BENDRASIS PROGRAMAVIMO DOKUMENTAS	EUROPOS SĄJUNGA Europos socialinis fondas	ŠVIETIMO IR MOKSLO MINISTERIJA	
KURKIME ATEITĮ DRAUGE!			

2004-2006 m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto „Žmogiškųjų išteklių plėtra“ 4 priemonė „Mokymosi visą gyvenimą sąlygų plėtra“

Projekto sutarties numeris: **ESF/2004/2.4.0-K01-160/SUT-261**
Projekto pavadinimas: **Inovatyvūs mokymosi metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalaurų rengimui**

FIZ 221. OPTIKA

Laboratorinis darbas

LĘŠIO ŽIDINIO NUOTOLIO, DIDINIMO IR SFERINĖS ABERACIJOS MATAVIMAS.

DARBO TIKSLAS:

Nustatyti lęšių pagrindines charakteristikas, susipažinti su atvaizdų formavimu lęšiais ir lęšių ydomis.

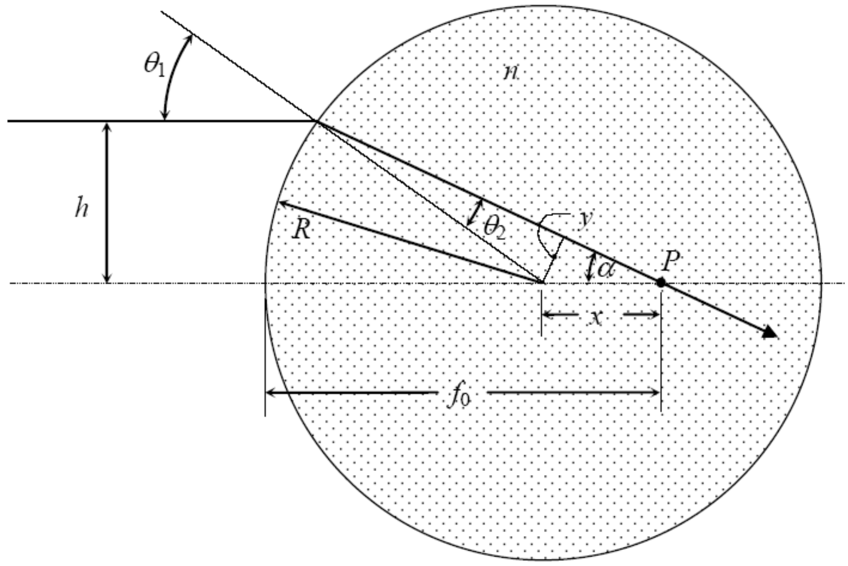
DARBO UŽDUOTYS:

1. Išmatuoti glaudžiančiojo lęšio židinio nuotolį;
2. Ištirti skersinio didinimo priklausomybę nuo atstumo iki objekto;
3. Išmatuoti lęšio išilginę sferinę aberaciją.

TEORIJA:

Daugelyje optinių prietaisų naudojami lęšiai. Lęšiai, tai šviesai skaidrūs kūnai (stiklas, plastikas), iš dviejų pusių apriboti sferiniais paviršiais. Išanalizuosim kaip spinduliai sklinda per lęšį. Nagrinėsim spindulį sklindantį iš oro, kurio lūžio rodiklis $n_1 = 1$, į stiklinį rutulį, pav.1, kurio lūžio rodiklis $n_2 = n$. Lūžusiam spinduliui, pagal Snelijaus dėsnį

$$\sin\theta_1 = n \cdot \sin\theta_2 \qquad (1)$$



Pav.1

Pritaikę sinusų teoremą, pav.1 parodytiems trikampiams, turime

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\theta_2} = \frac{y/x}{y/R} = \frac{R}{x} \tag{2}$$

arba

$$x = R\frac{\sin\theta_2}{\sin\alpha} \tag{3}$$

Jei apsiribosim tik gretaašiais spinduliais, tada bus tenkinama sąlyga $h << R$, ir pakankamai tiksliai

$$\sin\alpha = \frac{h}{\sqrt{(R+x)^2 + h^2}} \approx \frac{h}{R+h} \tag{4}$$

Tada

$$x \approx R\sin\theta_2 \frac{(R+x)}{h} = \frac{R(R+h)\sin\theta_1}{nh} = \frac{R(R+h)h}{nhR} \tag{5}$$

arba

$$nx \approx R + h. \tag{6}$$

Atstumas $R+x$, nuo rutulio paviršiaus iki taško *P*, kuriame spindulys kerta rutulio optinę ašį, vadinamas židinio nuotoliu. Jei pažymėsim židinio nuotolį $f_0 = R + x$, tada (5) galėsim perrašyti

$$n(f_0 - R) \approx f_0 \tag{7}$$

arba

$$f_0 \approx \frac{nR}{n-1} \tag{8}$$

Iš gautosios formulės (7) židinio nuotoliui matyti, kad gretaašiams spinduliams, $h << R$, židinio nuotolis f_0 nepriklauso nuo atstumo h iki optinės ašies. Todėl lygiagrečių optiniai ašiai gretaašių spindulių pluoštelis, kirtęs rutulio sferinį paviršių, susirinks viename taške *F*, vadinamame židinio tašku, ar tiesiog židiniu.

Mūsų gautos išraiškos židiniui ir židinio nuotoliui apskaičiuoti tinka tik tuomet, kai židinys yra sferinio lęšio viduje. Lęšis, kurio židinys yra jo viduje yra retai naudojamas. Praktikoje naudojamų lęšių židinys yra lęšio išorėje, todėl toliau išnagrinėsim plokščiai iškilo lęšio atvejį. Tokio lęšio vienas paviršius yra sferinis, turintis kreivumo spindulį *R*, kitas paviršius plokščias, kaip pavaizduota pav.2. Laikysime, kad lęšis plonas, tai yra $d << R$, čia *d* – lęšio storis jo centre ties optine ašimi. Išsiaiškinsime kur kirs optinę ašį praėjęs per lęšį spindulys, kritęs į lęšio sferinį paviršių lygiagrečiai optiniai ašiai, nedideliu atstumu *h*, kad spindulius būtų galima laikyti gretaašiais. Jei, kaip ankščiau, lęšis būtų stiklinis rutulys, tai spindulys kirstų optinę ašį taške P, iki kurio atstumas nuo sferinio paviršiaus f_0. Tačiau dabar spindulys dar kartą lūš, kirsdamas plokščią lęšio paviršių nutoldamas nuo statmens aplinkų ribai lęšis - oras, todėl židinys *F* bus arčiau ir židinio nuotolis *f* bus mažesnis. Pagal Snelijaus dėsnį, lūžiui ties plokščia aplinkų riba turėsim:

$$n \cdot \sin\alpha = \sin\theta_3 \tag{9}$$

ir kadangi

$$\sin\theta_3 \approx \frac{h}{f} \tag{10}$$

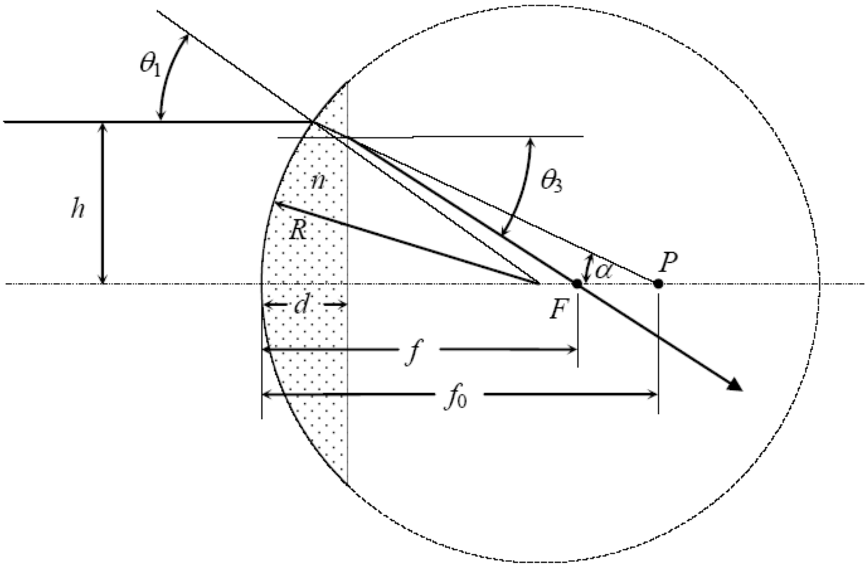
bei

$$\sin\alpha \approx \frac{h}{f}, \tag{11}$$

tai

$$f \approx \frac{f_0}{n} = \frac{R}{n-1}. \tag{12}$$

Ir šiam plokščiai iškilo lęšio atvejui, lęšio židinio f nepriklauso nuo spindulio atstumo iki optinės ašies h, kadangi spinduliai yra gretaašiai ($h << R$) ir lęšis yra plonas ($d << R$).



Pav.2

Jei krentantys spinduliai nėra lygiagretūs, tačiau gretaašiai ir išeinantys iš vieno švytinčio taško, esančio didesniu už židinio nuotolį atstumu iki lęšio, tai už lęšio jie susirinks susikirs viename taške, kuris bus švytinčio taško astigmatinis tikrasis atvaizdas. Taško atvaizdo vietą nesunku rasti nubraižius spindulių eigą per lęšį. Ten kur kirsis praėję per lęšį bent du spinduliai bus ieškomas atvaizdas, pav.3. Atvaizdui rasti pakanka dviejų iš pav.3 parodytų trijų spindulių:

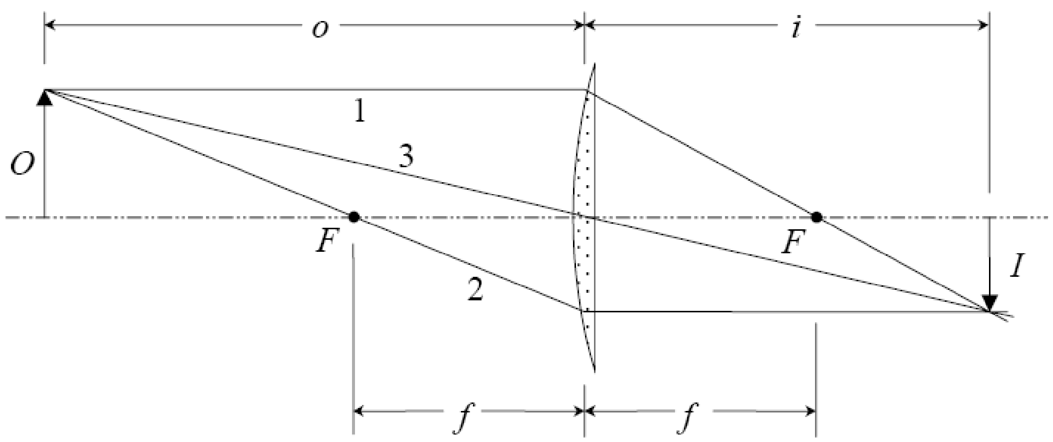
1. Spindulys krentantis į lęšį išilgai pagrindinės optinės ašies už lęšio eis per galinį židinį;
2. Spindulys einantis per priekinį židinį už lęšio eis lygiagrečiai pagrindiniai optiniai ašiai;
3. Spindulys einantis per lęšio centrą sklis išilgai kritimo krypties kadangi lęšis plonas.

Kai turim objektą, o ne vieną švytintį tašką, tai objekto atvaizdas gaunamas kaip visų jo taškų atvaizdų visuma. Rasime lygtį, vadinamą plono lęšio lygtimi, siejančią atstumą nuo objekto iki lęšio *o*, su atstumu nuo lęšio iki atvaizdo *i*. Brėžinyje pav.3 lengva pastebėti, kad

$$\frac{I+O}{o}=\frac{I}{f} \tag{13}$$

ir

$$\frac{I+O}{i}=\frac{O}{f}. \tag{14}$$



Pav.3

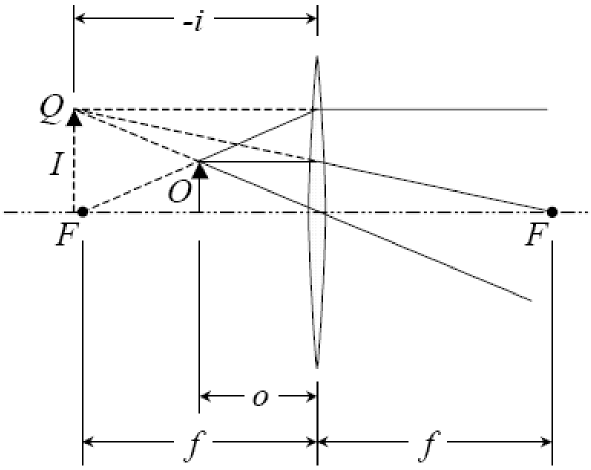
Iš lygčių (12) ir (13) lengvai randame plono lęšio lygtį

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{o}+\frac{1}{i}, \tag{15}$$

bei lęšio skersinį (ilginį) didinimą

$$M \equiv \frac{I}{O}=-\frac{i}{o}=-\frac{f}{f-o}. \tag{16}$$

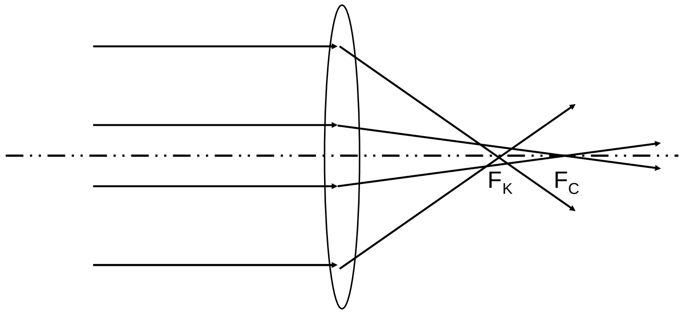
Pav3. pavaizduotas tikrasis, apverstas ir sumažintas (M mažesnis už 1 ir neigiamas) daikto atvaizdas. Tokį atvaizdą galima stebėti ekrane pastatytame atvaizdo plokštumoje. Jei objektas yra tarp priekinio židinio ir lęšio ($o < f$), tada iš bet kurio jo taško išėję spinduliai už lęšio nesikerta, pav.4, o kertasi tik tų spindulių tęsiniai, todėl gaunamas tariamas (menamas) daikto atvaizdas, kadangi spinduliai atrodo išeinantys iš taško Q, kuriame jokio objekto ar spindulių susikirtimo nėra. Lęšio formulė (14) tinka ir šiam tariamo atvaizdo atvejui, tik apskaičiuotas atstumas iki atvaizdo i bus neigiamas, tai reiškia, kad atvaizdas yra ne už, o prieš lęšį. Todėl naudojantis plono lęšio formule reikia paisyti susitarimo dėl ženklų: o ir i yra teigiami jei objektas ir atvaizdas yra skirtingose lęšio pusėse.



Pav.4

Gretaašių spindulių (sklindančių arti optinės ašies ir mažais kamapais) optinė sistema beveik idealiai tašką atvaizduoja tašku, tiesią liniją – tiese, plokštumą – plokštuma. Tačiau esant didesniam šviesos pluoštelių pločiui ir atstumui nuo optinės ašies pažeidžiamos gretaašių spindulių optikos prielaidos. Tada objekto taško skleidžiami spinduliai susikerta ne viename atvaizdo plokštumos taške, o sukuria šviesią dėmelę, todėl atvaizdas iškraipomas – pasireiškia optinės sistemos (jos elementų) ydos, dar vadinamos aberacijomis. Lygiagretiems su optine ašimi spindulių pluoštams pagrindinės jų yra sferinė ir chromatinė aberacijos.

Platesnio lygiagrečių šviesos spindulių pluoštelio kraštiniai, labiau nutolę nuo pagrindinė optinės lęšio ašies spinduliai, perėję lęšį arčiau jo kraštų, susikerta su optine ašimi arčiau, taške F_K (pav.5), negu centriniai spinduliai, sklindantys arčiau optinės ašies (taškas F_c). Šis reiškinys vadinamas sferine aberacija. Nuotolis δf tarp F_k ir F_c yra išilginė sferinė aberacija. Ekrane, pastatytame tarp F_k ir F_c, matomas šviesus skritulys, kurio skersmuo yra skersinės sferinės aeracijos charakteristika. Ji mažiausia (skritulio spindulys mažiausias) tada, kai ekrano atstumas nuo F_c lygus ¾ δf. Šiuo atveju ekrano plokštumoje, kuri vadinama geriausio nustatymo plokštuma, objekto atvaizdas yra ryškiausias.

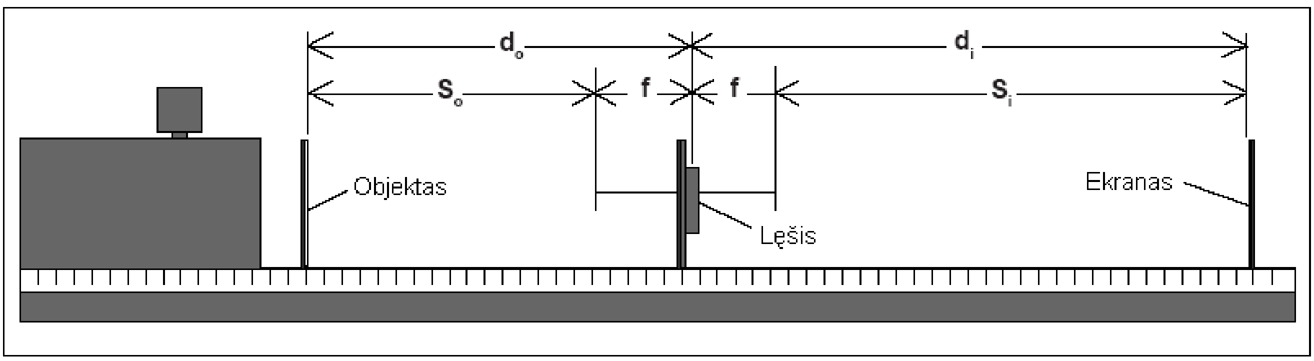


Pav.5

Sferinė ir chromatinė aberacijos gali būti pašalinamos arba sumažinamos optiniuose prietaisuose, naudojant sudėtingas sklaidomųjų ir glaudžiamųjų lęšių sistemas iš skirtingo lūžio rodiklio medžiagų. Sklaidomųjų ir glaudžiamųjų lęšių sferinės ir chromatinės aberacijos yra priešingų ženklų, todėl bendroje sistemoje jos viena kitą naikina.

DARBO PRIEMONĖS:

1) optinis suolas
2) 75mm židinio nuotolio glaudžiantysis lęšis
3) Objektas - matinis ekranas su sukryžiuotomis rodyklėmis
4) Šviesos šaltinis
5) Ekranas atvaizdui stebėti
6) Laikikliai lęšiui, objektui ir ekranui



Pav.6

Darbo eiga:

1. Surinkite pav.6 parodytą darbo maketą. Laikiklius su objektu ir ekranu pastatykite didžiausiu galimu atstumu vienas nuo kito
2. Laikiklį su lęšiu pastatykite taip, kad ekrane būtų matomas ryškus objekto atvaizdas. Išmatuokite atstumą nuo lęšio iki objekto d_0 ir nuo lęšio iki atvaizdo d_i, išmatuokite atvaizdo (jo dalies) aukštį h_i.
3. Nekeisdami atstumo tarp objekto ir ekrano, suraskite kitą lęšio padėtį, kai ekrane vėl matomas ryškus objekto atvaizdas bei vėl išmatuokite atstumus d_0, d_i ir atvaizdo aukštį h_i.
4. Stumkite ekraną link objekto tol, kol nebus galima rasti dviejų lęšio padėčių, kai gaunamas ryškus objekto atvaizdas. Tada patraukite ekraną kelis centimetrus atgal (tolyn nuo objekto). Tada šiai objekto ir ekrano padėčiai bei dar 5 tarpinėms objekto ir ekrano padėtims pakartokite punktuose 2 ir 3 nurodytus matavimus. Matavimų rezultatus užrašykite į žemiau pateiktą lentelę.
5. Kiekvienam atstumui tarp objekto ekrano, kuriam buvo atliekami matavimai, apskaičiuokite $1/d_0$ bei $1/d_i$ vertes ir iš lęšio lygties lęšio židinio nuotolį, bei apskaičiuokite visų gautų židinio nuotolių vidutinę vertę ir jos paklaidą.
6. Ant milimetrinio popieriaus nubrėžkite $1/d_i$ nuo $1/d_0$ eksperimentiškai gautos priklausomybės grafiką. Iš grafiko nustatykite lęšio židinio nuotolio dvi vertes ir apskaičiuokite jų vidurkį. Palyginkite ankščiau apskaičiuotą vidutinę ir iš grafiko nustatytą lęšio židinio nuotolio vertę su užrašyta ant lęšio įtvirtinimo
7. Kiekvienam atstumui tarp objekto ir ekrano apskaičiuokite skersinį didinimą kaip atvaizdo aukščio ir objekto aukščio santykį ir ant milimetrinio popieriaus nubrėžkite lęšio skersinio didinimo priklausomybės nuo atstumo iki objekto grafiką.

Lentelė 1

d_0, mm	d_i, mm	h_i, mm	$1/d_0$	$1/d_i$	f, mm	$\lvert m \rvert = h_i/h_0$

Lęšio išilginės sferinės aberacijos nustatymas:

Lęšio sferinei aberacijai tirti naudojamos dvi diafragmos. Vienos jų centre yra apskrita skylė, pro kurią sklinda siauras spindulių pluoštelis, o antroje – didelio skersmens žiedinė skylė. Abiem atvejais, nustačius ryškiausius objekto atvaizdus, išmatuojami atstumai nuo lęšio iki objekto d_0 ir iki atvaizdo d_i. Pagal plono lęšio formulę

$$\frac{1}{d_0}+\frac{1}{d_i}=\frac{1}{f}$$

apskaičiuojami židinio nuotoliai f_k (kai naudojama žiedinė diafragma) ir f_c (kai skylinė). Apskaičiuojama išilginė sferinė aberacija

$$\delta f_{ab} = f_c - f_k \,.$$

KONTROLINIAI KLAUSIMAI:

1. Kokiu atstumu nuo glaudžiamojo lęšio reikia pastatyti objektą, kad skersinis didinimas būtų lygus vienetui?
2. Kur reikia pastatyti objektą, kad turėtume maksimaliai padidintą jo atvaizdą, kokiu atstumu nuo lęšio atvaizdas bus matomas?
3. Ar galima glaudžiamuoju lęšiu gauti nepaverstą objekto atvaizdą?

LITERATŪRA:

1) V. A. ŠALNA , „Optikos laboratoriniai darbai“, http://www.ff.vu.lt/bfsk/optika/Laboro.html
2) B. Martinėnas, J. Kaulakys, J. Jakimačius „Fizikos pagrindai“, 2000, „Technika“, Vilnius
3) V. A. ŠALNA, „Optika“, 2004, „Enciklopedija“, Vilnius