

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI

DEPARTAMENTUL DE FIZICĂ

LABORATORUL DE OPTICĂ

BN 122A

STUDIUL LENTILELOR SUBȚIRI

2018

STUDIUL LENTILELOR SUBȚIRI

1. Scopul lucrării

Scopul acestei lucrări constă în determinarea distanței focale a lentilelor subțiri prin metoda punctelor conjugate și metoda Bessel.

2. Teoria lucrării

Lentila este un mediu transparent limitat de doi dioptri sferici sau de un dioptru sferic și unul plan. Dioptrul reprezintă suprafața de separație dintre două medii transparente și omogene. Dacă grosimea lentilei este mică în comparație cu razele de curbură ale dioptrilor lentila este considerată subțire. Elementele caracteristice ale unei lentile subțiri sunt: axa optică principală AOP, focarul principal imagine F_1 , focarul principal obiect F_0 , centrul optic O și distanța focală f (figura 1). AOP reprezintă dreapta care trece prin cele două centre de curbură ale dioptrilor care mărginesc lentila, respectiv este perpendiculară pe suprafața plană în cazul lentilelor ce sunt mărginite de un dioptru plan. Grafic aceasta se reprezintă ca o dreaptă perpendiculară pe lentilă în centrul optic. Prin convenție distanța focală f a unei lentile este distanța de la centrul optic al acesteia la focarul imagine. Pentru lentilele convergente distanța focală este pozitivă, iar pentru cele divergente este negativă.

După modul de acțiune asupra unui fascicul paralel de lumină, lentilele se împart în *convergente*, dacă transformă fasciculul paralel de lumină într-un fascicul convergent și respectiv *divergente* dacă transformă fasciculul paralel în unul divergent (figura 1).

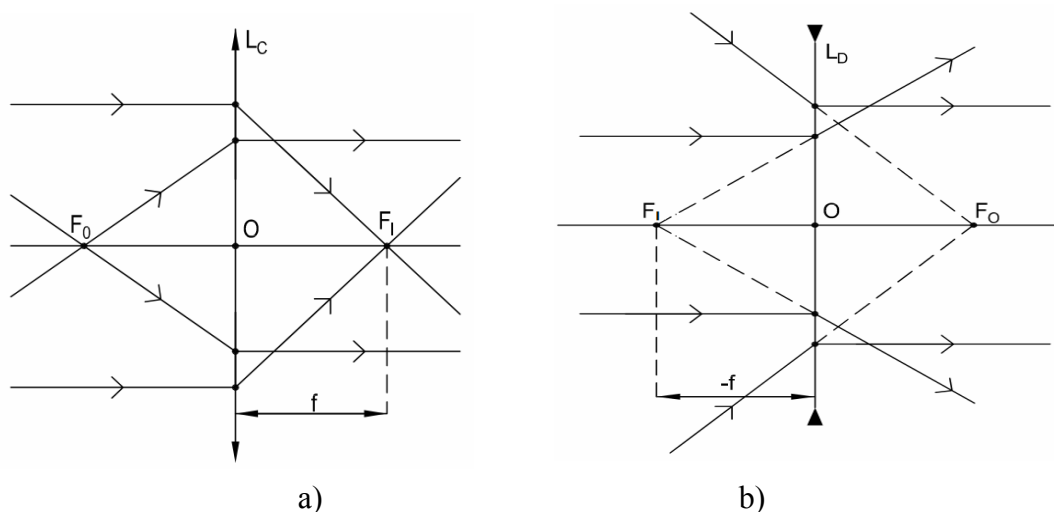


Figura 1. Mersul razelor de lumină prin: a) lentila convergentă b) lentila divergentă.

Construcția grafică a imaginii ($A'B'$) unui obiect (AB) prin lentilă se realizează cu ajutorul a trei raze particulare: o rază paralelă cu axa optică care apoi trece prin focarul imagine (sau prelungirea razei), o rază care trece prin focarul obiect (sau prelungirea acesteia) și apoi devine paralelă cu axa optică și una care trece nedeviată prin centrul optic (figurile 2a și 2b). Imaginea poate fi reală, dacă cele trei raze se întâlnesc efectiv (în acest caz poate fi proiectată pe un ecran sau alt receptor optic) sau virtuală dacă la formarea acesteia intervin prelungirile razelor de lumină. Natura, poziția și mărimea imaginii depind de poziția obiectului în raport cu lentila. Cu ajutorul lentilei divergente se pot obține imagini reale numai în cazul obiectelor virtuale situate între centrul optic al acesteia și focarul obiect F_0 (figura 3). Obiectul virtual se obține cu ajutorul unei lentile convergente auxiliare. În acest studiu obiectul și imaginea sunt segmente de dreaptă perpendiculare pe axa optică.

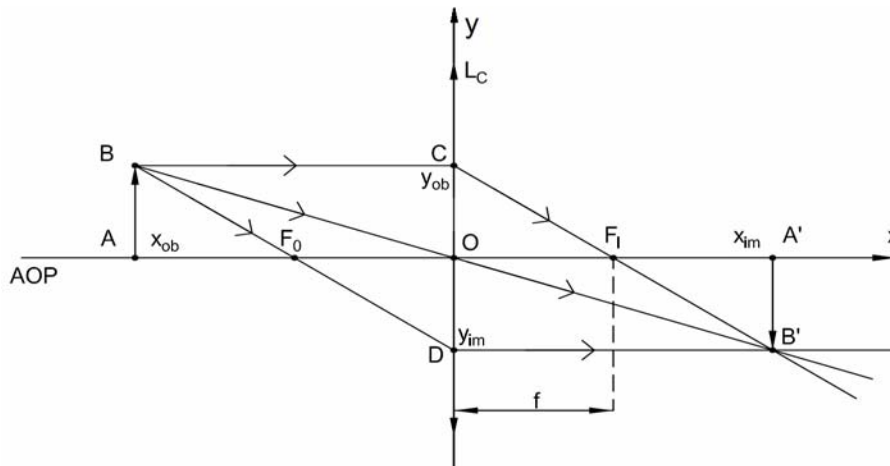


Figura 2a). Construcția grafică a imaginilor obiectelor prin lentila convergentă.

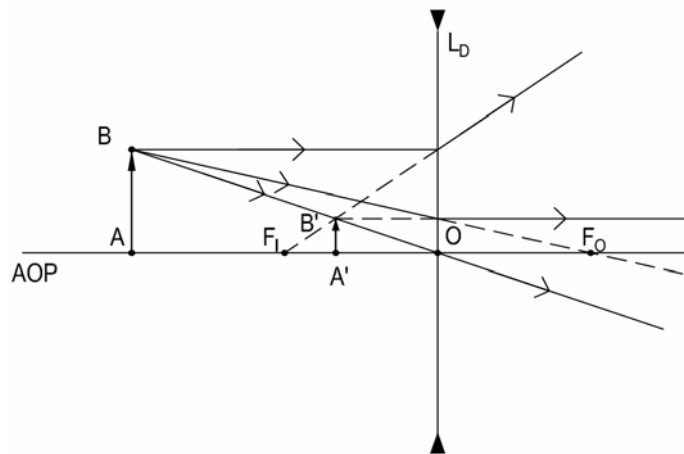


Figura 2 b). Construcția grafică a imaginilor obiectelor prin lentila divergentă.

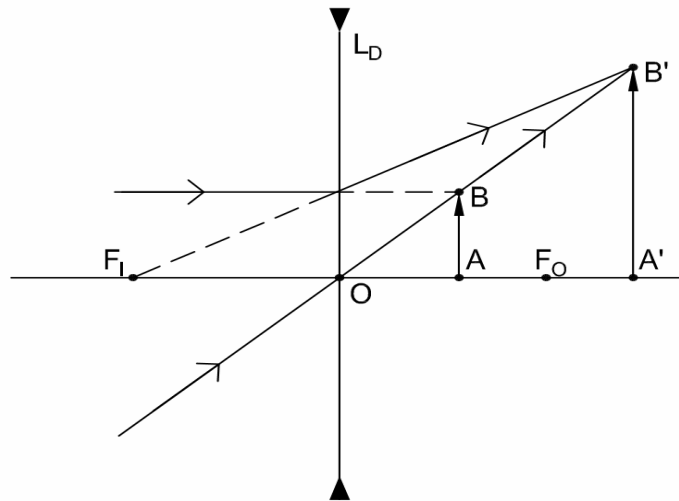


Figura 3. Formarea imaginii reale a unui obiect virtual prin lentila divergentă.

Formula punctelor conjugate

Dacă se cunosc poziția obiectului și poziția imaginii față de lentilă putem determina distanța focală a lentilei prin intermediul formulei punctelor conjugate:

$\frac{1}{x_{im}} - \frac{1}{x_{ob}} = \frac{1}{f}$ (1). **Distanța-obiect** x_{ob} reprezintă coordonata obiectului AB pe axa

optică principală în raport cu originea acestei axe, origine corespunzătoare poziției lentilei pe bancul optic. Deoarece pe rigla bancului optic valorile sunt strict pozitive vom calcula distanța-obiect cu formula: $x_{ob} = x_o - x_L$ (2), unde x_o - valoarea indicată de riglă pentru poziția obiectului pe bancul optic și x_L - valoarea indicată de riglă pentru poziția lentilei pe bancul optic.

Pentru obiecte reale distanța-obiect x_{ob} este negativă, iar pentru obiecte virtuale este pozitivă. **Distanța-imagină** x_{im} reprezintă coordonata imaginii A'B' pe axa optică principală, aceasta se calculează cu formula:

$x_{im} = x_i - x_L$ (3), unde x_i - valoarea indicată de riglă pentru poziția imaginii obiectului pe bancul optic, care reprezintă poziția ecranului, deoarece imaginea se formează pe ecran. Pentru imagini reale distanța-imagină x_{im} este pozitivă, iar pentru imagini virtuale este negativă.

Din formula (1) distanța focală a lentilei va fi: $f = \frac{x_{ob} \cdot x_{im}}{x_{ob} - x_{im}}$ (4).

Sisteme de lentile

Un sistem de lentile este format din două sau mai multe lentile centrate (lentile care au aceeași axă optică principală), imaginea dată de o lentilă este obiect pentru următoarea lentilă. Există două cazuri particulare de sisteme de lentile de mare interes în practică: sistemul acolat, dacă lentilele sunt lipite (acolate) și sistemul afocal (telescopic), dacă focarul imagine al primei lentile coincide cu focarul obiect al următoarei lentile, în acest caz sistemul optic are distanța focală infinită, un fascicul incident paralel cu AOP va fi de asemenea paralel cu AOP la ieșirea din sistem. Sistemul acolat format din N lentile cu distanțele focale f_i este echivalent cu o lentilă pentru care inversul distanței

focale, adică convergența sistemului, are expresia: $\frac{1}{f_{sist}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i}$ (5). Un alt sistem de lentile

important în practică este sistemul neacolat mixt format dintr-o lentilă convergentă și o lentilă divergentă, prin intermediul acestuia se poate obține o imagine finală reală și dreaptă a obiectului (figura 4). Acest sistem poate fi folosit pentru determinarea distanței focale a unei lentile divergente.

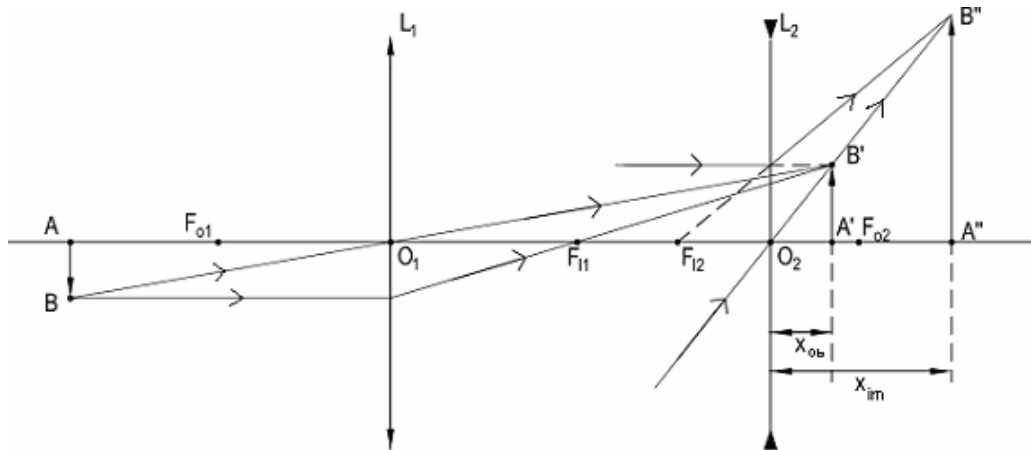


Figura 4. Sisteme de lentile: sistem neacolat mixt

Ramura opticii geometrice care se ocupă cu determinarea distanțelor focale ale lentilelor și oglinzilor se numește **focometrie**. În continuare vor fi prezentate două metode simple prin care se pot determina distanțele focale ale lentilelor subțiri: metoda punctelor conjugate (sau metoda directă) și metoda Bessel.

Metoda punctelor conjugate

Metoda punctelor conjugate pentru determinarea distanței focale a unei lentile convergente (sau a unui sistem optic convergent) se bazează pe faptul că o lentilă convergentă (sau un sistem optic convergent) produce o imagine reală pentru obiectele situate față de lentilă la o distanță mai mare decât distanța focală a lentilei. Măsurând distanța-obiect x_{ob} și distanța-imagine x_{im} și aplicând formula (4) se va determina distanța focală a lentilei convergente (sau a sistemului optic convergent).

Metoda Bessel

Această metodă este utilizată și în cazul lentilelor groase sau a sistemelor mai complexe, deoarece elimină eroarea de centrare a lentilei pe suport. Metoda Bessel se bazează pe faptul că o lentilă convergentă (sau un sistem optic convergent) plasată între un obiect și un ecran ale căror poziții nu se modifică și sunt situate la o distanță mai mare decât de patru ori distanța focală a lentilei ($l \geq 4f$) poate produce pe ecran două imagini reale distincte corespunzătoare la două poziții diferite ale lentilei (figura 5). Cunoscând distanța fixă l dintre obiect și ecran și distanța d dintre cele două poziții ale lentilei se

determină distanța focală a lentilei cu formula $f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$ (6).

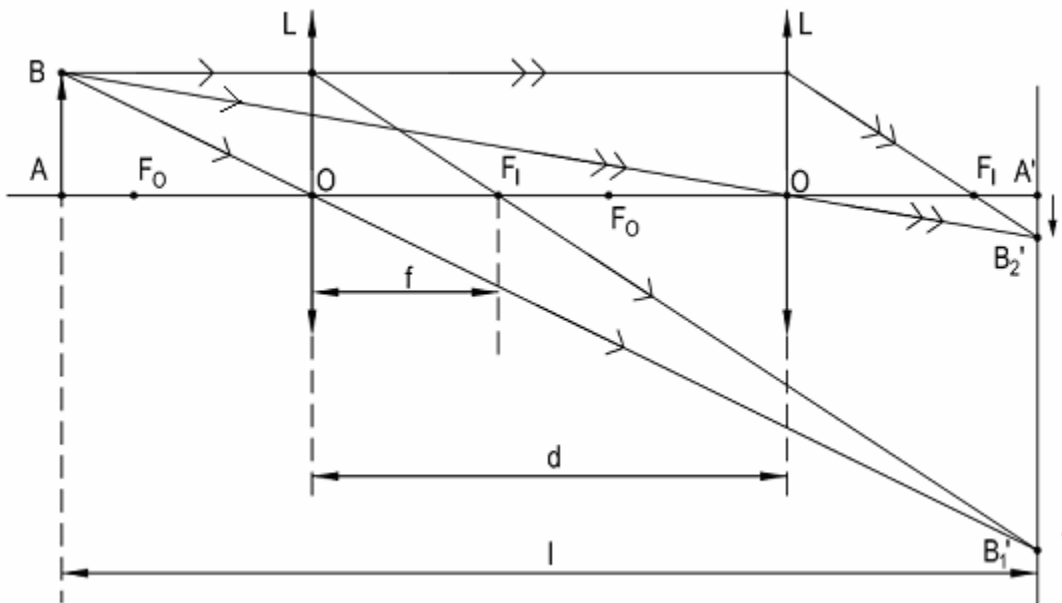


Figura 5. Construcția grafică a imaginilor obiectului în cazul metodei Bessel.

3. Dispozitivul experimental

Dispozitivul experimental este constituit din sursa de tensiune **1** (furnizează o alimentare cu tensiune continuă și tensiune alternativă în intervalul 0-12V), sursa de lumină **2** (lampă cu halogen, tensiunea maximă admisă 12V, puterea maximă admisă 10W), un banc optic cu suporturi adiționale **3**, brațul mobil **4**, suporturi gradate cu sisteme de prindere a probelor **5**, suporturi pentru lentile **6** și **7**, diverse lentile și condensorul **8** (format din două lentile convergente plan-convexe, distanța focală a acestuia este de 6cm), rolul condensoului este să asigure o iluminare intensă a obiectului cu un fascicul de lumină paralel, obiectul **9** (sub forma unei săgeți decupate pe o plăcuță din material plastic) sau **10** (un diapozitiv, doar pentru observații suplimentare, facultative) și un ecran **11**, pe acesta se proiectează imaginea obiectului prin lentile. Dispozitivul experimental este prezentat în figura 6.



Figura 6. Dispozitivul experimental utilizat pentru determinarea distanțelor focale ale lentilelor

4. Modul de lucru și prelucrarea rezultatelor

A. Determinarea distanței focale a unei lentile convergente

a) Metoda punctelor conjugate

Mai întâi se determină cu aproximație, orientativ, distanța focală a lentilei proiectând imaginea unui obiect îndepărtat sau a unui fascicul de lumină paralel pe ecran.

În acest caz distanța de la lentila convergentă la ecran este aproximativ egală cu distanța focală a lentilei. În timpul experimentelor condensorul va fi la distanța de 6cm față de sursa de lumină.

Se pune obiectul la 4cm față de condensor (distanța minimă dintre obiect și condensor datorită suporturilor culisanți pe care se află cele două piese) apoi se plasează lentila după obiect la o distanță mai mare decât distanța focală a lentilei estimată anterior, pentru ca imaginea să fie reală. Se deplasează ecranul pe bancul optic până când pe acesta se obține o imagine clară (sharp image) a obiectului. Distanța-obiect x_{ob} și distanța-imagine x_{im} vor fi calculate cu formulele (2) și (3). Introducând valorile obținute în relația (4) se determină distanța focală a lentilei convergente folosite în experiment. Se repetă măsurătorile pentru alte patru poziții diferite ale obiectului față de lentilă. Se vor

calcula: distanța focală medie $\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^5 f_i}{5}$, erorile absolute individuale $\Delta f_i = \bar{f} - f_i$,

eroarea absolută medie $\overline{\Delta f} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta f_i}{5}$ și eroarea relativă a distanței focale $\varepsilon_f = \frac{\overline{\Delta f}}{\bar{f}}$ (%).

Datele experimentale și cele obținute din prelucrarea acestora se trec în tabelele 1 și 2.

Tabel 1

Nr. crt.	x_O [mm]	x_L [mm]	x_I [mm]	x_{ob} [mm]	x_{im} [mm]
1					
2					
3					
4					
5					

Tabel 2

Nr. crt.	f [mm]	\bar{f} [mm]	Δf_i [mm]	$\overline{\Delta f}$ [mm]	ε_f [%]
1					
2					
3					
4					
5					

b) Metoda Bessel

Se pune obiectul la 4cm față de condensor. Se așează ecranul față de obiect la o distanță $l > 4f$ (distanța focală f determinată prin metoda punctelor conjugate) apoi se

plasează lentila față de obiect la o distanță aproximativ egală cu distanța focală a lentilei și se deplasează încet lentila spre ecran până se obține pe acesta imaginea clară a obiectului. Se notează această poziție x_{L1} a lentilei pe bancul optic. Lentila va fi deplasată în continuare spre ecran până când pe acesta se obține o nouă imagine clară. Se notează această poziție x_{L2} a lentilei pe bancul optic. Distanța d dintre cele două poziții ale lentilei se calculează ca diferență de coordonate $|x_{L2} - x_{L1}| = d$. Cele două poziții ale lentilei sunt simetrice în raport cu mijlocul segmentului obiect-ecran. Prin intermediul formulei (6) se va determina distanța focală a lentilei. Se repetă măsurătorile și calculele pentru alte două distanțe l dintre obiect și ecran. Se va determina distanța focală medie a lentilei convergente folosită. Toate rezultatele obținute se trec în tabelul dat.

Tabelul 3

Nr. crt.	l [mm]	x_{L1} [mm]	x_{L2} [mm]	d [mm]	f [mm]	\bar{f} [mm]
1						
2						
3						

B. Determinarea distanței focale a unei lentile divergente

a) Sistem de lentile acolat

Se alipește lentila divergentă de lentila convergentă folosită în cazurile anterioare. Cele două lentile alipite formează un sistem optic care este în acest caz un sistem optic convergent, el comportându-se experimental ca o lentilă convergentă. Așadar, putem aplica pentru determinarea distanței focale a sistemului de lentile acolat f_{sist} metodele experimentale folosite pentru determinarea distanței focale f a lentilei convergente.

Distanța focală a sistemului acolat fiind dată de formula (4): $f_{sist} = \frac{x_{ob} \cdot x_{im}}{x_{ob} - x_{im}}$, distanța-obiect

x_{ob} și distanța-imagine x_{im} au aceeași semnificație ca în cazul lentilei convergente.

Deoarece cele două lentile formează un sistem acolat distanța focală a lentilei divergente se

află din relația (5): $\frac{1}{f_{sist}} = \frac{1}{f_C} + \frac{1}{f_D}$, unde f_C și f_D reprezintă distanțele focale pentru lentila

convergentă și lentila divergentă, astfel: $f_D = \frac{f_{sist} \cdot f_C}{f_C - f_{sist}}$ (7).

Pentru determinarea distanței focale a sistemului convergent f_{sist} se vor urma instrucțiunile de la metoda punctelor conjugate și metoda Bessel pentru determinarea distanței focale a lentilei convergente.

Metoda punctelor conjugate

Se măsoară distanța-obiect x_{ob} și distanța-imagină x_{im} , aplicând formula (4) se calculează distanța focală a sistemului f_{sist} și apoi prin intermediul formulei (7) se va determina distanța focală a lentilei divergente f_D . Se efectuează cinci măsurători diferite și se vor calcula valorile medii pentru distanța focală a sistemului $\overline{f_{sist}}$ și distanța focală a lentilei divergente $\overline{f_D}$. Datele obținute experimental și prin calcule se trec în tabelul 4.

Tabelul 4

Nr. crt.	x_O [mm]	x_L [mm]	x_I [mm]	x_{ob} [mm]	x_{im} [mm]	f_{sist} [mm]	$\overline{f_{sist}}$ [mm]	f_D [mm]	$\overline{f_D}$ [mm]
1									
2									
3									
4									
5									

Metoda Bessel:

Se măsoară l și d care sunt introduse în formula (6): $f_{sist} = \frac{l^2 - d^2}{4l}$, apoi folosind relația (7) se va determina distanța focală a lentilei divergente f_D . Se fac trei rânduri de măsurători și rezultatele se trec în tabelul de mai jos.

Tabelul 5

Nr. crt.	l [mm]	x_{L1} [mm]	x_{L2} [mm]	d [mm]	f_{sist}	$\overline{f_{sist}}$	f_D [mm]	$\overline{f_D}$ [mm]
1								
2								
3								

b) Sistem de lentile neacolat

Lentila divergentă este separată de lentila convergentă. Imaginea reală formată de lentila convergentă va fi obiect virtual pentru lentila divergentă dacă lentila divergentă

este pusă înaintea poziției în care se formează imaginea dată de lentila convergentă. Imaginea dată de lentila divergentă va fi reală, și implicit vizibilă pe un ecran, dacă imaginea dată de lentila convergentă se formează între lentila divergentă și focarul obiect al acesteia (vezi figura 4). Distanța focală a lentilei divergente f_D se va determina folosind metoda punctelor conjugate.

Se pune obiectul la 4cm față de condensor apoi se plasează lentila convergentă după obiect la o distanță mai mare decât distanța focală a acesteia și se deplasează ecranul pe bancul optic până când pe acesta se obține o imagine clară a obiectului. Deoarece imaginea reală dată de lentila convergentă va fi obiect virtual pentru lentila divergentă se notează poziția ecranului indicată de rigla bancului optic cu x_O . Se interpune lentila divergentă între lentila convergentă și ecran și se citește poziția lentilei divergente pe bancul optic x_L . Datorită introducerii lentilei divergente imaginea obiectului pe ecran nu mai este clară, astfel se va deplasa ecranul până când se obține o nouă imagine clară pe ecran. Aceasta este imaginea finală reală dată de lentila divergentă, se va nota coordonata corespunzătoare a ecranului x_I . Odată cunoscute coordonatele x_O , x_L și x_I calculăm distanța-obiect x_{ob} și distanța-imagine x_{im} , aceste valori vor fi introduse în formula distanței focale a lentilei divergente: $f_D = \frac{x_{ob} \cdot x_{im}}{x_{ob} - x_{im}}$. Rezultatele

obținute se trec în tabelul 6.

Tabelul 6

Nr. crt.	x_O [mm]	x_I [mm]	x_L [mm]	x_{ob} [mm]	x_{im} [mm]	f_D [mm]	\bar{f}_D [mm]
1							
2							
3							

5. Întrebări:

- De ce pentru obiectele îndepărtate, situate la distanțe mai mari de 15m, distanța de la lentila convergentă la ecran este egală cu distanța focală a lentilei?
- Ce este un obiect virtual?
- Depind rezultatele măsurătorilor de poziția obiectului față de condensor?
- Ce surse de erori de măsurare intervin în determinarea distanței focale a lentilelor prin cele două metode utilizate? Care dintre metode prezintă erori de măsurare mai mari?
- Mai cunoașteți alte metode de măsurare a distanțelor focale ale lentilelor subțiri?