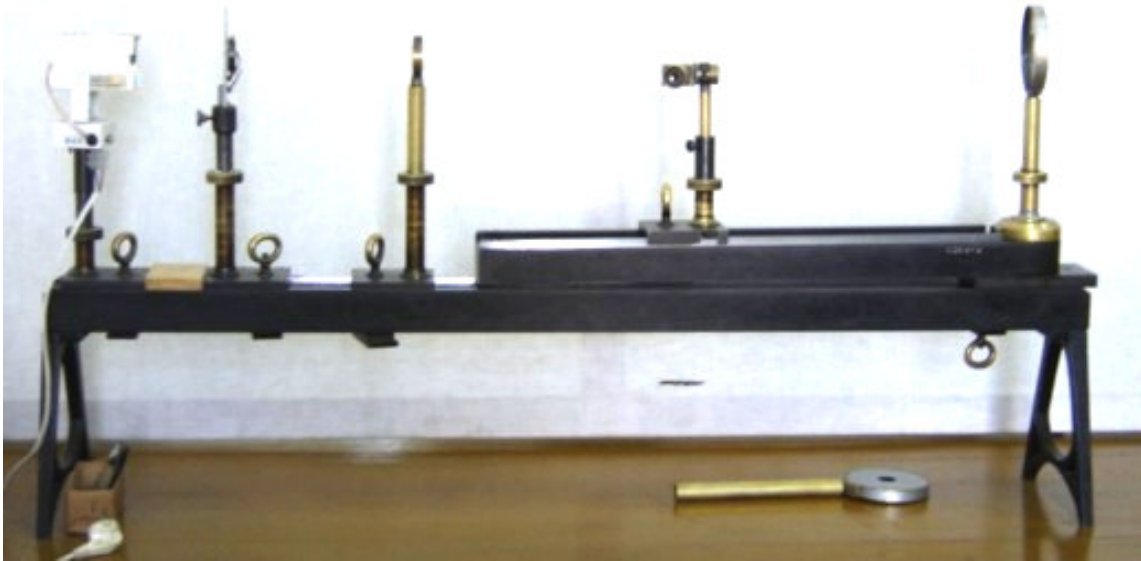


LUCRAREA NR. 3

DETERMINAREA DISTANȚEI FOCALE A OGLINZILOR SFERICE



Tema lucrării:

- 1) Determinarea distanței focale a unei oglinzi concave
- 2) Determinarea distanței focale a unei oglinzi convexe
- 3) Studiul aberației de astigmatism la oglinda concava

Aparate:

Sursă de lumină, obiect luminos, oglindă concavă, oglindă convexă, oglindă plană, lentilă convergentă, vizor, banc optic cu braț mobil, cavaleri.

Considerații teoretice:

Oglinzile sunt suprafețe reflectătoare. Cele mai utilizate sunt oglinzile sferice (suprafața reflectătoare are forma unei calote sferice) și oglinzile plane (suprafața reflectătoare este plană).

Oglinzile sferice sunt de două feluri: *concave* (convergente), au fața reflectătoare îndreptată spre centrul de curbură și *convexe* (divergente) au fața reflectătoare spre exterior.

În continuare considerăm că razele de lumină se propagă astfel încât toate unghiurile sunt mai mici de 5° . În acest caz spunem că suntem în aproximația Gauss.

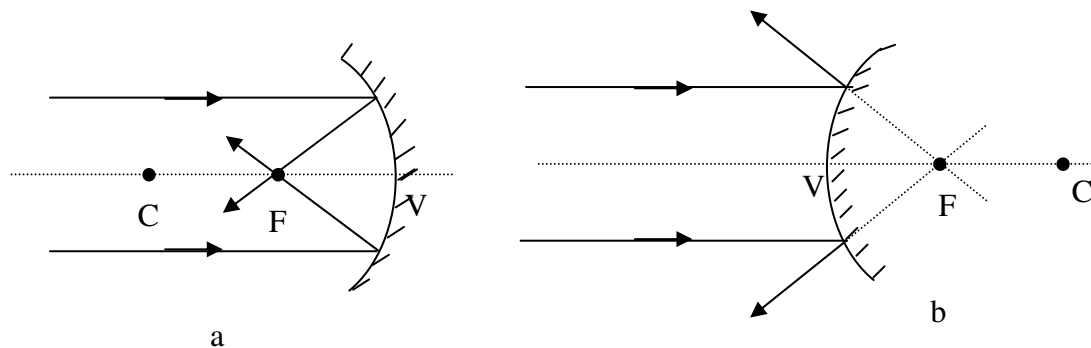


Fig. 3.1 Reflexia razelor paralele cu axa optică pe
a) oglinda concavă, b) oglinda convexă

În cazul unei oglinzi concave, un fascicul de lumină, paralel cu axa optică, se reflectă astfel încât toate razele emergente trec prin focarul oglinzii **F** (fig. 3.1.a).

În cazul unei oglinzi convexe, un fascicul de lumină paralel cu axa optică, se reflectă în așa fel încât prelungirile tuturor razelor emergente trec prin focarul virtual al oglinzii **F** (fig. 3.1.b).

Distanța dintre vârf și focar se numește distanță focală și depinde de raza sferei din care face parte calota, conform relației $f = \frac{R}{2}$.

Între distanța obiect p_1 , distanța imagine p_2 și distanța focală a oglinzii f există relația:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} \quad (3.1)$$

Am notat $VA_1 = p_1$, $VA_2 = p_2$ și $VF = f$ (fig. 3.2, 3.3). Efectuând calculele se obține:

$$f = \frac{p_1 \cdot p_2}{p_1 + p_2} \quad (3.2)$$

Prin convenție se iau cu semnul plus segmentele orientate în fața oglinzii (înaintea feței reflectoare) și cu semnul minus cele din spatele oglinzii.

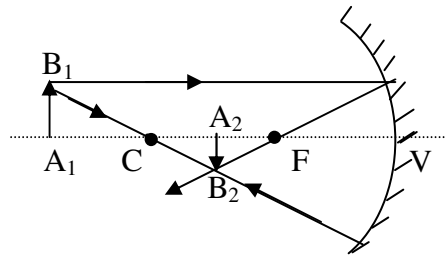


Fig. 3.2 Construcția imaginii unui obiect într-o oglindă concavă

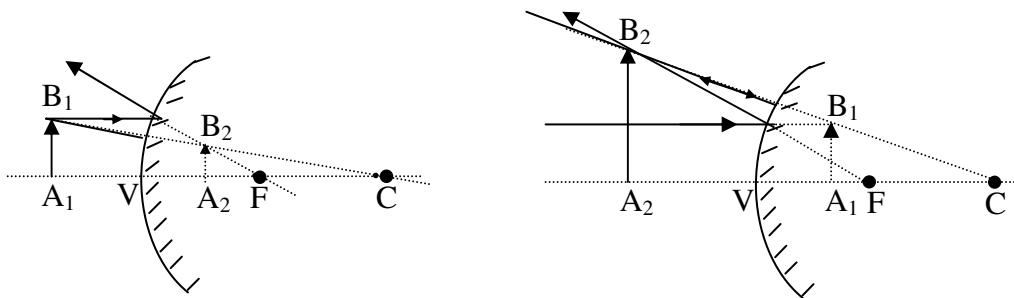


Fig. 3.3 Construirea imaginii unui obiect într-o oglindă convexă

Menționăm că razele de lumină se reprezintă cu linie continuă, iar prelungirile lor cu linie punctată. Obiectele și imaginile reale se reprezintă cu linie continuă, iar cele virtuale cu linie punctată.

Aberația de astigmatism

Pentru ca un sistem optic să realizeze o imagine corectă a obiectului, este necesar ca această imagine să fie:

- *stigmatică*: unui punct obiect să-i corespundă un singur punct imagine;
- *ortoscopică*: imaginea să fie asemenea cu obiectul din punct de vedere geometric;
- *aplanatică*: pentru un obiect plan așezat perpendicular pe axa optică să se obțină o imagine plană, situată tot perpendicular pe axa optică.

Dacă razele de lumină monocromatică ce cad pe un sistem optic sunt limitate la domeniul paraxial, cum este cazul aproximației Gauss, imaginile obținute pot fi considerate că satisfac condițiile de mai sus.

În cazul aproximației Gauss, unghiurile sunt suficient de mici pentru a putea neglija termenii superiori din dezvoltarea în serie a funcției sinus:

$$\sin i = i - \frac{i^3}{3!} + \frac{i^5}{5!} + \dots$$

În acest caz luăm în considerare doar primul termen ($\sin i = i$) deci legea refracției ($n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$) devine:

$$n_1 \cdot i_1 = n_2 \cdot i_2$$

Dacă unghiurile de incidență sunt mai mari, imaginile nu mai sunt stigmatice și apar *aberațiile*. Limitând problema la cazul sistemelor cu deschidere mică, pentru care unghiurile de incidență nu sunt prea mari, astfel ca în dezvoltarea în serie a sinusului să se poată păstra numai primii doi termeni:

$$\sin i = i - \frac{i^3}{3!}$$

se realizează aproximația de ordinul trei a lui Seidel. În această aproximație, abaterile de la reprezentarea perfectă a imaginii pot fi exprimate prin 5 termeni de corecție. Acești termeni definesc cele 5 aberații ale lui Seidel; aberația de sfericitate, coma, astigmatismul, curbura imaginii și distorsia, numite în general aberații geometrice.

În cazul incidențelor mai mari, în care nu se mai pot neglija termenii de ordin superior din dezvoltarea în serie a sinusului, apar și alte aberații. Astfel, de exemplu, în aproximația de ordin 5 apar 9 aberații distincte, în cea de ordinul 7 se observă 14 etc.

Aberația care apare în cazul fasciculelor înguste, înclinate față de axa optică a sistemului, poartă numele de astigmatism.

În cazul unui obiect punctiform astigmatismul constă în apariția a două imagini sub formă de două segmente de dreaptă perpendiculare una pe alta și situate la distanțe diferite față de sistem (fig. 3.4.).

Pentru obținerea acestor două imagini razele de lumină se grupează în două moduri:

1. Razele care sunt conținute într-un plan meridian al dioptrilor (plan determinat de axa optică a sistemului și obiect) se strâng într-un punct **T** după traversarea sistemului (numai în cazul fasciculelor înguste).

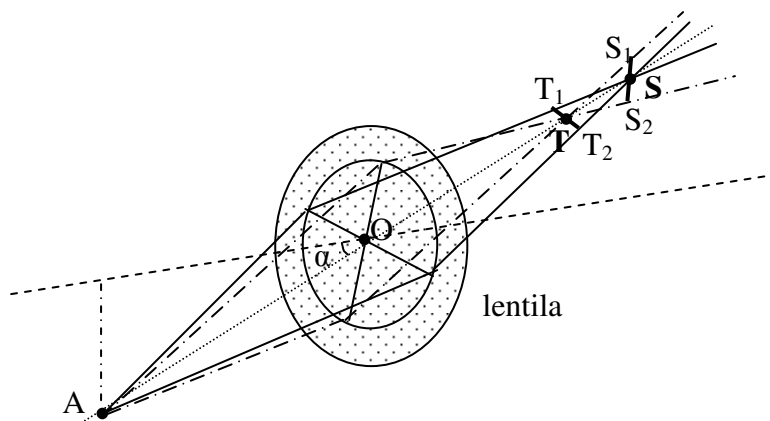


Fig. 3.4. Aberația de astigmatism la o lentilă

Grupând razele în planele paralele cu planul meridian, locul geometric al punctelor de intersecție T este un segment de dreaptă T_1T_2 perpendicular pe planul meridian. Acest segment de dreaptă reprezintă *imaginea tangențială* în cazul unui punct obiect situat la distanță finită, sau focarul tangențial pentru fasciculele paralele.

2. Razele care sunt conținute într-un plan perpendicular pe planul meridian și care trec prin punctul obiect și centrul optic al sistemului, se strâng într-un punct S după traversarea sistemului. Grupând razele în plane paralele cu acest plan, punctul S descrie un segment de dreaptă S_1S_2 conținut în planul meridian. Acest segment de dreaptă reprezintă *imaginea sagitală* în cazul unui punct obiect situat la distanță finită, respectiv focarul sagital pentru fasciculele paralele.

Distanța dintre punctul T și S se numește *distanță de astigmatism* și depinde de unghiul α dintre fasciculul incident și axa optică.

Mersul lucrării:

1) Determinarea distanței focale a unei oglinzi concave

a) Metoda directă

Se așează pe bancul optic în ordine, sursa de lumină, obiectul luminos O , Ocularul (vizorul) O_C , oglinda concavă O_g (fig. 3.5).

Vizorul cu care se fac observațiile este alcătuit dintr-o prismă cu reflexie totală și un ocular pozitiv (fig. 3.6).

Oglinda concavă și obiectul luminos se centreză, astfel încât centrul oglinzii să fie bine iluminat. Vizorul se așează ceva mai jos pentru a nu împiedica complet trecerea luminii de la obiect la oglindă. Se reglează vizorul deplasând ocularul (se modifică distanța dintre prismă și ocular) până se văd clar firele reticulare cu ochiul relaxat (acomodat pentru infinit). Apoi se deplasează vizorul pe bancul optic (între oglindă și obiectul luminos) până când se obține o imagine clară a obiectului luminos în planul firelor reticulare.

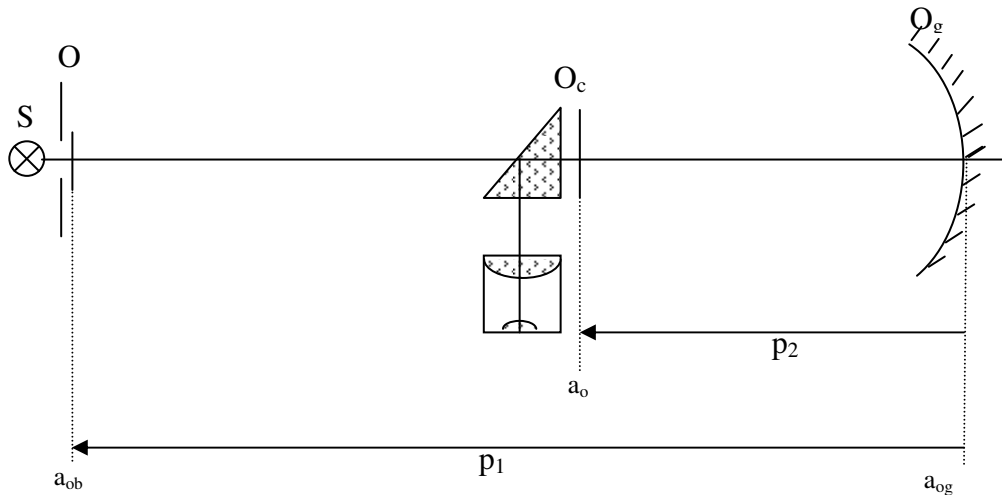


Fig. 3.5

Aceasta se poate verifica astfel: dacă planul reticulului nu coincide exact cu planul imaginii, la o ușoară mișcare a capului spre stânga sau spre dreapta se vede că reticulul pare a se mișca față de imagine, (deplasare de paralaxă). Când ambele plane coincid, la o deplasare a capului imaginea și reticulul se mișcă simultan în același sens.

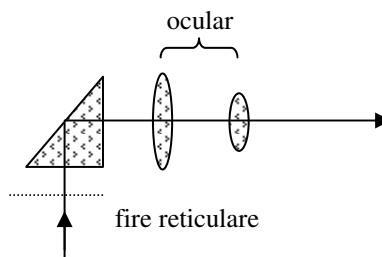


Fig. 3.6 Schema ocularului.

Fie a_{ob} , a_o și a_{og} diviziunile de pe bancul optic în dreptul cărora se află obiectul luminos, vizorul, respectiv oglinda. Se calculează distanțele:

$$p_1 = a_{ob} - a_{og}$$

$$p_2 = a_o - a_{og}$$

Păstrând fixă poziția obiectului a_{ob} , se fac cel puțin trei determinări pentru poziția imaginii a_o , apoi se calculează p_2 , respectiv valoarea medie $\overline{p_2}$.

Cu perechea de valori p_1 și $\overline{p_2}$ se calculează distanța focală f cu ajutorul relației (3.2).

Deoarece mărimile p_1 și p_2 pe care le utilizăm în formula (3.2) sunt experimentale, deci se determină fiecare cu o anumită eroare, atunci și mărimea calculată f este afectată de o eroare. În cazul bancului optic divizat în milimetri, eroarea cu care se determină distanța obiect este $\Delta p_1 = \pm 1$ mm. Determinarea valorii distanței imagine nu se poate face cu aceeași precizie. La determinarea distanței imagine mai intervine eroarea de punere la punct, adică de apreciere a poziției celei mai clare imagini.

Eroarea de punere la punct este determinată de starea ochiului observatorului, de calitatea imaginii, de profunzimea de câmp, etc., factori ce nu pot fi evaluați cu precizie apriori. Din această cauză pentru a evalua eroarea de punere la punct, implicit eroarea asupra mărimii p_2 , se procedează experimental.

Din cele trei determinări efectuate se calculează valoarea medie $\overline{p_2} = \frac{p_2 + p_2' + p_2''}{3}$ și erorile absolute individuale Δp_2 .

Pentru a obține eroarea absolută în cazul determinării distanței focale f , se diferențiază relația (3.1) și se obține succesiv:

$$\Delta f = \pm (\Delta p_1 \frac{p_2^2}{(p_1 + p_2)^2} + \Delta p_2 \frac{p_1^2}{(p_1 + p_2)^2}) \quad (3.3)$$

$$\Delta f = \pm f^2 \left(\frac{\Delta p_1}{p_1^2} + \frac{\Delta p_2}{p_2^2} \right) \quad (3.4)$$

În concluzie eroarea absolută maximă în cazul determinării distanței focale, Δf_{max} se obține din relația (3.4) unde pentru p_1 se consideră valoarea stabilită, pentru p_2 valoarea medie $\overline{p_2}$ iar pentru Δp_1 , valoarea erorii de citire, adică ± 1 mm. Pentru Δp_2 se consideră cea mai mare dintre erorile absolute individuale calculate.

Se modifică distanța obiect prin deplasarea obiectului luminos față de oglindă și se repetă experiența ca mai sus.

Experiența se repetă pentru cel puțin trei valori diferite ale lui p_1 . Se calculează de fiecare dată valorile distanței focale corespunzătoare f , valoarea medie a distanței focale \bar{f} , erorile absolute individuale Δf și eroarea absolută medie $\overline{\Delta f}$.

Erorile individuale Δf trebuie să fie mai mici sau cel mult egale cu eroarea absolută maximă Δf_{\max} calculată cu ajutorul relației (3.4). Rezultatele experimentale și erorile calculate se trec în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

a_{ob}	a_{og}	a_o	p_1	p_2	$\overline{p_2}$	Δp_1	Δp_2	f	\bar{f}	Δf	Δf_{\max}	$\overline{\Delta f}$	$\frac{\overline{\Delta f}}{\bar{f}}$
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	%

Rezultatele obținute pot fi sintetizate cu ajutorul formulei: $f = \bar{f} \pm \overline{\Delta f}$ (cm).

b) Metoda fasciculului paralel

Distanța focală a unei oglinzi concave se poate determina direct dacă fasciculul care cade pe oglindă este paralel. În acest caz după reflexie razele de lumină converg în focar.

Metoda autocolimației

Dacă plasăm un obiect luminos A_1B_1 în planul focal al unei lentile convergente L , atunci fasciculul luminos emergent va fi paralel. În spatele lentilei, perpendicular pe axa optică principală, plasăm o oglindă plană. Fasciculul paralel de lumină se reflectă pe oglinda plană, trece din nou prin lentilă și formează imaginea A_2B_2 în planul focal al lentilei. Imaginea este reală, egală cu obiectul și răsturnată. Această metodă se numește *autocolimație*, deoarece aceeași lentilă colimează (paralelizează) fasciculul și îl focalizează pentru a forma imaginea A_2B_2 (fig. 3.7).

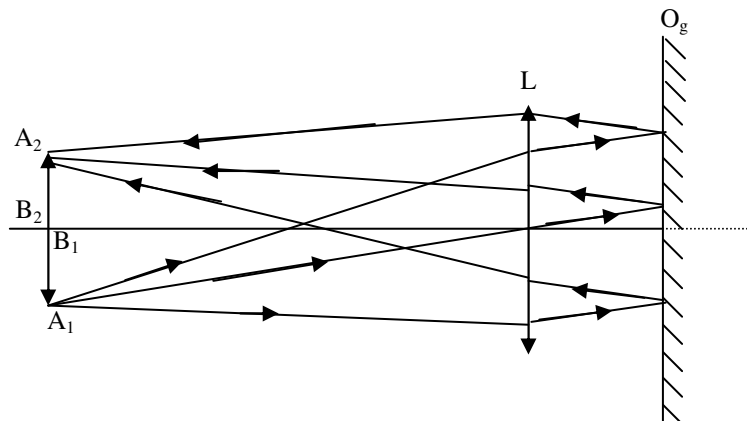


Fig. 3.7 Metoda autocolimației

Pe bancul optic se așează în ordine: sursa de lumină **S**, obiectul luminos **O**, lentila convergentă **L**, vizorul **O_c** și oglinda concavă **O_g** (fig. 3.8).

Pentru a obține un fascicul paralel cu metoda autocolimației se procedează în felul următor: în planul obiectului luminos se fixează o foaie de hârtie albă, care acoperă jumătate din obiectul luminos. Se așează o oglindă plană perpendicular pe axa optică a lentilei. Se deplasează lentila față de obiectul luminos până când se obține în planul obiectului (pe o bucată de carton) o imagine clară, egală cu obiectul și răsturnată. Conform celor spuse mai sus, în acest caz atât obiectul cât și imaginea se găsesc în planul focal al lentilei. Se îndepărtează oglinda plană și se lasă astfel ca fasciculul paralel de lumină să cadă pe oglinda concavă.

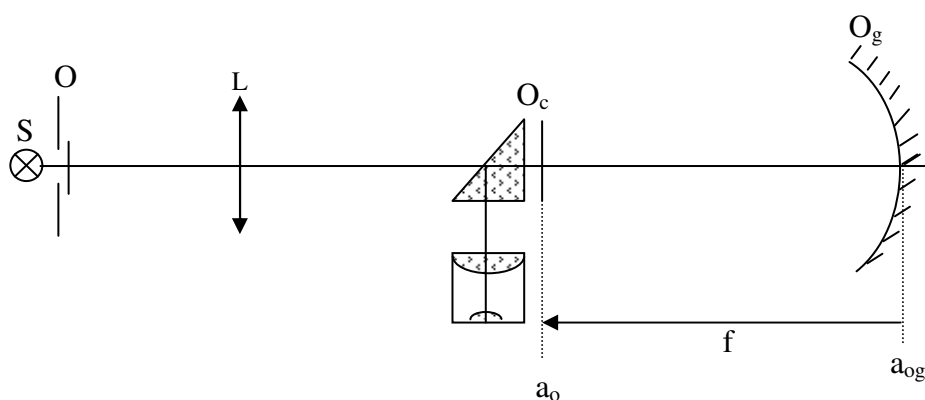


Fig. 3.8

Deplasăm vizorul pe bancul optic pentru a obține, în planul firelor reticulare, o imagine clară a obiectului luminos. Fasciculul incident fiind paralel, imaginea dată de oglindă se formează în focarul acesteia.

Se citește pe bancul optic poziția vizorului **a₀** și poziția oglinzii **a_{og}**. Distanța focală va fi în acest caz:

$$f = \bar{a}_0 - a_{og} \quad (3.5)$$

Pentru aceeași valoare **a_{og}** se fac cel puțin trei determinări pentru **a₀** și se calculează valoarea medie \bar{a}_0 care se introduce de fapt în expresia (3.5) pentru a calcula distanța focală.

Rezultatele experimentale se trec în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2.

a_{og}	a₀	\bar{a}_0	f	\bar{f}	Δf	$\overline{\Delta f}$
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm

Rezultatele obținute pot fi sintetizate cu ajutorul relației: $f = \bar{f} + \overline{\Delta f}$ (cm).

2) Determinarea distanței focale a unei oglinzi convexe

Se așează în ordine pe bancul optic: sursa de lumină **S**, obiectul luminos **O**, lentila convergentă **L** și pe brațul mobil (care se găsește în prelungirea brațului fix), vizorul **O_c** (fig. 3.9).

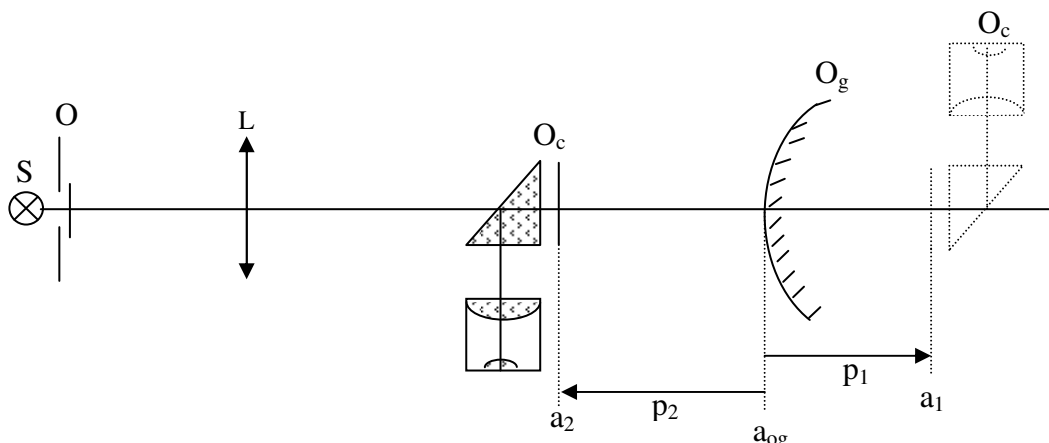


Fig. 3.9

Se deplasează lentila convergentă până când se obține o imagine clară a obiectului luminos în vizor (pe cât posibil cât mai aproape de locul unde se va așeza oglinda convexă). Fie **a₁** poziția vizorului. Se determină de cel puțin trei ori poziția **a₁** și se calculează valoarea medie **\bar{a}_1** .

Între lentila convergentă (de pe brațul fix) și vizorul (de pe brațul mobil) se așează oglinda convexă **O_g**. Imaginea dată de lentilă servește drept *obiect virtual* pentru oglinda convexă. Dacă obiectul virtual se găsește între vârful oglinzii convexe și focar, imaginea finală va fi reală (3.3). Fie **a_{og}** poziția oglinzii convexe.

Distanța obiect este:
$$p_1 = a_{og} - \bar{a}_1$$

Se așează vizorul pe brațul fix între oglinda convexă și lentilă, apoi se deplasează până când se obține o imagine clară a obiectului luminos în planul firelor reticulare, acestea fiind imaginea reală dată de oglinda convexă. Fie noua poziție a vizorului **a₂**.

Se repetă experiența (lăsând poziția lentilei și a oglinzii fixe) făcând cel puțin trei determinări pentru **a₂** și se calculează apoi valoarea medie **\bar{a}_2** . Se calculează distanța imagine:

$$p_2 = \bar{a}_2 - a_{og}$$

Cu aceste valori **p₁** și **p₂** se calculează distanța focală a oglinzii convexe cu relația (3.2).

Experiența se repetă pentru cel puțin trei poziții **\bar{a}_1** diferite ale obiectului virtual.

Rezultatele experimentale și calculele se trec în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

a_1	$\overline{a_1}$	a_{og}	a_2	$\overline{a_2}$	p_1	p_2	f	\overline{f}	Δf	$\overline{\Delta f}$	$\frac{\overline{\Delta f}}{\overline{f}}$
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	%

Rezultatele obținute pot fi sintetizate cu ajutorul relației: $f = \overline{f} + \overline{\Delta f}$

Observație: Pentru determinarea distanței focale în cazul oglinzii convexe se poate proceda și în felul următor:

Se determină mai întâi distanța imagine p_2 . Se așează pe bancul optic sursa de lumină **S**, obiectul luminos **O**, lentila convergentă **L**, vizorul **O_C** și oglinda convexă **O_g**. Se deplasează vizorul și lentila până când se obține o imagine clară a obiectului luminos. Se determină poziția imaginii a_2 de cel puțin trei ori. Se înlătură oglinda convexă de pe bancul optic, se rotește brațul mobil până când ajunge în prelungirea brațului fix. Se așează vizorul pe brațul mobil și se deplasează până când se obține din nou o imagine clară. Se determină poziția obiectului virtual a_1 de cel puțin trei ori. Se repetă măsurătorile în ordinea descrisă de cel puțin trei ori.

3) Studiul aberației de astigmatism la oglinda concava

Metoda fascicului paralel

Pe bancul optic se așează în ordine: sursa de lumină **S**, obiectul luminos **O**, lentila convergentă **L**, vizorul **O_C** (așezat pe brațul mobil) și oglinda concavă **O_g** (fig. 3.10).

Atenție: obiectul luminos trebuie așezat astfel încât liniile caroiajului să fie pe direcția verticală, respectiv orizontală.

Se centrează dispozitivul experimental. Cu ajutorul lentilei convergente se obține un fascicul paralel prin metoda autocolimației.

Rotim brațul mobil (pe care se află vizorul) în plan orizontal până când între brațul fix (fasciculul incident) și brațul mobil (fasciculul emergent) se realizează un unghi $2\alpha = 60^\circ$, măsurat pe discul gradat al dispozitivului. Se rotește oglinda concavă în jurul axei verticale până când fasciculul reflectat se propagă de-a lungul brațului mobil. În acest caz, unghiul dintre fasciculul incident și normala la oglindă (respectiv unghiul dintre normala la oglindă și fasciculul reflectat) este $\alpha = 30^\circ$.

Deplasând vizorul pe brațul mobil al bancului optic se observă că nu se poate

obține, în planul firelor reticulare, o imagine clară a obiectului luminos, dar se obține imaginea clară a liniilor verticale și imaginea clară a liniilor orizontale. Fasciculus incident fiind paralel, imaginea dată de oglindă se formează în focarul acesteia.

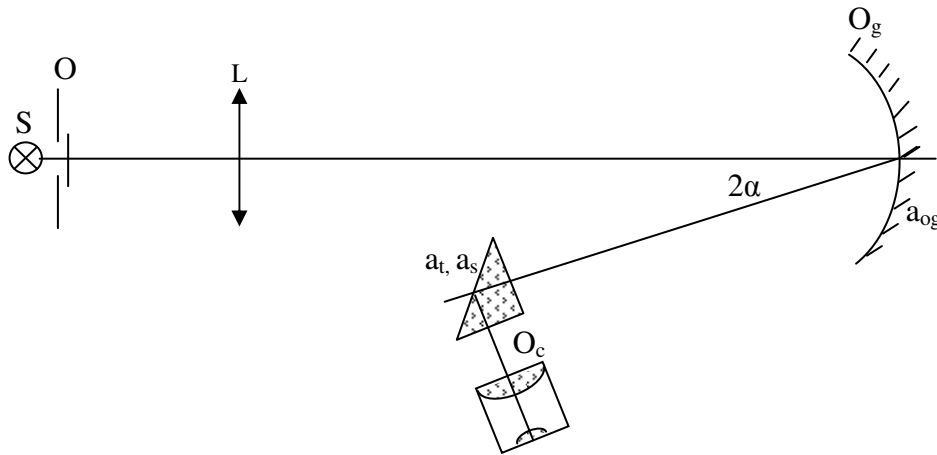


Fig. 3.10

Poziția vizorului pentru care este clară imaginea liniilor verticale (focula tangențială) se notează cu \mathbf{a}_t , iar poziția vizorului pentru care este clară imaginea liniilor orizontale (focula sagitală) se notează cu \mathbf{a}_s .

Se modifică unghiul α de la valoarea de 30° la 10° din 5° în 5° . Pentru fiecare valoare a unghiului α se deplasează vizorul pe bancul optic până ce în planul firelor reticulare se obține imaginea clară a liniilor verticale (imaginea tangențială \mathbf{a}_t) și imaginea clară a liniilor orizontale (imaginea sagitală \mathbf{a}_t).

La sfârșit se fac măsurători pentru unghiul $\alpha = 0$ și se citește poziția oglinzii concave \mathbf{a}_{Og} .

Distanța focală tangențială este dată de relația:

$$f_t = a_t - a_{Og}$$

iar distanța focală sagitală este:

$$f_s = a_s - a_{Og}$$

Pentru fiecare valoare a lui α se fac cel puțin trei determinări și se calculează valorile medii \bar{f}_t și \bar{f}_s . Cu aceste valori medii se calculează distanța de astigmatism pentru fiecare valoare a lui α :

$$a = \bar{f}_s - \bar{f}_t$$

Notă: Pentru $\alpha = 0$ se obține distanța de astigmatism diferită de zero doar în cazul în care ochiul observatorului este afectat de astigmatism. În cazul unui ochi

normal, poziția imaginii sagitale coincide cu poziția imaginii tangențiale (pentru $\alpha = 0$).

Rezultatele experimentale se trec în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

a_{Og}	α	a_s	a_t	f_s	\bar{f}_s	f_t	\bar{f}_t	a
cm	(⁰)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm

Se reprezintă pe același grafic funcțiile: $(f_t) = f(\alpha)$; $(f_s) = f(\alpha)$ și $a = a(\alpha)$.