

OL2B. OPTINIŲ SISTEMŲ YDŲ TYRIMAS

Darbo tikslas

Ištirti su pagrindines optinių sistemų ydas ir jų įtaką objektų atvaizdams.

Užduotys

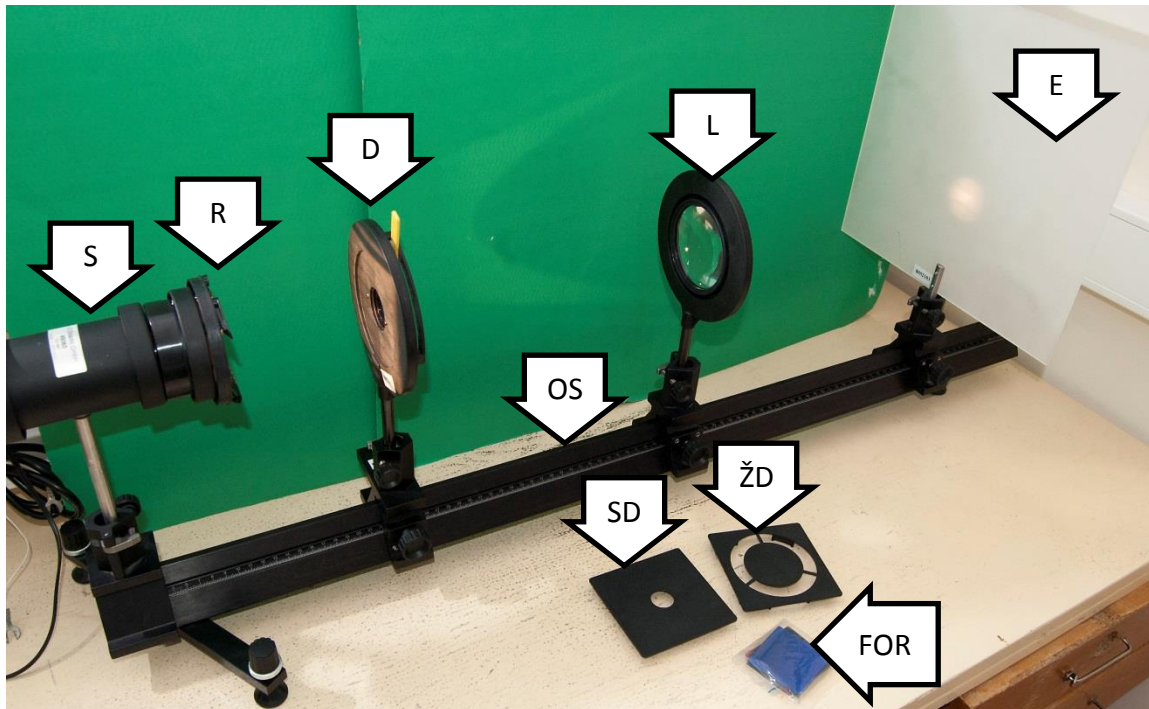
1. Nustatyti glaudžiamojo lęšio ilginę sferinę ir chromatinę aberaciją.
2. Ištirti glaudžiamojo lęšio astigmatizmą.
3. Sudaryti distorsinius atvaizdus.

Teorinės temos

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

Darbo priemonės ir prietaisai

Šviestuvai (S) su asferiniu kondensatoriumi, rėmelis (R) šviesos filtrams ir objektų plokštelėms įstatyti, ~150 mm židinio nuotolio glaudžiamasis lęšis (L), ekranas (E), skylinė (SD) ir žiedinė (ŽD) diafragmos, reguliuojamo skersmens („irisinė“) diafragma (D), šviesos filtrų ir skaidrių plokštelių su objektais rinkinys (FOR), ruletė, optinis suolas (OS) (1 pav.).

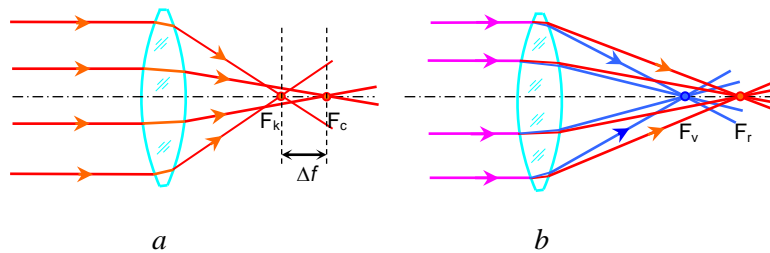


1 pav. Optinės sistemos ydų tyrimo stendo vaizdas

Tyrimo metodika

Sferinės aberacijos ilgio nustatymas

Platesnio tarpusavyje lygiagrečių šviesos spindulių pluoštelių 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 aberacija*. Nuotolis Δf tarp F_k ir F_c yra ilginės sferinės aberacijos charakteristika.



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

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

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

Chromatinės aberacijos nuotolio nustatymas

Plonojo lęšio židinio nuotolį f su lęšio medžiagos lūžio rodikliu n sieja tokia lygtis:

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

čia r_1 ir r_2 – lęšio 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 spindulių atvaizduoja ne tašku, o erdvėje nesutampančių skirtingų spalvų taškų rinkiniu, išsidėsčiusių tarp F_r ir F_v (2 pav. *b*). Objekto atvaizdas plokščiaame ekrane iškraipytas, jo kraštai spalvoti. Ši lęšių yda vadinama *chromatine*

aberacija.

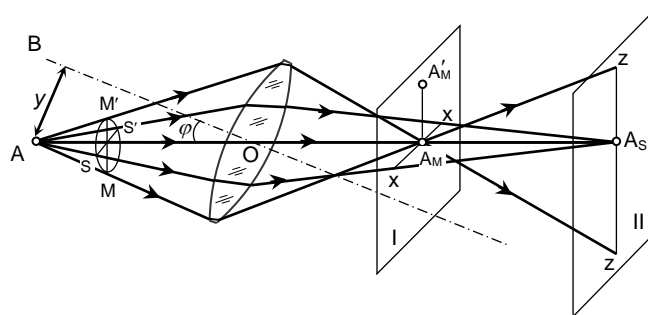
Chromatinė aberacija tiriama naudojant raudoną ir mėlyną šviesos filtrus bei mažo skersmens skylinę diafragmą. Objekto – skylės krašto – atvaizdas kuriamas naudojant kiekvieną filtrą atskirai. Optiniai elementai išdėstomi pagal vadinamąją $2F-2F$ schemą, t.y. lęšis stovi maždaug per vidurį tarp objekto ir ekrano, lęšiu sukuriama originalaus dydžio objekto atvaizdas. Židinio nuotolis f_r raudoniesiems ir f_m mėlyniems spinduliams bus lygus pusei atstumo tarp lęšio iki atvaizdo plokštumų naudojant atitinkamus filtrus. Idealiu atveju minėtasis atstumas turėtų būti visada vienodas ir lygus $2f$, tačiau dėl chromatinės aberacijos jis skiriasi. Chromatinė aberacija įvertinama dydžiu

$$\Delta f_{\text{chr}} = f_r - f_m. \quad (4)$$

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. Jį lemia nevienodas optinio paviršiaus kreivumas įvairiose krintančio į tą paviršių šviesos pluoštelio skerspjūvio plokštumose.

Astigmatizmas reiškiasi tuo, kad bangos frontas deformuojasi bangai sklindant pro optinę sistemą, ir šviesos pluoštelio židinyse įvairiuose pjūviuose yra skirtingose vietose (3 pav.). Plokštuma, einanti per sistemos pagrindinę optinę ašį BO ir spindulių pluoštelio simetrijos ašį AO , vadinama *meridianine* (joje yra atkarpa MM'), o jai statmena plokštuma, einanti per AO (joje yra atkarpa SS'), – *sagitalinė*. 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.



3 pav. Lęšio astigmatizmas

Tiriant galudžiamojo lęšio astigmatizmą šviestuvo anga uždengiama kvadratinis tinkleliu, kurio linijos turi būti orientuotos vertikaliai ir horizontaliai. Tarp šviestuvo ir ekrano statomas lęšis, kurį galima sukuti apie vertikalią ašį. Stumdant ekraną nustatomos tokios jo vietos, kad ekrane būtų

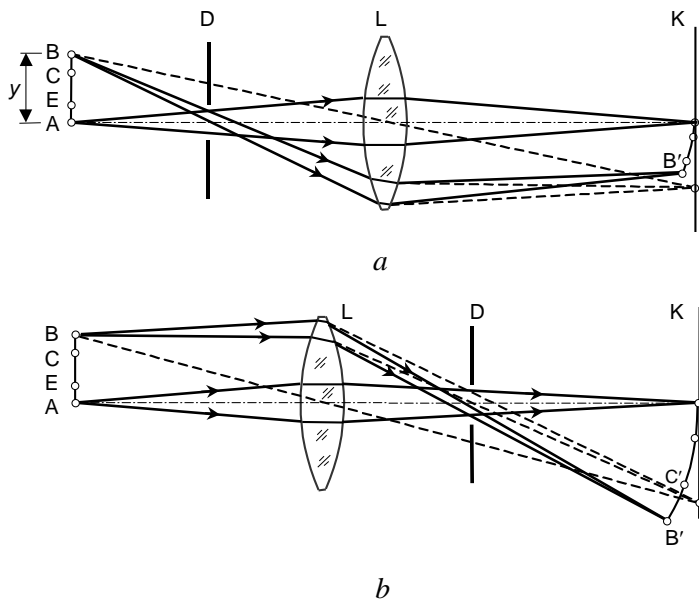
ryškiausiai matomos horizontaliosios arba vertikaliosios linijos. Abiem atvejais išmatavus atstumus a ir b pagal (1) formulę skaičiuojami židinio nuotoliai f_M meridianiniams ir f_S sagitaliniams spinduliams. Jų skirtumas

$$\Delta f = f_M - f_S, \quad (5)$$

įvertinantis lęšio astigmatizmą, priklauso nuo lęšio posūkio kampo. Atliekant šią užduotį, tarp spinduolio ir lęšio (arčiau lęšio) patariama pastatyti skylinę diafragmą, kuri mažina atvaizdo iškreipimus dėl komos.

Distorsijos tyrimas

Distorsija – viena iš optinės sistemos ydų – sukurtas atvaizdas iškreipomas dėl nevienodo įvairių atvaizdo dalių ilginio didinimo. Distorsinis atvaizdo iškreipymas geriau matomas, kai tarp objekto AB ir lęšio L (4 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 (5 pav. *b*). Iš tiesų, jei taškas A' yra paraksialiuųjų spindulių sukurtas taško A atvaizdas (4 pav. *a*), analogiškai taško B atvaizdas turėtų būti B'' . Tačiau iš taško B sklindančių spindulių reali eiga

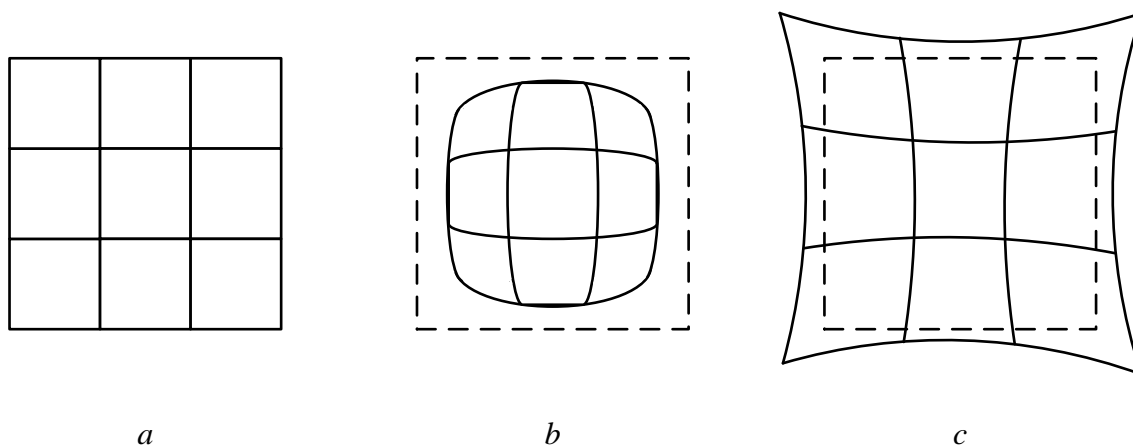


4 pav. Distorsinių atvaizdų susidarymas: *a* – „statinės“ formos; *b* – „pagalvės“ formos

yra kitokia. Šie spinduliai, pereinantys lęšį arčiau kraštų, lūžę susikerta arčiau lęšio negu spinduliai, pereinantys arčiau lęšio centro. Dėl to atvaizdas susikuria taške B' , t. y. arčiau lęšio ir optinės ašies negu B'' . Šis efektas tuo stipresnis, kuomet objekto taškas yra toliau nuo optinės ašies. Taškui B poslinkis yra

didžiausias, C – mažesnis, o E – dar mažesnis. Todėl vienodo ilgio atkarpų AE ir CB atvaizdų $A'E'$ ir $C'B'$ projekcijos ekrane K yra nevienodos. Projekcija $A'E'$ yra didesnė negu $C'B'$. Centrinų objekto dalių atvaizdas padidintas labiau negu kraštinių.

Kai diafragma yra tarp lęšio ir atvaizdo (4 pav. *b*), dėl ankščiau 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 (5 pav. *c*). Kai pasireiškia distorsija, vaizdas



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

sukuriamas ne plokštumoje, o paraboliniame paviršiuje. Išryškėja dar viena lęšio yda – sukurto atvaizdo *paviršiaus iškraipymas*.

Sudarant distorsinius atvaizdus šviestuvus, lęšis ir ekranas statomi ant optinio suolo ir randamas 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 randama tokia jos vieta ir skersmuo, kad būtų aiškiai matomas „statinės“ formos atvaizdas. Diafragma perkeliama tarp lęšio ir ekrano. Keičiant diafragmos vietą, sukuriama „pagalvės“ formos atvaizdas.

Darbo eiga

1. Sferinės aberacijos nustatymas

Ijungiamas šviestuvas (S) (1 pav.). Stumiant ekraną E patikrinamas lempos skleidžiamo spindulių pluošto centro lygiagretumas optiniam suolui (OS) (1 pav.). Tai padaroma nuo optinio suolo nuėmus visas priemones išskyrus šviestuvą. Ant ekrano užklijuojamas popieriaus lapas ir pažymimas šviesios dėmės centras ekraną pastačius optinio suolo gale. Žiūrima, ar artinant ekraną prie šviesos šaltinio kinta matomos dėmės centro padėtis. Jeigu ji išlieka nepastovi, pažymimas dėmės vidurio taškas ekranui esant šalia lempos. Pastačius ekraną optinio suolo gale, šviestuvo korpuso gale esančiais sraigtais pakoreguojama dėmės padėtis.

Skaidri plokštelė su joje pavaizduotu kvadratinu tinkleliu įstatomas į rėmelį (R). Ant suolo pastatoma irisinė diafragma (D), kuri maksimaliai atverinama. Ant optinio suolo pastatomas lęšis (L) ir keičiama jo padėtis, kol ekrane sukuriamas ryškus padidintas objekto atvaizdas. Skylinė diafragma (SD), kuri turi būti atsukta į šviestuvą, įstatoma į žiedinę įpjovą lęšio įtvare. Šviestuvo spindulių pluoštas turi kristi statmenai į lęšio plokštumą.

Stumiant ekraną surandama ryškiausia objekto atvaizdo vieta. Išmatuojami atstumai a ir b . Duomenys rašomi į lentelę. Pagal (1) formulę apskaičiuojamas židinio nuotoliai f_c ir jų vidurkis. Nekeičiant atstumo a įstatę (ŽD) diafragmą išmatuojamas atstumas b , veiksmai pakartojami pakeitus atstumą a . Pagal (1) formulę apskaičiuojami židinio nuotoliai f_k ir jų vidurkis.

Nustačius židinio nuotolių vidurkių skirtumą įvertinamas vidutinis sferinės aberacijos dydis.

2. Chromatinės aberacijos nustatymas

Iš rėmelio (R) (1 pav.) išimama plokštelė su objektu ir įstatomas mėlynas šviesos filtras. Diafragma (D) pastatoma ant optinio suolo ties 12 cm žyma. Geltona svirtele nustatomas minimalus irisinės diafragmos skersmuo. Ties 73–74 cm žyma pastatomas matinis ekranas (E). Glaudžiamojo lęšio (L) padėtis keičiama tol, kol ekrane susidaro ryškiausias (mažiausio skersmens) šviesios diafragmos angos atvaizdas. Išmatuojamas atstumas tarp lęšio ir ekrano. Pusė šios atkarpos ilgio yra lygi lęšio židinio nuotoliui mėlynai šviesai f_m . Duomenys rašomi į lentelę. Veiksmai kartojami dar du kartus.

Ekperimentas kartojamas į rėmelį įstačius raudoną šviesos filtrą. Taip nustatomas židinio nuotolis f_r . Suskaičiavus židinių nuotolių vidurkius įvertinamas vidutinis chromatinės aberacijos dydis.

3. Astigmatizmo tyrimas

Rėmelyje (R) (1 pav.) esantis šviesos filtras pakeičiamas plokšte su tinkleliu. Prie lęšio (L) pritvirtinama skylinė diafragma (SD). Ekranas (E) pastatomas optinio suolo (OS) gale. Lęšis nedideliu kampu pasukamas apie vertikalią ašį. Stumiant lęšį stebima, kada ekrane būna ryškiausios horizontalios (sufokusuoti meridianiniai spinduliai) ir vertikalios (sagitaliniai spinduliai) linijos. Sudarius ryškiausius atvaizdus abiem atvejais matuojami atstumai a ir b (žr. (1) formulę). Veiksmai kartojami lęšį pasukus 45° kampu. Duomenys rašomi į lentelę.

Išimama skylinė diafragma, lęšis pasukamas taip, kad jo plokštuma vėl būtų stamena krintančiajam spindulių pluoštui. Atlikus matavimus skaičiuojami židinio nuotoliai meridianiniams (f_M) ir sagitaliniams (f_S) spinduliams bei jų skirtumai Δf abiem lęšio posūkio kampams. Skirtumų dydžiai palyginami tarpusavyje.

4. Distorsijos tyrimas

Keičiamos lęšio (L) ir ekrano (E) (1 pav.) padėties ant optinio suolo (OS), kol ekrane sudaromas ryškus padidintas tinklelio atvaizdas. Ant optinio suolo tarp šviestuvo ir lęšio (arčiau šviestuvo) pastatoma irisinė diafragma (D). Diafragmos padėtis ant optinio suolo ir jos skersmuo nustatomi taip, kad ekrane būtų stebimas ryškus „statinės“ formos atvaizdas. Išmatavus centrinių ir kraštinių atvaizdo dalių ilgus bei nustačius atitinkamų objekto dalių ilgus 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. Baigus darbą išjungiamas šviestuvai ir padedamos į vietą darbo metu naudotos priemonės.

Literatūra

1. Šalna V. A. Optika. Laboratoriniai darbai. – Vilnius, 2009. (www.mopl.bfsk.ff.vu.lt)
2. LD Physics Leaflets: Spherical Aberration in Lens Imaging; Astigmatism and Curvature of Image Field in Lens Imaging; Chromatic Aberration in Lens Imaging (P5.1.3.1.; P5.1.3.2.; P5.1.3.4.). – Huerth: LD Didactic GmbH.