

## 1. OPTINIŲ SISTEMŲ TYRIMAS

### Užduotys

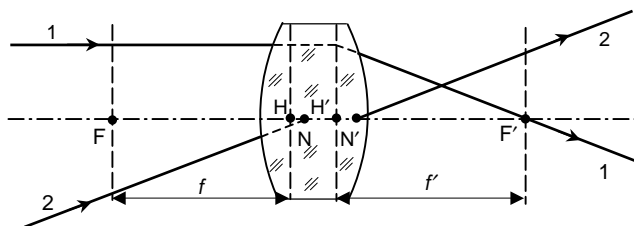
1. Nustatyti glaudžiamojo ir sklaidomojo lęšio židinio nuotolį.
2. Nustatyti įgaubtojo ir iškiliojo veidrodžio židinio nuotolį.
3. Nustatyti optinės sistemos kardinaliuosius elementus.

### Teorija

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).

Optinė sistema apibūdinama trimis kardinaliųjų elementų poromis: *pagrindinėmis*, *židinių* ir *mazginėmis plokštumomis*, einančiomis per *pagrindinius*, *židinių* ir *mazginius taškus* statmenai optinei ašiai. *Pagrindinėse plokštumose* ilginis didinimas lygus vienetui, t. y. jei daiktas yra vienoje pagrindinėje plokštumoje, tai jo tokio pat dydžio tiesinis (neapverstas) atvaizdas yra kitoje pagrindinėje plokštumoje. Šios plokštumos kerta optinę ašį *pagrindiniuose taškuose* H ir H' (1.1 pav.). Plonojo lęšio pagrindinės plokštumos ir pagrindiniai taškai sutampa.

Kiekvienoje optinėje sistemoje yra du *židiniai*: priekinis F ir galinis F'. Jei į optinę sistemą iš kairės kranta lygiagretus spindulių pluoštelis su optine ašimi (1.1 pav., 1 spindulys), tai pro ją perėję spinduliai susikerta sistemos židinyje F'. Analogiškai iš dešinės kritęs lygiagrečių su optine ašimi spindulių pluoštelis, perėjęs optinę sistemą, susikerta židinyje F. Optinei ašiai statmenos plokštumos, kuriose yra židiniai, vadinamos *židinių plokštumomis*. Atstumai FH = f ir F'H' = f' nuo pagrindinių taškų H ir H' iki židinių F ir F' vadinami optinės sistemos *židinių nuotoliais*. Jei optinė sistema yra vienalytėje terpėje, tai  $|f| = |f'|$ .



1.1 pav. Optinės sistemos kardinalieji elementai

*Mazginiais taškais* N ir N' vadinami taškai, kuriuose kampinis didinimas lygus vienetui. Jei spindulys (arba jo tęsinys) kerta pirmąjį mazgą N, tai lūžęs optinėje sistemoje jis iš antrojo mazgo N' sklinda lygiagrečiai su kritusiuoju (2 spindulys). Vienalytėje terpėje esančios optinės sistemos mazginiai taškai sutampa su pagrindiniais. Plonųjų lęšių pagrindiniai ir mazginiai taškai sutampa su lęšio optiniu centru. Žinant optinės sistemos kardinaliuosius elementus, galima sukurti daikto atvaizdą nenagrinėjant spindulių lūžio optinėje sistemoje.

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} . \quad (1.1)$$

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 laužiamąją gebą (dydis atvirkščias židinio nuotoliui  $D = 1/f$ ) lemia jo geometrinė konstrukcija ir medžiagos, iš kurios jis pagamintas, savybės. Storojo lęšio laužiamoji geba išreiškiama 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.

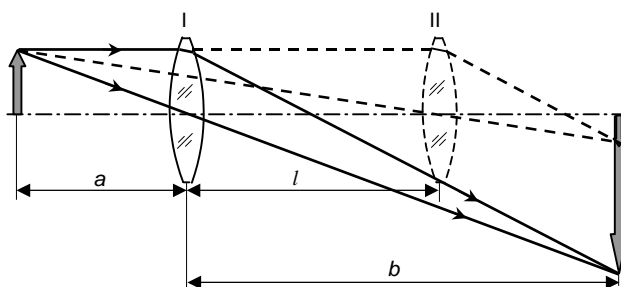
## Tyrimas

### 1. Glaudžiamojo lęšio židinio nuotolio nustatymas

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 su ja.

*1 būdas.* Lęšis ir ekranas statomas taip, kad ekrane susidarytų ryškus daikto atvaizdas. Išmatuojami atstumai  $a$  ir  $b$  ir pagal (1.1) formulę apskaičiuojamas židinio nuotolis  $f$ . Bandyamas kartojamas kelis kartus keičiant  $a$  ir  $b$ .

*2 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 padėtis, kad ekrane susidarytų vienu atveju padidintas, o kitu – sumažintas daikto atvaizdas (1.2 pav.). Spin-



1.2 pav. Glaudžiamojo lęšio židinio nuotolio nustatymo Beselio būdu schema

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

$$a = \frac{m - l}{2}; \quad b = \frac{m + l}{2}. \quad (1.2)$$

Iš (1.1) ir (1.2) formulių išreiškiamas lęšio židinio nuotolis

$$f = \frac{m^2 - l^2}{4m}. \quad (1.3)$$

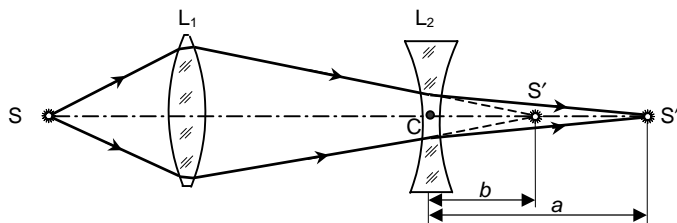
Šviečiantis objektas statomas atstumu  $m > 4f$  (pasinaudojama anksčiau nustatyta  $f$  verte) nuo ekrano ir sukuriama ryškus padidintas objekto atvaizdas. Išmatuojamas atstumas  $m$  tarp objekto ir atvaizdo. Pažymima lęšio vieta ant optinio suolo. Po to sukuriama ryškus sumažintas atvaizdas ir pažymima lęšio vieta. Atstumas tarp lęšio padėčių yra  $l$ . Gautieji duomenys įrašomi į (1.3) formulę ir apskaičiuojamas židinio nuotolis  $f$ .

Matuojama kelis kartus keičiant atstumą tarp objekto ir ekrano.

## 2. 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  $S'$  (1.3 pav.). Pastatius už glaudžiamąjį sklaidomąjį 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



1.3 pav. Sklaidomojo lęšio židinio nuotolio nustatymo schema

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, (1.1) formulė užrašoma taip:

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}.$$

Iš čia

$$f = \frac{ab}{b - a}. \quad (1.4)$$

Ant optinio suolo statomas glaudžiamasis lęšis  $L_1$  ir ekrane sukuriamas atvaizdas  $S'$ . Pažymima ekrano vieta. Už lęšio  $L_1$  statomas sklaidomasis lęšis  $L_2$  ir dviejų lęšių optine sistema sukuriamas atvaizdas  $S''$ . Išmatuojami atstumai  $a$  ir  $b$ . Įrašius jų vertes į (1.4) formulę, apskaičiuojamas sklaidomojo lęšio židinio nuotolis.

Matavimai kartojami kelis kartus.

### 3. Veidrodžių židinių nuotolių nustatymas

Įgaubtajam veidrodžiui galioja (1.1) formulė. Ekranas statomas šalia objekto taip, kad jis nekliudytų šviesai kristi į veidrodį. Kritę ir atsispindėję spinduliai sudaro nedidelį kampą. Stumdant veidrodį ekrane sukuriamas sumažintas objekto atvaizdas. Išmatavus  $a$  ir  $b$ , pagal (1.1) formulę apskaičiuojamas židinio nuotolis  $f$ . Pastūmus ekraną už objekto, sukuriamas 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  $a = b = 2f$ .

Apskaičiuojamas gautųjų rezultatų vidurkis.

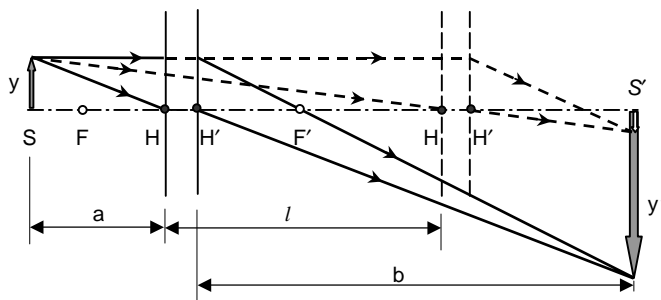
Iškilojo veidrodžio židinio nuotolis nustatomas naudojant dar ir glaudžiamąjį lęšį, kurio židinio nuotolis žinomas. Matavimo metodika panaši į sklaidomojo lęšio židinio nuotolio matavimo metodiką.

### 4. Optinės sistemos kardinaliųjų elementų nustatymas

Jei optinė sistema yra ore, tai  $|f| = |f'|$ . Šviestuvus, kurio anga uždengta matiniu stiklu su nubraižytu tinkleliu arba bendracentriais apskritimais, tiriami 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 (1.4 pav.). Atstumas tarp šių padėčių

$$l = b - a. \quad (1.5)$$

Išmatuojami objekto ir jo atvaizdo matmenys ir apskaičiuojamas ilginis didinimas



1.4 pav. Optinės sistemos kardinaliųjų elementų nustatymo schema

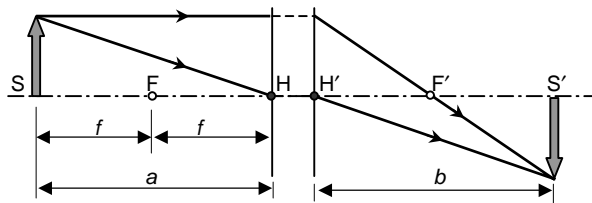
$$k = \frac{y'}{y} = \frac{b}{a} . \quad (1.6)$$

Iš (1.1), (1.5) ir (1.6) formulių gaunama optinės sistemos židinio nuotolio  $f$  išraiška:

$$f = \frac{lk}{k^2 - 1} .$$

Jis apskaičiuojamas.

Tačiau židinių  $F$  ir  $F'$  bei pagrindinių taškų  $H$  ir  $H'$  padėtys dar nežinomos. Jos nustatomos tokiu būdu. Optinės sistemos ir ekrano vieta parenkama taip, kad didinimas būtų lygus vienetai (1.5 pav.). Tada  $a = b = 2f$ . Kadangi abiejose optinės sistemos pusėse terpė yra vienoda (oras),  $HF = H'F' = FS = F'S' = f$ . Pažymėjus 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 at-



1.5 pav. Židinių ir pagrindinių plokštumų nustatymo schema

vaizdo, galima nustatyti atstumą tarp pagrindinių plokštumų (taškų)

$$HH' = d - 4f .$$

Norint nustatyti pagrindinių plokštumų padėtis 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

$$x x' = f^2 \quad (1.7)$$

galima patikrinti, ar teisingai nustatyti židinių nuotoliai. (1.7) išraiškoje  $x = FS$  yra atstumas nuo objekto iki priekinio židinio, o  $x' = F'S'$  – nuo galinio židinio iki atvaizdo (1.4 pav.). Optinė sistema stumiama tolyn nuo spinduolio ir randama ekrano vieta, kai matomas objekto atvaizdas. Žinant iš ankstesnių matavimų židinių vietas (atstumus nuo optinėje sistemoje pasirinkto taško), išmatuojami  $x$  ir  $x'$ .

Visais atvejais įvertinama rezultatų neapibrėžtis.