

## 1 darbas

### OPTINIŲ SISTEMŲ PARAMETRAI

#### Užduotys

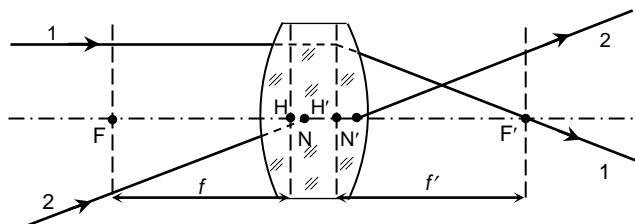
1. Nustatyti glaudžiamąjį ir sklaidomąjį lęšio židinio nuotolį.
2. Nustatyti įgaubtojo ir iškiliojo veidrodžio židinio nuotolį.
3. Nustatyti optinės sistemos kardinaliuosius elementus.

#### 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 krinta lygiagrečiai su optine ašimi spindulių pluoštelis (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 pro 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.

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

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

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 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.

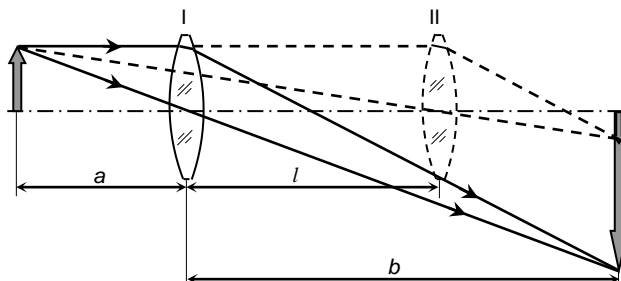
## Tyrimas

### 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 skaičiuojamas 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 vietas, kad ekrane susidarytų vienu atveju padidintas, o kitu – sumažintas daikto atvaizdas (1.2 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:



1.2 pav. Glaudžiamojo lęšio židinio nuotolio nustatymo Beselio būdu schema

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

Iš (1.1) ir (1.2) formulių reiškiamas lęšio židinio nuotolis:

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

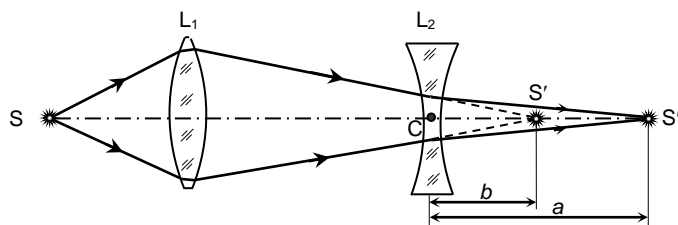
Šviečiantis objektas statomas atstumu  $m > 4f$  (pasinaudojama anksčiau nustatyta  $f$  verte) nuo ekrano ir sukuriamas ryškus padidintas objekto atvaizdas. Matuojamas atstumas  $m$  tarp objekto ir atvaizdo. Pažymima lęšio vieta ant optinio suolo. Po to sukuriamas ryškus sumažintas atvaizdas ir pažymima lęšio vieta. Atstumas tarp lęšio padėčių yra  $l$ . Gautieji duomenys įrašomi į (1.3) formulę ir skaičiuojamas 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.). Patačius už glaudžiamąjį lęšį  $L_2$ , taško  $S$  atvaizdas susikuria toliau – taške  $S''$ . Jei nagrinėsime atvirkščią spindulių eigą (iš taško  $S''$ ), tai  $S'$  bus tariamasis



1.3 pav. Sklaidomojo lęšio židinio nuotolio nustatymo schema

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, (1.1) formulė užrašoma taip:

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \quad \text{Iš čia} \quad f = \frac{ab}{b-a} \quad (1.4)$$

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. Veidrodžio židinio nuotolio nustatymas

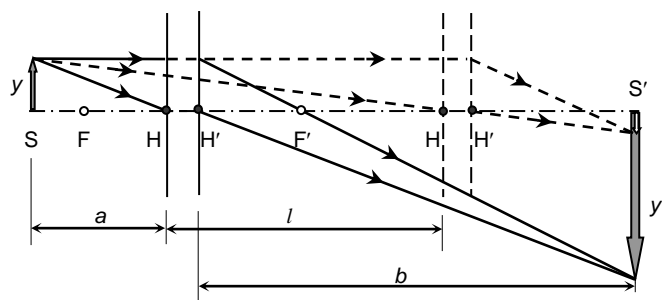
Įgaubtajam veidrodžiui galioja (1.1) formulė. Ekranas statomas šalia objekto taip, kad jis nekliudytų šviesai kristi į veidrodį. Kritę ir atsispindėję spinduliai sudaro nedidelį kampą. Stumdant veidrodį ekrane sukuriamas sumažintas objekto atvaizdas. Išmatavus  $a$  ir  $b$ , pagal (1.1) formulę apskaičiuojamas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

Skaičiuojamas gautųjų rezultatų vidurkis.

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

### 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, tiriamoji optinė sistema



1.4 pav. Optinės sistemos kardinaliųjų elementų nustatymo schema

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 nustatomas ilginis didinimas

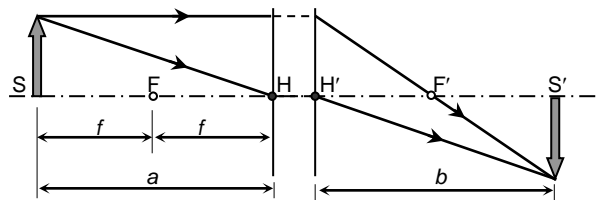
$$k = \frac{y'}{y} = \frac{b}{a}. \quad (1.6)$$

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

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

Skaičiuojama jo vertė.

Tačiau židinių  $F$  ir  $F'$  bei pagrindinių taškų  $H$  ir  $H'$  vietas dar nežinomos. Jos nustatomos tokiu būdu. Optinės sistemos ir ekrano vieta parenkama taip, kad didinimas būtų lygus vienetui (1.5 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



1.5 pav. Židinių ir pagrindinių plokštumų nustatymo schema

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

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

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

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.