

LD2A. OPTINIŲ SISTEMŲ YDŲ TYRIMAS

Darbo tikslas

Ištirti pagrindines optinių sistemų ydas ir jų įtaką objektų atvaizdams.

Užduotys

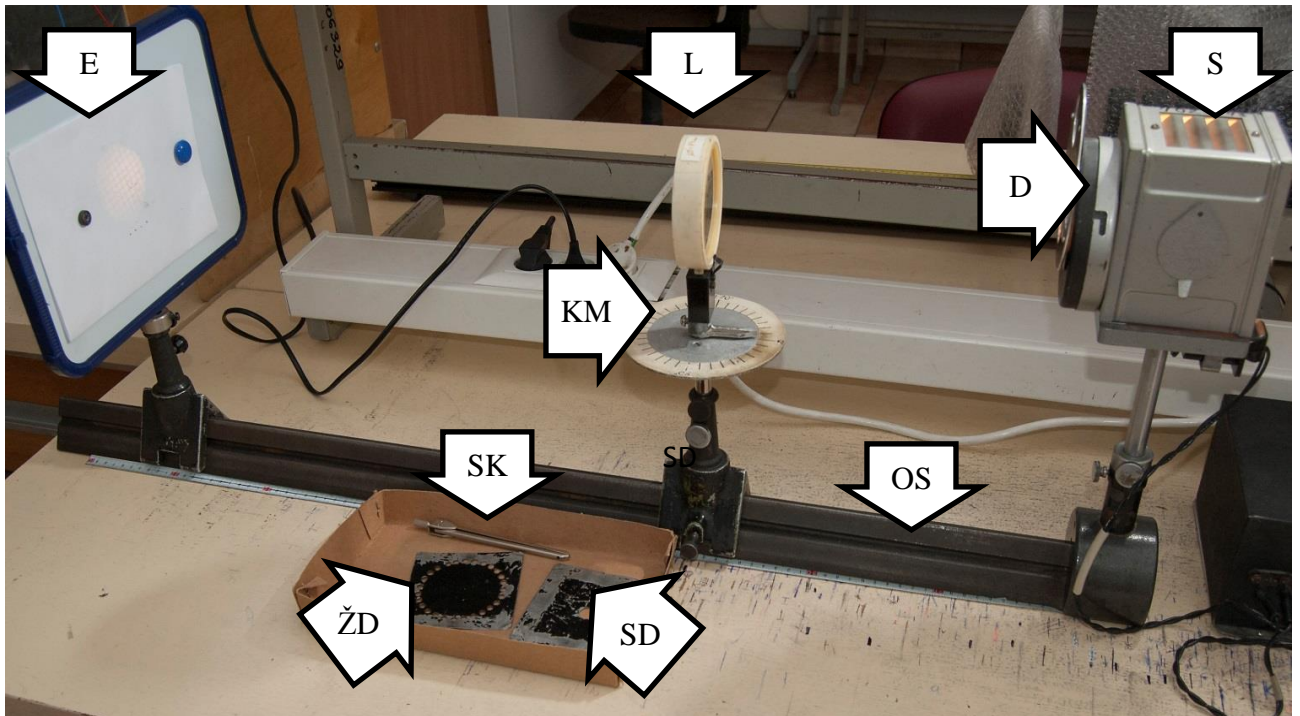
1. Nustatyti glaudžiamojo lęšio ilginę sferinę ir chromatinę aberaciją.
2. Ištirti glaudžiamojo lęšio astigmatizmą.
3. Sudaryti distorsinius atvaizdus.

Teorinės temos

- Optinių sistemų ydos (sferinė ir chromatinė aberacijos, astigmatizmas, distorsija).

Darbo priemonės ir prietaisai

Šviestuvas (S), sukamasis diskas (D) su diafragmomis ir objektais, glaudžiamasis lęšis (L), kampamačio (KM) rodyklė, ekranas (E), skylinė (SD) ir žiedinė (ŽD) diafragmos, ruletė, skriestuvas (Sk), optinis suolas (OS) (1 pav.).

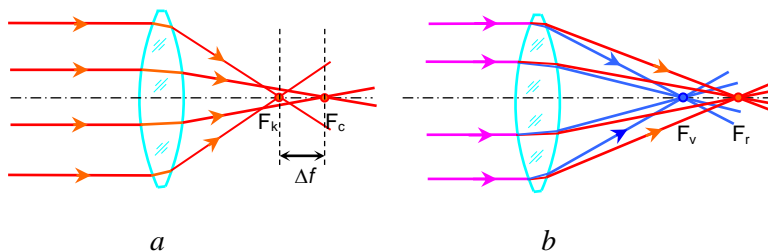


1 pav. Optinės sistemos ydų tyrimo stendas

Tyrimo metodika

Sferinės aberacijos nustatymas

Platesnio tarpusavyje lygiagrečių šviesos spindulių pluošteliu kraštiniai, labiau nutolę nuo optinės lęšio ašies spinduliai, perėję lęšį arčiau jo kraštų, kerta optinę ašį arčiau (2 pav. *a*, taškas F_k) negu centriniai spinduliai, sklindantys arčiau optinės ašies (taškas F_c). Šis reiškinys vadinamas *sferine*



2 pav. Sferinė (*a*) ir chromatinė (*b*) aberacijos

aberacija. Nuotolis Δf tarp F_k ir F_c yra ilginės sferinės aberacijos charakteristika.

Lęšio ilginės sferinės aberacijos tyrimui naudojamos dvi diafragmos. Vienos jų centre yra apskrita skylė, pro kurią sklinda siauras spindulių pluoštelis, o antroje – didelio skersmens žiedinė kiaurymė. Abiem atvejais, nustačius ryškiausius objekto atvaizdus, išmatuojami atstumai nuo lęšio iki objekto *a* ir nuo lęšio iki atvaizdo *b*. Pagal formulę

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (1)$$

skaičiuojami židinio nuotoliai f_k (kai naudojama žiedinė diafragma) ir f_c (skylinė diafragma) bei ilginė sferinė aberacija

$$\Delta f_{ab} = f_c - f_k. \quad (2)$$

Chromatinės aberacijos nuotolio nustatymas

Plonojo lęšio židinio nuotolio f ir lęšio medžiagos lūžio rodiklio n sąryšis:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \quad (3)$$

čia r_1 ir r_2 – lęšį ribojančių sferinių paviršių spinduliai. Kadangi lūžio rodiklis n priklauso nuo šviesos bangos ilgio, t. y. pasireiškia šviesos dispersija, tai židinio nuotolis f taip pat yra bangos ilgio funkcija. Todėl lęšis be galo nutolusių nemonochromatinius spindulius skleidžiantį taškinį spindulį atvaizduoja ne tašku, o erdvėje nesutampančių skirtingų spalvų taškų rinkiniu, išsidėsčiusių tarp (F_r) ir (F_v) (2 pav. *b*). Objekto atvaizdas plokščiame ekrane iškraipytas, jo kraštai spalvoti. Ši lęšių yda vadinama

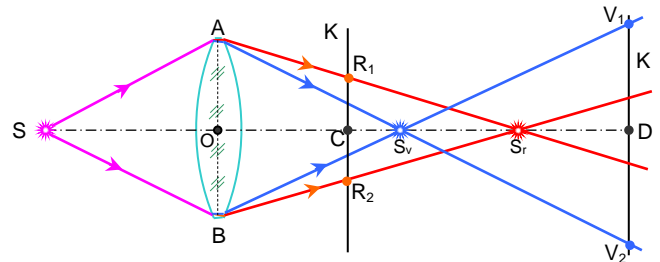
chromatinė aberacija.

Šiuo atveju lęšio chromatinė aberacija tiriama ant ekrano sudarant spalvotas aureoles. Kadangi „laužiamasis kampas“ lęšio kraštuose yra didžiausias, tai kraštinių spindulių kampinė dispersija yra didesnė negu centrinių, todėl pastačius ekraną K kuriame nors taške C (3 pav.) bus matomas objekto melsvo atspalvio atvaizdas (tegu ir neryškus) apsuptas raudonos aureolės. Išmatuojamas aureolės skersmuo R_1R_2 , lęšio skersmuo AB , atstumas OC nuo lęšio iki ekrano bei atstumas OS nuo objekto iki lęšio. Iš trikampių ABS_r ir $R_1R_2S_r$ panašumo gaunama lygybė:

$$\frac{R_1R_2}{OS_r - OC} = \frac{AB}{OS_r} . \quad (4)$$

Iš čia atstumas nuo lęšio iki optinėje ašyje esančio taško (S_r), kuriame susikerta kraštiniai raudonieji spinduliai, yra lygus

$$OS_r = \frac{AB \cdot OC}{AB - R_1R_2} . \quad (5)$$



3 pav. Chromatinės aberacijos tyrimo schema (4)

Pagal lęšio formulę minėtiems spinduliams apskaičiuojamas židinio nuotolis

$$f_r = \frac{OS_r \cdot OS}{OS_r + OS} . \quad (6)$$

Ekranas statomas kuriame nors taške (D) taip, kad objekto atvaizdas būtų apsuptas violetinės aureolės. Išmatuojamas aureolės skersmuo V_1V_2 ir atstumas OD . Iš trikampių ABS_v ir $V_1V_2S_v$ gaunama išraiška:

$$OS_v = \frac{AB \cdot OD}{AB + V_1V_2} . \quad (7)$$

Pagal šią išraišką apskaičiuotą OS_v vertę įrašę į lęšio formulę, apskaičiuojamas židinio nuotolis violetiniams spinduliams:

$$f_v = \frac{OS_v \cdot OS}{OS_v + OS} . \quad (8)$$

Tada lęšio chromatinės aberacijos ilgis yra

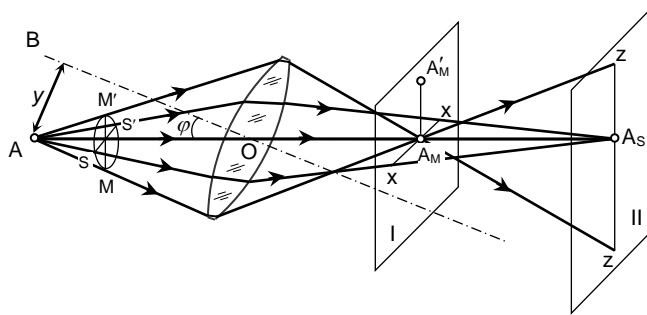
$$\Delta f_{chr} = f_r - f_v . \quad (9)$$

Astigmatizmo tyrimas

Kūginiam spindulių pluošteliui krintant į optinę sistemą dideliu kampu, perėjęs pro sistemą pluoštelis praranda bendracentriškumą su kritusiuoju. Švytinčiojo taško atvaizdas tampa *astigmatinis*. Astigmatizmas yra viena iš optinės sistemos geometrinių aberacijų. Jis priklauso nuo nevienodo

optinio paviršiaus kreivumo įvairiose krintančio į tą paviršių šviesos pluošto skerspjūvio plokštumose.

Astigmatizmas yra bangos fronto deformacija bangai sklindant pro optinę sistemą, todėl šviesos pluošto židinyje įvairiuose pjūviuose yra skirtingose vietose (4 pav.). Plokštuma, einanti per sistemos pagrindinę optinę ašį BO ir spindulių pluošto simetrijos ašį AO , vadinama *meridianine* (joje yra atkarpa MM'), o jai statmena plokštuma, einanti per AO (joje yra atkarpa SS'), – *sagitaline*. Meridianinėje plokštumoje esantys spinduliai surenkami I plokštumos taške A_M , o spinduliai, sklindantys iš A ir esantys plokštumose, lygiagrečiose su atkarpa MM' , I plokštumoje sukuria atkarpą xx , statmeną brėžinio plokštumai. Sagitalinėje plokštumoje esantys spinduliai surenkami II plokštumos taške A_S , o visas spindulių pluoštas sudaro brėžinio plokštumoje šviesią atkarpą zz . Kai ekranas yra tarp A_M ir A_S , matoma elipsės formos šviesi dėmė. Tai įstrižinių pluoštelių astigmatizmas.



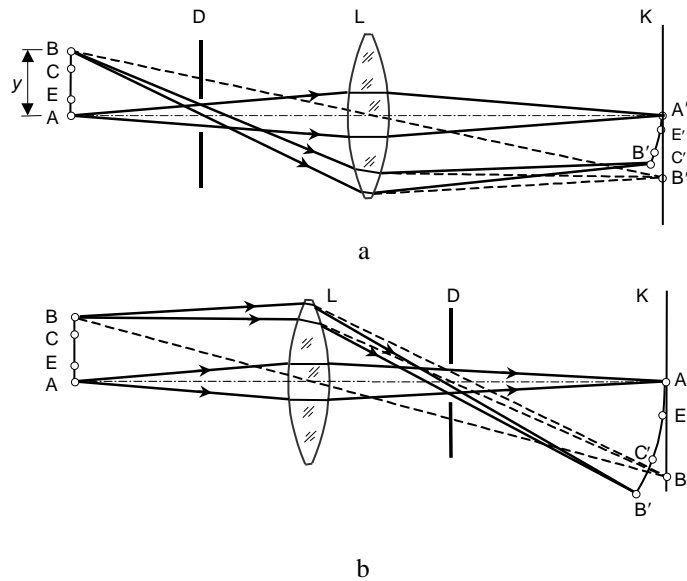
4 pav. Lęšio astigmatizmas

Tiriant glaudžiamojo lęšio astigmatizmą šviestuvo anga uždengiama kvadratinu tinkleliu, kurio linijos turi būti orientuotos vertikaliai ir horizontaliai. Tarp šviestuvo ir ekrano statomas lęšis, kurį galima sukti apie vertikalią ašį. Stumdant ekraną nustatomos tokios jo vietos, kad ekrane būtų ryškiausiai matomos horizontaliosios arba vertikaliosios linijos. Abiem atvejais išmatavus atstumus a ir b pagal (1) formulę skaičiuojami židinio nuotoliai f_M meridianiniams ir f_S sagitaliniams spinduliams. Jų skirtumas $\Delta f = f_M - f_S$, įvertinantis lęšio astigmatizmą, priklauso nuo lęšio posūkio kampo. Šią priklausomybę reikia iširti ir atvaizduoti grafiškai. Atliekant šią užduotį, tarp spinduolio ir lęšio (arčiau lęšio) patariama pastatyti skylinę diafragmą, kuri mažina atvaizdo iškraipymus dėl komos.

Distorsijos tyrimas

Distorsija – viena iš optinės sistemos ydų – sukurtas atvaizdas iškraipomas dėl nevienodo įvairių atvaizdo dalių ilginio didinimo. Distorsinis atvaizdo iškraipymas geriau matomas, kai tarp objekto (AB) ir lęšio (L) (5 pav. *a*) arba tarp lęšio (L) ir atvaizdo ($A'B'$) (5 pav. *b*) yra skylinė diafragma (D). Objekto ir lęšio matmenys turi būti dideli, lyginant su skylės skersmeniu. Pirmuoju atveju susidaro „statinės“ formos atvaizdas (6 pav. *b*). Iš tiesų, jei taškas (A') yra paraksialinių spindulių sukurtas taško (A) atvaizdas (5 pav. *a*), analogiškai taško (B) atvaizdas turėtų būti (B'').

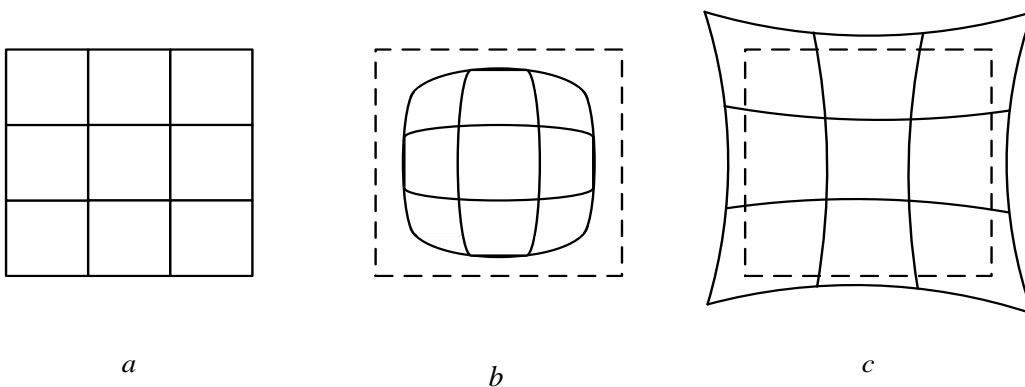
Tačiau iš taško (B) sklindančių spindulių reali eiga yra kitokia. Šie spinduliai, pereinantys lęšį arčiau



5 pav. Distorsinių atvaizdų susidarymas: a – „statinės“ formos; b – „pagalvės“ formos

kraštų, lūžę susikerta arčiau lęšio negu spinduliai, pereinantys arčiau lęšio centro. Todėl atvaizdas susikuria taške (B'), t.y. arčiau lęšio ir optinės ašies nei (B'').

Kai diafragma yra tarp lęšio ir atvaizdo (5 pav. b), dėl anksčiau minėtų priežasčių taško (B) atvaizdas yra arčiau lęšio, bet toliau nuo optinės ašies negu (B''). Dėl to kraštinių objekto dalių atvaizdas yra labiau padidintas negu centrinių ir atvaizdas yra „pagalvės“ formos (6 pav. c). Kai pasireiškia distorsija, atvaizdas sukuriamas ne plokštumoje, o paraboliniame paviršiuje. Išryškėja dar viena lęšio yda – sukurto atvaizdo *paviršiaus iškreipymas*.



6 pav. Atvaizdai esant distorsijai: a – objektas; b – „statinės“ forma; c – „pagalvės“ forma

Sudarant distorsinius atvaizdus šviestuvais, lęšis ir ekranas statomi ant optinio suolo ir sukuriamas padidintas objekto (ant šviestuvo gaubto uždėto kvadratinio tinklelio) atvaizdas. Distorsijos didumas priklauso nuo diafragmos atstumo iki lęšio bei nuo jos skersmens. Todėl stumdant diafragmą tarp lęšio ir šviestuvo nustatoma tokia jos vieta ir skersmuo, kad būtų aiškiai matomas „statinės“ formos atvaizdas. Diafragma perkeliama tarp lęšio ir ekrano. Keičiant diafragmos vietą, sukuriamas „pagalvės“ formos atvaizdas.

Darbo eiga

1. Sferinės aberacijos nustatymas

Ijungiamas šviestuvus S (1 pav.). Transformatoriaus rankenėle nustatoma lemputės maitinimo įtampa, kuriai esant ji šviestų vidutiniu ryškumu. Kvadratinis tinklelis (objektas, kurio atvaizdai bus projektuojami ant ekrano (E) pastatomas tarp šviesos šaltinio ir lęšio (1 pav.). Keičiamos lęšio L ir ekrano padėtys, kol ekrane sukuriamas ryškus padidintas atvaizdas.

Prie lęšio tvirtinama skylinė diafragma (SD). Stumiant ekraną surandama ryškiausio objekto atvaizdo vieta. Išmatuojami atstumai a ir b . Veiksmai kartojami dar du kartus.

Pagal (1) formulę skaičiuojami židinio nuotoliai f_c ir jų vidurkis.

Įstačius žiedinę diafragmą (ŽD) pakartojami veiksmai kaip ir su skyline diafragma, apskaičiuojami židinio nuotoliai f_k ir jų vidurkis.

Pagal (2) formulę apskaičiuojama sferinės aberacijos vidutinė vertė.

2. Chromatinės aberacijos nustatymas

Sukant diską (D) tarp lempos (S) ir lęšio (L) (1 pav.) pastatoma mažo skersmens skylinė diafragma (taškinio šviesos šaltinio atitikmuo). Keičiant ekrano (E) ir lęšio padėtis sudaromas atvaizdas su ryškia raudona aureole tuomet išmatuojamas aureolės skersmuo ir matuojami atstumai nuo diafragmos iki lęšio ir nuo lęšio iki ekrano.

Nekeičiant lęšio padėties stumiamas ekranas, kol jame sudaromas atvaizdas su mėlyna aureole. Skriestuvu išmatuojamas aureolės skersmuo, o rulete – atstumas nuo lęšio iki ekrano.

Pagal (6) ir (8) formules apskaičiuojami židinio nuotoliai f_r , f_v ir jų vidutinės vertės, ir pagal (9) formulę vidutinė chromatinė aberacija.

3. Astigmatizmo tyrimas

Pasukant diską (D) (1 pav.) pastatomas tinklelis. Prie lęšio (L) pritvirtinama skylinė diafragma. Ekranas (E) pastatomas optinio suolo (OS) gale. Lęšis pasukamas 10° apie vertikalią ašį. Stumiant ekraną stebima, kada ekrane būna ryškiausios horizontalios ir vertikalios linijos. Sudarius ryškiausius atvaizdus abiem atvejais matuojami atstumai a ir b .

Veiksmai kartojami keletą kartų, kiekvieną kartą padidinant pasukimo kampą 5° . Maksimalus lęšio pasukimo kampas turi būti 30° . Duomenys rašomi į lentelę.

Kampas	b_M (cm)	b_S (cm)	f_M (cm)	f_S (cm)	Δf (cm)

Pagal (1) formulę apskaičiuojami židinio nuotoliai meridianiniams (f_M) ir sagitaliniams (f_S) spinduliams bei jų skirtumai Δf kiekvienai lęšio posūkio kampo vertei ir pavaizduojama grafiškai.

4. Distorsijos tyrimas

Lęšiu (L) ir ekranu (E) (1 pav.) sukuriamas ryškus padidintas tinklelio atvaizdas. Tarp šviestuvo ir lęšio pastatomas skylinė diafragma taip, kad ekrane būtų stebimas ryškus „statinės“ formos atvaizdas. Išmatavus centrinių ir kraštinių atvaizdo dalių ilgį bei nustačius atitinkamų objekto dalių ilgį apskaičiuojami centrinių ir kraštinių objekto dalių didinimai.

Diafragmą pastačius tarp ekrano ir lęšio (arčiau ekrano) jos padėtis ant optinio suolo ir jos skersmuo nustatomi taip, kad ekrane būtų stebimas ryškus „pagalvės“ formos atvaizdas. Vėl skaičiuojamas objekto dalių didinimas.

Literatūra

V. A. Šalna. Optikos laboratoriniai darbai. Vilnius, VU leidykla, 2009. (www.mopl.bfsk.ff.vu.lt)