

EXPERIENȚA DEBYE-SCHERRER DE DIFRAȚIE DE ELECTRONI PE O REȚEA POLICRISTALINĂ

Obiectivele experimentului:

- Determinarea lungimii de undă a electronilor
- Verificarea ecuației de Broglie
- Determinarea constantei de rețea a grafitului

1. Principiul lucrării

În anul 1924 Louis de Broglie a sugerat că în afara proprietăților specifice de particule, acestea pot avea și caracter ondulator și a presupus că lungimea de undă a unei particule libere este dată de relația

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

unde:

λ este lungimea de undă asociată particulei

h este constanta lui Planck

p este impulsul particulei

Această ipoteză, confirmată de experiențele de difracție de electroni pe o rețea cristalină de nichel făcute de Clinton Davisson și Lester Germer în anul 1927, a fost extinsă de la particulele libere la orice tip de particule.

În experimentul de față este demonstrat caracterul ondulator al electronilor printr-o experiență de difracție de electroni pe o rețea policristalină de grafit, experiment cunoscut sub numele de *difracție Debye-Scherrer*.

Un fascicol de electroni monocromatici emiși de catodul unui tub electronic sunt focalizați de un sistem de lentile electromagnetice și cad pe o folie policristalină de grafit. Atomii grafitului sunt aranjați într-o rețea cristalină care acționează ca o rețea de difracție pentru electroni, pe un ecran fluorescent apărând figura de difracție sub forma a două inele concentrice (Fig. 1) corespunzătoare celor două constante de rețea d_1 și d_2 (Fig. 3). Diametrul inelelor concentrice se modifică în funcție de lungimea de undă a electronilor și, deci, în funcție de tensiunea de accelerare, conform considerațiilor de mai jos.

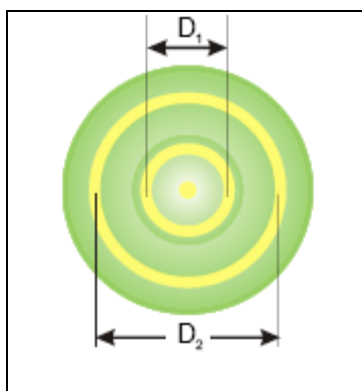


Fig. 1 Reprezentarea schematică a inelelor de difracție. Cele două inele cu diametrele D_1 și D_2 corespund constantelor de rețea d_1 și d_2 (conform Fig. 3)

Energia unui electron accelerat în câmpul de energie potențială U este:

$$eU = \frac{p^2}{2m} \quad (2)$$

unde:

U este tensiunea de accelerare

e - sarcina electrică a electronului

p - impulsul electronului

Substituind impulsul p din ecuația (2)

$$p = \sqrt{2meU}$$

în ecuația (1), se obține lungimea de undă asociată electronului:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}} \quad (3)$$

expresie care arată că lungimea de undă λ asociată electronului este determinată de tensiunea de accelerare U .

În anul 1913 sir H. W. Bragg și fiul său W. L. Bragg au înțeles că aranjarea periodică a atomilor în rețeaua cristalină a unui monocristal este formată din plane cristaline paralele. Dacă pe un set de astfel de plane cristaline cade un fascicol monocromatic de raze X sau electroni monoenergetici care se presupune că au caracter ondulatoriu, fiecare element al planului cristalin acționează ca un centru de împrăștiere generând o undă sferică elementară reflectată, suprapunerea acestor unde sferice elementare generând un front de undă reflectat. Conform legilor reflexiei, lungimea de undă a undei reflectate este aceeași cu a undei incidente și unghiul de reflexiei este egal cu unghiul de incidență. Din suprapunerea undelor reflectate pe plane succesive se obțin maxime de interferență (interferența constructivă) dacă diferența de drum $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 2d \sin \theta$ (Fig. 2) este un multiplu întreg de lungimi de undă:

$$2d \sin \theta = n\lambda; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

unde:

d este distanța dintre două plane succesive

2θ - unghiul dintre fascicolul incident și cel reflectat (θ – unghiul măsurat de la plan)

Condiția (4) este cunoscută ca relația Bragg.

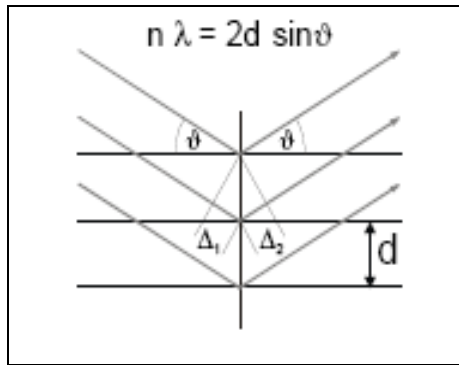


Fig.2 Reprezentarea schematică a Condiției de difracție Bragg

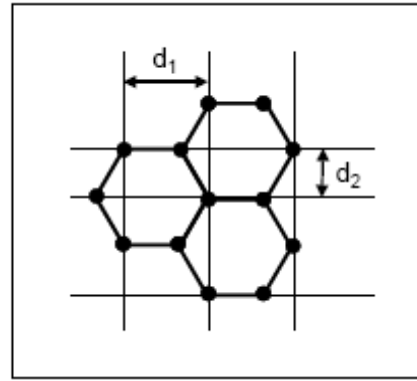


Fig.3 Constantele de rețea în grafit:
 $d_1 = 2.13 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $d_2 = 1.23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

În experimentul din această lucrare se folosește un material policristalin care este format dintr-un număr foarte mare de monocristale (cristalite) aranjate neregulat în spațiu. Vor exista totdeauna câteva monocristale a căror orientare satisface condiția Bragg pentru o lungime de undă și direcție a fascicolului incident date. Totalitatea reflexiilor produse de aceste cristalite se află într-un con a cărui axă este dată de direcția fascicolului incident, astfel că pe ecranul aflat perpendicular pe această axă vor apărea cercuri concentrice. Planele cristaline importante pentru figura de difracție din acest experiment sunt, conform Fig. 3, cele pentru care constantele de rețea sunt:

$$d_1 = 2.13 \cdot 10^{-10} \text{ m}; \quad d_2 = 1.23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

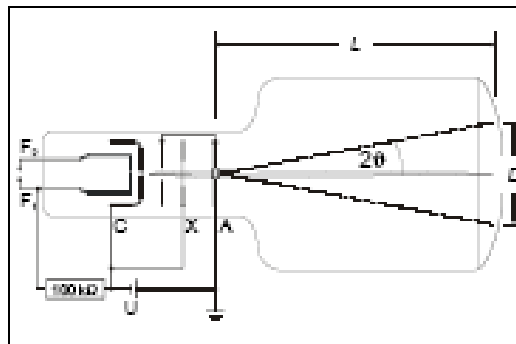


Fig.4 Reprezentarea schematică a unghiului de difracție θ .

$L=13.5\text{cm}$ (distanță dintre folia de grafit și ecran);

D este diametrul inelului de difracție observat pe ecran

Din Fig. 4 se obține relația:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{D}{2L} \quad (5)$$

unde:

D este diametrul unui inel

L – distanța de la probă la ecran

Pentru unghiuri θ mici

$$\operatorname{tg} 2\theta \approx \sin 2\theta \approx 2 \sin \theta \quad (6)$$

Substituind (6) în (4) se obține, pentru primul ordin de difracție, $n=1$, expresia pentru lungimea de undă asociată electronilor:

$$\lambda = d \frac{D}{2L} \quad (7)$$

Ținând cont de expresia (3) pentru lungimea de undă a electronilor se obține pentru diametrul inelelor de difracție expresia:

$$D = k(d) \frac{1}{\sqrt{U}} \quad (8)$$

unde

$$k(d) = \frac{2Lh}{d\sqrt{2me}} \quad (9)$$

este panta dreptei $D = D\left(\frac{1}{\sqrt{U}}\right)$, pantă care depinde de constanta de rețea d .

2. Montajul experimental.

Aparatura:

1. Tubul de difracție de electroni
2. Sursă de înaltă tensiune de 10kV
3. Vernier
4. Cablu de conexiune roșu de 25 cm
5. Cablu de conexiune roșu de 50 cm
6. Cablu de conexiune roșu de 100 cm
7. Cablu de conexiune albastru de 100 cm
8. Cablu de conexiune negru de 100 cm

Montajul experimental este prezentat în Fig. 5.

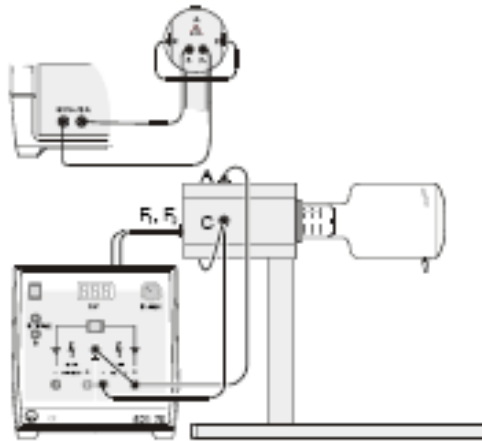


Fig. 5 Schema conexiunilor pentru observarea difracției electronilor pe grafit

- Se conectează conexiunile de încălzire a catodului tubului, F_1 și F_2 , la ieșirea sursei de înaltă tensiune de $10kV$
- Se conectează catodul C și focalizarea electronilor X ale tubului de electroni la polul negativ al sursei al sursei de înaltă tensiune
- Se conectează anodul A la polul pozitiv al ieșirii de $5kV/2mA$ a sursei de înaltă tensiune
- Se conectează sursa de înaltă tensiune

Măsurători experimentale:

- Se aplică o tensiune de accelerare $U \leq 5kV$ și se observă figura de difracție
- Se variază tensiunea de accelerare între $3kV$ și $5kV$ în trepte de $0,5kV$ și se măsoară diametrele D_1 și D_2 ale inelelor de difracție observate pe ecran
- Se măsoară distanța L dintre folia de grafit și ecran

Rezultatele experimentale se trec în următorul tabel:

Tabelul 1

$U(kV)$	$D_1(cm)$	$D_2(cm)$
3		
3.5		
4		
4.5		
5		

Prelucrarea rezultatelor experimentale:

a. Determinarea lungimii de undă a electronilor

Din valorile măsurate ale diametrelor inelelor de difracție D_1 și D_2 și valorile constantei de rețea d_1 și d_2 presupuse cunoscute (Fig.3) folosind ecuația (7) se poate obține lungimea de undă experimentală a electronilor.

Rezultatele măsurătorilor pentru D_1 și D_2 corespunzătoare diferitelor tensiuni se trec în următoarele tabele:

$U(\text{kV})$	$D_1(\text{cm})$	$\lambda_{1 \text{ experimental}} (\text{pm})$ (conform ecuației (7))
3		
3.5		
4		
4.5		
5		

$U(\text{kV})$	$D_2(\text{cm})$	$\lambda_{2 \text{ experimental}} (\text{pm})$ (conform ecuației (7))
3		
3.5		
4		
4.5		
5		

b. Verificarea relației de Broglie

Relația de Broglie (1) se verifică folosind ecuația (3)

unde:

$$e = 1.6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m = 9.1091 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$h = 6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Rezultatele obținute pentru lungimea de undă λ corespunzătoare diferitelor tensiuni aplicate sunt trecute în următorul tabel:

$U(\text{kV})$	$\frac{1}{\sqrt{U}} (\text{V}^{-\frac{1}{2}})$	$\lambda_{\text{teoretic}} (\text{pm})$
3		
3.5		
4		
4.5		
5		

Se observă că valorile experimentale ale lungimii de undă a electronilor obținute din figura de difracție și cele teoretice sunt într-o bună concordanță.

c. Determinarea constantei de rețea a grafitului

Conform ecuației (8), diametrul inelelor de difracție D depinde de tensiunea de accelerare U , panta dreptei

$$D = D\left(\frac{1}{\sqrt{U}}\right)$$

fiind determinată de valoarea constantei de rețea d conform relației (9).

Experimental, pantele $k_1(d_1)$ și $k_2(d_2)$ se determină din reprezentarea grafică a diametrelor măsurate D_1 și D_2 ca funcție de $\frac{1}{\sqrt{U}}$.

Având aceste pante determinate din graficele de mai sus, constantele de rețea se obțin din ecuația (9):

$$d = \frac{2Lh}{k\sqrt{2me}}$$

Atenție!

- Dacă se lucrează cu tensiuni de accelerare mai mari de 5kV se generează raze X. Nu aplicați pe tub tensiuni mai mari de 5kV.
- Folosiți o sursă de tensiune de 10kV.
- Tubul de difracție de electroni este un tub cu vid înalt, construit dintr-o sticlă subțire. Nu expuneți tubul efectelor mecanice (loviri) și conectați-l doar dacă este montat pe stativ. Maneruați cu grijă contactele tubului.
- Tubul de difracție de electroni poate fi distrus de tensiuni sau curenți prea mari. Lucrați doar în limita parametrilor specificați în secțiunea referitoare la datele tehnice.