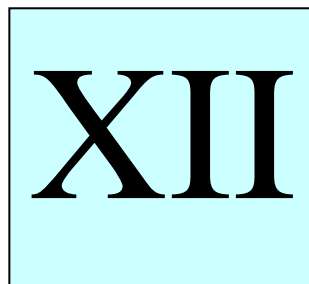


Ministerul Educației și  
Cercetării  
Olimpiada Națională de Fizică  
Târgoviște – 2002

***Proba experimentală***



Miercuri, 20 martie, 2002

1. Ai la dispoziție trei ore efective de lucru pentru cele două probleme experimentale.
2. Fiecare problemă trebuie tratată pe o foaie de concurs separată.
3. Pentru fiecare problemă există o **foaie de răspunsuri** pe care trebuie să înscrii rezultatele pe care le obții; în plus, poți solicita foi suplimentare pe care poți scrie. Rezultatele numerice trebuie date cu atâtea cifre semnificative câte sunt justificate de datele oferite în enunț. Nu uita să specifice unitățile de măsură.
4. Scrie pe foile albe de hârtie toate rezultatele măsurărilor pe care le efectuezi și orice consideri a fi important pentru rezolvarea problemei și pentru notarea acestei rezolvări. Totuși, este recomandat ca în rezolvare să folosești mai ales ecuații, numere, simboluri, grafice și diagrame. Te rugăm să folosești *cât mai puțin text* cu putință.
5. *Este absolut esențial* să înscrii în casetele marcate la începutul fiecărei foi de răspunsuri *datele tale de identificare*. În plus pe fiecare foaie folosită pentru fiecare problemă vei indica numărul problemei, numerele foilor folosite în ordine și numărul total de foi albe folosite care dorești să fie luate în considerare la corectare. Este de asemenea util să marchezi numărul problemei și al subpunctului rezolvat pe respectiva foaie de hârtie. Dacă nu dorești ca unele din foile de hârtie albe folosite să fie considerate la notare, taie-le cu o cruce mare, pe toată suprafața și nu le considera la numerotare.
6. Când termini, aranjează foile în *ordinea corespunzătoare* (pentru fiecare problemă pune mai întâi foaia de răspunsuri, și apoi foile folosite în ordine urmate de foile care nu vrei să fie considerate la notare). Pune foile nefolosite și textul imprimat al problemei la sfârșit.

Nu ai voie să scoți nici o foaie de hârtie în afara sălii de concurs.

Subiectele au fost propuse de

Ion STOICA, Liceul I.H.Rădulescu, Târgoviște

Dănuț DRAGULESU, Grupul Școlar Industrial Nicolae Ciorănescu, Târgoviște

Ion TOMA, I.S.M. București

Adrian DAFINEI, Facultatea de Fizică, Universitatea București

Realizarea montajelor experimentale s-a făcut cu ajutorul

Firmei TERRA-SOFT SRL, Târgoviște

**Problema experimentală A. Interpretarea unei imagini de difracție de electroni.**

Având la dispoziție o imagine de difracție de electroni realizată prin expunerea unei folii foarte subțiri de aur la un fascicul foarte îngust de electroni monoenergetici cu energia de 100keV, se cere determinarea tipului de structură cristalină cubică a aurului și constanta sa de rețea. Între folia de aur și placa fotografică perpendiculară pe fasciculul inițial de electroni este o distanță  $L=75$  cm. Imaginea inițială de difracție obținută pe o placa fotografică a fost mărită de 4 ori(în arie) și prezentată în imaginea atașată.

**Materiale puse la dispoziție:**

- ✓ O imagine mărită de 4 ori a plăcii fotografice impresionate în experimentul de difracție cu electroni pe o folie subțire de aur.
- ✓ O riglă gradată

**Cerințe:**

- a) Calculează lungimea de undă de Boglie  $\lambda$  a electronilor din fasciculul difractat. Consideră următoarele valori ale unor constante fizice: masa electronului  $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , sarcina electronului  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , viteza luminii în vid,  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , constanta Planck,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
- b) Scrie indicii planelor cristaline responsabile de apariția primelor 8 maxime de difracție pentru structurile CS,CFC,CVC.
- c) Arăta că, pentru imaginea de difracție atașată, între diametrele cercurilor de difracție de pe imagine  $D_{hkl}$  și distanțele interplanare  $d_{hkl}$  ale familiilor de plane responsabile de apariția acestor maxime există o legătura de forma  
$$D_{hkl} d_{hkl} = C L \lambda$$
  
Precizează valoarea constantei C.
- d) Măsoară și tablează diametrele cercurilor din imaginea de difracție.  
Determină setul de distanțe interplanare al planelor cristaline care au dat maxime de difracție în imagine
- e) Decide că structura cristalină a aurului este CVC,CFC sau CS.  
Prin analiza grafică a setului de date experimentale deduce constanta rețelei pentru aur.

Pentru rezolvarea corectă a problemei experimentale, este recomandat să citești cu atenție următorul text.

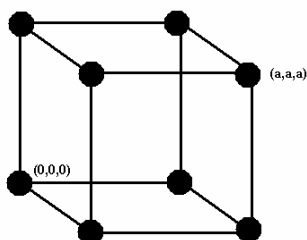
Aranjarea atomilor și moleculelor în corpurile solide diferă de la o substanță la alta. Aceasta se poate concretiza printr-o distribuție dezordonată a atomilor și moleculelor, ca în cazul substanțelor amorphe, sau printr-o distribuție ordonată în spațiu ca în cazul substanțelor cristaline.

Structura regulată a corpurilor solide cristaline conduce la existența unei periodicități care se manifestă prin reproducerea după distanțe egale a așezării atomilor sau moleculelor în lungul unei drepte duse prin cristal.

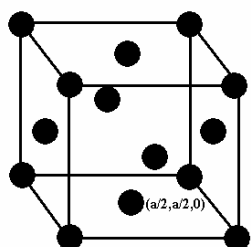
Structura cristalină este descrisă de rețeaua sa geometrică și de bază. Rețeaua geometrică este mulțimea de puncte discrete din spațiu determinate de vectorul

$$\vec{R}_n = n_1 \cdot \vec{a}_1 + n_2 \cdot \vec{a}_2 + n_3 \cdot \vec{a}_3 \quad (1)$$

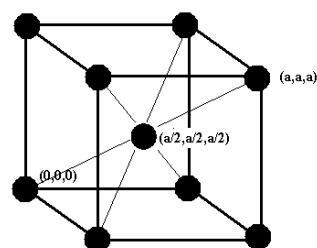
unde  $n_1, n_2, n_3$  sunt trei numere întregi iar  $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$  sunt trei vectori necoplanari numiți vectori fundamentali ai rețelei. Punctele definite de relația (1) se numesc noduri ale rețelei. Baza reprezintă atomul sau grupul de atomi situat în fiecare nod al rețelei. Prin translația paralelipipedului construit pe vectorii fundamentali pe direcțiile acestora, se poate reconstrui întreaga rețea. Acest paralelipiped este denumit celulă elementară a rețelei. Între rețelele cristaline, unele au ca celulă elementară un cub. Latura cubului  $a$ , se numește constanta rețelei. Trei astfel de celule elementare



sunt prezentate mai jos. Celula rețelei cubice simple, CS, având noduri dispuse în vârfurile unui cub de latură  $a$ , în pozițiile de coordonate  $(0,0,0), (a,0,0), (0,0,a), (0,a,0), (a,a,0), (a,0,a), (0,a,a), (a,a,a)$ . Întrucât fiecare nod intră în 8 cuburi (octanți având în comun nodul respectiv) se poate spune că celula elementară a cubului simplu conține un nod. Celula rețelei cubice cu față centrată, CFC, având noduri dispuse în vârfurile cubului – ca la CS – și în centrele fețelor acestuia  $\left(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, 0\right), \left(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, a\right), \left(\frac{a}{2}, 0, \frac{a}{2}\right), \left(\frac{a}{2}, a, \frac{a}{2}\right), \left(0, \frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right), \left(a, \frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right)$



Fiecare nod de față intră în două cuburi vecine și deci cota sa de participare într-o celulă elementară este  $\frac{1}{2}$ . Celula elementară a CFC conține deci 4 noduri (3 noduri de față și unul de vârfuri)



Celula rețelei cubice cu volum centrat, CVC, având noduri dispuse în vârfurile cubului – ca la CS – și în centrul acestuia  $\left(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right)$  are 2 noduri pe celula elementară (unul central și unul de vârfuri).

Majoritatea metalelor cristalizează în una din aceste trei structuri.

În interiorul unui cristal pot fi considerate diferite plane cristaline. Acestea sunt plane paralele, identic umplute cu atomi, separate prin distanțe egale. Distanța interplanară este specifică familiei de plane cristaline. Pentru rețelele cubice distanțele interplanare au expresia

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (2)$$

cu  $h, k, l$  numere întregi reprezentând indicii familiei de plane.

La iradierea cu o radiație de lungime de undă  $\lambda$  - comparabilă cu distanța interplanară, structura regulată a planelor cristaline produce difracția radiației după direcții separate față de direcția radiației incidente prin unghiuri  $2\theta$  pentru care:

$$2d_{hkl} \sin \Theta = \lambda \quad (3)$$

Amplitudinea  $A$  a radiației difractate depinde de caracteristicile interacției dintre baza rețelei (atomul sau molecula dispusă periodic în rețea), structura geometrică a acesteia, și numărul de celule elementare. Intensitatea radiației difractate de planul de indici  $(h, k, l)$ , pentru un cristal care conține  $M$  celule elementare cubice, în care  $n$  atomi sunt dispuși în celula elementară în pozițiile  $(x_i, y_i, z_i)$  cu  $i=1, 2, \dots, n$  și pentru care interacția atom-radiație este descrisă de factorul atomic  $f$  este

$$A = M \sum_{j=1}^n f \cos \left( \frac{2\pi}{a} (x_j h + y_j k + z_j l) \right) \quad (4)$$

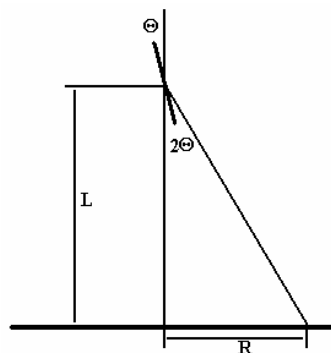
unde  $n=1$  pentru CS,  $n=4$  pentru CFC și  $n=2$  pentru CVC.

Suma de mai sus va avea deci:

- Un membru - corespunzător atomului de coordonate  $(0,0,0)$  pentru CS
- 4 membri - corespunzător atomilor de coordonate  $(0,0,0)$ ,  $(a/2, a/2, 0)$ ,  $(0, a/2, a/2)$ ,  $(a/2, 0, a/2)$  pentru CFC
- 2 membri - corespunzător atomilor de coordonate  $(0,0,0)$  și  $(a/2, a/2, a/2)$  pentru CVC

În funcție de paritatea numerelor  $h, k, l$  este cu puțința ca anumite combinații de indici de plane să conducă la anularea amplitudinii; corespunzător, planele respective nu dau maxime de difracție. Determinarea din imaginea de difracție a planelor care nu dau maxime de difracție poate furniza informații asupra tipului de structură cristalină al cristallului pe care s-a făcut difracția.

Interpretarea rezultatelor experimentelor de difracție constă în găsirea legăturii dintre poziția și intensitatea maximelor de difracție și caracteristicile rețelei cristaline. Operația, numită indexare, este specifică fiecărei metode experimentale.

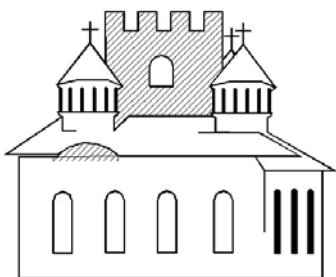


Utilizând microscopul electronic doar ca generator al unui fascicul de electroni, se poate realiza difracția electronilor pe straturi subțiri conductoare. Difracția se realizează bine atunci când lungimea de undă a radiației folosite este comparabilă cu constantă rețelei cristaline (structura periodică pe care se realizează difracția în acest caz).

Schema experimentului este prezentată în figură. Fasciculul de electroni monoenergetici reprezentat prin linia verticală cade pe un strat subțire cristalin, constituit din numeroase mici cristale orientate haotic. Într-unul din cristale fasciculul cade sub unghiul  $\theta$  pe planul cristalin  $(h, k, l)$  reprezentat prin oblica groasă din desen care-l difractă sub unghiul  $\theta$ . La distanța  $L$  de cristal și perpendicular pe direcția inițială a fasciculului de electroni este dispusă o placă fotografică. Fasciculul de electroni împrăștiat de planul  $(h, k, l)$  din toate cristalele pe pânza de con de unghi la vârf  $2\theta$  determină apariția pe placa fotografică a unui cerc de rază  $R$ . Evident

$$\tan 2\Theta = \frac{R}{L} = \frac{D}{2L} \quad (5)$$

unde  $D$  este diametrul cercului reprezentând maximul de difracție datorat familiei de plane  $(h, k, l)$ .



Ministerul Educației și  
Cercetării  
Olimpiada Națională de Fizică  
Târgoviște – 2002

**Proba experimentală**



Foaie de răspunsuri la problema A

- a) Formula de calcul relativist pentru lungimea de undă de Broglie a electronului la 100keV este

Lungimea de undă calculată este :

- b) Indicii primelor 8 plane cristaline care dau maxime de difracție sunt :

CS								
CFC								
CVC								

- c) Valoarea constantei C este

- d)

D								
d								
hkl								

- e) Raportul diametrelor primelor două linii este:

Structura cristalină a aurului este:

Constanta sa de rețea este:

### **Problema experimentală B. Difractometru cu CDROM.**

Folosind o rețea de difracție prin reflexie care este de fapt o fâșie dintr-un CDROM, vei analiza difracția radiației pointerului cu laser. Vei determina lungimea de undă a radiației pointerului și vei descrie diferite figuri de difracție.

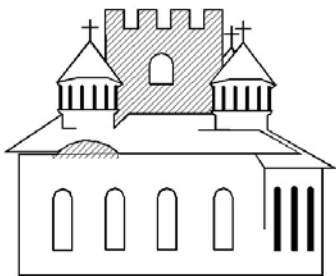
#### **Materiale puse la dispoziție:**

- ✓ Un pointer laser prins într-un suport; prin manevrarea corespunzătoare, pointerul poate fi pus în stare de funcționare permanentă.
- ✓ Un suport pentru fâșia de CDROM reprezentând rețeaua de difracție. Rețeaua, are 620 trasături pe milimetru și se poate roti prin rotirea suportului său în axul cu care este prevăzută.
- ✓ Riglă, echer și raportor pentru măsurarea distanțelor și unghiurilor.



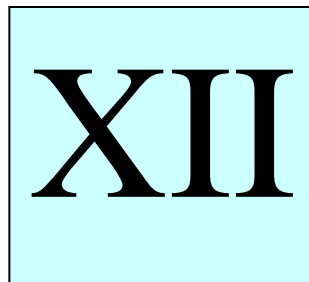
#### **Cerințe:**

- a) *Scrie relația care să permită interpretarea imaginilor de difracție prin reflexie.*
- b) *Determină condițiile de apariție a maximelor de difracție și fă măsurări în cel puțin 5 astfel de situații.*
- c) *Determină numărul de maxime de difracție observabile dacă normala la rețea face  $30^\circ$  cu direcția radiației laser.*
- d) *Determină raportul dintre lungimea de undă a radiației laser și constanta rețelei de difracție, d*  
*Determină lungimea de undă a radiației laser folosite în experiment.*



Ministerul Educației și  
Cercetării  
Olimpiada Națională de Fizică  
Târgoviște – 2002

***Proba experimentală***



## Foaie de răspunsuri la problema B

a) Formula de interpretare a imaginii de difracție este

b) Unghiurile care caracterizează maximele de difracție sunt :


Rizurile rețelei de difracție sunt :

☐ Orizontale

☐ Verticale

(Taie opțiunea incorectă )

c) Numărul de maxime la incidența din enunț este :

La dreapta

La stânga fasciculului incident

d) Raportul  $\lambda/d$  este:

Lungimea de undă a radiației pointerului este: