy stałym napięciu anodowym) i w zależności od napięcia anodowego (przy stałym prądzie anodowym).
2. Odczytać z wykresów $N(\vartheta)$ intensywności (ilość zliczeń na sekundę) dla linii K_α i K_β . Wykreślić zależności $N(I_A)$ dla wartości zmierzonych i wartości skorygowanych (z uwzględnieniem martwego czasu detektora – równanie (3)) dla linii K_α i K_β . Znaleźć właściwą wartość martwego czasu detektora (np. poprzez najlepsze przybliżenie do linii prostej). Porównać otrzymane zależności.

- Wykreślić zależności ilości zliczeń N w funkcji $(U_A - U_K)^{1,5}$ dla wartości zmierzonych i wartości skorygowanych (z uwzgl. martwego czasu detektora) dla linii K_α i K_β .
- Z wykresów $N(\vartheta)$ odczytać wartości ϑ_{\min} i korzystając z zależności (2) wyznaczyć λ_{\min} .
- Wykreślić zależność $\lambda_{\min}(1/U_A)$. Sprawdzić prawo przesunięć Duane-Hunta.
- Wykreślić zależność $\sin \vartheta_{\min}(1/U_A)$. Korzystając z regresji liniowej i równania (7) wyznaczyć stałą Plancka. Przeprowadzić rachunek błędów. Porównać otrzymany wynik z wartością tablicową.

Parametry pomiarów

- zamocować moduł z anodą Cu
- zamocować przesłonę o średnicy 1 mm na wyjściu promieniowania X:
- ustawić goniometr w pozycji pośredniej (wskaźnik na pozycji 4)
- na goniometrze umocować kryształ LiF
- ustawić tubę licznika w pozycji skrajnie oddalonej
- ustawienia programu *MEASURE*:
 - czas zliczania (gate time) – 2s,
 - krok (angle step) – $0,1^\circ$,
 - zakres skanowania (scanning range): 3° - 25° ,
 - a) napięcie anodowe (anode voltage) – 35 kV, prąd anodowy (anode current) zmieniać w zakresie 1 - 0,1 mA,
 - b) napięcie anodowe zmieniać w zakresie 35 - 14 kV, prąd anodowy – 1 mA,

UWAGA!

Nigdy nie wystawiać tuby licznika na bezpośrednie promieniowanie X (pozycji 0° , bez zamocowanego kryształu – analizatora).

Stale fizyczne

Masa elektronu –	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Ładunek elementarny –	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Stała Plancka –	$h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J s} = 4,1357 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$
Stała dielektryczna –	$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ C}^2$
Prędkość światła –	$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Odległość międzypłaszczyznowa dla LiF (100) –	$d = 2,014 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
Odległość międzypłaszczyznowa dla KBr (100) –	$d = 3,290 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
	$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Literatura uzupełniająca

„Podstawy fizyki”, D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Tom V.