

## INTRODUCERE

Încă din antichitate, lumina a fascinat și a provocat imaginația oamenilor.

Știința a luminii, optica se ocupă cu studiul fenomenelor luminoase și prezintă astăzi două ramuri majore: optica fizică și optica geometrică. Dacă punctul de plecare al opticii fizice îl constituie natura luminii, în optica geometrică aceasta nu are importanță. Oricare ar fi ea, fenomenele de bază la care participă sunt aceleași și se supun aceluiași legi și principii – vorbim aici despre parcurgerea diferitelor medii optice transparente, despre reflexie și refracție.

Fiecare mediu pe care îl traversează lumina îi influențează comportamentul într-un mod specific. În esență, spunea fizicianul Hideki Yukawa, natura este simplă. Selectând combinații de medii transparente, se pot construi sisteme optice al căror studiu scoate în evidență simplitatea legilor și principiilor opticii geometrice, precum și ușurința cu care ele pot fi folosite.

Lucrarea de față se adresează studenților și profesorilor de fizică deopotrivă, dar este accesibilă și celor care doresc să își formeze o bază în studiul opticii sau să o consolideze pe cea existentă. Fără a avea pretenția de a trata toate temele care pot fi asociate cu optica geometrică, ea pornește de la noțiuni simple pe care le dezvoltă până la concepte mai complexe, urmărindu-se o mai bună înțelegere și aprofundare a acestora și subliniind de fiecare dată modul în care au fost folosite legile și principiile specifice, transformate aici în instrumente de lucru ușor de mânuit.

Înțelegerea și aprofundarea conținuturilor sunt facilitate și de o serie de aplicații, prezente la finalul fiecărui capitol. În concordanță fiind cu temele abordate, problemele propuse au rol nu doar de exersare a celor învățate, ci și de ghidare a gândirii și, uneori, chiar a imaginației, provocând cititorul să privească lucrurile într-o nouă perspectivă.

Considerăm astfel că sunt îndeplinite toate condițiile pentru ca parcurgerea acestor pagini să se transforme într-o lectură interesantă, plăcută și utilă.



# CAPITOLUL 1. PRINCIPIILE GENERALE ALE OPTICII GEOMETRICE

## 1.1. Principii și legi fundamentale în optica geometrică

Numeroase fenomene optice se explică cu ajutorul a trei legi simple: legea propagării rectilinii a luminii, legea reflexiei regulate a luminii și legea refracției regulate a luminii. La aceste trei legi fundamentale se adaugă și două principii ajutătoare: principiul independenței propagării razelor de lumină și principiul reversibilității drumului optic. Acestea se enunță astfel:

**1. *Legea propagării rectilinii a razelor de lumină:* într-un mediu omogen, lumina se propagă în linie dreaptă până la întâlnirea unui obstacol sau a unui alt mediu, cu alte caracteristici optice<sup>1</sup>.**

**2. *Principiul independenței propagării razelor de lumină:* razele de lumină incoerente care trec printr-un punct, întretându-se, nu se influențează reciproc<sup>2</sup>.**

**3. *Principiul reversibilității drumului razelor:* o rază care parcurge un sistem optic într-un sens urmează același drum și când este dirijată prin sistemul optic în sens invers, dacă celelalte condiții rămân neschimbate.**

Aceste principii sunt susceptibile unor observații.

Primul principiu enunțat nu poate fi verificat direct, neputând fi imaginate experiențe care să dovedească acest enunț, dar pot fi observate și verificate consecințele sale: fenomenul de umbră și penumbră (figurile 1.1, 1.2 și 1.3), formarea imaginilor în camera obscură, eclipsele de Soare și de Lună, etc.

---

<sup>1</sup> cu un alt indice de refracție

<sup>2</sup> nu interferă

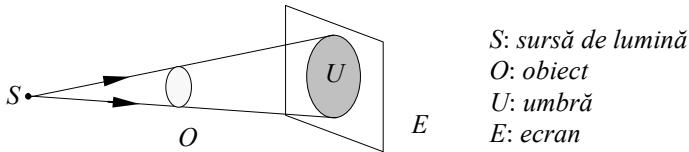


Figura 1.1. Producerea umbrei și a penumbrei în cazul unei surse luminoase punctiforme

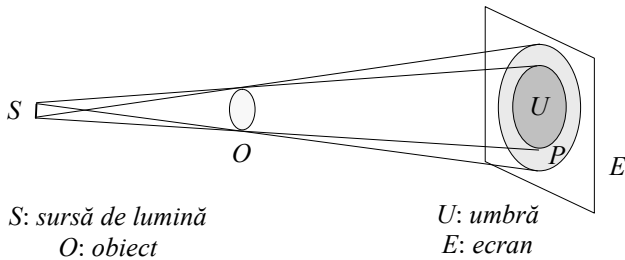


Figura 1.2. Producerea umbrei și a penumbrei în cazul unei surse luminoase extinse

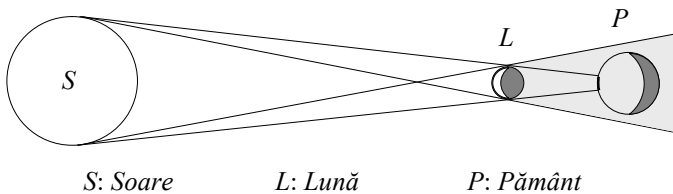


Figura 1.3. Producerea umbrei și a penumbrei în cazul unei surse luminoase de dimensiuni foarte mari

În plus, în anumite condiții, principiul propagării rectilinii a razelor de lumină nu mai este respectat. Dacă se îngustează diametrul unui fascicul prin diafragmă până la dimensiuni de ordinul zecimii de milimetru, se va constata că direcția de propagare, după diafragmă, nu mai poate fi precizată: în locul unui fascicul paralel apare un fascicul divergent, cu intensitatea variind după direcție<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> fenomenul de difracție

## 1.2. Principiul lui Fermat. Reflexia și refracția luminii

Locul celor trei principii poate fi luat de *principiul lui Fermat*, din care rezultă și legile reflexiei și refracției. Acest principiu se enunță astfel: **drumul optic parcurs de o rază de lumină între două puncte este un extrem în raport cu oricare drum geometric posibil.**

Pentru a înțelege semnificația fizică a acestui enunț, trebuie definit drumul optic parcurs de o rază de lumină, care este strâns legat de indicele de refracție  $n$  al mediului traversat de acea rază de lumină.

Orice mediu optic transparent este caracterizat printr-un indice de refracție, dat de raportul dintre viteza luminii în vid ( $c$ ) și viteza luminii în mediul respectiv ( $v$ ):

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

În tabelul 1.1 se regăsesc valorile indicelui de refracție pentru câteva materiale optic transparente.

Tabelul 1.1. Indicii de refracție ai unor materiale uzuale

Nr. crt.	Material	$n$	Nr. crt.	Material	$n$
1	Acrilonitril stiren copolimer	1,56735	9	Fluorină	1,43
2	Aer	1,0003	10	Glicerină	1,473
3	Alcool etilic	1,361	11	Polimetilmetacrilat (PMMA)	1,49166
4	Apă la 37°C	1,33093	12	Polistiren	1,59027
5	Apă la 20°C	1,33299	13	Silicon	1,438
6	Benzen	1,501	14	Sticlă	1,5-1,8
7	Cornee	1,376	15	Umoare apoasă	1,336
8	Diamant	2,42	16	Umoare vitroasă	1,336

Dacă o rază parcurge într-un mediu de indice de refracție  $n$  o distanță  $l$ , se spune că a parcurs drumul optic:

$$[AB] = nl$$

care se va defini ca fiind distanța pe care o parcurge în vid o altă rază de lumină, în timpul în care prima rază parcurge distanța  $l$  în mediul de indice de refracție  $n$ .

Fermat pornește de la ideea că lumina întrebuițează întotdeauna timpul minim pentru ca să ajungă de la un punct la altul, dar există cazuri (când este vorba despre reflexie) în care drumul este maxim sau staționar.

### 1.2.1. Reflexia luminii

Se numește *reflexie* a luminii fenomenul de schimbare a direcției de propagare a acesteia, atunci când întâlnește o suprafață de separare între două medii, ea întorcându-se în mediul din care a venit.

Se consideră o suprafață de separare (reflectătoare), cum este cea din figura 1.4, notată cu  $\pi$ .

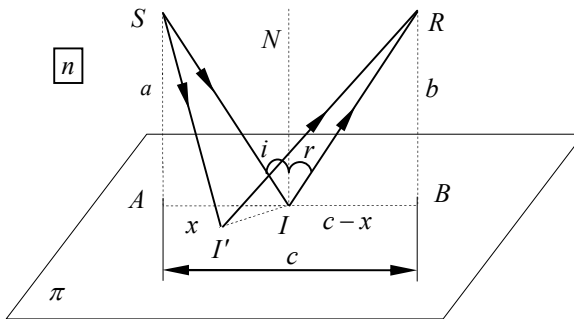


Figura 1.4. Stabilirea legilor reflexiei luminii cu ajutorul principiului lui Fermat

Prezintă importanță următoarele:

#### a) determinarea planului care conține razele incidentă și reflectată

Fie  $S$  o sursă punctiformă de lumină de la care pornește raza incidentă ( $SI$ ). Construind raza reflectată ( $IR$ ) și normala la suprafața reflectătoare în punctul de incidență  $I$  (linia întreruptă  $IN$ ), se obține

planul ( $SAIBR$ ), perpendicular pe planul  $\pi$ , unde punctele  $A$  și  $B$  reprezintă proiecțiile punctelor  $S$  și  $P$  pe planul de separare  $\pi$ .

Se presupune că se poate găsi o altă traiectorie minimă, situată în alt plan, ( $SI'R$ ). Se proiectează această traiectorie pe planul care trece prin  $SR$  și este perpendicular pe  $\pi$  (adică planul ( $SAIBR$ )) și se obține „drumul”  $SIR$ , care este mai mic decât  $SI'R$  :

$$\left. \begin{array}{l} SI' > SI \\ I'R > IR \end{array} \right\} \Rightarrow \underbrace{SI' + I'R}_{\text{drumul } SI'R} > \underbrace{SI + IR}_{\text{drumul } SIR}$$

Se observă că, din punct de vedere geometric, s-au obținut triunghiurile dreptunghice  $\triangle SII'$  ( $m(\widehat{SII'}) = 90^\circ$ ), respectiv  $\triangle RII'$  ( $m(\widehat{RII'}) = 90^\circ$ ), în care  $SI'$  și  $RI'$  reprezintă ipotenuze, cu lungimea mai mare decât cea a catetelor  $SI$ , respectiv  $RI$ .

Rezultă astfel că **normala la suprafața de separație în punctul de incidență, raza incidentă și cea reflectată se găsesc în același plan (legea I a reflexiei).**

### **b) determinarea direcției de propagare a razei reflectate**

Prima lege a reflexiei stabilește faptul că razele incidentă și reflectată sunt coplanare. Planul comun conține și normala la suprafața de separație în punctul de incidență, care este responsabilă cu stabilirea orientării în spațiu a planului pe care se produce reflexia. Cu toate acestea, cunoscând două puncte fixe prin care trece raza de lumină înainte și după reflexie ( $S$  și  $R$ ), este necesar să cunoaștem relația dintre unghiurile de incidență și cel de reflexie, pentru a putea caracteriza fenomenul pe deplin.

Deoarece, așa cum s-a precizat, direcția de propagare a razei incidente, respectiv a razei reflectate se stabilesc în raport cu normala  $IN$ , pornind de la ipoteza că  $S$  este o sursă punctiformă de lumină, fixă, de la care pornește raza incidentă ( $SI$ ), iar  $R$  este un punct fix al razei reflectate, prezintă interes poziția exactă a punctului de incidență,  $I$ , în planul ( $SAIBR$ ), mai precis, pe segmentul  $AB$ .

Se notează distanța  $\|AB\| = c$ , care este o constantă, în condițiile în care punctele  $S$  și  $R$  sunt fixate. Se obține astfel drumul optic al luminii prin mediul  $n$ , între  $S$  și  $R$ :

$$[SI] + [IR] = n \left( \sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (c-x)^2} \right)$$

unde  $a = SA$  și  $b = RB$  sunt, la rândul lor, două constante, datorită naturii punctelor  $S$  și  $R$  (fixate). Deoarece drumul optic este extrem, se pune condiția:

$$\frac{d}{dx}([SI] + [IR]) = 0$$

de unde rezultă:

$$n \left( \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} + \frac{-(c-x)}{\sqrt{b^2 + (c-x)^2}} \right) = 0 \Rightarrow \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{c-x}{\sqrt{b^2 + (c-x)^2}}$$

Dar, conform figurii 1.4:

$$\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \sin i; \quad \frac{c-x}{\sqrt{b^2 + (c-x)^2}} = \sin r$$

și astfel se obține:

$$\sin i = \sin r \Rightarrow i = r$$

relație care reprezintă **a doua lege a reflexiei**.

Prin urmare, punctul de incidență este astfel situat, încât unghiurile de incidență și de reflexie, măsurate față de normala pe suprafața de separare în punctul de incidență, să fie congruente.

### 1.2.2. Refracția luminii

Se numește *refracție* a luminii fenomenul prin care lumina își schimbă direcția de propagare atunci când trece dintr-un mediu optic transparent în altul.

**a) determinarea planului care conține razele incidentă și refractată**

Se consideră două medii optic transparente, având indicele de refracție  $n_1$ , respectiv  $n_2$ , separate printr-o suprafață plană  $\pi$ . Fie un