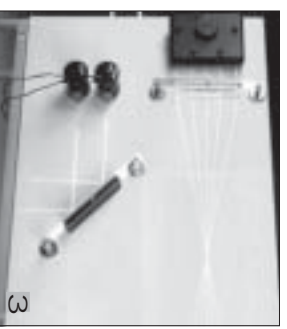




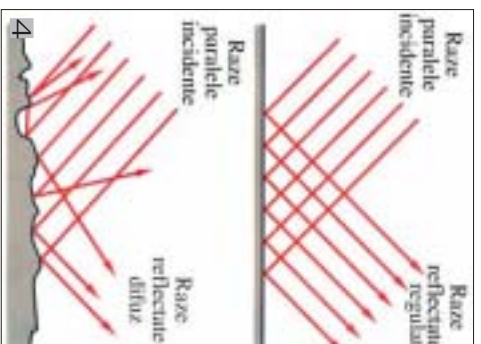
Aminteste-ti! Corpurile din mediul ambiant devin vizibile, dacă reflectă difuz sau regulat către ochi o parte din lumina provenită de la surse de lumină sau sunt chiar ele surse de lumină, 1.

Merită să știi Optica studiază fenomene luminoase: propagarea luminii, reflexia, refracția, interferența, difracția și polarizarea luminii, efectul fotoelectric și altele. Optica geometrică se ocupă cu studiul propagării luminii prin diferite medii, prin suprafețele de separare dintre acestea și cu studiul formării imaginilor prin instrumentele optice, fără să țină cont de natura luminii. O sursă de lumină este considerată punctiformă atunci când dimensiunile ei sunt mici în comparație cu distanțele la care se observă efectele luminoase. Raza de lumină este un concept utilizat în optica geometrică pentru explicarea formării imaginilor (un fascicul de radiații luminoase foarte îngust, cu secțiunea neglijabilă în raport cu dimensiunile sistemului de corpuri prin care se propagă). Studiul opticii geometrice se bazează pe câteva principii:

1. Principiul propagării rectilinii a luminii în medii transparente, izotrope și omogene. Direcțiile de-a lungul cărora se propagă energia luminoasă, de la o sursă luminoasă de dimensiuni mici (considerată punctiformă) până la un receptor, reprezintă **razele de lumină**. Ochiul sesizează lumina dacă sursa și fanțele circulare, cu diametre de ordinul milimetrilor, prin care trece, sunt coliniare, 2. Un grup de raze de lumină formează un **fascicul de lumină**: paralel, convergent sau divergent. Cu ajutorul unor dispozitive optice putem obține fascicule de lumină convergente, divergente sau paralele, 3. Un con îngust de raze care diverg dintr-un punct sau converg într-un punct se numește fascicul divergent sau, respectiv,



convergent de raze de lumină. Sursele de lumină punctiforme emit fascicule de lumină divergente, care pot fi considerate paralele la distanțe mari de acestea. Ansamblul fasciculelor de lumină emise din toate punctele unei suprafețe de mărime finită este numit **flux de lumină**. Un fascicul paralel de lumină se reflectă regulat (înt-o singură direcție) pe o suprafață netedă și difuz (în mai multe direcții) pe o suprafață neregulată, 4. Cu ajutorul principiului propagării rectilinii a luminii, putem descrie formarea umbrelor și penumbrelor, 5.

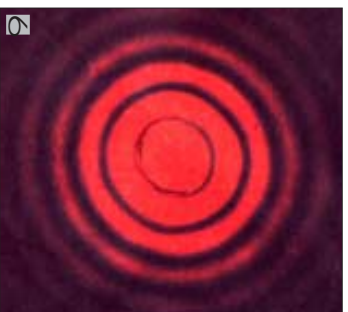
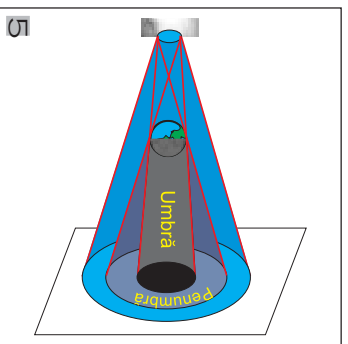
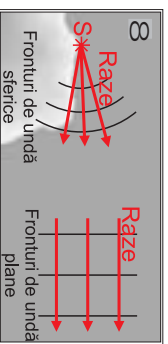


Obs

Dacă folosim difragme cu diametrul variabil, se observă experimental că, la diametre comparabile cu lungimea de undă, apar fenomene de difracție și proiecția de pe un ecran este formată din zone luminoase și zone întunecate, deci, în acest caz, lumina trebuie analizată din punct de vedere ondulatoriu, 6.

- Principiul reversibilității drumului parcurs de razele de lumină:** o rază de lumină parcurge drumul în sens invers dacă se schimbă locul sursei de lumină cu receptorul.
- Principiul independenței razelor de lumină:** efectul produs de o rază de lumină ce face parte dintr-un fascicul este același, chiar dacă celelalte raze din fascicul sunt sau nu sunt eliminate. Dacă un număr de raze de lumină se intersectează, nu se modifică drumul lor rectiliniu, 7. Viteza luminii în vid și în aer este aproximativ egală cu $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

În teoria ondulatorie, frontul de undă este definit ca locul geometric al tuturor punctelor în care faza de oscilație a unei mărimi fizice este aceeași. Undele luminoase pot fi reprezentate prin fronturi de undă sau prin raze. În teoria corpusculară a luminii, razele sunt chiar traiectoriile corpusculilor de lumină, iar în teoria ondulatorie, razele de lumină sunt direcțiile de propagare perpendicularare pe fronturile de undă într-un mediu omogen și izotrop, 8.



Fasciculul paralel de lumină va reprezenta un mănunchi de raze care se propagă paralel una față de alta.

Prin lumină monocromatică vom înțelege radiații luminoase cu o anumită frecvență ν , respectiv, cu o anumită lungime de undă λ . Lungimile de undă ale radiațiilor se exprimă în nanometri (1 nm = 10^{-9} m) sau în angstromi (1 Å = 10^{-10} m).

C Raza de lumină nu poate fi considerată ca fiind un fascicul oricât de îngust, obținut cu ajutorul diaframelor, căci nu există fascicule de lumină foarte înguste, care ar putea fi asimilate cu o linie, în sensul geometric. **Orice fascicul de lumină are o arie a secțiunii transversale. Numai axa de simetrie a fascicului poate fi considerată rază de lumină, și nu fasciculul însuși.** Raza de lumină nu reprezintă un aspect fizic al fenomenului luminos, ci este o noțiune abstractă, iar optica geometrică este un caz limită al opticii ondulatorii.

Lectură pentru curioși

Analizează fragmentele următoare:

„Un atom nu se pierde în natură. O stea s-a stins și lumina ei – ca efect al existenței – călătorește mii de ani pentru a ajunge la ochiul nostru.”

M. Eminescu – *Fragmentarium*

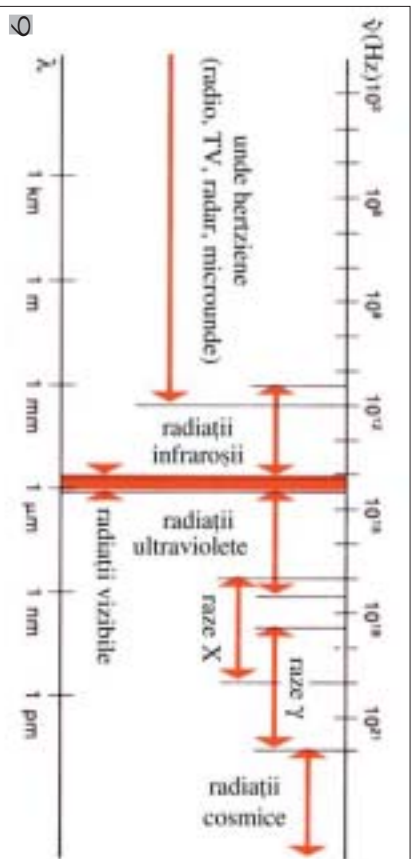


„La steaua care-a răsărit
E-o cale-aiât de lungă
Că mii de ani i-au trebuit
Luminii să ne-ajungă.”

M. Eminescu – *La steaua*

Atomii unei substanțe pot emite și absorbi radiații de anumite frecvențe, ca și cum ar fi „oscilatori acordati” numai pe acele frecvențe, electronii executând tranziții între anumite nivele de energie, așa cum știi deja din clasa a IX-a.

Radiațiile (undele) luminoase fac parte din familia undelor electromagnetice. Sunt unde transversale (intensitatea câmpului electric \vec{E} și inducția câmpului magnetic \vec{B} oscilează în fază, pe direcții perpendiculare între ele și pe direcția de propagare). La radiațiile electromagnetice cu frecvențe mici se manifestă mai puternic caracterul ondulatoriu, iar la cele cu frecvențe foarte mari se manifestă mai puternic caracterul corpuscular. Spectrul lor este redat alăturat, **9**. Domeniile spectrale se pot suprapune parțial. Senzația de lumină este produsă de intensitatea câmpului electric al undei.





1.2

Reflexia și refracția luminii

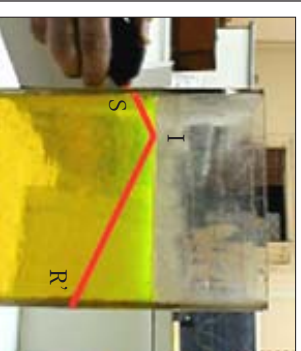
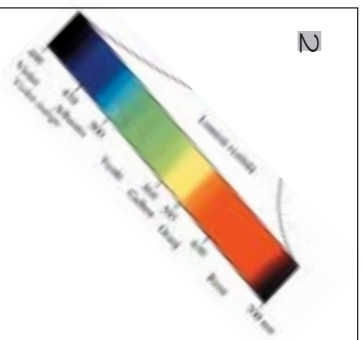
Aminteste-ti! Ce se înțelege prin reflexie și refracție? Cele două fenomene se produc concomitent la suprafața care separă două medii cu proprietăți optice diferite. Recapitulază reflexia și refracția undelor mecanice.

Merită să știi Reflexia difuză a luminii ne permite să vedem suprafețele corpurilor care au neregularități cu adâncimi și deschideri mai mari decât lungimile de undă ale radiațiilor luminoase incidente. Dacă dimensiunile șanțurilor sau deschiderilor (fantelor) sunt comparabile cu lungimile de undă, atunci nu se mai poate descrie propagarea luminii prin raze, ci trebuie să considerăm fenomenele ondulatorii, care își fac simțită prezența, ca la difracția prin reflexia luminii pe un compact-disc, 1. Senzația de lumină depinde de lungimile de undă ale radiațiilor electromagnetice care se reflectă și se refractă de mai multe ori până ajung pe elementele fotosensibile ale reținei ochiului uman, 2. **Reflexia regulată a luminii** este un fenomen optic ce constă în revenirea razei de lumină în mediul de proveniență, cu schimbarea direcției de propagare, când întâlnește suprafața lucioasă care separă două medii diferite.

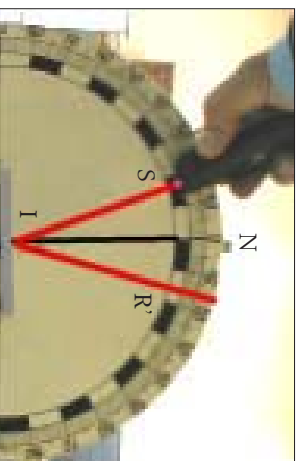
Legile reflexiei regulate se verifică experimental cu fascicule de lumină paralele filiforme, îndreptate spre suprafața liberă a unui lichid aflat în repaus sau spre suprafața de separare dintre aer și un semicilindru transparent din sticlă sau plexiglas, 3. Aceste legi sunt:

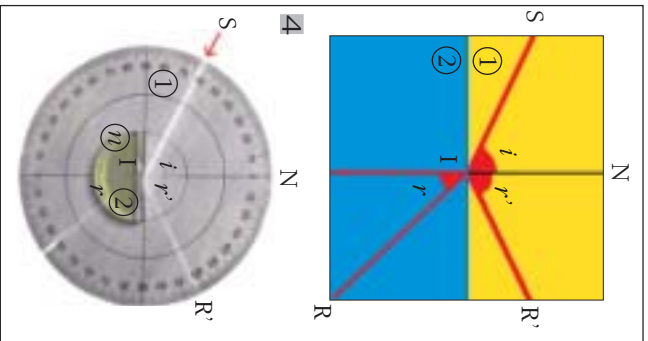
- ☑ Raza incidentă SI , raza reflectată IR' , normala IN pe suprafața de separare a celor două medii, în punctul de incidență I , sunt coplanare;

- ☑ Unghiul de incidență, \hat{i} , format de raza incidentă SI cu normala IN , este egal cu unghiul de reflexie, \hat{r} ,



3





format de raza reflectată IR' cu normala IN' pe suprafața de separare dintre cele două medii. La incidență normală, raza reflectată și raza incidentă se confundă cu normala ($\hat{i} \parallel \hat{r}' \parallel 0$).

Dacă obiectele au suprafețe lucioase, putem vedea detalii de pe ele numai în direcția razelor de lumină reflectate, dacă lumina este suportabilă de ochi și nu produce senzația de durere.

Refracția luminii este fenomenul optic ce constă în schimbarea direcției de propagare a razei de lumină, când întâlnește suprafața de separare dintre două medii transparente diferite și trece din mediul din care provine în mediul al doilea, 4. Legile refracției se pot verifica experimental:

☑ Raza incidentă, raza refractată și normala la suprafața de separare dintre cele două medii sunt coplanare;

☑ Raportul dintre sinusul unghiului de incidență \hat{i} (dintre raza incidentă și normală) și sinusul unghiului de refracție \hat{r} (dintre raza refractată și normală) este egal cu raportul vitezelor de propagare a luminii în mediul 1 și în mediul 2, adică:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} \mid \frac{v_1}{v_2}.$$

Definim indicele de refracție absolut, n , al unui mediu

transparent prin raportul $n \mid \frac{c}{v}$, dintre viteza luminii, c ,

în vid și viteza luminii, v , în acel mediu. Indicele de refracție relativ al celui de-al doilea mediu, în care ajunge lumina, față de primul mediu, din care provine lumina,

$n_{21} \mid \frac{n_2}{n_1}$, măsoară raportul vitezelor de propagare

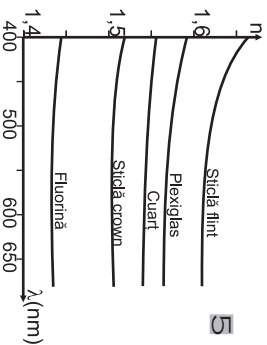
a luminii prin cele două medii transparente. Rezultă:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} \mid \frac{n_2}{n_1} \text{ sau } n_1 \sin \hat{i} = n_2 \sin \hat{r} \text{ (legea Snell-Descartes)}.$$

Frecvențele radiațiilor reflectate și, respectiv, refractate, sunt egale cu frecvența radiației incidente, deci nu depind de mediul prin care se propagă. Lungimile de undă ($\lambda = v/\nu$), vitezele de propagare și indicii de refracție depind de mediul prin care se propagă radiațiile considerate.

Indicele de refracție al unui mediu depinde de culoarea luminii refractate, deci de frecvența sau de lungimea de undă a radiației luminoase. Indicele de refracție absolut pentru radiația galbenă emisă de sodiu are valorile din tabelul și graficul de alături, 5. Indicele de refracție este mai mare pentru radiațiile violete decât pentru cele roșii.

Substanța	n
sticlă obișnuită	1,51
sticlă specială	1,62
diamant	2,42
gheață	1,31
plexiglas	1,59
apă	1,33
alcool etilic	1,36
glicerină, benzen	1,47
aer	1,0003



La incidență normală, raza de lumină reflectată pe o suprafață plană se întoarce pe același drum, iar raza de lumină refractată în cel de-al doilea mediu (dacă este transparent) nu este deviată.

La trecerea luminii din aer în apă sau în sticlă, raza de lumină refractată se apropie de normală ($r < i$), iar la trecerea ei din apă sau din sticlă în aer, raza de lumină refractată se depărtează de normală, 6. Nu se modifică frecvența radiațiilor luminoase, ci doar lungimea de undă. Razele de lumină care ajung sub un unghi de incidență diferit de zero pe o lamă transparentă cu fețe plan-paralele ies din lamă paralel cu razele incidente, dar deplasate, 7.

Reflexia totală se obține când lumina trece dintr-un mediu mai refringent (cu indicii de refracție mai mare) într-un mediu mai puțin refringent, 8. Unghiul de refracție crește mai repede decât unghiul de incidență al razelor de lumină, care se propagă din interior spre suprafața liberă a apei dintr-un vas aflat în repaus, până când razele ajung la emergență razantă. Atunci când unghiul de refracție devine $r = 90^\circ$, unghiul de incidență atinge valoarea limită $i = l$. Scriem legea refracției:

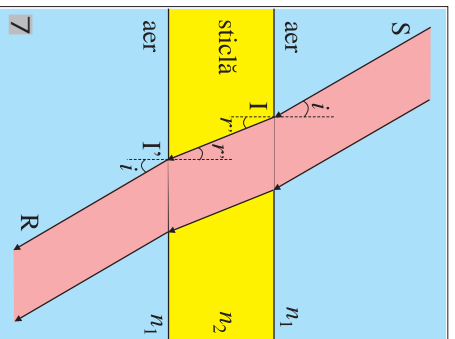
$$n_{ap\acute{a}} \sin l_{ap\acute{a}} = n_{aer} \sin 90^\circ, \text{ deci } \sin l_{ap\acute{a}} = \frac{n_{2,aer}}{n_{1,ap\acute{a}}} \leq 1, \text{ de}$$

unde obținem $l_{ap\acute{a}} \approx 49^\circ$. În cazul propagării luminii din sticlă în aer: $l_{sticl\acute{a}} \approx 42^\circ$.

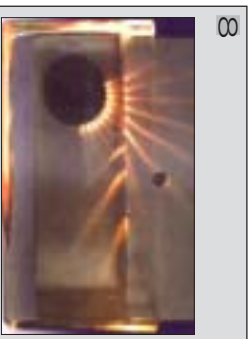
Aplicație. Prin fibrele de sticlă numite fibre optice, lumina se propagă prin multiple reflexii totale, 9. Fibrele optice transmit informațiile sub formă de semnale luminoase. În telefonie și în medicină sunt folosite fibre optice constituite dintr-un miez de sticlă acoperit cu o manta cu diametrul total de 100-300 μm și straturi de protecție. Indicele de refracție al miezului este cu 1-2% mai mare decât cel din manta, asigurându-se astfel ghidarea luminii prin reflexii interne totale.



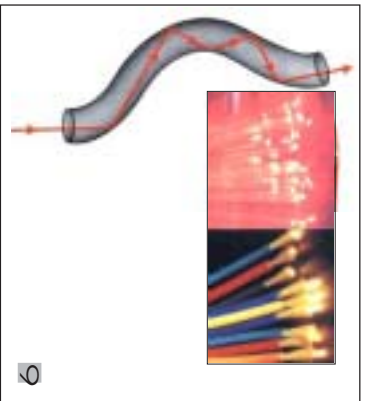
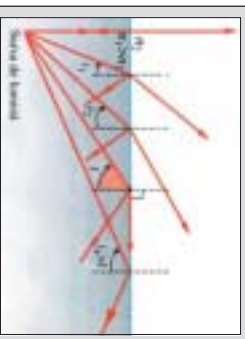
6



7



8



9



1.3

Dispersia luminii



1

Amintește-ti! Prisma optică este un mediu transparent

limitat de doi dioptri plani care formează între ei un unghi diedru A , numit unghiul prisme, și se intersectează pe muchia ei, 1. Prisma descompune lumina în radiațiile componente, care sunt deviate diferit spre baza prisme,

2. Orice rază de lumină monocromatică se refractă pe fiecare dioptru: $\sin i_1 = n \sin r_1$ și $\sin i_2 = n \sin r_2$, unde n este indicele de refracție al mediului prisme în raport cu mediul exterior ei, iar unghiurile i_1 și i_2 sunt unghiurile de incidență pe fețele prisme și r_1 și r_2 sunt unghiurile de refracție corespunzătoare în prismă, 3. Secțiunea principală în planul perpendicular pe muchia prisme optice poate fi triunghi isoscel sau echilateral.

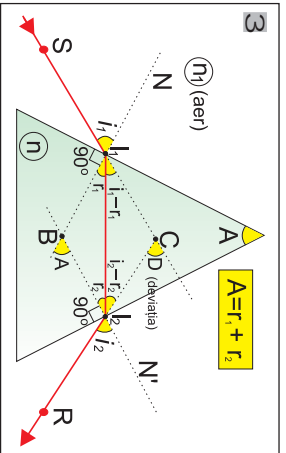


2

Merită să știi Dispersia luminii este fenomenul de variație a indicelui de refracție ($n = c/v$) al mediului în funcție de lungimea de undă a radiațiilor luminoase.

Descompunerea unui fascicul de lumină în radiațiile monocromatice componente, la trecerea printr-un mediu transparent, apare datorită dependenței vitezei v de propagare a fazei undelor luminoase printr-un mediu transparent și a indicelui de refracție $n \mid \frac{c}{v}$ al

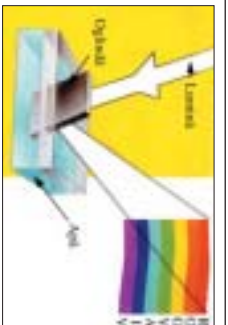
mediului transparent de lungimile de undă ale radiațiilor. Viteza de propagare a undelor electromagnetice în vid nu depinde de frecvența sau de lungimea de undă a acestora (are valoarea $c = 299\,792\,458$ m/s). Indicele de refracție al unui mediu transparent depinde de culoarea luminii refractate, prin frecvența sau lungimea de undă a radiației luminoase.



3

Dispersia este normală dacă indicele de refracție absolut, n , crește cu frecvența, deci are valori mai mari pentru radiațiile violete decât pentru cele roșii.

Lumina albă se descompune în culorile spectrului, datorită dispersiei, 4. În micile picături de apă aflate în suspensie, în număr mare, după ploaie se produce de două ori refracția și reflexia diferită a luminii care vine de la Soarele aflat în spatele observatorului,



4



1.4

Oglinzi sferice și oglinzi plane



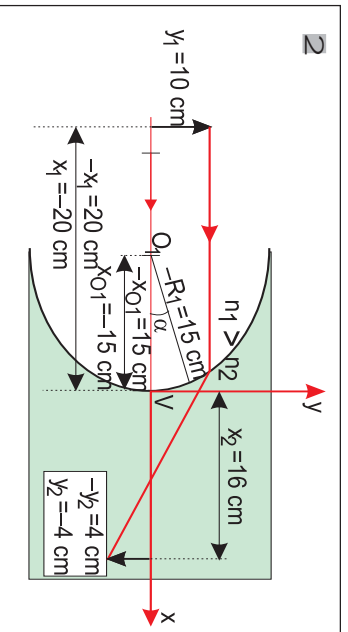
Aminteste-ti! Oglinzile și lentilele sunt sisteme optice înălținate la instrumentele și dispozitivele optice. Oglinziile reflectă aproape integral lumina care ajunge pe suprafața lucioasă, plană sau sferică, a acestora. Suprafețele lucioase dau reflexie regulată dacă neregularitățile au adâncimi mai mici decât lungimile de undă ale radiațiilor luminoase.

Merită să știi Dioptrul este sistemul optic format din

două medii transparente omogene și izotrope, cu indicii de refracție n_1 și, respectiv, n_2 , separate printr-o suprafață, 1. Dacă suprafața de separare dintre cele două medii este sferică, dioptrul se numește **sferic**. Dacă suprafața de separare dintre cele două medii este plană, dioptrul se numește **plan**. Lentilele sunt asociații de dioptri sferici și plani.

Convenții de semne folosite în optica geometrică

- ☑ Fiecărui sistem optic (dioptru, lentilă, oglindă) îi asociem un sistem de coordonate xVy , cu axa orizontală Vx orientată în sensul propagării luminii, de-a lungul axei optice principale de la stânga la dreapta, cu originea V în punctul de incidență și cu axa verticală Vy orientată în sus, 2.
- ☑ Abscisa x_1 a unui punct de pe obiectul luminos considerat și abscisa x_2 a imaginii acestuia sunt pozitive, dacă sunt în dreapta originii sistemului de coordonate și negative, dacă sunt în stânga ei. Când localizăm poziția unui punct din stânga originii sistemului de coordonate prin abscisă ($x_1 < 0$), atunci distanța dintre acel punct și axa verticală a sistemului de coordonate este $d = -x_1 > 0$.
- ☑ Ordonata y_1 a unui punct de pe obiectul luminos considerat și ordonata y_2 a imaginii acestuia sau înălțimea b a intersecției unei raze de lumină cu suprafața unui sistem optic sunt pozitive dacă sunt deasupra axei Vx și negative dacă sunt sub aceasta. Ordonata unui punct de sub axa Vx este negativă ($y_2 < 0$), dar distanța acestuia față de axa Vx este pozitivă ($-y_2 > 0$).
- ☑ Raza de curbură R a unei suprafețe de separare a două medii optice se măsoară de la suprafața dioptrului spre centrul de curbură și se ia cu semnul plus în cazul în care centrul de curbură se află în dreapta suprafeței considerate și cu semnul minus dacă centrul de curbură se află în stânga ei.



Normala în punctul de incidență este raza suprafeței sferice în acel punct.

☑ Unghiurile razelor de lumină cu axa optică (principală) se iau cu semnul plus dacă suprapunerea razei respective peste axă se obține la o rotire în sensul trigonometric și cu semnul minus în caz contrar.

- ☑ Unghiurile dintre razele de lumină și normalele la suprafețele de separare se iau cu semnul plus dacă suprapunerea (imaginată a) razelor peste normală se obține la o rotație în sensul trigonometric și cu semnul minus în cazul rotații în sensul acelor de ceasornic.

- ☑ Unghiurile α ale razelor de curbură cu axa optică se iau întotdeauna cu semnul plus.

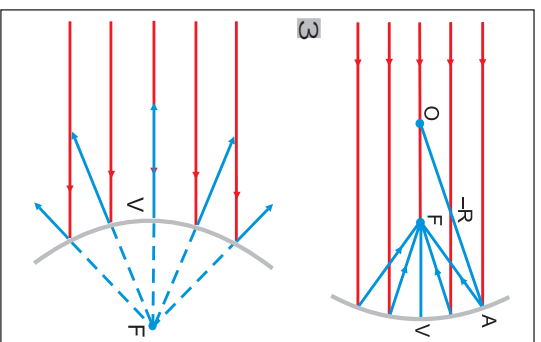
Oglinzile sferice pot fi: concave (suprafața reflectantă este pe partea interioară a calotei sferice) sau convexe (suprafața reflectantă este pe exteriorul calotei). La aceste oglinzi putem distinge: vârful V al calotei sferice, centrul de curbură O și raza R a sferei din care face parte calota, axa optică principală, care trece prin vârful și centrul acestei sfere, axe secundare care trec prin centrul ei și prin alt punct al calotei, dar nu prin vârf. Experimentele arată că fasciculele de raze paralele cu axa optică principală se reflectă în oglinzile concave și converg într-un punct F , numit focar principal real, situat față de vârf la distanța focală egală cu jumătatea mărinii razei oglinzii sferice, **3**. În focarul principal virtual al oglinzilor convexe converg prelungirile razelor paralele cu axa optică principală.

Abscisa focarului, x_F , se notează cu f . Dacă focarul F al oglinzii concave este în stânga oglinzii, atunci $x_F = f < 0$, iar distanța focală $d_F = -x_F = -f > 0$. La rezolvarea problemelor, nu trebuie să gândim în termeni de distanțe, ci de poziții relative (cu convențiile de semn).

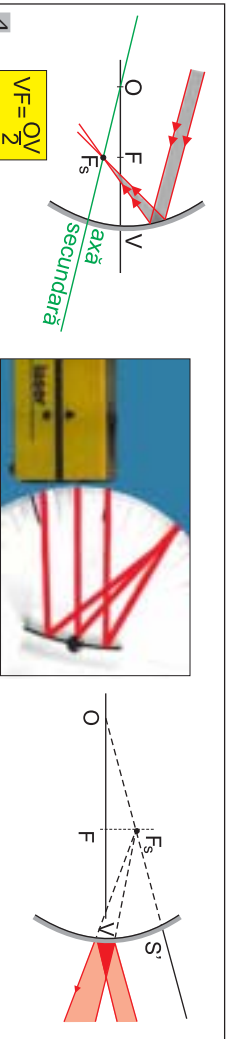
Focarile secundare se obțin la intersecția axelor optice secundare cu planul focal (plan perpendicular pe axa optică principală în focarul principal). Razele de lumină paralele cu o axă optică secundară, după reflexia pe o oglindă sferică, trec (ele sau prelungirile lor) prin focarul secundar F_s **4**. Imaginea într-o oglindă sferică a punctelor luminoase ale unui obiect liniar se construiește grafic la intersecția a două dintre următoarele trei raze luminoase, ca în figurile **5**:

- ◆ o rază incidentă paralelă cu axa optică se reflectă și trece prin focarul oglinzii concave sau prelungirea ei trece prin focarul oglinzii convexe;
- ◆ o rază incidentă care trece prin centrul oglinzii se reflectă și trece prin același punct;
- ◆ o rază incidentă care trece prin focar se reflectă paralel cu axa optică.

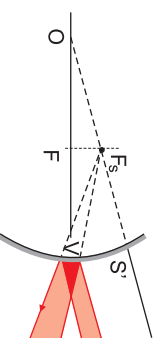
Un obiect liniar, perpendicular pe axa optică principală, are imaginea perpendicularară pe aceeași axă. Oglinzile convexe sunt divergente.

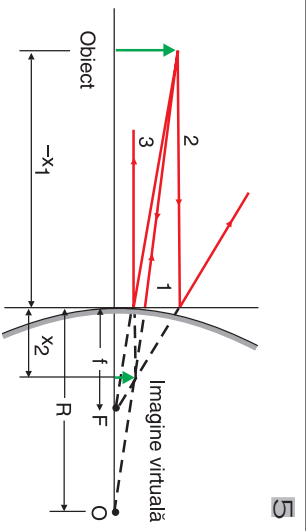
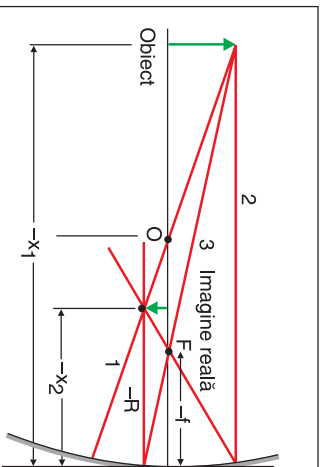


3



4
 $VF = \frac{OV}{2}$





Formulele oglinzilor sferice

Construim imaginea capătului B al obiectului liniar AB cu ajutorul razei de lumină care trece prin centrul oglinzii și a razei care se reflectă în vârful V al oglinzii concave, 6.

Deoarece normala pe oglindă este OV , unghiul BVO este congruent cu unghiul $B'VO$.

Triunghiurile dreptunghice VAB și $VA'B'$ sunt asemenea:

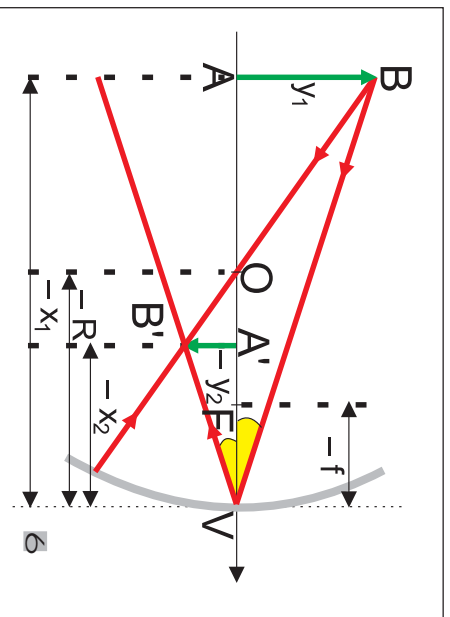
$$\frac{A'B'}{AB} \mid \frac{VA'}{VA} \Downarrow \frac{4y_2}{y_1} \mid \frac{4x_2}{4x_1}.$$

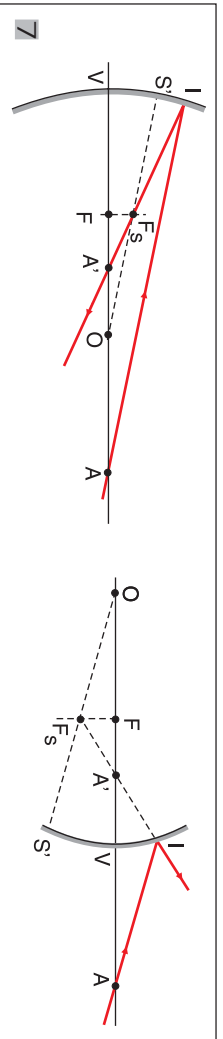
Rezultă expresia măritii liniare transversale: $\eta \mid \frac{y_2}{y_1} \mid 4 \frac{x_2}{x_1}$. Din triunghiurile asemenea

$\Delta OAB \approx \Delta OA'B'$ obținem $\frac{A'B'}{AB} \mid \frac{OA'}{OA} \blacktriangleright \frac{4y_2}{y_1} \mid \frac{4R4/4x_20}{4x_14/4R0} \blacktriangleright \frac{y_2}{y_1} \mid 4 \frac{x_24R}{R4x_1}$. Egalăm cu

relația precedentă și obținem: $\frac{x_2}{x_1} \mid \frac{x_24R}{R4x_1}$ sau $x_2R - x_2x_1 = x_2x_1 - x_1R$

Rezultă $\frac{1}{x_1} 2 \frac{1}{x_2} \mid \frac{2}{R}$, **formula oglinzilor sferice.**





Dacă se consideră că razele de lumină sunt paraxiale și provin de la o sursă îndepărtată

($x_1 \rightarrow -\infty$), atunci ele sau prelungirile lor sunt concentrate în focar: $\frac{1}{x_2} \mid \frac{2}{R}$, deci

$f \mid x_2 \mid \frac{R}{2}$. Rezultă că f este negativ la oglinzile concave și pozitiv la oglinzile convexe.

La oglinzile sferice, imaginea și obiectul se deplasează în sensuri opuse. Pentru oglinzi plane $R \rightarrow \infty$, $x_2 = -x_1$ (deci imagine virtuală, în spatele oglinzii) și $\beta = +1$.

Aplicație Dacă un obiect cu înălțimea $y_1 = 6$ cm este la $x_1 = -20$ cm în fața unei oglinzi convexe cu raza $R = 40$ cm, atunci poziția imaginii se calculează cu relația

$$x_2 \mid \frac{Rx_1}{2x_1} \mid \frac{40(420)}{4 \cdot 40 \cdot 40} \text{ cm} \mid 10 \text{ cm, iar } y_2 \mid 4 y_1 \frac{x_2}{x_1} \mid 3 \text{ cm. Dacă oglinda este concavă}$$

cu $R = -40$ cm, atunci $x_2 \rightarrow \infty$.

Obs

Merită să știm cum obținem imaginea unui punct luminos de pe axa principală.

Razele care nu sunt paralele cu axa optică principală a oglinzilor sferice se reflectă și trec prin focarul secundar din planul focal (obișnuit la intersecția axei secundare paralelă cu razele de lumină considerate și planul focal) și prin punctul-imagine A' al punctului-obiect A de pe axa principală, 7.

Razele de lumină se reflectă pe oglinzile plane, ca și pe cele sferice, respectând legile reflexiei. Imaginea unui punct într-o oglindă plană se obține la intersecția prelungirilor a două raze reflectate, 8. Imaginea dată de o oglindă plană este orientată în sens invers, 8.c.

(a)	(b)	(c)	8
		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid black;">PAAQ</div> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid black;">PAR</div> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid black;">PAAQ</div> </div>	



1.5

Lentile subțiri

Aminteste-ți!

Unde întâlnim lentile și care este rostul lor? Ce rol are cristalinul ochiului?

Prin centrul de curbură și vârful unui dioptru sferic trece axa optică principală. Celelalte axe care trec numai prin centrul de curbură al dioptrului sferic se numesc axe optice secundare. O rază luminoasă normală pe suprafața dioptrului nu își modifică direcția după ce îl străbate.

Merită să știi **Lentila** este un sistem optic format din doi dioptri care delimitează un mediu transparent, cu un indice de refracție propriu, de mediul exterior, 1. Orice rază luminoasă care trece prin lentilă se refractă prin fiecare dioptru. Lentilele pot fi: convergente (biconvexă, plan convexă, menisc convergentă) sau divergente (biconcavă, plan concavă,

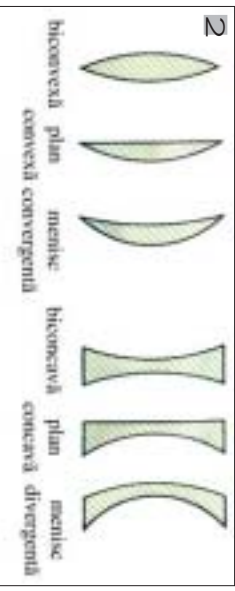


menisc divergentă), 2. Razele de lumină care

se propagă paralel cu axa optică principală în sensul considerat pozitiv se întâlnesc, după ce se refractă printr-o lentilă convergentă (mai subțire la margini decât la mijloc) într-un punct F_2 de pe această axă, numit focar principal imagine, caracterizat de abscisa f pozitivă. Se poate determina experimental pe un banc optic, 3. Dacă asemenea raze se refractă printr-o lentilă divergentă (mai subțire la mijloc decât la margini), atunci prelungirile lor se întâlnesc într-un focar principal imagine cu abscisa f negativă, 4. Lentilele se consideră subțiri dacă grosimile lor sunt mici în comparație cu razele de curbură, R_1 și R_2 , ale dioptrilor.

Vom demonstra în continuare formula lentilelor subțiri. După refracția prin primul dioptru, cel de-al doilea dioptru modifică prin refracție încă o dată traiectoria razelor și astfel se obține imaginea finală.

Imaginea unui obiect liniar, așezat perpendicular pe axa optică, este determinată de imaginile extremităților acestuia și de poziția obiectului față de lentilă, 5. Se pot scrie



relațiile: $\frac{4y_2}{y_1} \mid \frac{x_2}{4x_1}$; $\operatorname{tg} \zeta \mid \frac{y_1}{f} \mid \frac{4y_2}{x_2 4f} \blacktriangleright \frac{4y_2}{y_1} \mid \frac{x_2 4f}{f} \blacktriangleright \frac{x_2}{4x_1} \mid \frac{x_2 4f}{f} \blacktriangleright$

$\blacktriangleright x_2 f \mid 4x_1 x_2 2 f A_1 \blacktriangleright \frac{1}{x_1} \mid 4 \frac{1}{2} 2 \frac{1}{f} \blacktriangleright \frac{1}{x_2} 4 \frac{1}{x_1} \mid \frac{1}{f}$. Reține **formula uzuală a**

lentilelor: $\frac{1}{x_2} \frac{1}{4} \frac{1}{x_1} \mid \frac{1}{f}$.

Convergența lentilei, notată cu C , reprezintă inversul abscisei $f = x_f$ a focarului principal imagine F_2 al lentilei considerate:

$C \mid \frac{1}{f} \mid |n_{relativ} \mid 4 \frac{1}{R_1} \frac{1}{R_2} \mid \frac{1}{4} \frac{1}{f}$. În formulă, înlocuim numeric f cu valori pozitive la lentilele

convergente și cu valori negative la lentilele divergente. Unitatea de măsură a convergenței este dioptria, care corespunde distanței focale de un metru: $[C] = 1 \text{ m}^{-1} = 1 \text{ dioptrie} = 1\delta$.

Mărirea liniară transversală a lentilei se definește prin raportul: $\eta \mid \frac{y_2}{y_1} \mid \frac{x_2}{x_1}$, unde

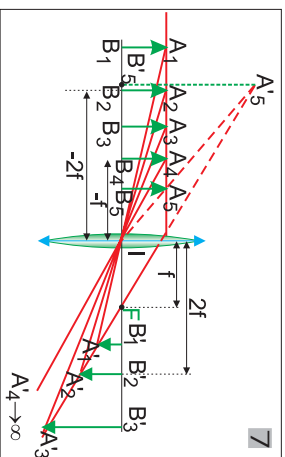
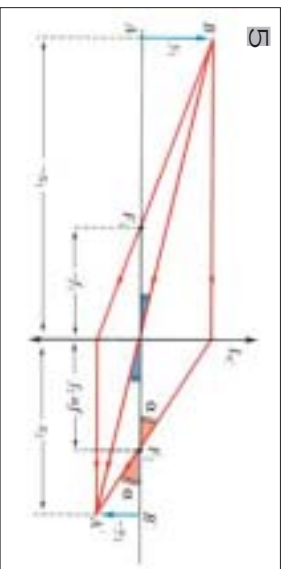
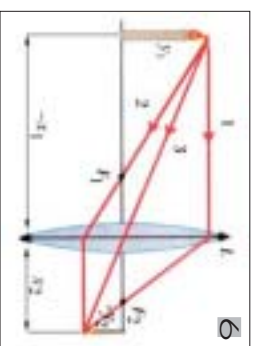
y_2 și y_1 sunt ordonatele extremităților punctelor conjugate ale imaginii și, respectiv, ale obiectului luminos, care formează imaginea în lentila considerată. Valoarea negativă se asociază imaginii răsturnate. **Exemplu:** O lentilă biconvexă din sticlă, cu razele de curbură egale și $n = 1,5$, formează o imagine reală, răsturnată și de două ori mai mare

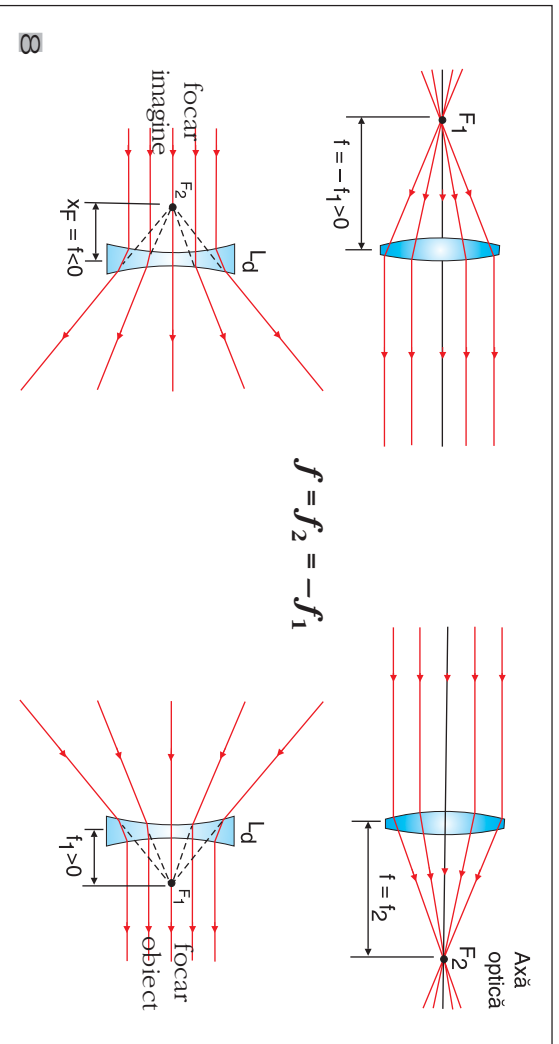
decât un obiect amplasat la $x_1 = -45 \text{ cm}$. Rezultă $\eta \mid \frac{x_2}{x_1} \mid 42$, deci $x_2 = -2x_1 = 90 \text{ cm}$, iar

$f \mid \frac{x_1 x_2}{x_1 4 x_2} \mid \frac{445 [90]}{4 45 4 90} \mid 30 \text{ cm}$. Din relația $\frac{1}{f} \mid \frac{2(n-1)}{R}$ obținem $R = 2(n-1)f = 30 \text{ cm}$.

Pentru a construi imaginea unui punct al obiectului luminos, se folosesc două din următoarele trei raze de lumină, care au proprietățile:

- ♦ o rază paralelă cu axa optică se refractă prin lentilă, astfel încât trece printr-un focar; la lentilele convergente, F sau prelungirea ei trece printr-un focar; la lentilele divergente;



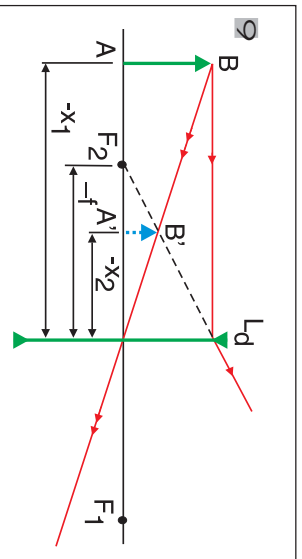


- ◆ o rază care trece prin centrul optic al lentilei iese nedeviată din lentilă;
- ◆ o rază care vine dintr-un focar al lentilei convergente sau spre un focar al lentilei divergente iese din lentilă paralel cu axa optică.

Aplicație Pe axa optică principală, lentilele convergente au două focare principale: focarul obiect F_1 și focarul imagine F_2 . Ele reprezintă locul unde este situată o sursă luminoasă punctiformă de la care razele emergente din lentilă sunt paralele cu axa optică principală, respectiv locul unde se întâlnesc razele refractate provenite dintr-un fascicul incident paralel cu axa optică, **8**. Planele care trec prin focare și sunt perpendiculare pe axa optică principală a lentilei se numesc **plane focale**. Razele incidente dintr-un fascicul paralel înclinat față de axa optică principală se vor strânge în focarul secundar F_2 din planul focal.

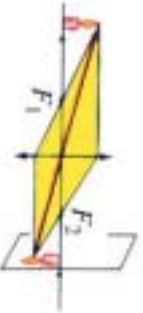
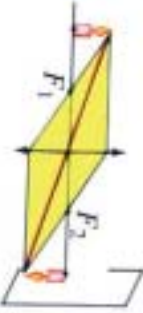
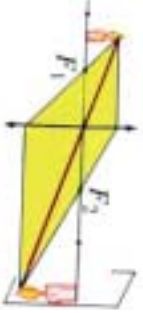
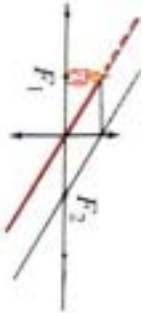
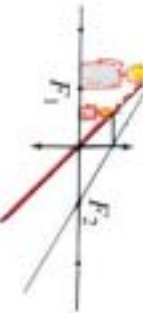
Lentilele divergente formează, pentru un obiect real, o imagine virtuală, dreaptă și de aceeași parte cu obiectul, mai mică sau cel mult egală cu acesta, **9**.

Stropirea plantelor cu apă în zilele însorite produce opăritrea și uscarea lor, deoarece picăturile de apă rămase pe frunze se comportă ca lentile care focalizează radiațiile luminoase pe frunze sau în interiorul lor!



Aplicație Un obiect așezat în fața unei lentile divergente biconcave cu razele egale în mărime cu distanța focală $-f = -f_2 = 12$ cm formează imaginea la $x_2 = -10$ cm față de aceasta. Obținem din formula lentilelor:

$$x_1 \mid \frac{x_2 \cdot f}{f \cdot 4 \cdot x_2} \mid \frac{410 \cdot (412)}{4 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 10} \mid 460 \text{ (cm)} .$$

Construcția imaginii unui obiect linear în lentile convergente	Poziția obiectului față de lentilă	Caracterizarea imaginii
	<p>dincolo de dublul distanței focale obiect și respectiv către infinit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • se formează la distanța $x_2 \in [f, 2f]$ și, respectiv, în planul focal; • este reală, răsturnată și mai mică decât obiectul.
	<p>la dublul distanței focale obiect</p>	<ul style="list-style-type: none"> • se formează la dublul distanței focale imagine; • este reală, răsturnată și egală cu obiectul.
	<p>între dublul distanței focale obiect și distanța focală</p>	<ul style="list-style-type: none"> • se formează dincolo de dublul distanței focale imagine; • este reală, răsturnată și mai mare decât obiectul.
	<p>către planul focal obiect</p>	<ul style="list-style-type: none"> • se formează către infinit; • este reală, răsturnată și mult mai mare decât obiectul.
	<p>între planul focal și lentilă</p>	<ul style="list-style-type: none"> • se formează de aceeași parte cu obiectul; • este virtuală, dreaptă și mai mare decât obiectul.

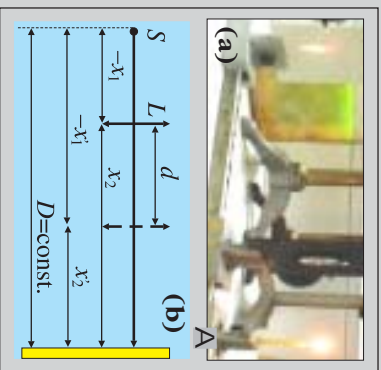
E

Măsurăm distanțele ($-x_1$) și x_2 în următorul experiment: între sursa de lumină, care poate fi flacăra unei lumânări, și un ecran pe care se proiectează razele luminoase, se așază o lentilă convergentă astfel încât pe ecran să se obțină o imagine clară a sursei. A a. Valoarea distanței focale a respectivei lentile,

$$f \mid \frac{-x_1}{x_1} \frac{x_2}{4 \cdot x_2}, \text{ se obține din formula lentilelor subțiri}$$

$$\textcircled{2} \frac{1}{f} = \frac{1}{-x_1} - \frac{1}{x_2} \mid \frac{1}{f}. \text{ Rezultatele determinărilor făcute se trec}$$

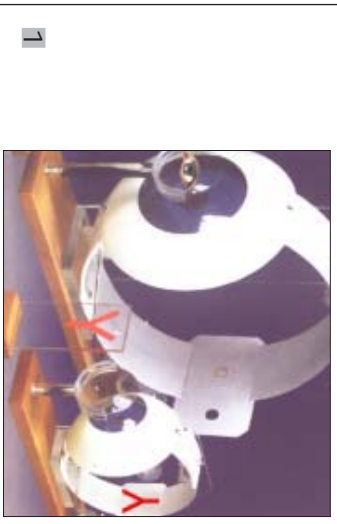
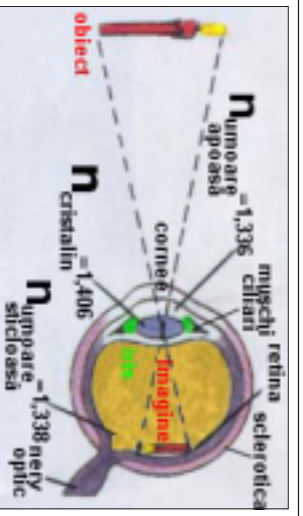
într-un tabel. Exemplu: pentru $x_1 = -20$ cm și $x_2 = 30$ cm rezultă $f = 12$ cm (lentila este convergentă). Pe ecran se obțin două imagini clare (una în care lentila este apropiată de sursa luminoasă, iar cea de a doua, când lentila se află în apropierea ecranului) prin translatarea lentilei între sursă și ecran, A b. Distanța D dintre sursă și ecran fiind măsurabilă, se vor determina distanțele ($-x_1$), x_2 și apoi distanțele ($-x_1'$) și x_2' corespunzătoare celor două poziții ale lentilei. Distanța dintre aceste două poziții se notează cu d .





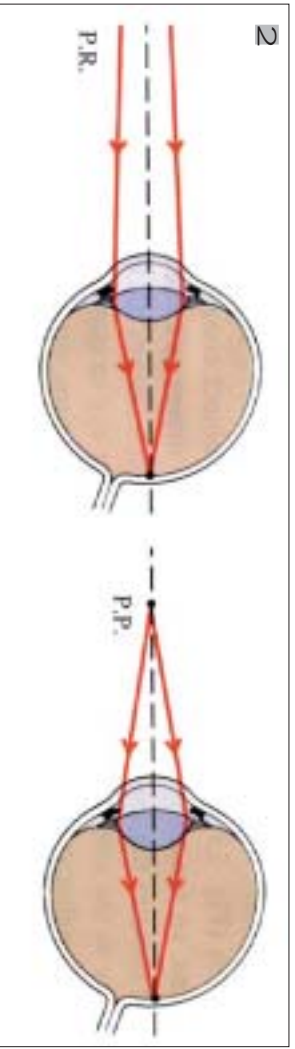
1.6

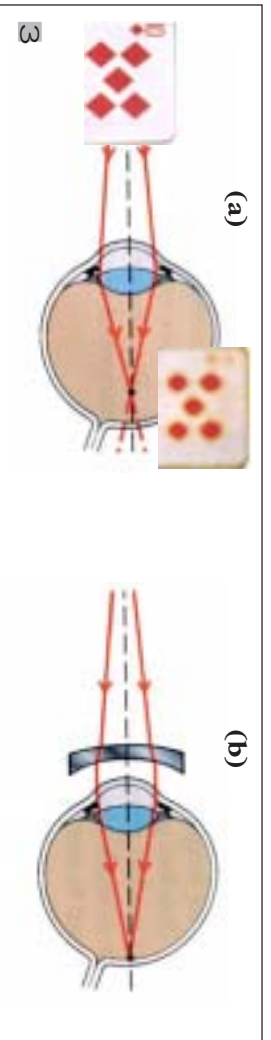
Ochiul. Vederea cromatică



Cristalinul (lentilă biconvexă nesimetrică) își modifică convergența sub acțiunea mușchilor ciliari pentru a forma imaginea pe retină, la distanța $x_2 = 15\text{--}17$ mm. Ochiul normal are focarul pe retină, încât obiectele situate către infinit (practic, la distanțe mai mari de 6 m) formează imaginile pe retină fără efort de acomodare (mușchii ciliari, fiind relaxați, nu se modifică convergența cristalinului, care se comportă ca o lentilă subțire). Când privim obiectele plasate la distanța minimă de vedere clară, distinctă ($\delta_0 = 25$ cm pentru ochiul normal), imaginea se formează pe retină cu efort de acomodare (cristalinul se bombează sub acțiunea mușchilor ciliari), dar fără senzație de oboseală, 2.

Merită să știi Cristalinul poate să își modifice curbura și distanța focală atunci când sunt privite obiecte relativ apropiate de punctum proximum (P.P.), convergența cristalinului crește până la o valoare maximă, deoarece distanța sa focală se micșorează corespunzător de la o valoare





maximă la o valoare minimă. Puterea de acomodare a ochiului este normală dacă are valoarea $\Delta C = 4$ dioptrii, corespunzătoare limitei de vedere distinctă (imagine clară).

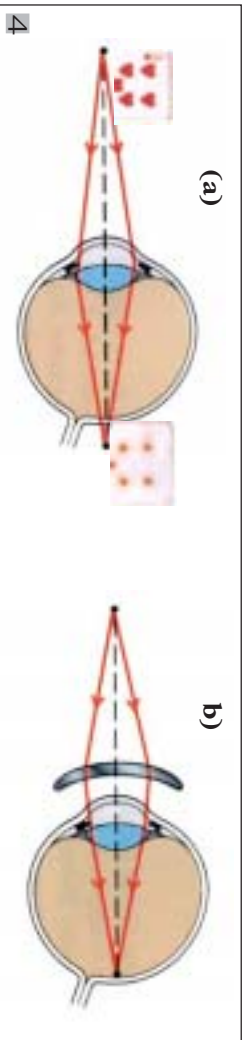
Ochiul cu defecte de vedere formează imagini neclare pe retină. Ochiul miop nu vede clar obiectele îndepărtate, este mai alungit și cristalinul concentrează razele de lumină provenite dinspre P.R. în focarul situat în fața retinei și nu pe retină, 3. Ochiul miop are atât punctum remotum, cât și punctum proximum mai apropiate decât cel normal și nu poate vedea obiectele aflate mai departe de punctum remotum. Sistemul ochi-ochelari acționează ca un „ochi” cu convergență normală. Defectul se corectează cu lentile divergente, comandate astfel încât focarul lor F_2 (virtual) să se afle în punctum remotum al ochiului miop. Lentilele divergente ale ochelarilor împărășite razele de lumină astfel încât imaginea se formează clar pe retină.

Ochiul hipermetrop este mai turtit decât ochiul normal și vede obiectele îndepărtate numai cu efort de acomodare, iar pe cele apropiate nu le vede clar. Cristalinul ochiului hipermetrop nu refractă suficient razele de lumină paralele, încât focarul să fie pe retină, ci acesta este situat în spatele ei, 4. Cristalinul ochiului prezbit își pierde capacitatea de acomodare (de a-și schimba curbura), încât imaginile corpurilor apropiate se formează în spatele retinei și în acest caz. Lentilele convergente ajută cristalinul să focalizeze razele de lumină pe retină, producând o concentrare înainte de pătrunderea lor în cristalin, mărind convergența sistemului lentilă-cristalin pentru a forma imagini clare pe retină.

Vederea cromatică

Te-a fascinat și pe tine bogăția nuanțelor cromatice oferite de orga de lumină din discotecă? Ele se obțin din lumina albă cu ajutorul filtrelor colorate. Toate culorile percepute pot fi rezultatul combinațiilor a trei culori numite primare: roșu, verde și albastru, la care sunt sensibile trei tipuri de conuri, care conțin pigmenți ce absorb domenii spectrale diferite.

Senzația de culoare ia naștere în urma acțiunii radiațiilor electromagnetice asupra conurilor din retina ochiului. Nuanța de culoare depinde de lungimea de undă a radiațiilor. Ochiul uman transmite creierului semnale bioelectrice care depind de energia radiațiilor





electromagnetice și de lungimile de undă ale acestora. Spectrul culorilor din domeniul vizibil se definește prin intervalele lungimilor de undă λ : roșu (700-630 nm), oranji (630-595 nm), galben (595-560 nm), verde (560-500 nm), albastru (500-450 nm) și indigo-violet (450-400 nm).

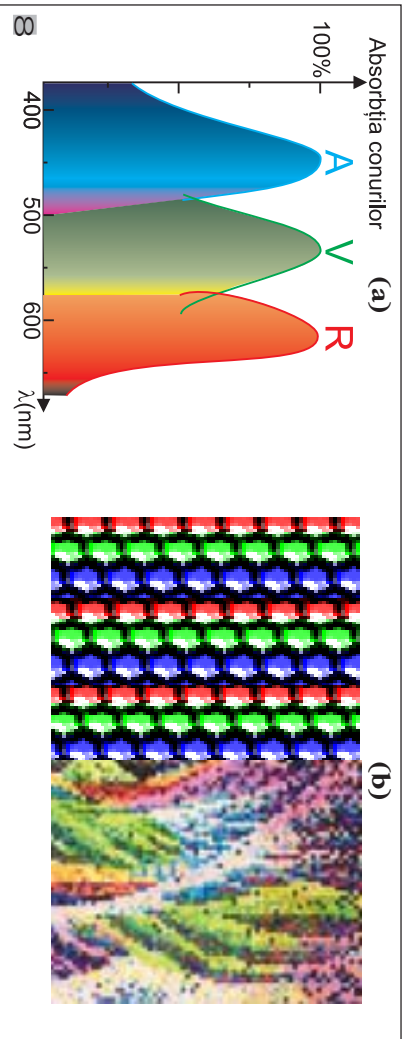
Culorile au calitatea de a produce în creier reacții cu influențe pozitive sau negative asupra comportamentului sau psihicului. Culorile din mediul ambiant sau ale ținutei vestimentare pot influența randamentul muncii tale? Culorile albastru, violet și verde sunt numite „recl”. Combinațiile contrastante (negru pe alb sau alb pe albastru) concentrează privirea. Verdele din natură are efect odihnitor. Albastrul mărit și redă încrederea în forțele tale?



Vederea cromatică depinde de individ. Corpurile devin surse de lumină pentru ochiul uman fără defecte de vedere dacă reflectă sau radiază unde electromagnetice cu lungimi de undă cuprinse între $\lambda_{violet} \approx 400$ nm și $\lambda_{roșu} \approx 700$ nm. Un corp iluminat apare alb ochiului uman dacă reflectă sau transmite după refracție aproape integral toate radiațiile spectrului vizibil și apare negru dacă absorbbe integral toate aceste radiații, 5. Corpurile cu suprafețe închise la culoare expuse la lumina Soarelui se încălzesc cel mai mult, deoarece absorb mai multă lumină decât reflectă. Culorile spectrale sunt așezate pe discul lui Newton astfel încât, la rotația rapidă a acestuia, apare alb dacă reflectă în procente egale radiațiile roșii, verzi și albastre, 6. Discul apare cenușiu-gri dacă reflectă uniform o parte din spectrul luminii albe și absorbbe o altă parte. Un corp apare roșu dacă din lumina albă absorbbe radiațiile verzi și albastre și reflectă difuz doar radiațiile roșii. Un corp poate să ne pară colorat diferit dacă este iluminat cu radiații diferite de cele pe care le poate reflecta: o roșie apare neagră în lumină verde, 7.

Din amestecul în diferite proporții a culorilor primare (roșu, verde și albastru), rezultă orice altă culoare, dar din amestecul a două culori primare nu poate fi obținută a treia culoare primară. Din amestecul celor trei culori de intensități aproximativ egale, ochiul percepe lumină albă.

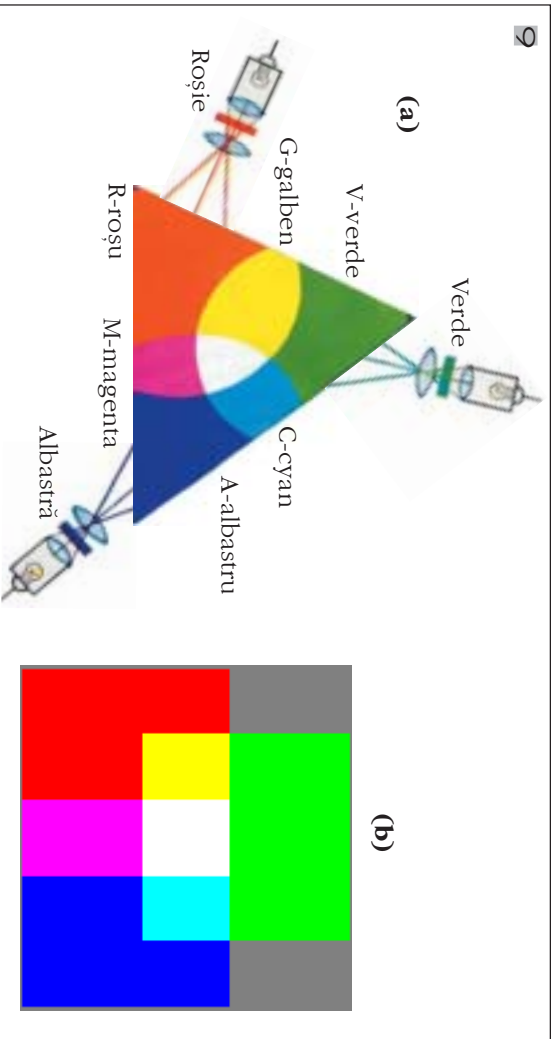
Sensibilitatea maximă a conurilor retinei ochiului uman este pentru culorile: R – roșu ($\lambda_r \approx 660$ nm), V – verde-gălbui ($\lambda_v \approx 550$ nm) și A – albastru-indigo ($\lambda_a \approx 440$ nm), 8a.

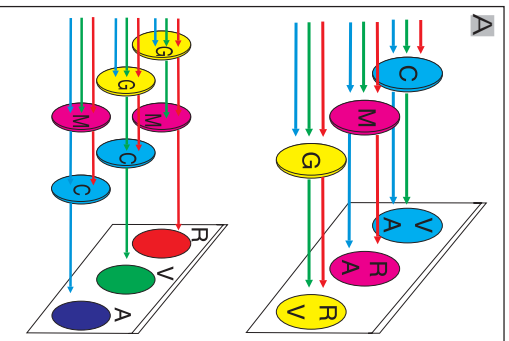


Dacă privești imaginea de pe ecranul televizorului printr-o lupă, vei vedea șiruri verticale colorate (roșii, verzi și albastre), care își modifică mereu strălucirea, 8b. Imaginile colorate sunt rezultatul unui amestec aditiv.

Pe interiorul ecranelor televizorurilor și monitorurilor au fost depuse trei substanțe fluorescente, în șiruri verticale, grupate câte trei pe arii mici (numite pixeli). Când sunt ciocnite de trei fascicule de electroni (baleiate vertical de zeci de ori pe secundă), emit lumină roșie, verde și albastră. Nuanțele de culori sunt generate de variația intensității fasciculelor.

Amestecul aditiv al culorilor primare poate fi realizat pe un ecran difuzant cu ajutorul a trei proiectoare cu filtre colorate sau cu programul Corel pe calculator, 9. Lumina reflectată de ecranul iluminat sau lumina transmisă prin filtre reprezintă radiațiile neabsorbite din lumina albă a surselor luminoase. Ecranul apare roșu dacă este iluminat numai cu radiație roșie și galben dacă este iluminat în culorile complementare roșu și verde. Rezultă că ochiul nu discerne două sau mai multe radiații de culori diferite care ajung simultan pe retină, ci o altă culoare. Două culori sunt complementare dacă



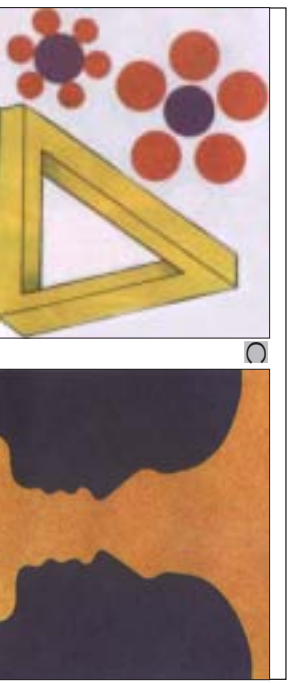
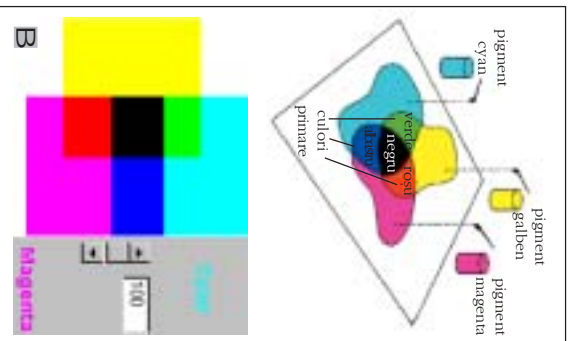


corpuri. Dacă în cazul amestecului aditiv a două radiații de culori diferite, sosite simultan la ochi, vedem o a treia culoare, în cazul amestecului substractiv al culorilor, la ochi sosesse culorile adevărate ale radiațiilor, filtrate din lumina albă.

Amestecul substractiv de culori se realizează și prin absorbția unor radiații din spectrul luminii albe de către substanțele colorate cu un amestec al pigmentilor: galben, cian și magenta, B. Când lumina albă cade pe corpurile reflectante sau pe filtrele cu pigmentul cian, radiațiile albastre și verzi sunt parțial reflectate și parțial transmise, iar cele roșii, oranji și galbene sunt absorbite integral. Corpurile și filtrele cu pigmentul galben reflectă parțial și, respectiv, transmit parțial radiațiile roșii și verzi, dar le absorb integral pe cele albastre. Dacă există ambii pigmenti amestecați, cian și galben, atunci sunt absorbite toate radiațiile, cu excepția radiațiilor verzi. Suma coeficienților subunitari de reflexie α_r ,

de transmisie α_t , și de absorbție α_a este egală cu unitatea, deoarece energia totală a radiațiilor se conservă ($\alpha_r + \alpha_t + \alpha_a = 100\%$).

Iluziile optice ne arată cum interpretează creierul imaginile, comparându-le cu cele deja cunoscute, C. Care dintre cele două cercuri centrale este mai mare? Triunghiul are o formă imposibilă, dar creierul încearcă să găsească o figură tridimensională. Ultima imagine poate reprezenta o vază sau două chipuri.





Aminteste-ti! Propagarea luminii de la o sursă la un receptor este însoțită de un transfer de energie. Lumina care ajunge pe retina ochiului produce senzația de lumină. Senzația de lumină depinde de energia care ajunge în unitatea de timp pe elementele fotosensibile ale retinei și de frecvența radiațiilor luminoase. Ochiul nu este la fel de sensibil la toate frecvențele sau lungimile de undă ale acestor radiații.

Merită să știi Fotometria se ocupă cu măsurarea mărimilor caracteristice radiațiilor luminoase. Dacă folosim ochiul ca receptor, atunci măsurările fotometrice sunt subiective, iar dacă folosim receptoarele de radiații ale instrumentelor de măsurare, atunci măsurările sunt obiective.

Mărimile energetice caracterizează radiațiile în funcție de energia transferată receptorului instrumentului de măsurare (sensibil și la radiațiile din domeniile ultraviolet și infraroșu). Simbolurile mărimilor energetice vor fi însoțite de indicele „e”.

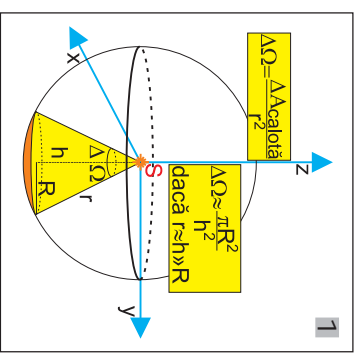
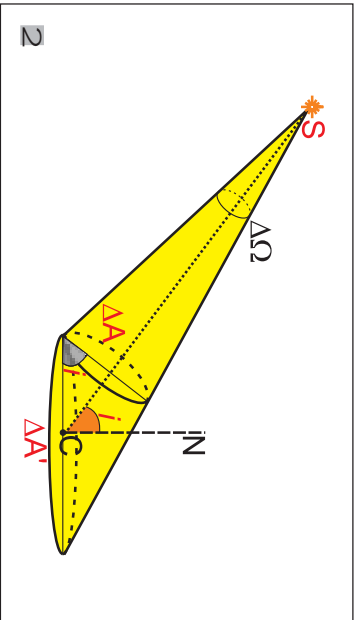
Mărimile fotometrice caracterizează radiațiile luminoase (cu alte unități de măsură) în funcție de sensibilitatea spectrală a ochiului uman.

Vom considera cazul ideal al surselor punctiforme de radiații și al mediilor transparente, omogene, izotrope. Sursele de radiații pot fi considerate punctiforme dacă dimensiunile lor sunt neglijabile în raport cu distanța până la receptor. Într-un mediu transparent și izotrop se neglijează absorbția luminii, care se propagă identic în orice direcție. Considerăm un con decupat dintr-o sferă de rază r , 1. Unghiul solid al conului luminos, cu vârful S în sursa punctiformă de radiații considerată, se definește prin raportul dintre aria ΔA a

calotei sferice și pătratul razei sferei corespunzătoare: $\pm T \mid \frac{\pm A}{r^2}$. Unitatea de măsură a unghiului solid este steradianul (sr), care reprezintă unghiul solid cu vârful în centrul unei sfere care delimitează pe suprafața acesteia o suprafață $\Delta A = r^2$. Pentru unghiuri mici se poate aproxima aria calotei cu aria cercului de bază.

Considerăm unghiul solid $\Delta\Omega$ care delimitează suprafața circulară de arie $\Delta A'$, a cărei normală face unghiul i cu raza SC, axa conului Z. Aria ΔA a suprafeței normale este:

$$\Delta A = \Delta A' \cdot \cos i \quad \text{Obținem: } \pm T \mid \frac{\pm A}{r^2} \mid \frac{\pm A'}{r^2} \cos i.$$



Mărimi și unități:

a) energetice

- ◆ Fluxul de energie radiantă Φ_e se definește prin energia radiantă ΔW_e transferată în unitatea de timp printr-o suprafață: $A_e \mid \frac{+W_e}{+t} \mid \Psi_e \beta_{L1} \mid \frac{1J}{1s} \mid 1W$.
- ◆ Intensitatea energetică I_e a unei surse punctiforme de lumină se definește prin fluxul de energie radiantă emis în unitatea de unghi solid: $I_e \mid \frac{+A_e}{+T} \mid \Psi_e \beta \mid \frac{\Psi_e A_e \beta}{\Psi_e T \beta} \mid \frac{1W}{1sr}$.
- ◆ Iluminarea energetică E_e a unei suprafețe se definește prin fluxul de energie radiantă pe unitatea de suprafață: $E_e \mid \frac{+A_e}{+A} \mid \Psi_e \beta \mid \left(\frac{+A_e}{+A} \right) \mid \frac{1W}{1m^2}$.

Obs

Considerăm iluminarea unei suprafețe cu o sursă plasată la distanță mare, la incidență aproape normală (razele de lumină se propagă aproximativ de-a lungul normalei pe acea suprafață). Rezultă: $E_e \mid \frac{+A_e}{+A} \mid \frac{+T}{+A} \mid \frac{I}{r^2}$, unde $+T \mid \frac{+A}{r^2}$. Dacă fasciculusul îngust din unghiul solid $\Delta\Omega$ vine sub un unghi \hat{i} față de normala la suprafața de arie ΔA ; atunci proiectăm această arie pe planul normal pe axa conului și obținem: $E_e \mid \frac{+A_e}{+A} \mid \frac{I}{r^2} \cos i$, deoarece $+A_e \mid I_e \div T \mid I_e \frac{+A \cos i}{r^2}$, $+T \mid \frac{+A}{r^2} \mid \frac{+A \cos i}{r^2}$.

b) fotometrice

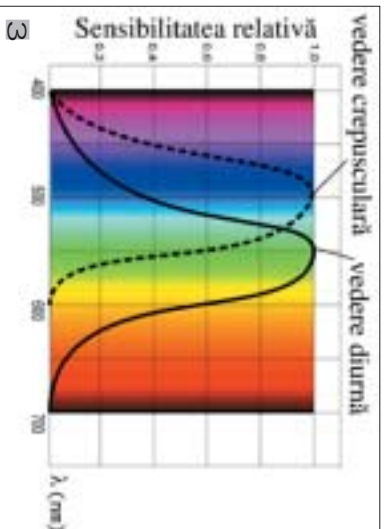
◆ Fluxul luminos Φ caracterizează perceperea luminii surselor de către ochi. Deoarece ochiul normal este cel mai sensibil la radiația verde-gălbui cu lungimea de undă $\lambda_0 = 555$ nm, senzațiile luminoase produse de iluminările a două suprafețe, cu radiații diferite λ și λ_0 , devin aceleași prin mărirea fluxului de energie al radiației cu lungimea de undă λ

până la valoarea $\Phi_{e,\lambda}$, mai mare decât $A_{e,50}$ al radiației λ_0 . Raportul $V_\zeta \mid \frac{A_{e,50}}{A_{e,\zeta}}$, numit

sensibilitate spectrală relativă a ochiului, este reprezentat în figura 3. Sensibilitatea

spectrală relativă a ochiului, $V_\zeta \mid \frac{A_{e,50}}{A_{e,\zeta}}$,

este numeric egală cu raportul dintre fluxul de energie radiantă $A_{e,50}$, cu lungimea de undă λ_0 (la care apare cea mai puternică senzație diurnă de lumină), și fluxul de energie radiantă $\Phi_{e,\lambda}$ cu lungimea de undă λ , care produce aceeași senzație vizuală (ochiul percepe cele două jumătăți ale



unei suprafețe albe, iluminate simultan cu cele două radiații monocromatice, la fel de luminoase). În percepția culorilor de către ochiul omenesc pot apărea anomalii. Cu cât ochiul devine mai puțin sensibil spre extremitățile spectrului ($\mathcal{N}_{\text{roșu}}$ și $\mathcal{N}_{\text{violet}}$), este necesar un flux de energie radiantă mai mare, deci $V_{\lambda} \rightarrow 0$. Există oameni care nu văd anumite culori (daltoniști nu sesizează radiația roșie). Non-născuții văd bine jucăriile galbene și verzi.

Sensibilitatea spectrală relativă diurnă	
λ (Å)	V_{λ}
4000; 7000	$4 \cdot 10^{-3}$
4400; 6800	$2 \cdot 10^{-2}$
4600; 6600	$6 \cdot 10^{-2}$
4900; 6400	$2 \cdot 10^{-1}$
5100; 6100	$5 \cdot 10^{-1}$
5300; 5800	$8,6 \cdot 10^{-1}$
5500	1

Fluxul radiației incidente se regăsește ca suma fluxurilor radiațiilor reflectate, refractate pe suprafața dintre straturile semitransparente și absorbite în acestea. Lungimile de undă ale radiațiilor emise de un corp depind de temperatura acestuia, 4. Când corpurile solide devin incandescente (au temperaturi care ating câteva mii de grade), dominanța de culoare trece de la roșu la galben și apoi la întreg spectrul continuu din domeniul vizibil.

◆ Fluxul luminos monocromatic se definește prin relația $\Phi = K V_{\lambda} \Phi_{e,\lambda}$, unde $K = 675 \text{ lm/W}$ și $[\Phi]_{\text{SI}} = 1 \text{ lm (lumen)}$.

◆ Intensitatea luminoasă I a unei surse punctiforme de lumină se definește prin raportul dintre fluxul luminos emis și unghiul solid în jurul direcției considerate: $I \mid \frac{\pm A}{\pm T}$; $[I]_{\text{SI}} = 1 \text{ cd}$ (candela este unitate fundamentală în S.I.).

Candela este intensitatea luminoasă, pe o direcție dată, a unei surse care emite o radiație monocromatică cu frecvența $\nu_0 = 5,4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ($\lambda_0 = 555 \text{ nm}$) și a cărei intensitate energetică,

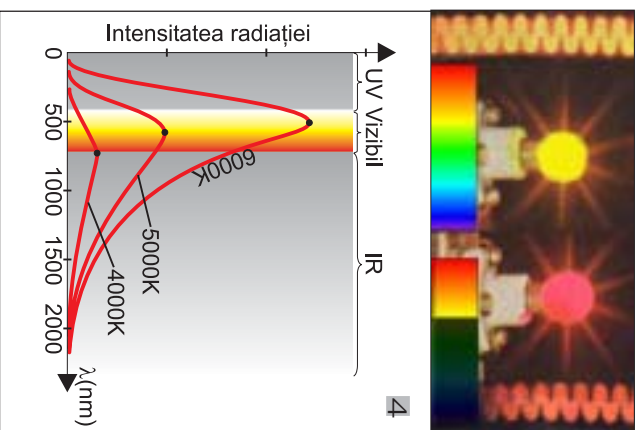
pe acea direcție, este $\frac{1}{675} \frac{\text{W}}{\text{sr}}$. Rezultă că un lumen reprezintă fluxul luminos emis de o

sursă cu intensitatea luminoasă $I = 1 \text{ cd}$ într-un unghi solid $\Delta\Omega = 1 \text{ sr}$, deci $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}$.

◆ Iluminarea E a unei suprafețe se definește prin fluxul luminos distribuit uniform pe unitatea de suprafață:

$$E \mid \frac{\pm A}{\pm A}; \quad \Psi \beta \mid \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} \mid 1 \text{ lx (lux)}. \text{ Se poate măsura cu un}$$

luxmetru digital, 5. Acesta este un fotometru bazat pe variația conductivității unui semiconductor sub acțiunea luminii și adaptat pentru determinarea directă a iluminărilor și etalonat în lușei (fotodetectorul trebuie să aibă sensibilitatea spectrală a ochiului).





1

Aminteste-ti! Instrumentele optice sunt sisteme optice care formează (cu ajutorul lentilelor, diaframelor și oglinzilor) imagini mărite care permit observarea unor detalii ale obiectelor. Imaginile reale se pot obține pe un ecran sau pe o peliculă fotosensibilă, iar cele virtuale se observă direct cu ochiul, 1 .

Merită să știi **Aparatele de proiecție** a filmelor,

diapozitivelor, foliilor transparente sau fotografiilor dau imagini reale și mărite pe un ecran. Dispozitivul de iluminare are sursa luminoasă așezată în focalul oglinzii, comun cu focalul sistemului de lentile plan convexe adiacente, numit condensor, 2 . Condensorul asigură iluminarea uniformă a obiectului a cărui imagine, formată de obiectiv, apare mărită și răsturnată pe ecran. Obiectivul este format din mai multe lentile, pentru a reduce aberațiile optice. Proiecția episcopică se obține din reflexia luminii pe fotografii.

Aparatele de înregistrare a imaginilor pe film fotosensibil sau pe bandă magnetică primesc lumina de la obiecte în interiorul unor camere obscure. Pentru obținerea unor imagini clare ale obiectelor plasate la diferite distanțe, operatorul care privește obiectele printr-un vizor reglează obiectivul și diafragma (orificiu de deschidere variabilă). Obiectivele

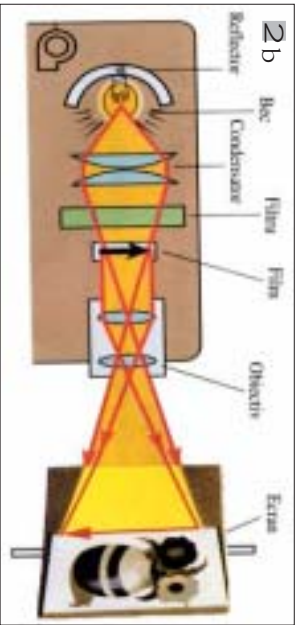
se caracterizează prin inversul deschiderii relative $N \mid \frac{1}{D/f}$, unde f este distanța focală a

obiectivului și D – diametrul al diafragmei reglabile ($N = 1,4; 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22$ reprezintă valorile notate pe inelul de reglare al diafragmei). La camerele moderne de luat vederi (video digitale), imaginile optice se transformă în imagini electrice ale potențialelor microfotocelulelor, care se codifică digital și se transmit la receptor (tub cinescopic care reproduce imaginea obiectelor înregistrate). Reglajele pot fi automate.

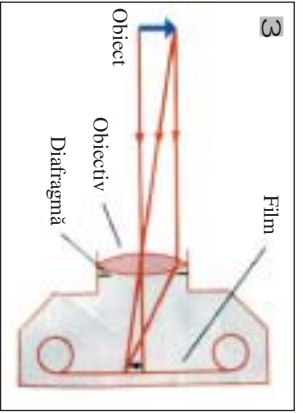


2 a

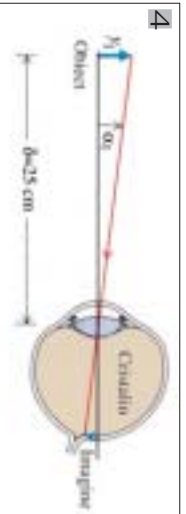
Aparatul de fotografiat permite fixarea imaginilor reale pe filme fotosensibile. Obiectivul este un sistem optic convergent care formează imagini reale clare, în planul filmului, după punerea la punct prin: deplasarea obiectivului în lungul axei principale, modificarea diafragmei corelată cu timpul de expunere și analiza încălzirii prin vizor (independent sau prin obiectiv), 3 . Aparatele automate fac singure aceste operații.



2 b



3



Lupa este un sistem optic, format din una sau mai multe lentile, care dă imagini virtuale, mărită și drepte ale obiectelor situate între focar și lentilă. Un obiect liniar, de înălțime y_1 , așezat perpendicular pe axa optică principală a ochiului în **punctum proximum** (PP) la distanța de vedere distinctă $\delta_0 = 0,25$ m (pentru ochiul normal), este văzut sub un unghi α față

de axa ochiului: $\text{tg} \zeta_1 \mid \frac{y_1}{1}$, 4. Dacă obiectul este ținut mai aproape de ochi, în apropierea planului focal al unei lupe, punctele de pe

obiect dau la ieșirea din lentilă un fascicul paralel către ochi. Cristalinul ochiului în stare relaxată poate face ușor focalizarea imaginii date de lupă, devenită obiect virtual plasat către infinit. Din

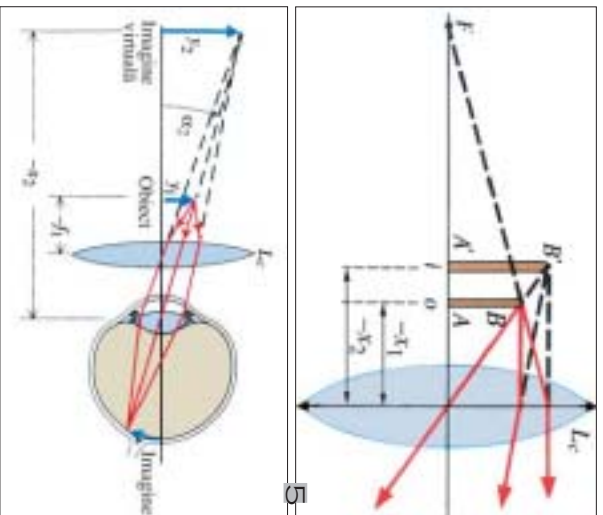
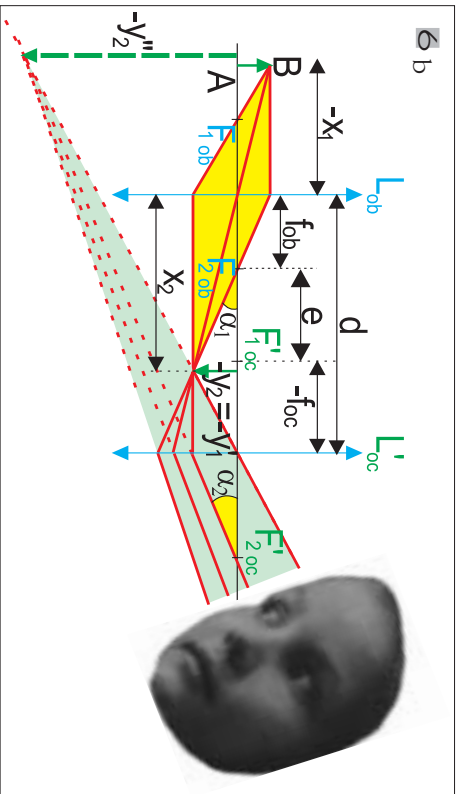
formula lentilelor, $\frac{1}{x_2} \frac{1}{4} \mid \frac{1}{f_1}$, rezultă $x_2 \rightarrow \infty$ când $-x_1 \rightarrow -f_1$, adică imaginea este văzută

fără efort de acomodare. 5. Imaginea cu înălțimea y_2 este văzută de ochi prin lupă sub unghiul

$\zeta_2 - \text{tg} \zeta_2 \mid \frac{y_2}{4 x_2} - \frac{y_1}{f}$, unde $f = -f_1 > 0$. Puterea lupei se definește prin raportul dintre

modulul diametrului aparent al imaginii $|\text{tg} \alpha_2|$ și înălțimea y_1 a

obiectului: $P \mid \frac{|\text{tg} \zeta_2|}{y_1} - \frac{1}{f}$ (m^{-1}).



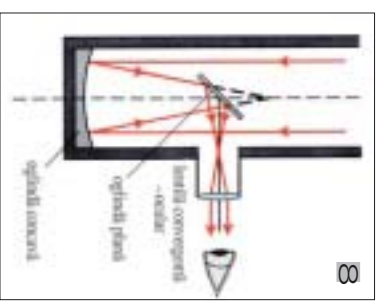
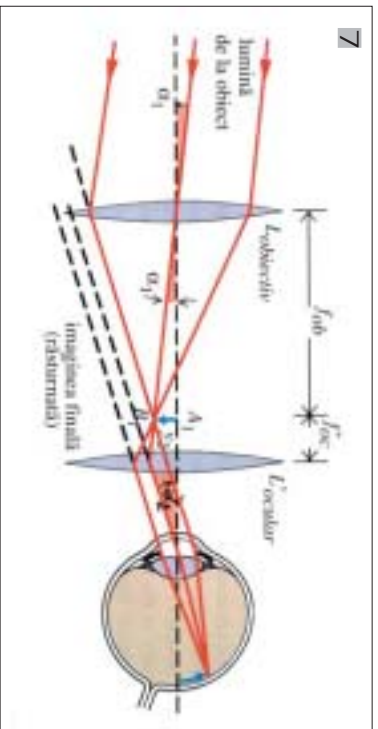
Microscopul optic este un sistem optic complex folosit pentru vizualizarea obiectelor mici ($\gamma_1 \geq 0,5 \mu\text{m}$), care nu pot fi văzute cu ochiul liber, \odot a. Este format din două sisteme de lentile convergente: obiectiv și ocular. Obiectivul formează imaginea, reală și mărită, ale obiectului AB plasat în apropierea planului său focal, care devin obiecte pentru ocular, plasate în apropierea planului focal al acestuia. Imaginea finală obținută prin ocular este virtuală, mărită, plasată către infinit, ca în cazul luplei, \odot b. Cristalinul ochiului focalizează pe retina razele, aproximativ paralele, emergente din ocular: Observatorul deplasează tubul microscopului față de obiect până vede clar imaginea finală, fără efort de acomodare, a preparatului studiat. Microscopul se caracterizează prin puterea optică P (ca și lupa) și prin grosismetul G (raportul dintre modulele diametrului aparent al imaginii și diametrului aparent al obiectului privit cu ochiul liber la distanța $\delta_0 = 0,25$ m):

$$\text{tg } \zeta_1 \mid \frac{\gamma_1}{l_0}; \mid \text{tg } \zeta_2 \mid \mid \frac{\gamma_1'}{f_{oc}} \blacktriangleright \text{ grosismetul } G \mid \frac{\mid \text{tg } \zeta_2 \mid}{\mid \text{tg } \zeta_1 \mid} \mid \frac{l_0}{f_{oc}} \mid \frac{\gamma_1'}{\gamma_1} \mid \frac{l_0}{f_{oc}} \mid \frac{e}{f_{ob}} \mid P \mid l_0,$$

deoarece $\left| \frac{\gamma_1'}{\gamma_1} \right| \circ \frac{e}{f_{ob}}$, unde e – distanța dintre focarul imagine, $F_{2,ob}$, al obiectivului și focarul obiect $F_{1,oc}$ al ocularului, iar P – puterea optică a microscopului $P \mid \frac{\mid \text{tg } \zeta_2 \mid}{\gamma_1} - \frac{\gamma_1'}{f_{oc} \gamma_1} \mid \frac{e}{f_{ob} f_{oc}}$.

Lunetele și telescoapele sunt instrumente optice complexe, formate din sisteme optice coaxiale. Sunt folosite pentru observarea obiectelor cerești sau terestre foarte îndepărtate. Razele de lumină, care se propagă de la un punct al obiectelor la obiectivul unei lunete astronomice, sunt practic paralele și formează imaginea în planul focal al lentilei obiectiv, 7. Dimensiunea imaginii este $\gamma_1' = \gamma_2 = A_1 B_1 = f_{ob} \text{tg } \alpha_1 \approx f_{ob} \alpha_1$. Ocularul funcționează ca o lupă și are distanța focală f_{oc} mult mai mică decât f_{ob} a obiectivului. Dacă ocularul se reglează ca o lupă, astfel încât imaginea formată de obiectiv să fie practic în planul focal al ocularului, atunci punctele imaginii trinit către ochiul care privește relaxat un fascicul paralel de lumină, care este recepționat ca și când am privi către infinit.

Telescopul folosește ca obiectiv o oglindă sferică sau parabolică cu diametrele de câțiva metri și ca ocular o lentilă convergentă. Pentru observarea din lateral, unul din tipurile de telescop are o oglindă plană, 8.





1.9

Interferența luminii

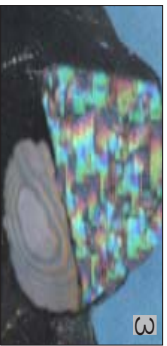
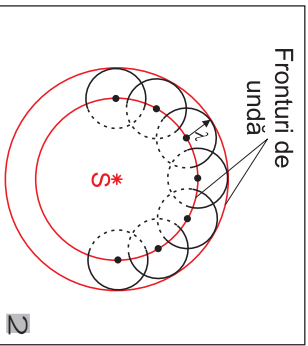
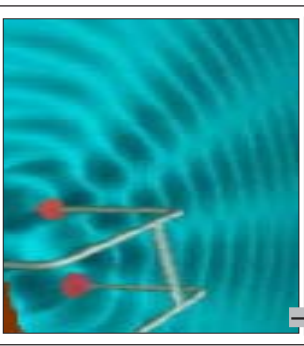
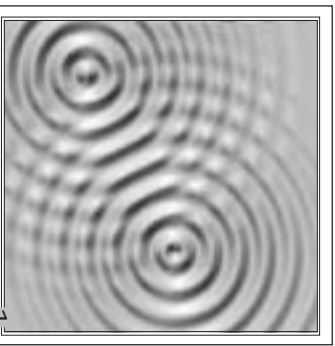
Aminteste-ți! Interferența este fenomenul de suprapunere, într-o zonă a unui mediu, a două sau mai multe unde de aceeași frecvență și aceeași natură. Știi că undele produse pe suprafața unui lichid aflat în repaus, de două corpuri care ating periodic acea suprafață, interferă constructiv în punctele franjelor de amplitudine maximă și interferă distructiv, în punctele franjelor de amplitudine minimă, 1 .

Merită să știi! Optica ondulatorie descrie fenomenele în care se manifestă caracterul ondulatoriu al luminii: interferența, difracția și polarizarea.

Undele coerente sunt acele unde care au aceeași frecvență și păstrează între ele o diferență de fază constantă în timp. Vom analiza **interferența luminii** în cazul suprapunerii a două sau mai multe unde coerente ai căror vectori \vec{E}_k (intenșitate a câmpului electric) sunt paraleli, rezultând maxime și minime ale intenșității iluminării, în punctele dintr-o zonă a unui mediu optic. În acest caz, amplitudinea E'_0 a undei rezultante și intenșitatea luminoasă I într-un punct, definită ca o mărime proporțională cu pătratul amplitudinii, sunt constante în timp.

Conform principiului lui Huygens, fiecare punct de pe frontul de undă momentan sau de pe o suprafață de undă poate fi considerat sursă secundară de unde sferice secundare, iar frontul de undă, la un moment ulterior, reprezintă înfășurătoarea fronturilor de undă secundare, 2. Fresnel a completat acest principiu, considerând că undele secundare interferă, respectiv sursele de la care provin sunt coerente, deoarece sunt în fază.

Interferența luminii albe produce franjele colorate localizate pe pelicule (bule de săpun și de ulei, oxizi) sau pe lame foarte subțiri (de mică, sidelf, materiale plastice), 3. De ce nu se obține interferență pe un ecran cu două surse distincte (de exemplu, două becuri)? Ne reamintim, din clasa a IX-a, că emisia luminii este rezultatul tranzițiilor diversilor atomi din stări instabile, cu energie mare, în stări cu energie mai mică. În urma acestor tranziții, care durează un timp $\tau \approx 10^{-8}$ s, sunt emise trenuri de undă, cu diverse frecvențe. Numărul mare de atomi din sursele de lumină obșnuite sunt excitați aleatoriu (prin ciocniri întâmplătoare cu electronii accelerați sau prin agitație termică), dar și radiază aleatoriu unde electromagnetice în toate direcțiile, oscilațiile intenșității E_k a câmpului electric (care produce senzația de lumină pe retina) fiind orientate haotic. Figura de interferență produsă pe un ecran de radiațiile provenite de la două surse de lumină sau din două zone ale unei surse de lumină se schimbă rapid și se observă o iluminare medie, deoarece ochiul are o inerție fiziologică $\Delta t \approx 0,1$ s. Rezultă că sursele de lumină nu sunt coerente.

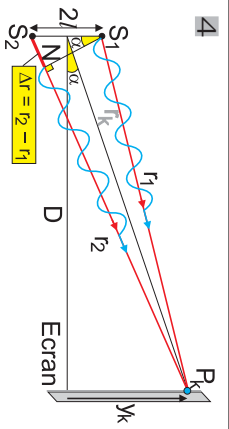
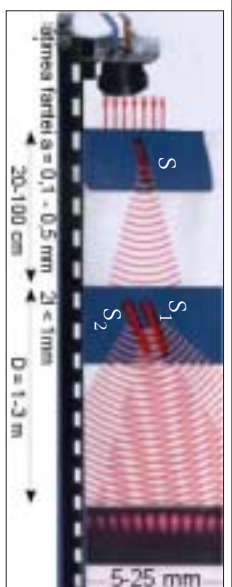


3

2

1

Fronturi de undă



Experimente pentru curioși

E **Dispozitivul lui Young** permite obținerea undelor coerente prin divizarea luminii monocromatice de la o fantă luminoasă filiformă S către alte două fante, S_1 și S_2 , filiforme și paralele între ele și cu fanta S . Fantele sunt perpendiculare pe planul figurii și simetrice față de axa perpendiculară pe ecran, care trece prin S . Fanta S este iluminată de un filament liniar incandescent, printr-un filtru, sau de o sursă monocromatică (tub cu descărcări în vapori de sodiu sau diodă laser, de exemplu).

Punctele de pe o suprafață de undă care s-a propagat în fantele S_1 și S_2 emit unde coerente secundare: $E = E_0 \sin \omega t$. Între fantele S_1 și S_2 este o distanță $2l < 1$ mm. Franjele luminoase și întunecate nu sunt localizate și se pot vedea pe un ecran așezat la distanța $D = 1$ m - 3 m. Până în punctul P_k de pe ecran, alflat la distanța y_k de axa de simetrie, undele cilindrice care provind din sursele S_1 și S_2 , parcurg distanțele r_1 și r_2 . Deoarece $D \gg 2l$, segmentul S_1N este practic perpendicular pe r_1 și r_2 . Diferența de drum între undele care interferează este $\Delta r = r_2 - r_1$.

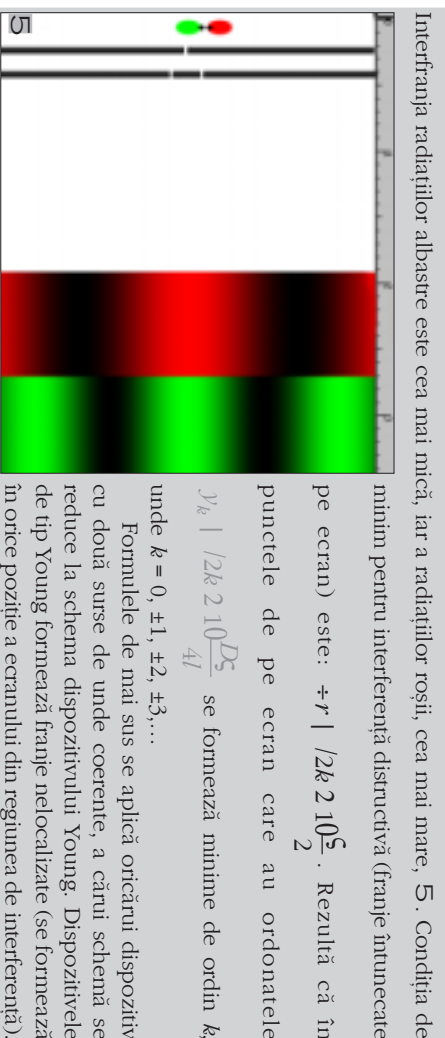
Pentru unghiuri $\alpha < 5^\circ$ între axa de simetrie și r_k (segmentul care unește punctul P_k cu punctul median dintre fantele S_1 și S_2), putem folosi aproximația: $\sin \alpha \approx \tan \alpha$, deci $\frac{\pm r}{2l} \mid \frac{y_k}{D}$. Condiția de maxim corespunzătoare interferenței constructive (franje luminoase pe ecran) este: $\pm r \mid k\lambda \mid 2k \frac{\lambda}{2}$

(multiplu întreg de lungimi de undă sau multiplu par de „semiuândă” $\frac{\lambda}{2}$). Rezultă că în punctele P_k de

pe ecran care au ordonatele $y_k \mid \frac{kD\lambda}{2l} \mid \frac{2kD\lambda}{4l}$, unde $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, se formează maxime de

ordin k . În punctul central M se formează maximumul central luminos ($k = 0$). Interfranția

$i \mid y_k \mid 4 y_{k+1} \mid \frac{D\lambda}{2l}$ reprezintă distanța dintre două maxime sau două minime luminoase consecutive.



Interfranția radiațiilor albastre este cea mai mică, iar a radiațiilor roșii, cea mai mare, 5. Condiția de minim pentru interferență distructivă (franje întunecate pe ecran) este: $\pm r \mid \mid 2k \frac{\lambda}{2} \frac{10\lambda}{2}$. Rezultă că în

punctele de pe ecran care au ordonatele

$y_k \mid \mid 2k \frac{10\lambda}{4l} \frac{D\lambda}{4l}$ se formează minime de ordin k ,

unde $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

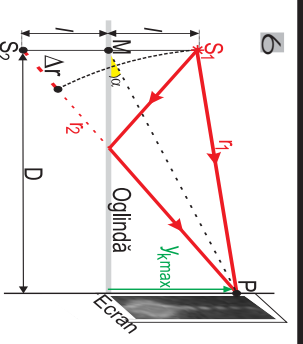
Formulele de mai sus se aplică oricărui dispozitiv cu două surse de unde coerente, a cărui schemă se reduce la schema dispozitivului Young. Dispozitivele de tip Young formează franje nelocalizate (se formează în orice poziție a ecranului din regiunea de interferență).

Fantele F_1 și F_2 sunt două trăsături transparente pe o placă de sticlă înmăgrită sau două tăieturi paralele într-o foaie de staniu. Iluminăm fanta S cu o diodă laser. Se reglează pozițiile fantelor S_1 și S_2 și a ecranului, astfel încât franjele să fie clare. Constați că interferanța depinde de poziția acestor fante față de ecran. Franjele pot fi focalizate pe ecranul așezat în planul focal al unei lentile convergente. Dacă nu folosești diodă laser, atunci lentila poate fi cristalinul ochiului și retina poate avea rolul ecranului?

E În dispozitivul interferențial numit oglinda lui Lloyd, interferența se obține din undele care provin de la sursa S_1 , care poate fi o diodă laser sau o fantă luminoasă, și imaginea S_2 a acesteia în oglinda plană O_g . Raza directă și raza reflectată parcurg drumuri diferite, deci ajung în punctul P de pe ecran cu un defazaj $\Delta\phi$. Schema dispozitivului este asemănătoare cu a dispozitivului Young.

Se pot scrie relațiile: $\Delta r = \delta = 2l \sin \alpha$; $\sin \zeta \approx \frac{y_k}{D}$; $\delta = k\lambda$; $2l \frac{y_k}{D} | k\zeta$, deci $y_{k,max} \approx \frac{kD\lambda}{2l}$.

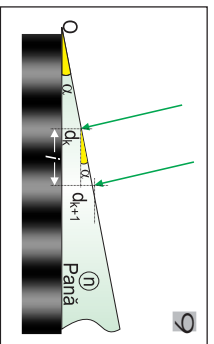
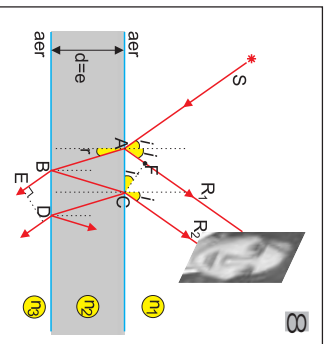
Ordinul maxim de interferență ce poate fi observat se obține din condiția: $\zeta \approx \frac{\phi}{2}$, deci $y_{k,max} = D \sin 90^\circ$ și $k_{max} \lambda = 2l$ sau $k_{max} \approx \frac{2l}{\lambda}$. Franje frumoase sunt ușor de obținut cu fasciculi unei diode laser tinute în apropierea unei oglinzi plane.



Interferența luminii în lame sau pelicule subțiri

Interferența constructivă a radiațiilor luminoase provenite de la surse întinse de lumină albă pe peliculele subțiri, cu grosimi de ordinul a zeci sau sute de lungimi de undă, produce culorile foitelor de mică, baloanelor de săpun, peliculelor de ulei pe apă, sîdefului, insectelor, oxidilor sticlelor sau metalelor încălzite la tratamente termice, lamelor tensionate din materiale plastice, penelor optice etc., 7. Să considerăm radiațiile luminoase ce provin, de la o sursă întinsă, care ajung pe o lamă cu fețele paralele, 8. Raza R_1 , obținută după reflexia cu pierdere de semîndă pe suprafața de separare cu mediul mai refringent al lamei ($n_2 > n_1$), interferă cu raza paralelă R_2 , obținută după: refracție în punctul de incidență A , reflexie în punctul B (fără pierdere de semîndă dacă $n_3 < n_2$) și refracție în punctul C . Razele de lumină R_1 și R_2 sunt coerente (deoarece provin din același punct al sursei) și sunt paralele, deci formează franje de interferență localizate la înfînt.

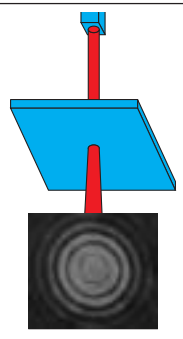
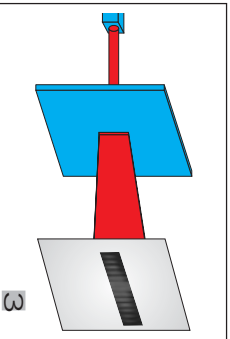
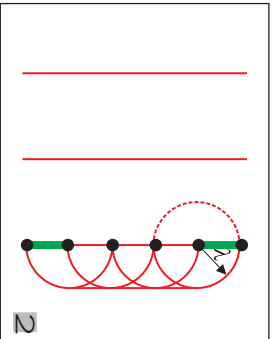
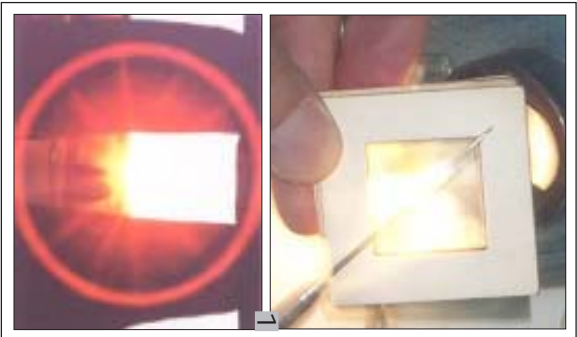
Pana optică este o peliculă de grosime variabilă, delimitată de cele două fețe plane care fac un unghi α foarte mic ($\alpha < 5^\circ$). Prelungirile razelor coerente care provin din aceeași rază incidentă și s-au reflectat pe cele două fețe ale lamei formează franje de interferență virtuale, localizate într-un plan virtual OV , perpendicular pe planul de incidență, 9.





1.10

Difracția luminii



Amintește-ți! Raza de lumină este modelul folosit pentru propagarea rectilinie a radiatiilor luminoase, dacă dimensiunile deschiderilor folosite sunt mult mai mari decât lungimea de undă a acestor radiații. Lumina care pătrunde printre gene sau prin țesături produce irizații care ne plac. Vârful unui corp ascuțit pare „tăiat” de lumina provenită de la o sursă puternică, iar prin fante lumina pătrunde în spatele zonei opace, adică în zona umbrei apare lumină. 1. Ce observi când privești, printre două degete apropiate, o sursă de lumină? Din studiul undelor elastice am reținut că fenomenul de difracție constă în schimbarea direcției de propagare a undelor când acestea întâlnesc un obstacol sau o deschidere cu dimensiuni comparabile cu lungimea de undă a acestora.

Merită să știi **Difracția luminii** reprezintă fenomenul de pătrundere a luminii în spatele obstacolelor și fanțelor, deci abaterrea de la propagarea rectilinie. Prin difracția luminii, frontul de undă se deformează și lumina se propagă și în spatele orificiilor sau obstacolelor, în zona de umbră geometrică, 2. Fiecare punct al unui front de undă poate fi considerat ca sursă secundară de unde sferice coerente, iar noul front de undă reprezintă înfășurătoarea fronturilor de unde secundare. Undele secundare sunt coerente, pot interfera în zona dintr-o lumină și umbră geometrică, deci difracția luminii este însoțită de apariția maximelor și minimele de intensitate, numite **franje de difracție**. Difracția în lumină divergentă se numește difracție Fresnel, iar în lumină paralelă se numește difracție Fraunhofer.

E Un fascicul paralel de lumină monocromatică pătrunde printr-o deschidere reglabilă (dreptunghiulară sau circulară) și formează pe un ecran o zonă luminoasă de aceeași culoare (deci lungimea de undă λ și frecvența ν nu se modifică la trecerea prin fantă) și de aceeași formă cu fanta, dacă lățimea a a fanței este mult mai mare decât lungimea de undă λ . Dacă micsorăm foarte mult deschiderea, vom observa că pe ecran apar franje luminoase și întunecate de difracție, 3. Intensitatea luminoasă a maximumii centrale este mai mare decât a celorlalte maxime. În lumină albă, franja centrală luminoasă este albă, iar celelalte sunt irizate.

Un fascicul de lumină cu raze paralele, care trece printr-o fantă filiformă, de lățime a , formează franje de difracție pe un ecran aflat la distanța D , 4.