

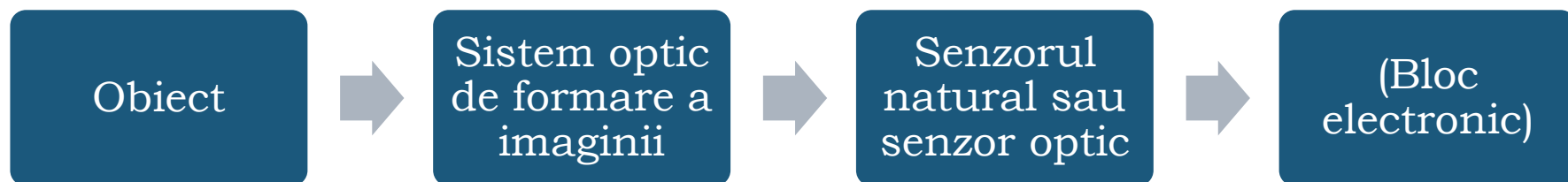
OPTICA TEHNICA

2019

Aplicații ale opticii în mecatronică:

- imaging (sisteme de preluare și/sau proiectare a imaginii)
- non-imaging (sisteme de măsurare, verificare etc. cu senzori optici)

Schema bloc a unui sistem imaging



Obiectul este caracterizat prin dimensiuni și formă geometrică, depărtare impusă față de sistemul de preluare a imaginii, distribuție de luminozitate și culoare.

Sistemul optic formează imaginea obiectului și o proiectează pe senzor sau pe retina ochiului.

Senzorul optic (vizual) este ochiul sau un dispozitiv optoelectronic de tip CCD (charged couple device).

Blocul electronic consecutiv senzorului în schemă, are rolul de a amplifica, stoca și reda informația.

Aplicatii imaging



E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
F E L O P Z D	7	20/25
D E F P O T E C	8	20/20
L E F O D P C T	9	
F D P L T O R O	10	
F E R O L O F T D	11	



Schema bloc a unui sistem non-imaging cu senzori optici



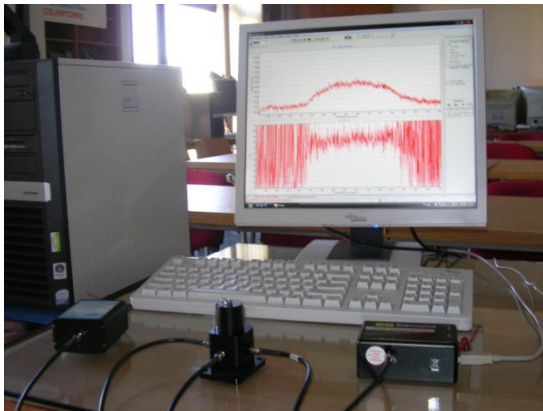
Sursa de radiație este o sursă integrală cu incandescență, un LED sau o sursă laser, cu caracteristici fotometrice și cromatice specifice aplicației (flux radiant, câmp și distanță de iluminare, lungime de undă etc.)

Obiectul denumește generic proprietatea fotometrică sau colorimetrică pe care se bazează aplicația.

Senzorul optic preia radiația purtătoare de informație și o transformă în semnal electric.

Blocul electronic amplifică, prelucrează, stochează etc. semnalul electric generat prin efect optic.

Aplicatii non-imaging



OBIECTUL OPTICII

Optica este ramura fizicii care studiază natura, proprietățile, modul de producere și de propagare a radiației luminoase.

Radiația luminoasă, sau **lumina**, reprezintă acea parte din spectrul de radiații electromagnetice, care produce senzație vizuală asupra ochiului.

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = hc\bar{\nu} \quad \nu = \frac{c}{\lambda} = c\bar{\nu}$$

h - constanta lui Planck ($h = 6.6256 \cdot 10^{-34}$ Js)

Denumirea regiunii din spectru	Lungimi de undă la limitele domeniului	UM	Frecvențe la limitele domeniului [Hz]
Raze γ	-		$>10^{20}$
Raze x	$10^{-2} - 10^2$	Å	$10^{20} - 3 \cdot 10^{16}$
Ultraviolet îndepărtat (FUV) *	10 - 200	nm	$3 \cdot 10^{16} - 1.5 \cdot 10^{15}$
Ultraviolet apropiat (NUV) *	200 - 380	nm	$1.5 \cdot 10^{15} - 7.9 \cdot 10^{14}$
Vizibil (VIS) *	380 - 780	nm	$7.9 \cdot 10^{14} - 3.8 \cdot 10^{14}$
Infraroșu apropiat (NIR) *	0.78 - 2.5	μm	$3.8 \cdot 10^{14} - 1.2 \cdot 10^{14}$
Infraroșu mediu (MIR) *	2.5 - 50	μm	$1.2 \cdot 10^{14} - 6 \cdot 10^{12}$
Infraroșu îndepărtat (FIR) *	50 - 1000	μm	$6 \cdot 10^{12} - 3 \cdot 10^{11}$
Microunde (MW) *	0.1 - 100	cm	$3 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^8$
Unde radio	1 - 100	m	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^5$

Domeniul vizibil este un segment foarte îngust al spectrului electromagnetic.

Clasificarea CIE (**Comisia Internațională pentru Iluminare**) – Europa – și **USA Standard Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering**, ca parte integrantă a sistemului american de standarde ANSI (termenii, mărimile, unitățile de măsură și recomandările cu care operează **Illuminating Engineering Society of North America** (IESNA) au la bază prevederile ANSI, care sunt în acord cu standardele CIE).

Denumirea domeniului	Gama lungimilor de undă limită	UM
UV – C	100...280	nm
UV – B	280...315	nm
UV – A	315...400	nm
VIS	aprox.360-400...aprox.760-800	nm
IR – A	780...1400	nm
IR – B	1.4...3	μm
IR – C	3...1000	μm

Lumina de o anumită lungime de undă se numește **monocromatică** și corespunde unei senzații de culoare bine definite. Lumina albă este o radiație policromatică. Prin descompunerea unei radiații policromatice se obține **spectrul** acesteia, format din radiațiile monocromatice componente. În domeniul vizibil, ochiul percepe șase domenii de culoare.

culoarea	violet	albastru	verde	galben	orange	roșu
λ [nm]	380-440	440-495	495-580	580-600	600-640	640-780



Tratarea problemelor de optică este operată prin ramurile sale:

- ❑ **Optica geometrică** - studiază propagarea luminii fără a lua în considerare natura sa
- ❑ **Optica ondulatorie** - studiază fenomenele de interferență, difracție și polarizare, pe baza modelului ondulatoriu al luminii
- ❑ **Optica corpusculară sau cuantică** - studiază interacțiunea radiație-structuri materiale, pe baza modelului corpuscular al luminii
- ❑ **Optica fiziologică** - studiază anatomia și fiziologia ochiului uman.

Optica tehnică sau **ingineria optica** reunește toate ramurile enunțate mai sus și elaborează metodele și algoritmi de calcul necesari sintezei și analizei sistemelor optice.

CONCEPTE, CONVENȚII, PRINCIPII ȘI LEGI FUNDAMENTALE ALE OPTICII GEOMETRICE

CONCEPTE MEDIU OPTIC

Mediul optic este orice mediu traversat de lumină și care interacționează cu aceasta. La trecerea luminii printr-un mediu optic energia luminoasă este diminuată prin absorbție, iar viteza de propagare scade datorită densității optice – o caracteristică a mediului a cărei măsură este **indicele de refracție**:

$$n = \frac{c}{v}$$

unde c este viteza de propagare a undelor electromagnetice în vid, iar v este viteza de propagare a luminii în mediul dat.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 299792458 \text{ m/s}$$

Indicele de refracție este variabil în raport cu:

- ☐ lungimea de undă
- ☐ temperatura
- ☐ presiunea.

Importanță deosebită prezintă dependența indicelui de refracție de lungimea de undă a radiației de lucru. Indicele de refracție variabil conduce la apariția fenomenului de **dispersie** la trecerea luminii prin orice mediu optic. Dispersia se manifestă prin descompunerea radiației policromatice în radiațiile monocromatice componente și, în majoritatea aplicațiilor în lumină albă, este un fenomen nedorit, care conduce la apariția aberațiilor cromatice.

Sistemul $F' - e - C'$:

- n_e – indice de refracție de referință ($\lambda = 546.074$ nm – linie verde)
- $n_{F'}$ – indice de refracție la marginea inferioară a spectrului ($\lambda = 479.992$ nm – linie albastră)
- $n_{C'}$ – indice de refracție la marginea superioară a spectrului ($\lambda = 643.85$ nm – linie roșie)

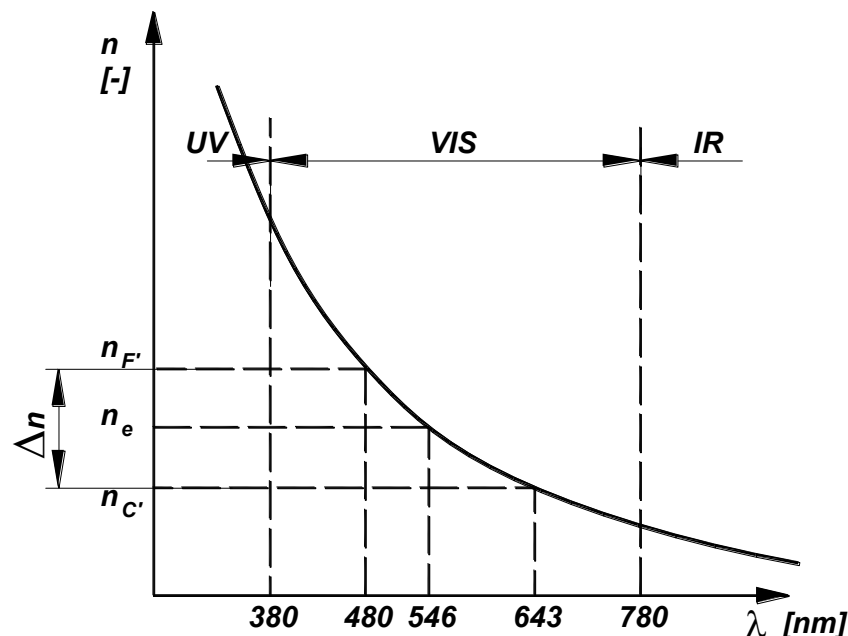
Dependența $n(\lambda)$ în domeniul vizibil este o funcție neliniară dar monoton descrescătoare și se numește normală. Datorită neliniarității, mărimea $dn/d\lambda$ nu este o constantă. Din acest motiv se definesc mai mulți **indicatori de dispersie**.

Dispersia principală (medie):

$$\Delta n \cong dn = n_{F'} - n_{C'} = (6...70) \cdot 10^{-3}$$

Numarul Abbe:

$$v_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$$



Sticlele cu indice de refracție mic ($n=[1.4...1.6]$), numite sticle Crown, au dispersie mică ($v=50...90$), iar sticlele cu indice de refracție mai mare ($n=[1.6...1.9]$), numite sticle Flint, au dispersie mare ($v=20...50$).

Mediu optic:

- ☐ transparent
- ☐ translucid
- ☐ opac

Suprafața de separație a două medii transparente cu densități optice diferite constituie un **dioptru**. În mod convențional, la stânga dioptrului se află **mediul obiect**, iar la dreapta acestuia, **mediul imagine**.

DRUM OPTIC

Drumul optic într-un mediu dat (l) și într-un interval de timp dat, convențional, se consideră ca fiind egal cu drumul geometric parcurs de lumină în vid în același timp:

$$[l] = nl$$

unde l este drumul geometric parcurs de lumină.

Pentru un șir de medii optice diferite drumurile optice se însumează.

RAZA DE LUMINA. FASCICUL LUMINOS

Prin definiție, **raza de lumină** reprezintă o porțiune dintr-o dreaptă parcursă de lumină. O mulțime de raze de lumină ordonate după o regulă alcătuiesc un **fascicul luminos**. Acesta poate fi:

- paralel
- conic convergent
- conic divergent.

PRINCIPIILE OPTICII GEOMETRICE

- ❑ principiul propagării rectilinii a luminii
- ❑ principiul independenței razelor luminoase
- ❑ principiul reversibilității drumului optic
- ❑ principiul lui Fermat

NOTATII SI CONVENTII DE SEMNE

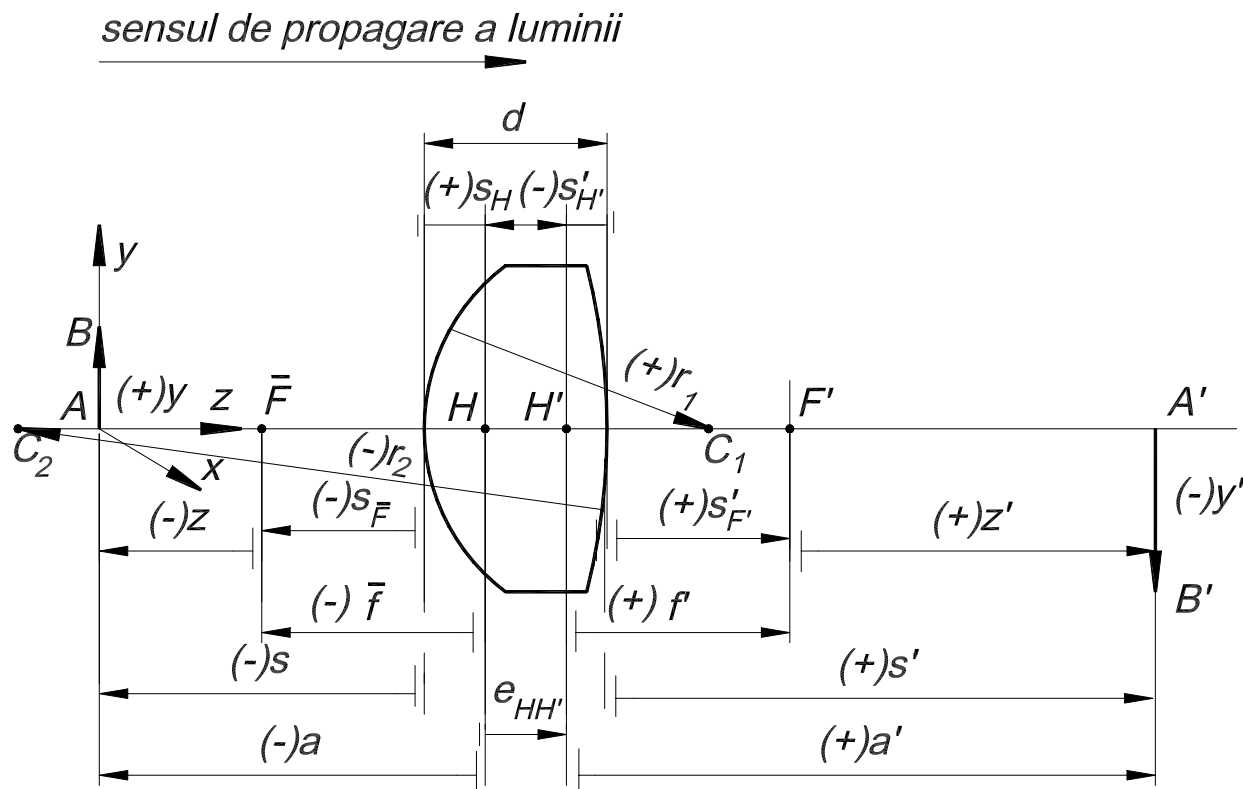
Notarea mărimilor cu care se operează în optica tehnică este standardizată.

Simbolizarea acestor mărimi se face după următoarele reguli:

- ❑ Notarea punctelor se face cu majuscule latine (A,B,C ...)
- ❑ Notarea distanțelor se face cu minuscule latine (a,s, z,...)
- ❑ Notarea unghiurilor se face cu minuscule grecești (ε , σ , φ ,...)
- ❑ Notarea mărimilor adimensionale se face cu minuscule sau majuscule grecești (α , β , γ , Γ ,...)

Excepții: D, D', n, k, q, j

Prin convenție, pentru orice sistem optic, sensul de propagare a luminii este totdeauna de la stânga la dreapta. În stânga sistemului se află spațiul obiect, iar la dreapta sa se află spațiul imagine. Mărimile corespondente din spațiul obiect și imagine se numesc conjugate. Mărimile conjugate se notează cu aceeași literă, cu deosebirea că mărimea imagine primește semnul prim ($'$). De exemplu : A, A', B, B'. Exceptii: F', F



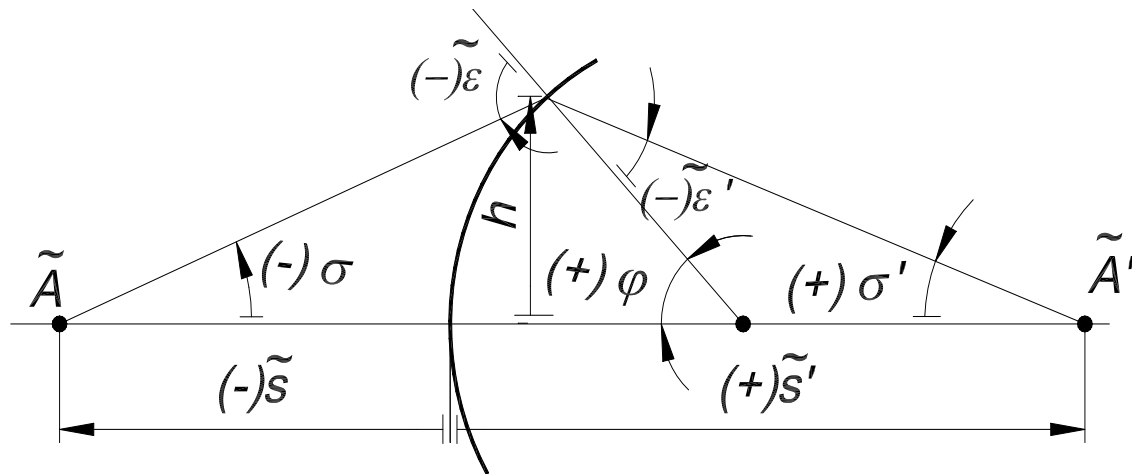
Mărimile referitoare la sistemul real se notează suplimentar cu semnul tilda ($\sim$).

Măsurarea distanțelor se poate face în mai multe variante, după cum originea sistemului de referință este:

- vârful dioptrului; în acest caz distanțele se notează cu s
- planele principale; în acest caz distanțele se notează cu a
- focarele; în acest caz distanțele se notează cu z .

Indiferent de originea de măsurare distanțele sunt pozitive la dreapta originii și negative în sens contrar.

Unghiurile de incidență și emergență, ε și ε' , se definesc ca fiind unghiurile dintre normala la suprafață în punctul de incidență și raza incidentă, respectiv emergentă. Unghiurile dintre axa optică și raza incidentă, respectiv emergentă, se notează cu σ și σ' . Unghiul dintre normala la suprafață în punctul de incidență și axa optică se notează cu φ .



Semnul unghiului φ rezultă din relația: $h = r \sin \varphi$

Unghiurile σ și σ' sunt pozitive, prin convenție, dacă sensul razei de lumină este stânga sus-dreapta jos

Semnul unghiurilor ε și ε' rezultă din relația: $\sigma - \varepsilon = \sigma' - \varepsilon'$

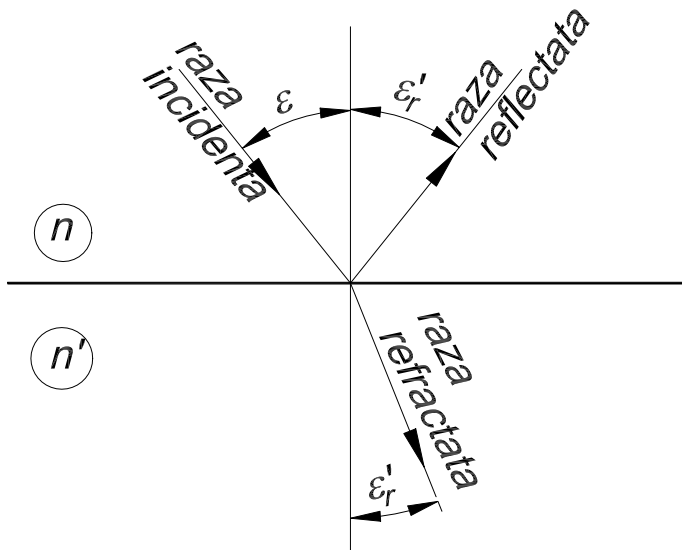
Pentru un sistem optic compus dintr-un șir de dioptri, mărimile omonime se notează cu aceeași literă, căreia i se atașează un indice cu valoare crescătoare în sensul de propagare a luminii.

Pentru suprafețele reflectante se acceptă convenția $n' = -n$.

Reprezentarea grafică a tuturor componentelor sistemului optic și a mărimilor caracteristice acestuia, respectând regulile specifice prezentate, alcătuiește **schema optică** a sistemului.

LEGILE FUNDAMENTALE ALE OPTICII GEOMETRICE

LEGILE REFRACTIEI



1. raza incidentă și raza refractată se situează într-un plan care conține și punctul de incidență și care este perpendicular pe planul de separație a celor două medii optice diferite. Planul care conține cele două raze și punctul de incidență se numește **plan de incidență**.

2. $n \sin \varepsilon = n' \sin \varepsilon'$ (Legea Snellius-Descartes)

Reflexia totală este un fenomen care poate apărea în cazul în care raza incidentă provine din mediul optic mai dens ($n' < n$). Valoarea unghiului limită, ε_l , se determină din legea refracției, punând condiția $\varepsilon' = 90^\circ$:

$$\varepsilon_l = \arcsin \frac{1}{n}$$

LEGILE REFLEXIEI

1. raza incidentă, raza reflectată și punctul de incidență se situează într-un plan perpendicular pe suprafața reflectantă.
2. $\varepsilon = \varepsilon'$

Condițiile reflexiei speculare:

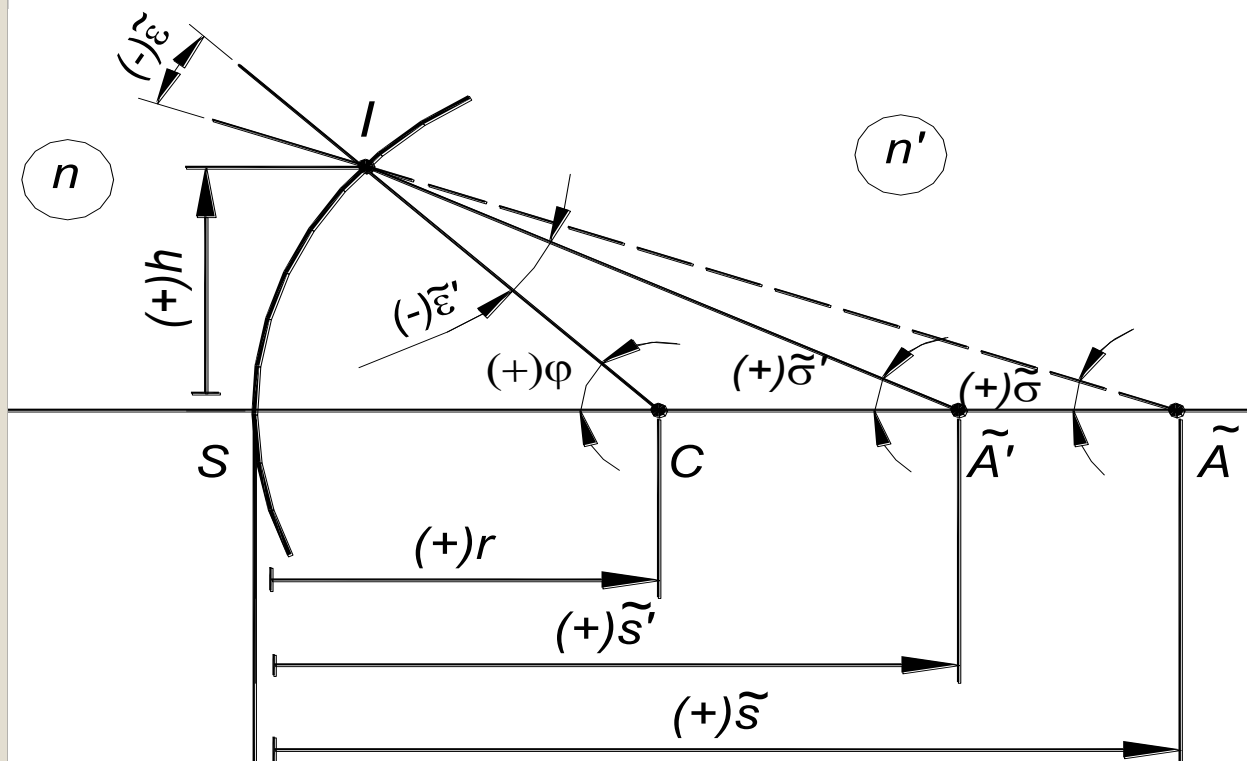
1. $R_a \ll \lambda$
2. $D \gg \lambda$

METODELE RAY TRACING

- **Trasarea razelor in plan meridian** (geometrie plana si trigonometrie) – trasarea drumului razelor in spatiul real din plan meridian (determinarea absciselor conjugate obiect – imagine)
- **Trasarea razelor in domeniul paraxial** (geometrie plana si algebra) – trasarea drumului razelor in domeniul paraxial (determinarea caracteristicilor de referinta ale sistemelor optice)
- **Trasarea razelor in plan meridian prin suprafete asferice** (geometrie analitica plana, trigonometrie si metode numerice) – trasarea drumului razelor in spatiul real prin suprafete asferice
- **Trasarea vectoriala a razelor** (geometria analitica 3D) – trasarea diagramei spot
- **Modelarea scenelor 3D** (geometria analitica 3D, principiul camerei, metode numerice, modelare matematica a fenomenelor optice de tip refractie, reflexie, difuzie, reflexii multiple, a umbrelor, texturii etc.) – suport pentru software in aplicatiile video (interfete grafice, jocuri video)

TRASAREA RAZELOR ÎN DOMENIUL EXTRAAXIAL

Calculul direct. Metoda trigonometrica



T. sin in $\triangle AIC$:

$$\frac{r}{\sin \tilde{\sigma}} = \frac{\tilde{s} - r}{-\sin \tilde{\epsilon}}$$

$$\sin \tilde{\epsilon} = -\frac{(\tilde{s} - r) \sin \tilde{\sigma}}{r} \quad (1)$$

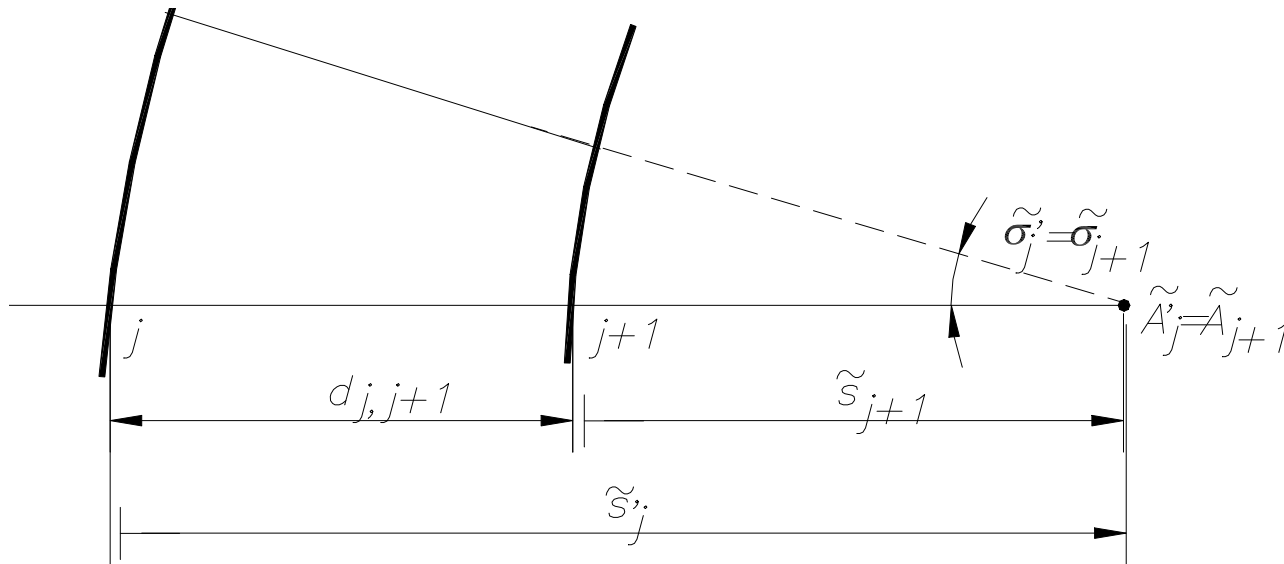
L. refractiei:

$$\sin \tilde{\epsilon}' = \frac{n}{n'} \sin \tilde{\epsilon} \quad (2)$$

Conv. semne: $\tilde{\sigma}' = \tilde{\sigma} - \tilde{\epsilon} + \tilde{\epsilon}' \quad (3)$

T. sin in $\triangle A'IC$: $\tilde{s}' = r \left(1 - \frac{\sin \tilde{\epsilon}'}{\sin \tilde{\sigma}'} \right) \quad (4)$

Trecerea la dioptrul urmator:

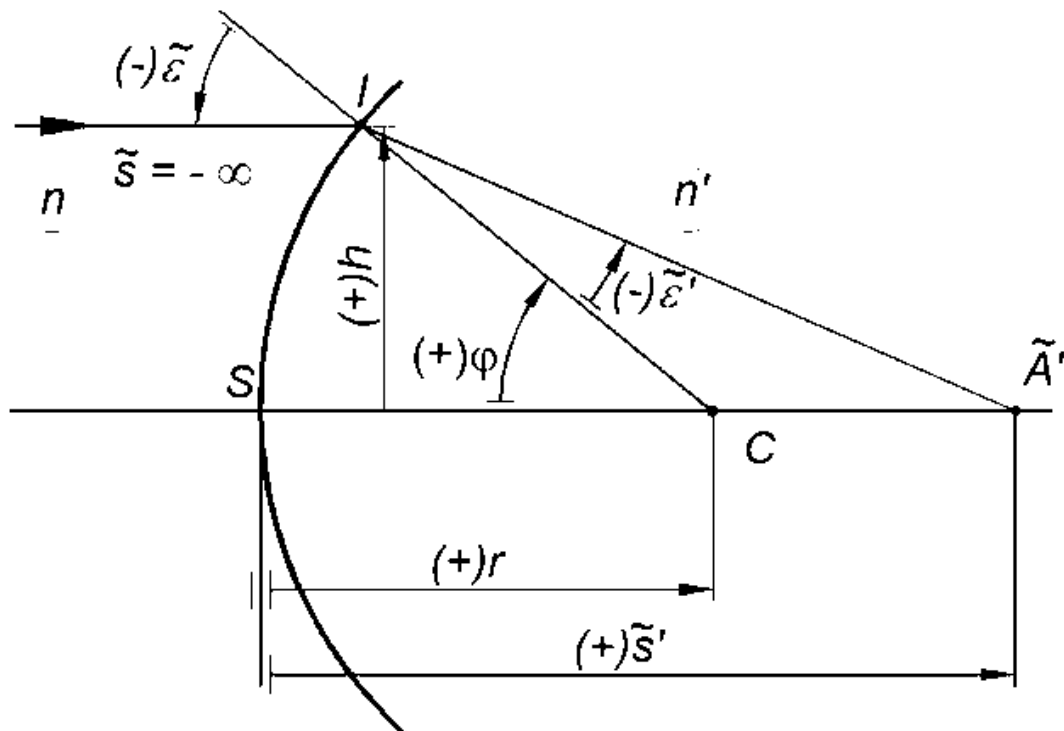


$$\tilde{s}_{j+1} = \tilde{s}'_j - d_{j,j+1}$$

$$\tilde{\sigma}_{j+1} = \tilde{\sigma}'_j$$

Cazuri particulare

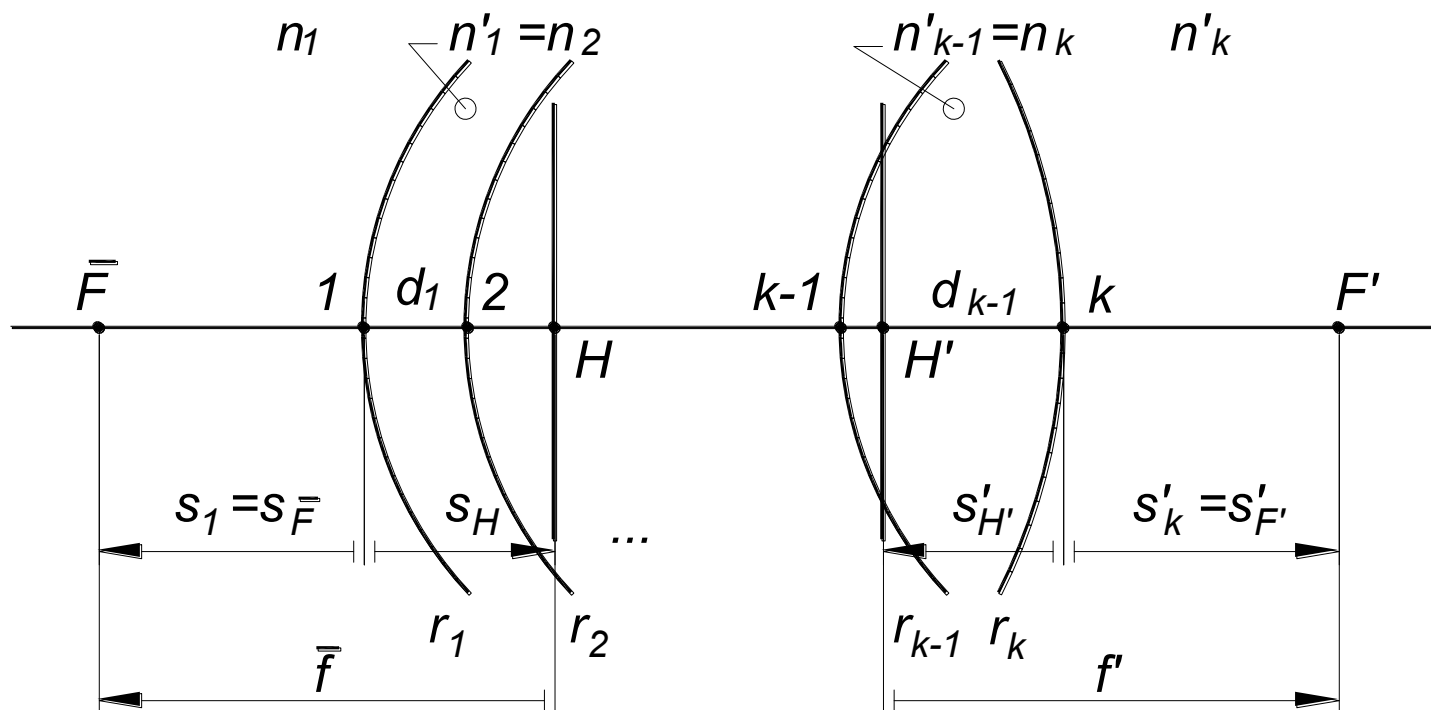
□ Dioptru sferic, distanță obiect infinită ($r \neq \infty, \tilde{s} = -\infty$).



$$\sin \tilde{\varepsilon} = -\sin \varphi = -\frac{h}{r}$$

CARACTERISTICILE DE REFERINTA ALE SISTEMELOR OPTICE

Un **sistem optic** este format dintr-un șir de dioptri sferici sau plani. Dacă centrele de curbură ale dioptrilor sferici și normalele la suprafața dioptrilor plani sunt conținute de o dreaptă unică, atunci sistemul se numește **centrat**, iar dreapta reprezintă **axa optică** a sistemului.



Caracteristicile geometrice ale sistemului se referă la **razele de curbură** $\mathbf{r}_1 \dots \mathbf{r}_k$ ale dioptrilor sferici și distanțele dintre vârfurile acestora, $\mathbf{d}_{12} \dots \mathbf{d}_{k-1,k}$ măsurate pe axa optică.

Caracteristicile optice ale sistemului includ indicii de refracție $\mathbf{n}_1 \dots \mathbf{n}_k$ și $\mathbf{n}'_1 \dots \mathbf{n}'_k$, un set de distanțe care reprezintă **caracteristicile de referință ale sistemului** și mărimi derivate cum ar fi **măririle optice**.

Caracteristicile de referință ale sistemelor optice, relative la spațiul imagine, respectiv obiect sunt următoarele:

- ❑distanța focală imagine, f'
- ❑distanța frontifocală, s'_F
- ❑abscisa planului principal imagine, s'_H
- ❑distanța focală obiect, $\bar{f}$
- ❑distanța frontifocală obiect, $s_{\bar{F}}$
- ❑abscisa planului principal obiect, s_H .

DOMENIUL PARAXIAL

Domeniul paraxial conține punctele și razele din vecinătatea axei optice. Relațiile valabile în domeniul paraxial rezultă din ecuațiile de formare a imaginii în domeniul extraaxial, în care funcțiile trigonometrice se dezvoltă în serie MacLaurin și se păstrează termenii până la puterea întâi. Din acest motiv, studiul în paraxial se numește **optica de ordinul întâi**. Legile formării imaginii în paraxial au fost deduse de C.F. Gauss. În acest context, domeniul paraxial se mai numește și **domeniu gaussian sau domeniul lui Gauss**.

În domeniul paraxial, formarea imaginilor are un caracter ideal. Proprietățile imaginilor date de sisteme optice ideale sunt **stigmatismul** (imaginea unui punct obiect oarecare este tot un punct), **planeitatea** (imaginea unui segment obiect perpendicular pe axa optică este un segment de dreaptă perpendicular pe axa optică) și **ortoscopia** (imaginea este asemenea cu obiectul).

$$f(x) \cong f(0) + f'(0) \frac{x}{1!} + f''(0) \frac{x^2}{2!} + \dots$$

Optica de ordinul I. Domeniul Gauss

Optica de ordinul III. Domeniul Seidel

Optica de ordinul V.....

In domeniul Gauss:

$$\sin x \sim x, (f(x) = \sin x; f(0) = 0; f'(x) = \cos(x); f'(0) = 1)$$

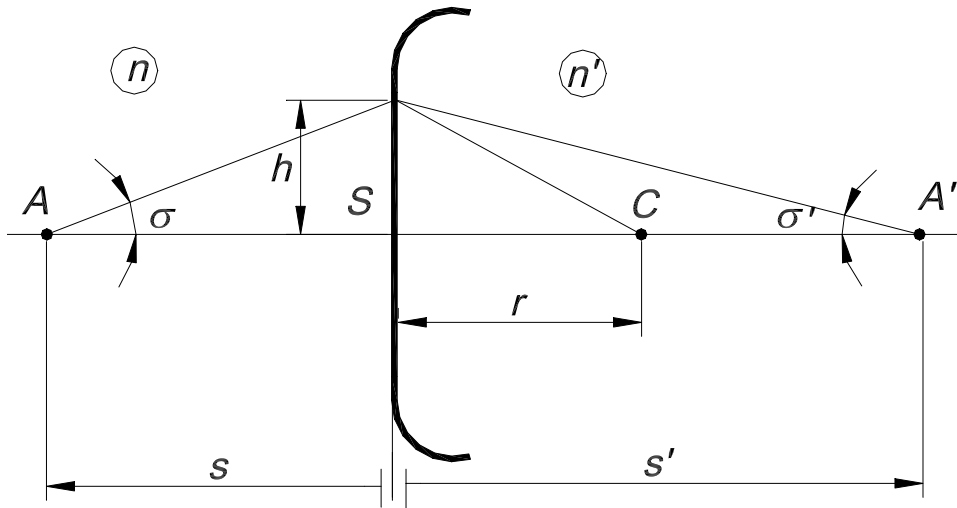
$$n\varepsilon = n'\varepsilon'$$

$$\varepsilon = (r - s) \frac{\sigma}{r} \Rightarrow n \frac{r - s}{r} \sigma = n' \frac{r - s'}{r} \sigma'$$

$$\varepsilon' = (r - s') \frac{\sigma'}{r}$$

Invariantul paraxial obiectiv sau Invariantul Abbe

$$n \frac{r-s}{r} \sigma = n' \frac{r-s'}{r} \sigma'$$



$$\sigma = \frac{h}{s} \quad \sigma' = \frac{h}{s'}$$

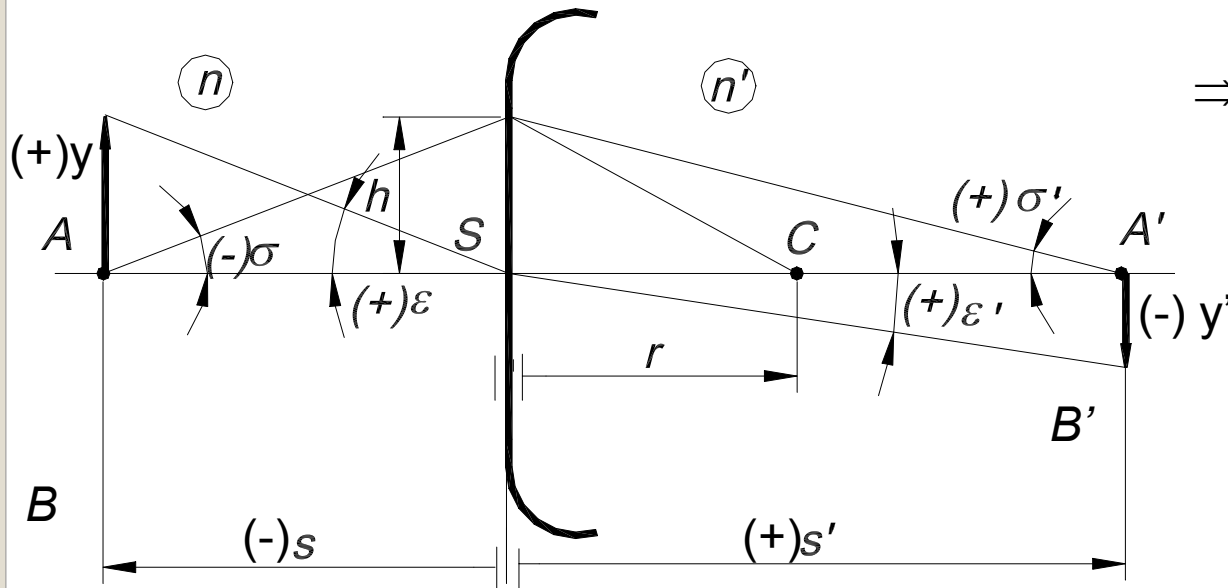
$$n \frac{r-s}{r} \frac{h}{s} = n' \frac{r-s'}{r} \frac{h}{s'}$$

$$Q_s \equiv n \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s} \right) = n' \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s'} \right)$$

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{r}$$

Invariantul Helmholtz-Lagrange

$$\varepsilon = -\frac{y}{s} \quad \varepsilon' = -\frac{y'}{s'} \quad n\varepsilon = n'\varepsilon'$$



$$\Rightarrow \frac{ny}{s} = \frac{n'y'}{s'} = L$$

Invariantul Lagrange

$$h = \sigma s = \sigma' s'$$

$$ny\sigma = n'y'\sigma' = H$$

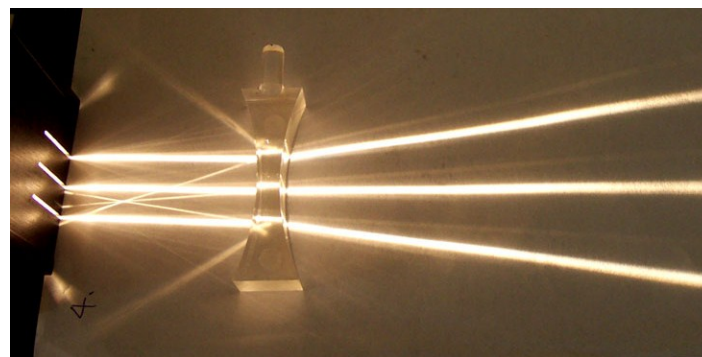
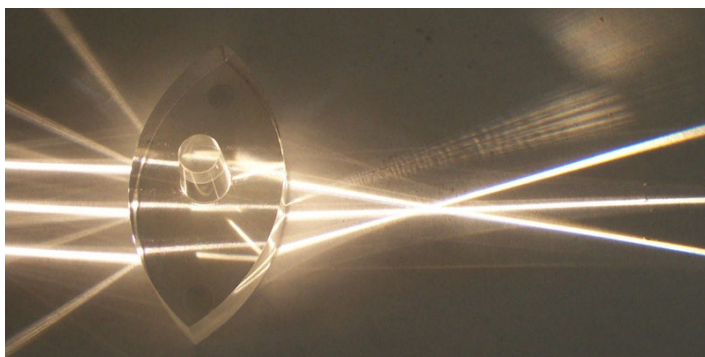
Invariantul Helmholtz

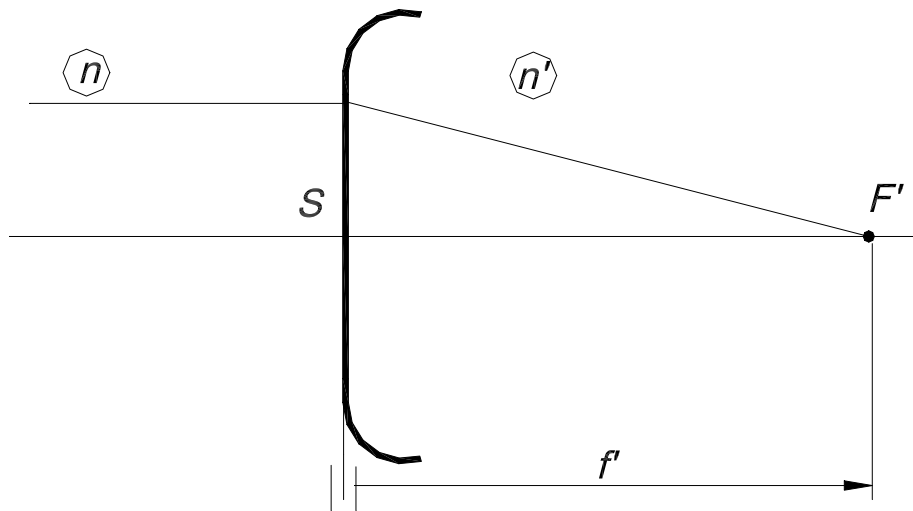
DISTANȚELE FOCALÉ ALE DIOPTRULUI

Distanțele focale reprezintă principala caracteristică optică a dioptrilor și respectiv a sistemelor optice. Distanțele focale ale dioptrului se măsoară de la vârful dioptrului la punctele focale (**focare**).

Prin definiție, **focarul imagine F'** al unui dioptru este punctul de pe axa optică, din spațiul imagine, al cărui punct obiect conjugat se află în spațiul obiect, la infinit.

Prin definiție, **focarul obiect $\bar{F}$** al unui dioptru este punctul de pe axa optică, din spațiul obiect, al cărui punct imagine conjugat se află în spațiul imagine, la infinit.





$$s = \bar{f} \Rightarrow s' = \infty$$

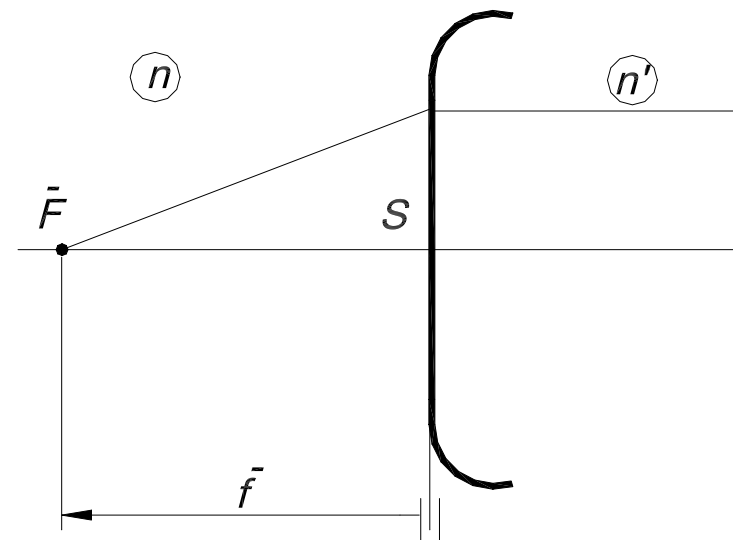
$$\bar{f} = -\frac{nr}{n'-n}$$

Construcția focarului imagine

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{r}$$

$$s = -\infty \Rightarrow s' = f'$$

$$f' = \frac{n'r}{n'-n}$$



Construcția focarului obiect

Cazuri particulare

□ **Dioptru plan refractant ($r = \infty$)**

$f' = -\bar{f} = \infty$ **Suprafețele cu distanțe focale infinite se numesc afocale**

□ **Dioptru sferic reflectant ($n' = -n$)**

$$f' = \bar{f} = \frac{r}{2}$$



Oglinda concava



Oglinda convexa

□ Dioptru plan reflectant ($n' = -n$, $r = \infty$)

$$f' = \bar{f} = \infty$$

Distanțele focale determină **puterea optică** a dioptrilor, a componentelor sau a sistemelor optice. **Puterea optică** se definește ca inversul distanței focale exprimate în metri.

Puterea optică se notează cu Φ și se măsoară în **dioptrii [dpt.]**.

$$\Phi = \frac{1}{f'} \quad [\text{dpt.}] \text{ dacă } \langle f' \rangle = [\text{m}] \quad \Phi = \frac{1000}{f'} \quad [\text{dpt.}] \text{ dacă } \langle f' \rangle = [\text{mm}]$$



DISTANTELE FOCAL ÎNTR-UN SISTEM OPTIC CENTRAT

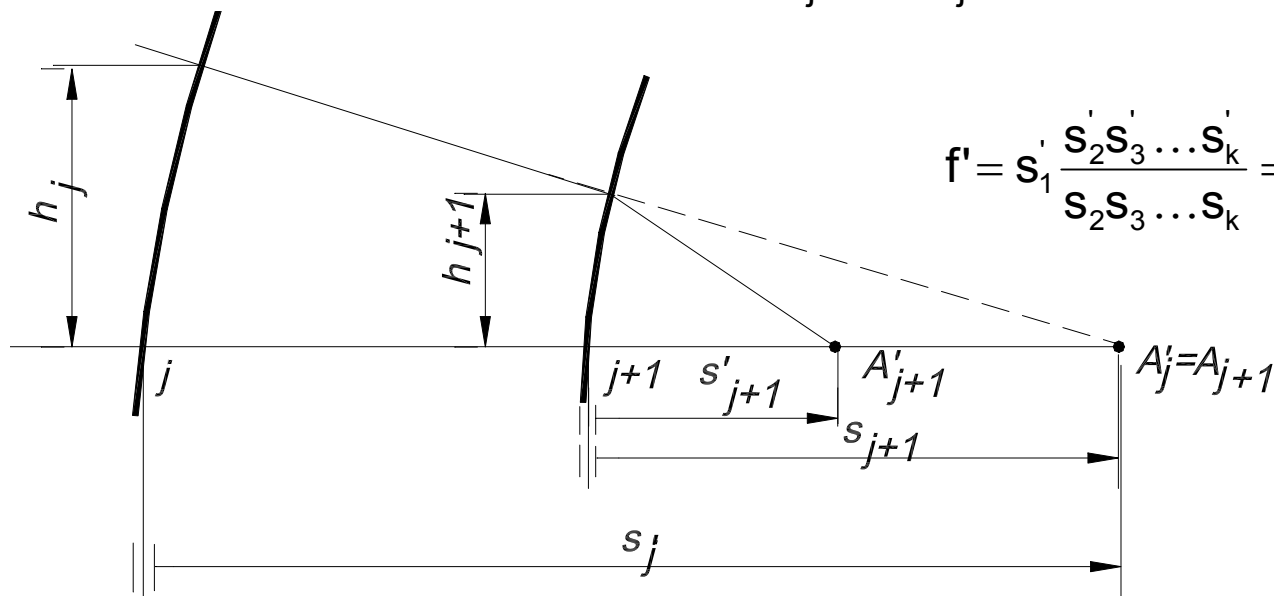
Distanța focală imagine

Prin definiție: $f' = \frac{h_1}{\sigma'_k}$

$$f' = \frac{h_1}{\sigma'_k} = \frac{h_1}{h_2} \frac{h_2}{h_3} \dots \frac{h_k}{\sigma'_k}$$

$$\frac{h_j}{h_{j+1}} = \frac{s'_j}{s_{j+1}} \quad h_k = s'_k \sigma'_k$$

$$f' = s'_1 \frac{s'_2 s'_3 \dots s'_k}{s_2 s_3 \dots s_k} = s'_1 \prod_{j=2}^k \frac{s'_j}{s_j} \quad \wedge \quad s_1 = -\infty$$



Distanța focală obiect

Prin definiție: $\bar{f} = \frac{h_k}{\sigma_1}$

$$\bar{f} = \frac{h_1}{\sigma_1} \frac{h_2}{h_1} \dots \frac{h_k}{h_{k-1}} = \frac{s_1 \sigma_1}{\sigma_1} \frac{s_2}{s_1'} \frac{s_3}{s_2'} \dots \frac{s_k}{s_{k-1}'}$$

$$\bar{f} = s_k \prod_{j=1}^{k-1} \frac{s_j}{s_j'} \quad \wedge \quad s_k' = +\infty$$

Observații:

Pentru determinarea distanței focale imagine se face o trasare paraxială directă cu $s_1 = -\infty$

Pentru determinarea distanței focale obiect se face o trasare paraxială inversă cu $s_k' = \infty$

Între distanțele focale imagine și obiect există o relație similară cu cea valabilă la dioptru:

$$\frac{\bar{f}}{f'} = -\frac{n_1}{n_k'}$$

ECUAȚIILE DE FORMARE A IMAGINII LA SUPRAFETE SINGULARE

Ecuatiile de formare a imaginii se deduc din expresia invariantului paraxial Abbe.

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r}$$

Suprafață sferică refractantă:

$$s' = \frac{n'}{\frac{n}{s} + \frac{n' - n}{r}}$$

Suprafață sferică reflectantă:

$$s' = \frac{rs}{2s - r}$$

Suprafață plană refractantă:

$$s' = \frac{n'}{n}s$$

Suprafață plană reflectantă:

$$s' = -s$$

Ecuatia lui Newton

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{r} \quad / \times \frac{r}{n'-n}$$

$$\frac{1}{s'} \frac{n'r}{n'-n} - \frac{1}{s} \frac{nr}{n'-n} = 1$$

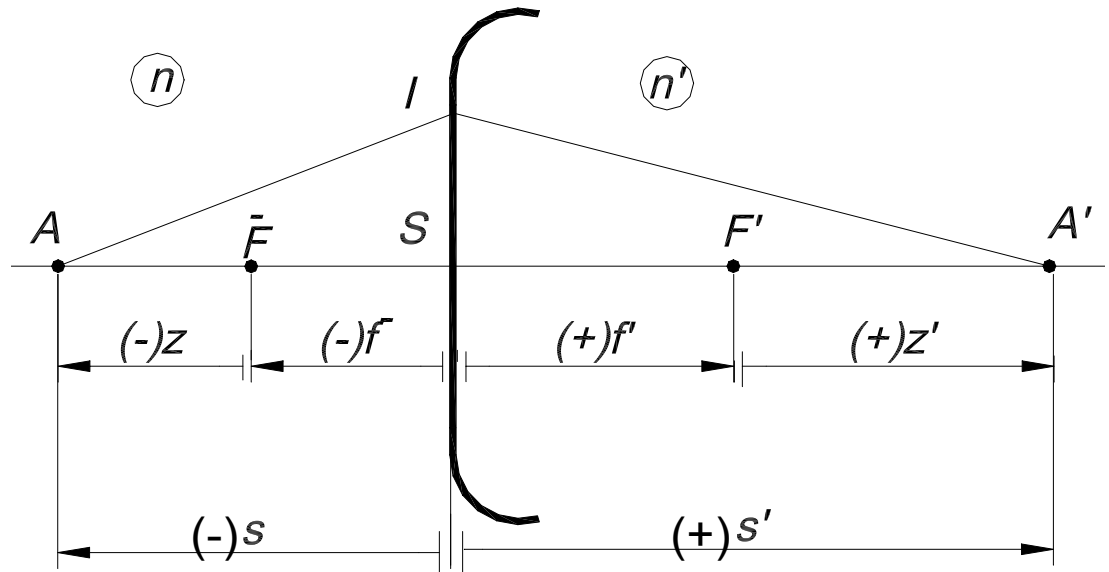
$$\frac{\bar{f}}{s} + \frac{f'}{s'} = 1$$

$$s = z + \bar{f}$$

$$s' = z' + f'$$

$$\frac{\bar{f}}{z + \bar{f}} + \frac{f'}{z' + f'} = 1$$

$$zz' = \bar{f}f'$$



ECUAȚIILE DE FORMARE A IMAGINII PRIN SISTEME CENTRATE

Se consideră un sistem optic centrat, format din k dioptri, pentru care se cunosc razele $r_1 \dots r_k$, indicii de refracție $n_1 \dots n_k$ și $n'_1 \dots n'_k$ și distanțele între dioptri $d_{12} \dots d_{k-1,k}$.

Mediul imagine pentru dioptrul de ordin j devine mediu obiect pentru dioptrul de ordin $j+1$. Distanța imagine rezultă din invariantul paraxial obiectiv:

$$s'_j = \frac{n'_j}{\frac{n_j}{s_j} + \frac{n'_j - n_j}{r_j}}$$

Trecerea la dioptrul următor se face considerând că imaginea dată de dioptrul de ordin j devine obiect pentru dioptrul de ordin $j+1$. Dacă distanța între dioptri este $d_{j,j+1}$ rezultă:

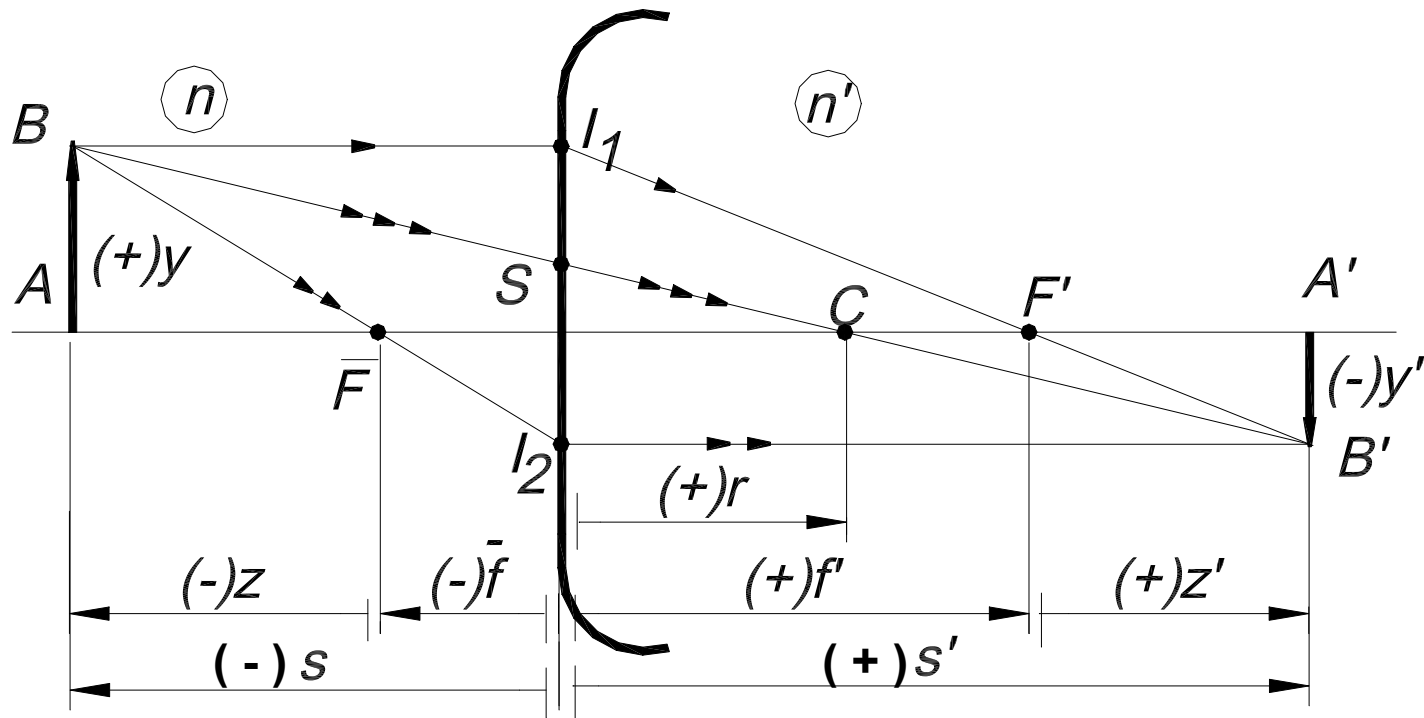
$$s_{j+1} = s'_j - d_{j,j+1}$$

Urmărirea traseului razelor luminoase provenite de la un obiect, printr-un sistem optic se numește, în domeniul paraxial, **trasare paraxială obiectivă**.

MĂRIRILE DIOPTRULUI

Mărirea transversală (sau liniară) este, prin definiție, raportul dintre lungimea segmentului imagine y' și lungimea segmentului obiect y , aflate în plane conjugate:

$$\beta = \frac{y'}{y}$$



Din asemănarea triunghiurilor ABC și A'B'C, se poate scrie:

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{s'-r}{r-s} = \frac{s'-r}{s-r}$$

$$\frac{n}{rs}(s-r) = \frac{n'}{rs'}(s'-r) \quad \beta = \frac{n s'}{n' s}$$

Din asemănarea triunghiurilor $AB\bar{F}$ și $Sl_2\bar{F}$, respectiv $A'B'F'$ și Sl_1F' rezultă:

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{\bar{f}}{z} \quad \beta = \frac{y'}{y} = -\frac{z'}{f'}$$

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n s'}{n' s} = -\frac{\bar{f}}{z} = -\frac{z'}{f'}$$

MARIREA LINIARA IN SISTEME CENTRATE

$$\beta = \frac{y'_k}{y_1} = \frac{y'_1}{y_1} \frac{y'_2}{y_2} \dots \frac{y'_k}{y_k} = \beta_1 \beta_2 \dots \beta_k = \prod_{j=1}^k \beta_j$$

$$\beta = \frac{s'_1 s'_2 \dots s'_k}{s_1 s_2 \dots s_k} \frac{n_1}{n'_k} = \frac{n_1}{n'_k} \prod_{j=1}^k \frac{s'_j}{s_j}$$

În funcție de poziția planelor conjugate obiect și imagine, mărirea liniară poate avea valori în intervalul $(-\infty, +\infty)$. Se disting următoarele trei posibilități:

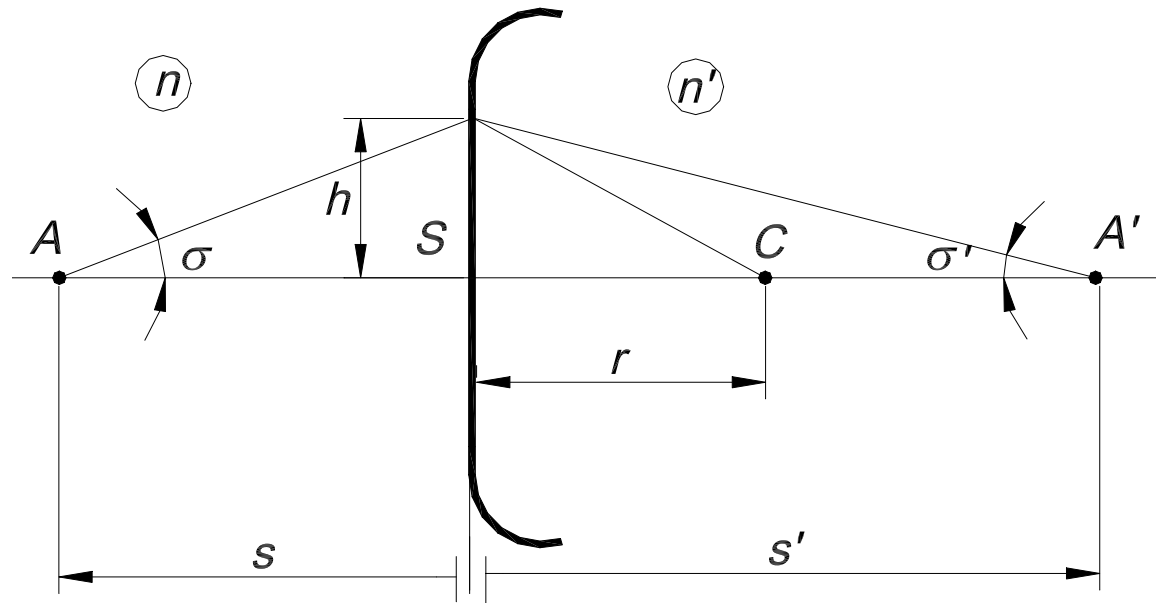
- $|\beta| > 1$, care indică faptul că imaginea este mai mare decât obiectul. În acest caz imaginea se numește **mărită**
- $|\beta| = 1$, care arată că imaginea este egală cu obiectul ca mărime și corespunde unor poziții particulare ale planelor conjugate (în punctele principale, respectiv antiprinicipale ale sistemului optic)
- $|\beta| < 1$, care caracterizează situația în care imaginea este mai mică decât obiectul. În acest caz, imaginea se numește **micșorată**.

Semnul măririi liniare pune în evidență poziția imaginii în raport cu poziția obiectul, având ca element de referință axa optică. Astfel:

- $\beta > 0$ indică faptul că imaginea și obiectul se află situate de aceeași parte a axei optice. În acest caz imaginea se numește **dreaptă**.
- $\beta < 0$ corespunde situației în care imaginea și obiectul se află în părți opuse ale axei optice. Imaginea se numește **răsturnată**.

Mărirea unghiulară este, prin definiție, raportul unghiurilor dintre razele paraxiale conjugate care trec prin punctul imagine și respectiv obiect și axa optică.

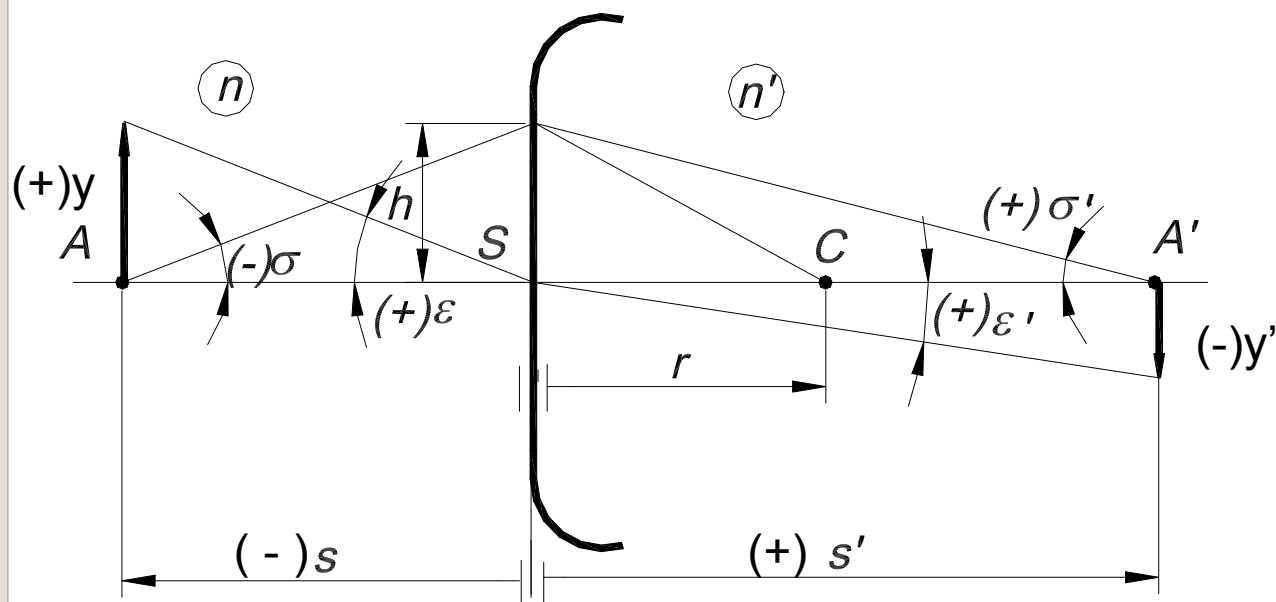
$$\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma}$$



$$h = \sigma s = \sigma' s'$$

$$\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{s}{s'}$$

Din invariantul Helmholtz-Lagrange se poate deduce:



$$ny\sigma = n'y'\sigma' = H$$

$$\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{ny}{n'y'} = \frac{n}{n'} \frac{1}{\beta}$$

$$\frac{n}{n'} = -\frac{\bar{f}}{f'} \quad \beta = -\frac{\bar{f}}{z} = -\frac{z'}{f'}$$

$$\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{\bar{f}}{z'} = \frac{z}{f'}$$

$$\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{s}{s'} = \frac{\bar{f}}{z'} = \frac{z}{f'}$$

MARIREA UNGHIULARA IN SISTEME CENTRATE

$$\gamma = \frac{\sigma'_k}{\sigma_1} = \frac{\sigma'_1}{\sigma_1} \frac{\sigma'_2}{\sigma_2} \dots \frac{\sigma'_k}{\sigma_k} = \gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_k = \prod_{j=1}^k \gamma_j = \frac{s_1 s_2 \dots s_k}{s'_1 s'_2 \dots s'_k} = \prod_{j=1}^k \frac{s_j}{s'_j}$$

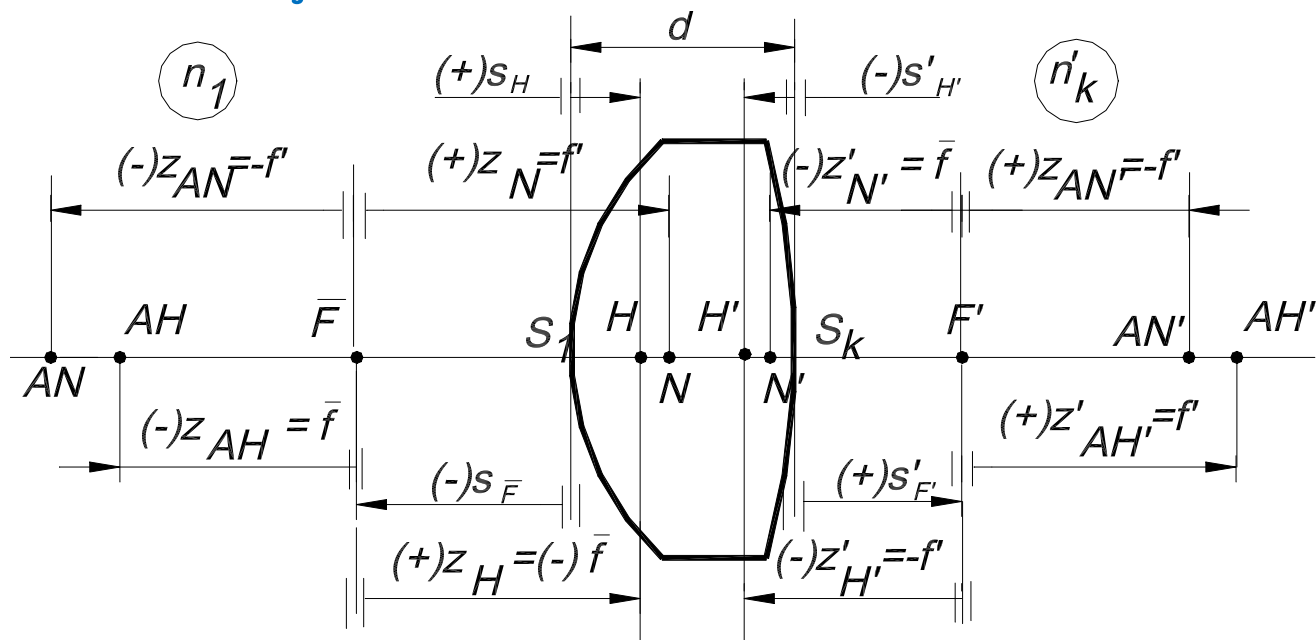
GROSIMENTUL APARATELOR VIZUALE

$$\Gamma = \frac{y'_{\text{aparat}}}{y'_{\text{ochi}}}$$

y'_{aparat} = marimea imaginii aparente

y'_{ochi} = marimea imaginii aparente naturale

PUNCTE ȘI PLANE CARDINALE



Puncte și plane principale ($\beta=1$)

$$-\frac{\bar{f}}{z_H} = +1 \Rightarrow z_H = -\bar{f} \quad -\frac{z'_{H'}}{f'} = +1 \Rightarrow z'_{H'} = -f'$$

Puncte și plane antiprinicipale ($\beta=-1$)

$$-\frac{\bar{f}}{z_{AH}} = -1 \Rightarrow z_{AH} = \bar{f} \quad -\frac{z'_{AH'}}{f'} = -1 \Rightarrow z'_{AH'} = f'$$

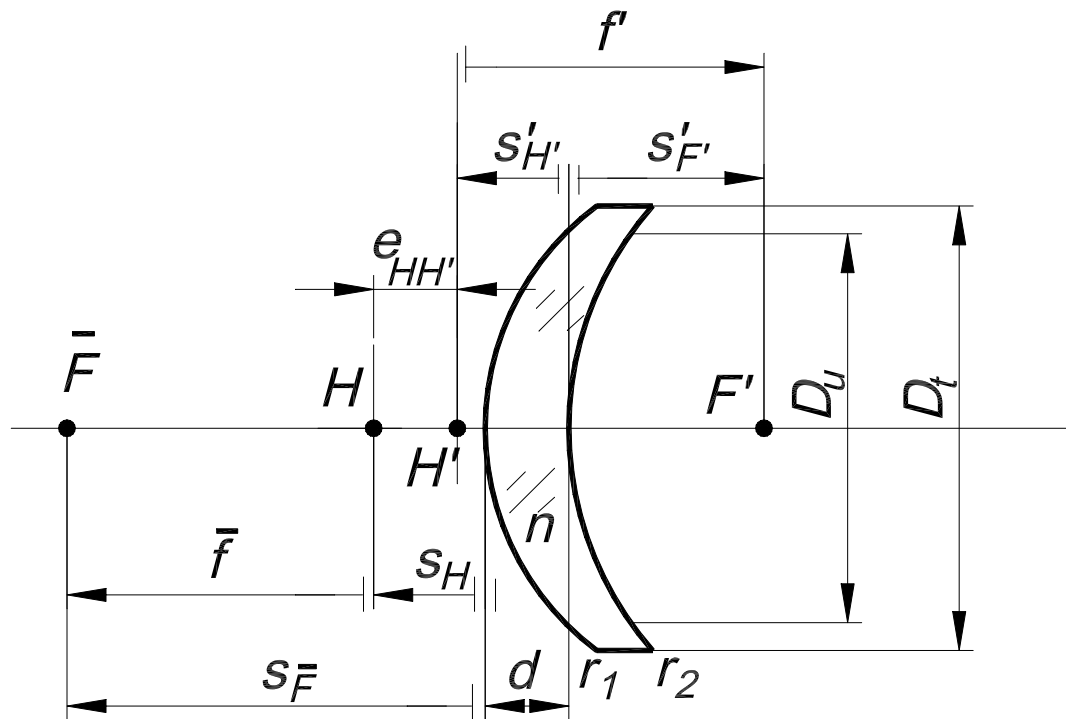
Puncte și plane nodale (N=H in aer)

Puncte și plane antinodale (AN'=AH' in aer)

LENTILE

LENTILE	- SFERICE	- CONVERGENTE	- BICONVEXE
			- PLAN-CONVEXE
			-MENISC CONVERGENT
		- DIVERGENTE	- BICONCAVE
			- PLAN-CONCAVE
			- MENISC DIVERGENT
		- NEUTRE	
	- ASFERICE	-CU O SUPRAFAȚĂ DE REVOLUȚIE AVÂND CA GENERATOARE	- ELIPSA
			- PARABOLA
			- HIPERBOLA
		- CU O SUPRAFAȚĂ DE FORMĂ	- CILINDRICĂ
		- LENTILE FRESNEL	- TORICĂ
		- AXOSIMETRICE	- CONVERGENTE
			- DIVERGENTE
		- ASTIGMATICE	- SFEROTORICE
			- SFEROCILINDRICE
	- OFTALMICE	- MULTIFOCAL	- BIFOCAL
			- TRIFOCAL
			- PROGRESIVE
		- PRISMATICE	
		- DE PROTECȚIE	
		- DE CONTACT	

CARACTERISTICILE DE REFERINTA ALE LENTILEI SITUATE IN AER



Caracteristicile optice de referință ale lentilei se obțin cu ajutorul unei trasari paraxiale directe (pentru elementele din spațiul imagine) și a unei trasari paraxiale inverse (pentru elementele din spațiul obiect), ambele cu abscise inițiale infinite.

$$f' = \frac{n}{n-1} \frac{r_1 r_2}{n(r_2 - r_1) + d(n-1)}$$

$$\bar{f} = -\frac{n}{n-1} \frac{r_1 r_2}{n(r_2 - r_1) + d(n-1)}$$

$$s_{F'}' = r_2 \frac{nr_1 - (n-1)d}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

$$s_{\bar{F}} = -r_1 \frac{nr_2 - (n-1)d}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

$$f' = -\bar{f} = s_{F'}' = -s_{\bar{F}} = \frac{r_1 r_2}{(n-1)(r_2 - r_1)}$$

$$s_{H'}' = s_H = i_{HH'} = 0$$

$$s_{H'}' = -\frac{dr_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d}$$

$$s_H = -\frac{r_1 d}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d}$$

$$e_{HH'} = d \frac{(n-1)(d + r_2 - r_1)}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d}$$

LENTILA GROASA

LENTILA INFINIT SUBTIRE

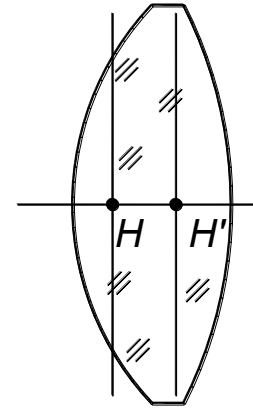
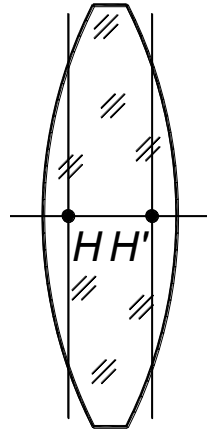
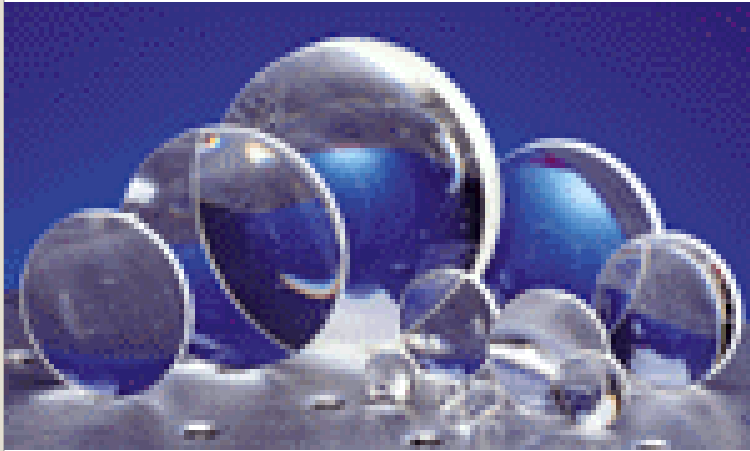
CLASIFICARE DUPA EFECTUL OPTIC

- ❑ lentile convergente ($f' > 0$, $d > t$)
- ❑ lentile divergente ($f' < 0$, $d < t$)
- ❑ lentile neutre ($f' = \infty$).

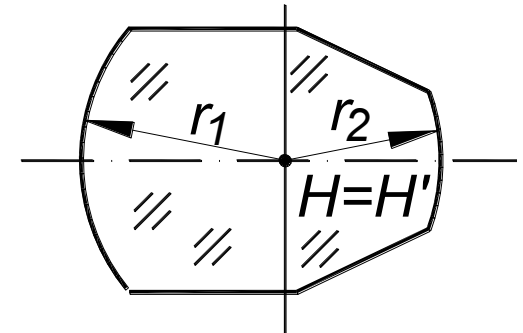
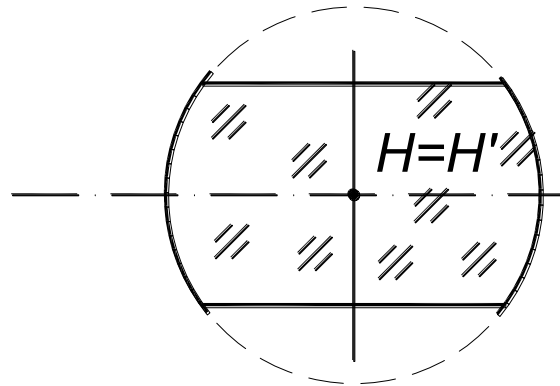
FORME CONSTRUCTIVE

- lentile convergente (pozitive)	- biconvexe
	- plan-convexe
	- menisc convergent
- lentile divergente (negative)	- biconcave
	- plan-concave
	- menisc divergent

LENTILE BICONVEXE



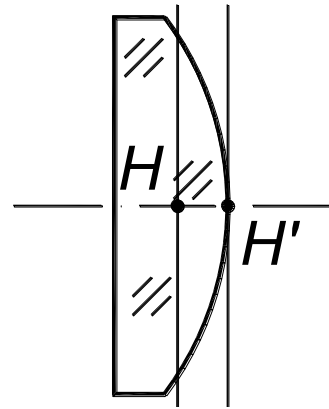
- SIMETRICE (ECHICONVEXE)
- ASIMETRICE



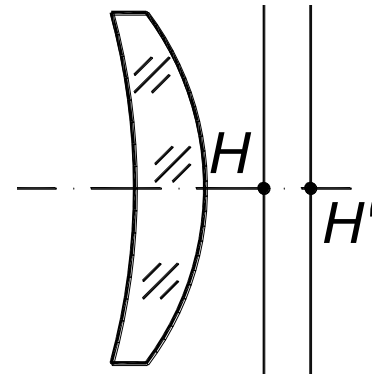
CU SUPRAFETE CONCENTRICE:

- SIMETRICE
- ASIMETRICE

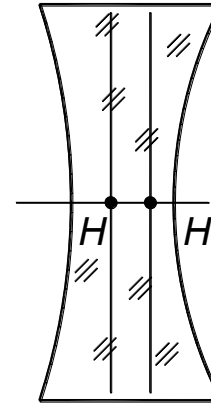
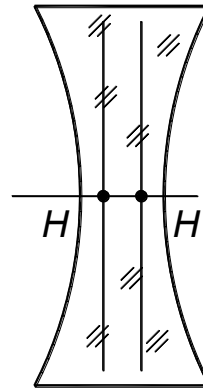
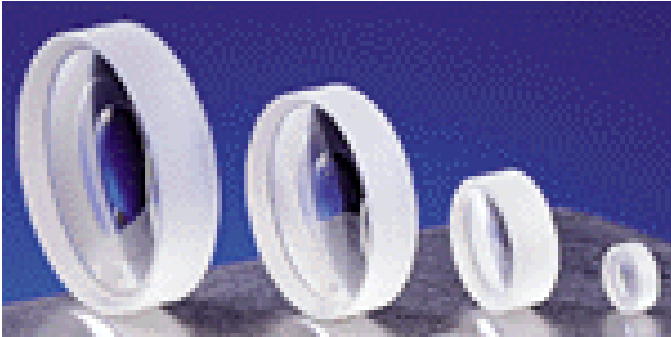
LENTILE PLAN-CONVEXE



LENTILE MENISC CONVERGENT

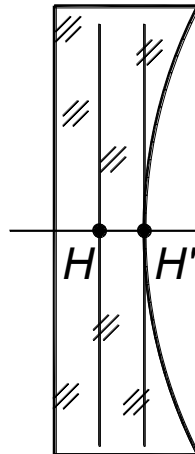


LENTILE BICONCAVE

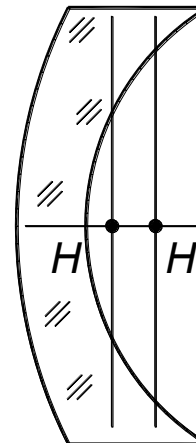


- SIMETRICE
(ECHICONCAVE)
- ASIMETRICE

LENTILE PLAN-CONCAVE



LENTILE MENISC DIVERGENT



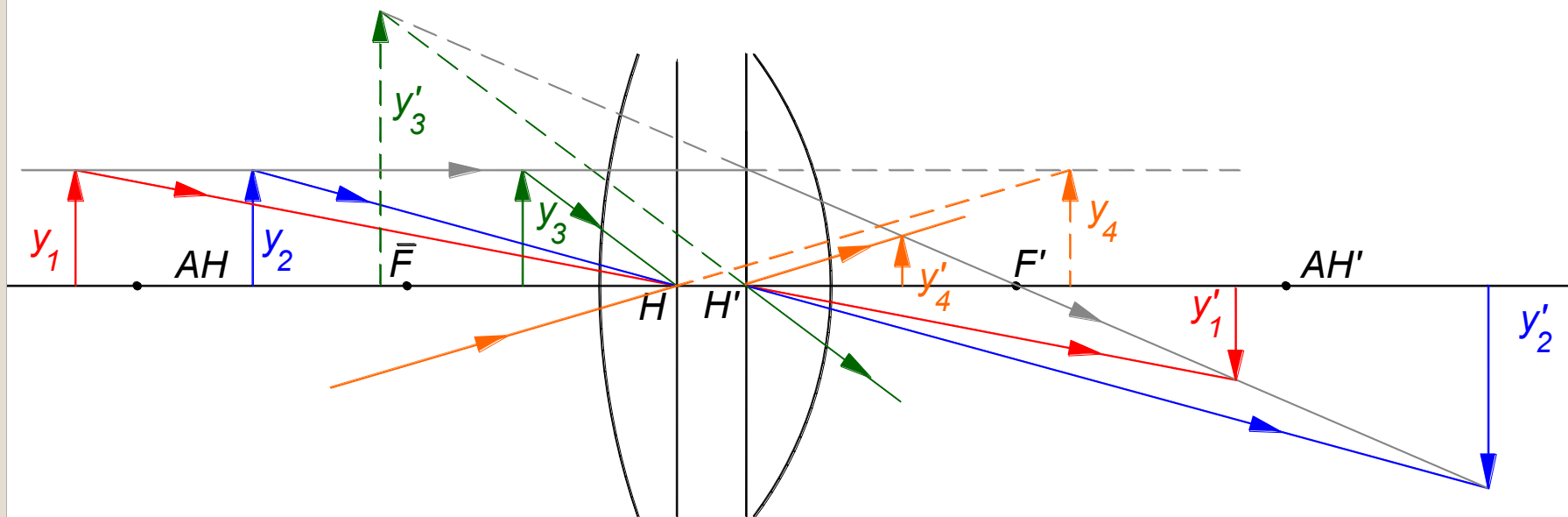
ECUATIA DE FORMARE A IMAGINII PRIN LENTILE

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$$

MARIREA LINIARA A LENTILEI

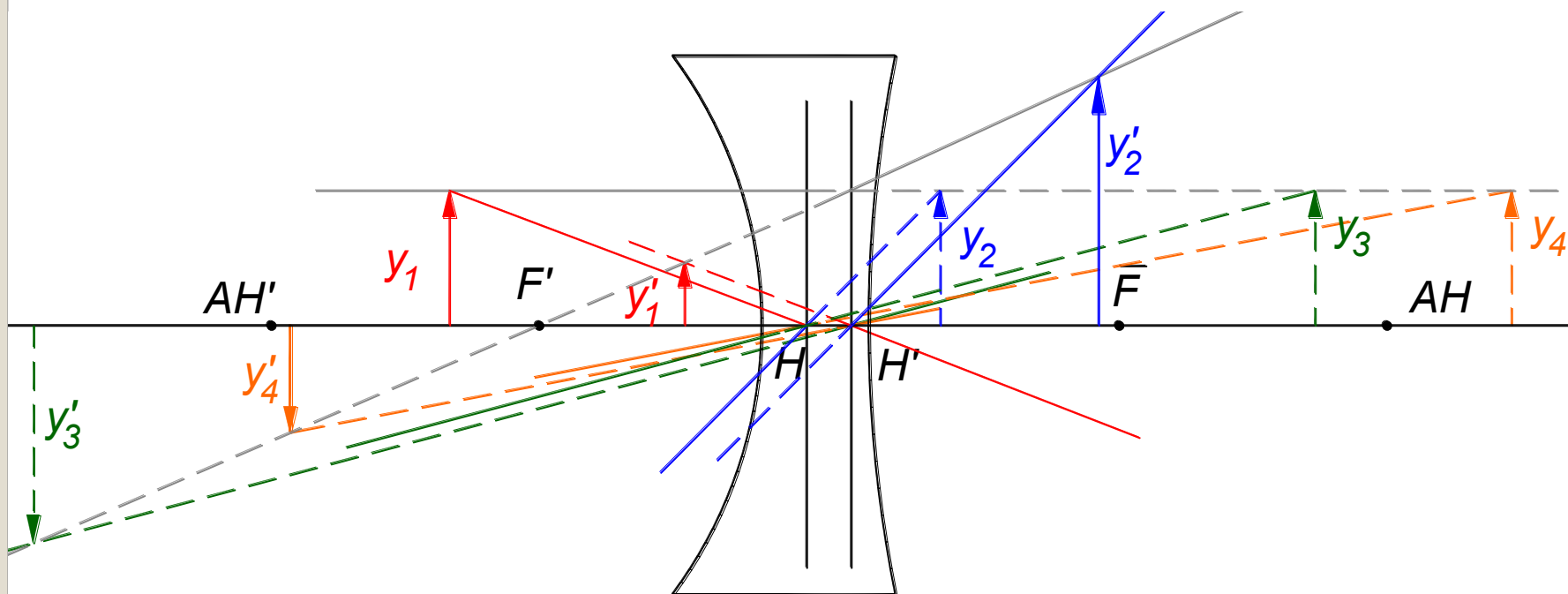
$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}$$

FORMAREA GRAFICA A IMAGINII PRIN LENTILE CONVERGENTE



Domeniul obiect (a)	Natura obiectului	Domeniul imagine (a')	Natura imaginii	Pozitia imaginii	Marirea liniara
$(-\infty, 2\bar{f})$	Reala	$(f', 2f')$	Reala	Rasturnata	$(0, -1)$
$(2\bar{f}, \bar{f})$	Reala	$(2f', \infty)$	Reala	Rasturnata	$(-1, -\infty)$
$(\bar{f}, 0)$	Reala	$(-\infty, 0)$	Virtuala	Dreapta	$(+\infty, +1)$
$(0, +\infty)$	Virtuala	$(0, f')$	Reala	Dreapta	$(+1, 0)$

FORMAREA GRAFICA A IMAGINII PRIN LENTILE DIVERGENTE

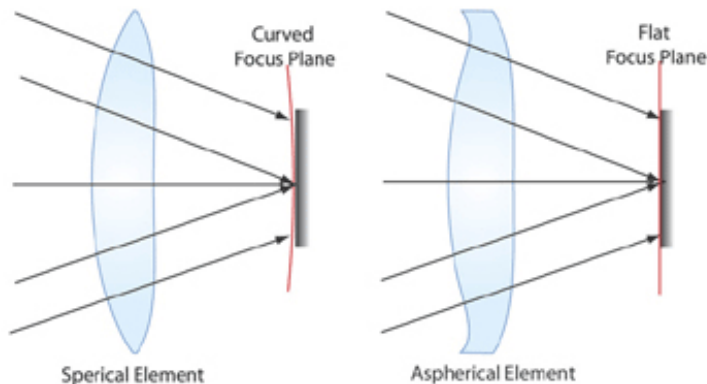


Domeniul obiect (a)	Natura obiectului	Domeniul imagine (a')	Natura imaginii	Pozitia imaginii	Marirea liniara
$(-\infty, 0)$	Reala	$(f', 0)$	Virtuala	Dreapta	$(0, +1)$
$(0, \bar{f})$	Virtuala	$(0, \infty)$	Reala	Dreapta	$(+1, +\infty)$
$(\bar{f}, 2\bar{f})$	Virtuala	$(-\infty, 2f')$	Virtuala	Rasturnata	$(-\infty, -1)$
$(2\bar{f}, +\infty)$	Virtuala	$(2f', f')$	Virtuala	Rasturnata	$(-1, 0)$

LENTILE ASFERICE

Toate suprafețele optic active având forma diferită de calota sferică sau de cazul limită al dioptrului plan, sunt denumite generic suprafețe asferice. Componentele care conțin cel puțin o astfel de suprafață se încadrează în categoria **lentelelor asferice**.

Suprafața asferică	- cu simetrie axială	- parabolică
		- hiperbolică
		- elipsoidală
	- cu simetrie în două plane	- cilindrică
		- torică
	- Fresnel	

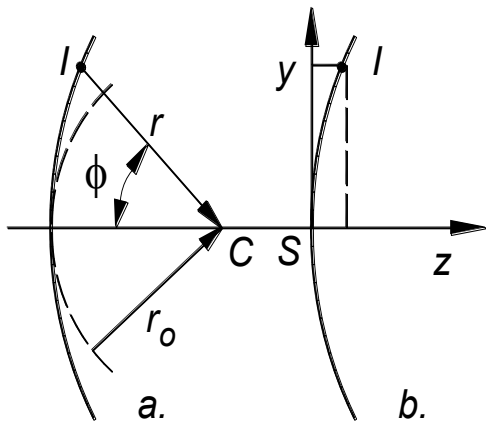


Eliminarea aberatiei sferice si a curburii de camp



Efecte speciale

Lentile cu suprafețe asferice de revoluție



$$r = r_0 + c_1 \phi^4 + c_2 \phi^6 + c_3 \phi^8 + \dots$$

$$z = \frac{1}{r_0} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1) \frac{y^2}{r_0^2}}} + c_1 y^4 + c_2 y^6 + c_3 y^8 + \dots$$

k – constanta conicei

Suprafața	k	z	r_0
Sferă	$k=0$	$z = r_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{y^2}{r_0^2}} \right)$	$r_0 = \frac{y^2 + z^2}{2z}$
Parabolă	$k = -1$	$z = \frac{y^2}{2r_0}$	$r_0 = \frac{y^2}{2z}$
Elipsă	$-1 < k < 0$	$z = \frac{r_0 \left(1 - \sqrt{1 - (k+1) \frac{y^2}{r_0^2}} \right)}{k+1}$	$r_0 = \frac{b^2}{a}$
	$k > 0$		
Hiperbolă	$k < -1$		

Lentile cu suprafețe asferice având două plane de simetrie

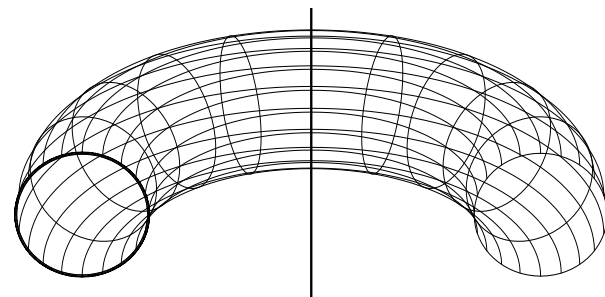
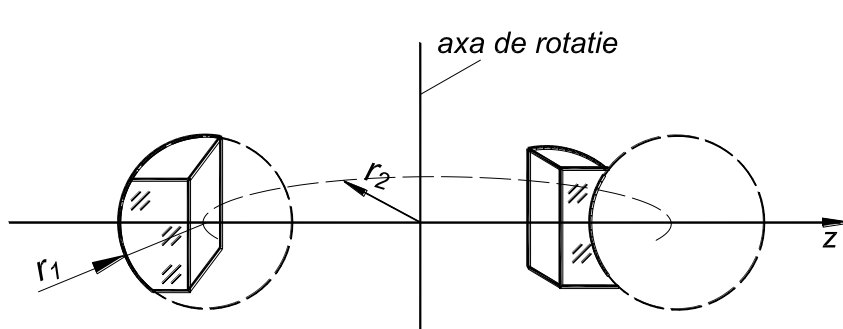
Suprafețele asferice cu două plane de simetrie, utilizate în optică, sunt suprafața **torică** și cea **cilindrică**.

Suprafața torică se obține prin rotirea unui cerc generator de rază r_1 în jurul unei axe aflate la distanța r_2 .

Suprafețele torice determină puteri variabile ale lentilelor. Pentru lentila convergentă puterea minimă se manifestă în secțiunea principală I – sagitală - (unde suprafața are raza r_2), iar puterea maximă apare într-un plan perpendicular, în secțiunea principală II – meridiană - (unde suprafața are raza r_1). Ambele puteri sunt pozitive. Lentila divergentă are putere negativă în plan meridian și putere pozitivă în plan sagital.

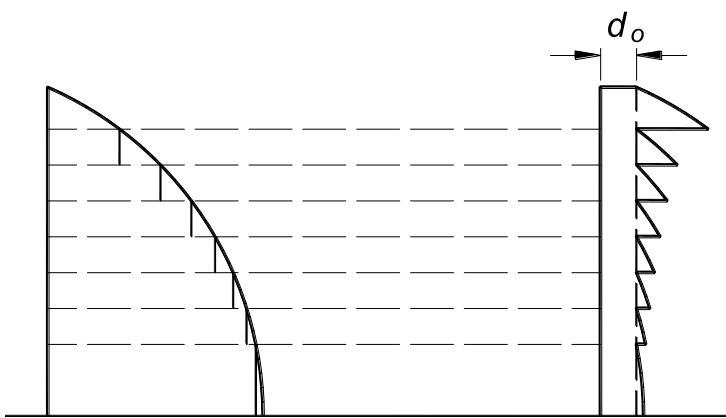
Puterea într-un plan oarecare, situat la unghiul α față de secțiunea principală I este:

$$\Phi_{\alpha} = \Phi_{\parallel} - (\Phi_{\parallel} - \Phi_{\perp}) \cos^2 \alpha$$



Lentile Fresnel

Lentila Fresnel este echivalentă cu o lentilă convergentă sau divergentă, sferică sau asferică, din care se înlătură majoritatea volumului de material și care este aproximată printr-o serie de inele concentrice având profil triunghiular (cu fața activă plane sau curbă - sferică sau asferică).

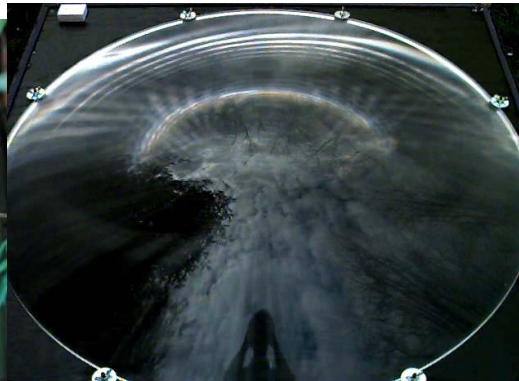
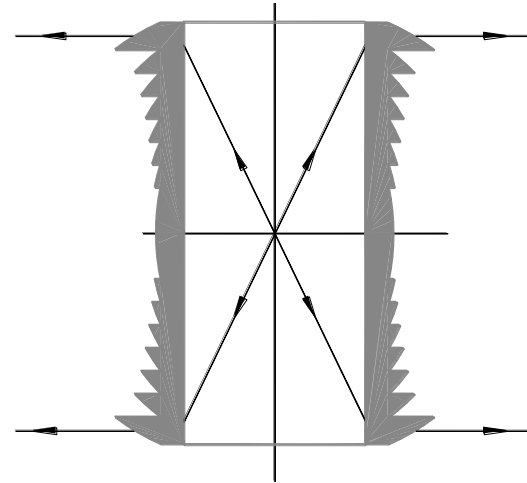
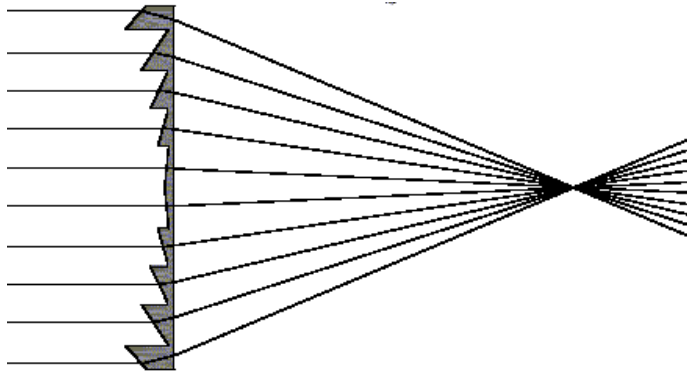


Principial, lentila inițială se împarte în zone inelare de grosime egală, care se transferă pe o bază plan-paralelă de grosime mică.

Segmentele inelare care aproximează lentila se numesc zone Fresnel și pot avea forma unui sector de con circular drept sau con circular cu generatoare curbă, sferică sau asferică. Zonele au un pas constant, în gama $p=(0.0625...1)\text{mm}$.

În prezent, se realizează lentile Fresnel convergente sau divergente cu caracteristici optice și dimensiuni de gabarit foarte variate ($f'=[5...600]\text{mm}$, gabarit: $[15\times 15...700\times 1000]\text{ mm}$), la grosimi foarte reduse ($d=[1.5...5]\text{mm}$).

Lentilele se proiectează astfel încât să fie eliminată aberația sferică indiferent de mărimea aperturii.



CRITERII DE EVALUARE A CALITATII IMAGINII

CRITERII:

GEOMETRICE – ABERATII – GEOMETRICE – SFERICA

- COMA
- ASTIGMATISMUL
- CURBURA DE CAMP
- DISTORSIUNEA

- CROMATICE

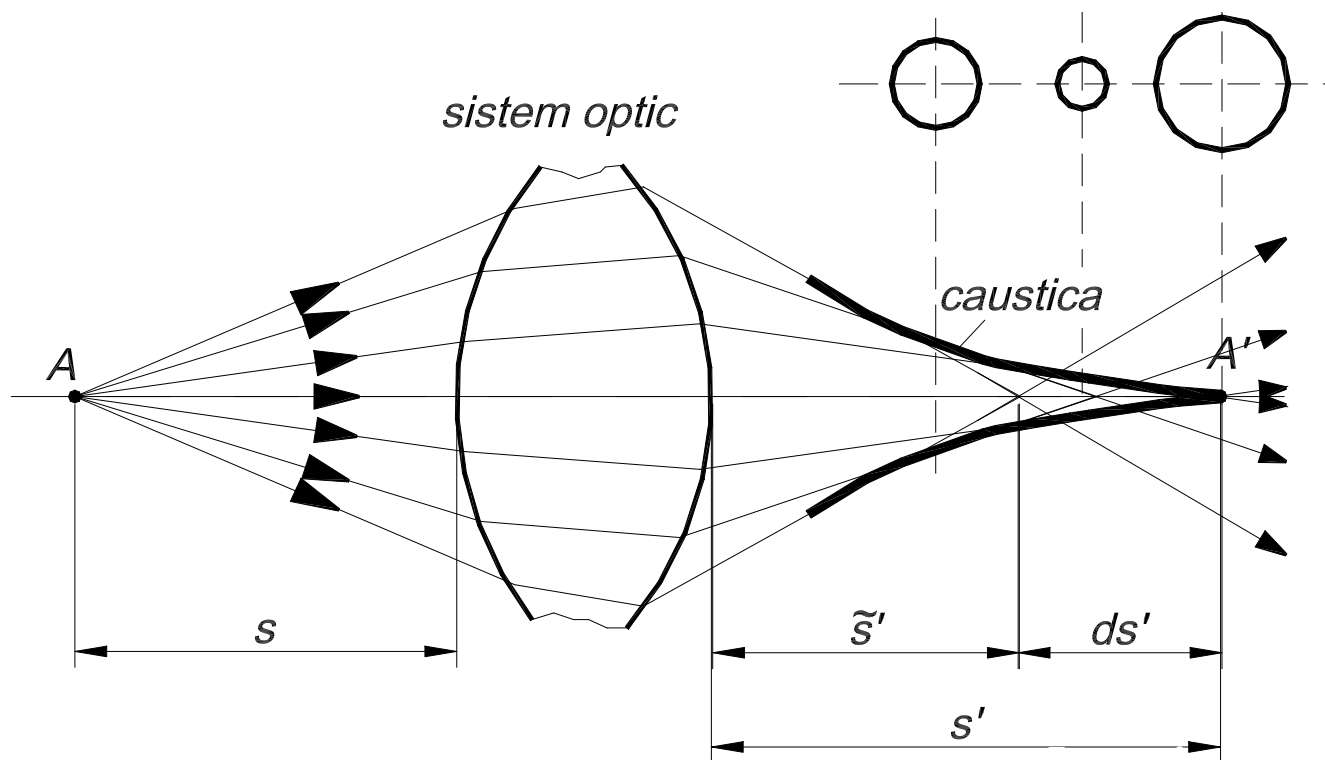
ONDULATORII – P-V OPD (peak-to-valley optical path difference)

- RMS OPD (root mean square OPD)

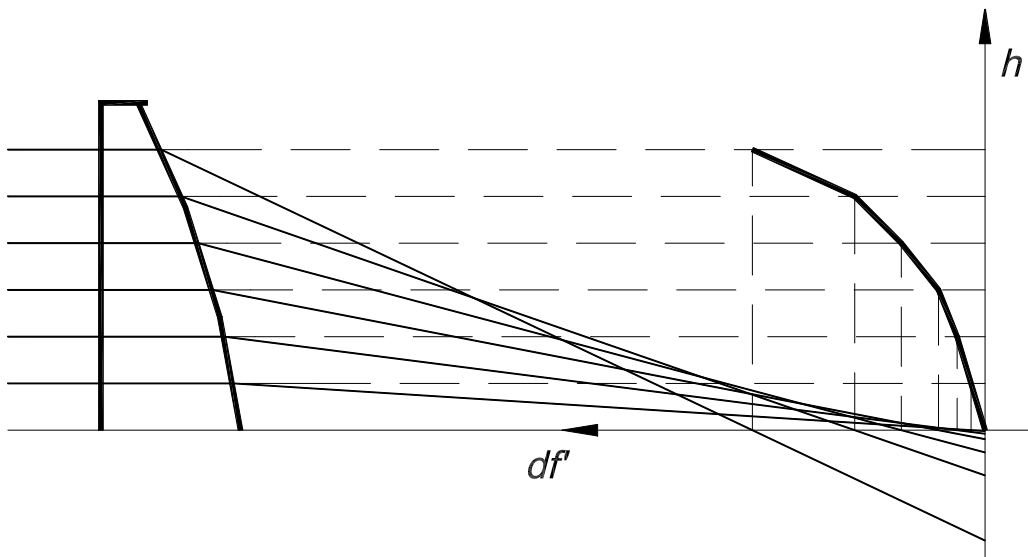
FOURIER – PSF (point spread function)

- MTF (modulation transfer function)
- PTF (phase transfer function)
- LSF (line spread function)
- Strehl ratio

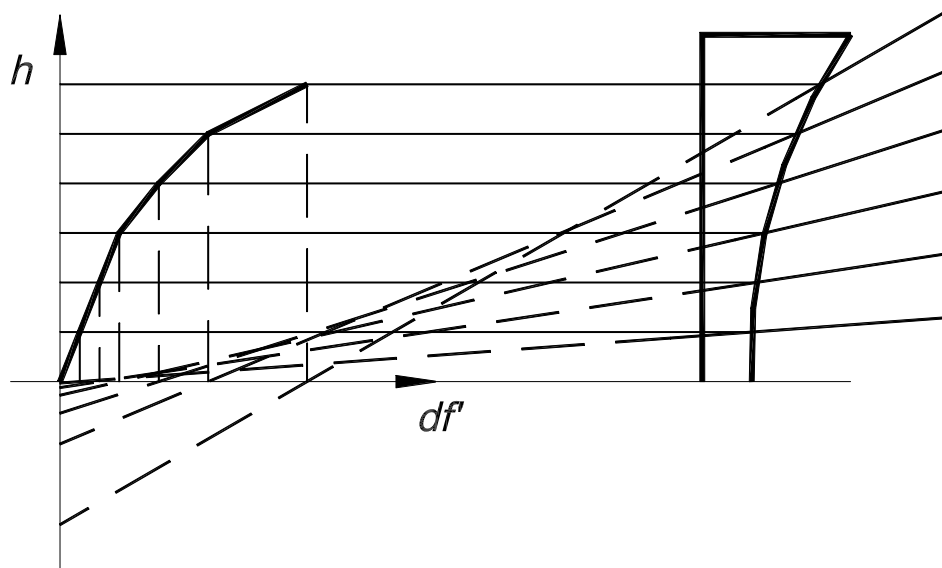
ABERATIA SFERICA



$$ds' = \tilde{s}' - s' \text{ sau } ds' = \tilde{f}' - f'$$



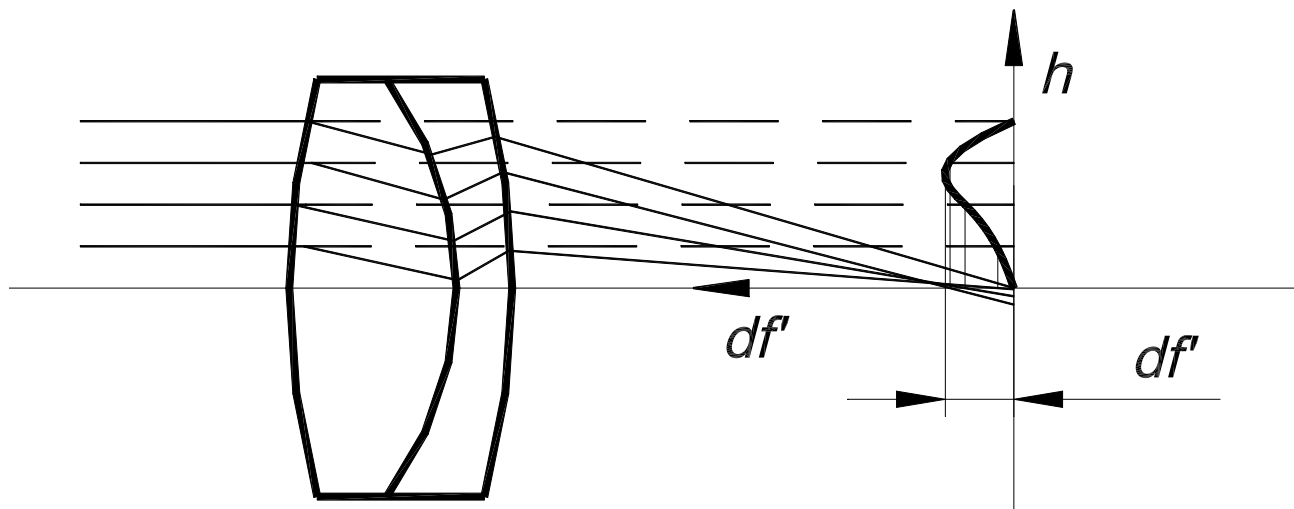
Lentila convergenta (subcorectata)



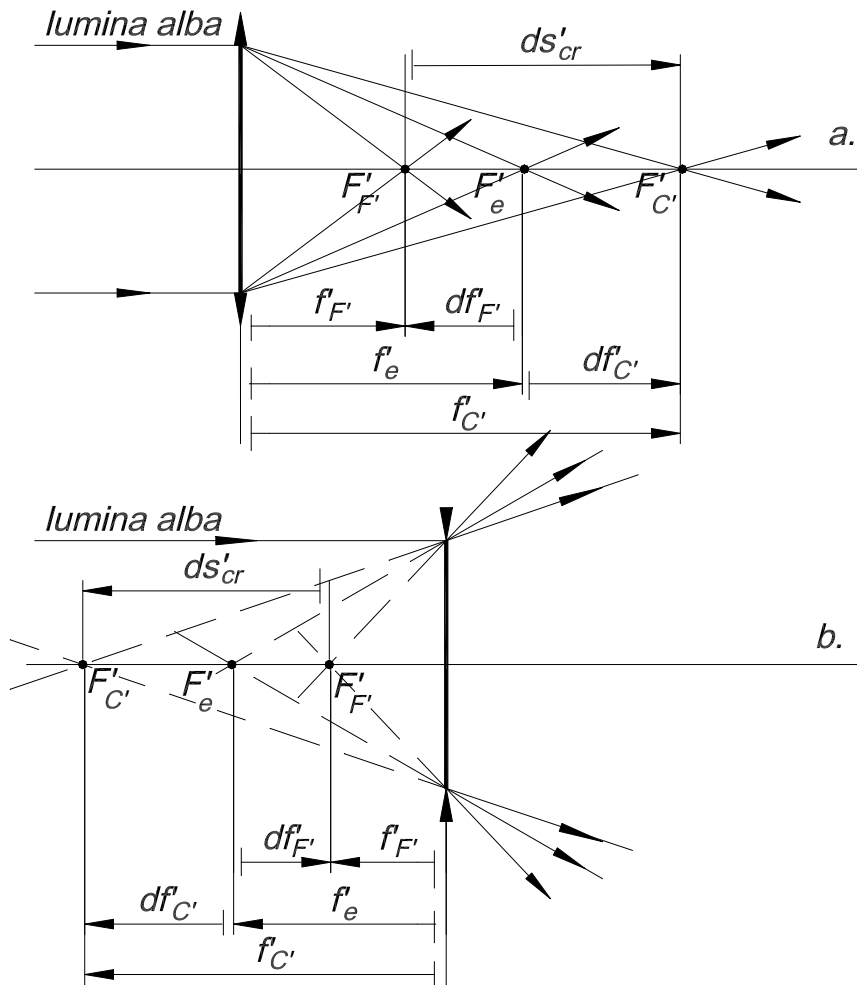
Lentila divergenta (supracorectata)

Metode de corectare a aberatiei sferice:

- ☐ inlocuirea unei lentile singulare cu un sir de lentile avand aceeaasi putere echivalenta, dar curburi mai mici
- ☐ inlocuirea lentilelor sferice cu lentile asferice
- ☐ asocierea unei lentile convergente cu una divergenta pentru compensarea (in cel putin doua puncte) a aberatiei sferice



ABERATIA CROMATICA



Aberatii cromatice pentru lentila convergenta, respectiv divergenta

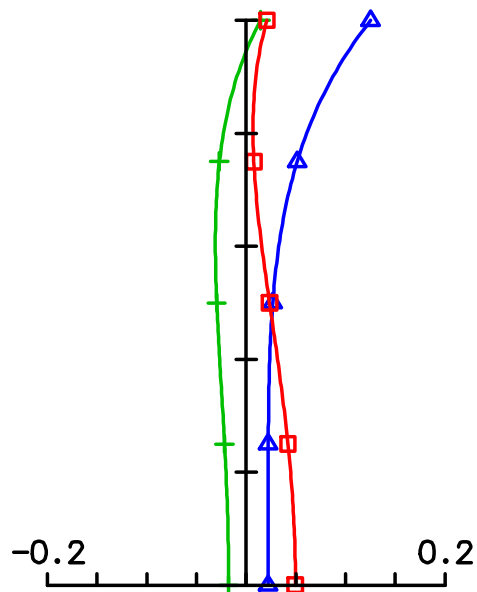
Aberatia cromatica paraxiala:

$$ds'_{cr} = s'_{F'} - s'_{C'}$$

Aberatia cromatica extraaxiala:

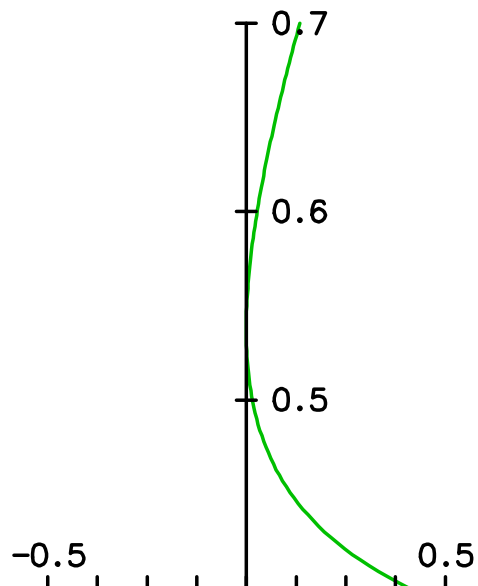
$$d\tilde{s}'_{cr} = \tilde{s}'_{F'} - \tilde{s}'_{C'}$$

LONGITUDINAL
SPHERICAL ABER. (mm)



**Curbele de
sferocromatism**

CHROMATIC
FOCAL SHIFT (mm)



**Variatia cromatica
a focarului**

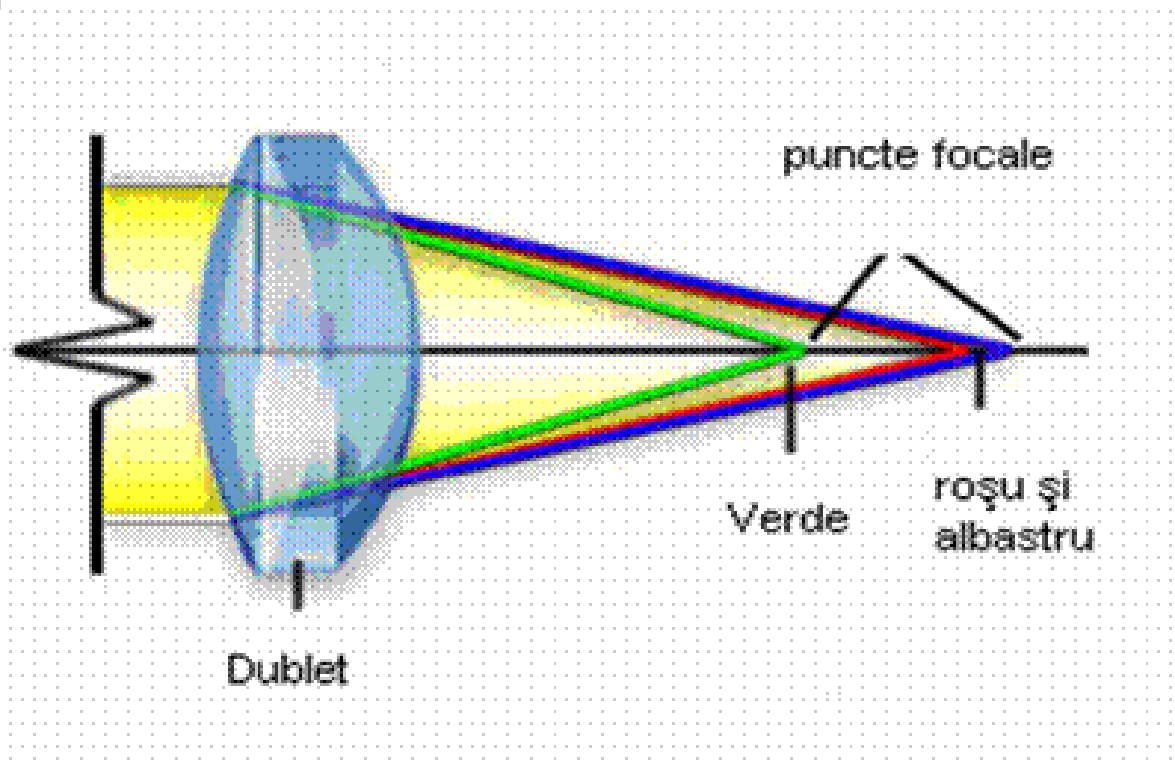
Sferocromatismul

$$ds'_e = \tilde{s}'_e - s'_e$$

$$ds'_{F'} = \tilde{s}'_{F'} - s'_e$$

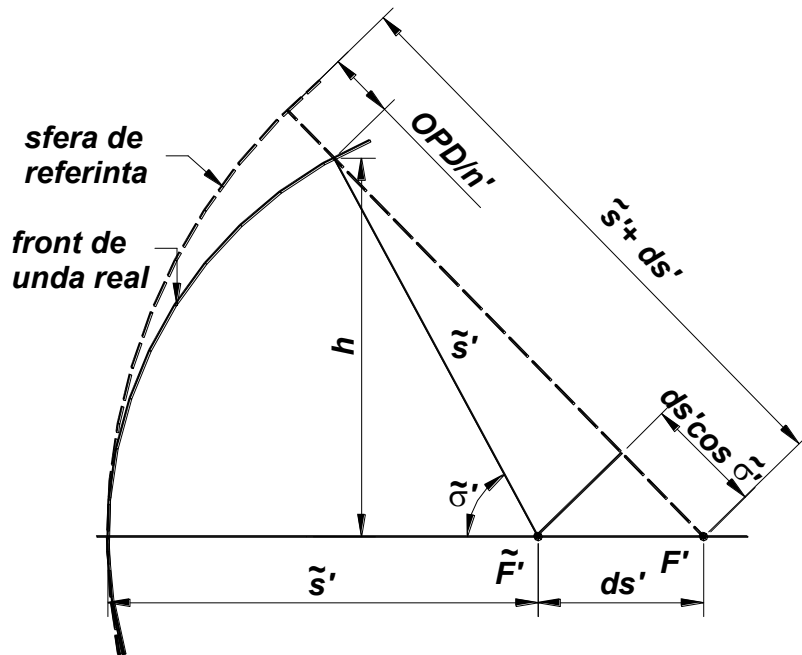
$$ds'_{C'} = \tilde{s}'_{C'} - s'_e$$

Corectarea aberatiei cromatice



Dubletul acromat (indeplinește condiția de acromazie sau dicromazie – suprapunerea absciselor imagine pentru două lungimi de undă)

ABERATIA DE UNDA

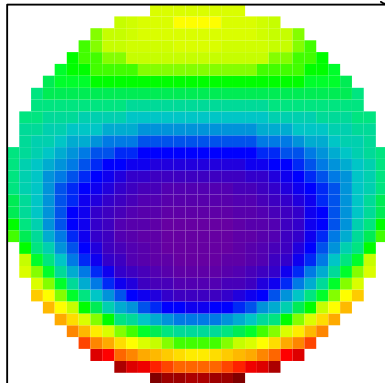


Aberatie de unda – diferența de drum optic (PV-OPD) introdusă de poziția deplasată a focarului real față de cel de referință

$$PV - OPD = \frac{1}{2} n' ds' \sin^2 \sigma'$$

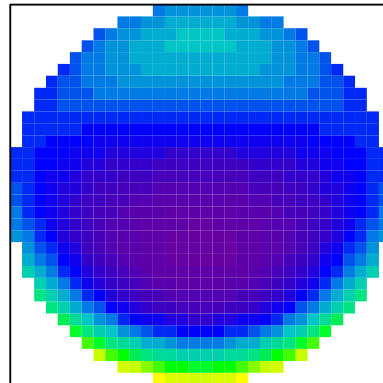
$$RMS\ OPD = \frac{PV - OPD}{3.5}$$

FULL FIELD=-3deg



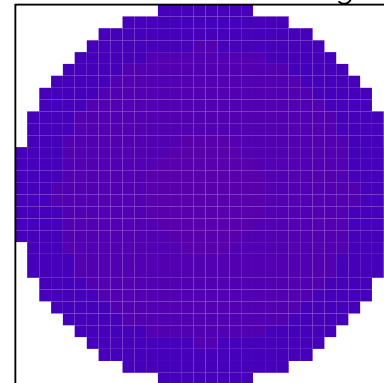
P-V 6.598 RMS 1.318

0.7 FIELD=-2.1deg



P-V 3.785 RMS 0.7298

ON-AXIS=0deg

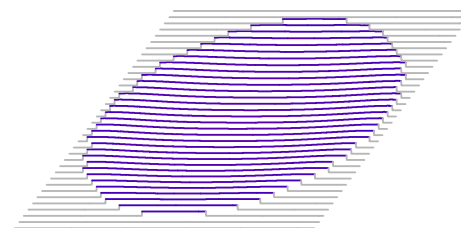
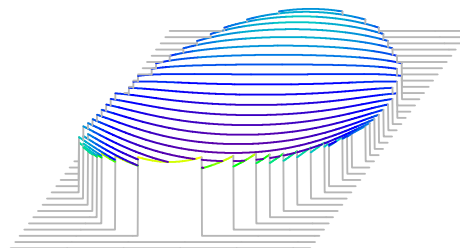
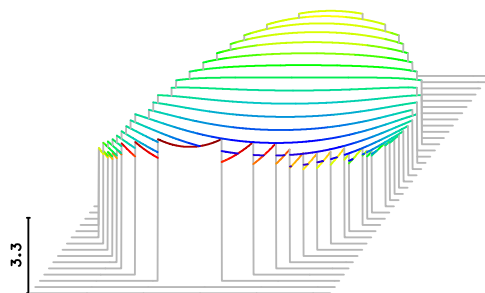


P-V 0.1919 RMS 0.06462

Peak
6.194



Valley
-0.4045



WAVELENGTH 1 = 0.5461 μm
P-V OPD 6.598
3 Field Pts / 32 Aperture Div.

Dublet acromat
WAVEFRONT ANALYSIS

OSLO
24 ian. 04
06:10 PM

Analiza frontului de unda pentru trei inclinari
ale razei pupilare principale

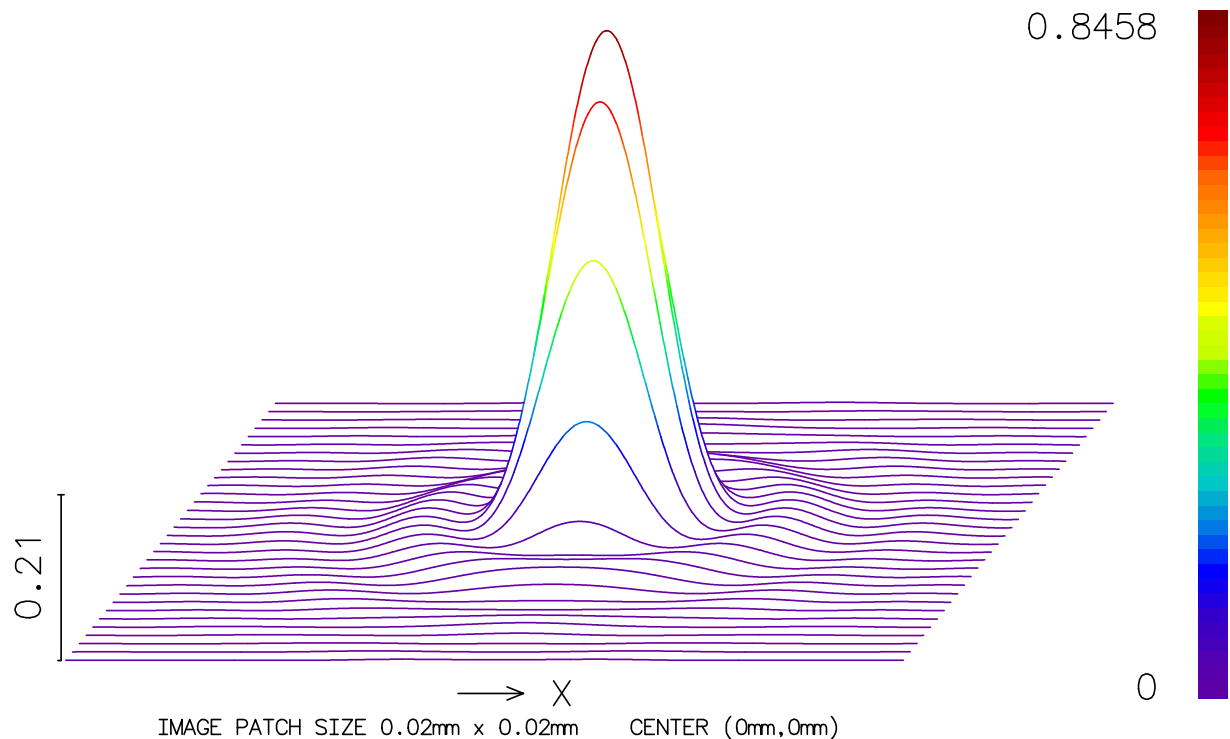
PARAMETRI FOURIER

Funcția imagine a punctului – point spread function (PSF)

Peak = 0.8458 (0mm,0mm)
Centroid (1.009e-20mm,-2.09e-19mm)
Wavelength 1 (0.5461 μ m)

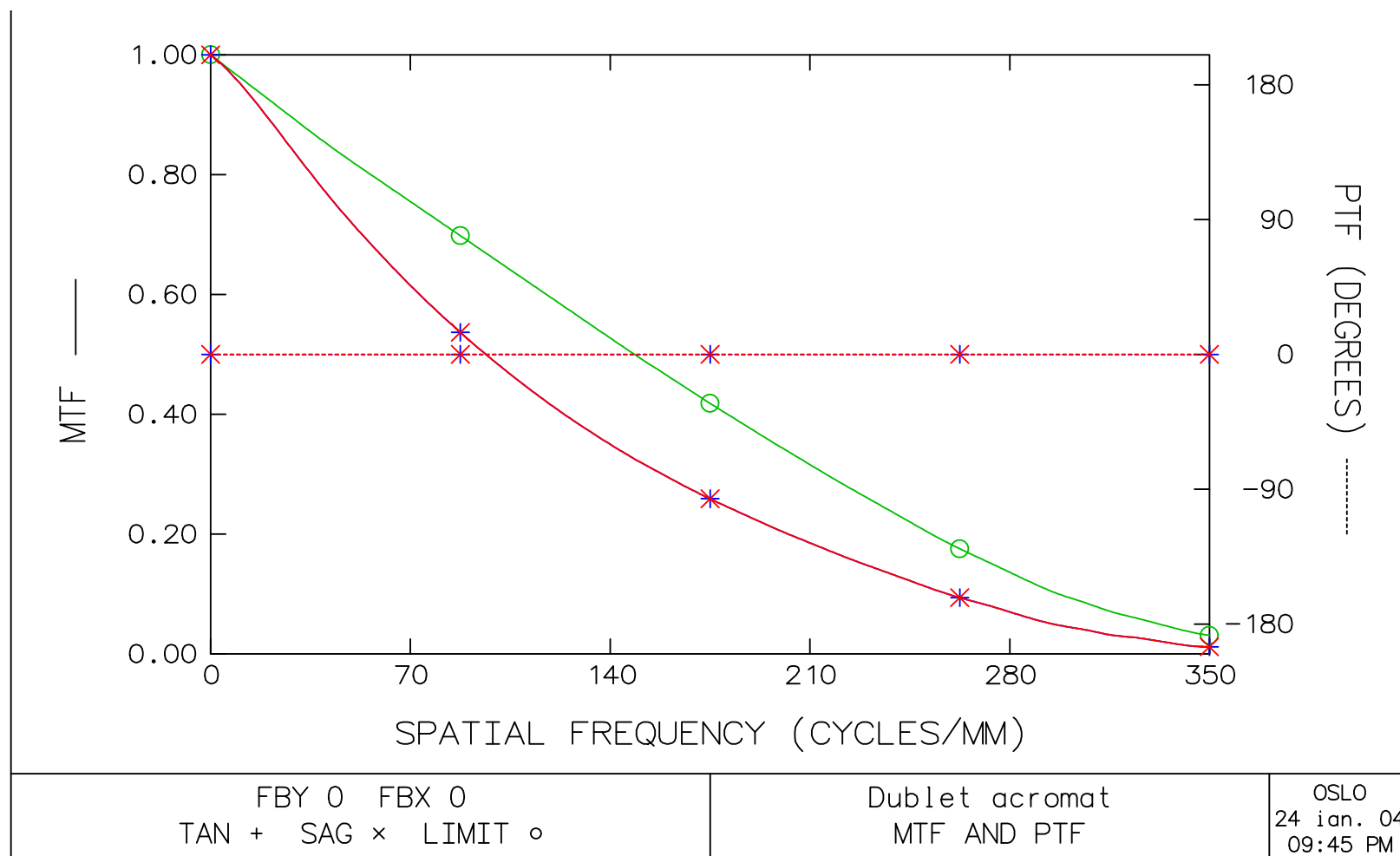
Dublet acromat
Direct Integration-based PSF

FBY 0
FBX 0
FOCUS 0



PSF pentru un
sistem optic avand
o calitate foarte
buna a imaginii
(PSF>0.8)

Funcția optică de transfer de modulație – modulation transfer function (MTF) și Funcția optică de transfer de fază – phase transfer function (PTF)



MTF – caracterizeaza rezolutia (cu valori normate intre $[0,1]$ functie de frecventa spatiala) si iluminarea globala a imaginii (proportionala cu aria cuprinsa intre axele de coordonate si curba MTF)

Rezolutia unui sistem optic este impusa de rezolutia receptorului.

Sistem	Rezoluție	
	Distanța între două puncte rezolvate [μm]	Frecvență spațială [perechi de linii/mm]
Fax	125	4
Ochiul uman	16 (pe retină)	≈ 31
Obiectiv $f'/8$	2.5	200
Sistem asociat scannerului	1	500
Sistem asociat microlitografiei	0.5	1000

PTF – caracterizeaza contrastul (cu valori normate intre $[0,1]$ functie de frecventa spatiala) imaginii si eventuale distorsiuni.

Clasificarea sistemelor optice in clase de calitate

Parametru	Toleranțe pentru sistem optic comercial	Toleranțe pentru sistem optic precis	Toleranțe pentru sistem optic limitat la difracție
RMS OPD OPD	0.25λ 2λ	0.1λ 0.5λ	$<0.07\lambda$ $<0.25\lambda$

Echivalenta parametrilor geometrici, ondulatorii si Fourier

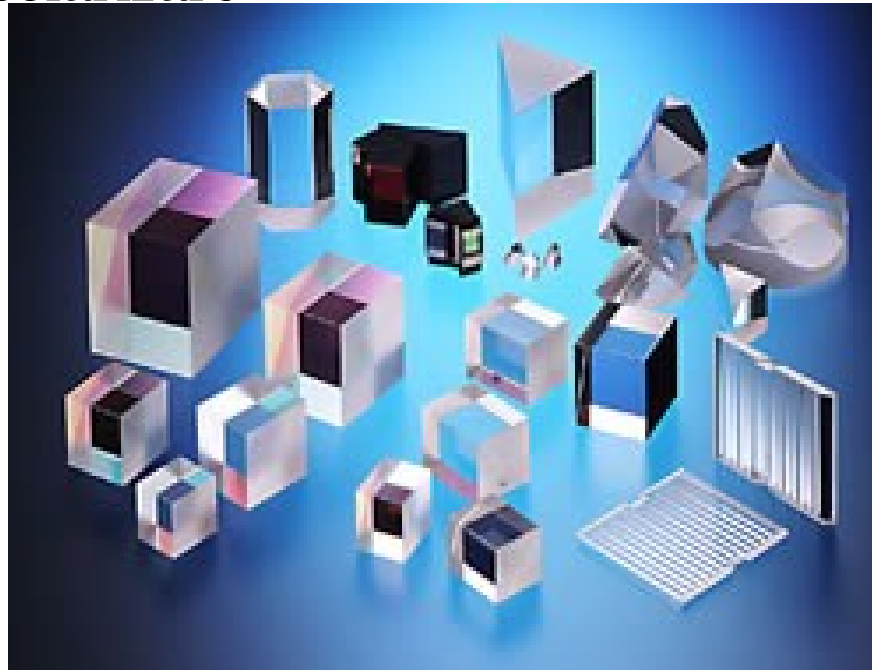
OPD	RMS OPD	Strehl	ds'	k_T	z_T, z_S	Calitatea sistemului
0.0	0.0	1.00				ideal
0.25 RL= $\lambda/16$	0.018λ	0.99				
0.5 RL= $\lambda/8$	0.036λ	0.95				
1.0 RL= $\lambda/4$	0.07λ	0.80				limitat la difracție
2.0 RL= $\lambda/2$	0.14λ	0.40	$ds'_{Mmax} = \pm 16\lambda \left(\frac{f'}{D}\right)^2$	$k_T = \pm \frac{1.5\lambda}{n' \sin \tilde{\sigma}'}$	$\delta = \pm 2\lambda \left(\frac{f'}{D}\right)^2$	precis
3.0 RL= 0.75λ	0.21λ	0.10				comercial
4.0 RL= λ	0.29λ	0.00				

PRISME

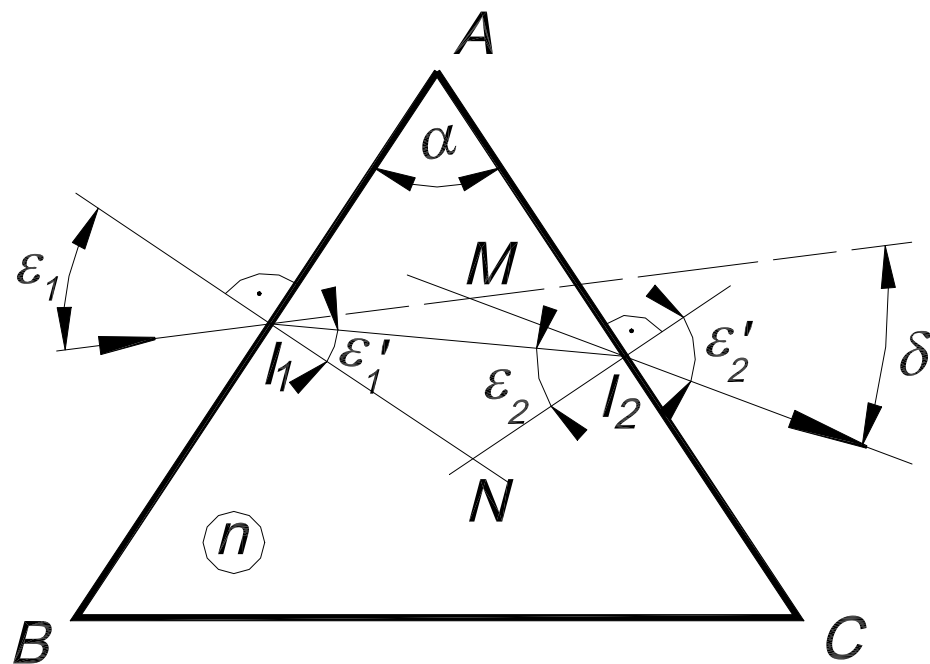
Prisme sunt componente optice cu suprafețe active plane.

Clasificare:

- ☐ prisma de deviatie (prin refractie)
- ☐ prisma cu unghi de deviatie constant (cu reflexie totala)
- ☐ prisma dispersiva
- ☐ prisma de polarizare



PRISMA DE DEVIATIE



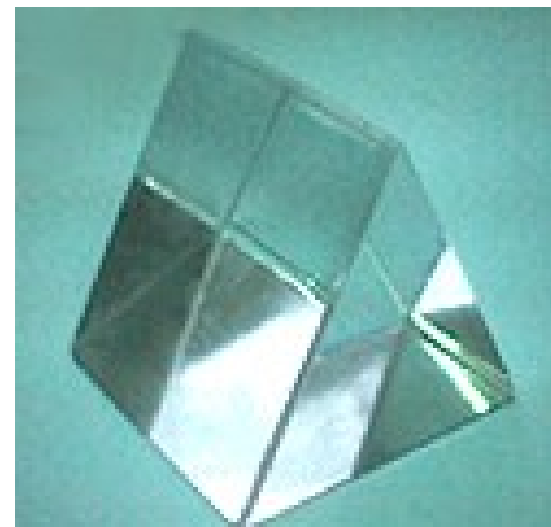
Ecuatiile prisme

$$\sin \varepsilon_1 = n \sin \varepsilon'_1$$

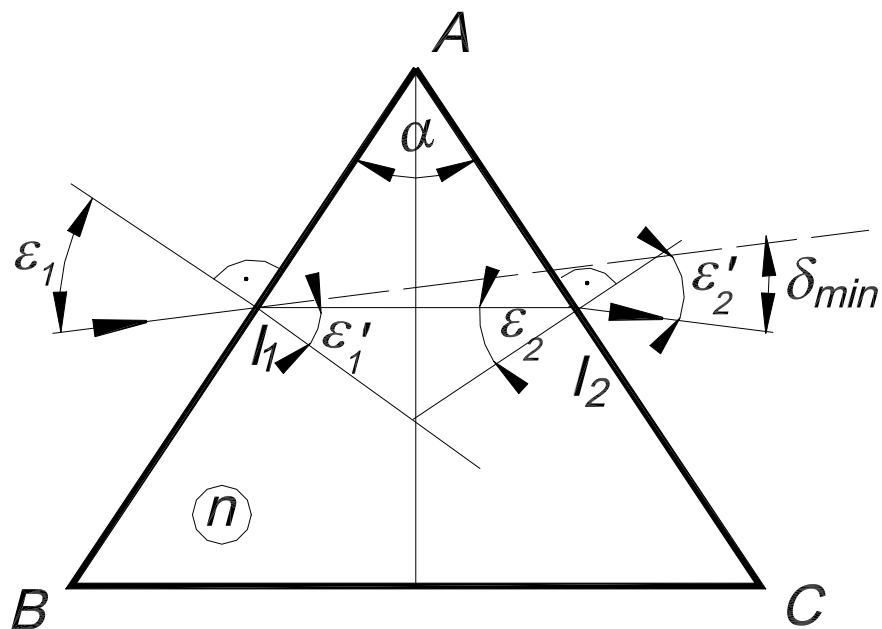
$$n \sin \varepsilon_2 = \sin \varepsilon'_2$$

$$\alpha = \varepsilon'_1 + \varepsilon_2$$

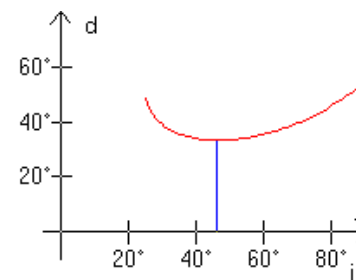
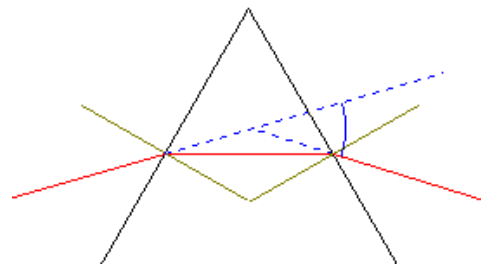
$$\delta = \varepsilon_1 - \varepsilon'_1 + \varepsilon'_2 - \varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \varepsilon'_2 - \alpha$$



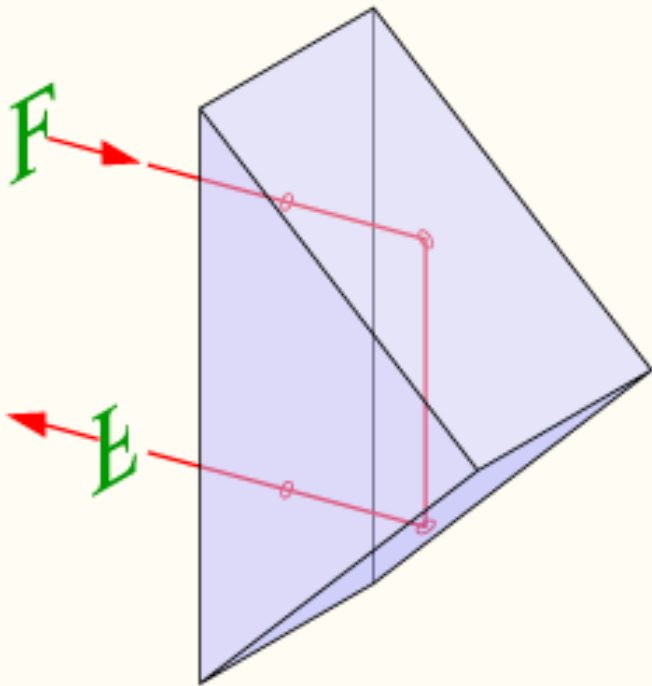
Deviatia minima a prisme



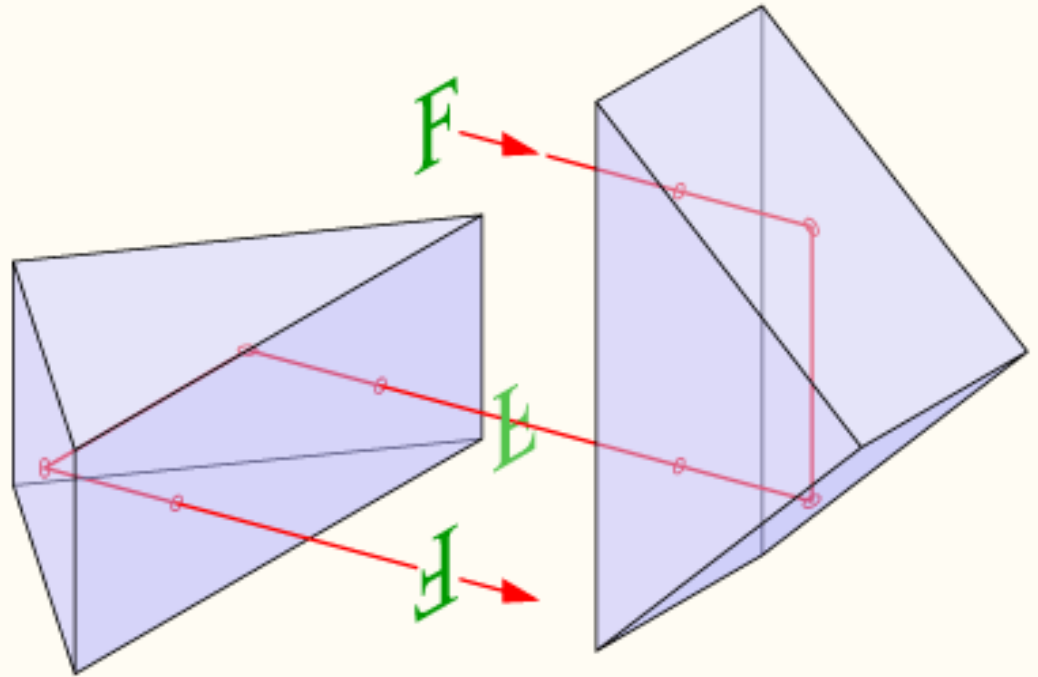
$$\begin{cases} \sin \varepsilon_1 = n \sin \varepsilon_1' = n \sin \varepsilon_2 = \sin \varepsilon_2' \\ \alpha = 2\varepsilon_1' = 2\varepsilon_2 \\ \delta_{\min} = 2\varepsilon_1 - \alpha = 2\varepsilon_2' - \alpha \end{cases}$$



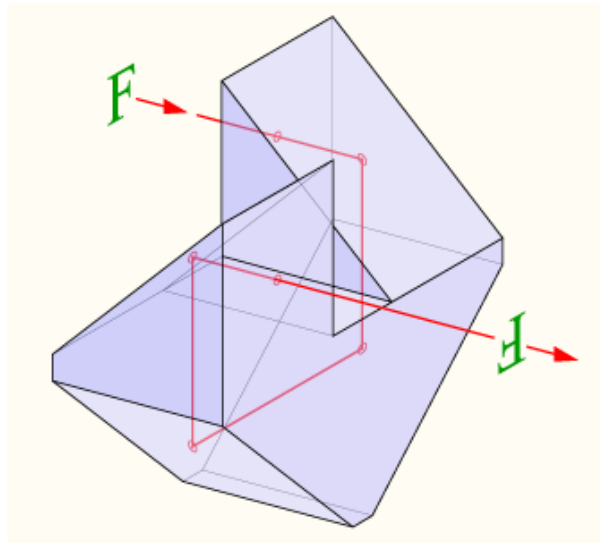
PRISMA CU REFLEXIE TOTALA (UNGHI DE DEVIATIE CONSTANT)



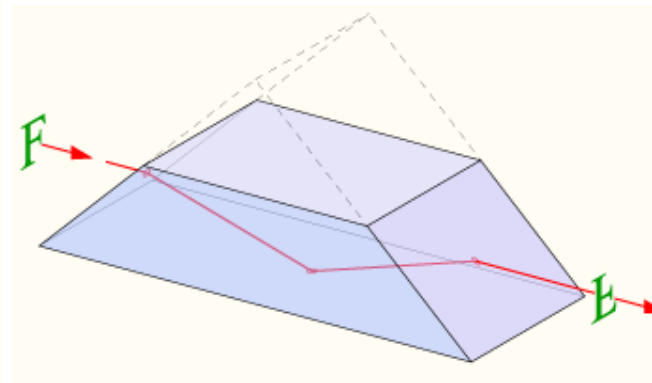
Prisma Porro



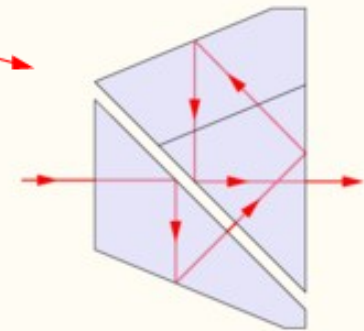
Redresor cu prisme Porro



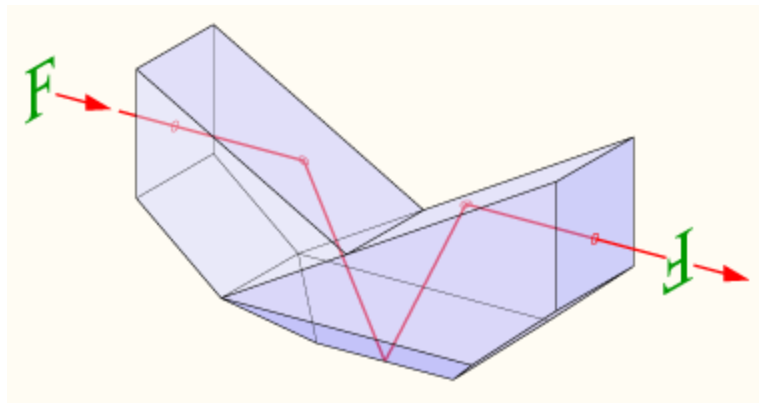
Porro-Abbe



Dove

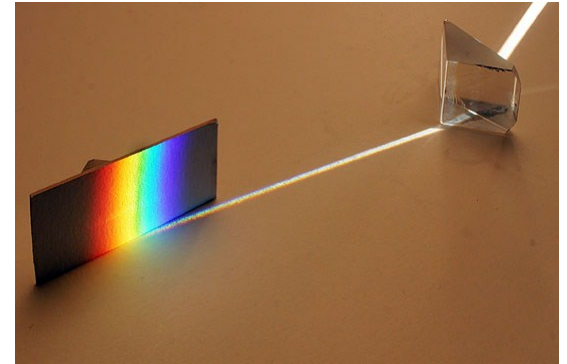
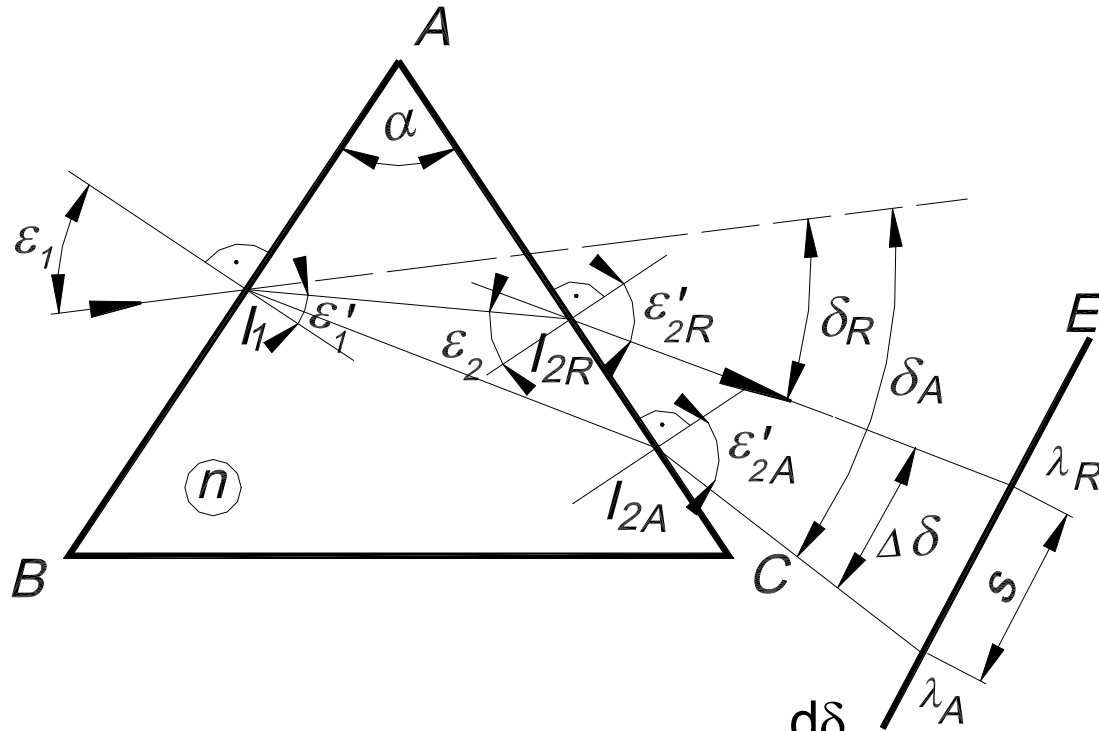


Schmidt-Pechan



König

PRISMA DISPERSIVA



- Dispersia unghiulara:
- Dispersia liniara:
- Dispersia materialului:

$$D_u = \frac{d\delta}{d\lambda}$$

$$D_l = \frac{ds}{d\lambda}$$

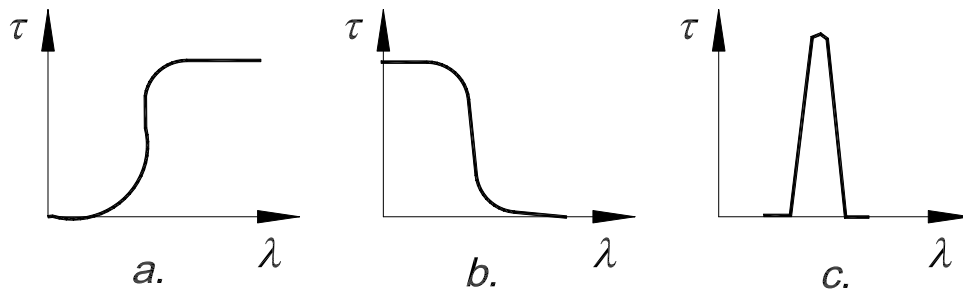
$$D_m = \frac{dn}{d\lambda}$$

FILTRE

Filtrele sunt componente optice care au rolul de a modifica mărimea fluxului energetic sau/și distribuția spectrală a acestuia.

Filtrele se pot clasifica după mai multe criterii:

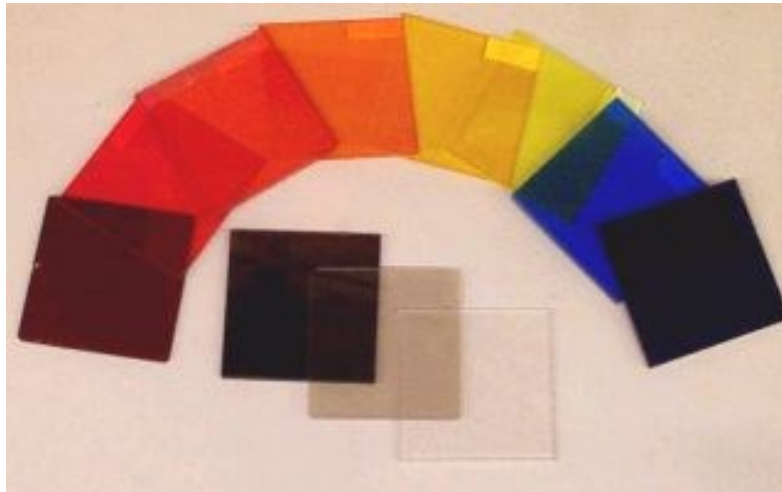
- ❑ funcție de domeniul spectral transmis există filtre pentru UV, VIS, IR etc.
- ❑ funcție de fenomenul fizic pe baza căruia lucrează, filtrele pot fi de absorbție sau interferențiale
- ❑ funcție de lărgimea și poziția spectrului de trecere, există filtre trece-sus, trece-jos sau bandă
- ❑ funcție de compoziția spectrală a radiației transmise filtrele au un caracter selectiv sau neselectiv (filtre neutre)



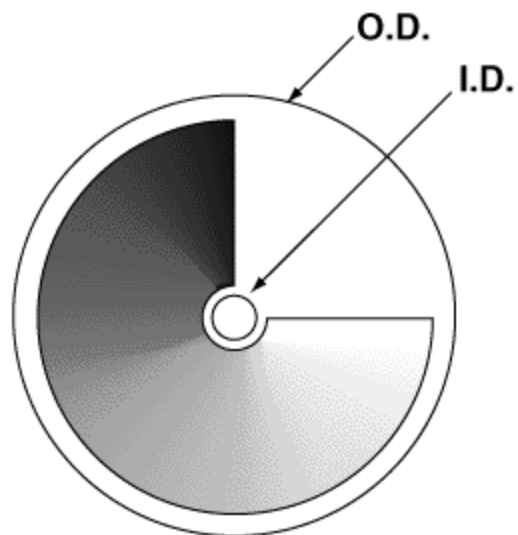
$$\tau(\lambda) = \tau_1(\lambda) \cdot \tau_2(\lambda) \dots = \prod_{i=1}^n \tau_i(\lambda).$$

FILTRE DE ABSORBTIE

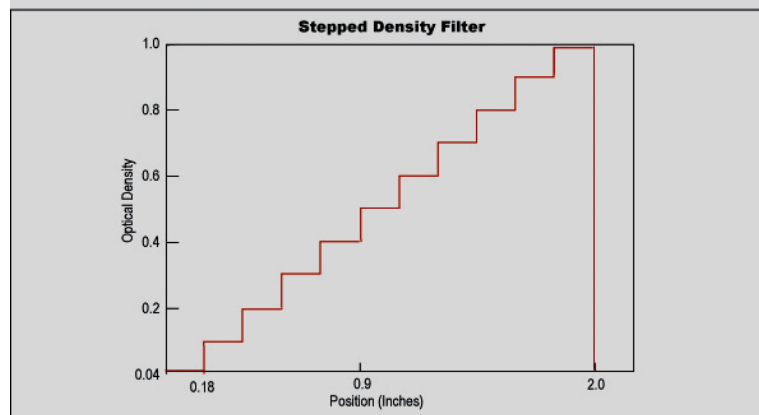
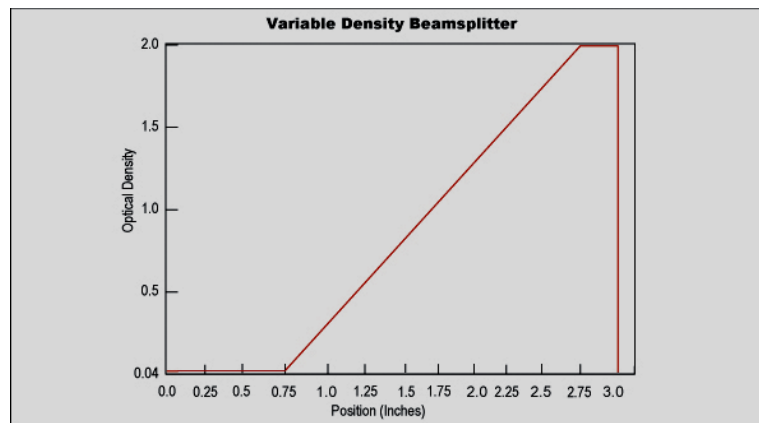
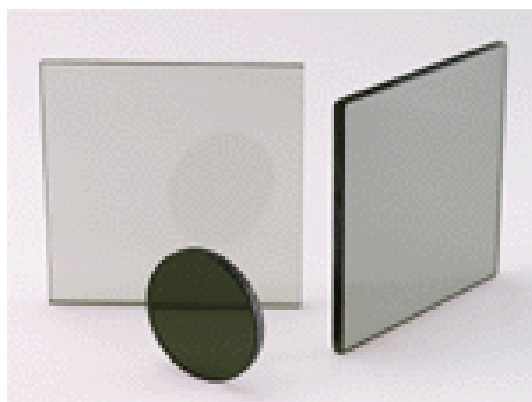
$$\tau(\lambda) = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha(\lambda).d} \quad \text{Legea Bouguer-Lambert}$$

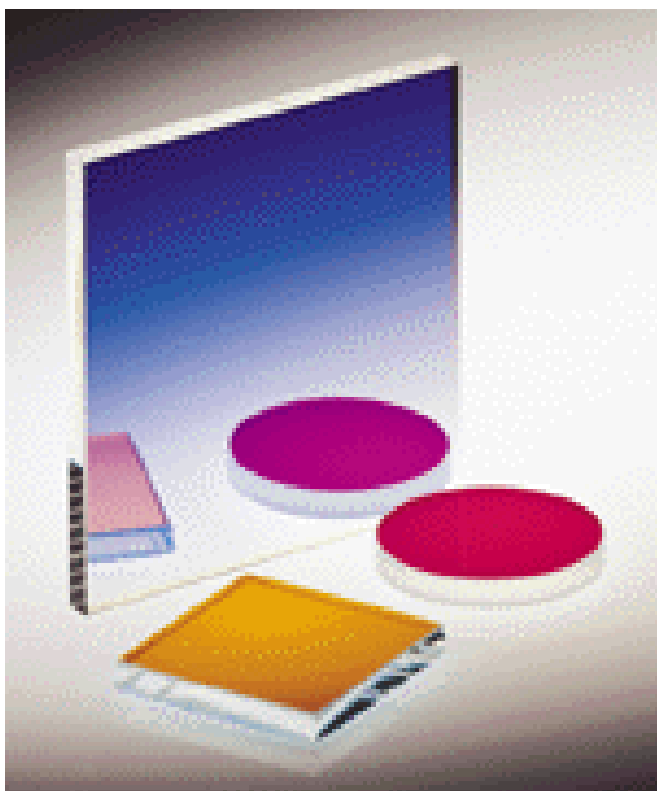


Filtre colorate (VIS)

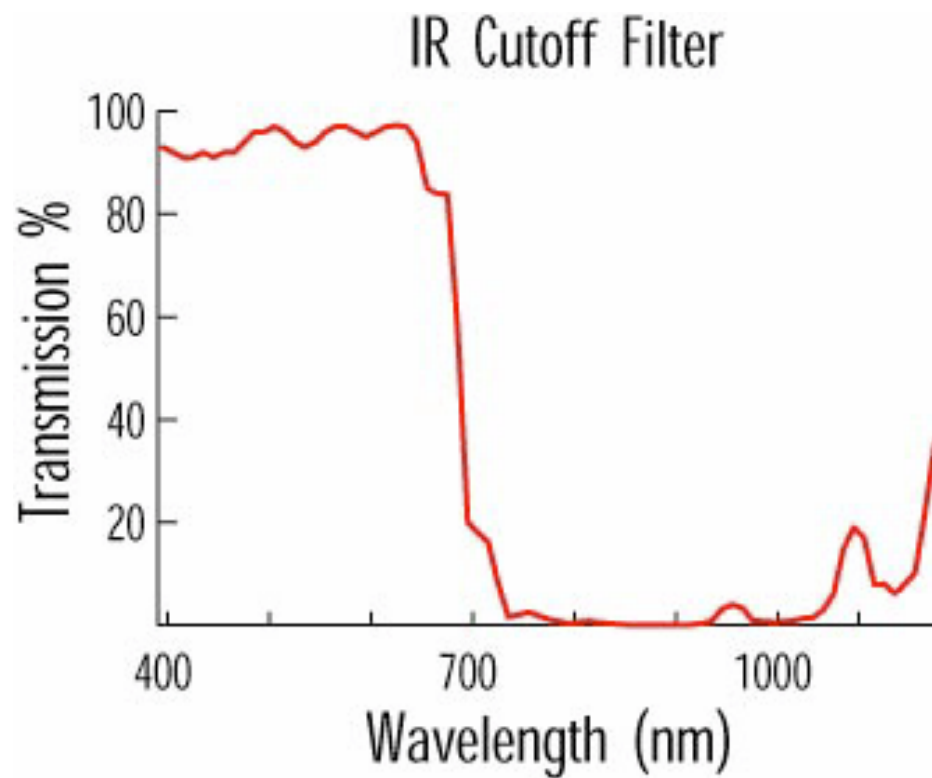


Filtre neutre



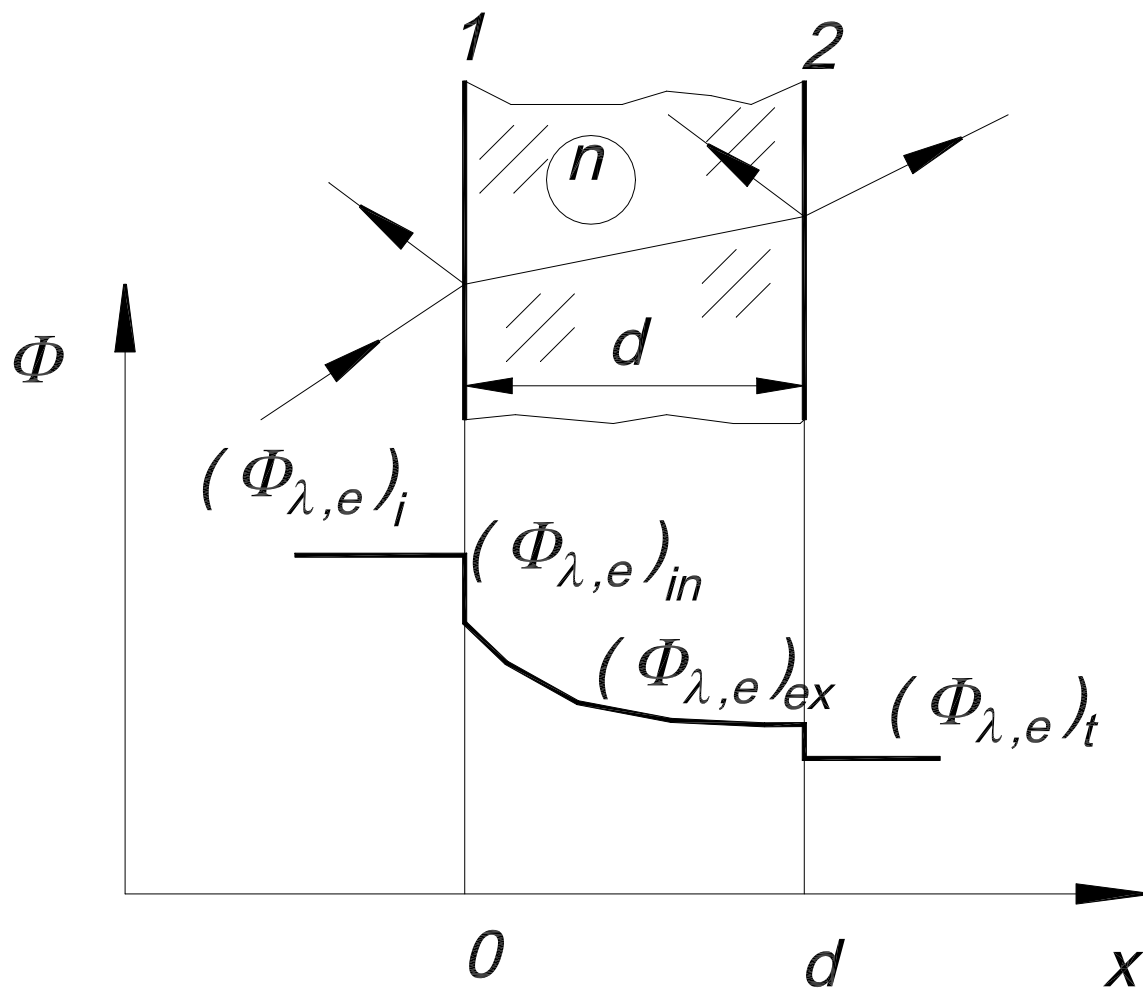


Oglinzi reci



Filtre pentru IR

Pierderi de lumină în filtrele optice



coeficientul spectral de transmisie externă

$$\tau_{\text{ext}}(\lambda) = \frac{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{t}}}{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{i}}}$$

coeficientul spectral de reflexie

$$\rho(\lambda) = \frac{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{r}}}{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{i}}}$$

coeficientul spectral de absorbție

$$\alpha(\lambda) = \frac{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{a}}}{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{i}}}$$

coeficientul spectral de transmisie internă

$$\tau_{\text{int}}(\lambda) = \frac{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{ex}}}{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{in}}}$$

coeficientul spectral de absorbție internă

$$\alpha_{\text{int}}(\lambda) = \frac{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{in}} - (\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{ex}}}{(\Phi_{\text{e},\lambda})_{\text{in}}}$$

Relații:

$$\tau_{\text{ext}}(\lambda) + \rho(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1$$

$$\tau_{\text{int}}(\lambda) + \alpha_{\text{int}}(\lambda) = 1,$$

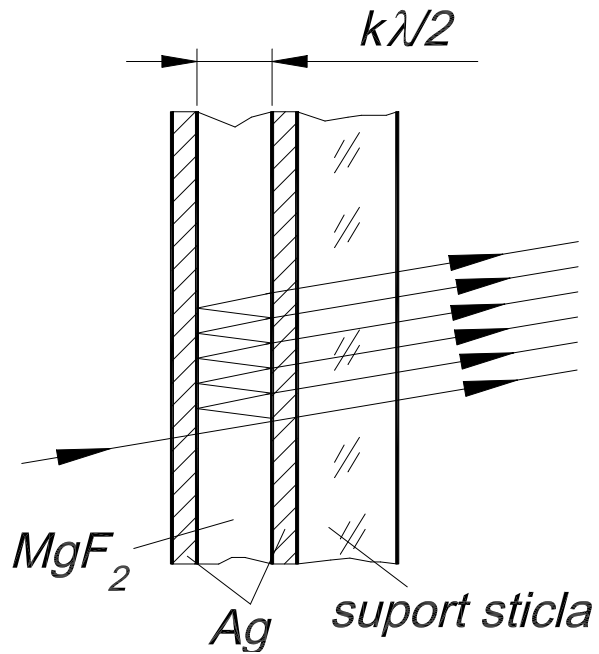
$$\tau_{\text{int}}(\lambda) = e^{-\alpha_{\text{int}}(\lambda)d}$$

$$\alpha_{\text{int}}(\lambda) > \alpha_{\text{ext}}(\lambda)$$

$$\tau_{\text{int}}(\lambda) > \tau_{\text{ext}}(\lambda).$$

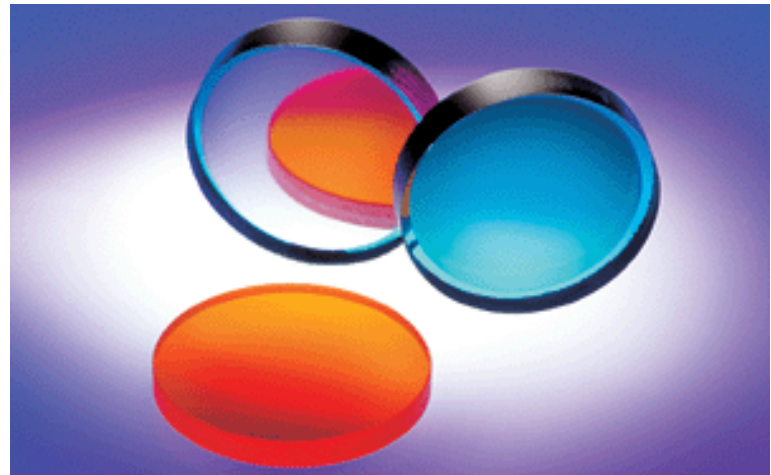
$$\tau_{\text{ext}}(\lambda) = (1 - \rho)e^{-\alpha_i d} \cdot (1 - \rho) = (1 - \rho)^2 e^{-\alpha_i d}$$

FILTRE INTERFERENTIALE



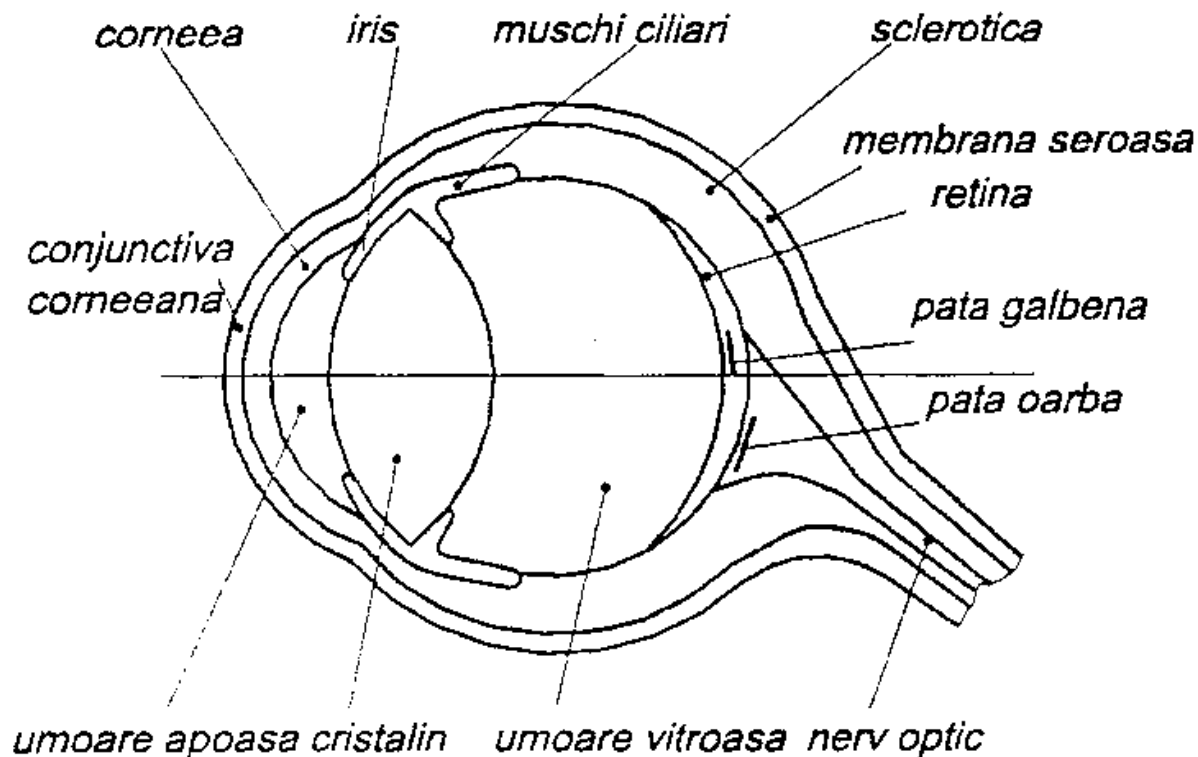
Relatia de dimensionare a stratului
de florura de magneziu

$$2nd = k\lambda.$$



OCHIUL

ANATOMIA OCHIULUI



Elemente cu putere de refractie: corneea ($n=1.3671$), conjunctiva corneeană ($n=1.3520$), umoarea apoasă ($n=1.3364$), cristalinul ($n=1.36...1.42$), umoarea vitroasă ($n=1.3385$)

Elemente fotosensibile

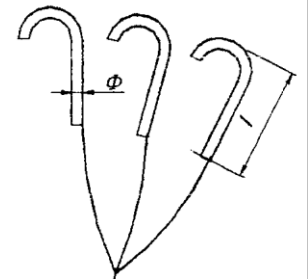
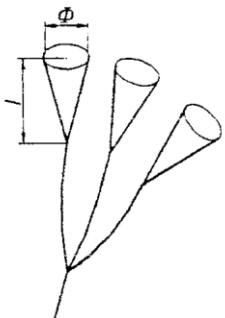
Retina este o prelungire a nervului optic, (un receptor fotochimic) si contine doua tipuri de elemente fotosensibile:

-**conuri** ($\Phi \sim 5\mu\text{m}$, $1 \sim 33\mu\text{m}$), legate cate 3 la o terminatie nervoasa.

Conurile au o distributie neuniforma. Densitatea maxima se gaseste in foveea centralis, o adancitura cu diametrul de $(0.2 \dots 0.4)\text{mm}$, aflata pe retina, in apropiere de axa optica a ochiului (~ 4000 conuri) si in pata galbena, care inconjoara foveea centralis pe un diametru de $\sim 1.5\text{ mm}$ (~ 13000 conuri). Conurile servesc la distingerea detaliilor si culorilor in vederea fotopica (de zi).

-**bastonase** ($\Phi \sim 1.5\mu\text{m}$, $1 \sim 70\mu\text{m}$), legate in numar mare (sute) la o terminatie nervoasa. Bastonasele au o densitate tot mai mare spre marginea retinei numita ora serata. Bastonasele servesc in vederea scotopica (in lumina slaba).

In zona unde se strang fibrele nervoase formand nervul optic, nu exista celule fotosensibile (pata oarba).



FIZIOLOGIA OCHIULUI

ACOMODAREA – totalitatea proceselor care concursa la formarea imaginii pe retina (pentru vedere clara), indiferent de distanta la care se afla obiectul. Acomodarea se realizeaza prin variatia curburilor cristalinului la actiunea reflexa a muschilor ciliari si prin modificarea indicilor de refractie.

PUNCTUL REMOTUM – R – punctul cel mai indepartat care poate fi vazut clar (corespunde puterii minime a ochiului). Pentru ochiul normal (emetrop) $s_R = \infty$.

PUNCTUL PROXIMUM – P – punctul cel mai apropiat care poate fi vazut clar (corespunde puterii maxime a ochiului). Pentru ochiul emetrop $s_p = 250$ mm.

AMPLITUDINEA DE ACOMODARE (a ochiului emetrop):
 $A = 1/s_R - 1/s_p = 1/\infty - 1/0.250 = -4$ dpt.

ADAPTAREA – asigura functia de perceptie a luminii la fluxuri luminoase variabile. Adaptarea implica doua mecanisme cu caracter:

- mecanic (variatiia reflexa a deschiderii pupilei – in mod normal intervalul (2...8)mm
- fiziologic (prin modificarea sensibilitatii celulelor fotosensibile din retina)

Etape de adaptare:

- cresterea semnalului luminos de la 0 la valoarea maxima (~0.1 sec.)
- persistenta impresiei luminoase pe durata prezentei semnalului
- perioada de inertie a impresiei luminoase dupa incetarea semnalului (~0.1...0.15) sec.
- disparitia treptata a impresiei luminoase (~0.2 sec.)

PARAMETRI CARACTERISTICI OCHIULUI

Sensibilitatea spectrala

Ochiul are capacitatea de a recepta radiatie electromagnetica in domeniul numit vizibil (380...780)nm, cu sensibilitatea maxima la 550 nm in vederea fotopica si la 506 nm in vederea scotopica. Pragul de sensibilitate spectrala depinde de zona spectrala si de subiect, dar are o valoare medie de 6nm.

Rezolutia

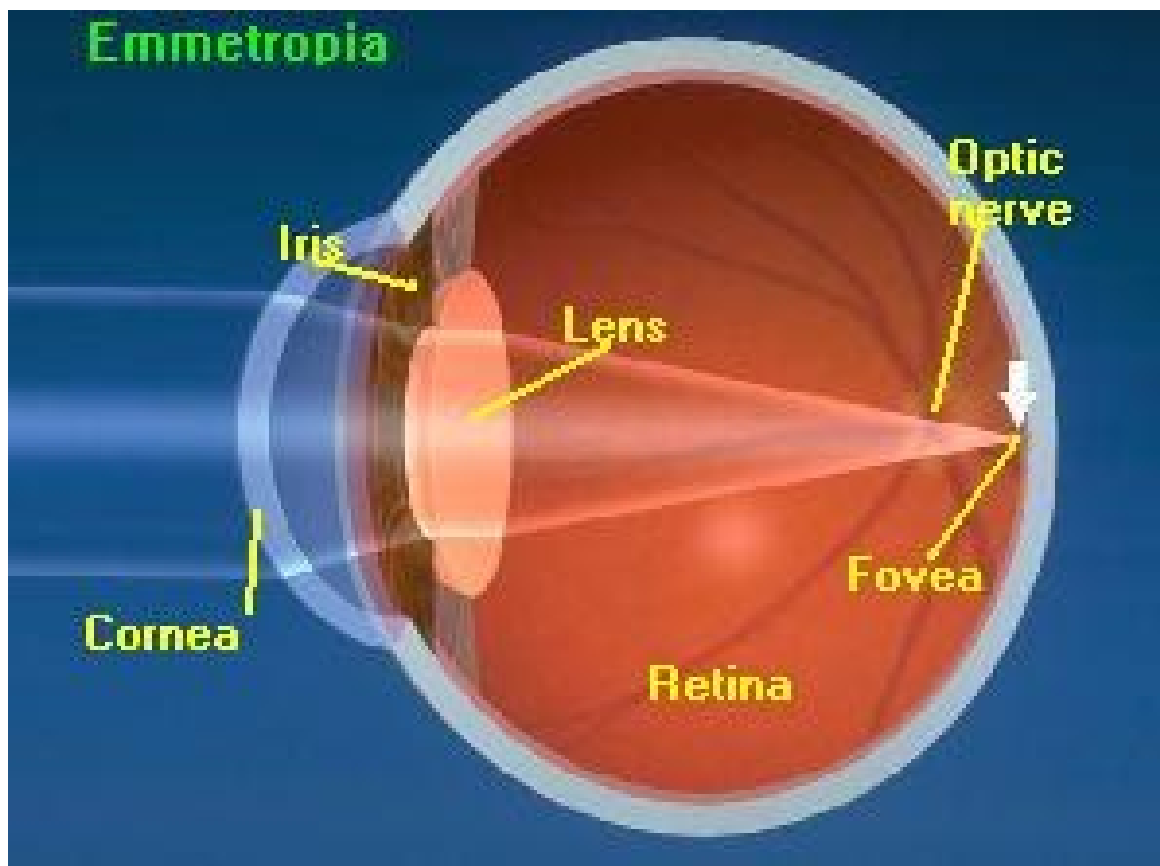
Rezolutia sau puterea de separare reprezinta unghiul minim sub care doua puncte mai pot fi percepute distinct. Rezolutia depinde foarte mult de forma, culoarea si contrastul obiectului fata de fond. Rezolutia maxima variaza intre 5" si 70".

Vederea stereoscopica

Unghiul sub care vad ochii un obiect reprezinta paralaxa stereoscopica, α . La 250 mm, $\alpha_{\max}=15^\circ$. Acuitatea stereoscopica, ($\Delta\alpha=5''\dots15''$) depinde de distanta la care se afla obiectul.

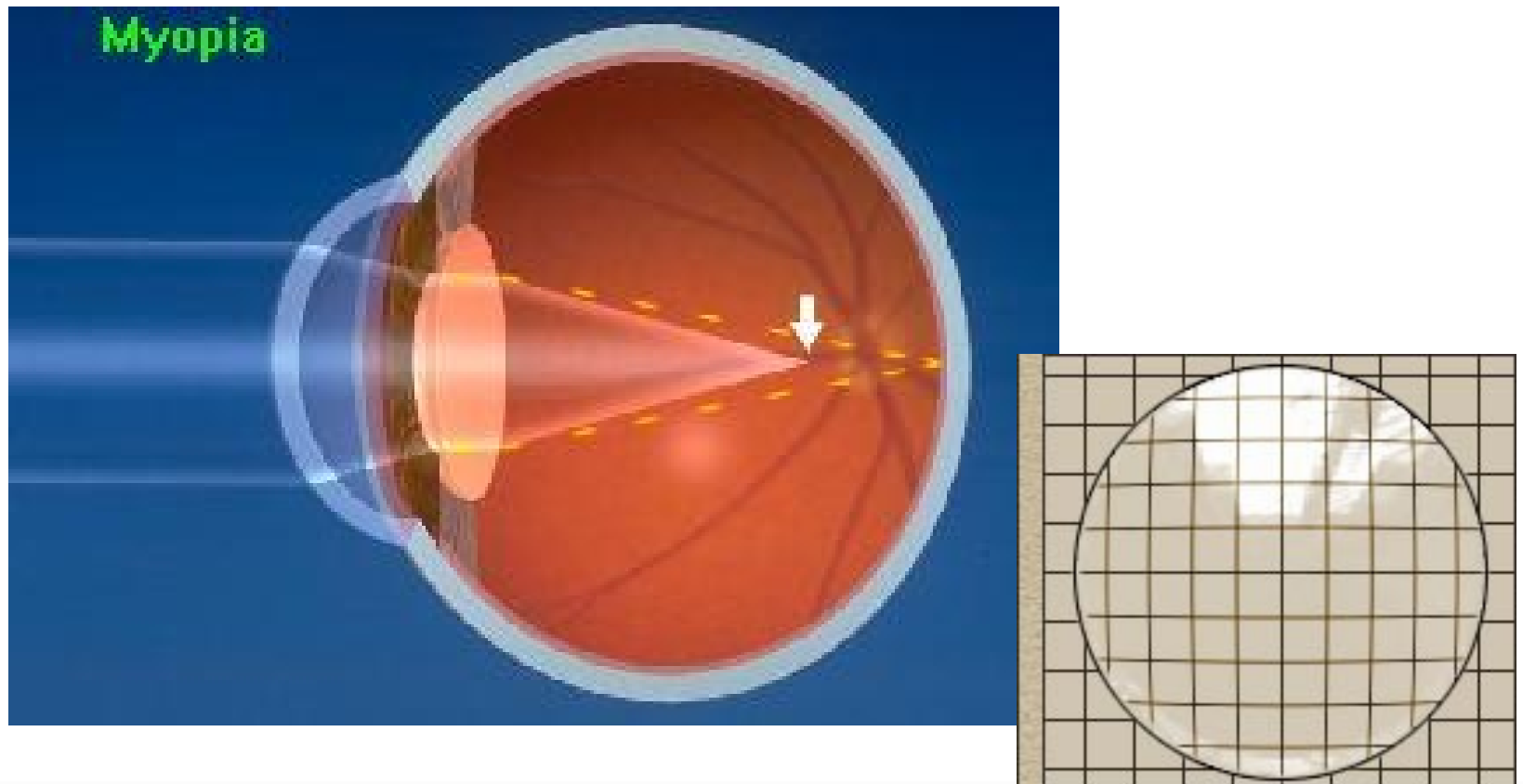
Raza maxima a vederii stereoscopice este, teoretic, de cca 2700m, la o acuitate de 5". Practic, raza maxima a vederii spatiale este de ~600 m, la o profunzime de cativa m. La distanta minima a vederii clare profunzimea ochiului este de ~ 0.1 mm.

DEFECTE DE VEDERE SI CORECTAREA LOR

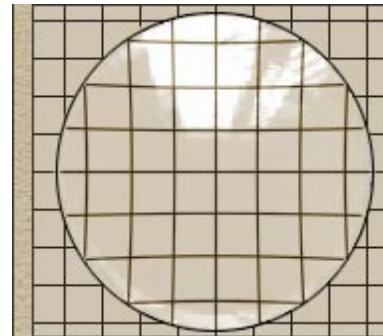
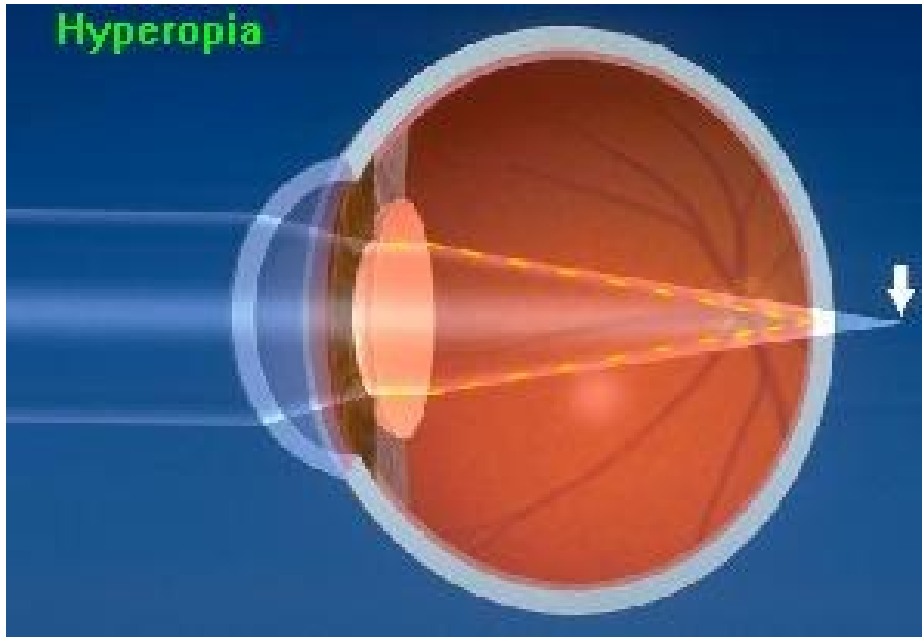


Ochiul normal (**emetrop**) formeaza imaginea obiectelor, indiferent de distanta la care se afla, pe retina.

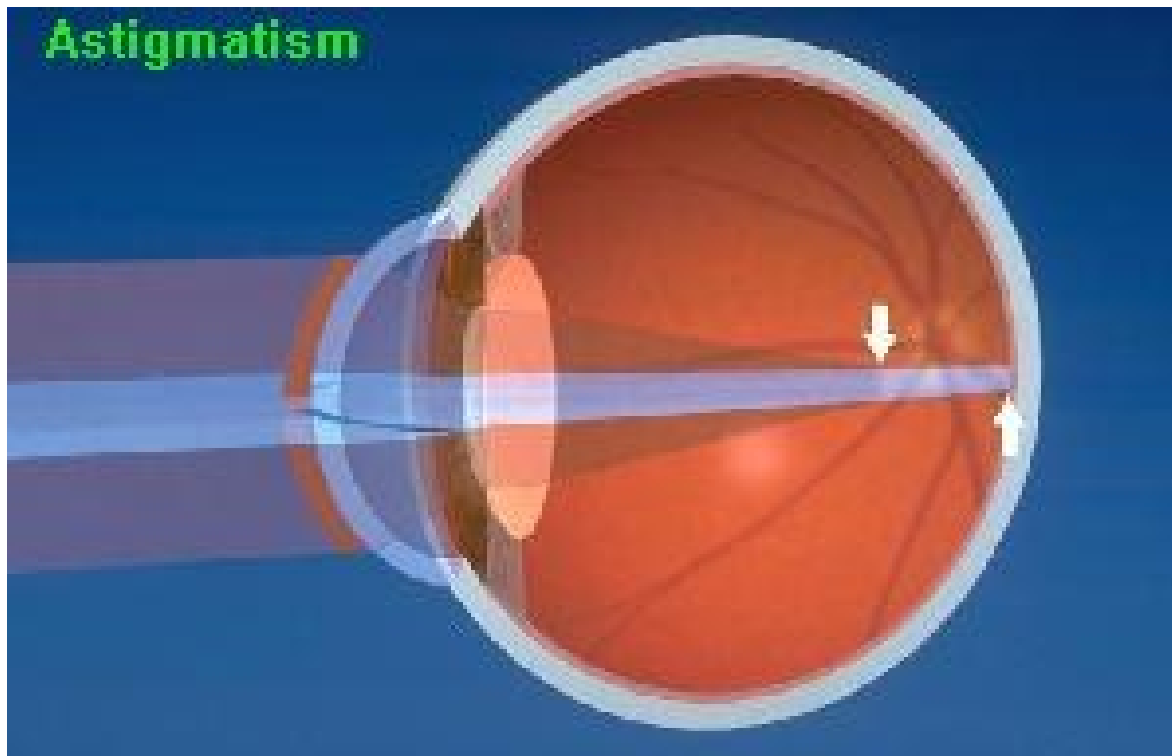
Miopia – incapacitatea ochiului de acomodare la distanta. Convergenta de repaos a ochiului este prea mare. Imaginile se formeaza in fata retinei. Miopia se corecteaza cu lentile sferice divergente.



Hipermetropia – incapacitatea ochiului de acomodare în vederea de aproape. Convergența de repaos a ochiului este prea mică. Imaginile se formează în spatele retinei. Hipermetropia se corectează cu lentile sferice convergente.

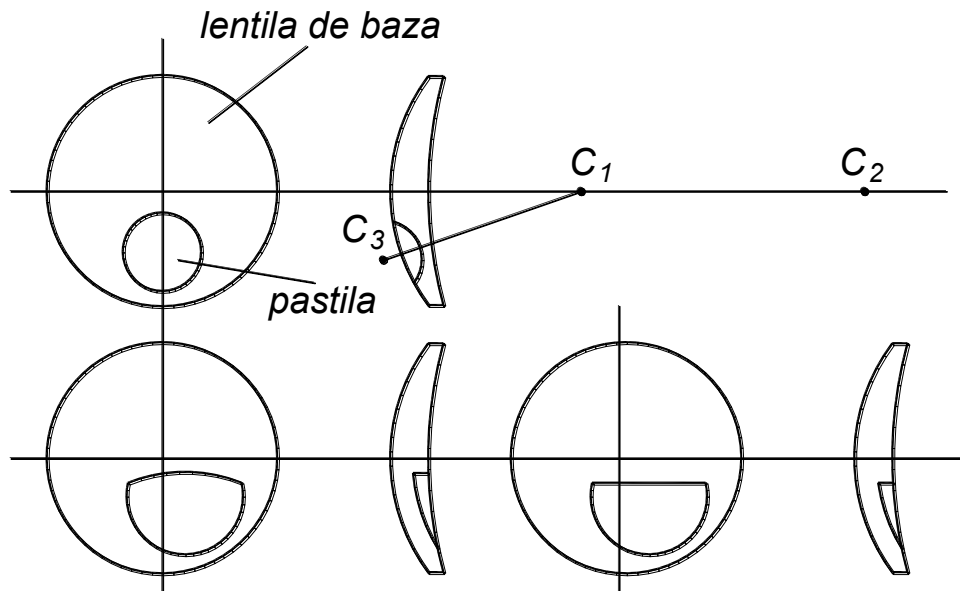


Astigmatismul – incapacitatea ochiului de formare a imaginilor clare datorita formei asferice. Pentru cazul in care ochiul are doua plane de simetrie corectarea este eficienta cu lentile astigmatice (sfero- torice). Astigmatismul este insotit, de obicei, de miopie sau hipermetropie.

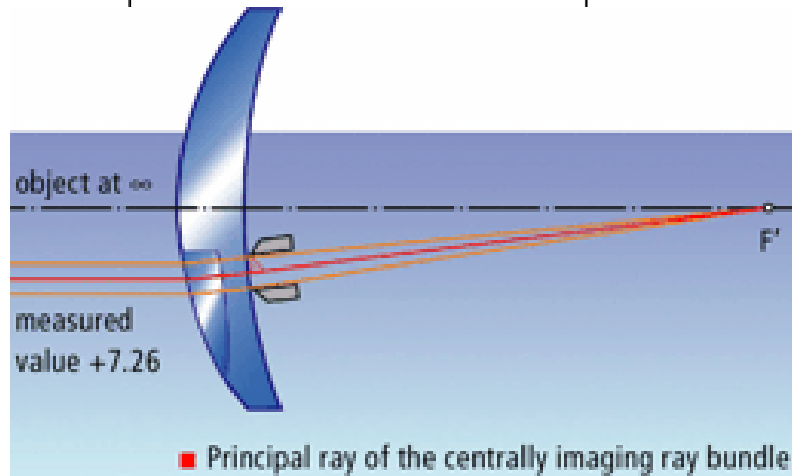


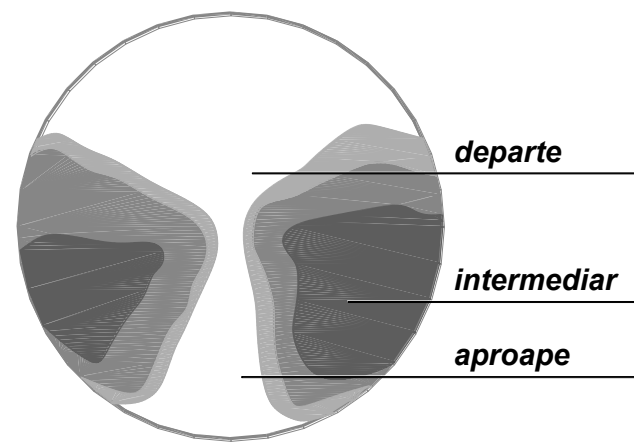
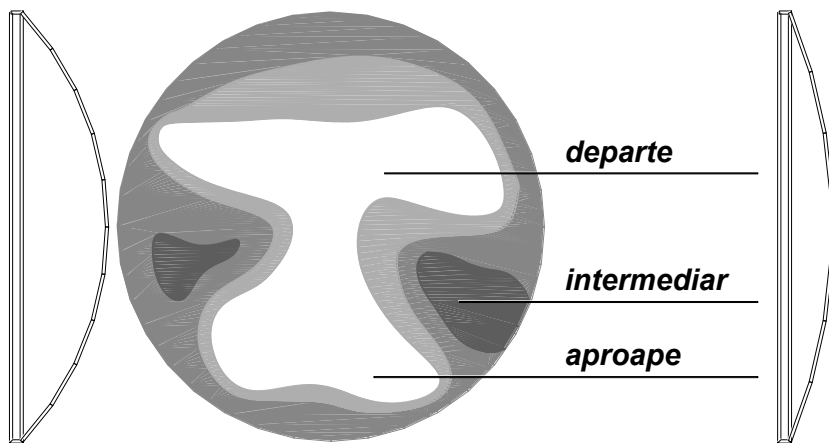
Presbitismul – incapacitatea ochiului de acomodare atat in vederea de aproape, cat si la distanta. Presbitismul este specific varstnicilor, incepe sa se manifeste in jurul varstei de 40 ani si se datoreaza pierderii treptate a elasticitatii muschilor ciliari. Se corecteaza cu lentile bifocale sau multifocale.





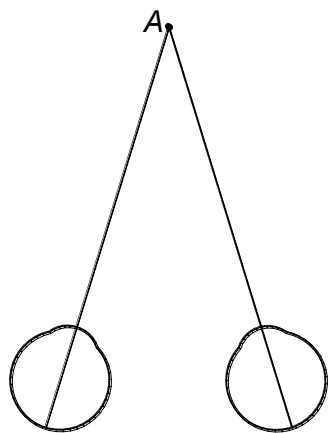
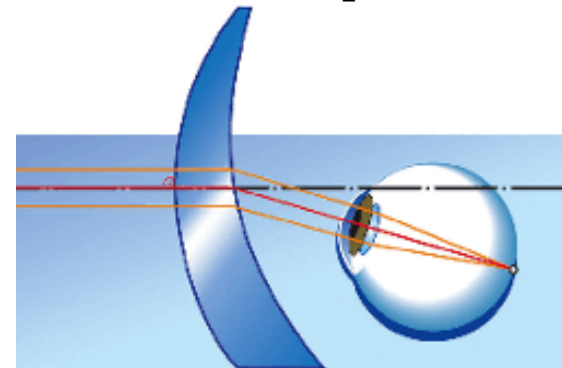
Lentile bifocale cu pastile de diferite forme



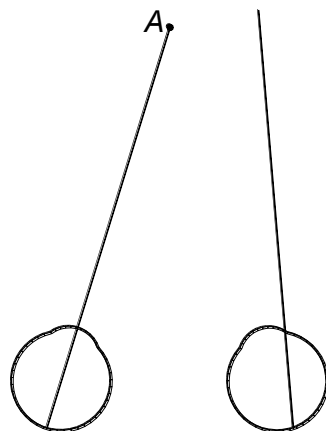


**Lentile multifocale (progresive)
cu diverse distributii ale puterii**

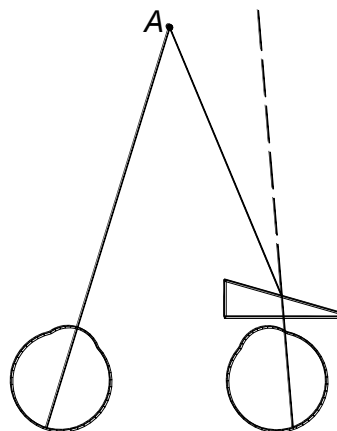
Strabismul – incapacitatea ochilor de a-si roti axele astfel incat sa rezulte impresia unei imagini unice. Se corecteaza cu lentile prismatice.



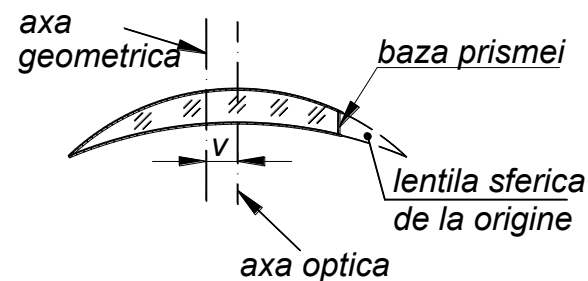
ochi emetrop



ochi cu strabism

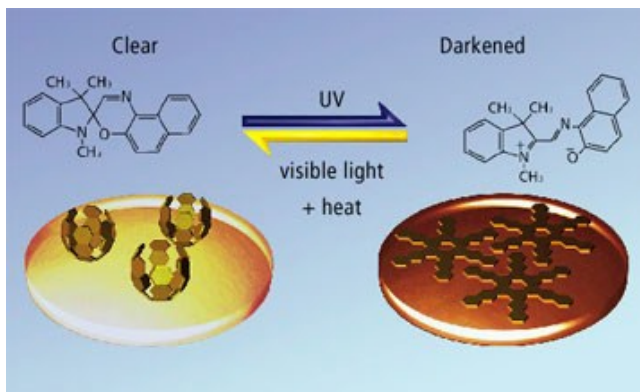


corectie prismatica



Lentila prismatica

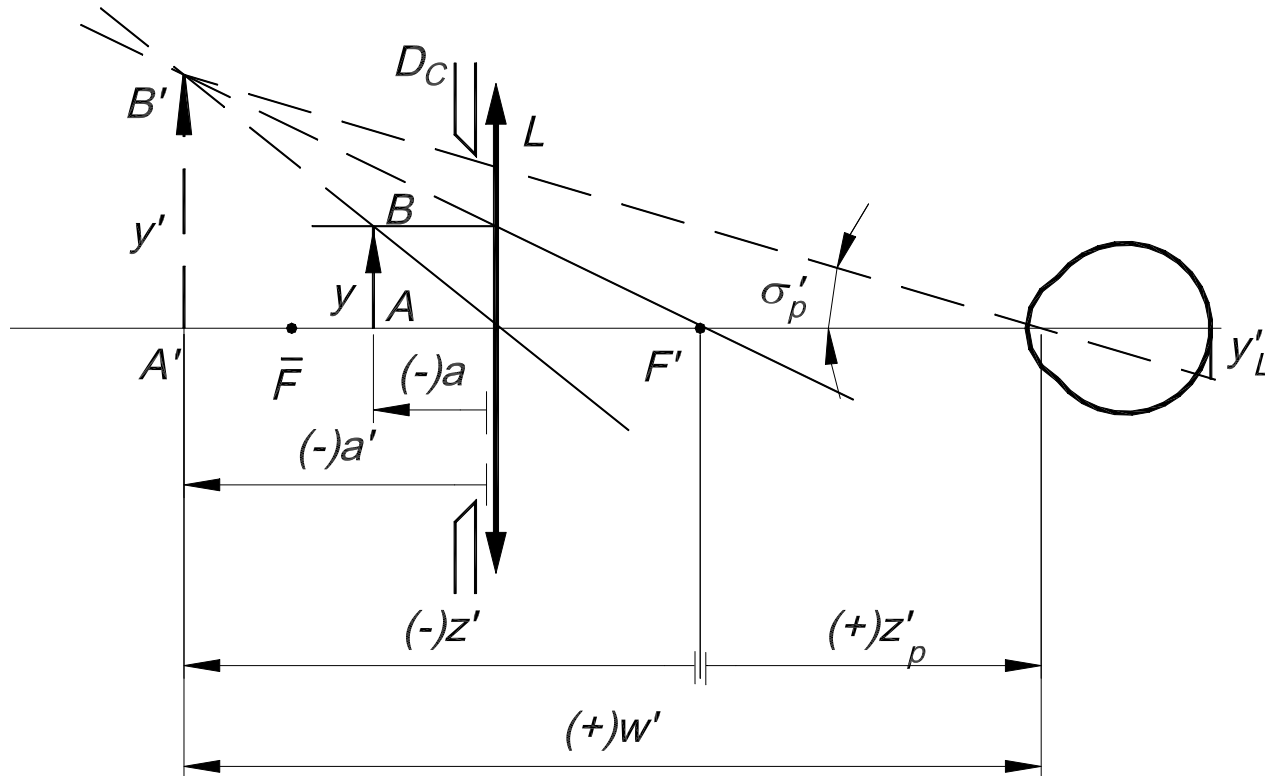
Lentilele pot fi executate din sticla minerala incolora, colorata, sticla organica sau sticla fotocroma.



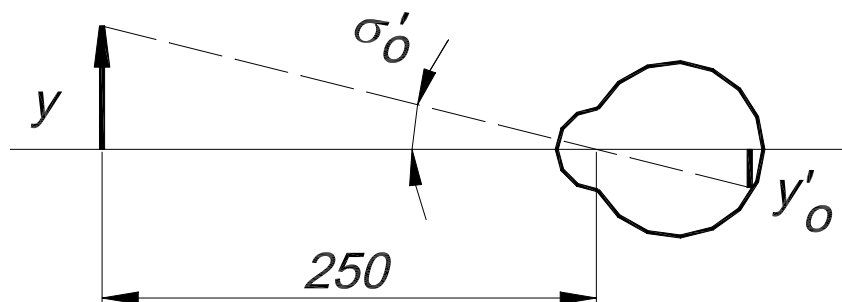
APARATE OPTICE VIZUALE

LUPA

Lupa este instrumentul optic cel mai simplu, utilizat pentru observarea obiectelor mici sau a detaliilor. Este un sistem optic convergent, constituit din una sau mai multe lentile. Lupa formează imaginea virtuală, dreaptă și mărită a obiectelor plasate între focarul obiect și planul principal obiect.



Grosismmentul lupei se definește ca raport între **mărimea aparentă** a imaginii și **mărimea aparentă naturală** (mărimi ale imaginii formate pe retină, atunci când ochiul privește obiectul prin aparat, respectiv liber, de la distanța minimă a vederii clare).



Grosismmentul depinde de distanța focală a lupei, de distanța obiect, dar și de starea de acomodare a ochiului.

Se definește **grosismmentul comercial**, în condițiile în care ochiul este acomodat pentru infinit ($w' \rightarrow \infty$) și obiectul în focar:

$$\Gamma_c = \frac{250}{f'}$$

$$\Gamma = \frac{y'_L}{y'_o} = \frac{\text{tg} \sigma'_p}{\text{tg} \sigma'_o} = \frac{y'}{w'} \frac{250}{y}$$

$$\Gamma = \beta \frac{250}{w'} = -\frac{z'}{f'} \frac{250}{w'} = \frac{w' - z'_p}{w'} \frac{250}{f'}$$

Din punct de vedere funcțional, lupele se clasifica în două categorii:

- ❑ lupe de observare, destinate vizualizării obiectelor mici sau a unor detalii ale acestora
- ❑ lupe de măsurare, prevăzute cu reticule sau scări gradate, care permit măsurarea detaliilor observate.

LUPE DE OBSERVARE





Lupe cu distanță obiect fixă - lupe de masurare



Lupe binoculare cu câmp mare pentru domeniul medical

LUNETE

Luneta este un aparat optic, care are rolul de a mări unghiul sub care se vede un obiect îndepărtat, astfel încât să se distingă mai multe detalii ale acestuia.

Luneta este un sistem optic **afocal** sau **telescopic**, având distanța focală infinită. De asemenea, obiectul se află la infinit, iar imaginea se formează tot la infinit.

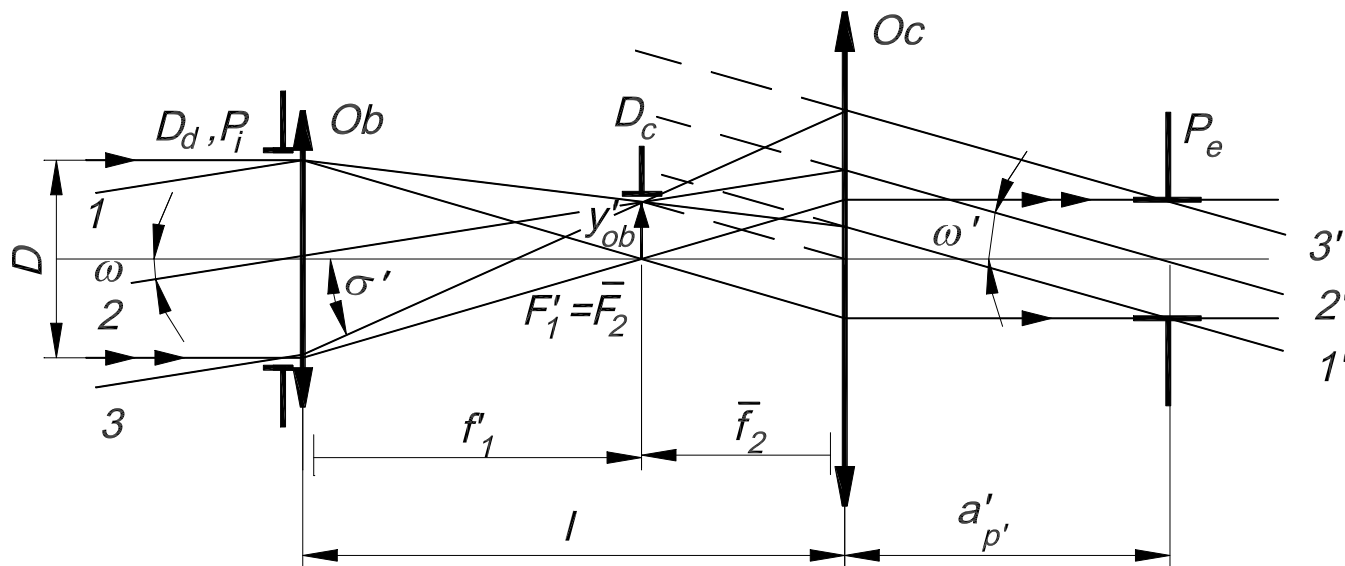
Subansambluri optice de baza:

- ☐ obiectivul (convergent)
- ☐ ocularul (convergent sau divergent)

Tipuri de lunete:

- ☐ Kepler (obiectiv convergent, ocular convergent)
- ☐ Galilei (obiectiv convergent, ocular divergent)

LUNETĂ KEPLER



Luneta Kepler are largi aplicații și se execută în variante diverse: lunetă astronomică, lunetă de vânătoare, lunetă înălțător, lunetă panoramică, binoclu sau intră în construcția unor aparate cum ar fi goniometrul, telemetrele, spectroscopurile etc. Lunetele de măsurare sunt prevăzute, în planul focal comun cu reticule reprezentând mire sau scale gradate.

Grosismetul lunetei

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega} \quad \operatorname{tg} \omega = -\frac{y'_{ob}}{f'_1} \quad \operatorname{tg} \omega' = -\frac{y'_{ob}}{f'_2}$$

$$\Gamma = \frac{f'_1}{f'_2} = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

Redresarea imaginii la luneta kepler

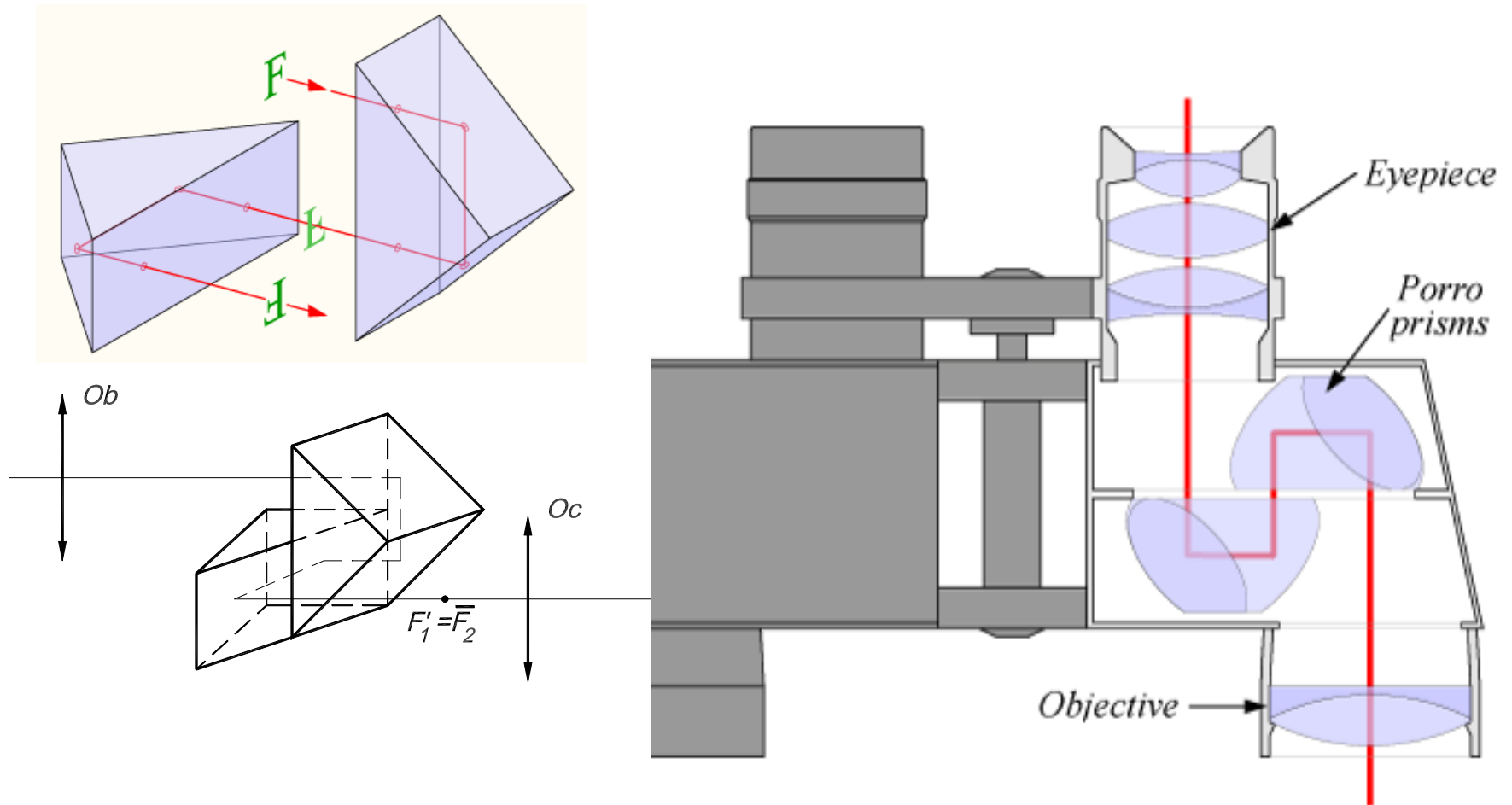
Redresorul este un subansamblu optic care are rolul de a inversa imaginea și, în unele cazuri, de a introduce o mărire suplimentară, $\beta R \neq -1$. Acest subansamblu este intercalat în schema optică de bază a aparatelor care formează imagini răsturnate și, prin rolul lor funcțional trebuie să furnizeze operatorului imagini drepte. Redresorul se introduce între obiectiv și ocular, cu diverse tipuri de conectare a tuburilor optice, funcție de cerințele concrete privind gabaritul radial și axial, grosimentul instrumentului etc.

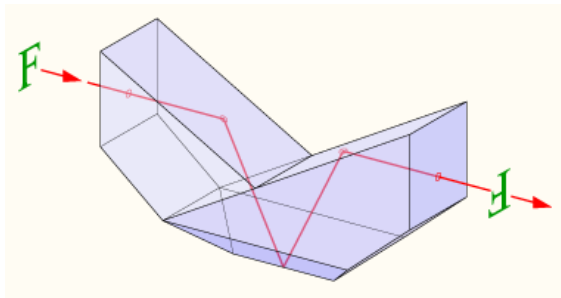
Clasificare

- ☐ Redresoare prismatice
- ☐ Redresoare lenticulare

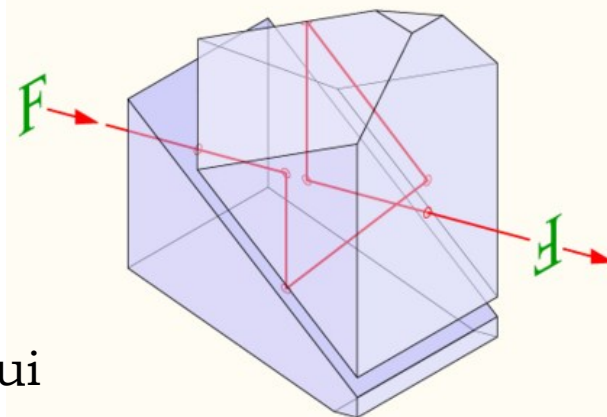
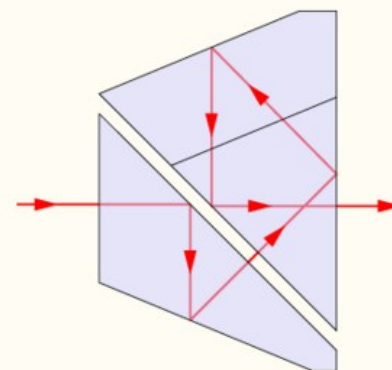
REDRESOARE PRISMATICE

Redresoare cu prisme Porro





Prisma Schmidt - Pechan



Prisma Abbe - König



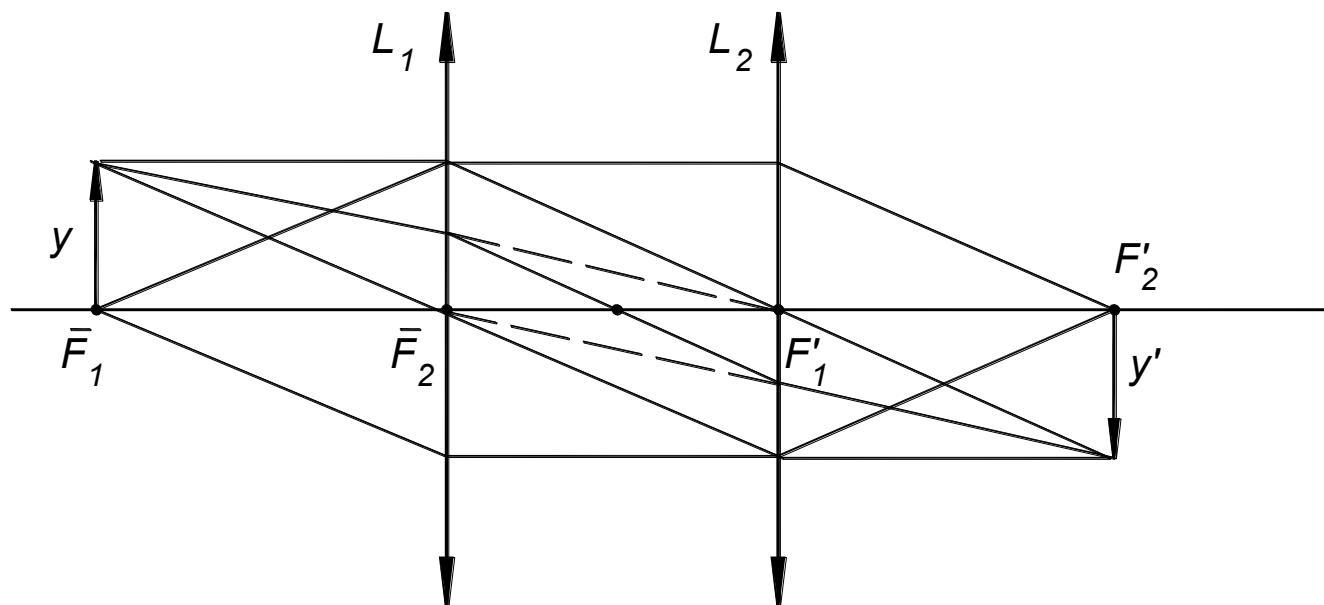
Avantajele redresoarelor prismatice:

- ☐ micsoreaza gabaritul axial al instrumentului

Dezavantajele redresoarelor prismatice:

- ☐ maresc gabaritul radial
- ☐ scad calitatea imaginii

REDRESOARE LENTICULARE



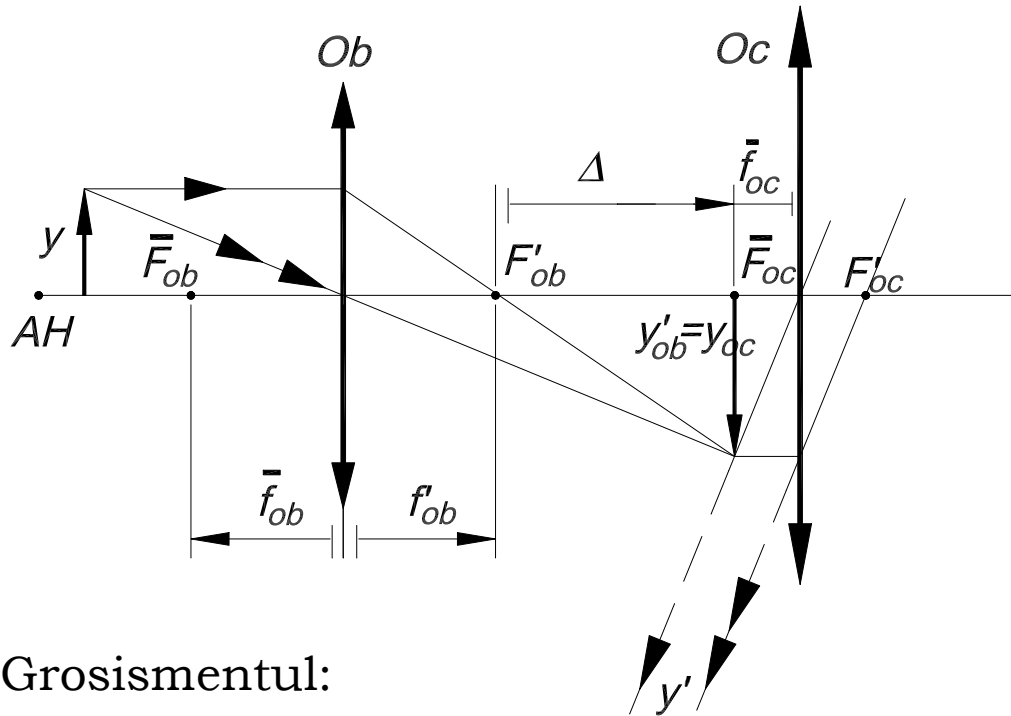
Avantajele redresoarelor lenticulare:

- ☐ redresarea imaginii se poate face cu sau fara modificarea grosismentului
- ☐ calitatea imaginii finale foarte ridicata

Dezavantajele redresoarelor lenticulare:

- ☐ cresterea gabaritului axial si radial (necesita introducerea lentilelor de cam

MICROSCOPE OPTICE



$$\beta_{OB} = (1.6 \dots 160):1$$

$$\Gamma_{OC} = (2.5 \dots 25)X$$

Δ - interval optic

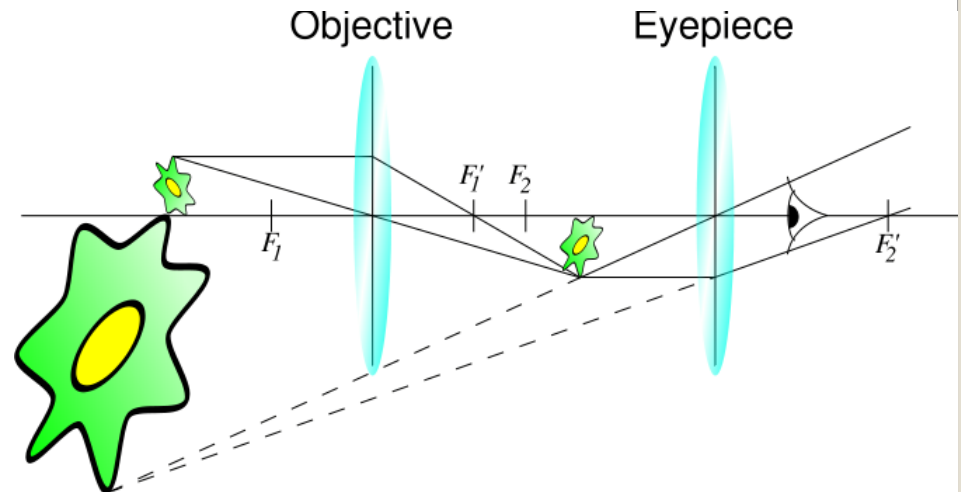
$$\Delta > 0$$

Grosismmentul:

$$\Gamma = \beta_{ob} \cdot \Gamma_{oc}$$

$$\beta_{ob} = -\frac{z'}{f'_{ob}} = -\frac{\Delta}{f'_{ob}}$$

$$\Gamma = -\frac{\Delta}{f'_{ob}} \cdot \frac{250}{f'_{oc}}$$



TIPURI DE MICROSCOAPE

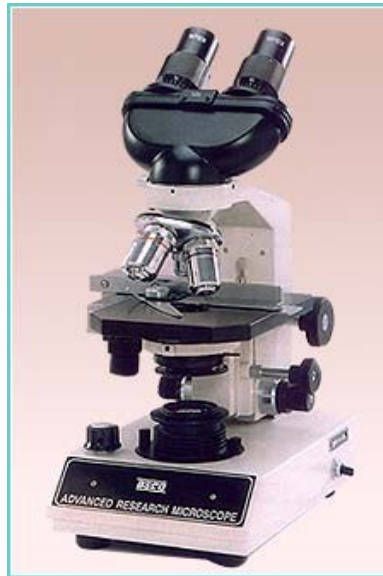


Microscop monocular de observare pentru domeniul medical

Microscoape de cercetare



monocular



binocular



trinocular