

LD1A. OPTINIŲ SISTEMŲ PARAMETRŲ TYRIMAS

Darbo tikslas

Ištirti optinių sistemų parametrus.

Užduotys

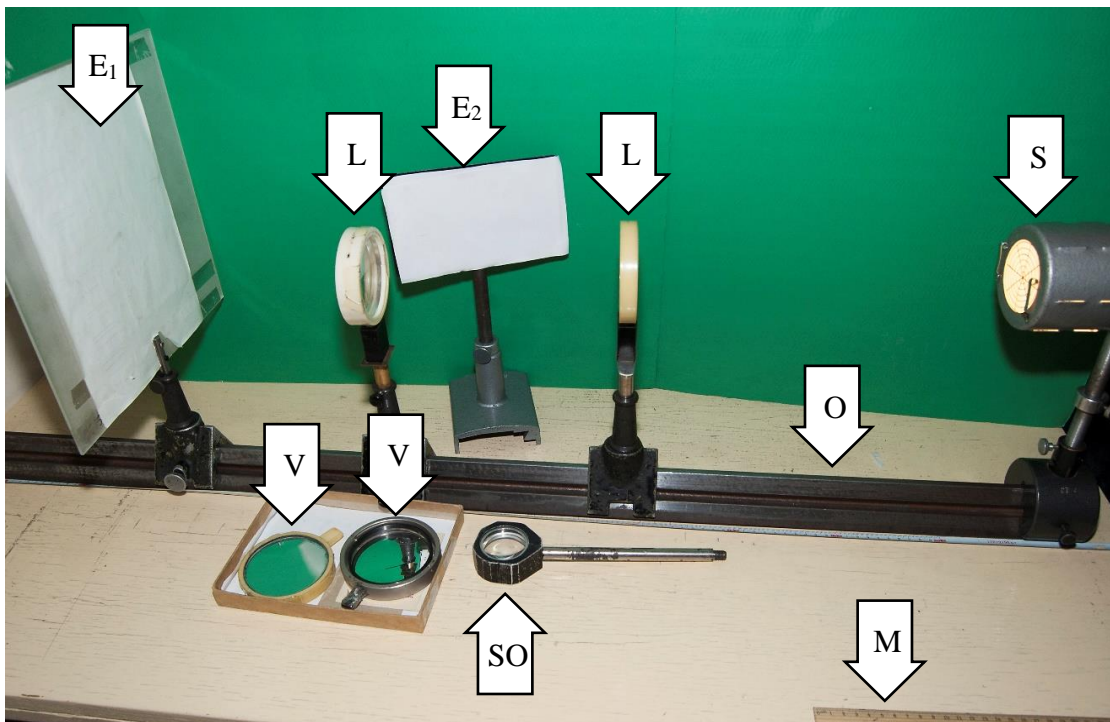
1. Nustatyti glaudžiamojo ir sklaidomojo lęšio židinio nuotolį.
2. Nustatyti įgaubtojo veidrodžio židinio nuotolį.
3. Nustatyti optinės sistemos kardinaliuosius elementus.

Teorinės temos

- Pagrindiniai geometrinės optikos elementai.
- Lęšio laužiamoji geba, didinimas.
- Plonojo lęšio formulė.
- Optinės sistemos kardinalieji elementai.

Darbo priemonės ir prietaisai

Optinis suolas (O), šviesos šaltinis (S), lęšiai (L), veidrodžiai (V), ekranas (E_1), papildomas ekranas (E_2), optinė sistema kardinaliųjų elementų nustatymui (OS), liniuotė (M) (1 pav.).



1 pav. Optinių sistemų tyrimo stendas.

Tyrimo metodika

Tyrimui naudojamas optinis suolas, kuriuo gali slankioti stoveliai su lęšiais, ekranu, bei šviestuvu. Visi prietaisai turi būti sustatyti taip, kad jų optiniai centrai būtų vienodame aukštyje, ekrano plokštuma statmena optinio suolo briaunai, o lęšių optinės ašys – lygiagrečios.

Ryšys tarp plonojo lęšio židinio nuotolio f ir daikto bei atvaizdo atstumų nuo lęšio a ir b nusakomas formule:

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

Ši formulė tinka tada, kai atstumas tarp pagrindinių plokštumų yra mažas, palyginti su židinių nuotoliais. Ji galioja ir įgaubtajam veidrodžiui. Šiuo atveju $f = R/2$; čia R – veidrodžio paviršiaus kreivumo spindulys.

Lęšio laužiamoji geba (dydis atvirkščias židinio nuotoliui $D = 1/f$) priklauso nuo jo geometrinės konstrukcijos ir medžiagos, iš kurios jis pagamintas, savybės. Storojo lęšio laužiamoji geba reiškiamą taip:

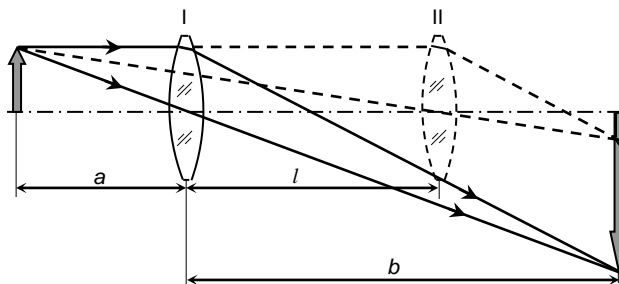
$$D = \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n - 1)^2}{n} \frac{d}{r_1 r_2},$$

čia n – lūžio rodiklis, r_1 ir r_2 – lęšio paviršių kreivumo spinduliai, d – lęšio storis.

Gludžiamoji lęšio židinio nuotolio nustatymas

I būdas. Lęšis ir ekranas statomas taip, kad ekrane susidarytų ryškus daikto atvaizdas. Išmatuojami atstumai a ir b ir pagal (1) formulę skaičiuojamas židinio nuotolis f .

II būdas (Beselio būdas). Atstumas tarp daikto ir jo atvaizdo $m = a + b$ yra pastovus. Jei $m > 4f$, tai nekeičiant atstumo tarp daikto ir ekrano galima rasti tokias dvi lęšio vietas, kad ekrane



2 pav. Gludžiamoji lęšio židinio nuotolio nustatymo Beselio būdu schema

susidarytų vienu atveju padidintas, o kitu – sumažintas daikto atvaizdas (2 pav.). Spindulį galima

apgręžti, t. y. sukeisti atvaizdą su daiktu. Tada sumažintas daikto atvaizdas yra atstumu a nuo lęšio, esančio II vietoje. Pažymėjus $l = b - a$, galima parašyti šias išraiškas:

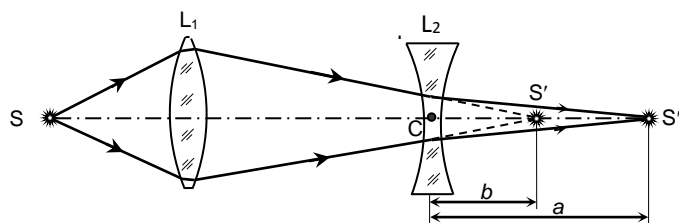
$$a = \frac{m - l}{2}; \quad b = \frac{m + l}{2}. \quad (2)$$

Iš (1) ir (2) formulių reiškiamas lęšio židinio nuotolis:

$$f = \frac{m^2 - l^2}{4m}. \quad (3)$$

Sklaidomojo lęšio židinio nuotolio nustatymas

Sklaidomojo lęšio židinio nuotoliui nustatyti naudojamas dar ir glaudžiamasis lęšis. Tarkime, kad glaudžiamasis lęšis (L_1) sukuria taško (S) atvaizdą taške (S') (3 pav.). Pastačius už glaudžiamąjį



3 pav. Sklaidomojo lęšio židinio nuotolio nustatymo schema

sklai domąjį lęšį (L_2), taško (S) atvaizdas susikuria toliau – taške (S''). Jei nagrinėsime atvirkščią spindulių eigą (iš taško (S'')), tai (S') bus tariamasis taško (S'') atvaizdas, kurį sukuria lęšis (L_2). Pažymėję atstumą (CS'') raide a , o (CS') – raide b ir atkreipę dėmesį į tai, kad naudojant sklaidomąjį lęšį, b ženklas neigiamas, (1) formulė užrašoma taip:

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}. \quad \text{Iš čia} \quad f = \frac{ab}{b - a}. \quad (4)$$

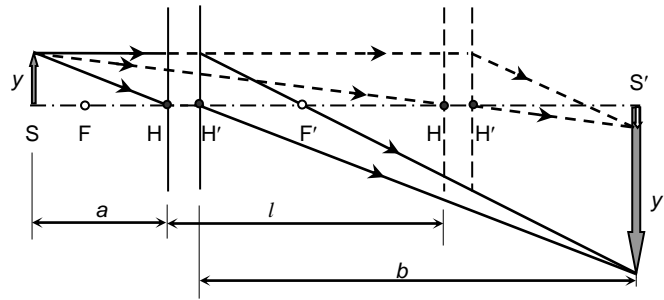
Igaubto veidrodžio židinio nuotolio nustatymas

Igaubtajam veidrodžiui galioja (1) formulė. Ekranas statomas šalia objekto taip, kad jis nekliudytų šviesai kristi į veidrodį. Kritę ir atsispindėję spinduliai sudaro nedidelį kampą. Stumdant veidrodį ekrane sukuriama sumažintas objekto atvaizdas. Išmatavus a ir b , pagal (1) formulę apskaičiuojamas židinio nuotolis f . Pastūmus ekraną už objekto, sukuriama ryškus padidintas atvaizdas. Vėl išmatavus a ir b , apskaičiuojamas židinio nuotolis. Po to ekranas statomas greta objekto ir veidrodis stumiamas taip, kad ekrane susikurtų ryškus atvaizdas. Tada $a = b = 2f$.

Optinės sistemos kardinaliųjų elementų nustatymas

Visus spindulius, sklindančius iš vieno daikto taško, ideali optinė sistema surenka viename atvaizdo taške. Tokias sąlygas gerai tenkina centruotoji optinė sistema, kai spindulių skėsties kampai nedideli (paraksialieji spinduliai).

Jei optinė sistema yra ore, tai $|f| = |f'|$. Šviestuvus, kurio anga uždengta matiniu stiklu su nubraižytu tinkleliu arba bendracentrisiais apskritimais, tiriamoji optinė sistema ir ekranas statomi ant



4 pav. Optinės sistemos kardinaliųjų elementų nustatymo schema

optinio suolo. Esant fiksuotoms ekrano ir šviestuvo padėtimis, optinė sistema vieną kartą statoma taip, kad susikurtų sumažintas, o kitą kartą – padidintas objekto atvaizdas (4 pav.). Atstumas tarp šių padėčių

$$l = b - a. \quad (5)$$

Išmatuojami objekto ir jo atvaizdo matmenys ir nustatomas ilginis didinimas

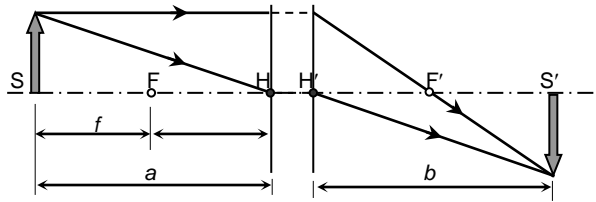
$$k = \frac{y'}{y} = \frac{b}{a}. \quad (6)$$

Iš (1), (5) ir (6) formulių gaunama optinės sistemos židinio nuotolio f išraiška:

$$f = \frac{lk}{k^2 - 1}. \quad (7)$$

Tačiau židinių F ir F' bei pagrindinių taškų H ir H' vietos dar nežinomos. Jos nustatomos tokiu būdu. Optinės sistemos ir ekrano vieta parenkama taip, kad didinimas būtų lygus vienetui (5 pav.). Tada $a = b = 2f$. Kai abiejose optinės sistemos pusėse terpė yra vienoda (oras), $HF = H'F' = FS = F'S' = f$. Atidėjus nuotolius f nuo objekto (tinklelio) S ir nuo jo atvaizdo (ekrano) S' , nustatoma židinių F ir F' vieta. Išmatavus atstumą d nuo objekto iki jo atvaizdo, galima rasti atstumą tarp pagrindinių plokštumų (taškų)

$$HH' = d - 4f. \quad (8)$$



5 pav. Židinių ir pagrindinių plokštumų nustatymo schema

Norint nustatyti pagrindinių plokštumų vietas tiriamojoje optinėje sistemoje, reikia dar išmatuoti atstumą nuo objekto iki priekinio sistemos paviršiaus ir nuo ekrano iki galinio sistemos paviršiaus. Iš šių matavimų galima nustatyti, kaip pagrindinės plokštumos išsidėsčiusios optinėje sistemoje.

Pritaikius Niutono (*Newton*) formulę

$$x x' = f^2 \quad (9)$$

galima patikrinti, ar teisingai nustatyti židinių nuotoliai. Išraiškoje (9) $x = FS$ yra atstumas nuo objekto iki priekinio židinio, o $x' = F'S'$ – nuo galinio židinio iki atvaizdo (5 pav.). Optinė sistema stumiama tolyn nuo spinduolio ir nustatoma ekrano vieta, kai matomas objekto atvaizdas. Žinant iš ankstesnių matavimų židinių vietas (atstumus nuo optinėje sistemoje pasirinkto taško), išmatuojami x ir x' .

Darbo eiga

1. Glaudžiamojo lęšio židinio nuotolio nustatymas

Glaudžiamojo lęšio židinio nuotolio nustatymas I būdu.

Lęšis ir ekranas statomas taip, kad ekrane susidarytų ryškus daikto atvaizdas. Išmatuojami atstumai a ir b ir pagal (1) formulę skaičiuojamas židinio nuotolis f . Bandymas kartojamas kelis kartus keičiant a ir b . Rezultatai surašomi į lentelę.

1 lentelė. Objekto ir atvaizdo nuotoliai

a (cm)	b (cm)	$\frac{1}{a}$ (cm ⁻¹)	$\frac{1}{b}$ (cm ⁻¹)	f (m)

Glaudžiamojo lęšio židinio nuotolio nustatymas II būdu.

Šviečiantis objektas statomas atstumu $m > 4f$ (pasinaudojama anksčiau nustatyta f verte) nuo ekrano ir sukuriama ryškus padidintas objekto atvaizdas. Matuojamas atstumas m tarp objekto ir atvaizdo. Pažymima lęšio vieta ant optinio suolo. Po to sukuriama ryškus sumažintas atvaizdas ir pažymima lęšio vieta. Atstumas tarp lęšio padėčių yra l . Gautieji duomenys įrašomi į (3) formulę ir skaičiuojamas židinio nuotolis f . Matuojama kelis kartus keičiant atstumą tarp objekto ir ekrano. Bandymas kartojamas kelis kartus keičiant a ir b . Rezultatai surašomi į lentelę.

2 lentelė. Objekto ir atvaizdo nuotoliai

m (cm)	l (cm)	f (m)

2. Sklaidomojo lęšio židinio nuotolio nustatymas

Ant optinio suolo statomas glaudžiamasis lęšis (L_1) ir ekrane sukuriama atvaizdas S' . Pažymima ekrano vieta. Už lęšio (L_1) statomas sklaidomasis lęšis (L_2) ir dviejų lęšių optine sistema sukuriama atvaizdas S'' . Išmatuojami atstumai a ir b . Įrašius jų vertes į (4) formulę, apskaičiuojamas sklaidomojo lęšio židinio nuotolis. Matavimai kartojami kelis kartus. Rezultatai surašomi į lentelę.

3 lentelė. Objekto ir atvaizdo nuotoliai

a (cm)	b (cm)	$\frac{1}{a}$ (cm ⁻¹)	$\frac{1}{b}$ (cm ⁻¹)	f (m)

4. Igaubto veidrodžio židinio nuotolio nustatymas

Igaubtajam veidrodžiui galioja (1) formulė. Ekranas statomas šalia objekto taip, kad jis nekliudytų šviesai kristi į veidrodį. Kritę ir atsispindėję spinduliai sudaro nedidelį kampą. Stumdant veidrodį ekrane sukuriama sumažintas objekto atvaizdas. Išmatavus a ir b , pagal (1) formulę apskaičiuojamas židinio nuotolis f . Pastūmus ekraną už objekto, sukuriama ryškus padidintas atvaizdas. Vėl išmatavus a ir b , apskaičiuojamas židinio nuotolis. Po to ekranas statomas greta objekto ir veidrodis stumiamas taip, kad ekrane susikurtų ryškus atvaizdas. Tada $a = b = 2f$. Skaičiuojamas rezultatų vidurkis.

4 lentelė. Objekto ir atvaizdo nuotoliai

Atvaizdo tipas	a (cm)	b (cm)	$\frac{1}{a}$ (cm ⁻¹)	$\frac{1}{b}$ (cm ⁻¹)	f (m)
Sumažintas					-
Padidintas					-

5. Optinės sistemos kardinaliųjų elementų nustatymas

Šviestuvą, kurio anga uždengta matiniu stiklu su nubraižytu tinkleliu arba bendracentrisiais apskritimais, tiriamoji optinė sistema ir ekranas statomi ant optinio suolo; esant fiksuotoms ekrano ir šviestuvo padėtimis, optinė sistema vieną kartą statoma taip, kad susikurtų sumažintas, o kitą kartą – padidintas objekto atvaizdas (3 pav.).

Išmatuojami objekto ir jo atvaizdo matmenys ir pagal (6) formulę nustatomas ilginis didinimas. Apskaičiuojamas židinio nuotolis. Rezultatai surašomi į lentelę.

5 lentelė. Objekto ir atvaizdo nuotoliai

a , cm	b , cm	l , cm	k	f , m

Nustatomos židinių F ir F' bei pagrindinių taškų H ir H' vietos.

Išmatavus atstumą d nuo objekto iki jo atvaizdo, apskaičiuojamas atstumas tarp pagrindinių plokštumų (taškų) $HH' = d - 4f$.

Visais atvejais įvertinama rezultatų neapibrėžtis.

Literatūra

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