

# **APARATE OPTICE**

**Probleme rezolvate în domeniul ideal, paraxial și real**



**Prof. dr. ing. DANIEL BĂCESCU**

# **APARATE OPTICE**

**Probleme rezolvate în domeniul ideal, paraxial și real**



**EDITURA UNIVERSITARĂ  
București**

Colecția ȘTIINȚE EXACTE

Redactor: Gheorghe Iovan  
Tehnoredactor: Ameluța Vișan  
Coperta: Monica Balaban

Editură recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice (C.N.C.S.) și inclusă de Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (C.N.A.T.D.C.U.) în categoria editurilor de prestigiu recunoscut.

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**BĂCESCU, DANIEL**

**Aparate optice : probleme rezolvate în domeniul ideal, paraxial și real / Daniel Băcescu.** - București : Editura Universitară, 2021

Conține bibliografie

ISBN 978-606-28-1354-3

681.7

53

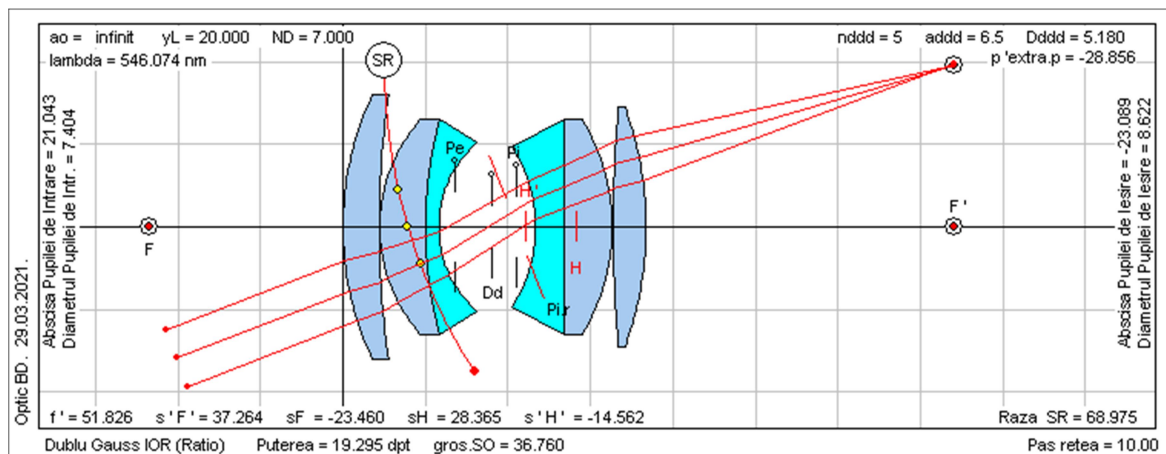
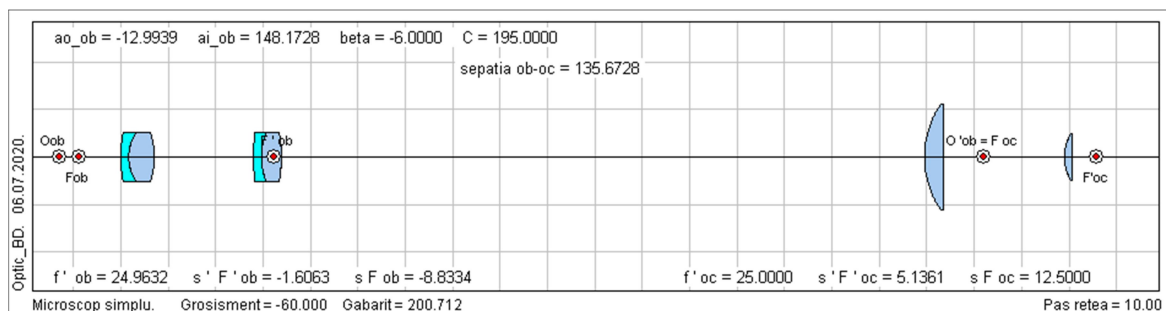
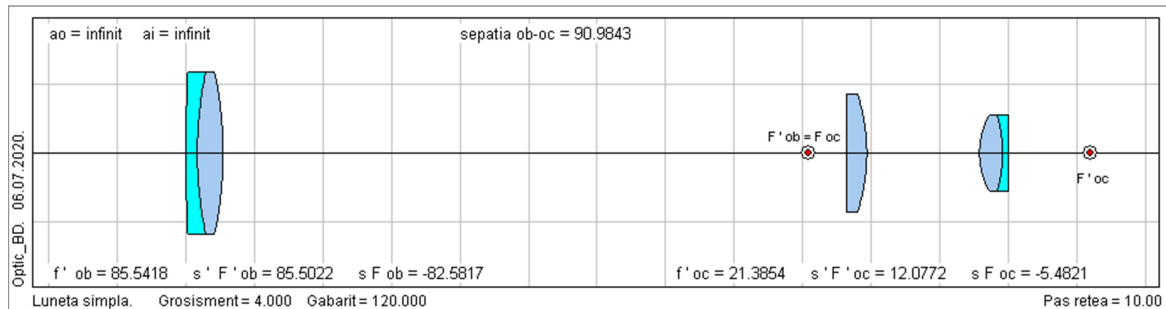
DOI: (Digital Object Identifier): 10.5682/9786062813543

© Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate, nicio parte din această lucrare nu poate fi copiată fără acordul Editurii Universitare

Copyright © 2021  
Editura Universitară  
Editor: Vasile Muscalu  
B-dul. N. Bălcescu nr. 27-33, Sector 1, București  
Tel.: 021.315.32.47  
www.editurauniversitara.ro  
e-mail: redactia@editurauniversitara.ro

Distribuție: tel.: 021.315.32.47/ 0745 200 718/ 0745 200 357  
comenzi@editurauniversitara.ro  
www.editurauniversitara.ro

Aparate oftalmologice, Proiectarea și mentenanța echipamentelor oftalmologice, Metode informatice avansate în optică și optometrie, Componente și sisteme optice pentru mecatronică, Modelarea sistemului vizual.



*Autorul acestei cărți lasă celor interesați, spre citire, înțelepciunea dintre cele două coperti.*

*Fără cărți, știința ar rămâne veșnic tăcută căci ideile nescrise mor, dacă imaginația adoarme.*

*Citită, cartea te face să te gândești, ca la un dar, pe care îl poți deschide mereu.*

*Cu sinceritate și prietenie colegului meu, Daniel Băcescu, autorul acestei cărți.*

Georgeta Udrea

## **PRECIZĂRI LEGATE DE FOLOSIREA CULEGERII DE PROBLEME REZOLVATE DE LA DISCIPLINELE APARATELOR OPTICE**

*Lucrarea prezintă o colecție de probleme întâlnite frecvent la disciplinele aparatelor optice.*

*Problemele au rezolvarea completă pentru a înțelege ușor aplicarea formulelor specifice din optica aplicată. Pentru un ajutor suplimentar, în anexa 1 a lucrării se prezintă o colecție de formule din optica paraxială, pentru a scuti cursantul să mai caute o anumită relație în cărțile disponibile. Tot pentru un ajutor suplimentar, legat de definiția unor mărimi optice și a unor caracteristici de aparate optice, în anexa 2 se găsește o colecție de întrebări cu răspunsuri, iar în anexa 3 se găsesc toate formulele matematice necesare în optica geometrică.*

*În orice problemă de optică se folosesc mărimile denumite generic caracteristicile paraxiale. Desigur că pentru o anumită problemă nu avem nevoie de toate aceste mărimi. Cu siguranță puterea respectiv distanța focală imagine sunt întotdeauna folosite. Pentru calculele rapide de gabarit se poate simplifica foarte mult calculul dacă neglijăm grosimea la centru, adică suntem în domeniul lentilelor înfinit subțiri. În mod curent, la calcule, se vor utiliza și formulele lui Gauss, respectiv formula lui Newton. Aceste formule fiind legate de punctele principale, respectiv de punctele focale, au caracter general și se aplică pentru orice sistem optic. De asemenea, întotdeauna se utilizează formulele măririlor optice.*

### **Observație:**

*În domeniul ingineresc mărimile geometrice sunt exprimate în milimetri. În domeniul oftalmologiei unitatea de putere este dioptria care reprezintă puterea unei lentile cu focala de un metru. Pentru a corela aceste mărimi, trebuie să exprimăm mărimile constructive ale lentilei în metri sau, dacă aceste mărimi sunt exprimate în milimetri, să înmulțim rezultatul cu 1000.*

*Lucrarea prezintă și probleme de analiză și sinteză avansată a sistemelor optice care apelează la tehnici matematice complexe cum ar fi optimizarea. Datorită gradului ridicat de complexitate, acestea nu pot fi rezolvate clasic, prin calcul direct cu mâna. Se recomandă elaborarea unor programe de calcul automat sau apelarea la unele programe gata făcute de firme specializate, care să fie capabile de calcul iterativ complex. Aceste probleme au scopul unui etalon de verificare pentru problemele în cauză, astfel încât, după ce avem certitudinea rezultatelor corecte, să le folosim și pentru rezolvarea altor probleme.*

*Problemele din capitolul „Probleme rezolvate la disciplina Modelarea Sistemului Vizual” au fost elaborate ca o extensie a opticii aplicate pentru sisteme optice biologice. Astfel se arată că toate formulele din optica tehnică pot fi folosite în asemenea situații dacă*

*completăm setul de formule cunoscute cu formulele specifice ochiului uman (suprafața imaginii este sferică, ochiul uman îmbătrânește, iar focalizarea se face prin modificarea parametrilor constructivi ai cristalinului).*

*Lucrarea de față este destinată pregătirii studenților din anul I, II, III și IV – licență optometrie – și studenților din anul I și II – master optometrie avansată, dar poate fi studiată și de absolvenții unei forme de învățământ superior, interesați de optica tehnică sau cei interesați de proiectarea și funcționarea aparatelor optice.*

*De asemenea, lucrarea poate fi utilă studenților sau absolvenților din domeniul fizicii, dornici să cunoască și optica inginerescă de analiză și sinteză a componentelor aparatelor optice. În acest sens o problemă interesantă ar fi interacțiunea dintre energie și materie, din domeniul fizicii Laserilor de mare putere.*

*Lucrarea poate fi abordată și de studenții sau absolvenții unor forme de învățământ superior din domeniul matematic pentru a cerceta noi metode de optimizare, în afara celor consacrate din domeniul ingineresc, promovate în această lucrare.*

*În domeniul matematic o problemă de mare complexitate poate fi atașarea la relațiile din calculul probabilităților, care, pe baza experiențelor căpătate la fiecare proiectare, să anticipeze limitele la care se poate ajunge, având în vedere că optimizarea unui sistem optic complex consumă foarte mult timp (de multe ori săptămâni sau chiar luni de zile) și se bazează pe foarte multe reluări cu condiții inițiale schimbate care au la bază numai experiența proiectantului. Cu alte cuvinte, să facem ca programul de optimizare să învețe din propria experiență.*



## CUPRINS

Prefață.....	11
A. Probleme rezolvate în optica ideală.....	18
B. Probleme rezolvate în optica paraxială .....	26
C. Probleme rezolvate în dioptrica de ordinul III .....	41
D. Probleme rezolvate în optica extra-paraxială .....	69
E. Probleme rezolvate la disciplina Modelarea Sistemului Vizual .....	100
F. Probleme rezolvate pentru testarea realizării graficelor aberațiilor optice .....	113
Anexa 1 .....	125
Anexa 2 .....	212
Anexa 3 .....	223
Anexa 4 .....	239
Bibliografie.....	254



## PREFAȚĂ

Un corp solid, lichid sau gazos, delimitat în spațiu printr-o combinație de suprafețe, care se intersectează între ele și asigură acestuia forma geometrică corespunzătoare unui anumit scop funcțional, se numește piesă sau element. Reuniunea mai multor piese, legate între ele după anumite criterii, capabilă de a capta, transforma sau emite semnale cu parametrii doriți, se numește subansamblu și are un rol funcțional bine determinat.

O combinație de subansambluri (mecanice, optice, electrice etc.), capabilă să capteze, să transforme și să emită semnale, în scopul perceperii și cunoașterii obiectelor și fenomenelor, măsurării mărimilor fizice sau captării informațiilor despre acestea, se numește *aparat*.

Un aparat optic (ansamblu) este construit, la fel ca toate aparatele, din mai multe subansambluri. Dacă aparatul se simplifică până la un singur subansamblu, atunci subansamblul devine ansamblu. Subansamblurile pur optice se numesc *sisteme optice*. Dacă numărul elementelor unui sistem se reduce la unu, subansamblul devine un sistem optic simplu numit *piesă optică*. Piese optice sunt constituite din medii optice omogene și transparente la anumite radiații electromagnetice. Orice piesă optică este situată într-un anumit mediu optic, diferit de cel din care ea este construită. Două medii transparente, optic omogene, cu indici de refracție diferiți, separate printr-o suprafață, constituie un ansamblu optic elementar numit *dioptru*.

De regulă, aparatele optice simple se numesc *instrumente optice*. Dacă funcționează prin observare cu ochiul, se numește aparat (sau instrument) *subiectiv*; când se folosesc alte receptoare (placă fotografică, element fotoelectric), aparatul se numește *obiectiv*.

Totalitatea sistemelor și elementelor optice, reprezentate grafic conform regulilor desenului tehnic și geometriei descriptive, formează schema optică a aparatului.

Schema optică, completată cu subansamblurile și elementele mecanice, reprezintă convențional *schema optico-mecanică*. În schema optico-mecanică trebuie să se recunoască construcția și funcționarea completă a aparatului reprezentat. Un aparat, sistem sau element optic, desparte spațiul în care sa află în două părți. Spațiul situat anterior (în fața) aparatului se numește *spațiu-obiect*. Spațiul de după aparat se numește *spațiu-imagine*. Cele două spații – obiect și imagine – pot fi umplute cu același mediu optic sau cu medii diferite: de exemplu, în spațiul-obiect se află apă, iar în spațiul imagine, aer. Rolul aparatului optic este acela de a reprezenta în spațiul imagine imaginea obiectului din spațiul obiect. În continuare sunt prezentate câteva aparate optice, cu denumirile acestora.



a) Microscop de cercetare



b) Microscop (inversat) metalografic



c) Lunetă terestră



d) Stereomicroscop



e) Teodolit



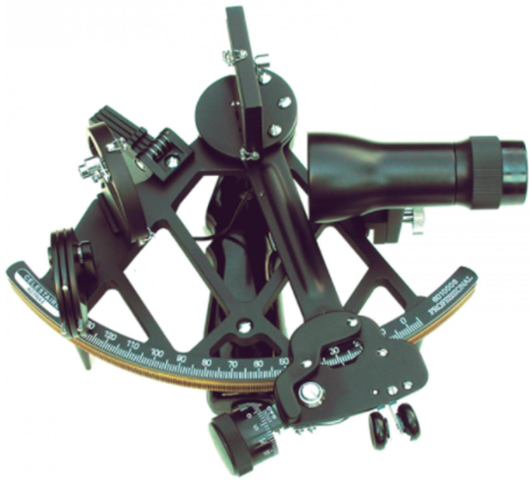
f) Lunetă de nivelment



g) Aparat fotografic



h) Proiector



i) Sextant



j) Echipament oftalmologic



k) Biomicroscop cu fantă rotitoare



l) Refractometru Abbe

Din analiza vizuală a acestor aparate optice se poate întui o construcție optico-mecanică foarte complexă care în final este proiectată de ingineri care trebuie instruiți să facă acest lucru. Instruirea este graduală, plecând de la unele ipoteze foarte simplificatoare și, treptat, ajungându-se la simularea perfectă a fenomenului optic prin ecuațiile aferente.

Se mai precizează că oricare aparat optic, oricât de complex ar fi, este de fapt o combinație de aparate optice fundamentale: microscopul, luneta, colimatorul și sistemele de iluminare. Fiecare componentă a unui aparat complex se proiectează separat și după finalizare se face asamblarea finală.

Pentru eficiența proiectării, fiecare aparat fundamental se proiectează pe componentele principale ale acestuia, care sunt: obiectivul aparatului, ocularul aparatului și diferite alte componente care se pot intercala între acestea.

Pentru ca imaginea să fie cât mai fidelă obiectului, este necesar ca sistemul optic să satisfacă următoarele condiții:

1. **Stigmatismul.** Condiția de stigmatism este satisfăcută atunci când între spațiul obiect și imagine există o corespondență punct cu punct, adică unui punct din spațiul obiect îi corespunde un singur punct din spațiul imagine. De exemplu, dacă în fața sistemului optic (aparat), adică în spațiul obiect, se află o sursă de lumină punctiformă din care lumina izvorăște și se propagă în formă de unde sferice, cu centrul în punctul obiect, atunci fasciculul divergent din punctul obiect, după ce suferă un număr de refracții și reflexii, prin sistem, ajunge în spațiul imagine propagându-se ca fascicul convergent în punctul imagine. În acest caz sistemul optic este pozitiv. Dacă fasciculul divergent din în spațiul obiect rămâne divergent, și după ce străbate sistemul optic, el este negativ.

2. **Aplanetismul.** Reprezintă proprietatea unui sistem optic de a da un plan imagine pentru un plan obiect. Dacă imaginea este curbată, atunci sistemul optic prezintă defectul numit *curbură de câmp*.

3. **Ortosopia.** Reprezintă proprietatea unui sistem optic de a forma o imagine asemenea cu obiectul. Dacă imaginea nu este asemenea cu obiectul, sistemul optic prezintă defectul numit *distorsiune*. De regulă, atât obiectul, cât și imaginea sunt situate în plane perpendiculare pe axa optică a aparatului.

4. **Puterea de rezoluție.** Pentru ca aparatul să *rezolve* obiectul, adică două puncte obiect cât mai apropiate să fie percepute distinct, este necesar ca puterea de rezoluție să fie mare. Puterea de rezoluție este mare atunci când cercurile de difuzie, cauzate de aberații, de profunzime și de difracție, sunt mici.

5. **Contrastul.** Un obiect format din puncte negre și albe este reprezentat de un sistem optic necorectat prin cercuri de difuzie, iluminate și întunecate, care se acoperă parțial. Prin urmare, se pierde contrastul și punctele menționate nu pot fi percepute net (clar). Contrastul este influențat de numeroși factori, fapt pentru care toate sistemele optice sunt calculate și reglate pentru valoarea maximă posibilă a contrastului.

6. **Fidelitatea redării culorilor.** Redarea fidelă a culorilor reprezintă o cerință importantă pentru multe sisteme optice. Pentru aceasta, trebuie să se aleagă materiale optice la care absorbția, în dependență de lungimea de undă, nu este mare.

Desigur că aceste cerințe nu pot fi îndeplinite de sistemele optice reale, deoarece acestea sunt afectate de aberații. Aberația fiind diferența dintre comportarea unui sistem optic real și comportarea sistemului optic ideal atașat acestuia. Teoria aberațiilor reprezintă esența opticii ingineresti care în final trebuie să proiecteze sisteme optice cât mai apropiate de sistemul optic ideal atașat acestuia.

Teoria aberațiilor a evoluat în timp și a performat greu, ieșind în evidență în ultimii 50 de ani datorită ajutorului extraordinar dat de calculatoarele electronice și de evoluția limbajelor de programare. Acestea au permis realizarea de programe de calcul optic automat, utilizatorul având rolul doar de a interpreta rezultatele și de a schimba condițiile inițiale ale programului pentru ca sistemul optic real să se apropie de sistemul optic ideal. La progresul tehnicii de calcul s-a adăugat și progresul obținut pentru materialele optice.

Problemele rezolvate din această lucrare urmăresc verificarea instruirii cursantului în diferitele etape de aprofundare a teoriei și pun la dispoziția acestuia, în anexele lucrării, toate formulele din optica geometrică și formulele matematice utilizate în diferitele cursuri de optică aplicată, care se predau în cei patru ani de licență și cei doi ani de master sau studii aprofundate.

Astfel, în prima parte a lucrării, secțiunea A, sunt prezentate principalele probleme posibile în capitolul opticii ideale, optică care nu ține cont de teoria aberațiilor și care privește sistemul optic numai prin prisma caracteristicilor paraxiale. Se menționează că aceste caracteristici paraxiale trebuie conservate la sfârșitul oricărei proiectări de sisteme optice. Aplicațiile aduc în discuție puterea sistemului optic, distanțele focale și abscisele focarelor, grosimea la centru și la margine a unei lentile, combinația a două lentile și proiectarea unui microscop și a unei lunete simplificate, având obiectivul și ocularul construite dintr-o singură lentilă. Aceste probleme verifică dacă cursantul a reușit să înțeleagă cum se calculează distanța dintre obiectiv și ocular pentru a rezulta grosimea cerut de problemă.

În partea a doua, secțiunea B, se trece la nivelul superior de instruire și anume întocmirea tabelului datelor constructive ale unui sistem optic, pentru a calcula caracteristicile paraxiale ale acestuia, și ale componentelor constructive, precum și calculul aberațiilor cromatice în planul meridian și variația abscisei focarului imagine în funcție de lungimea de undă (folosind drumuirea paraxială), aberația sfero-cromatică folosind drumuirea trigonometrică, aberația de astigmatism și aberația de distorsiune, folosind drumuirea paraxială în raport cu o rază înclinată (invariantul lui Young) pentru raza pupilară principală.

În partea a treia, secțiunea C, se trece la teoria aberațiilor din dioptrica de ordinul III unde aberațiile acestei teorii sunt folosite la proiectarea unui dublet lipit separat, care va avea un număr de deschidere și abscisa-obiect impuse. După rezolvarea sistemului de ecuații care se impune acestui tip de obiectiv, se trece la grosimi finite și se face modificarea la scară necesară obținerii puterii impuse de problemă. Folosind aceeași teorie, se prezintă problema proiectării unei lunete pentru care obiectivul și ocularul acesteia reprezintă dubletul lipit. Se mai prezintă problema care cere proiectarea unui microscop simplu de cercetare având obiectivul sub forma dubletului lipit și ocularul sub forma unui ocular de tip Huygens. Urmează o problemă de dificultate mai ridicată, folosind un obiectiv de tip Petzval și un ocular de tip Huygens. Tot în acest registru de dificultate se prezintă și proiectarea unei lunete de tip Kepler care are ca obiectiv un dublet lipit și ca ocular unul de tip Kellner. Problema care urmează se apropie mai mult de realitate, deoarece cere introducerea între obiectiv și ocular a unui redresor prismatic Porro I. Într-o cerință asemănătoare se prezintă o problemă care cere proiectarea unui microscop care să aibă în construcție, între obiectiv și ocular, o lamă plan paralelă foarte groasă. În acest capitol mai sunt și două probleme care cer proiectarea unei lentile adiționale pozitive și a unei lentile adiționale negative care se folosesc

la biomicroscopul cu fantă rotitoare. Finalul acestui capitol prezintă o problemă care cere proiectarea unui microscop de cercetare cu binocular la care, pentru lentila de tub negativă și pentru lentila de tub pozitivă, se folosesc dubleți lipiți.

În partea a patra, secțiunea D, se trece la probleme rezolvate în optica extra-paraxială. Capitolul începe cu prezentarea drumirii vectoriale, drumire care nu mai are nicio restricție, simulând fenomenul optic pentru sisteme optice cu dioptrii sferice. Pe baza formulelor acestei drumirii, se prezintă relațiile de calcul pentru aberația frontului de undă, a distribuției iluminării punctului imagine, funcția optică de transfer cu componenta importantă: funcția optică de modulație. Se mai prezintă aberația numită spot-diagrama și aberația transversală. Pentru aceste aberații, este necesar și calculul poziției și diametrul pupilei de intrare și al pupilei de ieșire, pentru care se dau exemple de calcul. După prezentarea calculului, distribuția razelor din pupila de intrare, se prezintă drumirile vectoriale folosite la calculul aberației frontului de undă.

Cu aceste formule, se propune o problemă care să calculeze: datele de intrare în drumirea vectorială pentru raza pupilară principală și razele marginale pentru unghiul  $\sigma = 10^\circ$ ; poziția și raza suprafeței de referință (raza sferei de referință, pentru calculul aberației frontului de undă); punctul unde raza pupilară principală intersectează planul imagine (planul focarului

imagine, pentru calculul aberației transversale) și calculul aberației transversale; drumul optic al celor trei raze pupilare și calculul aberației frontului de undă.

Capitolul se încheie cu o problemă de mare complexitate care cere optimizarea unui obiectiv la principalele aberații extra-paraxiale ale punctului imagine (aberația frontului de undă, spot-diagrama, funcția optică de modulație și distribuția iluminării punctului imagine) pentru abscisa obiect infinită.

În partea a cincea, secțiunea E, se trece la „Probleme rezolvate la disciplina Modelarea Sistemului Vizual“. În această lucrare, ochiul uman este privit ca un sistem optic biologic care folosește toate formulele din optica aplicată și la care se mai adaugă câteva ecuații legate de specificul ochiului uman, adică suprafața imagine este sferă, focusarea se face prin modificarea parametrilor cristalinului (modificarea razelor, modificarea camerei anterioare și posterioare și modificarea indicelui de refracție în masa lui). Totodată, se dau ecuațiile care simulează îmbătrânirea ochiului uman. Problemele sunt legate de caracteristicile anatomice ale unui ochi uman al unui pacient virtual pentru care se calculează anomalia și se proiectează lentila corectoare, aeriană, de contact sau cu cristalin artificial.

În partea a șasea, secțiunea F, se prezintă probleme rezolvate pentru aprofundarea tehnicii de trasare a graficelor aberațiilor sistemelor optice. Specificul acestor probleme este ca să nu se pună accent pe calculul aberațiilor, care se dau numeric, ci numai pe trasarea graficelor aberațiilor cerute de problemă. Sistemul optic ales pentru aceste probleme este un obiectiv de tip triplet Taylor pentru care se dau datele constructive și tabelul cu rezultatele calculului pentru următoarele aberații: sfero-cromatic, cromatismul longitudinal, diferența astigmatică, aberația transversală, aberația coma meridiană și aberația de distorsiune.



În finalul lucrării există patru anexe. Prima anexă reprezintă un breviar care cuprinde formule din optica paraxială, din optica ideală, formule pentru lentilele cu dioptrii sferice, combinarea sistemelor optice, principalele noțiuni de optică tehnică și noțiunile legate de limitarea fasciculelor de raze optice. După aceste formule, se prezintă principalele tehnici de investigație reprezentate de drumuirea paraxială și drumuirea trigonometrică. Capitolul este completat cu componente optice cu suprafețe plane: lama plan paralelă, prisme și sisteme de prisme, lentila Fresnel. În continuare se prezintă definirea mărimilor și unităților fotometrice, prezentarea formulelor de pierderi de lumină la propagarea radiației și influența temperaturii la modificarea indicelui de refracție. Anexa 1 se încheie cu prezentarea *in extenso* a capitolului „Probleme rezolvate la disciplina Modelarea Sistemului Vizual“ și cu o propunere de determinare a legii de modificare a indicelui de refracție al cristalinului ochiului uman.

A doua anexă, cuprinde 90 de întrebări cu răspunsuri date, frecvent întâlnite la examenele disciplinelor aparatelor optice, ajutând cursantul la pregătirea examenelor.

A treia anexă prezintă toate formulele din geometria analitică care au fost folosite la cursurile aparatelor optice. În felul acesta cursantul are un material care adună la un loc toate formulele matematice la care se apelează în teorie disciplinelor de optică.

Lucrarea se încheie cu anexa a patra care prezintă, cu exemplificări, cele două metode consacrate în proiectarea sistemelor optice. Deoarece aberațiile optice se construiesc greu, consumând mult timp și apelând la limbaje de programare avansate, aberațiile optice au fost înlocuite de funcții matematice special construite pentru a fi extrem de greu de optimizat cu programe automate. Această înlocuire are avantajul că accentul se pune pe studiul metodelor de optimizare, având totodată și posibilitatea ierarhizării metodelor de optimizare folosite. Această anexă poate fi folosită și de alte specialități neoptice pentru a ajuta la construirea unor programe cu diferite scopuri, legate de obținerea unor maxime sau minime, după dorință, în mecanică, fizică, economie, mecanisme, electronică și electricitate etc.

## A. PROBLEME REZOLVATE ÎN OPTICA IDEALĂ

**Lucrarea practică A1.** Se cunosc caracteristicile constructive pentru o lentilă infinit subțire  $r_a=20$ ,  $r_b=-40$  și  $n=1.9525$ . Să se calculeze puterea, distanța focală și abscisele focarelor lentilei indicate.

**Rezolvare:** Se aplică formulele 3.27, 3.28 și 3.29.

$$\begin{aligned}\varphi &= (n - 1) \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) = (1.9525 - 1) \left( \frac{1}{0.02} - \frac{1}{-0.04} \right) = 0.9525(50 + 25) \\ &= 71.4375 \text{ dpr} \\ f' &= s_{F'} = \frac{1000}{71.4375} = 13.99825\end{aligned}$$

$$\bar{f} = s_{\bar{F}} = -f' = -13.99825$$

**Problema A2.** Se cunosc caracteristicile constructive pentru o lentilă  $r_a=20$ ,  $r_b=-40$ ,  $d= 5$  și  $n=1.9525$ . Să se calculeze puterea, distanța focală și abscisele focarelor lentilei indicate.

**Rezolvare:** Se aplică formulele 3.9, 3.10, 3.12 și 3.13.

$$\varphi = (n - 1) \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) + \frac{(n-1)^2 d}{nr_a r_b} = (1.9525 - 1) \left( \frac{1}{0.02} - \frac{1}{-0.04} \right) + \frac{(1.9525-1)^2 \cdot 0.005}{1.9525 \cdot 0.02 \cdot (-0.04)}$$

$$\varphi = 0.9525 \cdot 75 - 2.9041493 = 68.533351 \text{ dpr}$$

$$f' = \frac{1000}{68.533351} = 14.591436$$

$$s'_{F'} = f' \cdot \left( 1 - \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_a} \right) = 14.591436 \cdot \left( 1 - \frac{1.9525-1}{1.9525} \cdot \frac{0.005}{0.02} \right) = 12.811879$$

$$\begin{aligned}s_{\bar{F}} &= -f' \cdot \left( 1 + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_b} \right) = -14.591436 \cdot \left( 1 + \frac{1.9525-1}{1.9525} \cdot \frac{0.005}{-0.04} \right) \\ &= -13.701657\end{aligned}$$

**Lucrarea practică A3.** Se cunosc caracteristicile constructive pentru o lentilă  $r_a=20$ ,  $r_b=-40$ ,  $d= 5$ ,  $D=15$  și  $n=1.9525$ . Să se calculeze puterea, distanța focală, abscisele focarelor lentilei și grosimea la margine a lentilei indicate.

**Rezolvare:** Se aplică formulele 3.9, 3.10, 3.12, 3.14 și relațiile 3.22, 3.23, 3.26.

$$\begin{aligned}\varphi &= (n-1) \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) + \frac{(n-1)^2 d}{nr_a r_b} \\ &= (1.9525 - 1) \left( \frac{1}{0.02} - \frac{1}{-0.04} \right) + \frac{(1.9525 - 1)^2 \cdot 0.005}{1.9525 \cdot 0.02 \cdot (-0.04)} \\ \varphi &= 0.9525 \cdot 75 - 2.9041493 = 68.533351 \text{dpr}\end{aligned}$$

$$f' = \frac{1000}{68.533351} = 14.591436$$

$$s'_{F'} = f' \cdot \left( 1 - \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_a} \right) = 14.591436 \cdot \left( 1 - \frac{1.9525 - 1}{1.9525} \cdot \frac{5}{20} \right) = 12.811879$$

$$s_{\bar{F}} = -f' \cdot \left( 1 + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_b} \right) = -14.591436 \cdot \left( 1 + \frac{1.9525 - 1}{1.9525} \cdot \frac{5}{-40} \right) = -13.701657$$

$$\begin{aligned}a_a &= r_a \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{D}{2 \cdot r_a} \right)^2} \right] = 20 \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{15}{2 \cdot 20} \right)^2} \right] = 20 \cdot (1 - 0.140625) \\ &= 1.4595038\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a_b &= r_b \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{D}{2 \cdot r_b} \right)^2} \right] = -40 \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{15}{2 \cdot (-40)} \right)^2} \right] = -40 \cdot (1 - 0.9822646) \\ &= -0.7094158\end{aligned}$$

$$t = d - a_a + a_b = 5 - 1.4595038 - 0.7094158 = 2.8310804$$

**Problema A4.** Se cunosc următoarele caracteristici constructive pentru o lentilă  $r_a=20$ ,  $d=5$ ,  $D=15$  și  $n=1.9525$ . Să se calculeze raza  $r_b$  pentru lentila adusa în discuție astfel încât focala acesteia să aibă valoarea  $f' = 15\text{mm}$ .

**Rezolvare:** Din formula 3.9 și 3.10 se explicitază raza posterioară a lentilei.

$$\begin{aligned}f' &= \frac{1}{(n-1) \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) + \frac{(n-1)^2 d}{nr_a r_b}} = \frac{1}{\frac{n-1}{r_a} - \frac{n-1}{r_b} + \frac{(n-1)^2 d}{nr_a r_b}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{r_b} \left[ \frac{(n-1)^2 d}{nr_a} - n + 1 \right] + \frac{n-1}{r_a}}\end{aligned}$$

$$\frac{f'(n-1)}{r_a} - \frac{f'(n-1)}{r_b} \left[ 1 - \frac{(n-1)d}{nr_a} \right] = 1$$

$$r_b = \frac{f'(n-1) \left[ r_a - \frac{(n-1)d}{n} \right]}{f'(n-1) - r_a} = \frac{15(1.9525 - 1) \left[ 20 - \frac{(1.9525 - 1)5}{1.9525} \right]}{15(1.9525 - 1) - 20} = -43.921262$$

**Lucrarea practică A5.** Se cunosc datele constructive pentru o lentilă  $r_a = 40$ ,  $r_b = -30$ ,  $d = 2$  și  $n = 1.5$ . Să se calculeze noile raze ale acestei lentile astfel încât lentila să aibă grosimentul  $\Gamma_L = 2X$ .

**Rezolvare:** În primul rând, se calculează focala lentilei indicate, cu formula 3.9. Se calculează focala lentilei care trebuie să aibă grosimentul indicat, se folosește formula 13.4 de la cursul 2. În final se modifică datele inițiale ale lentilei cu coeficientul  $k = \frac{\text{valoarea dorită de problemă}}{\text{valoarea calculată}}$

$$\varphi_{\text{inițial}} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) + \frac{(n-1)^2 d}{nr_a r_b} = (1.5 - 1) \left( \frac{1}{0.04} - \frac{1}{-0.03} \right) + \frac{(1.5-1)^2 \cdot 0.002}{1.5 \cdot 0.04 \cdot (-0.03)} =$$

$$29.16666666 - 0.27777777 = 28.88888888 \text{ dpr}$$

$$f'_{\text{inițial}} = \frac{1000}{28.88888888} = 34.615385$$

$$f'_{\text{dorită}} = \frac{250}{\Gamma_L} = \frac{250}{2} = 125 \text{ mm} \quad k = \frac{125}{34.615385} = 3.61111111$$

Rezultatele finale:

$$r_a = r_a k = 40 \cdot 3.61111111 = 144.444444$$

$$r_b = r_b k = -30 \cdot 3.61111111 = -108.333333$$

$$d = d \cdot k = 2 \cdot 3.61111111 = 7.222222$$

**Lucrarea practică A6.** Se consideră un subansamblu optic format din două lentile infinit subțiri. Prima lentilă are distanța focală  $f'_a = 50 \text{ mm}$ . A doua lentilă se află la distanța  $e = 30 \text{ mm}$ . Să se calculeze distanța focală a lentilei a doua  $f'_b$  astfel încât subansamblul optic rezultat să aibă distanța focală  $f' = 25 \text{ mm}$ .

**Rezolvare:** Se aplică direct formula 4.11 din breviarul de formule.

$$f'_b = f' \frac{f'_a - e}{f'_b - f'} = 25 \frac{50 - 30}{50 - 25} = 20$$

**Lucrarea practică A7.** Se consideră două lentile infinit subțiri identice având fiecare distanța focală  $f'_a = f'_b = 20 \text{ mm}$ . Să se calculeze distanța dintre planele principale „e” ale celor două lentile astfel încât distanța focală rezultată să fie  $f' = 40 \text{ mm}$ .

**Rezolvare:** Se aplică direct formula 4.11 din breviarul de formule.

$$e = f'_a + f'_b - \frac{f'_a f'_b}{f'} = 20 + 20 - \frac{20 \cdot 20}{40} = 30$$

**Problema A8.** Se consideră un subansamblu optic format din două lentile. Prima lentilă are următoarele caracteristici  $r_{a1} = \infty$ ,  $r_{b1} = -50 \text{ mm}$ ,  $d_1 = 5 \text{ mm}$ ,  $n_1 = 1.5$ . A doua lentilă se află la distanța  $e = 30 \text{ mm}$  și are următoarele caracteristici  $r_{a2} = \infty$ ,  $d_2 = 3 \text{ mm}$ ,  $n_2 = 1.5$ . Să se calculeze raza a doua a lentilei și separația dintre dioptriile lentilelor  $d_{23}$  astfel încât subansamblul optic rezultat să aibă distanța focală  $f' = 25 \text{ mm}$ .

**Rezolvare:** Se calculează distanța focală a primei lentile (formula 3.9 și 3.10), se aplică direct formula 3.11, după care se aplică formula 3.10 și 3.11. Cunoscând puterea lentilei a doua, din