



MINISTERUL EDUCAȚIEI
Olimpiada Națională de Fizică
Brașov 21-26 aprilie 2024
Proba practică
Clasa a XII-a



Pagina 1 din 4

Subiectul I

Robert Andrews Millikan (10 puncte)

În articolul publicat în anul 1911 în revista „The Physical Review”, Robert Millikan prezenta metoda și rezultatele experimentale legate de măsurarea valorii sarcinii electrice elementare. Un nor de picături fine de ulei (cu densitatea $\rho_{\text{ulei}} = 919,9 \text{ kg/m}^3$) a fost pulverizat în aerul (cu masa molară $\mu_{\text{aer}} = 28,959 \text{ g/mol}$ și temperatura $t = 22,82 \text{ }^\circ\text{C}$) care ocupa spațiul dintre plăcile orizontale ale unui condensator plan (aflate la $d = 16 \text{ mm}$ una față de alta). Picăturile au fost iluminate astfel încât să apară strălucitoare în câmpul vizual al lunetei laterale de observare. Alegând una dintre picături și urmărind mișcarea acesteia, s-a observat că ea cobora lent și uniform sub acțiunea greutății aparente și a unei forțe de rezistență la înaintare în aer (cu $\eta_{\text{aer}} = 1,824 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$). Înainte de a ajunge la armătura inferioară, o tensiune electrică ($U = 5251 \text{ V}$) aplicată condensatorului schimba sensul de mișcare uniformă a picăturii. Apoi, înainte de a ajunge la armătura superioară, tensiunea electrică era anulată și picătura cobora din nou, mișcarea repetându-se pe o durată nedefinită. Pe parcursul urmăririi sale, picătura putea capta unul dintre ionii existenți în mod normal în aer sau produși folosind un fascicul de raze X, modificându-și în consecință sarcina electrică. Faptul că un ion a fost captat și momentul exact în care a avut loc evenimentul au fost semnalate observatorului prin modificarea vitezei picăturii sub influența câmpului electric. Pentru fiecare etapă a mișcării picăturii într-un sens sau altul, a fost măsurat intervalul de timp în care aceasta a parcurs cu viteză constantă (eliminându-se deci intervalele în interiorul cărora se modifica viteza picăturii) distanța ($\ell = 1,01 \text{ cm}$) dintre două fire reticulare orizontale, situate în câmpul vizual al lunetei. Pentru una dintre reprizele de înregistrări ale mișcării picăturii, valorile măsurate ale acestor intervale de timp sunt cuprinse în tabelul 1.

(Se cunosc: presiunea atmosferică normală $p_0 = 101325 \text{ Pa}$, constanta universală a gazului ideal $R = 8314,5 \text{ J/kmol}\cdot\text{K}$, forța de rezistență la înaintarea unei picături sferice într-un mediu vâcos este exprimată prin formula $F_{\text{Stokes}} = 6\pi r\eta v$, unde: r – raza picăturii, v - viteza de înaintare, η - coeficientul de vâscozitate dinamică a mediului.)

Tabelul I

$t_c \text{ (s)}$ (coborâre)	11,848	11,890	11,908	11,904	11,882	11,906	11,838	11,816	11,776	11,840	11,904	11,870	11,952	11,846	11,912	11,910	11,918	11,870	11,888	11,894	11,878
$t_u \text{ (s)}$ (urcare)	80,708	22,366	22,390	22,368	140,565	79,600	34,748	34,762	34,846	29,286	29,236	137,308	34,638	22,104	22,268	500,100	19,704	19,668	77,630	77,806	42,302

Cerințe:

- (3,00 p)** Deduceți expresia razei picăturii vizate în funcție de valorile mărimilor indicate și calculați valoarea ei;
- (5,00 p)** Calculați valoarea sarcinii electrice elementare și indicați abaterea standard a mediei aritmetice a determinărilor ($\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$), unde N este numărul determinărilor;
- (2,00 p)** Reprezentați grafic valoarea sarcinii electrice Q a picăturii vizate (exprimată în sarcini electrice elementare) în funcție de numărul de ordine al trecerii în urcare prin zona dintre firele reticulare.

- Durata probei este de 3 ore.
- Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar neprogramabile.
- Punctajul acordat: 20 puncte pentru rezolvarea cerințelor, fără puncte din oficiu.

Pagina 1 din 4

Subiectul II

Clinton Joseph Davisson & Lester Halbert Germer (10 puncte)

Experimentele legate de difracția electronilor, prezentate în anul 1927 de Davisson & Germer în revista „The Physical Review”, au contribuit la confirmarea teoriei lui Louis de Broglie. În aranjamentul experimental realizat, indicat în

diagrama schematică din figura 1, un fascicul de electroni accelerați într-un tun electronic a fost dirijat sub diferite valori ale unghiului de incidență pe suprafața unui monocristal de nichel care putea fi rotit în jurul unei axe verticale. Intensitatea fasciculului de electroni împrăștiați a fost măsurată (cu ajutorul unui colector legat la un galvanometru și plasat în același plan vertical de incidență) pentru diferite valori ale unghiului de împrăștiere și ale tensiunii de accelerare. Rețeaua cubică cu fețe centrate a cristalului de Ni (care conține câte un atom în fiecare dintre vârfurile unui cub elementar de latură $a = 3,52 \text{ \AA}$ și câte un atom în centrul fiecărei fețe a acestuia) a fost tăiată perpendicular pe una dintre diagonalele cubului (figura 2-a) pentru a expune o suprafață triunghiulară. Distribuția periodică în spațiu a atomilor în cristalul de Ni determină atât un sistem de rețele liniare de constantă D , dispuse în plan, cât și un sistem de plane paralele, la distanța d între rețelele plane adiacente (figura 2-b). În aceste condiții, fenomenele observate pot fi interpretate atât ca rezultat al unei difracții (2D) pe un sistem de rețele liniare din planul cristalului cât și al unei difracții (3D), o împrăștiere pe straturile atomice paralele succesive.

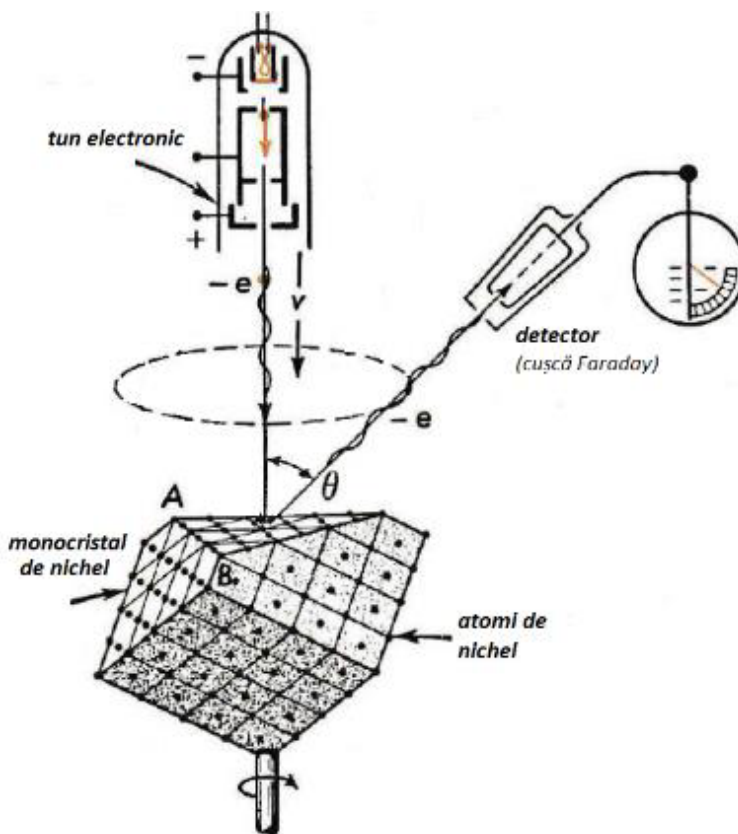
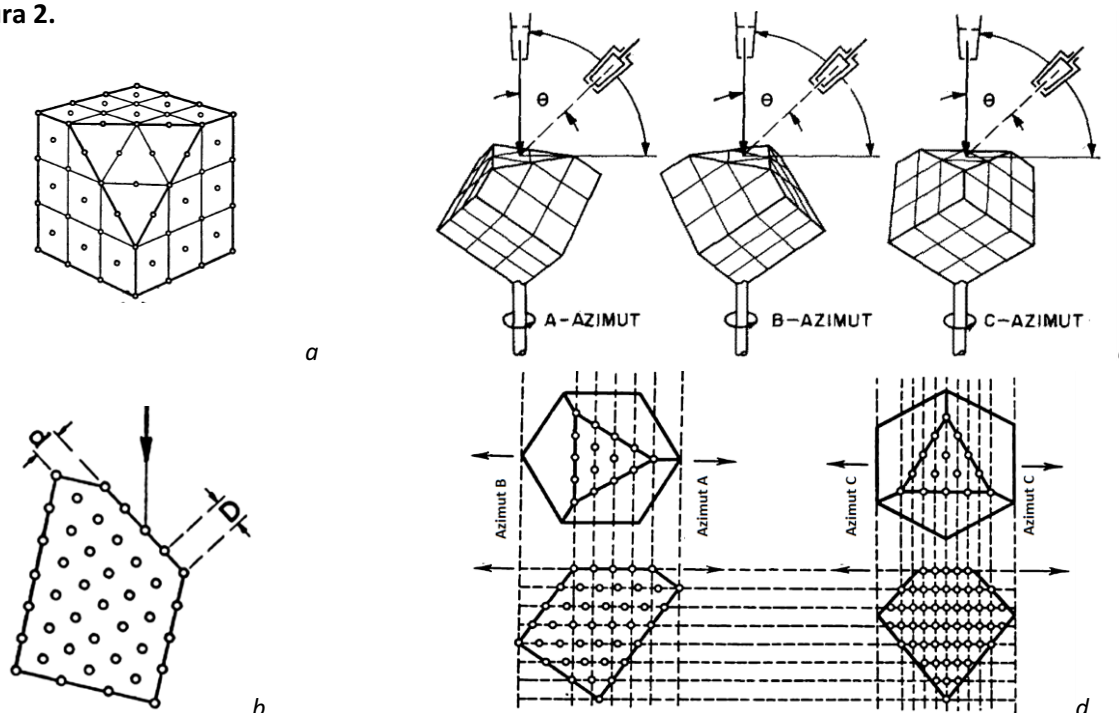


Figura 1.

A. Difracție 2D: Într-o primă etapă, fasciculul de electroni a fost dirijat perpendicular, în centrul feței cristalului și a fost măsurată intensitatea fasciculului de electroni difracțați sub diferite valori (relativ mari față de normala la suprafața cristalului) ale unghiului θ și diferite valori ale tensiunii de accelerare. Cristalul a fost plasat pe rând în trei poziții fixe (azimuturi principale) indicate în figura 2-c. În prima poziție (azimutul A), planul de incidență (plan determinat de direcția fasciculului incident cu direcția de înregistrare a fasciculului difractat) trece prin unul dintre vârfurile suprafeței triunghiulare a cristalului, într-o altă poziție (azimutul B), planul de incidență împarte latura triunghiului în două părți egale, iar în a treia (azimutul C) planul de incidență este paralel cu una din laturile triunghiului. Distribuția atomilor pe suprafața cristalului de nichel este indicată în figura 2-d.

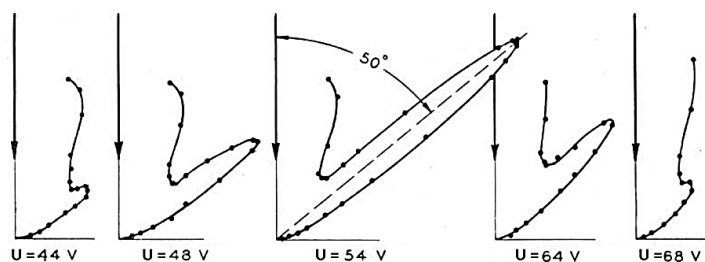
1. Durata probei este de 3 ore.
2. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar neprogramabile.
3. Punctajul acordat: 20 puncte pentru rezolvarea cerințelor, fără puncte din oficiu.

Figura 2.



Valorile din diagrama polară (trasată pentru azimutul A) a intensității fascicului de electroni difracți pentru diferite valori ale tensiunii de accelerare și pentru diferite valori ale unghiului θ dintre fasciculul incident și direcția de înregistrare (figura 3) sunt sintetizate în tabelul II, prin indicarea valorilor tensiunii de accelerare la care au apărut maximele de difracție de ordinul I pentru diferite valori ale unghiului θ și pentru cele trei azimuturi.

Figura 3.



Tabelul II

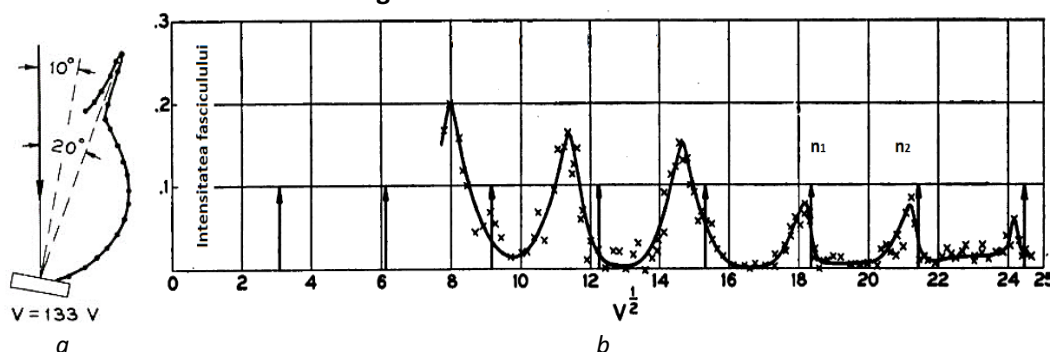
θ	U Azimut A	U Azimut B	U Azimut C
85	32,0	32,5	97,5
80	33,0	34,0	100,0
75	35,0	35,0	103,5
70	36,0	36,5	108,0
65	38,5	35,0	112,5

B. Difracție 3D: În a doua etapă, unghiul de incidență (θ_1) dintre fasciculul incident și normala la suprafața cristalului putea lua diferite valori (relativ mici față de normala la suprafața cristalului). În această etapă, poziționarea cristalului într-unul dintre azimuturile principale nu mai prezintă importanță în contextul regularităților urmărite.

Menținând constant unghiul de incidență la valoarea $\theta_1 = \theta/2 = 10^\circ$, s-a modificat valoarea tensiunii de accelerare (și implicit lungimea de undă). Reflexiile de intensitate maximă (diagrama polară din figura 4-a) apar în situațiile în care este respectată condiția lui Bragg-Wulff. Graficul dependenței intensității fascicului de electroni reflectați în funcție de tensiunea de accelerare (figura 4-b) este sintetizat în tabelul III, prin indicarea valorilor experimentale ale tensiunii de accelerare la care apar maximele de reflexie.

1. Durata probei este de 3 ore.
2. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar neprogramabile.
3. Punctajul acordat: 20 puncte pentru rezolvarea cerințelor, fără puncte din oficiu.

Figura 4



Tabelul III

$U^{1/2}_{\text{experim}}$
[5,3]
8,0
11,4
14,7
18,1
21,2
24,2

Se poate observa că poziționarea acestor maxime diferă de cea rezultată din condiția lui Bragg, indicată în grafic prin săgeți verticale (figura 4-b). O punere de acord a descrierii poziționării maximelor de reflexie a fost obținută prin luarea în considerare a unui indice de refracție al cristalului pentru fasciculul de electroni reflectați și generalizarea, în concordanță, a relației lui Bragg-Wulff.

Cerințe:

II.A. Difrakție 2D:

- (1,00 p)** Calculați geometric valoarea constantei rețelei liniare de difrakție D pentru fiecare dintre azimuturile A, B și C în funcție de latura celui mai mic cub format de atomii de Ni, $a = 3,52 \text{ Å}$;
- (1,50 p)** Pe baza datelor experimentale și a valorilor calculate la punctul anterior, calculați valoarea constantei lui Planck și prezentați rezultatul indicând precizia determinării;
- (1,50 p)** Calculați, utilizând datele experimentale (tabelul II), *valoarea experimentală* a constantelor rețelelor liniare de difrakție D_{exp} pentru fiecare dintre azimuturile A, B și C și indicați precizia determinărilor;

II.B. Difrakție 3D:

- (1,00 p)** Calculați ordinele n_1 și n_2 ale maximelor de reflexie indicate în figura 4-b, în condițiile relației lui Bragg;
- (0,50 p)** Calculați geometric valoarea distanței interplanare minime d din cristalul de Ni pentru aranjamentul experimental utilizat;
- (1,50 p)** Calculați, utilizând datele experimentale (tabelul III), valoarea distanței interplanare d_{exp} și indicați precizia determinării;
- (1,00 p)** Completați datele din tabelul III cu o coloană de valori pentru puterea $\frac{1}{2}$ a tensiunii de accelerare, $(U')^{1/2}$ la care ar trebui să se obțină maximele de reflexie pentru un unghi de incidență $\theta_1 = 10^\circ$ și o distanță interplanară $d = 2,03 \text{ Å}$ în condițiile legii lui Bragg;
- (1,00 p)** Găsiți o generalizare a formulei Bragg-Wulff în condițiile în care se ia în considerare un indice de refracție μ supraunitar în interiorul metalului;
- (1,00 p)** Completați datele din tabelul III cu o coloană de valori ale indicelui de refracție al cristalului pentru valorile tensiunilor de accelerare măsurate.

Probleme propuse de:

Prof. Mircea Noru PARPALEA – Colegiul Național „Andrei Șaguna” Brașov
Prof. Mircea Paul TĂNĂSESCU – Colegiul Național „Andrei Șaguna” Brașov