DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA
Korčula, 13.-16. svibnja 2012.

Srednje škole - 4. grupa

1. zadatak (20 bodova)

Ova je godina zbog čestih pljuskova u sunčana popodneva obilovala pojavama duga. Pretpostavi da Sunčeva svjetlost obasjava kuglaste kapljice kiše. Imajući u vidu da se prema promatraču vrati značajan intenzitet obojene svjetlosti koja potječe od Sunca koje je iza promatrača, predloži skicu koja će objasniti nastanak duge, te objasni podrijetlo rasipanja po bojama.
Izvedi izraz koji određuje kut skretanja zrake svjetlosti s obzirom na upadnu zraku, od ulaska zrake do njenog izlaska iz kapljice. Izračunaj najmanji kut skretanja za crvenu (indeks loma 1,3318) i ljubičastu svjetlost (indeks loma 1,3435)! Pokaži da se najveći dio svjetlosti odbije upravo u smjeru blisku njemu! Stoga se zraka pod tim kutom naziva dugina zraka. Kolika je kutna debljina duge i gdje se nalazi ljubičasta, a gdje crvena boja?
Objasni može li se duga vidjeti u Korčuli koja je na 43° geografske širine kad je Sunce u zenitu? Objasni može li se vidjeti polukružna duga? Objasni gledaju li dvije osobe istu dugu? Zašto je duga rijetko vidljiva zimi?
Druga duga nastaje jednom refleksijom više unutar kapljice nego razmatrana prva duga? Pod kojim se kutom ona vidi i koji joj je poredak boja?

2. zadatak (20 bodova)

Žiroskopi su instrumenti koji trebaju osigurati određeni referentni smjer. Pored onih poznatih koji rade preko očuvanja kutne količine gibanja zvrka, danas se sve više koriste optički žiroskopi jer su kompaktniji, jednostavniji, jeftiniji, osjetljivi i lako se integriraju s elektronikom. Interferometarski žiroskop s optičkim vlaknom sastoji se od izvora svjetlosti valne duljine 1550nm i detektora koji kruže zajedno jedan pored drugog po kružnici polumjera R = 5cm kutnom brzinom Ω. Izvor emitira svjetlost u oba smjera duž kružno namotanog vlakna indeksa loma n=1,444 po obodu kružnice. Vlakno je namotano N = 1000 puta po cijeloj kružnici (i spojenih je krajeva) te obje zrake svjetlosti moraju obići cijelo to vlakno da bi došle do detektora. Snopovi svjetlosti koji se šire u međusobno suprotnim smjerovima interferiraju i ukupni intenzitet mjeri se detektorom.
Izvedi izraz za faznu razliku među dvjema zrakama kada stignu do detektora!
Napiši izraz za intenzitet koji mjeri detektor te osjetljivost intenziteta na promjenu faze i na promjenu kutne brzine (promjena intenziteta po jedinici faze, odnosno po jedinici kutne brzine).
Koliki raspon kutnih brzina se može jednoznačno određivati ovim žiroskopom? Na koliku kutnu brzinu treba zavrtjeti žiroskop da bi postigao najveću osjetljivost oko te vrijednosti?
Izračunaj najmanju promjenu kutne brzine koju možemo detektirati, zanemarujući sve smetnje i šumove, te pretpostavljajući da je u tom slučaju osjetljivost detektora određena time da je on 24-bitni, to jest da može registrirati promjene od 1 u 2^{24} od maksimalnog intenziteta na koji je podešen!

3. zadatak (20 bodova)

Upravljanje snopom neutrona zahtijeva veliku fizikalnu maštovitost. Promotrit ćemo vođenje neutrona kroz kutiju i izlazak monokromatskog snopa iz nje. Za zatočenje termalnih neutrona koristi se vakumirana kutija od monokristala silicija. Promatrat ćemo neutrone brzine 150m/s. Kolika je valna duljina neutrona u tom snopu?
S jedne strane na kutiji nalazi se prozor u Fabry-Pérot konfiguraciji koji treba osigurati izlazak neutrona određene valne duljine. Prozor se sastoji od trosloja, koji redom čini vrlo tanki sloj nikla, 100 nm titana, te opet vrlo tanki sloj nikla, nanešenih na debelu podlogu titana radi mehaničke potpore. Kroz titan neutroni prolaze kao da je proziran, dok se na niklu događa djelomično odbijanje/refleksija i djelomični prolazak/transmisija, pri čemu apsorpciju u materijalima zanemarite. Iako detalji ovise o svojstvima materijala, priroda pojave dolazi iz fizikalne optike, te je tako pojednostavljeno i promatrajte, pogotovo jer daje zadovoljavajuće rezultate. Štoviše, u danim uvjetima brzina neutrona u titanu gotovo je jednaka kao u kutiji i vani.
Odnos koeficijenata transmisije T i refleksije R za snop neutrona na zanemarivo tankim slojevima nikla je takav da na izlaznoj strani imamo mnogo neutronskih valova koji interferiraju. Izvedi izraz za intenzitet izlaznog snopa u ovisnosti o kutu upada i debljini srednjeg sloja, te ostalih potrebnih parametara, kao T, R, itd.
Napiši uvjet za maksimalni izlazni intenzitet! Koliko on tada iznosi u odnosu na intenzitet istog snopa u cijevi? Izračunaj dva izlazna kuta snopa neutrona zadane brzine najbliža stjenki prozora!

4. zadatak (10 bodova)

Nedavno su fizičari izmjerili gravitacijsko ubrzanje koristeći odbijanje atoma pomoću laserskog snopa, a eksperiment je popularno nazvan kvantni trampolin. Kompaktnost i preciznost takvog uređaja omogućit će mu primjenu u navigaciji i istraživanju Zemljine kore, ali i proučavanju odstupanja od Newtonovog zakona gravitacije. Plin od ~10000 ^{87}Rb atoma laserski je ohlađen ispod mikrokelvina tako da im je kinetička energija zanemariva prije nego počnu padati u gravitacijskom polju Zemlje. Kad se isključi magnetsko polje koje ih drži zatočenima, atomi ubrzavaju prema dolje i sudaraju se s fotonima iz lasera snopa usmjerenog prema gore. Budući da se sudari događaju u vrlo kontroliranim uvjetima, o čemu govori i ponavljanje odbijanja velik broj puta, te zahvaljujući savršenom poznavanju sile prilikom sudara, eksperiment je vrlo precizno odredio $g=9{,}814\,\mathrm{m/s^2}$. Valna duljina svjetlosti koju su upotrijebili je 780,193nm (27GHz pulsni plavi diodni laser) i ona odgovara energiji jednog od prijelaza elektrona u atomu Rb.
Svakih koliko vremena je potrebno ponoviti svjetlosni puls da bismo dobili periodičko odbijanje na istoj visini? Kolika je brzina odbijenog atoma?
Čini li Dopplerov pomak probleme opisanoj apsorpciji fotona imajući u vidu da su tipična vremena poluraspada pobuđenih elektronskih stanja u atomu reda veličine 10^{-7}s?

Konstante:

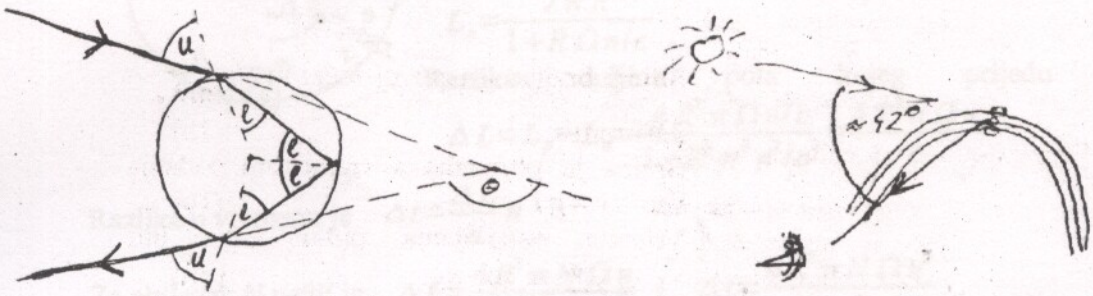
- brzina svjetlosti $c=3\cdot 10^{8}$ m/s
- Planckova konstanta $h=6{,}626\cdot 10^{-34}$ Js
- Boltzmannova konstanta $k_B=1{,}38\cdot 10^{-23}$ J/K
- elementarni naboj $e=1{,}6\cdot 10^{-19}$ C
- masa elektrona $m_e=9{,}1095\cdot 10^{-31}$ kg
- masa protona $m_p=1{,}67265\cdot 10^{-27}$ kg
- masa neutrona $m_n=1{,}67495\cdot 10^{-27}$ kg
- unificirana atomska jedinica mase $u=1{,}66056\cdot 10^{-27}$ kg

DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA

Korčula, 13.-16. svibnja 2012.

Srednje škole - 4. grupa – Rješenja

1. zadatak (20 bodova)



Zraka se reflektira unutar kapljice da bi se vratila prema promatraču, a zbog ovisnosti indeksa loma o valnoj duljini, lom će ovisiti o boji, a time i ukupan kut skretanja. Slika. **(2b)**

Sa slike se vidi: $\theta = u-l+\pi-2l+u-l = \pi+2u-4l = \pi+2u-4\arcsin((\sin u)/n)$. **(2b)**

Najmanji θ dobije se iz $\frac{d\theta}{du}=2-\frac{4\cos u}{\sqrt{n^2-\sin^2 u}}=0$ pa je $\cos u=\sqrt{\frac{n^2-1}{3}}$. **(2b)**

Za crvenu u=59,480°, l=40,303°, θ_{min}=137,747°, a za ljubičastu u=58,801°, l=39,545°, θ_{min}=139,424°.
Kut pod kojim promatrač vidi dugu je $\pi-\theta$, što za crvenu iznosi 42,253° i za ljubičastu 40,576°.
Znači da je crvena unutar, a ljubičasta izvana. **(2b)**

Zrake upadaju pod različitim kutovima na kapljice, pa im je različit kut skretanja. Oko minimuma najviše upadnih zraka reflektira se blisko s θ_{min}. Osim po definiciji derivacije, u to se možemo još više uvjeriti računajući $\theta(u)$, i uočavanjem da se za velike promjene u, θ slabo mijenja oko svog minimuma. **(3b)**

U zenitu je Sunce više nego 42,2° iznad horizonta, pa je duga ispod horizonta, te se ne vidi. **(1b)**

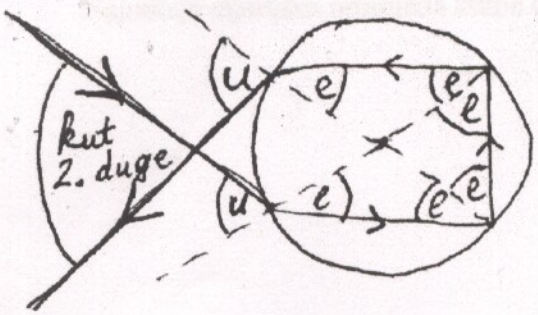
Polukružna duga može se vidjeti samo u zoru ili pri zalasku jer samo tada može okomito ulaziti u tlo. **(1b)**

Dugine zrake dolaze s točno određenog mjesta u oko, pa ako je oko na drugom mjestu, i zraka u njega dolazi iz drugog mjesta, što znači da svatko gleda svoju dugu. **(1b)**

Zimi su kapljice obično zamrznute te je teško ostvariti potrebnu refleksiju. **(1b)**

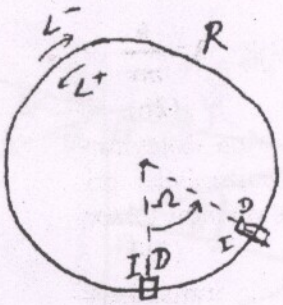
Za dvije refleksije unutar kapljice je: $\theta = u-l+\pi-2l+\pi-2l+u-l = 2\pi+2u-6l = 2\pi+2u-6\arcsin((\sin u)/n)$.

Analogno prethodnom postupku dobiva se $\cos u=\sqrt{\frac{n^2-1}{8}}$. Slika! **(3b)**



Odatle je za crvenu u=71,881°, l=45,531°, θ_{min}=230,576°, a za ljubičastu u=71,505°, l=44,901°, θ_{min}=233,604°.
Traženi kut duge je 50,576° za crvenu i 53,604° za ljubičastu, te je poredak boja obrnut od onog kod prve duge. **(2b)**

2. zadatak (20 bodova)



Gledajući iz referentnog sustava, zraka koja putuje u smjeru vrtnje prijeđe veću udaljenost $L_p = 2\pi R + R\Omega t_p$, a suprotna manju $L_n = 2\pi R - R\Omega t_n$. **(1b)**

Uzimajući $t_p = \frac{L_p}{c} n$ i $t_n = \frac{L_n}{c} n$ slijedi $L_p = \frac{2\pi R}{1 - R\Omega n/c}$ i $L_n = \frac{2\pi R}{1 + R\Omega n/c}$. **(2b)**

Razlika duljina puta kojeg prijeđu dvije zrake je

$$\Delta L = L_p - L_n = \frac{4R^2\pi\Omega n/c}{1 - R^2\pi^2 n^2/c^2} = \frac{4R^2\pi\Omega n}{c}.$$ **(2b)**

Razlika u vremenu je $\Delta t = \frac{\Delta L}{c} n$. **(1b)**

Za obilazak N petlji je $\Delta L = \frac{4R^2\pi N\Omega n}{c}$ i $\Delta t = \frac{4R^2\pi N\Omega n^2}{c^2}$. **(1b)**

Promjena faze u vremenu Δt je $\Phi = 2\pi f \Delta t$, gdje je $f = c/\lambda$, a $\lambda = 1550$nm zadana valna duljina u zraku.

Stoga je $\Phi = \frac{8\pi^2 N R^2 n^2 \Omega}{\lambda c}$. **(2b)**

Amplituda svjetlosti na detektoru je $E_D = E_p \exp(i \cdot 0) + E_n \exp(-i \cdot \Phi)$. **(1b)**

Intenzitet je $I_D = E_d \bar{E}_d = 2I(1 + \cos\Phi)$. **(1b)**

Osjetljivost je $|dI/d\Phi| = 2I\sin\Phi$, odnosno $|dI/d\Omega| = 2I\sin\Phi \cdot \frac{8\pi^2 N R^2 n^2}{\lambda c}$. **(2b)**

Za $\Phi = 0$ i $\Phi = \pi$ imamo najmanju osjetljivost (0), kada je $\Omega = \frac{\lambda c}{8\pi N R^2 n^2}$. Maksimalna je osjetljivost ostvarena na polovici toga, za $\Omega_{max} = \frac{\lambda c}{16\pi N R^2 n^2}$ =1,785rad/s=102,3°/s pa ga na tu kutnu brzinu treba zavrtjeti. **(2b)**

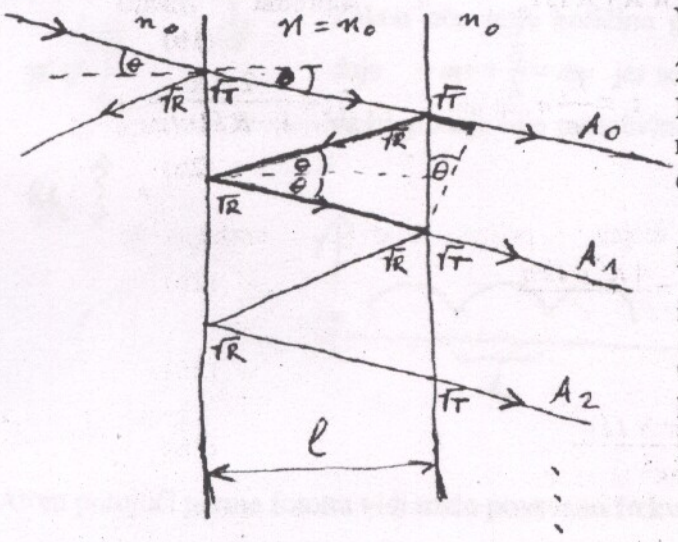
Ω se jednoznačno određuju od 0 do Ω_{max}, dok se za ostale ponavlja I. **(1b)**

Maksimalna osjetljivost je $|dI/d\Phi| = 2I = \frac{I_{max}}{2}$. Promjena faze je $\Delta\Phi = \Delta I \cdot \frac{2}{I_{max}}$ koja se zbog rezolucije detektora da očitati u koracima $\Delta\Phi = \frac{2}{2^{24}}$. **(2b)**

Promjena kutne brzine je $\Delta\Omega = \frac{\lambda c}{8\pi^2 N R^2 n^2}\Delta\Phi$ =3,55 rad/s $\cdot \Delta\Phi$. **(1b)**

Najmanja mjerljiva promjena kutne brzine je $4{,}23 \cdot 10^{-7}$rad/s = 0,087°/h. **(1b)**

3. zadatak (20 bodova)



Slika.

Valna duljina neutronskog snopa je $\lambda = \frac{h}{mv}$ = 2.637nm. **(2b)**

Indeks loma snopa svugdje je 1, a na slojevima nikla imamo samo refleksije i transmisije, pri čemu amplituda svaki puta dobije dodatni faktor $\sqrt{R}$ i $\sqrt{T}$. **(1b)**

Prva transmitirana zraka zbog dvije transmisije ima amplitudu $T\exp(i\frac{2\pi}{\lambda}\frac{l}{\cos\theta})$ gdje je u eksponentu fazni pomak zbog geometrijskog puta unutar vanadija. **(1b)**

Druga transmitirana zraka zbog dvije refleksije ima amplitudu

$$T R\exp(i\frac{2\pi}{\lambda}\frac{3l}{\cos\theta} - i\frac{2\pi}{\lambda}\cdot 2l\tan\theta\sin\theta)$$ **.(1b)**

(2b)

Susjedne zrake se međusobno razlikuju za fazni pomak $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(\frac{2l}{\cos\theta} - 2l\tan\theta\sin\theta) = 2\frac{2\pi}{\lambda}l\cos\theta$.

(2b)

Amplituda m-te zrake je $A_m = A_0 R^m \exp(im\delta)$, gdje je A_0 amplituda prve. Ukupna amplituda je zbroj svih njih: $A = \Sigma_{m=0}^{\infty} A_0 R^m \exp(im\delta) = A_0 \frac{1}{1 - R\exp(i\delta)}$. **(2b)**

Intenzitet je $\frac{I}{I_0} = A\bar{A} = \frac{T^2}{1 + R^2 - 2R\cos\delta}$, gdje je δ izveden tri retka ranije. **(2b)**

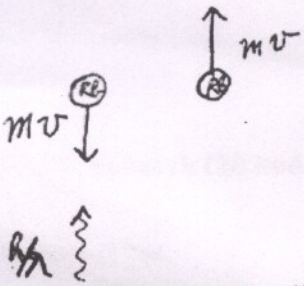
Intenzitet je maksimalan za $\delta = 2k\pi$ (k je cijeli broj) i tada iznosi $\frac{I}{I_0} = \frac{T^2}{(1-R)^2}$. To je 1 jer je $R + T = 1$, što znači da pod kutom θ određenim s δ izlazi sav intenzitet upadne zrake. **(3b)**

Uvjet za maksimum raspiše se kao $k\lambda = 2l\cos\theta$ pa je kut dan s $\cos\theta = \frac{\lambda}{2l}k$. **(1b)**

Najbliži stjenkama su oni snopovi s najvećim k koji je određen s $k_{MAX} = \frac{2l}{\lambda}$ = 75,8. **(2b)**

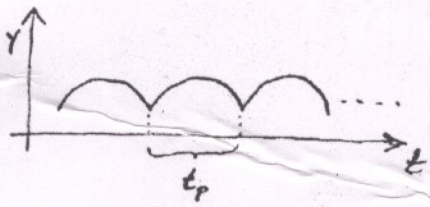
Dva najmanja kuta su $\theta(k=75)$ = 8,55° i $\theta(k=74)$ = 12,66°. **(1b)**

4. zadatak (10 bodova)



Atom apsorbira foton prilagođen energiji prijelaza pa je sudar neelastičan. **(1b)**

Zakon očuvanja količine gibanja u vertikalnom smjeru u trenutku sudara daje $-mv+\frac{h}{\lambda}=mv$ jer se atom mora odbiti istom brzinom kojom je došao da bi gibanje bilo periodično. **(2b)**



Slijedi brzina u najnižoj točki $v=\frac{h}{2m\lambda}$ = 2,94 mm/s. **(1b)**

Brzina je povezana s vremenom padanja kao $v=gt$. **(1b)**

Vrijeme ponavljanja pulsa treba biti $t_p=2\frac{v}{g}$ = 599 μs. **(1b)**

Atom putujući prema fotonu vidi malo povećanu frekvenciju $f'=f\sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}$. Slijedi $\Delta f/f=10^{-11}$. **(1b)**

Da bi toliki pomak smetao apsorpciji fotona, energijska širina stanja u atomu bi trebala biti manja od $\Delta E/E=10^{-11}$, što daje $\Delta E=h\frac{c}{\lambda}\cdot 10^{-11}$ = $2{,}55\cdot 10^{-30}$J. **(1b)**

Iz načela neodređenosti slijedi da bi vrijeme poluživota pobuđenog stanja elektrona u atomu trebalo biti $\Delta\tau\geq\frac{h}{2\Delta E}$ = 130μs. **(1b)**

Budući da su karakteristična vremena u atomima 10^{-7} s, to Dopplerov pomak očito ne smeta apsorpciji. **(1b)**

DRŽAVNO NATJECANJE I SMOTRA IZ FIZIKE
Korčula, 13.-16. svibnja 2012.

Srednje škole – 4. skupina

EKSPERIMENTALNI ZADATAK

Pribor:

- Kombinirana lupa
- A4 papir sa strukturama različitih veličina
- Ravnalo
- Milimetarski papir
- Prozirnica
- Vodootporni tanki flomaster

Zadatak: Uporabom priloženih sredstava:

1. a) Prema eksperimentalnoj primjeni podataka dobivenih za vaše oko, odredite povećanje za obje lupe:
   - detaljno skicom, riječima i algebarskim izrazima zorno opišite postupak; ..... 6 bodova
   - rezultate za minimalno pet mjerenja za svaku lupu prikažite tablično; ..... 3 boda
   - precizno na milimetarskom papiru konstrukcijom slike prikažite po jedan eksperimentalni primjer za svaku lupu; ..... 6 bodova
   - analizirajte mogućnost provedbe računa pogreške za Vaša mjerenja, te konkretno provedite račun pogreške na određivanju žarišne duljine barem jedne lupe, uz tablični zapis rezultata i konstrukciju slike za žarište korištene leće; ..... 4 boda

   b) Razmotrite slučaj da ste lupe držali na daljini jasnog vida:
   - izvedite klasični izraz za kutno povećanje lupe prema konstrukcijama slika za predmet bez i sa lupom koji se nalazi na daljini jasnog vida; ..... 2 boda
   - odredite područje u kojem se može nalaziti konačna slika i teorijski interval povećanja; ..... 1 bod
   - komentirajte odnos povećanja lupe, žarišne daljine leće i konvergencije te odredite maksimalan iznos žarišne daljine i povećanja takve lupe; ..... 1 bod
   - navedite gdje je najčešća primjena lupe u ovom slučaju; ..... 1 bod

   c) Razmotrite slučaj u kojem se oko nalazi dalje od vaše granice jasnog vida:
   - konstruirajte sliku s naznačenim svim relevantnim parametrima; ... 2 boda
   - koristeći jednadžbu tanke leće izvedite izraz za kutno povećanje lupe; ..... 1 bod
   - odredite granične uvjete kod kojih taj izraz postaje jednadžba kutnog povećanja kod lupe; ..... 1 bod
   - usporedite teorijski interval takvih povećanja kao i interval žarišnih daljina leća s vašim eksperimentalnim rezultatima; ..... 1 bod
   - navedite konkretan primjer primjene lupe u ovom slučaju. ..... 1 bod

---

Ukupno: ..... **30 bodova**

Natjecateljima želimo uspješan rad!

Srednje škole – 4. skupina

Eksperimentalni zadatak – rješenje i smjernice za bodovanje

1. *a) Prema eksperimentalnoj primjeni podataka dobivenih za vaše oko, odredite povećanje za obje lupe:*
   - *detaljno skicom, riječima i algebarskim izrazima zorno opišite postupak;* ... *6 bodova*

Skica i opis: najprimjerenije predstavlja konstrukciju slike za konvergentnu leću s naznačenim veličinama koje učenik može izmjeriti sam koristeći jednu ruku u kojoj drži lupu (povećalo) i drugu ruku u kojoj drži ravnalo; pri radu prijedlog je koristiti izravno papir na ravnoj podlozi (stolu) i gledati kroz lupu okomito na papir/prozirnicu.

Algebarski izrazi izvedeni su pod točkama b) i c).

- *rezultate za minimalno pet mjerenja za svaku lupu prikažite tablično;* ... *3 boda*

Tablice 1 i 2 jednostavne su strukture i sadrže redni broj mjerenja i mjerene veličine prema izvedenim algebarskim izrazima.

- *precizno na milimetarskom papiru konstrukcijom slike prikažite po jedan eksperimentalni primjer za svaku lupu;* ... *6 bodova*

Crtež s priborom koji prati podatke iz tablica 1 i 2, kao skica pri opisu, može biti i u određenom mjerilu

- *analizirajte mogućnost provedbe računa pogreške za Vaša mjerenja, te konkretno provedite račun pogreške na određivanju žarišne duljine barem jedne lupe, uz tablični zapis rezultata i konstrukciju slike za žarište korištene leće;* ... *4 boda*

Provesti račun slučajnih pogrešaka s određivanjem apsolutne vrijednosti maksimalnog odstupanja, relativne maksimalne pogreške i točnim zapisom konačnog rezultata (dovoljno je opisati postupak za povećanje lupe i zatim konkretno primijeniti statističku analizu pri određivanju žarišne daljine za minimalno 3 mjerenja za jednu leću).

Mjerenja se provode tako da se u jednoj ruci leća pomiče okomito na ravnu površinu dok se ne fokusira svjetlost, a drugom rukom približi se ravnalo i očita udaljenost leće od papira (preciznost mjerenja može se povećati tako da se subjektivno – opažanjem, ili objektivno – trakicom bijelog papira ili niti konca, označi središte povećala jer se leća nalazi u nosaču širine do 1 cm).

Crtež je klasičan primjer konstrukcije slike za žarište leće.

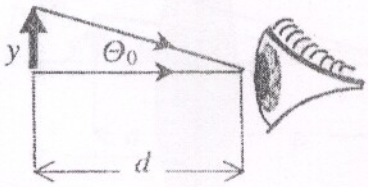
b) Razmotrite slučaj da ste lupe držali na daljini jasnog vida:
- *izvedite klasični izraz za kutno povećanje lupe prema konstrukcijama slika za predmet bez i sa lupom koji se nalazi na daljini jasnog vida;* ..... *2 boda*

Kutno povećanje M (1) lupe definiramo kao omjer tangensa kuta gledanja pod kojim se neki predmet vidi kroz lupu Θ_1 /Slika 2/ i tangensa kuta pod kojim se isti predmet vidi bez lupe Θ_0 na daljini jasnog vida /Slika 1/:

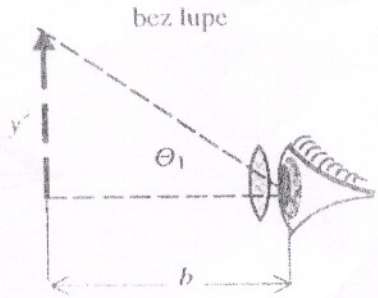
$$M = \frac{\operatorname{tg}\Theta_1}{\operatorname{tg}\Theta_0} \qquad (1)$$

$$\operatorname{tg}\Theta_0 = \frac{y}{d}. \qquad (2)$$

$$\operatorname{tg}\Theta_1 = \frac{y'}{b}. \qquad (3)$$



Slika 1.



Slika 2.

Odnos veličine slike i predmeta kod konvergentne leće po apsolutnoj vrijednosti dan je relacijom (4), te prema kombinaciji relacija (1-4) slijedi izraz (5):

$$\frac{y'}{y} = \frac{b}{a}. \qquad (4)$$

$$M = \frac{d}{a}. \qquad (5)$$

- *odredite područje u kojem se može nalaziti konačna slika i teorijski interval povećanja;* ... *1 bod*

Konačna slika može se nalaziti u području od $d \le b \le \infty$.

Interval povećanja može se zapisati kao:

od $M = \frac{d}{f} + 1$ do $M = \frac{d}{f}$

- *komentirajte odnos povećanja lupe, žarišne daljine leće i konvergencije te odredite maksimalan iznos žarišne daljine i povećanja takve lupe;* ... *1 bod*

Kutno povećanje lupe veće je što je žarišna daljina manja, tj. što je njezina konvergencija (jakost) veća.

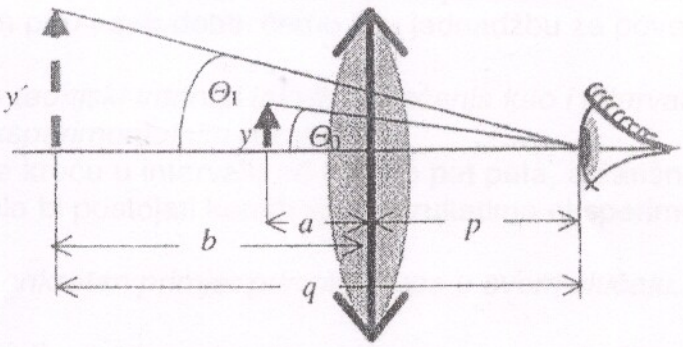
Praktična primjena ukazuje na činjenicu da se žarišna daljina ne može po volji smanjiti jer se njenim smanjenjem povećavaju pogreške leće; u praksi su žarišne daljine nešto malo manje od 1 cm, a povećanje lupe može biti najviše 30 puta; za veće povećanje potrebno je koristiti sustave leća.

- *navedite gdje je najčešća primjena lupe u ovom slučaju;* ..... *1 bod*

Najpoznatija i najčešća primjena je kod urara i draguljara.

c) Razmotrite slučaj u kojem se oko nalazi dalje od vaše granice jasnog vida:

- *konstruirajte sliku s naznačenim svim relevantnim parametrima;* ... *2 boda*
-



Slika 3.

- *koristeći jednadžbu tanke leće izvedite izraz za kutno povećanje lupe;* ... *1 bod*

Povećalo - konvergentna leća – žarišne duljine f_p nalazi se blizu teksta visine y koji se nalazi na udaljenosti a od leće ($a < f_p$). Slovom q označen je razmak između oka i konačne virtualne slike koju stvara leća. Prema Slici 3. kutno povećanje je:

$$M = \frac{\frac{y'}{q}}{\frac{y}{a+p}} \qquad (6)$$

Kako je y'/y= b/a, za kutno povećanje povećala možemo napisati izraz:

$$M = \frac{b}{a}\frac{a+p}{q} \qquad (7)$$

Kad se tekst promatra bez povećala, tada se nalazi na daljini jasnog vida d:

$$a + p = d \qquad (8)$$

Iz Slike 3. vidljivo je kako je

$$|b| = q - p \qquad (9)$$

Koristeći jednadžbu tanke leće i uzevši u obzir da je $b < 0$, za povećanje povećala tako izvedemo izraz:

$$M = \frac{d}{f}\left(1 - \frac{p}{q}\right) + \frac{d}{q} \qquad (10)$$

- *odredite granične uvjete kod kojih taj izraz postaje jednadžba kutnog povećanja kod lupe;* ... *1 bod*

U izrazu (10) d je daljina jasnog vida na kojoj se nalazi tekst, f žarišna duljina povećala, p udaljenost povećala od oka i q udaljenost slike teksta od oka.

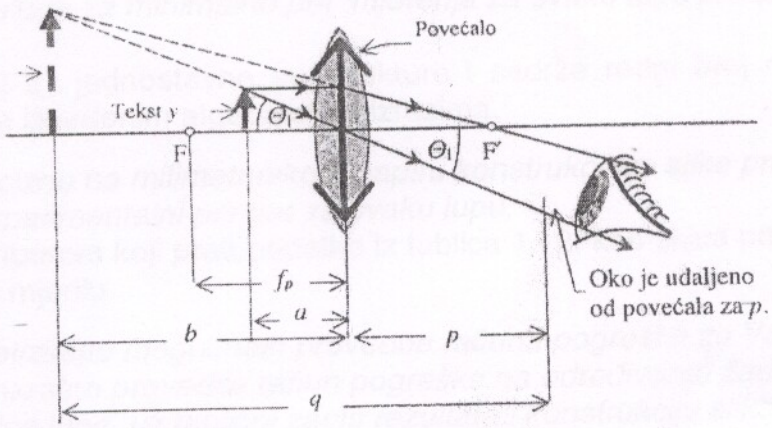
Uvrštavanjem p=0 i q=b dobit ćemo istu jednadžbu za povećanje kao kod lupe.

- *usporedite teorijski interval takvih povećanja kao i interval žarišnih daljina leća s vašim eksperimentalnim rezultatima;* ..... *1 bod*

Povećanja se kreću u intervalu od dva do pet puta, a žarišne duljine su između 5 cm i 25 cm; trebala bi postojati korelacija s rezultatima eksperimentalnih mjerenja.

- *navedite konkretan primjer primjene lupe u ovom slučaju.* ..... *1 bod*

Lupa se koristi za promatranje većih površina: za čitanje, promatranje lista biljaka, promatranje poštanskih maraka i slično (primjeri u kojima se oko nalazi puno dalje od povećala) /Slika 6/.



Slika 4.

Ukupno: ..... **30 bodova**