

4. Leće i optički instrumenti

1. Ključni pojmovi

Leće, Besselova metoda, dijaprojektor, mikroskop, Keplerov i Galilejev teleskop

2. Teorijski uvod

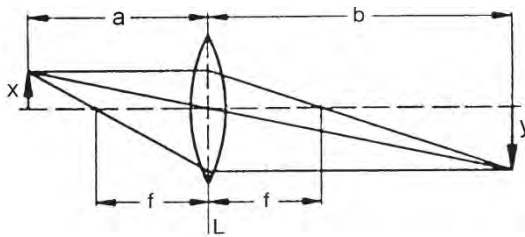
Jednadžba leće: Žarišna daljina tanke leće f , udaljenost predmeta od leće a te udaljenost slike od leće b povezane su relacijom

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

Oznake i karakteristične zrake za konvergentnu leću prikazane su na slici 1. Razmatrajući zraku koja prolazi kroz središte leće i uočavajući pripadajuće trokute, možemo utvrditi da je linearno povećanje dano izrazom

$$\gamma = \frac{y}{x} = \frac{b}{a} \quad (2)$$

gdje je y visina slike, a x visina predmeta.



Slika 1. Konstrukcija slike za konvergentnu leću

Uvijek vrijedi pravilo da bi preokretanjem smjera zrake svjetlosti išle istim putem natrag. Stoga bi y mogao predstavljati predmet, a x sliku. Pri tome bi a i b zamijenili uloge, no jednadžba (1) bi ostala valjana. Jednadžba (2) bi prešla u inverznu.

Kutno povećanje leće: Koristimo li leću kao jednostavnu lupu, možemo definirati njezino kutno povećanje. Ljudsko oko jasno razlučuje predmete na udaljenosti 25 cm. Vidni kut koji na toj udaljenosti razapinje predmet visok h je $h/25$ cm. Gledamo li predmet kroz lupu tako da se on nalazi tik iza žarišta lupe, vidni kut koji će razapinjati virtualna slika bit će h/f . Omjer tih dvaju kutova nazivamo kutno povećanje lupe:

$$\Gamma = \frac{25 \text{ cm}}{f}. \quad (3)$$

Uzimajući leću s manjom žarišnom daljinom f , možemo ostvariti veće kutno povećanje.

Kombinacija leća: Žarišna daljina optičkog sustava od dvije tanke leće žarišnih daljina f_1 i f_2 , udaljene za $d < f_1, f_2$ dana je izrazom

$$\frac{1}{f_{komb}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{n} \frac{1}{f_1 f_2}, \quad (4)$$

gdje je n je indeks loma sredstva među lećama. Za kombinaciju leća

$f_1 > 0$ i $f_2 < 0$ te $|f_2| > f_1$ u granici $d \rightarrow 0$ dobivamo konvergentni optički sustav čija je žarišna daljina dana sa

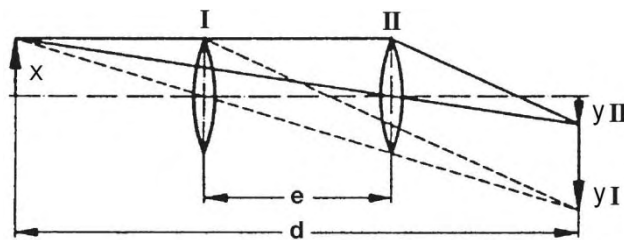
$$\frac{1}{f_{komb}} \approx \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} > 0. \quad (5)$$

Besselova metoda: Određivanje žarišne daljine konvergentne leće, ili konvergentne kombinacije sustava leća, pomoću Besselove metode temelji se na činjenici da za danu udaljenost d između predmeta i realne slike postoje dva položaja leće (položaji I i II na slici 2) međusobno udaljena za e . Do tog zaključka možemo doći uočavajući mogućnost zamjene veličina a i b na slici 1. U jednom od položaja slika je manja od predmeta a u drugom je veća od predmeta. Budući da je $a_I = b_{II}$ i $a_{II} = b_I$, slijedi prema jednadžbi (1) da su pripadna povećanja dana s $\gamma_I = 1/\gamma_{II} = b_I/a_I = a_{II}/b_{II}$. Iz slike 2 nalazimo

$$a_I + b_I = d, \quad b_I - a_I = e, \quad (6)$$

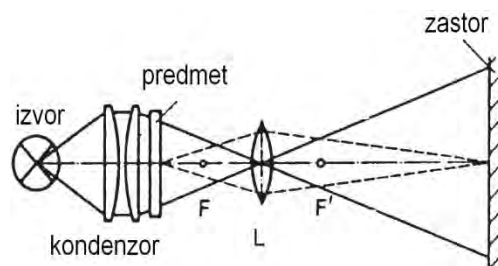
te možemo izračunati $d^2 - e^2 = 4a_I b_I$. Iz jednadžbe (1) slijedi $f = a_I b_I / (a_I + b_I)$, odnosno

$$f = \frac{d^2 - e^2}{4d}. \quad (7)$$



Slika 2. Određivanje žarišne daljine konvergentne leće Besselovom metodom

Dijaprojektor: Princip rada dijaprojektora jasan je iz slike 3.



Slika 3. Dijaprojektor

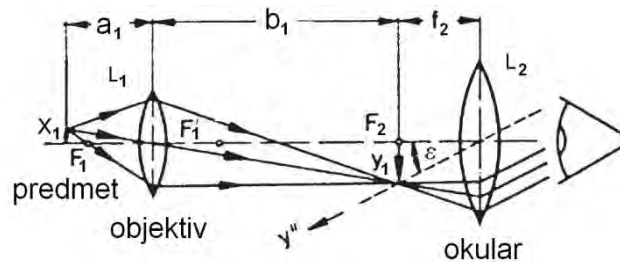
Mikroskop: Mikroskop je optički sustav sastavljen od dvije konvergentne leće, objektivna žarišne daljine od nekoliko milimetara te okulara. Predmet smještamo blizu žarišta objektivna ($a_1 \geq f_1$, dakle, s „vanjske“ strane). On daje realnu sliku (vidi sliku 4) koja predstavlja predmet za okular i namješta se vrlo blizu žarišta okulara ($a_2 \leq f_2$, dakle, s „unutrašnje“ strane). Za ugođeni mikroskop konačna slika

je virtualna i nalazi se na udaljenosti od okulara približno jednakoj udaljenosti jasnog vida. Ukupno povećanje mikroskopa dano je umnoškom povećanja objektiv

$$\gamma = \frac{y}{x} = \frac{b_1}{a_1} \quad (8)$$

(b_1 je udaljenost slike od objektiv) i kutnog povećanja okulara,

$$\Gamma_2 = \frac{25 \text{ cm}}{f_2}. \quad (9)$$

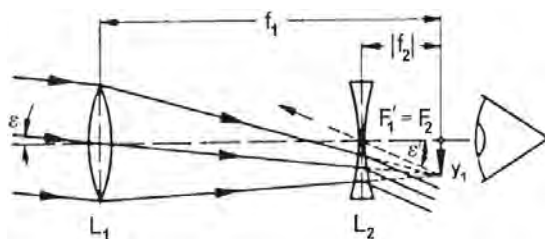


Slika 4. Mikroskop

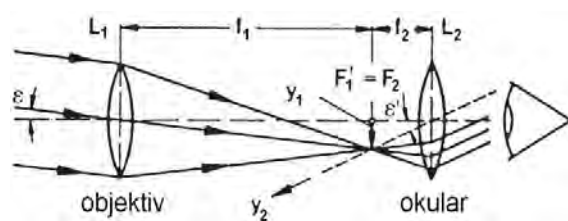
Teleskop: Teleskop je optički sustav, u principu, sastavljen od dvije leće, objektiv i okulara, namijenjen za promatranje udaljenih predmeta. Žarišna daljina objektiv mnogo je dulja od žarišne daljine okulara. Keplerov teleskop koristi dvije konvergentne leće razmaknute za $f_1 + f_2$, a Galilejev teleskop koristi jednu konvergentnu i jednu divergentnu leću na udaljenosti $f_1 + f_2 = f_1 - |f_2|$. U oba slučaja se žarišta dviju leća poklapaju pa paralelni snop zraka koji ulazi u objektiv izlazi kao paralelan snop iz okulara, samo pod većim kutom. Budući da je kutno povećanje u oba slučaja dano omjerom kutova ε'/ε (slika 5 i 6), razmatranjem zraka kroz središta svake od leća i pripadnih trokuta možemo ga svesti na izraz

$$\Gamma_2 = \frac{f_1}{|f_2|}. \quad (10)$$

Zahtijeva se da je u oba slučaja $f_1 \gg |f_2|$ (slike 5 i 6).



Slika 5. Galilejev teleskop



Slika 6. Keplerov teleskop

3. Mjerni uređaj i mjerenje

Mjerni uređaj postavljen na desnoj optičkoj klupi prikazan je na slici 7. Sastoji se od izvora paralelnog snopa svjetlosti, nosača leća s predmetom i lećama te zastora. Također postoji jedan dijapozitiv, buha na objektnom stakalcu te zakretna ručka. Paralelni snop svjetlosti ostvaruje se pomoću svjetiljke i kondenzora ($f = +6$ cm).

Pri određivanju žarišne daljine direktnom metodom predmet (zastor sa strelicom) se postavi na optičku klupu ispred kondenzora. Pomoću leće projicira se oštra slika na zastor postavljen na optičkoj klupi i odrede se udaljenosti a i b , te izračuna f pomoću jednadžbe (1).

Kod Besselove metode izabere se udaljenost d između predmeta i zastora te se odrede dva položaja leće za koje je slika na zastoru oštra. Mjeri se d te razmak e između dva položaja leće.

Projektor za dijapozitive se sastavlja prema slici 3 koristeći konvergentnu leću $f = +10$ cm.

Za mikroskop se upotrebljavaju leće $f_1 = +2$ cm, $f_2 = +5$ cm, za Keplerov teleskop leće $f_1 = +30$ cm, $f_2 = +5$ cm, a za Galilejev teleskop leće $f_1 = +30$ cm, $f_2 = -5$ cm. Za preciznije namještanje predmeta u odnosu na žarište objektiva mikroskopa koristi se zakretna ručka. **Prilikom gledanja u mikroskop treba izvor zasjeniti papirom kako bi se izbjeglo oštećenje vida zbog jakog intenziteta svjetlosti.**



Slika 7. Leće i optički instrumenti

4. Zadaci

1. Grupa A (lijeva optička klupa): Pronađite oštru sliku predmeta na zastoru pomoću leće $f = +10$ cm. Izmjerite a i b , procijenite pogreške i izračunajte f .

Grupa B (desna optička klupa): Pronađite položaj leće I koji daje oštru sliku predmeta na zastoru pomoću kombinacija leća $f_1 = +10$ cm, $f_2 = -20$ cm te njemu komplementarni položaj II. Izmjerite d i

e , i ponovite mjerenje za 5 različitih izbora d . Prevedite relaciju (7) na linearan oblik te metodom najmanjih kvadrata odredite f_{komb} . Iz poznatih vrijednosti f_2 i f_{komb} odredite f_1 . Diskutirati sistematsku pogrešku sadržanu u f_1 , s obzirom da je razmak između glavnih ravnina dviju leća zanemaren u izrazu (5).

2. Grupa A: Pronađite položaj leće I koji daje oštru sliku predmeta na zastoru pomoću kombinacija leća $f_1 = +10$ cm, $f_2 = -20$ cm te njemu komplementari položaj II. Izmjerite d i e , i ponovite mjerenje za 5 različitih izbora d . Prevedite relaciju (7) na linearan oblik te metodom najmanjih kvadrata odredite f_{komb} . Iz poznatih vrijednosti f_2 i f_{komb} odredite f_1 . Diskutirati sistematsku pogrešku sadržanu u f_1 , s obzirom da je razmak između glavnih ravnina dviju leća zanemaren u izrazu (5).

Grupa B: Pronađite oštru sliku predmeta na zastoru pomoću leće $f = +10$ cm. Izmjerite a i b , procijenite pogreške i izračunajte f .

3. Postavite projektor za dijapozitive i procijeniti povećanje. Postavite mikroskop i procijenite povećanje te usporedite s teorijskim predviđanjem. Postavite Keplerov (Grupa A) i Galilejev (Grupa B) teleskop i odredite kakva je slika udaljenog predmeta. Procijenite povećanje i usporedite s teorijskim izrazom. Pozvati voditelja turnusa da provjeri svaki od optičkih instrumenata.