

Lom i refleksija svjetlosti

Cilj vježbe

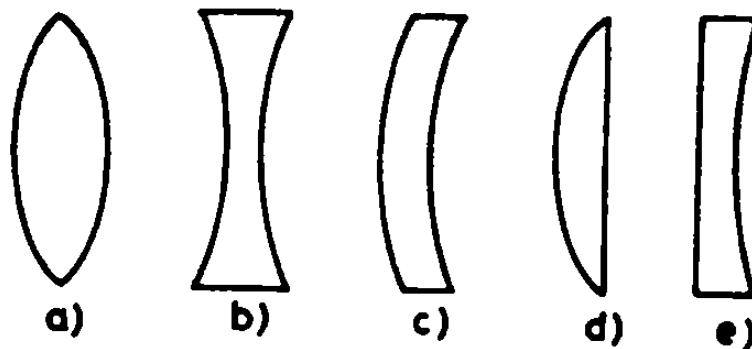
Primjena zakona odbijanja ili refleksije i zakona loma ili refrakcije iz geometrijske optike u svrhu određivanja žarišne daljine tanke leće.

Teorijski dio

Zrcala i leće su objekti poznati iz svakodnevnog života. Najpoznatije zrcalo je ravno zrcalo, u kakvo gledamo svakog jutra. Također postoje i sferna zrcala, kakva se koriste npr. na ostrim cestovnim križanjima, te u bankama, trgovinama itd. Dok zrcala odbijaju svjetlost, leće propuštaju svjetlost. Sferne leće mogu fokusirati svjetlost, tzv. konvergentne ili konveksne leće, ili rasipati svjetlost, tzv. divergentne ili konkavne leće. Česta upotreba leća je u optičkim pomagalima, kao što su naočale, koja se koriste u svakodnevnom životu. Kamere i filmski projektori također koriste leće za povećanje i formiranje slike na ekranu. U ovom eksperimentu se proučavaju neka osnovna svojstva konvergentnih bikonveksnih leća te osnovni parametri koji je definiraju.

Svojstva leće

Lećom zovemo prozirno tijelo, ograničeno sa dvije površine od kojih bar jedna ima polumjer zakrivljenosti različit od beskonačnosti. Ako su joj granične površine sfernog oblika, leće je sferna. Na sl. 2. su prikazane različiti oblici sfernih leća. Prema oblicima graničnih površina napravljena je podjela, redom, na: bikonveksnu, bikonkavnu, konvekskonkavnu, plankonveksnu i plankonkavnu leću.



Slika 1. Različite vrste leća

Jednadžba leće glasi:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (1)$$

gdje r_1 i r_2 označavaju polumjere zakrivljenosti sfernih površina koje sačinjavaju leću, dok je n apsolutni indeks loma leće, a je udaljenost predmeta od tjemena leće, a b je udaljenost slike od tjemena leće.

Budući da je:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (2)$$

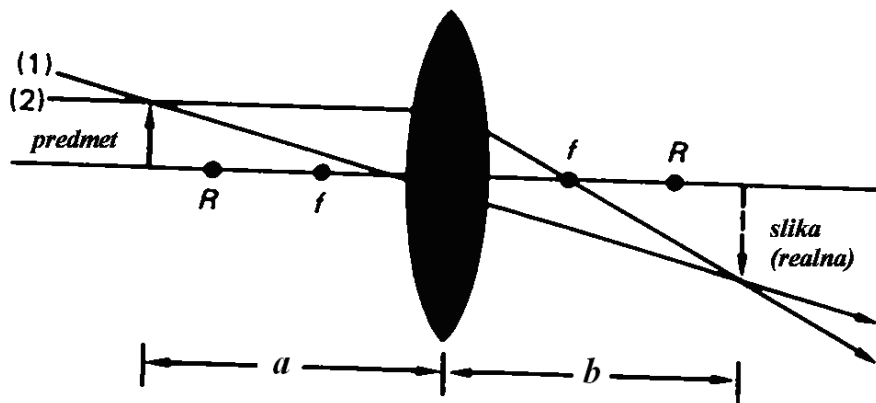
jednadžba leće, konačno, prelazi u oblik:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (3)$$

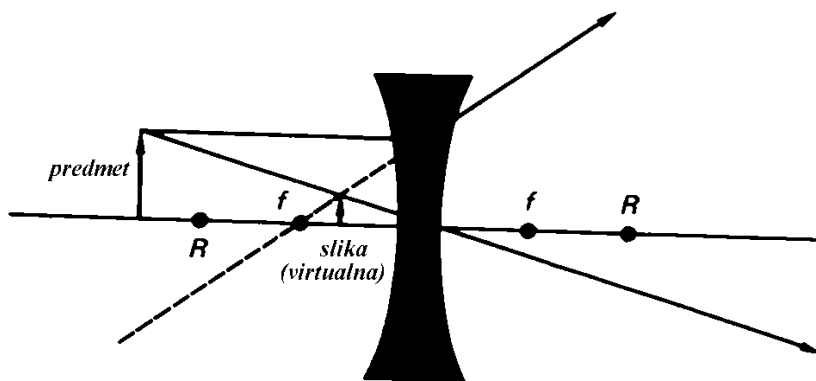
gdje f označava žarišnu duljinu leće. Recipročna vrijednost žarišne duljine izražene u metrima je jakost leće i mjeri se u dioptrijama [Dpt],

$$j = \frac{1}{f} \quad (4)$$

Na sl. 2. i 3. prikazano je, redom, kako se pomoću bikonveksne i bikonkavne leće stvara sliku predmeta.

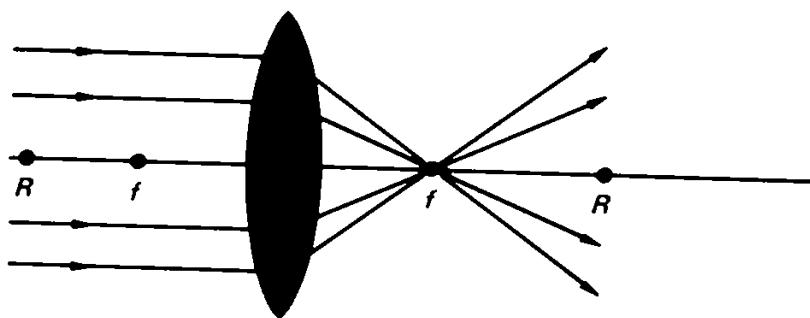


Slika 2. Položaj slike kod bikonveksne konvergentne leće.

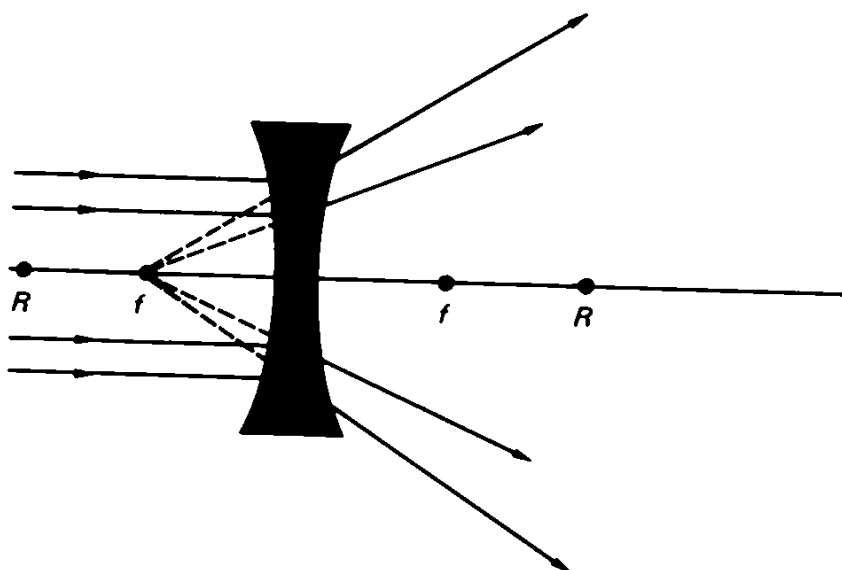


Slika 3. Položaj slike kod bikonkavne divergentne leće.

Kod bikonveksne leće zrake s predmeta koje dolaze na leću konvergiraju s druge strane leće, kao što to prikazuje sl. 2. Slika koja se formira s te strane leće je realna i obrnuta. Kod bikonkavne leće zrake koje dolaze s predmeta na leću divergiraju, zbog čega ova leća spada pod divergentne leće, sl. 3. Zrake koje putuju paralelno s pravcem koji spaja žarišne točke konveksne leće će proći kroz žarišnu ili fokalnu točku s druge strane leće, sl. 4. Kod konkavne leće, produžetci zraka u žarišnu točku sa strane leće koja je bliža objektu formiraju virtualnu i uspravnu sliku.



Slika 4. Paralelne zrake koje dolaze na konvergentnu leću konvergiraju kroz žarište s druge strane leće.



Slika 5. Paralelne zrake koje dolaze na divergentnu leću divergiraju s druge strane leće, a točka iz koje divergiraju je žarište sa strane leće na kojoj se nalazi objekt.

Zraka pak koja prolazi središtem bilo konvergentne bilo divergentne leće neće se zakrenuti.

Povećanjem leće γ zovemo omjer između veličine slike y' i veličine predmeta y :

$$\gamma = \frac{y'}{y} \tag{5}$$

Kada je povećanje negativno, slika je obrnuta, a kad je pozitivno, slika je uspravna. Povećanje leće također možemo računati pomoću sljedeće relacije:

$$\gamma = -\frac{b}{a}, \tag{6}$$

gdje je a udaljenost predmeta od tjemena leće, a b udaljenost slike od tjemena leće.

Eksperimentalni dio

Mjerenje žarišne daljine tanke konvergentne leće

U eksperimentalnom dijelu ove vježbe treba odrediti žarišnu duljinu leće. Žarišna duljina leće u ovom eksperimentu određuje se izravno. Virtualni eksperimentalni postav sastoji se od: tanke bikonveksne leće, optičke klupe ili optičke osi i svjetlosnog izvora.

Potrebno je oformiti virtualni postav kao na slici 6. Prvo se postavi optička os (Ruler) i zatim okomito na optičku os konvergentna leća veličine po vašem izboru. Zatim se s lijeve strane postavi prva zraka na željenu visinu predmeta, koja ide paralelno s optičkom osi, a potom i druga zraka na istu visinu, koja prolazi kroz tjeme leće. S druge strane leće se lomljena i propuštena zraka sijeku u točki koja određuje visinu slike predmeta. U eksperimentu se određuje udaljenost predmeta do tjemena leće a i udaljenost slike predmeta b do tjemena leće. Žarišna duljina leće izračunava se prema relaciji (3).



Slika 6. Virtualni eksperimentalni postav.

Preuređivanjem relacije (3) može se dobiti relacija koja prikazuje linearnu ovisnost $\frac{a}{b} = f(a)$:

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{f} a - 1, \quad (7)$$

gdje je -1 odsječak pravca na y osi, a $1/f$ koeficijent smjera pravca. Prema tome, iz koeficijenta smjera ovog pravca (7) može se odrediti f – žarišna duljina korištene leće.

- **Postupak pri mjerenju sastoji se od nekoliko koraka:**

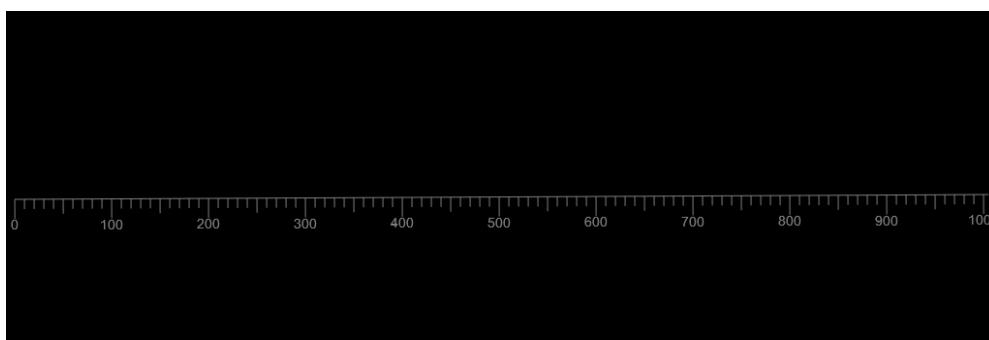
1. **korak:** U web pregledniku otvorite stranicu koja se nalazi na linku:

<https://ricktu288.github.io/ray-optics>

kako biste mogli simulirati ovaj virtualni eksperiment.

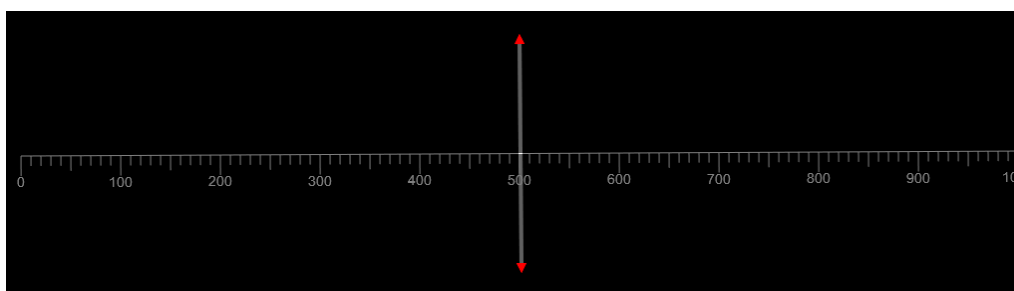
2. **korak:** Kada otvorite stranicu pokrenite aplikaciju i otvoriće vam se prozor kao na slici 6.

3. **korak:** Prvo postavite optičku os tako da odete prvo na link „Ruler“ i tim linkom pozivate optičku os koju povlačite na crnoj pozadini (vidi sliku 7). Mjerna skala je u pikselima (1 px = 0.026458 cm).



Slika 7. Optička os.

4. **korak:** Nakon toga se okomito na optičku os postavi leća. Odabirom linka „Glasses“ i odabirom „Ideal Lens“ pozvali ste konvergentnu leću i nju postavljate također povlačenjem okomito na leću (duljinu birate po izboru).



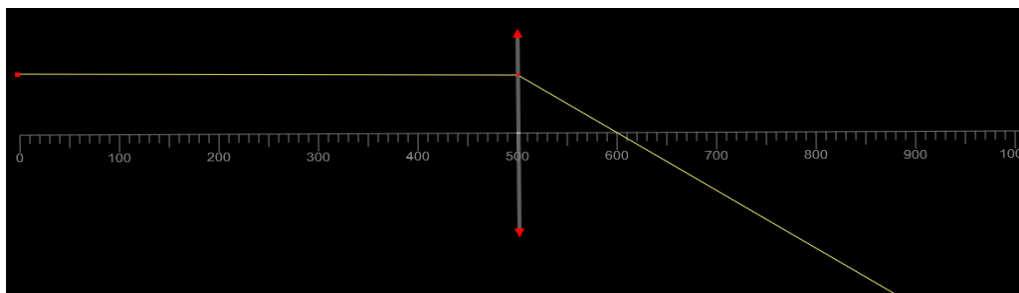
Slika 8. Optička os s lećom.

5. **korak:** Prilikom postavljanja leće očitati teorijsku vrijednost žarišne daljine leće. Klikom na leću koju ste odabrali u gornjem lijevom dijelu se otvori izbornik u kojem piše žarišna daljina leće (Focal Length)(vidi sliku 9). Tu vrijednost si zapišete kako bi s tom vrijednošću mogli usporediti svoj eksperimentalni izračun. Vrijednost je također u pikselima.



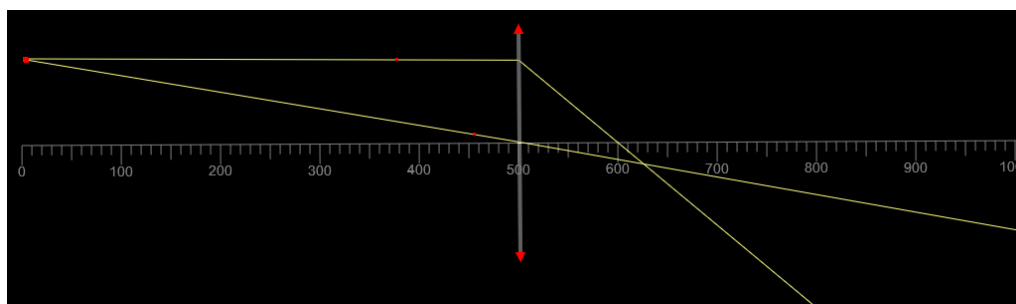
Slika 9. Žarišna daljina leće.

- 6. korak:** Postavljanje prve zrake koja je paralelna s optičkom osi. Odabirom linka „Ray“ odabrali ste jednu zraku svjetlosti koja i nju postavite kao na slici 10 paralelno optičkoj osi. Zraku postavljate tako da prvim klikom birate mjesto s kojeg zraka kreće, a drugim klikom podešavate smjer zrake. Visina u odnosu na optičku os je zapravo visina predmeta.



Slika 10. Prva karakteristična zraka.

- 7. korak:** S istog mjesta puštate drugu zraku, ali ovaj puta podesite zraku da ide kroz tjeme leće (slika 11).



Slika 11. Druga karakteristična zraka.

- 8. korak:** Očitajte udaljenost predmeta od tjemena leće a i udaljenost slike do tjemena leće b (vidi sliku 6). Udaljenost slike od leće je na mjestu gdje se spusti okomica na optičku os sa sjecišta tih dviju zraka. Visina slike je udaljenost sjecišta tih dviju zraka do optičke osi.
- 9. korak:** Mjerenje ponovite 5 puta smanjujući pritom udaljenost predmeta od tjemena leće (odnosno udaljenost izvora do leće) u željenim koracima. Pazite pri tome da vam udaljenost predmeta do tjemena leće a ne bude manja ili jednaka žarišnoj daljini leće f koju ste očitali u 5. koraku, jer u tom slučaju dobivate imaginarnu sliku i ne možete vidjeti gdje vam se zrake sijeku.

Ime i prezime:

Rad u laboratoriju

Zadatak 1:

Kada vam je eksperimentalni postav postavljen kao na slici 6, odredite udaljenost predmete do leće a i udaljenost slike do leće b . Popunite tabl. 1 za još četiri različita mjerenja.

Tablica 1.

<i>Broj mjerenja</i>	1	2	3	4	5
a [m]					
b [m]					
f [m]					
γ					

Zadatak 2:

a) Prema relaciji (3) izračunajte vrijednost žarišne daljine leće i popunite tabl 1. Prikažite samo jedan izračun!

b) Prema relaciji (6) izračunajte povećanje leće i popunite tabl 1. Prikažite samo jedan izračun!

Ime i prezime:

Analiza rezultata mjerenja

Zadatak 3:

a) Izračunajte maksimalnu apsolutnu i maksimalnu relativnu pogrešku pri eksperimentalnom određivanju žarišne daljine leće (f) relacija (3). Udaljenost položaja predmeta od leće je ($a=0,34\pm 0,01$) m, a položaj slike u odnosu na leću ($b=0,30\pm 0,01$) m. Konačne rezultate upišite u tablicu 3.

Izračun:

- maksimalna apsolutna pogreška

- maksimalna relativna pogreška

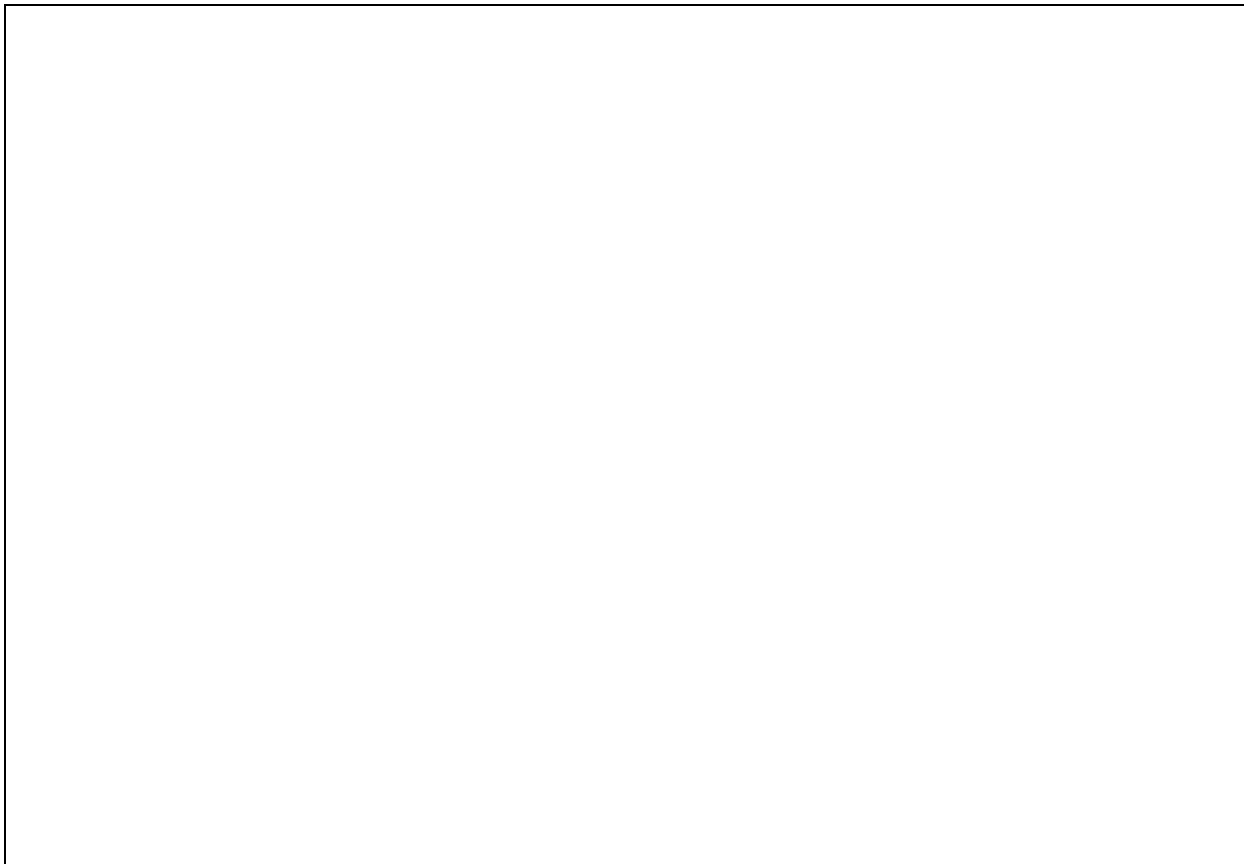
Tablica 3. Rezultati statističke analize slučajnih pogrešaka pri posrednom određivanju žarišne daljine leće.

Rezultat mjerenja izražen MAKSIMALNOM APSOLUTNOM pogreškom	Rezultat mjerenja izražen MAKSIMALNOM RELATIVNOM pogreškom

b) Obrazložite dobivenu pogrešku! Navedite nekoliko čimbenika koji su, po Vašem mišljenju, utjecali na odstupanja u mjerenjima?

Zadatak 4: Provjera teorijske ovisnosti prikazane relacijom $a = f(b)$.

- a) U MS Excellu prikazete ovisnost udaljenosti predmeta od leće a kao funkciju udaljenosti slike od leće b , $a=f(b)$.



Gr. 1. Ovisnost udaljenosti predmeta od leće a kao funkciju udaljenosti slike od leće b , $a=f(b)$.

- b) Kako se naziva krivulja koja prikazuje ovu grafičku ovisnost? Napišite formulu za matematičku funkciju koja opisuje ovisnost između mjerenih fizikalnih veličina.
- c) Objasnite kako udaljenost predmeta od leće a ovisi o udaljenosti slike od leće b .

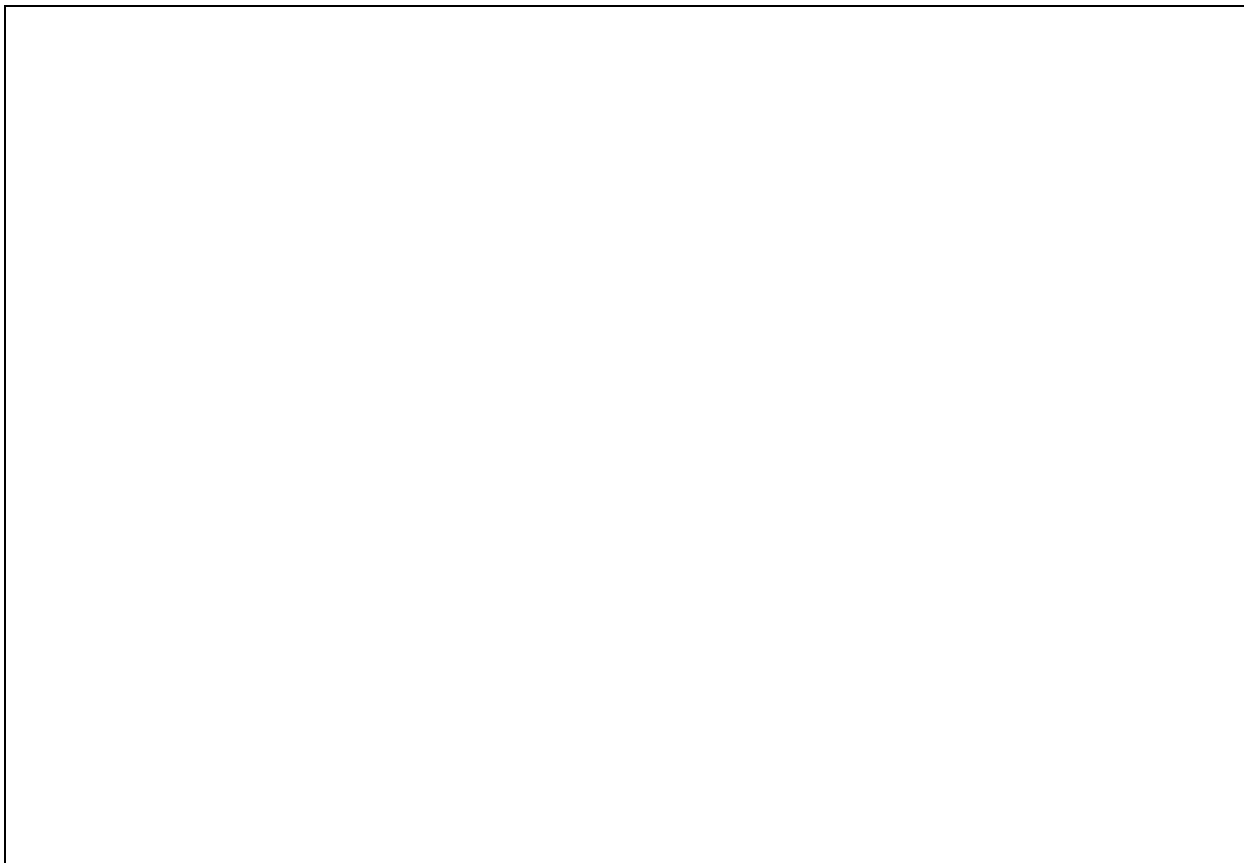
Zadatak 5:

Preračunajte rezultate mjerenja i popunite tablicu 4, kako bi dobili linearnu ovisnost između izmjerenih podataka. Obradite podatke u MS Excel-u (MNK) i u graf. 2 prikažite grafičku ovisnost

$$\frac{a}{b} = f(a)$$

Tablica 4.

a (m)					
a/b					



Gr. 2. Ovisnost $\frac{a}{b} = f(a)$

Zadatak 6:

a) Napišite jednadžbu pravca u eksplicitnom obliku: $y = \underline{\hspace{2cm}}$.

c) Koristeći dobivenu jednadžbu pravca i relaciju (8) izračunajte žarišnu daljinu leće f .

Izračun:

Zadatak 7:

Procijenite točnost mjerenja tako da izračunate relativnu pogrešku pri određivanju žarišne daljine leće. Za teorijsku vrijednost uzmite žarišnu daljinu koju ste očitali u 5. koraku vašeg postupka pri mjerenju. Obrazložite odgovor!

Zadatak 8.

Navedite koje bi pogreške najviše mogle utjecati na rezultate mjerenja u ovom eksperimentu?