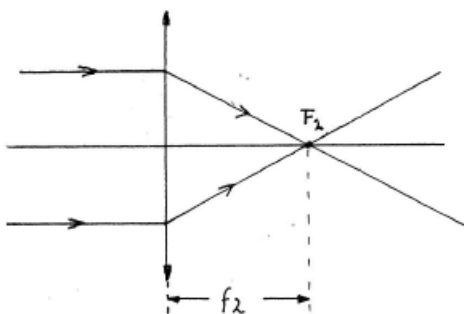


Vježba 11: Optička klupa

KONVERGENTNE LEĆE

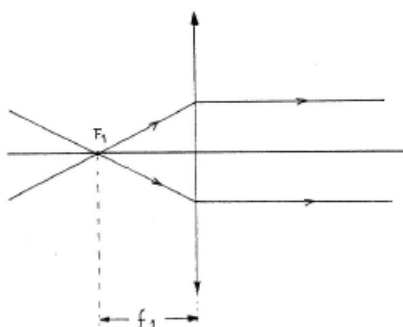
Leće su prozirna optička tijela omeđena sfernim plohama. Pravac koji prolazi kroz središta zakrivljenosti ploha leće zove se optička os. To je os rotacione simetrije leće. Na optičkoj osi nalaze se dvije karakteristične točke za svaku leću. Zovu se žarišta ili fokusi. Ako je leća tanka i nalazi se u zraku, udaljenosti obaju žarišta od centra leće su jednake. Ta udaljenost zove se žarišna daljina. Iz slika 1 i 2 vidi se što su te točke.

Žarište slike (ili stražnje žarište za konvergentnu leću) F_2 određuje položaj slike beskonačno udaljenog predmeta (slika 1).



Slika 1.

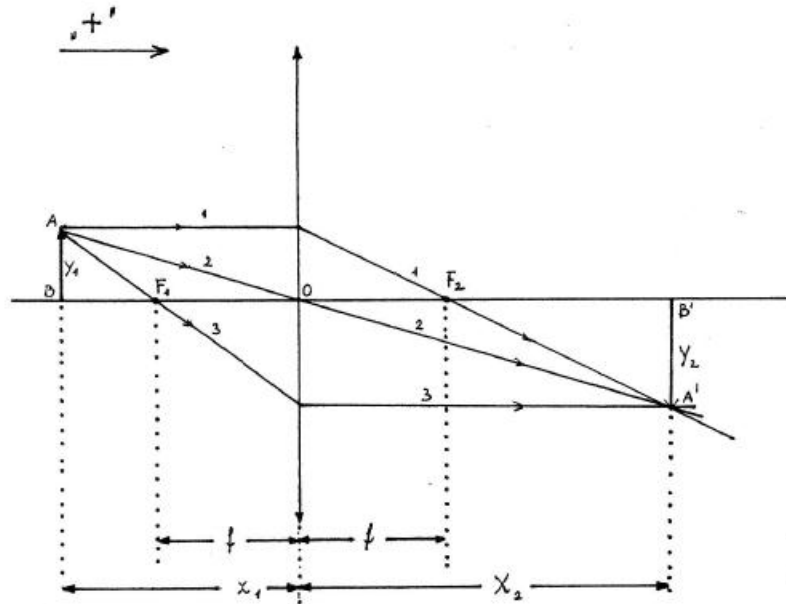
Žarište predmeta (ili prednje žarište za konvergentnu leću) F_1 određuje položaj predmeta za koji bi slika, nastala lomom zraka svjetlosti u leći, bila u beskonačnosti (slika 2).



Slika 2.

O udaljenosti predmeta od leće ovisi udaljenost slike od leće, priroda i veličina slike. Na slici 3 prikazana je konstrukcija slike nekog realnog predmeta lomom zraka svjetlosti u leći. Iz točke A na vrhu realnog predmeta \overline{AB} izlazi divergentan snop zraka. Izabrali smo

samo tri od njih. Zraka 1 ide paralelno s optičkom osi leće i nakon loma prolazi kroz žarište F_2 . Zraka 3 prolazi kroz žarište predmeta, F_1 , a nakon loma je paralelna s optičkom osi. Zraka 2 ide optičkim centrom tanke leće bez promjene smjera. Sve ostale zrake koje izlaze iz točke A predmeta nakon loma prolazit će kroz točku A' . Tim načinom nastaju slike svih točaka predmeta \overline{AB} na slici 3.



Slika 3.

Ako udaljenost predmeta \overline{AB} od centra leće označimo s x_1 , a udaljenost slike $\overline{A'B'}$ od centra leće x_2 , onda jednačba, koja povezuje te veličine sa žarišnom daljinom leće f , glasi:

$$-\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Jednačba (1) zove se jednačba konjugacije leće u zraku. Udaljenosti (x_1 , x_2 i f) u jednačbi (1) računaju se od centra leće 0, a njihov predznak se određuje prema smjeru širenja svjetlosti (slika 3). Tako su pozitivne one, koje su istog smjera sa smjerom širenja svjetlosti, a negativne one suprotnog smjera. Udaljenost x_1 realnog predmeta \overline{AB} od leće na slici 3 je, u skladu s ovim dogovorom, negativna veličina, jer od centra leće do položaja predmeta idemo upravo u suprotnom smjeru od smjera širenja svjetlosti. Ako je na primjer, spomenuti predmet udaljen od leće 17,5 cm, tada se taj podatak piše ovako: $x_1 = -17,5$ cm.

Za svaki odabrani položaj predmeta x_1 u odnosu na leću, postoji samo jedna udaljenost x_2 , određena jednačbom leće (1) na kojoj nastaje slika predmeta. Pregled položaja, veličine i

prirode slika koje može dati neka leća ako predmet iz beskonačnosti primičemo prema njoj, dan je u priloženoj tablici 1.

Tablica 1.

x_1	x_2	slika
$\infty > x_1 > 2f$	$f < x_2 < 2f$	realna, obrnuta, umanjena
$ x_1 = 2f$	$x_2 = 2f$	realna, obrnuta, iste veličine kao predmet
$2f > x_1 > f$	$x_2 > 2f$	realna, obrnuta, uvećana
$ x_1 < f$	$x_2 < 0$	virtualna, uspravna, uvećana

Recipročna vrijednost žarišne daljine leće izražene u metrima, kad je leća u zraku, određuje njenu jakost u dioptrijama:

$$j = \frac{1}{f}; [j] = m^{-1} = \text{dpt} \quad (2)$$

Leća žarišne daljine, npr. $f = +25$ cm ima jakost $j = +4$ dpt.

Zadatak 1. Odredite žarišnu daljinu i jakost konvergentne leće

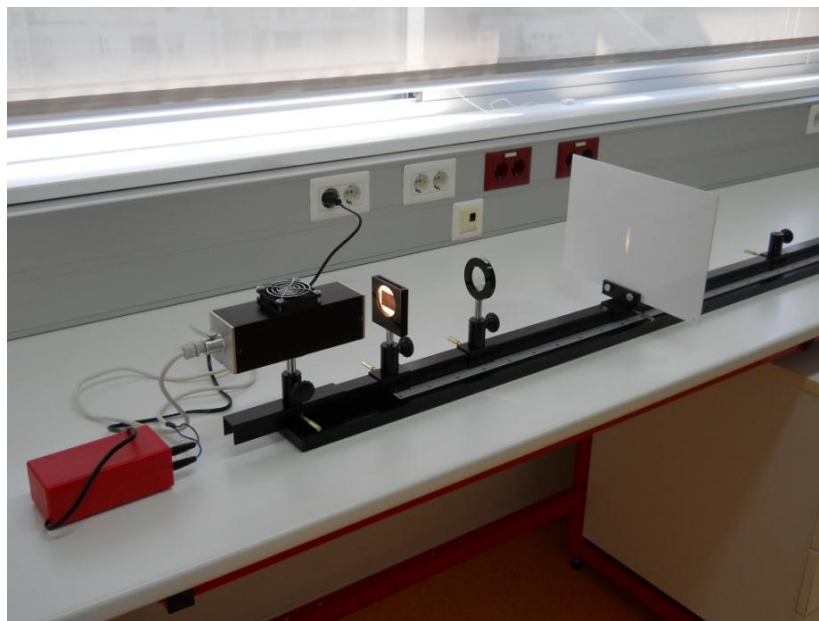
Zadatak se rješava tako da se za izabranu veličinu x_1 pronađe veličina x_2 i pomoću jednadžbe (1) odnosno (2) izračuna f i j . Za svako mjerenje veličina x_1 i x_2 treba izmjeriti veličinu slike i predmeta. Veličinu linearne dimenzije predmeta \overline{AB} označimo s y_1 , a slike s y_2 . Pri tome je za obrnutu sliku y_2 negativna veličina. Ako je npr. veličina obrnute realne slike 2,7 cm, tada ćemo to zapisati: $y_2 = -2,7$ cm. (Pazite: ako minus ne napišete, smatra se da je veličina pozitivna!) Omjer $\frac{y_2}{y_1}$ određuje linearno povećanje leće m . kod točnog mjerenja mora biti:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{x_2}{x_1} = m \quad (3)$$

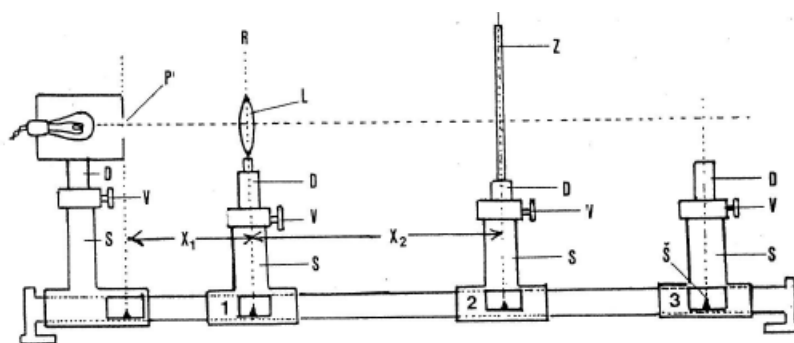
Treba izvršiti 4 mjerenja za istu leću i to: 2 s uvećanom, a dva s umanjenom slikom.

Izvođenje mjerenja s realnim predmetom:

Mjerenje se izvodi na optičkoj klupi (slika 4 i 5). To je metalna šipka, u našem slučaju kvadratnog presjeka, s milimetarskom podjelom na kojoj se mjeri x_1 i x_2 . Po toj šipci mogu kliziti stalci S za leće i zastor na kojem nastaje slika. Zastor Z je metalna ploča bijele boje. Realni predmet P je u metalnoj ploči izrezana strelica koju osvjetljava električna žarulja. Slika optičke klupe vidi se na slici 4, a shematski prikaz elemenata na slici 5.



Slika 4.



Slika 5.

Pri mjerenju podesite visinu leće tako da optička os leće prolazi sredinom predmeta te da zamišljena ravnina R koja prolazi kroz centar leće okomito na optičku os, ravnina predmeta P i zastora Z budu međusobno paralelne (slika 5). To se da lagano učiniti jer se držači D za predmet, leće i zastor mogu u stalcima S podizati i spuštati te okretati oko

vertikalne osi, a izabrani položaj učvrsti se vijkom V. Taj postupak zove se centriranje leće. Kod izvođenja mjerenja s realnim predmetom stalak 3 (slika 5) pomaknite na kraj optičke klupe da vam ne smeta. U stalak 1 stavite konvergentnu leću L_k i izaberite po želji veličinu x_1 . U stalak 2 stavite zastor i na njemu načinite (pomičući ga i odmičući od leće) oštru sliku predmeta. Na dnu svakog stalka S iznad skale na optičkoj klupi nalazi se oznaka koja omogućava točno odčitavanje položaja predmeta, leće i zastora. Izmjerite x_1 , x_2 i y_2 . Pazite na predznak tih veličina!

Izmjerene veličine unesite u priređenu tablicu 2. Računajte žarišnu daljinu leće f ($f = \frac{x_1 x_2}{x_1 - x_2}$), linearno povećanje m (na dva načina, jednažba (3) i to upišite u odgovarajuće rubrike u tablici 2. Na kraju izračunajte jakost leće.

Tablica 2.

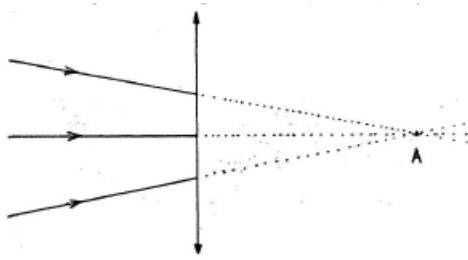
Broj mjerenja	x_1/cm	x_2/cm	y_1/cm	y_2/cm	$m = \frac{x_2}{x_1}$	$m = \frac{y_2}{y_1}$	f/cm	j/dpt

$$\bar{f} = f_1 + f_2 + \dots \quad (4)$$

$$\bar{j} = \frac{1}{\bar{f}} \quad (5)$$

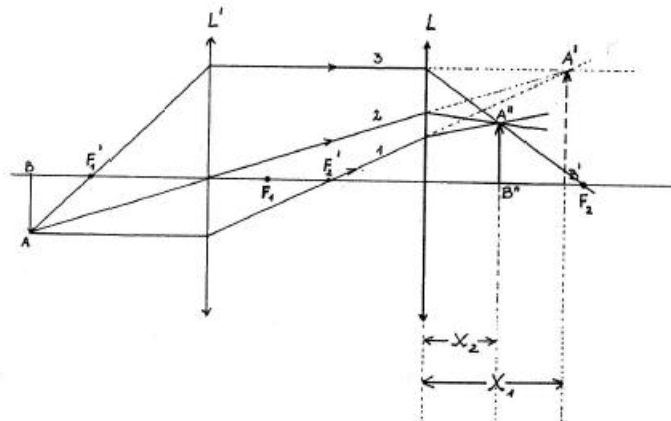
Zadatak 2. Odredite žarišnu daljinu konvergentne leće s virtualnim predmetom

Virtualni predmet za leću (ili drugi optički sistem) imat ćemo onda ako na ulaznu plohu leće pada konvergentan snop zraka svjetlosti, koje bi se, u slučaju odsutnosti te plohe sjekle u jednoj točki. Točka A na slici 6. Je virtualni točkasti predmet za leću. U njemu se sastaju virtualne konvergentne zrake.



Slika 6.

Slika 7 pokazuje kako ćemo načiniti virtualan predmet za leću L. Iz pomoćne leće L' izlazi konvergentan snop I pada na leću L. Produžeteci zraka 1,2 i 3 toga snopa iza leće sijeku se u točki A' gdje bi, da nema leće L, nastala realna slika točke A, realnog predmeta \overline{AB} . Leća L od tog upadnog konvergentnog snopa, odnosno od virtualnog predmeta $\overline{A'B'}$ koji se nalazi na udaljenosti x_1 , daje realnu sliku $\overline{A''B''}$ na udaljenosti x_2 .



Slika 7.

Veličine x_1 i x_2 u ovom primjeru, u skladu s našim ranijim dogovorom o predznaku tih veličina, su pozitivne. Ako je virtualni predmet $\overline{A'B'}$ udaljen od leće L npr. 14,3 cm taj podatak zapisujemo $x_1 = 14,3$ cm.

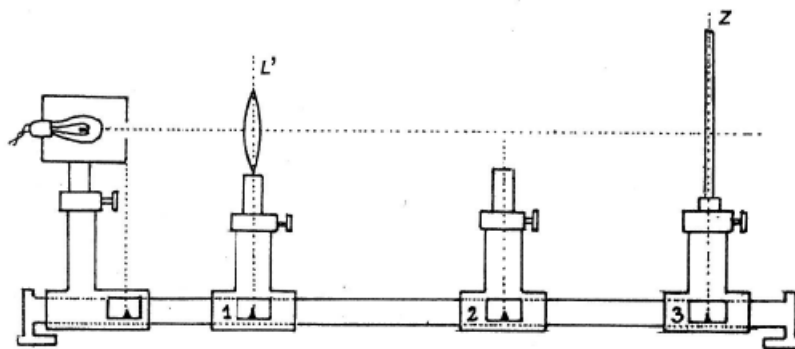
Izvođenje mjerenja s virtualnim predmetom:

Konvergentnoj leći iz prvog zadatka mjerit ćete žarišnu daljinu, f , i jakost leće, j , metodom virtualnog predmeta. Kod ovakvog mjerenja upotrijebit ćete sva tri stalka na optičkoj klupi (slike 8 i 9).



Slika 8.

U stalak 1 stavit ćete pomoćnu konvergentnu leću i centrirati je. U stalak 3 dolazi zastor. Po želji udaljite stalak 1 s lećom L' od predmeta P i na zastoru nađite oštru sliku predmeta. Izmjerite veličinu slike. To je veličina virtualnog predmeta za leću L, dakle y_1 . Više ne smijete pomicati leću L' , niti zastor Z dok ne odredite x_1 .

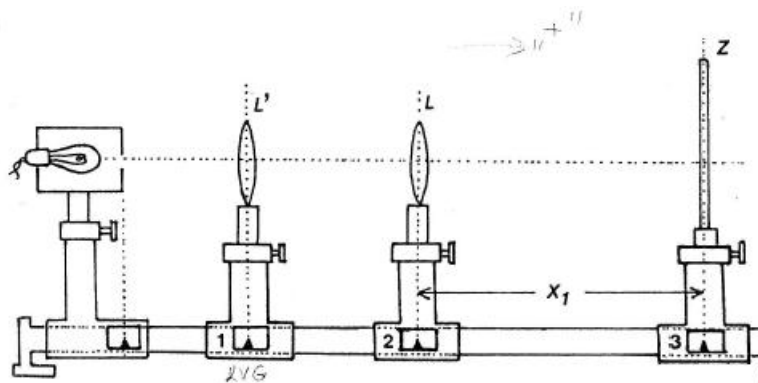


Slika 9.

U prazni stalak 2, koji se nalazi između pomoćne leće L' i zastora, trebate stoga staviti leću L, kojoj određujete žarišnu daljinu (slike 10 i 11). Centrirajte leću L. Na zastoru više nećete imati sliku. Izmjerite x_1 na optičkoj klupi.



Slika 10.

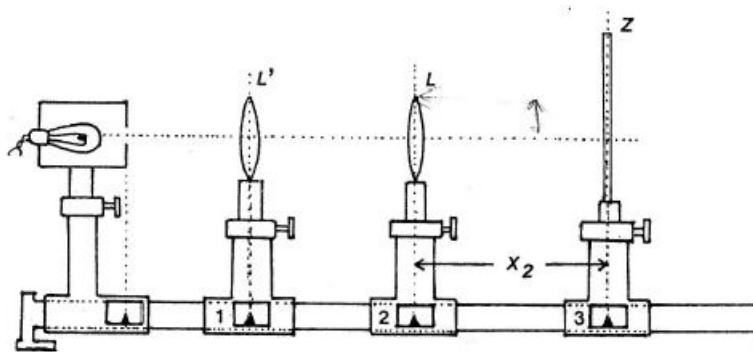


Slika 11.

Pomičite sada zastor (stalak 3) prema leći L (ili stalak 2) dok na zastoru ne dobijete oštru sliku (slike 12 i 13). Izmjerite na optičkoj klupi udaljenost od leće do slike, dakle x_2 , i njenu veličinu y_2 . Zgodno je da za vrijeme čitavog mjerenja predmet P stoji na lijevom kraju optičke klupe, kako biste imali na raspolaganju cijelu optičku klupu.



Slika 12.



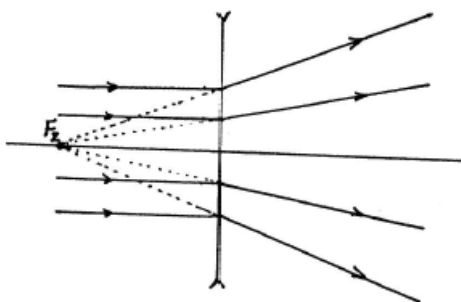
Slika 13.

Napravite tri mjerenja s virtualnim predmetom za različite udaljenosti x_1 . Načinite tablicu za unošenje rezultata mjerenja kao u prethodnom zadatku. Računajte f i j .

Kod koje od ovih metoda očekujete točnije rezultate i zašto?

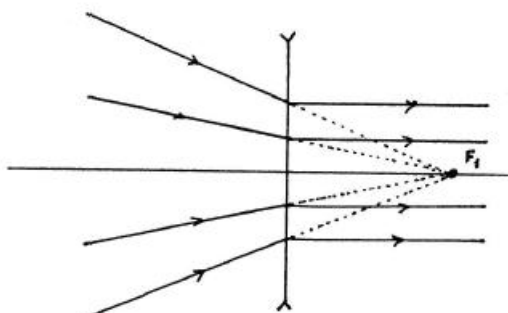
DIVERGENTNE LEĆE

Žarište slike divergentne leće je točka na optičkoj osi u kojoj nastaje virtualna slika realnog predmeta koji se nalazi u beskonačnosti (slika 14). To žarište nalazi se ispred leće. Divergentna leća dakle od snopa zraka svjetlosti koji dolazi paralelno s optičkom osi čini divergentan snop, a produžetci tih zraka sijeku se u žarištu slike, F_2 , divergentne leće.



Slika 14.

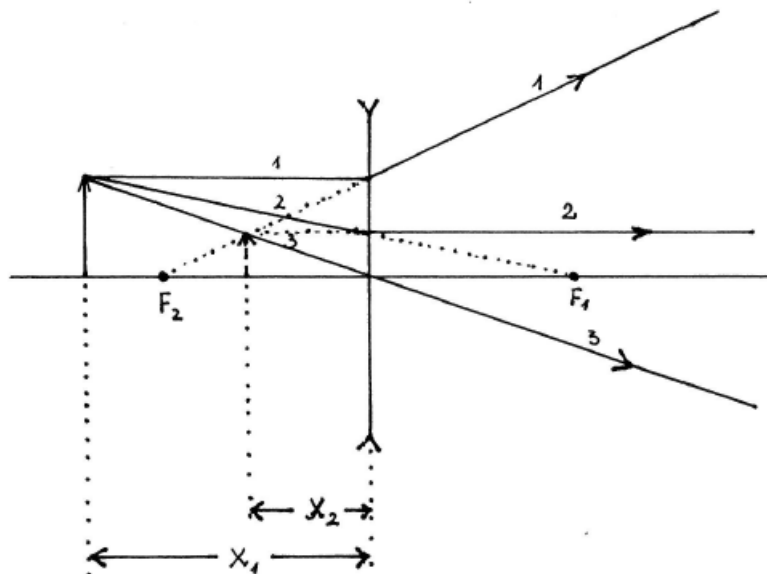
Ako na leću pošaljemo takav konvergentan snop da produžetci snopa zraka prolaze kroz točku F_1 na optičkoj osi (slika 15), koja je jednako udaljena od centra leće kao i F_2 (kada je leća u zraku), tad će sve zrake snopa nakon loma u leći biti paralelne s optičkom osi. Drugim riječima: ako se u točki nalazi F_1 nalazi virtualni predmet njegova će slika biti u beskonačnosti. Točka F_1 je žarište predmeta divergentne leće. Oba žarišta su virtualna.



Slika 15.

Kod konstrukcije slike (slika 16) koju od nekog predmeta pravi divergentna leća koriste se tri karakteristične zrake:

- zraka 1 koja paralelno s optičkom osi dolazi na leću nakon loma ima takav smjer da njegov produžetak unatrag prolazi kroz žarište slike F_2 ;
- zraka 2 koja ima smjer prema F_1 nakon loma je paralelna s optičkom osi;
- zraka 3 koja prolazi kroz optički centar leće ne mijenja smjer.

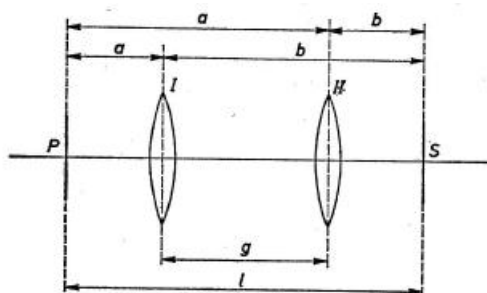


Slika 16.

Divergentna leća od realnih predmeta uvijek daje virtualne slike. Ako je predmet virtualan, slika, koja nastaje lomom u divergentnoj leći, može biti realna. Kakos mo vidjeli kod konvergentne leće, položaj virtualnog predmeta može se vrlo točno izmjeriti, kao i položaj realne slike. Stoga ćemo divergentnoj leći uz pomoć virtualnog predmeta i jednadžbe konjugacije odrediti žarišnu daljinu i jakost. Predznak od x_1 i x_2 određujemo na dogovoreni način.

MJERENJE ŽARIŠNE DALJINE KONVERGENTNE LEĆE BESSELOVOM METODOM

Besselova metoda se sastoji u tome da za neki stalni razmak l između predmeta i slike postoje dva položaja I i II leće (slika 17) u kojima nastaje jednom uvećana, a drugi put umanjena slika:



Slika 17.

I položaj: $f < a < 2f$, $b > 2f$ obrnuta i uvećana slika,

II položaj: $a > 2f$, $f < b < 2f$ obrnuta I umanjena slika.

Razmak g između oba položaja leće može se lako izmjeriti. Iz slike 17 izlazi:

$$a + b = l \quad (6)$$

$$b - a = g \quad (7)$$

Zbrajanjem i odbijanjem jednadžbi (6) i (7) dobijemo:

$$b = \frac{1}{2}(l + g) \quad (8)$$

$$a = \frac{1}{2}(l - g) \quad (9)$$

Uvrstimo li jednadžbe (8) i (9) u jednadžbu leće dobijemo:

$$f = \frac{l^2 - g^2}{4l} \quad (10)$$

Zadatak 3. Odredite Besselovom metodom žarišnu daljinu konvergentne leće za pet vrijednosti od l . Za svaki razmak l izračunajte f .

Izvođenje mjerenja: na jedan kraj optičke klupe stavite predmet P, a na drugi zastor Z (njihov razmak treba biti veći od $4f$). U sredini između P i Z stavite leću L i pomičite je prema P tako dugo dok se na zastoru Z ne pojavi oštra uvećana slika. Otčitajte položaj I leće (g_1). Zatim pomičite leću prema zastoru Z dok se ponovo na njemu ne pojavi oštra umanjena slika. Otčitajte položaj II leće (g_2) i odredite razmak g između ta dva položaja. Izmjerite još razmak l između predmeta i zastora pa iz jednadžbe (10) izračunajte žarišnu daljinu.

Tablica 3.

Broj mjerjenja	l /cm	$4l$ /cm	g_1 /cm	g_2 /cm	$g = g_2 - g_1$ /cm	$l^2 - g^2$ /cm	$f = \frac{l^2 - g^2}{4l}$ /cm ²

$$\bar{f} = f_1 + f_2 + \dots$$