

### 3. DETERMINAREA DISTANTELOR FOCALĂ ALE LENTILELOR ȘI ALE SISTEMELOR DE LENTILE

A. Scopul lucrării: Însușirea principalelor metode de determinare a distanțelor focale ale lentilelor și ale sistemelor de lentile.

B. Componente optice și dispozitive necesare: lentile convergente și divergente cu diferite distanțe focale, banc optic, dispozitiv de iluminare, riglă gradată, șubler, ecran de observație.

C. Principiul fizic și modul de lucru: Metodele descrise în această lucrare se bazează pe utilizarea formulelor fundamentale ale lentilelor subțiri (ecuația punctelor conjugate și formula măririi liniare transversale). Vom utiliza convențiile de semn obișnuite cunoscute și din manualele școlare (v. ex. cl. XI-a).

#### 1. Determinarea distanței focale a unei lentile convergente folosind prima formulă fundamentală a lentilelor (ecuația punctelor conjugate).

Să considerăm o lentilă subțire  $L$ , de distanță focală (imagini)  $f'$  care formează imaginea reală  $A'B'$  a unui obiect liniar  $AB$  situat perpendicular pe axa optică a lentilei (Fig. 1). Poziția imaginii (distanța  $x'$ ) este determinată de poziția obiectului (distanța  $-x$ ) conform formulei lentilelor:

$$(1) \quad \frac{1}{x'} - \frac{1}{x} = \frac{1}{f'}$$

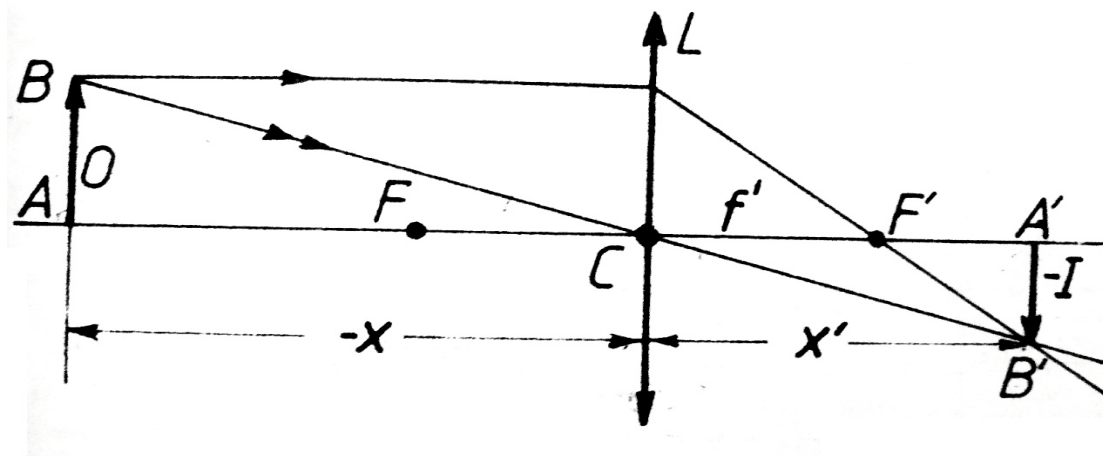


Fig. 1

Măsurând distanțele  $x$  (luată cu semnul minus) și  $x'$ , cu formula (1) se poate determina distanța focală. Măsurătorile se fac utilizând un banc optic pe care se aliniază, în ordine, o sursă de lumină, un obiect  $AB$  iluminat cu sursa  $S$ , lentila  $L$  a cărei distanță focală vrem să o determinăm și un ecran de observație pe care se obține imaginea  $A'B'$ . Pentru obținerea imaginii clare, pozițiile obiectului și ecranului se mențin fixe la o distanță  $D$  suficient de mare între acestea și se deplasează lentila până când se obține imaginea clară pe ecran (imaginea apare răsturnată ca în Fig.1 și poate fi mai mică sau mai mare decât obiectul în funcție de poziția obiectului față de

lentilă). Distanțele  $x$  și  $x'$  se măsoară cu rigla gradată în mm și valorile obținute ( $x < 0$  și  $x' > 0$ ) se trec în tabelul indicat mai jos. Se modifică apoi distanța dintre obiect și ecran și se obține din nou imaginea clară prin deplasarea lentilei. Se măsoară din nou distanțele  $x$  și  $x'$  și se trec în tabel. Se fac 5-6 măsurători de acest fel pentru diferite distanțe între obiect și ecran și se calculează pentru fiecare caz în parte valoarea lui  $f'$  utilizând formula (1). Datele obținute se trec în tabel și apoi se calculează valoarea medie  $f'_m$ .

*Tabel cu date experimentale*

Nr. det.	$x(\text{mm})$	$x'(\text{mm})$	$f'(\text{mm})$	$f'_m(\text{mm})$
1.				
2.				

## **2. Determinarea distanței focale a unei lentile convergente utilizând formula măririi liniare transversale.**

Din triunghiurile asemenea ABC și A'B'C (Fig. 1) rezultă că mărirea liniară transversală este dată de relația:

$$(2) \quad M = \frac{I}{O} = \frac{x'}{x}, \quad (M < 0).$$

Din (1) și (2) ( $x' = Mx$ ) obținem pentru distanța focală formula:

$$(3) \quad f' = \frac{xx'}{x - x'} = \frac{x'}{1 - M}.$$

Din (3) rezultă că măsurând distanța  $x'$  de la lentilă la imagine și mărirea liniară  $M$  (2) se poate determina  $f'$ . Pentru aceasta se deplasează lentila pe bancul optic și se obține imaginea clară așa cum s-a descris mai sus. Mărimea obiectului (O) și a imaginii (I) (luată cu semnul minus) se măsoară cât mai exact cu ajutorul unui șubler, iar distanța  $x'$  se măsoară cu o riglă gradată în mm. Se fac 5-6 măsurători modificând distanța dintre obiect și ecran și se calculează valoarea  $f'$  pentru fiecare caz. Se calculează apoi valoarea medie  $f'_m$ . Datele obținute se trec în următorul tabel:

*Tabel cu date experimentale*

Nr. det.	$x'(\text{mm})$	O(mm)	I(mm)	M	$f'(\text{mm})$	$f'_m(\text{mm})$
1.						
2.						

### 3. Determinarea distanței focale a unei lentile convergente prin metoda Bessel.

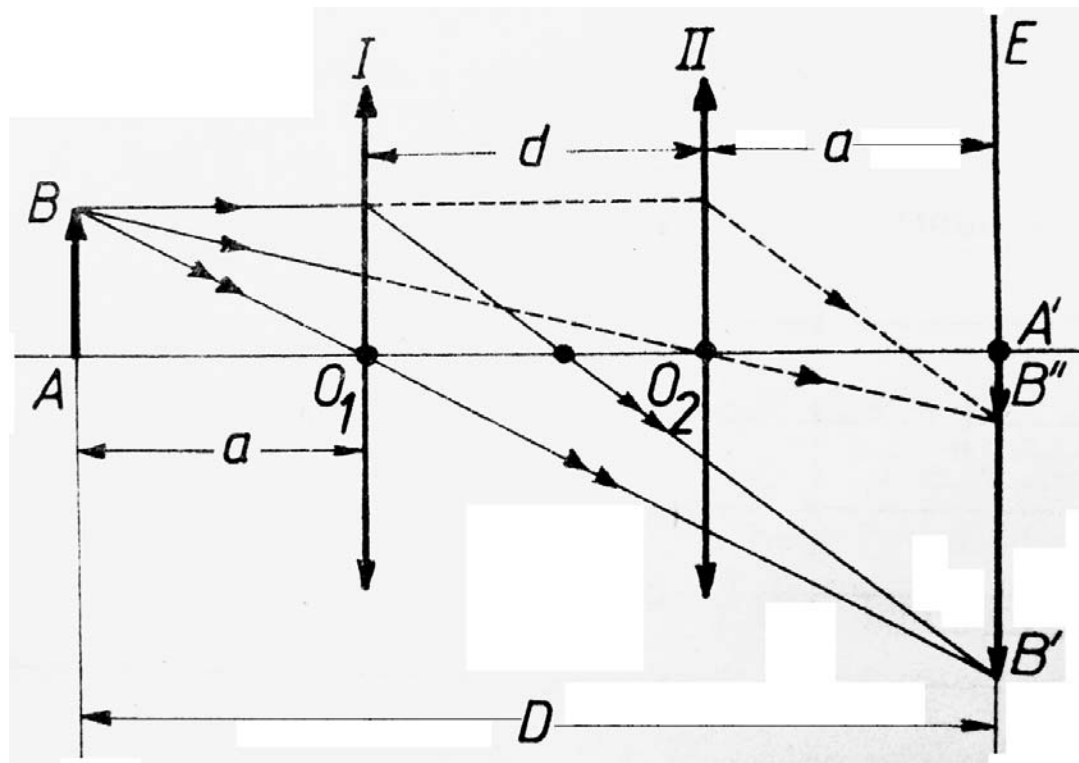


Fig. 2

Pentru o distanță fixă  $D$  între obiect și imaginea obiectului pe ecran (Fig. 2), putem scrie relația:

$$(4) \quad -x + x' = D.$$

din (4) și (1) se obține ecuația:

$$x^2 + Dx + Df' = 0$$

ale cărei soluții  $x_1$  și  $x_2$  și valorile corespunzătoare  $x'_1$  și  $x'_2$  care se obțin din (4), sunt:

$$(5) \quad \begin{aligned} x_1 &= -\frac{D}{2} + \frac{\sqrt{D^2 - 4Df'}}{2} \rightarrow x'_1 = \frac{D}{2} + \frac{\sqrt{D^2 - 4Df'}}{2} \\ x_2 &= -\frac{D}{2} - \frac{\sqrt{D^2 - 4Df'}}{2} \rightarrow x'_2 = \frac{D}{2} - \frac{\sqrt{D^2 - 4Df'}}{2} \end{aligned}$$

Din (5) rezultă că soluțiile  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x'_1$  și  $x'_2$  sunt reale dacă este îndeplinită condiția:

$$(6) \quad D \geq 4f'.$$

Relațiile (5) și (6) arată că dacă distanța  $D$  dintre obiect și ecran este suficient de mare ( $D > 4f'$ ) există două poziții ale lentilei pentru care pe ecran se obțin imagini clare (Fig.2). În poziția (I) a lentilei imaginea  $A'B'$  este mărită față de obiect, iar în poziția (II) imaginea  $A''B''$  este micșorată. Egalitățile (5) arată că cele două poziții ale lentilei sunt simetrice față de obiect și de ecran

( $AO_1=O_2A'=a$ ). Dacă notăm cu  $d$  distanța dintre cele două poziții ale lentilei, din Fig.2 rezultă egalitățile:

$$(7) \quad \begin{aligned} x_2' &= -x_1 = \frac{D-d}{2} \\ x_1' &= -x_2 = \frac{D+d}{2} \end{aligned}$$

Folosind (7) și aplicând formula lentilelor (1), pentru oricare din cele două poziții ale lentilei [indicele (1) corespunde poziției I iar (2) poziției II] se obține relația:

$$(8) \quad f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

Egalitatea (8) este cunoscută sub denumirea de formula lui Bessel. Ea permite determinarea distanței focale  $f'$  dacă se măsoară distanța  $D$  dintre planul obiectului și ecran și deplasarea  $d$  a lentilei între cele două poziții pentru care se obțin imagini clare pe ecran. Pentru efectuarea măsurătorilor, obiectul, lentila și ecranul se așează pe bancul optic la o distanță  $D$  suficient de mare pentru a se obține cele două imagini clare (una mărită și alta micșorată). Pentru a vedea dacă se obțin cele două imagini se deplasează lentila în lungul bancului optic. Dacă cele două imagini nu se obțin se mărește și mai mult distanța  $D$  dintre obiect și ecran. Măsurând distanțele  $D$  și  $d$  pentru care se obțin imagini clare, cu formula (8) se calculează  $f'$ . Măsurătorile se repetă de 5-6 ori pentru diferite distanțe  $D$  și  $d$  iar datele obținute se trec în următorul tabel:

*Tabel cu date experimentale*

Nr.det.	D(mm)	d(mm)	$f'$ (mm)	$f'_m$ (mm)
1.				
2.				

În final se calculează valoarea medie  $f'_m$  și se trece în tabel.

Metoda Bessel nu necesită cunoașterea poziției planelor principale ale lentilelor (de unde trebuie măsurate distanțele  $x$  și  $x'$ ) ci doar măsurarea distanțelor  $D$  și  $d$  care pot fi măsurate foarte precis față de un reper ales convenabil. De aceea metoda Bessel poate fi utilizată și pentru determinarea distanțelor focale ale lentilelor groase și ale sistemelor de lentile. În comparație cu celelalte metode descrise, metoda Bessel permite obținerea unor rezultate mai precise.

#### **4. Determinarea distanței focale a unei lentile divergente**

Deoarece lentilele divergente nu formează imagini reale pentru obiecte reale, determinarea distanțelor focale pentru lentile divergente nu se poate face prin metode directe de tipul celor descrise pentru lentilele convergente. Una dintre metodele utilizate pentru determinarea distanței focale a unei lentile divergente se bazează pe utilizarea unui sistem optic format din

lentila divergentă  $L_D$  a cărei distanță focală trebuie determinată și o lentilă convergentă  $L_C$  aleasă și așezată astfel încât sistemul să fie convergent și să formeze o imagine reală (Fig.3).

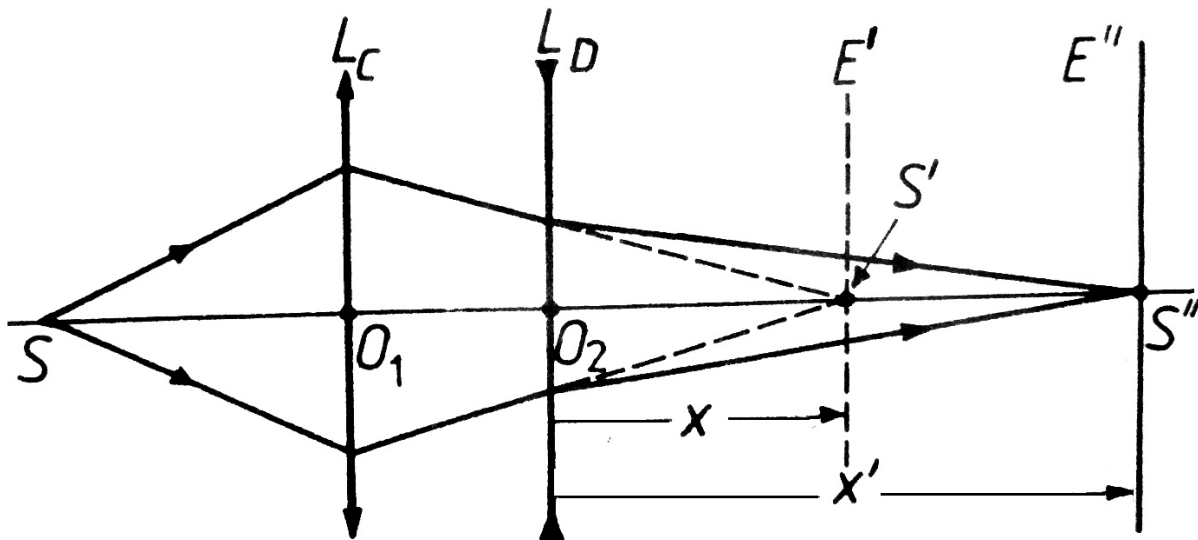


Fig. 3

Pe bancul optic se așază obiectul luminos S și lentila convergentă  $L_C$  astfel încât aceasta să formeze pe ecranul  $E'$  o imagine reală și micșorată, în poziția  $S'$ . După aceasta, între lentila convergentă  $L_C$ , a cărei poziție rămâne fixă, și poziția imaginii  $S'$  se așază lentila divergentă  $L_D$  a cărei distanță focală vrem s-o determinăm. În aceste condiții, imaginea  $S'$  are rol de obiect (virtual) pentru lentila  $L_C$  iar imaginea obiectului S se depărtează de  $L_D$ , din  $S'$  în  $S''$  ceea ce se poate constata prin deplasarea ecranului din poziția  $E'$  în poziția  $E''$ . Pentru lentila  $L_D$ ,  $S'$  este obiect iar  $S''$  imagine. Pe bancul optic se citesc distanțele  $O_2S'=x$  și  $O_2S''=x'$  și aplicând formula (1) se calculează distanța focală:

$$(9) \quad f' = \frac{xx'}{x - x'}$$

Se fac 5-6 măsurători pentru diferite poziții ale celor două lentile și se completează următorul tabel cu date experimentale:

Tabel cu date experimentale

Nr. det.	x(mm)	x'(mm)	f'(mm)	f <sub>m</sub> (mm)
1.				
2.				

### 5. Determinarea distanței focale a unui sistem de lentile.

În cazul sistemelor optice convergente formate din două sau mai multe lentile, subțiri sau groase, determinarea distanței focale a sistemului se poate face fără a fi necesară determinarea distanțelor focale ale lentilelor componente. Una din cele mai simple și mai precise metode care poate fi utilizată în acest scop este metoda Bessel descrisă mai sus. Măsurătorile se fac așezând

obiectul luminos S și ecranul E pe bancul optic astfel încât distanța dintre ele să fie suficient de mare. În calitate de sistem optic se folosește un ansamblu format din două lentile convergente sau una convergentă și una divergentă așezate una față de alta la o distanță fixă astfel încât sistemul să fie convergent (să formeze imagine pe ecran). Deplasând sistemul în lungul bancului optic, între obiect și ecran, se obțin cele două imagini clare ale obiectului. Măsurând distanțele D și d (față de două repere alese convenabil) cu ajutorul formulei (8) se calculează distanța focală  $f_s$  și valoarea medie  $f_{sm}$ . Rezultatele experimentale obținute se trec în următorul tabel:

*Tabel cu date experimentale*

Nr. det.	A(mm)	d(mm)	$f_s$ (mm)	$f_{sm}$ (mm)
1.				

#### 6. Întrebări și teme de control.

1. Cum se poate deosebi o lentilă convergentă de una divergentă ?
2. Cum se poate determina rapid distanța focală a unei lentile convergente dacă nu se cere o precizie foarte mare ?
3. Cum se poate determina distanța focală a unui sistem convergent cu ajutorul unei surse de lumină și a unei lunete ?
4. Care este distanța minimă dintre un obiect și imaginea lui reală într-o lentilă de distanță focală  $f$  ?
5. Cum se poate determina distanța focală a unei lentile groase ?
6. Demonstrați formula lui Bessel (8).
7. **Demonstrați că, în metoda Bessel, între mărimea O a obiectului și mărimile I' și I'' ale imaginilor există relația:**

$$O = \sqrt{I' I''} .$$

8. O lentilă convergentă formează o imagine egală cu obiectul pe un ecran situat la distanța de 40 cm de obiect. Dacă se alipesc o a doua lentilă, sistemul obținut formează pe un ecran așezat la distanța de 45 cm de sistem imaginea unui alt obiect care este de două ori mai mică decât obiectul. Calculați distanța focală a celei de a doua lentile
9. Un sistem optic centrat este format din două lentile, una convergentă ( $f_1=8$  cm) și una divergentă ( $f_2=-12$  cm) aflată la distanța  $d=6$  cm una de cealaltă. Considerând un obiect luminos înalt de 3 cm așezat perpendicular pe axa optică la distanța de 24 cm de lentilă convergentă calculați: (a) poziția imaginii finale; (b) mărimea imaginii finale; (c) reprezentați grafic modul în care se formează imaginea finală
10. Construiți ( grafic) imaginea unui **obiect VIRTUAL** (a) printr-o lentilă convergentă ; (b) printr-o lentilă divergentă obiectul aflându-se între lentilă și focarul obiect al acesteia; (c) ( b) printr-o lentilă divergentă obiectul aflându-se după focarul obiect al acesteia
11. Unde se formează imaginea unui obiect virtual care se află în focarul obiect al unei lentile divergente