

## 4. Leće i optički instrumenti – 09.03.

### 1. Ključni pojmovi

Leće, Besselova metoda, diaprojektor, 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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \quad \text{odnosno} \quad f = \frac{ab}{a+b}. \quad (1)$$

Oznake i karakteristične zrake za konvergentnu leću prikazane su na slici 1. Pripadno povećanje je dato izrazom

$$\gamma = \frac{y}{x} = \frac{b-f}{f}, \quad (2)$$

gdje je  $y$  visina slike, a  $x$  visina predmeta.

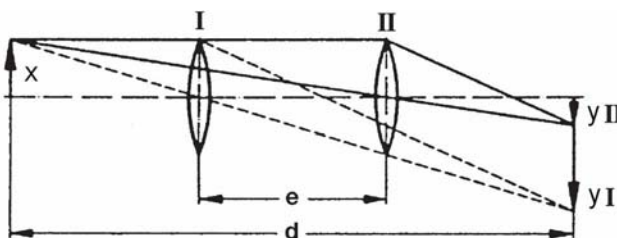
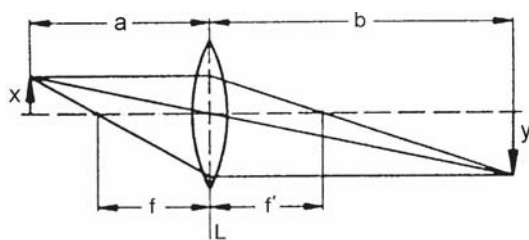
Žarišna daljina optičkog sustava od dvije tanke leće žarišnih daljina  $f_1$  i  $f_2$  dana je izrazom

$$\frac{1}{f_{komb}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{n} \frac{1}{f_1 f_2}, \quad (3)$$

gdje je  $d$  udaljenost među lećama, a  $n$  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

$$\frac{1}{f_{komb}} \approx \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} > 0. \quad (4)$$



Slika 1. Konstrukcija slike za konvergentnu leću

Slika 2. Određivanje žarišne daljine konvergentne leće Besselovom metodom

**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  $e$ . 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 da su pripadna povećanja dana sa  $\gamma_I = 1/\gamma_{II} = b_I/a_I$ , te da je

$$a_I + b_I = d, \quad b_I - a_I = e, \quad (5)$$

i

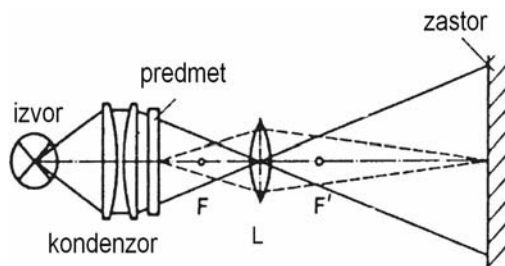
$$f = \frac{d^2 - e^2}{4d}. \quad (6)$$

**Mikroskop:** Mikroskop je optički sustav sastavljen od dvije konvergentne leće, objektivu žarišne daljine od nekoliko milimetara te okulara. Predmet smještamo infinitezimalno blizu žarišta objektivu ( $a_1 \geq f_1$ , dakle, s „vanjske“ strane) te daje realnu sliku (vidi sliku 4). Realna slika 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 dato je umnoškom povećanja objektivu

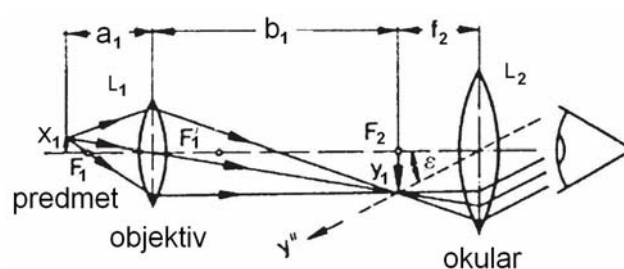
$$\gamma = \frac{y}{x} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{b_1}{f_1} - 1 \quad (7)$$

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

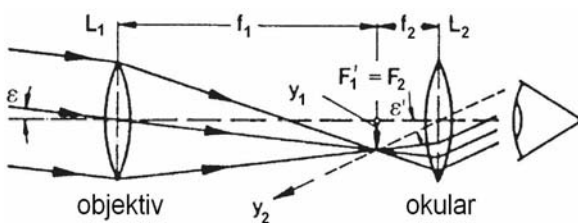
$$\Gamma_2 = \frac{25 \text{ cm}}{f_2}. \quad (8)$$



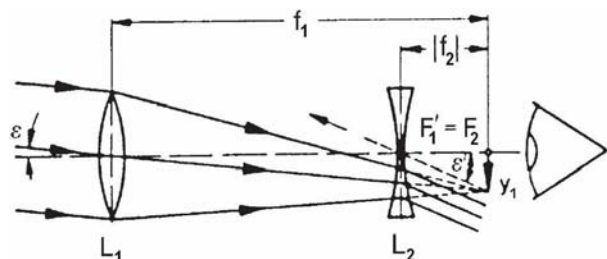
Slika 3. Dijaprojektor



Slika 4. Mikroskop



Slika 5. Keplerov teleskop



Slika 6. Galilejev teleskop

**Teleskop:** Teleskop je optički sustav, u principu, sastavljen od dvije leće, objektivu i okularu, namijenjen za promatranje udaljenih predmeta. Keplerov teleskop koristi dvije konvergentne leće razmaknute za  $f_1 + f_2$ , a Galilejev teleskop koristi jednu konvergentnu i jednu divergentnu leću na udaljenosti  $f_1 + f_2 = f_1 - |f_2|$ . Budući da je kutno povećanje u oba slučaja dano sa

$$\Gamma = \frac{f_1}{|f_2|}, \quad (9)$$

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

### 3. Mjerni uređaj i mjerenje



Slika 7. Leće i optički instrumenti

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). Na lijevoj optičkoj klupi koristi se stolna svjetiljka kao izvor svjetlosti.

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  $b$ .

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 objektivu mikroskopa koristi se zakretna ručka.

#### 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 komplementari položaj II. Izmjerite  $d$  i  $e$ , i ponovite mjerenje za 5 različitih izbora  $d$ . Prevedite relaciju (6) na linearnu formu 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 (4).

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 (6) na linearnu formu 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 (4).

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 procijeniti povećanje. Postavite Keplerov (Grupa A) i Galilejev (Grupa B) teleskop i odredite kakva je slika udaljenog predmeta. Pozvati voditelja turnusa da provjeri svaki od optičkih instrumenata.