

CUPRINS

Cuvânt înainte	7
Introducere	9
T. Elemente de calculul erorilor	11
1. Determinarea densității unui corp solid – corpuri geometrice regulate	14
2. Determinarea densității unui corp solid – corpuri de forme neregulate	16
3. Verificarea legilor reflexiei și refracției luminii	19
4. Determinarea indicelui de refracție al unei lame cu fețe plan paralele	22
5. Studiul prisme optice	24
6. Determinarea distanței focale a unei oglinzi concave	26
7. Determinarea distanței focale a unei lentile convergente	28
8. Determinarea distanței focale a unei lentile divergente	30
9. Studiul sistemului lentilă – oglindă sferică	32
10. Studiul sistemului telescopic	34
11. Studiul aberațiilor optice ale lentilelor convergente	37
12. Verificarea legilor mișcării rectilinii uniforme	40
13. Verificarea legilor mișcării rectilinii uniform accelerate	43
14. Determinarea accelerației gravitaționale din studiul căderii libere	47
15. Verificarea legii a doua a dinamicii	50
16. Determinarea constantei de elasticitate a unui resort	53
17. Legarea resorturilor	56
18. Verificarea legilor frecării de alunecare	59
19. Determinarea coeficientului de frecare la alunecare, prin metoda tribometrului	62
20. Determinarea densității unui corp solid, folosind legea lui Arhimede	65
21. Verificarea legii conservării energiei mecanice	67
22. Studiul randamentului planului înclinat	70
23. Studiul ciocnirii elastice	72
24. Studiul ciocnirii plastice	77
25. Studiul ciocnirii inelastice	82
E. Barem de evaluare	86
Bibliografie	87

T. ELEMENTE DE CALCULUL ERORILOR

1. Clasificarea măsurărilor (determinări de mărimi fizice):

1. măsurări directe, ex.: lungimea, masa, timpul, temperatura, tensiunea electrică etc.;
2. măsurări indirecte, ex.: viteza, constanta de elasticitate, forța, accelerația, rezistența electrică etc.

Orice măsurătoare fizică implică întotdeauna erori.

2. Clasificarea erorilor

1. **Erori de măsură:** sunt inevitabile, se datorează imperfecțiunii simțurilor și aparatelor de măsură;
2. **Erori de rotunjire:** în calcule apar numere iraționale, folosite cu un număr *finit* de zecimale;
3. **Erori de metodă:** o problemă reală (dată) se aproximează cu una mai simplă, ceea ce implică o anumită eroare;
4. **Erori sistematice** – au același sens; pot fi:
 - 4.a. instrumentale – aparate defecte: deplasarea scalei, etalonare defectuoasă a aparatului de măsură;
 - 4.b. personale – lipsa deprinderilor experimentale;
 - 4.c. teoretice – neglijarea unor acțiuni exterioare, a unor factori fizici, formulă de calcul greșită etc.
5. **Erori accidentale** (întâmplătoare, aleatorii):
 - se pot datora: imperfecțiunii organelor de simț ale observatorului, lipsei acestuia de abilitate, variațiilor neprevăzute apărute în condițiile de efectuare a experimentului;
 - se produc în ambele sensuri;
 - se înlătură prin repetarea măsurărilor în aceleași condiții și luarea *mediei aritmetice*.
6. **Erori grosolane** (greșeli) – se pot datora:
 - neatenției observatorului;
 - citirii greșite;
 - notării greșite a rezultatelor;
 - confuziilor etc.

3. Eroarea absolută în măsurări indirecte

În măsurări indirecte, mărimea care se determină nu se măsoară direct: se măsoară alte mărimi (măsurători directe) și, folosind anumite formule deduse pe baza legilor fizicii, se determină mărimea respectivă (mărimea se obține prin *calcul*).

y – mărimea care se determină prin măsurare indirectă;

Pentru fiecare măsurătoare j , mărimea de determinat (y) este o funcție de mărimile x_i măsurabile direct:

$$y_j = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n). \quad (1)$$

y_j – valoarea determinată în măsurătoarea j ; N – numărul de măsurări indirecte (măsurătorile se pot repeta), $N \geq 10$;

\bar{y} sau y_m – *valoarea medie*; valoarea cea mai probabilă (cea mai bună) a mărimii măsurate (măsurările se repetă):

$$\bar{y} = y_m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j=N} y_j \quad (2)$$

Eroarea absolută (eroarea maximă a funcției) se poate calcula în două moduri:

1. Nu se ține cont de eroarea maximă de citire (δx_i), specifică instrumentelor sau aparatelor folosite.

Δy_j – *eroarea absolută* (maximă) a măsurătorii j :

$$\Delta y_j = |y_j - y_m|. \quad (3)$$

$\overline{\Delta y}$ sau $(\Delta y)_m$ – eroarea absolută medie:

$$\overline{\Delta y} = (\Delta y)_m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j=N} \Delta y_j. \quad (4)$$

Rezultatul măsurărilor indirecte efectuate se scrie sub forma:

$$y = \bar{y} \pm \overline{\Delta y} = y_m \pm (\Delta y)_m. \quad (5)$$

2. Se ține cont de eroarea maximă de citire (δx_i), specifică instrumentelor sau aparatelor folosite δy_j – eroarea absolută (maximă) a măsurătorii j ; se calculează ținând cont de eroarea maximă de citire (δx_i), specifică instrumentului sau aparatului folosit (erorile funcțiilor);

δx_i – eroarea maximă de citire (cea mai mică diviziune – sau jumătate din ea - marcată pe scală):

$$\delta f = \delta y_j = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \delta x_i \quad (6)$$

unde: $\left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|$ – derivata parțială a lui f la x_i (în modul).

$\overline{\delta y}$ sau $(\delta y)_m$ – eroarea absolută medie:

$$\overline{\delta y} = (\delta y)_m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j=N} \delta y_j. \quad (7)$$

Rezultatul măsurărilor indirecte efectuate se scrie sub forma:

$$y = \bar{y} \pm \overline{\delta y} = y_m \pm (\delta y)_m. \quad (8)$$

4. Eroarea relativă (aparentă) în măsurări indirecte

Eroarea relativă este un număr, se exprimă în procente, caracterizează precizia măsurării, permite compararea preciziei de măsurare a mărimilor de naturi diferite. Se poate calcula în mai multe moduri:

1. Se cunoaște valoarea mărimii care se măsoară (y_r), eroarea relativă (*experimentală*) este:

$$\varepsilon_y = \frac{y_m - y_r}{y_r}. \quad (9)$$

2. Nu se ține cont de eroarea maximă de citire (δx_i), specifică instrumentelor sau aparatelor folosite

$\overline{\varepsilon_y}$ sau $(\varepsilon_y)_m$ – eroarea relativă medie:

$$\overline{\varepsilon_y} = (\varepsilon_y)_m = \frac{(\Delta y)_m}{y_m}. \quad (10)$$

3. Se ține cont de eroarea maximă de citire (δx_i), specifică instrumentelor sau aparatelor folosite ε_{y_j} sau ε_f eroarea relativă (*maximă*) a măsurătorii j :

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{y_j} = \frac{\delta f}{|f|} = \frac{\delta y_j}{y_j} \quad (11)$$

$\overline{\varepsilon_y}$ sau $(\varepsilon_y)_m$ – eroarea relativă medie:

$$\overline{\varepsilon_y} = (\varepsilon_y)_m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j=N} \varepsilon_{y_j}. \quad (12)$$

Evaluarea gradului de precizie este importantă în măsurările indirecte (cam același ordin de mărime pentru măsurările intermediare).

5. Formule aproximative de calcul

Dezvoltarea în serie Taylor a unei funcții:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{(x - x_0)}{1!} f'(x_0) + \frac{(x - x_0)^2}{2!} f''(x_0) + \dots \quad (13)$$

Când: $|x| \ll 1, |y| \ll 1, \dots$ este valabilă relația (14):

$$(1 + x)(1 + y)(1 + z) \dots \approx 1 + x + y + z + \dots \quad (14)$$

Când: $|x| \ll 1$, sunt valabile relațiile: (15) - (20):

$$(1+x)^r \approx 1+rx \quad (15)$$

$$\sqrt{1 \pm x} \approx 1 \pm \frac{x}{2} \quad (16)$$

$$\frac{1}{1 \pm x} \approx 1 \mp x \quad (17)$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 \pm x}} \approx 1 \mp \frac{x}{2} \quad (18)$$

$$e^x \approx 1+x \quad (19)$$

$$\ln(1+x) \approx x - \frac{x^2}{2}. \quad (20)$$

Când: $|x_i| \ll 1; |y_j| \ll 1$, este valabilă relația (21):

$$\frac{\prod_{i=1}^n (1+x_i)}{\prod_{j=1}^m (1+y_j)} \approx 1 + \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{j=1}^m y_j. \quad (21)$$

Când: $x < \frac{\pi}{30} \text{ rad}$, sunt valabile relațiile: (21) - (23):

$$\sin x \approx x - \frac{x^3}{6} \quad (21)$$

$$\cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2} \quad (22)$$

$$\operatorname{tg} x \approx x + \frac{x^3}{3}. \quad (23)$$

6. Structura unei lucrări de laborator (referat)

Titlu

1. Teoria lucrării
2. Aparat și materiale necesare
3. Mod de lucru
4. Rezultate experimentale
5. Prelucrarea datelor experimentale
6. Surse de erori

DETERMINAREA DENSITĂȚII UNUI CORP SOLID CORPURI GEOMETRICE REGULATE

1. TEORIA LUCRĂRII

Densitatea unei substanțe este masa unității de volum din acea substanță:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Pentru determinarea densității trebuie măsurate atât masa cât și volumul corpului. În această lucrare se determină *densitatea* unei substanțe, ρ , măsurând masele și volumele unor corpuri geometrice regulate, de forme diferite, confecționate din substanța respectivă.

2. APARATE ȘI MATERIALE NECESARE

□ corpuri geometrice regulate, de forme diferite, confecționate din substanța a cărei densitate se determină (fig. 1), șubler, cântar, tabel de densități (metale).

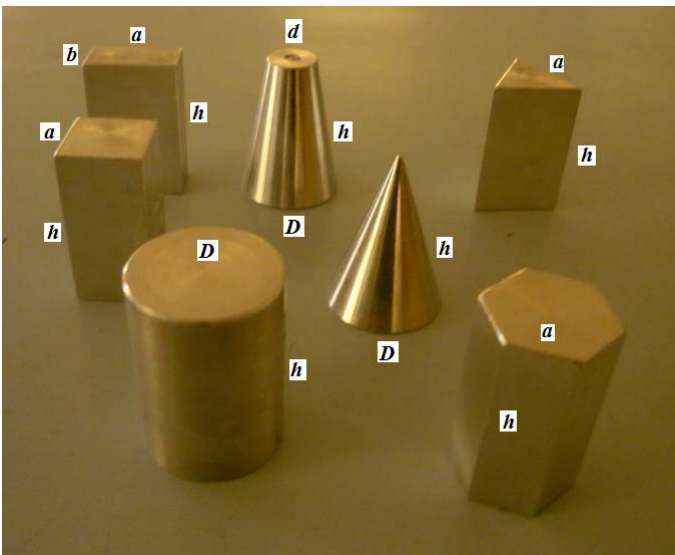


Fig. 2



Fig. 1

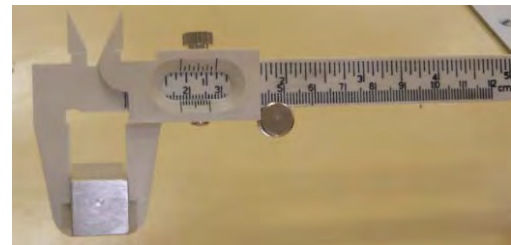


Fig. 3

3. MOD DE LUCRU

- Se determină, cu ajutorul cântarului, masa m a unuia dintre corpuri.
- Se măsoară, cu șublerul, următoarele lungimi: a – latura pătratului (prisma pătrată), latura triunghiului (prisma triunghiulară), latura hexagonului (prisma hexagonală), lungimea dreptunghiului (paralelipiped); b – lățimea dreptunghiului (paralelipiped); D – diametrul cilindrului, diametrul conului, diametrul bazei mari a trunchiului de con; d – diametrul bazei mici a trunchiului de con; h – înălțimea fiecărui corp (fig. 2, 3).
- Pentru fiecare corp, se calculează volumul V , folosind formulele indicate în tabel.
- Pentru fiecare corp, se calculează densitatea ρ , folosind relația (1).

4. REZULTATE EXPERIMENTALE

- Valorile experimentale obținute se trec în tabelul următor.

Corp	m (g)	a (mm)	b (mm)	D (mm)	d (mm)	h (mm)	V (cm ³)	V (cm ³)	ρ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	ρ_m ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	$\Delta\rho$ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	$(\Delta\rho)_m$ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	ε_ρ (%)
Con		😊	😊	,-	😊	,-	$\frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{12}$,-					
Cilindru		😊	😊	,-	😊	,-	$\frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4}$,-					
Trunchi de con		😊	😊	,-	,-	,-	$\frac{\pi \cdot h \cdot (d^2 + D^2 + d \cdot D)}{12}$,-					
Prismă hexagonală		,-	😊	😊	😊	,-	$\frac{3\sqrt{3} \cdot a^2 \cdot h}{2}$,-					,-
Prismă pătrată		,-	😊	😊	😊	,-	$a^2 \cdot h$,-					
Prismă triunghiulară		,-	😊	😊	😊	,-	$\frac{\sqrt{3} \cdot a^2 \cdot h}{4}$,-					
Paralelipiped (prismă dreptunghiulară)		,-	,-	😊	😊	,-	$a \cdot b \cdot h$,-					

5. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

Densitatea substanței din care sunt confecționate corpurile este:

$$\rho = (\dots \pm \dots) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3},$$

adică substanța este un aliaj care conține preponderent (se va folosi tabelul de densități, pentru identificare).

Densitatea de *forma* și *dimensiunile* corpurilor (în limita erorilor experimentale).

6. SURSE DE ERORI

-
-
-

DETERMINAREA DENSITĂȚII UNUI CORP SOLID. CORPURI DE FORME NEREGULATE

1. TEORIA LUCRĂRII

Densitatea unei substanțe este masa unității de volum din acea substanță:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Pentru determinarea densității trebuie măsurate atât masa cât și volumul corpului. În această lucrare se determină *densitatea* unei substanțe, ρ , măsurând masele și volumele unor corpuri diferite, de forme neregulate, confecționate din substanța respectivă.

2. APARATE ȘI MATERIALE NECESARE

- corpuri diferite, de forme neregulate, confecționate din substanța a cărei densitate se determină (fig. 2), hârtie milimetrică, soft pentru grafice (*Graph*);
- cilindru gradat (fig. 1, 3), apă, cântar, tabel de densități (metale), riglă.

3. MOD DE LUCRU

- Se determină, cu ajutorul cântarului, masa m a unuia dintre corpuri.
- Se toarnă apă în cilindru și se citește volumul V_0 (fig. 1).
- Se introduce corpul în cilindru și se citește noul volum al apei, V' (fig. 3).
- Se calculează: volumul corpului V , *densitatea* ρ (relația 1), *eroarea absolută* $\delta\rho$ și *eroarea relativă* ε_ρ :

$$V = V' - V_0 \quad (2)$$

$$\delta\rho = \frac{\delta m}{V} + \frac{2 \cdot m \cdot \delta V}{V^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon_\rho = \frac{\delta\rho}{\rho} \quad (4)$$

unde: δm ; δV – *eroarea maximă de citire* (valoarea celei mai mici diviziuni – sau jumătate din ea – marcată pe cântar, respectiv pe cilindrul gradat).

- Se repetă operațiile anterioare pentru fiecare corp în parte.

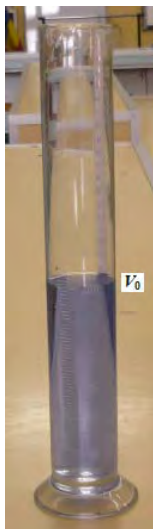


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

4. REZULTATE EXPERIMENTALE

Valorile experimentale obținute se trec în tabelul care urmează.

Nr. măs.	m (g)	δm (g)	V_0 (cm ³)	δV (cm ³)	V' (cm ³)	V (cm ³)	ρ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	ρ_m ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	$\delta\rho$ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	$(\delta\rho)_m$ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	ε_ρ (%)	$(\varepsilon_\rho)_m$ (%)
1			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	
2			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	
3			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	
4			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	
5			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	
6			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	-, -
7			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	
8			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	
9			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	
10			-, -	-, -	-, -	-, -					-, -	

5. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

Densitatea substanței din care sunt confecționate corpurile este:

$$\rho = (\dots \pm \dots) \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3},$$

adică substanța este un aliaj care conține preponderent (se va folosi tabelul de densități, pentru identificare).

Densitatea de *forma* și *dimensiunile* corpurilor (în limita erorilor experimentale).

Pe baza datelor din tabel se reprezintă grafic, pe hârtie milimetrică și folosind un soft pentru grafice, dependența masei m de volumul V .

Graficul este o dreaptă crescătoare (fig. 4; 5).

Din graficul obținut pe hârtie milimetrică (fig. 4), se determină panta dreptei: $\text{tg } \alpha = \dots$ și se calculează:

$$\rho_g = \text{tg } \alpha = \dots \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}.$$

Din graficul trasat cu programul (fig. 5), se determină panta dreptei: $\text{tg } \alpha = \dots$ și se calculează:

$$\rho_c = \text{tg } \alpha = \dots \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}.$$

Se compară valorile *densității* obținute experimental: < <

6. SURSE DE ERORI

-
-
-

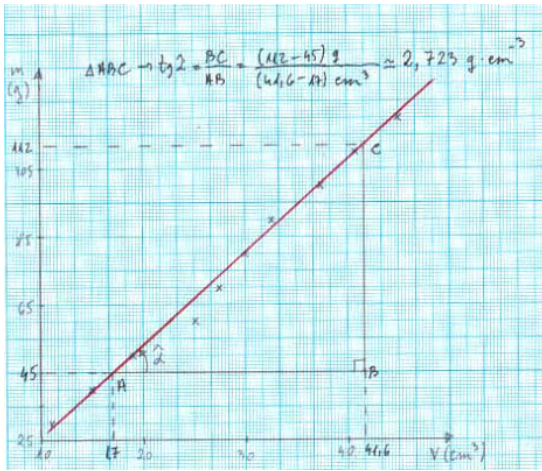


Fig. 4

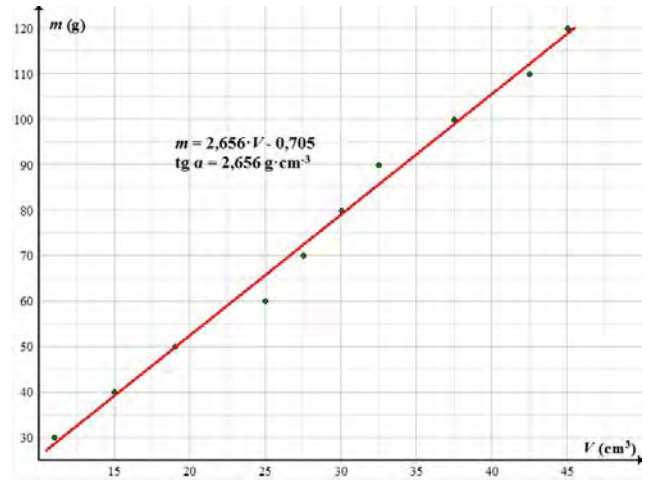


Fig. 5

VERIFICAREA LEGILOR REFLEXIEI ȘI REFRAȚIEI LUMINII

1. TEORIA LUCRĂRII

La suprafața de separare, plană sau curbă, a două medii transparente, lumina își schimbă direcția de propagare, producându-se două fenomene: **reflexia** și **refracția**. **Reflexia** luminii constă în întoarcerea parțială a acesteia în mediul din care a venit, iar **refracția** constă în schimbarea bruscă a direcției de propagare la trecerea în celălalt mediu. Aceste fenomene respectă următoarele legi:

1) Raza incidentă (**R.I.**), normala la suprafața de separare în punctul de incidență (**IN**), raza reflectată (**R. Refl.**) și raza refractată (**R. Refr.**) sunt coplanare (fig. 1, 3).

2) **Reflexie:**

$$\hat{i} = \hat{r}' \quad (1)$$

refracție:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} = n_r = \text{const.} \quad (2)$$

unde: n_r – indicele de refracție relativ al mediului 2 (ex: sticlă) față de mediul 1 (ex: aer).

Lucrarea de laborator are două teme:

- verificarea legilor reflexiei și refracției;
- determinarea indicelui de refracție relativ, n_r , al unui corp, folosind relația (2).

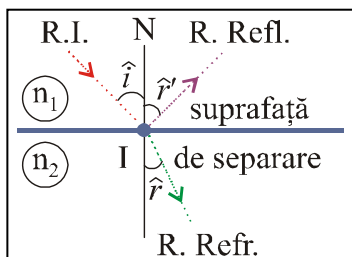


Fig. 1

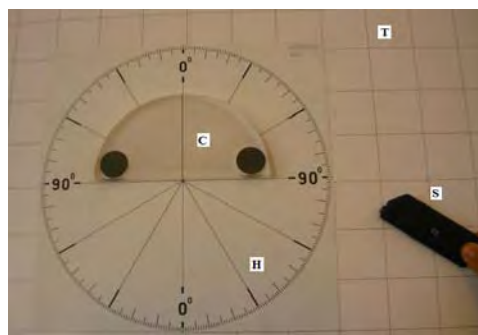


Fig. 2

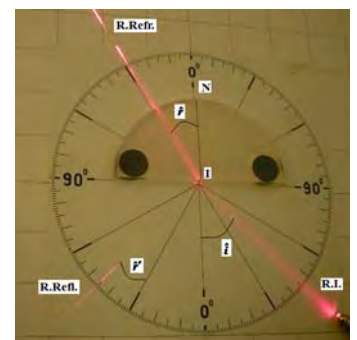


Fig. 3

2. APARATE ȘI MATERIALE NECESARE

- semicilindru transparent (C) (sticlă, plexiglas etc.) (fig. 2);
- suport împărțit în pătrate cu latura de 5 cm (tablă magnetică) (T), soft pentru grafice (Graph);
- disc gradat Hartl (H), sursă de lumină (S) (diodă laser-LED) (fig. 2, 3);
- calculator (tabel de funcții trigonometrice), riglă, hârtie milimetrică.

3. MOD DE LUCRU

Se așază discul Hartl pe tabla magnetică astfel încât linia orizontală dintre (90°) și (90°) să se suprapună peste o linie orizontală a tablei magnetice (fig. 3).

Se așază semicilindrul cu centrul său, I, în centrul discului; linia verticală dintre (0°) și (0°) reprezintă normala IN la suprafața plană a semicilindrului (fig. 3).

Se trimite pe fața plană a semicilindrului o rază incidentă (R.I.) în punctul I, astfel încât raza reflectată (R. Refl.) și raza refractată (R. Refr.) să fie vizibile (fig. 3).

Se observă planul în care se află R.I., IN, R. Refl. și R. Refr. (fig. 3).

- Se măsoară: unghiul de incidență, \hat{i} , unghiul de reflexie, \hat{r}' , și unghiul de refracție, \hat{r} .
- Folosind relația (2) se calculează indicele de refracție relativ al semicilindrului față de aer, n_r .
- Se modifică direcția razei incidente (valoarea unghiului \hat{i}) și se repetă operațiile anterioare.

4. REZULTATE EXPERIMENTALE

- Valorile experimentale obținute se trec în tabelul care urmează.

Nr. măs.	\hat{i} (°)	$\sin \hat{i}$	\hat{r}' (°)	\hat{r} (°)	$\sin \hat{r}$	n_r	$(n_r)_m$	Δn_r	$(\Delta n_r)_m$	$(\varepsilon_{n_r})_m$ (%)
1		-,----			-,----	-,--		-,--		
2										
3										
4										
5										
6							-,--		-,--	-,--
7										
8										
9										
10										

5. PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

Se constată că: raza incidentă (**R.I.**), normala la suprafață în punctul de incidență (**IN**), raza reflectată (**R. Refl.**) și raza refractată (**R. Refr.**) sunt

- Pentru reflexie: unghiul de incidență \approx , iar pentru refracție:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} \approx \dots \approx \dots \quad (\text{în limita erorilor experimentale}).$$

- Indicele de refracție relativ al semicilindrului față de aer este:

$$n_r = (\dots, \dots \pm \dots, \dots)$$

Pe baza datelor din tabel, se reprezintă grafic, folosind un program pentru reprezentări grafice: $\hat{r}' = f(\hat{i})$. Graficul este o dreaptă crescătoare (prima bisectoare) (fig. 4).

Din graficul $\hat{r}' = f(\hat{i})$ (fig. 4), se determină panta dreptei: $\text{tg } \alpha = \dots, \dots$; se calculează $\alpha = \arctg \dots, \dots \approx \dots, \dots$; se compară cu valoarea teoretică $\alpha_0 = 45^\circ$: $\dots < \dots$ și se calculează

eroarea relativă: $\varepsilon_\alpha = \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0} = \dots, \dots \%$.

Pe baza datelor din tabel, se reprezintă grafic, pe hârtie milimetrică și folosind un soft pentru grafice: $\sin \hat{r} = f(\sin \hat{i})$. Graficul este o dreaptă crescătoare (fig. 5, 6).

Din graficul $\sin \hat{r} = f(\sin \hat{i})$ obținut pe hârtie milimetrică (fig. 5), se determină panta dreptei: $\text{tg } \alpha = \dots, \dots$ și se calculează: $n_r^s = \frac{1}{\text{tg } \alpha} = \dots, \dots$

Din graficul $\sin \hat{r} = f(\sin \hat{i})$ trasat folosind programul (fig. 6), se determină panta dreptei: $\text{tg } \alpha = \dots, \dots$ și se calculează: $n_r^c = \frac{1}{\text{tg } \alpha} = \dots, \dots$