



INSTYTUT PROBLEMÓW JĄDROWYCH im. Andrzeja Sołtana DZIAŁ SZKOLENIA I DORADZTWA

sekretariat: tel. 0 22 718 0612, fax 0 22 779 3481, e-mail: dsid@ipj.gov.pl •

prof. dr hab. Ludwik Dobrzyński e-mail: ludwik@ipj.gov.pl •

mgr Ewa Droste e-mail: droste@ipj.gov.pl • mgr inż. Łukasz Adamowski e-mail: l.adamowski@ipj.gov.pl •

Robert Wołkiewicz e-mail: r.wolkiewicz@ipj.gov.pl

ĆWICZENIE	LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ
12	Dyfrakcja elektronów
Data pomiaru:	
Imię i nazwisko studenta/ ucznia:	
Wydział, kierunek, rok studiów/ Szkoła:	

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest obserwacja zjawiska dyfrakcji wiązki elektronów i potwierdzenie falowej natury elektronów przez obserwację ich dyfrakcji na sieci krystalicznej grafitu.

2. UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Zestaw ćwiczeniowy (rys. 1) stanowią:

- lampa elektronowa (z dodatkowym magnesem) – rys. 3 i rys. 4,
- zasilacz ($U_Z = 6,3 \text{ V}$, $U_A = 0 - 4,5 \text{ kV}$),
- linijka, cyrkiel.



Rys. 1

3. WSTĘP TEORETYCZNY

Zgodnie z falowo-korpuskularnym dualizmem natury, cząstkom, a więc i elektronom można przypisać pewną długość fali. Relacje pomiędzy typowo cząstkowymi charakterystykami, jakimi są pęd (p) i energia (E), a typowo falowymi, jakimi są długość fali (λ) i częstotliwość (ν) - relacje de Broglie'a - są następujące:

$$E = \frac{p^2}{2m} = h\nu, \quad p = \frac{h}{\lambda}, \quad (1)$$

gdzie $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ – stała Plancka, a m – masa cząstki. Jeśli cząstkami tymi będą elektrony przyspieszane w polu o różnicy potencjałów U [w voltach], ich energia kinetyczna będzie wynosiła:

$$E = eU, \quad (2)$$

gdzie e – ładunek elementarny. Podstawiając do powyższych wzorów ładunek i masę elektronu stwierdzimy, że pomiędzy napięciem przyspieszającym, a długością fali elektronów występuje prosty związek:

$$eU = \frac{h^2}{2m\lambda^2} \quad \text{lub} \quad \lambda [\text{nm}] = 1,23 \cdot U^{-1/2}, \quad (3)$$

gdzie napięcie U wyrażone jest w voltach. Dla $U = 4 \text{ kV}$ otrzymujemy długość fali ok. $0,02 \text{ nm}$. W ćwiczeniu elektrony są przyspieszane regulowanym przez nas napięciem U i padają na folię grafitową, w której atomy ułożone są w charakterystyczny wzór sześciokąta foremnego (rys. 2).

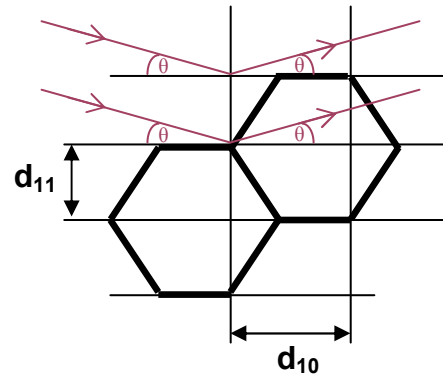
Jak widać na rysunku 2, atomy grafitu leżą na płaszczyznach, których najmniejsze odległości od siebie wynoszą $d_{11} = 0,123 \text{ nm}$ oraz $d_{10} = 0,213 \text{ nm}$. Z kolei warunek dyfrakcji (prawo Bragga) głosi, że pomiędzy długością fali, a kątem θ padania na płaszczyznę istnieje relacja:

$$\lambda = 2d \cdot \sin\theta. \quad (4)$$

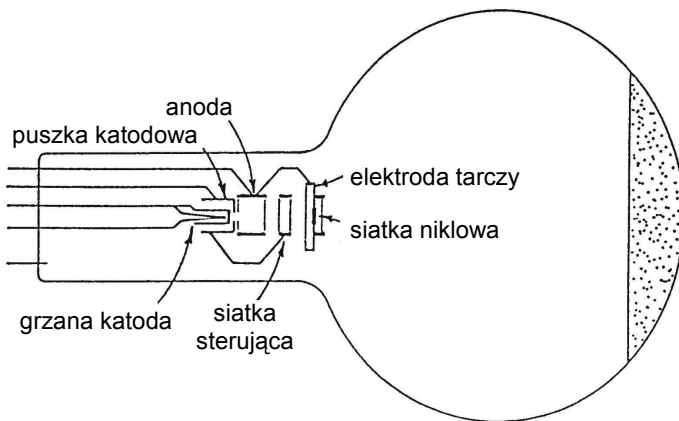
Relacja (4), znana pod nazwą prawa Bragga, jest warunkiem na interferencję konstruktywną (wzmacniania się) wiązek ugiętych na płaszczyznach krystalicznych.

Wiązka ugięta tworzy z padającą kąt 2θ . Ponieważ ziarna proszku mają przypadkową orientację, uginanie się wiązek będzie zachodziło we wszystkich kierunkach przestrzeni, tworzących z kierunkiem wiązki padającej kąt 2θ . Inaczej mówiąc, wiązki ugięte będą leżały na stożku o kącie rozwarcia 4θ , a na ekranie ustawionym prostopadle do osi stożka zobaczymy charakterystyczne pierścienie (przecięcia stożka z płaszczyzną ekranu).

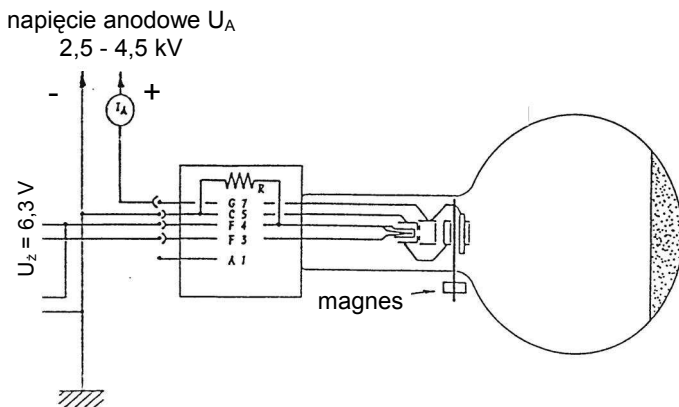
Schemat lampy elektronowej pokazany jest na rys. 3.



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

4. PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA

A)

- Połączyć układ elektryczny wg schematu (rys. 4) i po uzyskaniu zgody opiekuna uruchomić zasilanie i odczekać 1 minutę, aby grzana katoda osiągnęła stan równowagi;
- Zwiększać stopniowo napięcie anodowe U_A w granicach $2,5 - 4,5 \text{ kV}$ i obserwować pojawianie się pierścieni dyfrakcyjnych; UWAGA: wykonując ćwiczenie nie wolno przekraczać $4,5 \text{ kV}$!
- Zainstalować magnes w okolicy działa elektronowego;
- Obserwować powiększony wzór siatki niklowej z naniesionym na niej w przypadkowy sposób grafitem (działko elektronowe zachowuje się tu w sposób bardzo podobny do mikroskopu elektronowego o powiększeniu ok. 30 razy);
- Manipulując magnesem dookoła połączenia szyjki z bańką lampy obserwować zmiany ostrości obrazu wywołane zmianami miejsca padania zbieżnej wiązki elektronów na próbkę.

B)

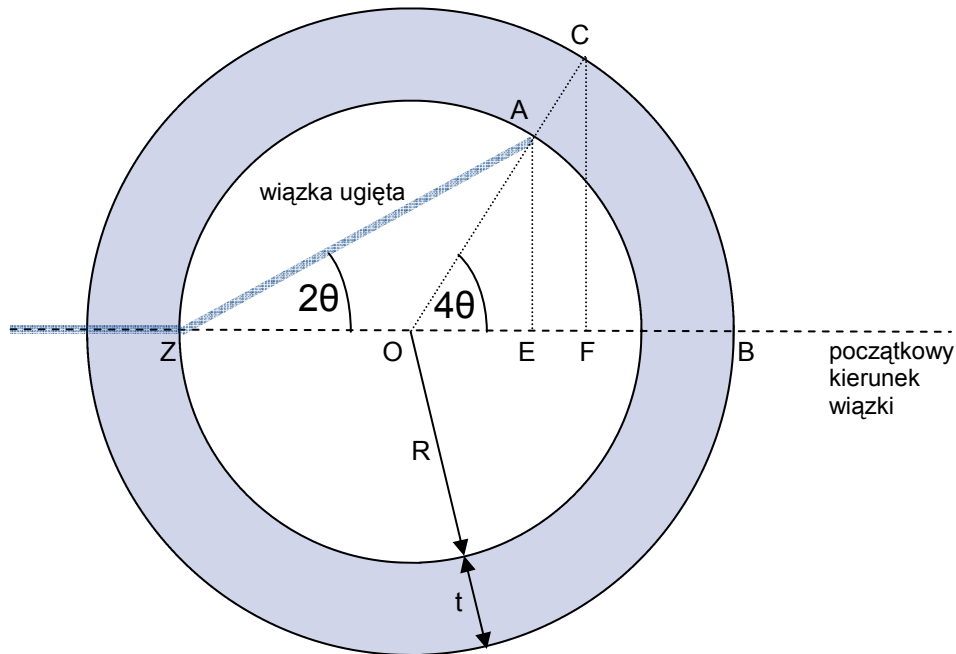
B1) Dla każdego z napięć anodowych podanych w tabeli 1 należy zmierzyć 3-krotnie wewnętrzną i zewnętrzną średnicę każdego z dwóch pierścieni dyfrakcyjnych, a następnie

obliczyć ich średnie wartości. Do proponowanych pomiarów należy stosować cyrkiel, linijkę lub cokolwiek innego – wybór metody będzie zależał od pomysłowości eksperymentatora.

B2) Wykorzystując wartości średnie wyliczone w punkcie B1, wyznacz średnice obu pierścieni, uwzględniając poprawkę (patrz rys. 5) na promień wewnętrzny lampy ($R = 66,0$ mm) i grubość szkła (1,5 mm). Ekstrapolowane wartości średnic (D) należy wpisać do tabeli 2 i na podstawie tak zebranych danych sporządzić wykres zależności D od napięcia anodowego, a jeszcze lepiej od $(U_A)^{-1/2}$.

C) Podać wnioski; uwzględnić możliwe błędy pomiarowe.

JAK UWZGLĘDNIĆ GRUBOŚĆ SZKŁA BAŃKI?



Rys. 5 Widok z boku na lampę z mozaiką kryształów grafitu

Mozaika kryształków grafitu znajduje się w punkcie Z. Wiązka elektronowa trafia na ściankę bańki w punkcie A i wzbudza w nim świecenie luminoforu. Świecenie to obserwujemy jednak na powierzchni bańki, gdyż światło to przechodzi przez szkło pokonując dodatkowo jeszcze dystans zbliżony do odcinka AC. Zmierzona średnica D obrazu dyfrakcyjnego równa się zatem podwójonej długości odcinka CF. Jak uwzględnić grubość szkła?

Kąt θ można obliczyć wykorzystując zależność pomiędzy kątem wpisanym (tutaj 2θ) i środkowym w okręgu (tutaj 4θ) oraz definicję funkcji sinus:

$$\sin(4\theta) = \frac{|AE|}{|OA|}$$

Długość odcinka OA jest znana i wynosi R . Promień bańki szklanej wynosi $R = (66 \pm 1)$ mm, a grubość bańki $t = 1,5$ mm. Potrzebna jest jeszcze długość odcinka AE.

Z podobieństwa trójkątów OAE i OCF widać, że:

$$\frac{|AE|}{|CF|} = \frac{|OA|}{|OC|} = \frac{R}{R+t} \quad \text{zatem} \quad |AE| = \frac{R}{R+t} \cdot \frac{1}{2} D$$

Podstawiając odpowiednie wartości do pierwszego wzoru uzyskujemy:

$$\sin(4\theta) = \frac{\frac{1}{2} D}{R+t}$$

Ten sam wzór powstanie, jeśli zastosuje się nieco inną, lecz równie prawdziwą definicję sinus:

$$\sin(4\theta) = \frac{|CF|}{|OC|}$$

gdzie za wartości $|CF|$ i $|OC|$ można podstawić bezpośrednio wartości $\frac{1}{2}D$ i $R+t$.

Zupełnie innym sposobem na obliczenie wartości kąta θ jest zmierzenie średnicy okręgów wzdłuż obwodu bańki. Wtedy zmierzona długość L odpowiada podwójonej długości łuku (BC) o promieniu OC równym $R+t$. Z definicji kąta uzyskujemy wtedy:

$$4\theta = \frac{(BC)}{|OC|} = \frac{\frac{1}{2}L}{R+t}$$

TABELA 1 (zadanie B1)

napięcie anodowe U_A [kV]	ŚREDNICE PIERŚCIENI					
	WEWNĘTRZNEGO			ZEWNĘTRZNEGO		
	granica dolna [mm]	granica górna [mm]	wartość średnia [mm]	granica dolna [mm]	granica górna [mm]	wartość średnia [mm]
2,5						
3,0						
3,5						
4,0						
4,5						

TABELA 2 (zadanie B2)

U_A [V]	$(U_A)^{-0,5}$ [V ^{-0,5}]	D	
		wewnętrzna	zewnętrzna
2500	0,0200		
3000	0,0183		
3500	0,0169		
4000	0,0158		
4500	0,0149		