

Introducere

Optica este o parte a fizicii care studiaza lumina si fenomenele luminoase. Ea cerceteaza natura luminii, producerea, propagarea, absorbtia, interactiunea ei cu substantele precum si masurarea marimilor ce caracterizeaza lumina.

Lumina, generata sau reflectata de diverse corpuri constituie agentul fizic care, prin intermediul retinei, face ca ochiul sa poata vedea aceste corpuri (gr. Opsi = stiinta despre vedere).

Natura luminii si comportamentul ei au preocupat pe oameni din cele mai vechi timpuri, dar deabia o data cu dezvoltarea metodelor experimentale de verificare a ipotezelor, cercetarea a devenit din speculativa, stiintifica.

Snellius dovedeste in 1626 ca lumina se propaga in linie dreapta iar in 1637 Descartes enunta legile refractiei. Inceputul secolului al XVIII-lea este marcat de o dezvoltare exploziva mai ales a opticii geometrice, prin lucrarile fundamentale ale lui Gauss si Lagrange. Newton sustinea natura corpusculara a luminii si se baza pe caracterul rectiliniu al propagarii luminii si pe legile reflexiei, pe care le asemana cu ciocnirea corpurilor. Teoria lui Newton nu putea insa explica fenomenele de interferenta, difractie sau de polarizare. In 1679 Huygens a emis teoria ondulatorie, in baza datelor experimentale: lumina este o consecinta a miscarilor vibratorii si se propaga prin unde; o radiatie monocromatica se datoreste unei miscari sinusoidale de perioada determinata, caracteristica radiatiei; undele luminoase sunt transversale, adica normale pe directia de propagare. Maxwell arata in 1865 ca lumina se datoreste vibratiilor unui camp electric asociat cu un camp de inductie magnetica, perpendiculare intre ele, iar ansamblul acestor campuri constituie campul electromagnetic. Experientele lui Hertz si ale lui Marconi au confirmat previziunile teoretice ale lui Maxwell.

In spectrul undelor electromagnetice deosebim:

Tip radiatie	Lungime de unda	Domeniu de interes
Radiatii hertziene	15 km - 0,1 m	Telecomunicatii
Radiatii infrarosii	4 - 0,75 micrometrii	Optica generala
Radiatii vizibile	0,75 - 0,4 micrometrii	
Radiatii ultraviolete	0,4 - 0,01 micrometrii	
Radiatii X	200 - 0,005 Angstrom	
Radiatii gamma	sub 0,005 Angstrom	Fizica nucleara

Radiatia vizibila este acea parte din spectrul de radiatii care impresioneaza retina ochiului uman si care determina senzatia vizuala. Lumina poate ajunge la ochi fie direct de la corpuri generatoare de lumina (numite surse de lumina) fie de la corpuri care reflecta lumina. In natura, marea majoritate a corpurilor reflecta lumina primita. In absenta luminii, atat vederea cat si fotografia ar fi imposibile.



Spectrul luminii vizibile

Radiatia luminoasa ce contine unde cu o singura lungime de unda poarta numele de radiatie monocromatica.

In prezent lumina este definita ca o unda electromagnetica, ceea ce a dus la impartirea opticii generale in trei mari capitole:

a) **Optica geometrica** - studiaza fenomenele luminoase, in special de reflexie si de refractie, pe baza notiunii de raza de lumina care se propaga rectiliniu in medii omogene. Optica geometrica face abstractie de natura luminii.

b) **Optica ondulatorie** studiaza evenimente cum sunt difractia, interferenta si polarizarea luminii. Aceste fenomene se bazeaza pe caracterul ondulatoriu al radiatiei luminoase.

c) **Optica fotonica** studiaza evenimentele implicate de caracterul corpuscular al luminii, in special efectul fotoelectric.

Legile fundamentale ale opticii geometrice

Optica geometrica este un capitol al opticii generale, care studiaza mersul razelor de lumina prin diferite medii transparente.

La baza opticii geometrice stau legile opticii, cu ajutorul carora s-au putut construi diferite aparate optice, printre care aparatul de fotografiat, proiectorul, etc. Legile opticii geometrice fac abstractie de de caracterul ondulatoriu al luminii, cu toate ca, in fotografie, acest din urma caracter determina o serie importanta de evenimente (difractia, interferenta si polarizarea luminii).

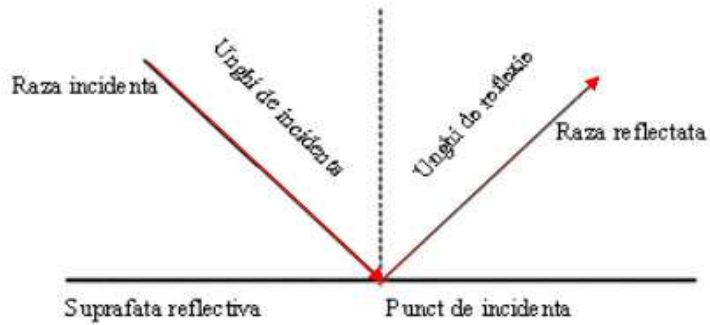
Legile fundamentale ale opticii geometrice au fost determinate in urma numeroaselor experimente si observatii. Impactul unei raze de lumina asupra unui obiect determina reflexie, refractie si absorbtie, in proportii diferite, dependente de mediul imergent si de mediul emergent.

Au fost identificate:

a) **Legea propagarii rectilinii a luminii** in medii omogene - demonstrata prin fenomenul de umbra. Segmentul de dreapta de-a lungul caruia se propaga lumina poarta numele de raza de lumina. Un grup de raze de lumina formeaza un fascicul de lumina. Daca toate razele de lumina se intalnesc intr-un punct, fasciculul este denumit convergent. Daca, invers, toate razele de lumina emerg dintr-un punct, fasciculul este divergent. Daca, in schimb, razele de lumina sunt paralele intre ele, fasciculul se numeste cilindric.

b) **Legea independentei mutuale si a inversiunii drumului optic** - arata ca parcursul unei raze de lumina este independent de actiunea altor raze si de sensul de propagare. Independenta mutuala se demonstreaza cu ajutorul camerei obscure (stenopa).

c) **Legile reflexiei** stabilesc comportamentul unei raze de lumina care ajunge la limita de separare dintre doua medii de propagare diferite, iar o parte din lumina se intoarce in mediul din care a venit (eveniment denumit reflexie). Punctul in care raza luminoasa atinge suprafata de separare poarta numele de punct de incidenta, in care raza incidenta vine sub un unghi (denumit unghi de incidenta) cu perpendiculara locului, iar raza intoarsa in mediul din care a venit poarta numele de raza reflectata.

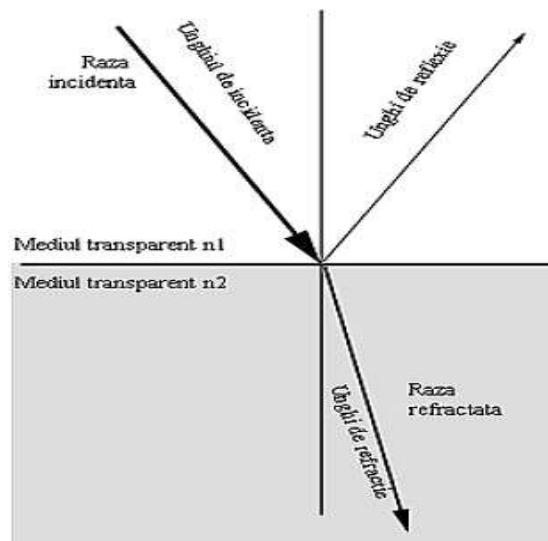


Reflexia luminii

d) Reflexia se face sub un anumit unghi ce se poate calcula si poarta numele de unghi de reflexie. Legile reflexiei sunt: i) raza incidenta, normala si raza reflectata se gasesc in acelasi plan; ii) unghiul de reflexie este egal cu unghiul de incidenta. Reflexia la nivelul unei suprafete perfect plane va determina ca un fascicul de raze paralele sa fie reflectat ca un fascicul de reflexie cu raze paralele. Reflexia razelor pe o sufrata cu mici denivelari determina imprastierea razelor reflectate in toate directiile (difuzia luminii). Reflexia difuza permite vederea si fotografierea obiectelor din mediu.

e) **Legile refractiei** se refera la comportamentul unei raze de lumina care trece dintr-un mediu omogen si transparent in alt mediu omogen si transparent, dar cu proprietati diferite. Se observa ca raza incidenta nu mai pastreaza directia din mediul imergent ci se frange. Aceasta schimbare de directie poarta numele de refractie iar unghiul dintre normala si raza refractata poarta numele de unghi de refractie. Refractia se supune urmatoarelor legi:

i) raza incidenta, normala si raza refractata se afla in acelasi plan;



Refractia luminii

ii) raportul dintre sinusul unghiului de incidenta si sinusul unghiului de refractie, pentru doua medii date, are o valoare constanta:

$$\sin(i)/\sin(r) = n$$

si poarta numele de **indice de refractie** al mediului al doilea fata de primul;

iii) indicele de refractie al unui mediu transparent fata de vid se numeste indice de refractie absolut;

iv) indicele de refractie al unui mediu n_2 fara de un mediu n_1 poarta numele de indice de refractie relativ si este egal cu raportul dintre indicii absoluti (n_2/n_1);

v) indicele de refractie este dependent de lungimea de unda (pentru radiatia vizibila: culoarea) a luminii incidente.

Mediul	Indicele de refractie (n)
Aer	1,003
Apa	1,33
Alcool etilic	1,36
Sare	1,54
Sulfura de carbon	1,63
Sticla crown	1,52
Sticla flint	1,76
Diamant	2,42
Vid	1,000

g) **Reflexia totala**. In cazul in care o raza de lumina se refracta dintr-un mediu mai dens optic intr-un mediu mai putin dens optic (de exemplu, din sticla in aer sau din apa in aer), unghiul de refractie este intotdeauna mai mare decat unghiul de incidenta si deci poate ajunge la valoarea de $\pi/2$ pentru o valoare $i(i$ mai mic decat $\pi/2$) a unghiului de incidenta. La valoarea i a unghiului de incidenta, raza este reflectata integral in mediul din care a venit. Unghiul i poarta numele de **unghi limita** iar fenomenul care se petrece in aceste conditii se numeste **reflexie totala**. Unghiul limita este dependent de indicele absolut de refractie al celor doua medii, conform ecuatiei:

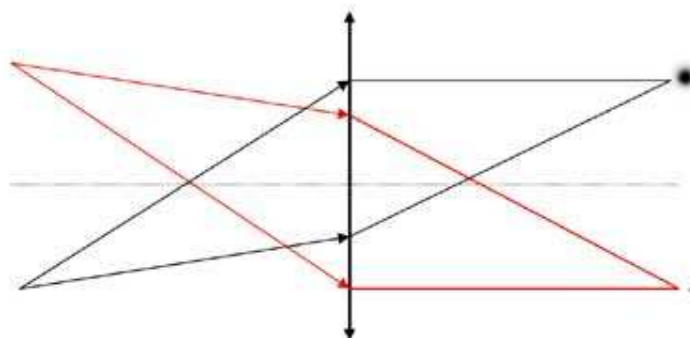
$$\sin(i) = n_2/n_1.$$

In consecinta, corpurile asupra carora cade lumina determina: reflexia, refractia si absorbtia radiatiei, fenomene ce au loc simultan. Reflexia poate fi dirijata (ca in cazul oglinzilor, utilizate inclusiv in aparatele foto reflex), sau difuza (reflexia se face in toate directiile, ceea ce permite vederea lor si inregistrarea in fotografii). Refractia poate fi, de asemenea dirijata (sticla, lentile) sau difuza (de exemplu geamul mat). Absorbtiia poate fi uniforma pentru toate lungimile de unda ale radiatiei luminoase (corp gri sau negru) sau selectiva (corpuri colorate).

Stigmatismul riguros si aproximativ Gauss

Diversele aparate optice permit omului sa perceapa detalii care ar fi invizibile cu ochiul liber si, prin intermediul aparatelor fotografice, sa le poata inregistra. Pentru a obtine insa imagini de calitate ridicata, imaginile trebuie sa fie cat mai clare.

Pentru formarea imaginii unui obiect este necesar ca pentru fiecare punct din spatiul-obiect sa existe un punct corespunzator pe imagine. Aceste perechi de puncte poarta numele de **puncte conjugate**. Daca pentru toate punctele din spatiul-obiect exista un punct corespunzator pe imagine, imaginea poarta numele de imagine stigmatica.

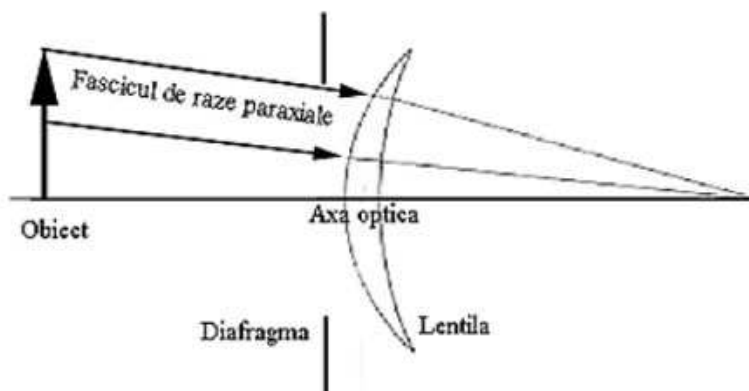


Stigmatismul riguros (rosu) si aproximativ (negru).

In practica, imaginea stigmatică este imposibil de obținut, datorită imperfecțiunilor inerente în construcția lentilelor și a obiectivelor. Fiecarui punct din spațiul-obiect (sau unei grupe de puncte învecinate) va corespunde în imagine o pată de difuziune.

Pe de altă parte, datorită structurii discontinue a ochiului dar și a peliculei fotografice, o imagine stigmatică are o limită atât la observație cât și la înregistrarea pe peliculă. De exemplu retina care este formată din celule de cca 5 micrometri diametru, înregistrează două puncte luminoase care se proiectează la o distanță mai mică decât această valoare, ca un singur punct luminos. În mod similar și pentru pelicula fotografică: rezoluția maximă posibilă pentru un anumit tip de peliculă este limitată de dimensiunea granulelor de halogenură de argint.

Din această cauză, în practica curentă se acceptă un stigmatism aproximativ. Studiind acest aspect, fizicianul Gauss a ajuns la concluzia că imaginile realizate de fascicule relativ înguste, vecine cu axa optică și față de care sunt relativ puțin înclinate, determină imagini suficient de stigmatice.



Modelul Gauss

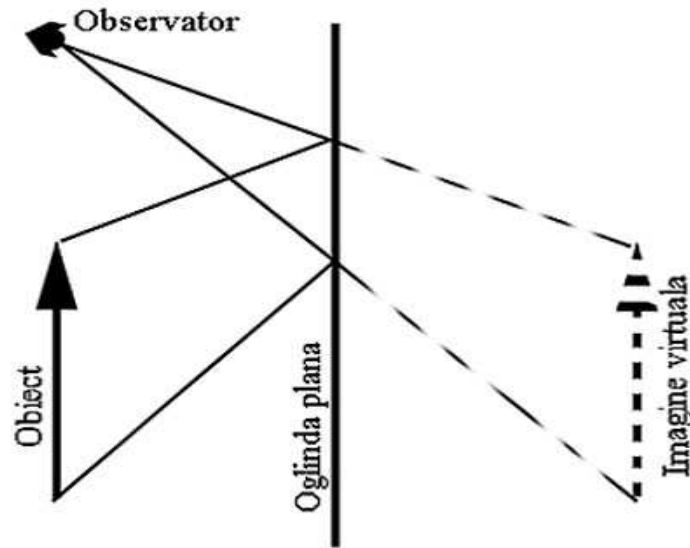
Aceste fascicule au fost denumite fascicule paraxiale, iar pentru obținerea lor s-a utilizat un paravan optic perforat în zona axei optice, denumit diafragma.

Oglinzi plane

O suprafață plană, foarte netedă, care reflectă în mod dirijat aproape integral lumina incidentă, poartă numele de oglindă plană.

Prin aplicarea legilor reflexiei se poate stabili că oglinzile plane determină formarea de

imagini virtuale, in care punctele din spatiul-imagine sunt localizate simetric fata de planul oglinzii, cu punctele din spatiul-obiect.



Constructia imaginii in oglinzi plane

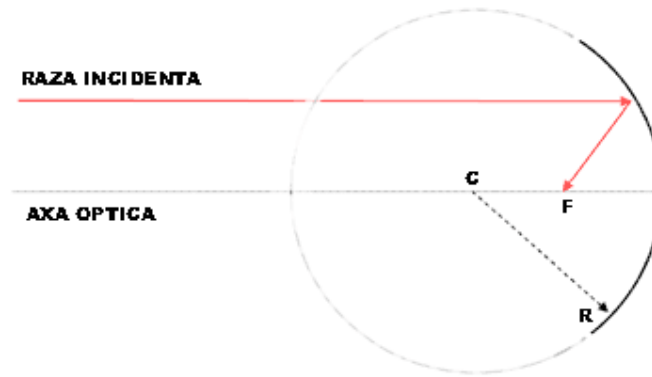
De asemenea, se poate demonstra ca oglinzile plane determina formarea de imagini drepte si egale cu obiectul.

Daca o oglinda plana se roteste cu un unghi α , raza reflectata se va roti cu un unghi 2α .

In fotografie, oglinzile plane sunt utilizate la aparatele foto SLR, unde au rolul de a devia fasciculul de raze care formeaza imaginea in vizor, in timpul incadrarii.

Oglinzi sferice

Oglinzile sferice sunt calote de sfera, foarte bine lustruite, de obicei metalizate, care reflecta practic toata lumina ce cade asupra lor. Daca suprafata reflectanta este interiorul sferei, poarta numele de **oglinza concava**, iar daca este partea exterioara a sferei, poarta numele de **oglinza convexa**. Centrul sferei in care se inscrie calota poarta numele de **centru de curbura**, iar polul calotei ce constituie oglinda, se numeste **varful oglinzii**. Dreapta care trece prin centrul de curbura si prin varful oglinzii se numeste **ax optic principal**, spre deosebire de celelalte drepte care trec doar prin centrul de curbura al oglinzii si care se numesc **axe optice secundare**.



Reflexia in oglinzi sferice

Focarul principal al unei oglinzi sferice concave, este punctul de pe axul optic principal in care converg, dupa reflexie, toate razele care au venit spre oglinda in mod paralel fata de axul optic principal (de la infinit).

Focarul este numit "real" daca razele de lumina converg si se intalnesc in punctul respectiv. Focarul virtual apare in cazul oglinzilor convexe, de pe care razele reflectate pornesc difergent. Focarul acestor oglinzi se determina prin prelungirea razelor reflectate in partea opusa a suprafetei. Intrucat razele de lumina reflectate nu trec prin acest punct, focarul poarta numele de focar "virtual".

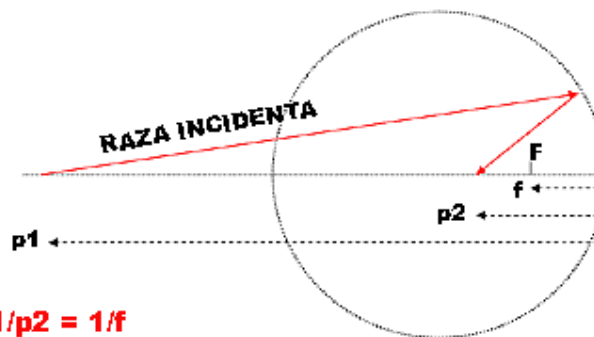
Oglinzile concave au un focar real, in schimb, oglinzile convexe au focar virtual.

Distanța din varful oglinzii pana la focar poarta numele de **distanța focala**. Avind in vedere ca normala in punctul de reflexie al unei raze de lumina pe suprafata oglinzii este insasi raza de curbura si aplicind aproximatia lui Gauss, se poate demonstra ca distanța focala:

$$f = R/2$$

unde R = raza de curbura a oglinzii

De asemenea, se poate demonstra ca pentru grupe de fascule paraxiale, locul geometric al focarelor secundare este un plan perpendicular pe axul optic principal, de aceea denumit si **plan focal**.



$$1/p1 + 1/p2 = 1/f$$

Formula oglinzilor sferice concave

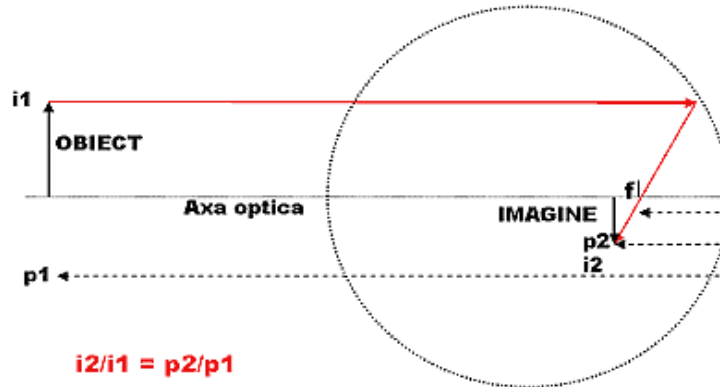
Se poate demonstra ca unui punct aflat la distanța p1 de varful oglinzii, ii corespunde un **punct conjugat** (in imagine), aflat la o distanța p2 de varf conform ecuatiei (punctelor conjugate):

$$1/p_1 + 1/p_2 = 1/f$$

unde f = distanta focala a oglinzii

De aici se poate observa ca pentru un punct aflat la infinit, punctul conjugat va fi localizat in f , ceea ce exprima faptul ca focarul este punctul de pe axul optic in care converg toate razele provenite de la un punct situat pe axul optic si localizat la infinit.

Sa consideram acum un obiect real O , de inaltime i_1 , aflat in fata unei oglinzi concave, intre centru si infinit, la distanta p_1 . Se cere sa se afle la ce distanta se va forma imaginea obiectului O si cat va fi de mare in raport cu inaltimea i_1 .

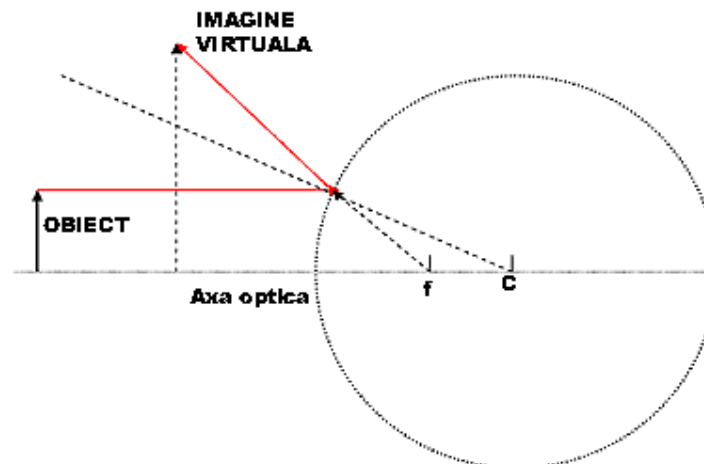


Marirea transversala in oglinzile concave

Din figura de mai sus si din aplicarea ecuatiei punctelor conjugate, se poate demonstra ca:

$$i_2/i_1 = p_2/p_1$$

Raportul i_2/i_1 poarta numele de marire liniara si este foarte util in macrofotografie. Raportul este subunitar daca obiectul este situat dincolo de centrul de curbura, este unitar daca obiectul este situat chiar in centrul de curbura si supraunitar daca este intre centrul de curbura si focarul oglinzii.

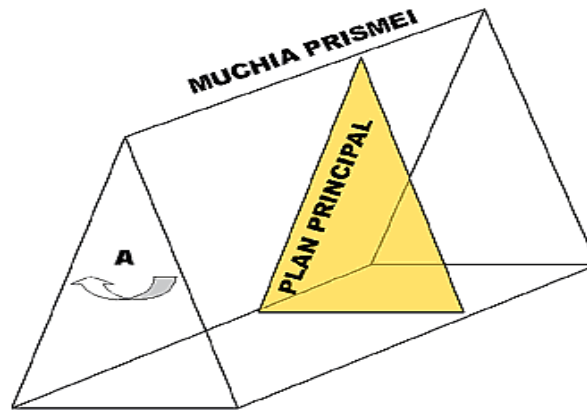


Reflexia in oglinzile convexe

In ceea ce priveste oglinzile convexe, cele de mai sus raman valabile, cu singura deosebire ca imaginea obtinuta este virtuala, iar in ecuatia punctelor conjugate distanta de la oglinda la imaginea virtuala se introduce cu semnul minus (-).

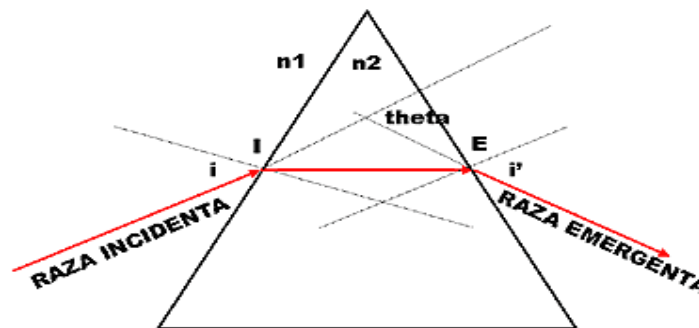
Prisma optica

O prisma optica este un mediu transparent marginit de doua fete plane (deocamdata baza prisme nu ne intereseaza). Muchia de intersectie ale celor doua fete ale prisme poarta numele de **muchia prisme**, iar unghiul diedru dintre cele doua fete ale prisme poarta numele de unghi al prisme sau **unghi de refringenta**, care se noteaza cu **A**. Orice plan de sectiune perpendicular pe muchie poarta numele de **plan principal**.



Elementele prisme optice

Sa consideram cazul in care o raza incidenta monocromatica, continuta in planul principal, care intra din aer sau vid (caracterizat de un indice de refractie n_1), in masa prisme (al carui indice de refractie n_2 este intotdeauna mai mare ca n_1), intr-un punct numit punct de incidenta, I, sub un unghi de incidenta i in raport cu normala. In punctul I, raza de lumina va fi deviata, mai aproape de normala, conform legilor de refractie.

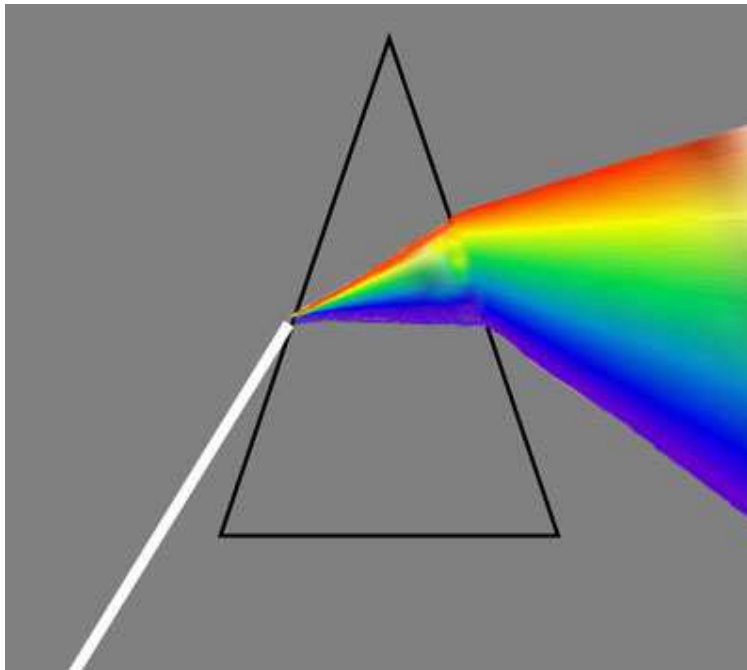


Refractii prin prisma optica

La nivelul interfetei de emergenta E, dintre a doua fata si aer, datorita raportului dintre indicii de refractie, raza emergenta sufera o noua refractie, de aceasta data insa se va indeparta de normala, sub un unghi de emergenta i_B , rezultind o raza emergenta deviata cu un unghi total theta.

Pana acum am analizat comportamentul unei raze monocromatice. Daca raza incidenta de

lumina este lumina alba (de exemplu de la Soare sau de la un arc electric), la nivelul fetei de incidenta, refractia se va face, dupa cum am mentionat mai sus, in functie de indicele de refractie al mediului. De asemenea cunoastem ca indicele de refractie este dependent de lungimea de unda, adica mai mare pentru radiatia albastra si mai mic pentru radiatia rosie, pentru sticla obisnuita. Prin urmare, la aceasta interfata, lumina alba incidenta va fi descompusa in raze de lumina monocromatice, fenomen accentuat la traversarea fetei de emergenta.



Descompunerea luminii albe solare prin prisme

Daca razele emergente vor fi captate pe un ecran alb, se vor observa pete colorate in culorile curcubeului iar trecerea de la o culoare la alta facindu-se in mod continuu (spectru coontinuu).

Pe ecran spectrul va apare rosu in partea superioara si albastru in partea inferioara, adica radiatia rosie va fi cel mai putin deviata, iar cea albastra va fi cel mai mult deviata. Acest comportament apare la marea majoritate a mediilor refractive iar acest tip de dispersie poarta numele de **dispersie normala**.

Acest fenomen sta la baza aberatiei cromatice a lentilelor si obiectivelor. Atenuarea aberatiilor cromatice se realizeaza prin utilizarea unui tandem format din lentile convergente + divergente lipite, compuse din sticla crown si flint.

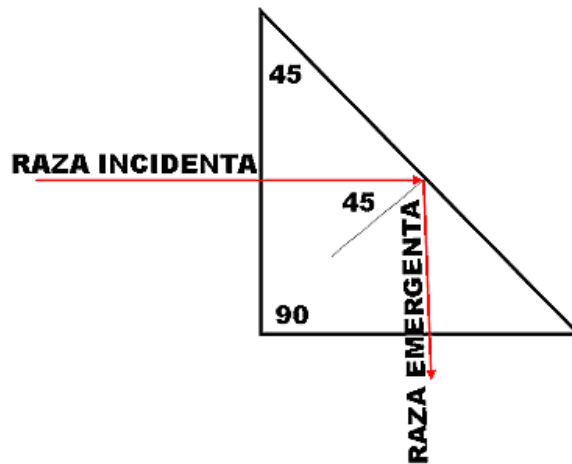
Indicii de refractie abosuluti ai sticlei pentru radiatii monocromatice

Sticla tip	Indici de refractie (n) pentru radiatia de culoare:		
	Rosie	Galbena	Violeta
Crown	1,504	1,507	1,521
Flint	1,612	1,621	1,671

Exista medii optice (iodul, fuxina, sticle speciale) al caror indice de refractie scade proportional cu scaderea lungimii de unda, adica razele rosii se refracta mai mult, iar cele albastre mai putin, eveniment denumit **dispersie anormala**. Utilizarea de lentile construite din sticla cu dispersie anormala permite rezolvarea simpla si eleganta a aberatiilor cromatice la obiectivele moderne.

Reflexia totala in prisme

Avind in vedere ca raza emergenta iese dintr-un mediu optic mai dens intr-un mediu optic mai putin dens, exista posibilitatea aparitiei in planul de emergenta a reflexiei totale. Sa luam urmatorul exemplu: o prisma din sticla ($n \sim 1,5$) cu sectiunea triunghi dreptunghic isoscel, asupra careia raza incidenta vine perpendicular pe una dintre catete.



La nivelul ipotenuzei, unghiul de incidenta depaseste unghiul limita (reamintim ca pentru sticla, $i \sim 42$ grade), deci raza incidenta va fi complet reflectata spre a doua cateta, unde va cadea tot perpendicular (unghi de incidenta nul) si, ca urmare, va iesi deci nedeviate la acest nivel. O astfel de prisma deviaza raza de lumina cu 90 grade si poarta numele de prisma cu reflexie totala (ca o oglinda).

Folosind sticle cu formule speciale, fenomenul reflexiei totale este utilizat la aparatele foto reflex monoobiectiv (SLR) pentru redresarea imaginii in vizor, printr-o constructie dedicata denumita pentaprisma.

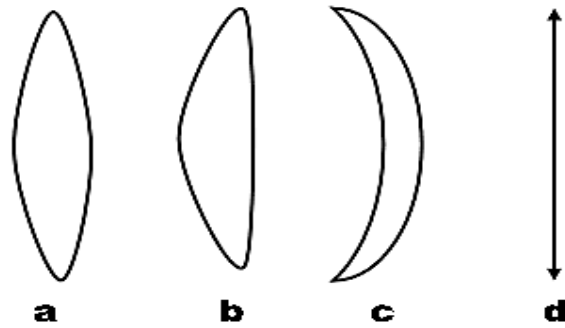
Lentilele-introducere

1. Introducere

Lentilele sunt medii transparente, de regula din sticla, limitate de doua calote sferice sau de o calota sferica si un plan. Daca o suprafata de delimitare este o calota elipsoidala, lentila se numeste asferica.

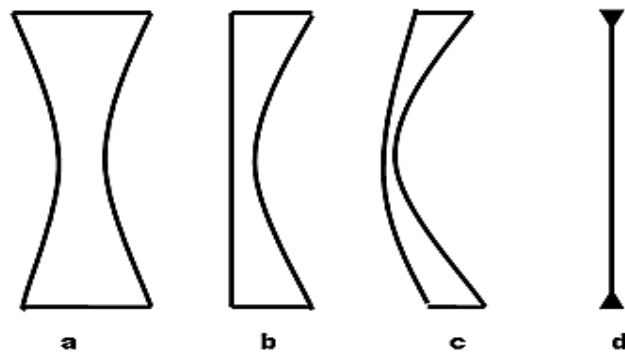
In functie de modul in care sunt deviate razele luminoase de care sunt traversate, lentilele se impart in lentile convergente si divergente.

Lentilele convergente sunt mai groase la mijloc decat la margini, iar un fascicul de raze paralele ce traverseaza lentila, devine convergent spre un punct denumit punct focal.



Lentile convergente: a - biconvexa, b - plan-convexa, c - menisc convergent, d - schema lentilelor convergente.

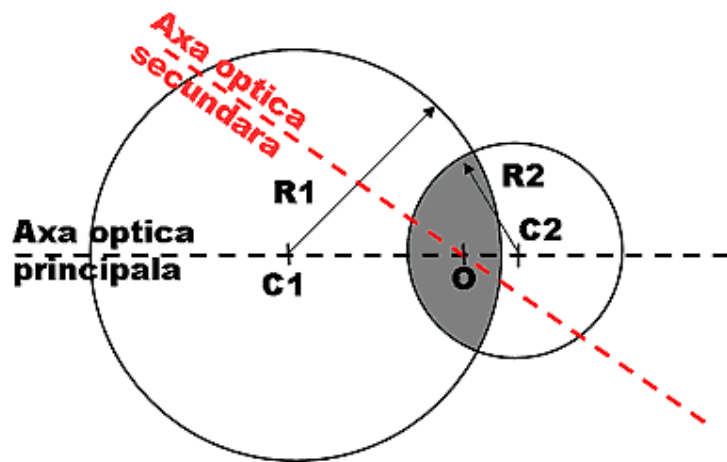
Lentilele divergente sunt mai subtiri la centru fata de margini iar un fascicul de raze paralele care o traverseaza devine divergent.



Lentile divergente: a - biconcave, b - plan-concave, c - menisc divergent, d - schema lentilelor divergente.

Unei lentile i se disting urmatoarele **caracteristici**:

- centre de curbura - centrele C_1 si C_2 ale celor doua calote sferice;
- razele de curbura ale sferelor, R_1 si R_2 ;
- axa optica principala este dreapta ce uneste centrele de curbura ale celor doua calote sferice;
- centrul optic O al unei lentile este punctul situat pe axa optica si care se caracterizeaza prin faptul ca raza de lumina ce trece prin acest punct nu este deviata de la directia sa ci doar deplasata;
- orice dreapta care trece prin centrul optic se numeste axa optica secundara.



Elemente geometrice ale unei lentile

Aproximatiile lui Gauss

Studiul lentilelor se simplifică pe baza aproximațiilor lui Gauss, care enunță:

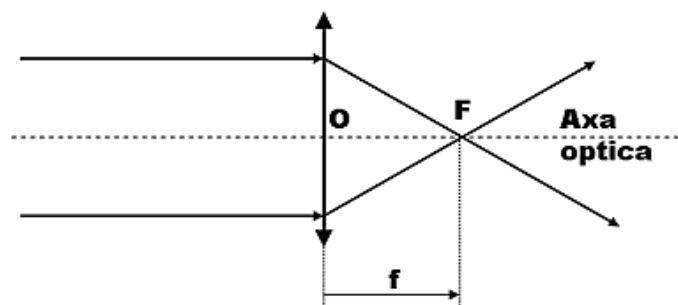
- lentilele sunt subțiri, dacă grosimea lor pe axa principală este neglijabilă în raport cu raza de curbura;
- unghiul de deschidere al calotei sferice este mic (10 - 15 grade)
- unghiurile formate de razele luminoase cu axa principală sunt mici, adică razele sunt paraxiale.

Lentilele- focarul, plan focal, distanța focală

Focarul lentilelor

Se poate dovedi experimental că un fascicul de raze paralele cu axa optica principală ce cade pe o lentilă convergentă, este deviat convergent și că toate razele emergente converg într-un punct F, situat tot pe axa optica, punct denumit **focar principal**.

Deoarece razele de lumină trec efectiv prin acest punct, imaginea poate fi captată pe un ecran, iar acest punct poartă numele de **focar real**.

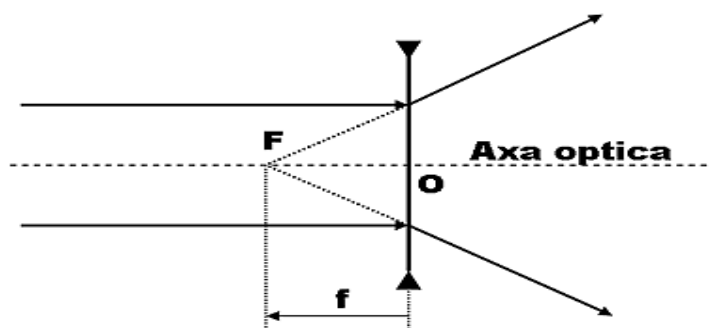


Locul geometric al focarului unei lentile convergente

Daca razele sosesc din partea opusa (din dreapta, in schema de mai sus), desigur, ele vor converge in partea stanga, intr-un punct focal, F' denumit **focar secundar**, situat la aceeași distanță f , fata de centrul optic al lentilei.

Daca lentila este divergenta, razele emergente vor avea traiectorie divergenta la iesirea din lentila, in asa fel incat prelungirile lor se vor intalni intr-un focar F situat in aceeași parte cu cea din care au venit.

Deoarece razele emergente nu trec efectiv prin acest punct F , el nu poate fi captat pe ecran și de aceea poarta numele de **focar virtual**.



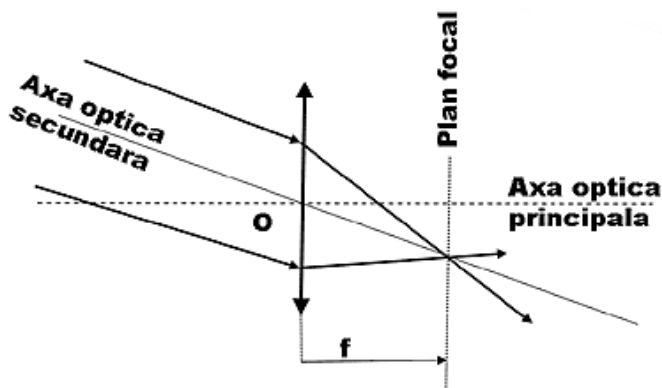
Locul geometric al focarului unei lentile divergente

Prin urmare, lentilele subtiri convergente posedă două focare principale reale F și F' , simetrice și egal distanțate fata de centrul optic, dacă lentila se afla într-un mediu omogen. De asemenea, o lentila divergenta are două focare virtuale, simetrice in raport cu centrul optic.

Distanța de la centrul optic la focarele principale poartă numele de **distanța focală**:

$$f = OF$$

Dacă se modifică direcția fascicului incident, adică razele vin pe o axa optica secundara, in limitele aproximatiilor lui Gauss, focalizarea se va realiza într-un focar secundar.



Locul geometric al planului focal la lentilele convergente

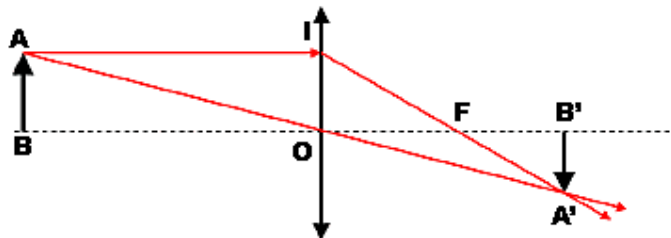
Se pot obtine o infinitate de focare secundare, in functie de inclinatia și direcția fascicului incident. In optica geometrica, totalitatea focarelor secundare se afla într-un plan, normal pe axa optica principala de care este intepat la o distanță f fata de centrul optic.

Cum se construiesc imaginile printr-o lentila?

Fie o lentila convergenta subtire, cu distanta focala cunoscuta $f = OF$ si un obiect liniar AB , asezat perpendicular pe axa optica a lentilei, cu punctul B pe axa.

Se poate construi geometric imaginea obiectului AB , adica segmentul $A'B'$, daca se tine cont de comportamentul razelor luminoase ce traverseaza lentilele:

- raza luminoasa AO trece prin centrul optic si deci traverseaza lentila nedeviate;
- raza luminoasa AI este paralela cu axa optica si dupa traversarea lentilei, va fi refractata prin focarul F .

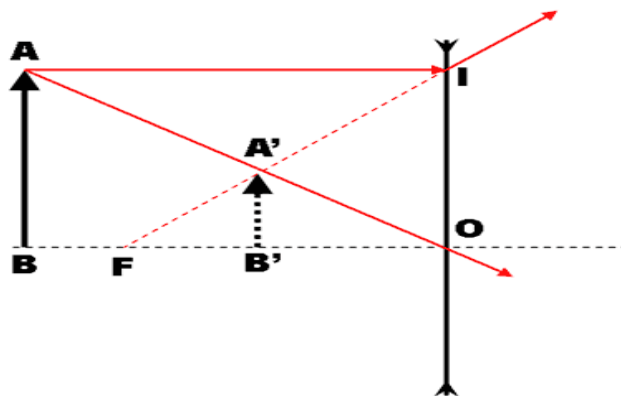


Constructia geometrica a imaginii prin lentile convergente

Proiectia punctului A in planul focal, punctul A' se afla la intersectia celor doua raze luminoase emergente din lentila (IFA' si respectiv AOA'). Punctul B' este situat pe axa optica, in mod similar cu punctul B , si se obtine prin coborarea unei perpendiculare din punctul A' pe axa optica. Segmentul $A'B'$ reprezinta imaginea obiectului AB , prin lentila.

In functie de raportul dintre segmentul BO si distanta focala, se disting urmatoarele cazuri:

- BO foarte mare in raport cu distanta focala (se poate considera ca, practic, tinde catre infinit): imaginea se formeaza in planul focal, este rasturnata si foarte mica;
- BO mai mare decat $2*f$: imaginea se formeaza intre f si $2*f$, este reala, rasturnata si mai mica decat obiectul;
- punctul B situat intre $2*f$ si f : imaginea este situata dincolo de $2*f$, este reala, rasturnata si mai mare decat obiectul;
- punctul B este situat in focarul F' : imaginea este situata la infinit, este reala, rasturnata si mai mare decat obiectul;
- punctul B este situat mai aproape de lentila decat F' : imaginea este situata de aceeaasi parte cu obiectul, virtuala, dreapta si mai mare decat obiectul (efect de lupa).

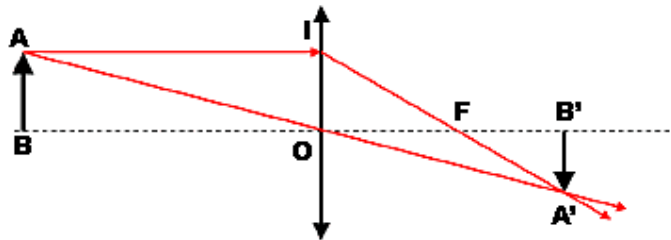


Constructia geometrica a imaginii prin lentile convergente

In lentilele divergente, imaginea se constiuiește în mod similar, cu singura deosebire ca aceasta se afla la intersecția prelungirii razei refractate cu raza directă AO, ce merge spre centrul optic al lentilei. Aceasta se traduce prin faptul ca imaginea este virtuala, adica nu poate fi captata pe un ecran.

Formulele lentilelor

Fie urmatoarea schema optica.



Daca se considera $BO = p$, $OB' = p'$ și $OF = f$, se poate demonstra formula lentilelor:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

unde p = distanta obiect-lentila
 p' = distanta lentila-imagine
 f = distanta focala a lentilei.

In formula de mai sus, semnele algebrice ale valorilor sunt:

- p are semn pozitiv daca obiectul este real
- p are semn negativ daca obiectul este virtual
- p' are semn pozitiv daca imaginea este reala
- p' are semn negativ daca imaginea este virtuala
- f are semn pozitiv daca lentila este convergenta
- f are semn negativ daca lentila este divergenta.

Marirea transversala este un raport între dimensiunea imaginii și dimensiunea obiectului. Dacă în figura de mai sus se notează: $OB = p$ și $OB' = p'$, atunci marirea transversala (notată cu litera grecească beta β):

$$\beta = \frac{A'B'}{AB}$$

Și dacă se consideră și sensul imaginii (pozitiv dacă este dreapta, sau negativ dacă este rasturnată), rezultă mai departe:

$$\beta = - \frac{p'}{p}$$

Convergența unei lentile subțiri este egală cu inversul distanței sale focale și se măsoară în dioptrii. O dioptrie este, prin urmare, puterea de convergență a unei lentile cu distanța focală de 1 metru:

$$C = \frac{1}{f}$$

Pentru un sistem optic format din doua lentile lipite (I1 cu distanta focala f1 si I2 cu distanta focala f2), se poate demonstra ca distanta focala a ansamblului, f este:

$$1/f = 1/f1 + 1/f2$$

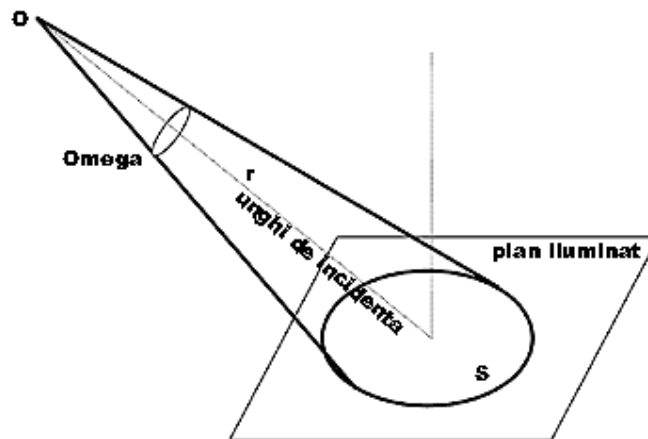
Sau, prin utilizarea formulei convergentei:

$$C = C1 + C2$$

Fotometria

Fotometria se ocupa cu masurarea intensitatii luminoase, prin intermediul senzatiei de lumina provocate asupra ochiului uman.

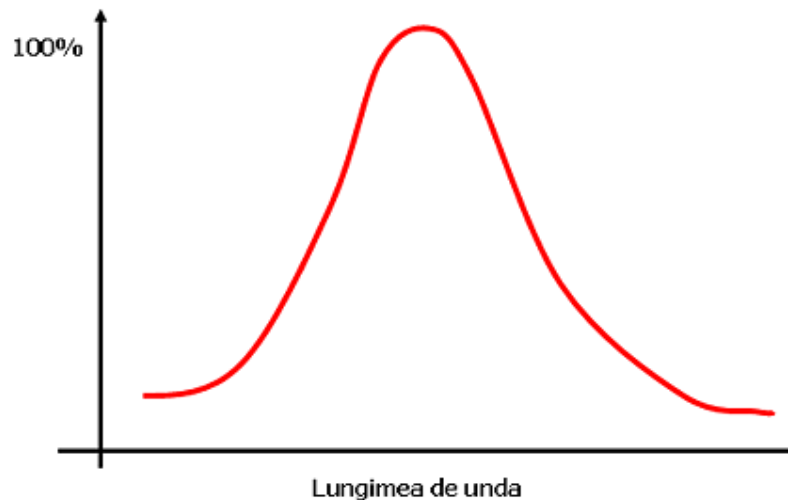
O raza de lumina transporta energie. Energia transportata in unitatea de timp, pe o anumita suprafata, poarta numele de flux de energie radianta si are dimensiunile unei puteri, care se masoara in watti.



Fluxul de energie radianta

Doua raze de lumina care transporta aceeasi putere (au acelasi flux radiant) dar care se caracterizeaza prin lungimi de unda (culori) diferite, produc senzatii diferite la nivelul ochiului, deoarece acesta nu este la fel de sensibil la toate lungimile de unda.

De exemplu, radiatia verde produce o senzatie de lumina de circa 6 ori mai puternica decat lumina rosie, in schimb, radiatia infrarosie cu lungime de unda peste 760 nm sau radiatia ultravioleta cu lungime de unda sub 400 nm nu produc senzatie de lumina.



Sensibilitatea spectrala relativa a ochiului uman

Aceasta particularitate a vederii umane sta la baza modelului Bayer de filtre colorate aplicate la senzorii camerelor foto digitale, ce contin un numar dublu de filtre verzi, in comparatie cu filtrele rosii sau verzi.

Conform definitiei date de Comisia Internationala pentru Iluminat (C.I.E.), **fluxul luminos** este un flux de energie radianta evaluat in functie de senzatiile vizuale si se masoara in lumeni. Un lumen este definit ca fluxul luminos emis de un izvor punctiform de 1 candela pe 1 steradian.

Intensitatea luminoasa se masoara in candelale; o candela se defineste ca 1/60 din lumina emisa pe directie normala de pe o suprafata de 1 cm patrat de catre un corp absolut negru adus la temperatura de solidificare a platinei. Steradianul este unitatea de masura a unghiului solid.

Luminanta reprezinta intensitatea luminoasa emisa de surse nepunctiforme. Luminanta se masoara in niti (nt) si care reprezinta candelale (cd) pe unitatea de suprafata (metru patrat) sau in stilbi (sb) care reprezinta candelale (cd) pe cm. patrat.

Iluminarea masoara fluxul luminos ce cade uniform pe o suprafata data si se masoara in lucsi:

$$1 \text{ lux (lx)} = 1 \text{ lumen} / 1 \text{ m.p.}$$

Se mai utilizeaza ca unitate de masura si photul (1 lumen/1 cm. patrat).

Eficacitatea luminoasa reprezinta randamentul cu care o sursa de lumina transforma puterea consumata in lumina si se masoara in lumeni pe wattii consumati. De exemplu, becurile casnice cu incandescenta au o eficacitate luminoasa intre 7 si 15 lumeni/W iar becurile cu fluorescenta (descarcari in gaze) au o eficacitate de circa 50 lumeni/W. Raportul intre puterea emisa sub forma de radiatie vizibila si puterea totala consumata reprezinta randamentul de radiatie vizibila. Randamentul este mai mic in cazul becurilor cu incandescenta (a caror emisie este majoritar in domeniul infrarosu), de numai 5% si mai mare, de pana la 20% in cazul becurilor cu fluorescenta. La randul ei, radiatia vizibila determina senzatiile de intensitati variabile la nivelul ochiului: mai slabe la extremitatile intervalului 400 - 760 nm si mai puternice in centrul intervalului, cu un maxim pentru 500 - 520 nm, corespunzatoare culorii verde-galbuie.

Pelicula fotografica nesensibilizata (cod U) reactioneaza mai puternic la radiatia luminoasa cu lungime mica de unda (ultraviolet si albastru), complet diferit fata de ochiul uman. Prin adaugarea de sensibilizatori s-au obtinut **pelicule ortocromatice** (cod O), cu o sensibilitate similara ochiului, mai putin la radiatia rosie, si **pancromatice** (cod P), cu o sensibilitate corectata pentru rosu dar usor deficitara pentru verde. Pelicula fotografica sensibila in domeniul infrarosu (cod I) este sensibila la toate radiatiile luminoase, de la ultraviolet pana la infrarosul apropiat (cca 800 nm).

Optica ondulatorie.

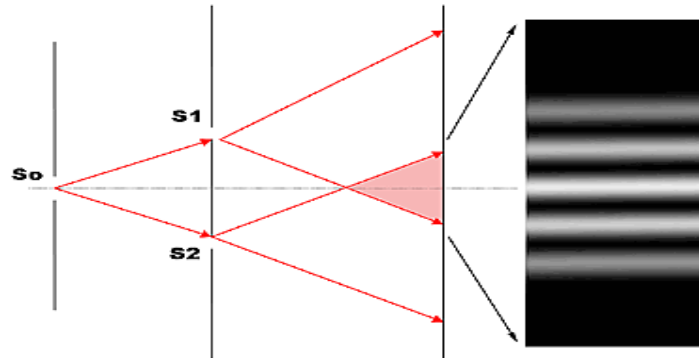
Interferenta

Interferenta demonstreaza caracterul de unda al luminii si este explicata prin fenomenul de compunere a doua unde. Intensitatea de vibratie a luminii este proportionala cu cantitatea de energie, ceea ce se traduce prin amplitudinea vibratiei.

Doua raze luminoase ce cad asupra unui punct, vor determina o intensitate de vibratie ce poate fi, in linii mari, suma intensitatilor (de aceea denumit si maxim), daca undele sunt in aceeasi faza (sinfazate) sau diferenta intensitatilor (denumit si minim), daca undele se afla in antifaza.

In situatia in care cele doua izvoare luminoase emit unde cu aceeasi amplitudine ($a_1 = a_2 = a$), in cazul in care vor fi sinfazate, suma va fi egala cu $2 \cdot a$ iar in cazul in care vor fi in antifaza, rezultatul va fi 0 (minim nul).

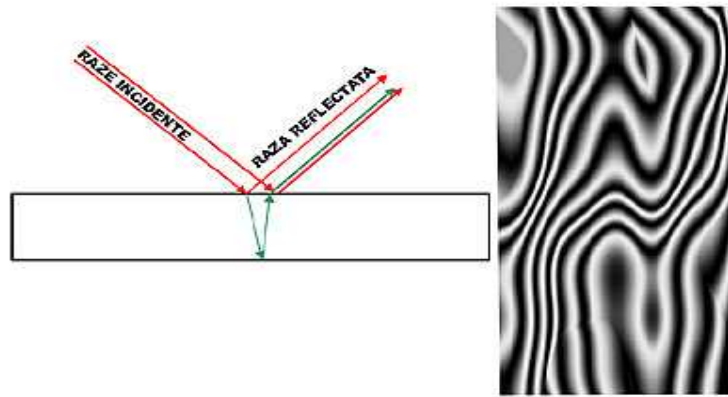
Cercetatorul Young a conceput in 1802 un model experimental care demonstreaza interferenta, utilizind o sursa punctuala de lumina S_0 , ce trimitea radiatia luminoasa catre doua fante lungi, paralele si inguste (doua izvoare coerente de lumina), S_1 si respectiv S_2 , iar rezultatul era observat pe un panou de proiectie, unde apare sub forma unor benzi inguste luminoase alternind cu benzi intunecoase.



Schema dispozitivului Young

Benzile luminoase corespund interferentei a doua unde sinfazate, iar cele intunecoase interferentei a doua unde in antifaza.

Fenomenul interferentei apare si in lamele subtiri. O raza de lumina incidenta va fi partial reflectata pe suprafata anterioara a lamei si partial refractata. Raza refractata, va calatori pana la suprafata posterioara a lamei unde, din nou, va fi in parte reflectata spre suprafata anterioara, de unde (partial) va trece inapoi in mediul din care a venit. In acest mod apar doua raze coerente: prima, reprezentata in schema de mai jos in culoare rosie, rezultata in urma reflexiei si a doua, reprezentata in schema de mai jos in culoare verde, care a suferit doua refractii si o reflexie. Intre cele doua raze apare o diferenta de drum optic, capabil sa determine interferenta, cu aparitia de maxime si minime.



*Interferenta in lame subtiri
(schema si rezultat)*

Se poate calcula, in functie de lungimea de unda a radiatiei incidente, grosimea lamei pentru a obtine un minim. Acest fapt sta la baza utilizarii straturilor antireflex la obiectivele moderne: pe suprafatele lentilelor se depun lame subtiri de fluoruri, a caror grosime este calculata in asa fel incat diferenta de drum optic sa determine anulara undelor reflectate pentru o anumita lungime de unda. Producatorii depun mai multe straturi (in general patru) de grosimi calculate sa anuleze reflexii pe mai multe lungimi de unda (MultiCoated - MC), mergandu-se pana la 11 straturi (Fuji).

Inelele lui Newton

O alta aparitie nedorita a fenomenului de interferenta survine la aparatul de marit, mai precis la nivelul ramei port-negativ care are geamuri de presiune.



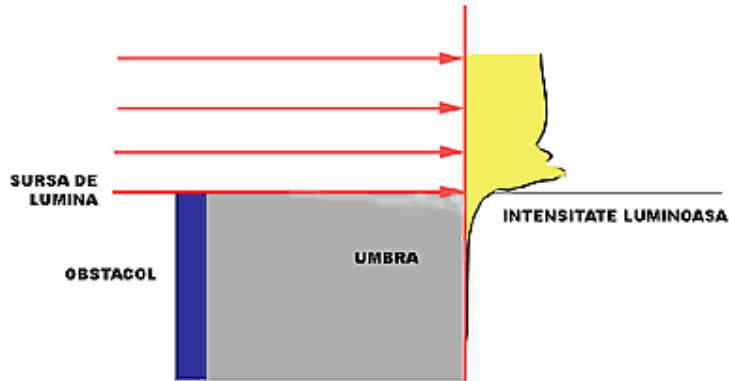
Inele Newton aparute in procesul de marire

Suprafata curba a negativului impreuna cu suprafata geamului de presiune determina formarea unei pene de aer cu o grosime suficient de mica sa produca franje de interferenta sub forma de inele deformate (inelele lui Newton) si care se pot observa pe masa de proiectie si implicit apar si pe copia pozitiva.

Difractia luminii

Daca lumina s-ar propaga sub forma unor raze rectilinii, ar trebui ca umbra unui corp opac iluminat cu un fascicul de raze paralele, sa fie net delimitata iar trecerea de la umbra (0%) la lumina (100%) sa se faca brusc.

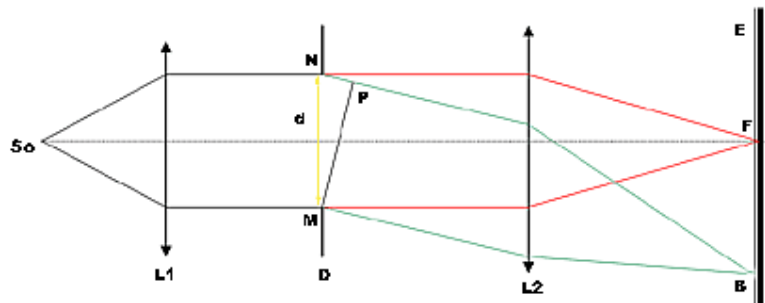
In realitate, trecerea nu este catusi de putin brusca! Zona intunecata incepe sa se lumineze treptat, inca inainte de linia de proiectie geometrica a corpului opac. Iar in zona de proiectie geometrica a regiunii luminate, apar o serie de zone alternativ mai intens si respectiv mai slab luminate.



Aparitia difractiei (schema)

Aceste fenomene sunt determinate de difractia luminii, iar zonele alternative mai intunecate si mai luminoase poarta numele de **franje de difractie**.

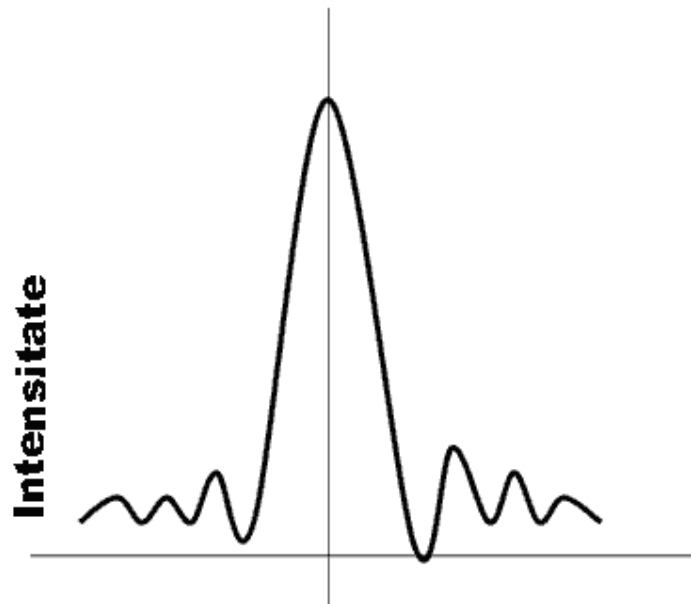
Difractia este importanta in fotografie deoarece apare la trecerea luminii printr-o fanta si anume diafragma obiectivului. In studiul difractiei, modelul experimental este chiar un obiectiv diaframat. O sursa de lumina S_0 , aflata in focarul lentilei L_1 , determina producerea unui fascicul de raze paralele care traverseaza o fanta D (diafragma) cu o deschiderea d . O a doua lentila, L_2 proiecteaza imaginea pe un ecran E . Conform principiului lui Huygens, diafragma devine sursa secundara de lumina si emite raze in toate directiile.



Aparitia difractiei in obiectivele diaframate

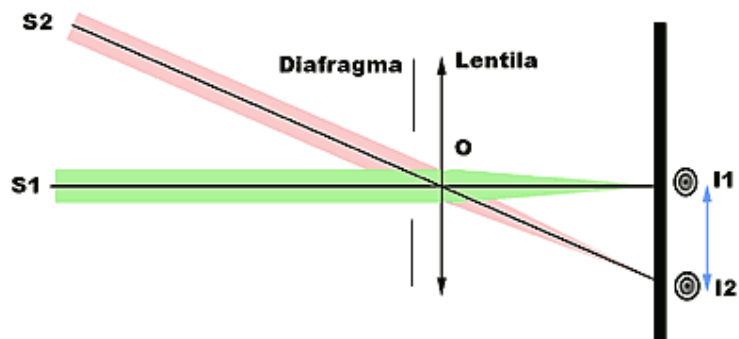
Analizind comportamentul razelor marginale (tangente la deschiderea d) care se proiecteaza in focarul lentilei L_2 , F , adica pe axa optica, observam ca nu impica diferente de drum optic si deci nu exista diferente de faza, iar imaginea proiectata va fi cea asteptata. Daca in schimb analizam imaginea proiectata in punctul B pe ecranul E , observam ca apare o diferenta de

drum optic între raza superioară BN și raza inferioară BM. Aceasta creează la nivelul ecranului E, în punctul B, o iluminare a cărei variație este redată aproximativ în figura de mai jos.



Se poate demonstra că difracția este proporțională cu lungimea de undă a luminii și invers proporțională cu deschiderea d .

Să luăm următorul exemplu: două surse luminoase S_1 și S_2 independente și situate la infinit, proiectează lumina lor asupra unei lentile care, la rândul ei, determină formarea a două imagini ale surselor, pe un ecran de proiectie.



Puterea de separare a unei lentile diafragmate

În conformitate cu legile din optica geometrică, cele două surse vor produce două imagini punctiforme, separate între ele. Datorită însă difracției, imaginile obținute sunt în realitate două pete, I_1 și I_2 , cu centrul mai luminos și cu periferia mai întunecoasă, conform celor afirmate mai sus. Dacă sursele sunt suficient de apropiate (unghiul S_1-O-S_2 foarte mic), cele două imagini se vor suprapune parțial; sub un anumit unghi pe care-l descriu cele două surse în raport cu centrul optic al lentilei, imaginile celor două surse, se vor suprapune până acolo încât se observă pe ecranul de proiectie o singură pată luminoasă, eliptică.

Capacitatea de a reproduce distinct doua surse diferite, poarta numele de **putere de separare unghiulara** (p.s.u.) a unui sistem optic si este determinat de formula:

$$\text{P.s.u.} = d / (0,61 * \lambda)$$

unde d = diametrul deschiderii diafragmei
si λ = lungimea de unda a radiatiei incidente

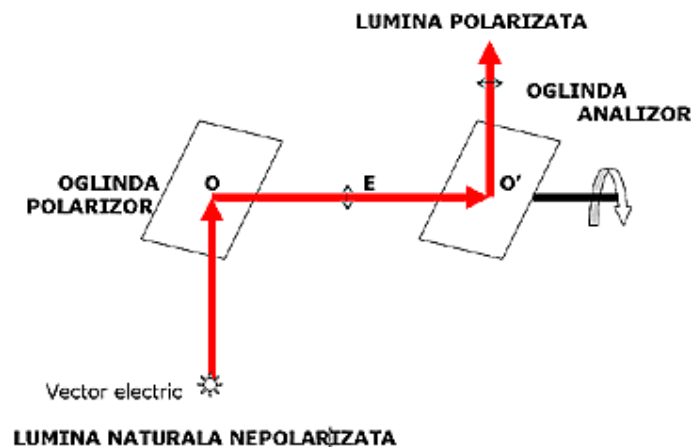
Aceasta explica de ce utilizarea unor diafragme mici in timpul expunerii fotografiei duce la alterarea imaginii. Desi prin diafragmare se foloseste zona paraxiala a lentilelor, mai buna din punct de vedere optic, aparitia difractiei inrautateste imaginea intr-o proportie mai mare.

Se poate arata ca difractia incepe sa altereze imaginea proiectata prin obiectivele destinate formatului 135 incepind cu valoarea relativa de $f:16$, iar, in cazul aparatelor foto digitale, unde focale mai mici impun deschideri absolute mai mici, la $f:11$ sau chiar $f:8$!

Polarizarea luminii

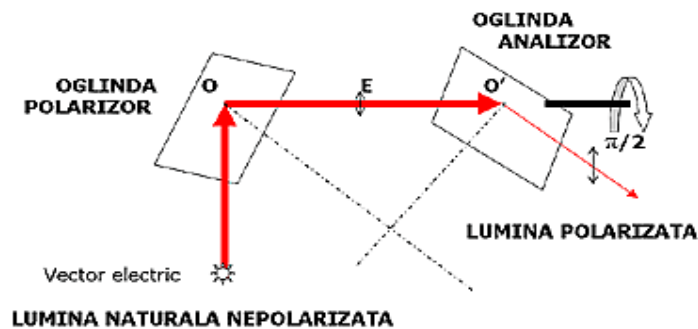
Pana in acest moment, a fost suficient sa stim ca lumina se manifesta ca o unda periodica, dar nu a contat daca oscilatiile sale sunt transversale - cu vectorul de miscare orientat perpendicular pe directia de propagare -, sau logitudinale - cu vectorul de miscare orientat pe directia de propagare.

Sa facem urmatorul experiment: o sursa de lumina naturala proiecteaza un fascicul de lumina R, pe o lama 1 de sticla plana, sub un unghi de incidenta de 57 grade, de unde se reflecta (in punctul O) spre o a doua lama de sticla, pe care cade sub un unghi de incidenta tot de 57 grade (de ce am ales aceste valori pentru unghiurile de incidenta, vom vedea mai tarziu), unde sufera o a doua reflexie (in punctul O'). Lama 2 poate fi rotita in axul razei R1 cu 360 grade. La inceputul experientei, planurile in care sunt situate cele doua lame de sticla sunt paralele. Experimental putem observa ca lumina este reflectata pe lama 2 nestingherit.



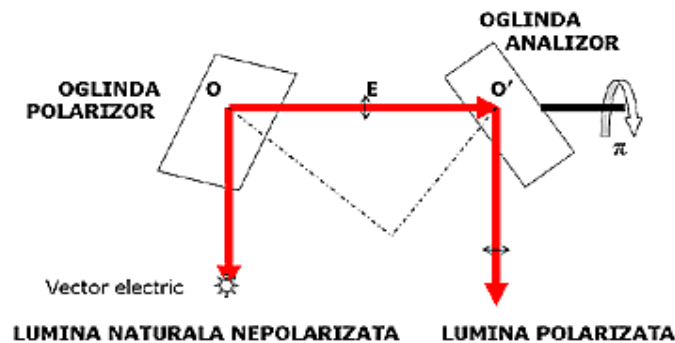
Model pentru studiul polarizarii

Daca incepem sa rotim lama 2, vom observa ca intensitatea razei reflectate R2 incepe sa diminueze treptat, pana la un minim corespunzator unei rotatii de 90 grade.



Rezultatul rotirii oglinzii analizoare cu 90 grade

Continund rotatia peste 90 grade, intensitatea incepe treptat sa creasca si atinge din nou valoarea maxima la o rotatie de 180 de grade fata de momentul de inceput al experimentului. Rotatia in continuare, cu inca 180 grade, determina evenimente similare.



Rezultatul rotirii oglinzii analizoare cu 180 grade

Cum se explica aceasta diminuare a intensitatii razei R2?

Putem sa eliminam de la inceput orice consideratii legate de variatia unghiurilor de reflexie, care se metin constante, conform modelului expus.

Ceea ce se modifica este orientarea planului de incidenta, care se roteste in jurul axei R1. Rezulta de aici ca fasciculul R1 nu are o structura omogena in jurul directiei de propagare. De aici se deduce ca lumina nu are oscilatii longitudinale, cum au de exemplu undele sonore, ci transversale pe directia de propagare, in mod similar cu o coarda vibranta. La nivelul coardei vibrante, vectorul de vibratie (elongatie) este totdeauna situat normal pe directia de propagare si localizat intr-un plan de vibratie. Orice alt plan nu contine vibratii ale corzii (undeii).

Revenind la experimentul nostru, putem deduce urmatoarele: fasciculul de lumina naturala R contine raze de lumina care vibreaza in toate planurile, nediscriminatoriu. Dupa prima reflexie, de la nivelul lamei L1, sunt reflectate doar acele raze al caror vector de vibratie sunt normale pe planul de incidenta. Acest tip de reflexie preferentiala poarta numele de **polarizare**, razele rezultante se numesc **polarizate** iar lama L1 se numeste si **polarizor**. In continuare, fasciculul de raze R1 contine raze de lumina ale caror vectori de oscilatie se afla intr-un singur plan. In prima etapa a experimentului, lama L2 are plan de incidenta identic cu L1 iar vectorii de vibratie ai R1 sunt normali si pe acest plan. Prin rotirea L2, unghiul dintre planul vectorilor de vibratie si planul de incidenta se reduce, pana la 0, ceea ce determina diminuarea in intensitate a fasciului reflectat R2, teoretic, pana la anulare. De

ce teoretic? Pentru ca la nivelul fiecarei lame de sticla o parte din raze sunt reflectate si de suprafata posterioara, ceea ce induce o modificare de faza a acestor raze. Fenomenul de polarizare nu a putut fi complet explicat decat dupa descoperirea naturii electromagnetice a luminii. S-a stabilit ca emisia luminii are loc la trecerea unui electron excitat, aflat pe un strat superior, pe un strat inferior, cu emisia unei cuante de lumina, care oscileaza intr-un anumit plan, deci este polarizata. Dar emisia de lumina are loc in masa, unde numerosi atomi emit simultan cuante de lumina, fiecare cunata cu planul ei de oscilatie, astfel incat fasciculul de lumina emisa oscileaza nepreferential, in toate planurile. Studiind unghiul de incidenta al razei R asupra lamei L1 s-a observat ca raza reflectata R1 este polarizata intr-o proportie dependenta de unghiul de incidenta dar si de indicele de refractie al celor doua medii, in cazul nostru aerul si sticla, conform relatiei:

$$\tan(i) = n_2/n_1$$

Unde n_1 si n_2 sunt indicii de refractie ai aerului si respectiv sticlei. Pentru sticla obisnuita ($n_2 = 1,33$), unghiul de incidenta pentru ca raza reflectata sa fie total polarizata, este de 57 grade, fapt aratat prima data de catre Brewster.

Optica fotonica

1. Efectul fotoelectric

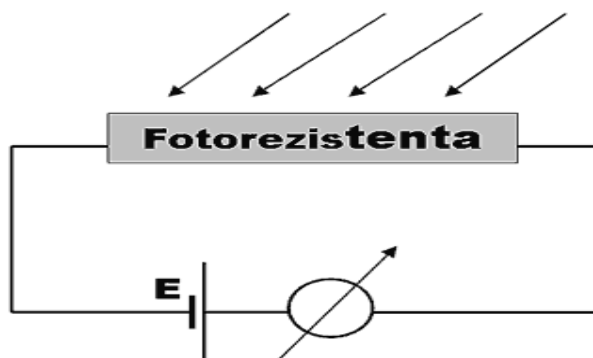
Campul electromagnetic al undelor luminoase interactioneaza cu substantele asupra carora se proiecteaza. Interactiunea consta din transferul energiei asupra particulelor subatomice, in special asupra electronilor. Electronii pot primi suficienta energie si care depaste fortele de atractie atomice, iar electronul paraseste substanta. Acest electron poarta numele de **fotolelectron** iar emisia este denumita **emisie fotolelectronica** sau **efect fotoelectric extern**.

S-a constatat experimental ca numarul electronilor emisi in unitatea de timp sub actiunea luminii este proportional cu fluxul de energie luminoasa. Energia totala pe care o primeste un electron de la lumina este proportionala cu frecventa radiatiei, si nu cu intensitatea fluxului, ceea ce a facut necesara introducerea conceptului de cuante de energie si de foton, de catre Plack si Einstein.

2. Efectul fotoelectric in semiconductori

Daca un semiconductor este supus campului electromagnetic al undelor luminoase, energia transportata de fotoni disloca electroni de la nivelul atomilor, rezultind electroni, care se misca liber ca sarcini negative, si ioni, ca sarcini pozitive. Apar astfel purtatori de sarcina, care produc scaderea rezistentei electrice a semiconductorului, eveniment numit **efect fotoelectric**.

Cresterea conductibilitatii este proportionala cu fluxul luminos incasat, dar nu este nelimitata, deoarece, o data cu generarea de purtatori de sarcina apare si fenomenul invers, de cuplare a electronilor liberi cu ionii.



Fotorezistenta in circuit

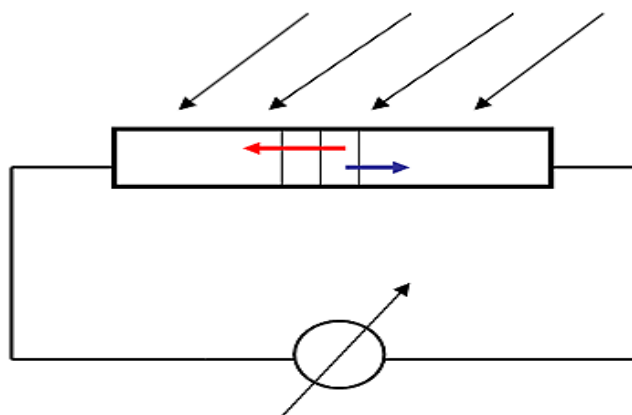
Efectul fotoelectric in semiconductori este intern, adica electronii nu parasesc semiconductorul. Energia necesara aparitiei electronilor liberi este mai mica decat in cazul metalelor sau al efectului fotoelectric extern, asa incat apare si la energii (frecvente) mai mici, inclusiv sub efectul radiatiei infrarosii.

Efectul fotoelectric in semiconductori sta la baza construirii fotorezistentelor: un strat de semiconductor este cuplat intr-un circuit cu o sursa de alimentare si un microampermetru. La intuneric, curentul ce trece prin circuit este foarte mic. Pe masura ce fluxul luminos incident creste, apar purtatori de sarcina care duc la scaderea rezistentei si deci la cresterea curentului in circuit de sute sau chiar mii de ori.

Fotorezistentele sunt utilizate in subansamblele de masura ale fluxului luminos (expunere) a aparatelor fotografice sau ca unitati independente (exponometre).

3. Fotoelementul

Intr-o jonctiune p-n exista un camp electric la nivelul stratului de baraj, determinat de trecerea electronilor din partea n in partea p si a golurilor in sens invers.



Fotoelement in circuit

Daca se ilumineaza jonctiunea, in stratul de baraj apar purtatori de sarcina prin efectul fotoelectric intern, iar electronii sunt impinsi de catre campul electric in partea n iar golurile in partea p. Aceasta se traduce prin aparitia unui curent electric intr-un circuit exterior, deci jonctiunea devine o sursa de tensiune si, de aceea, poarta numele de **fotoelement**.

Fotoelementele sunt utilizate la constructia unor exponometre dar si la realizarea captatorilor digitali ai aparatelor fotografice sau video.