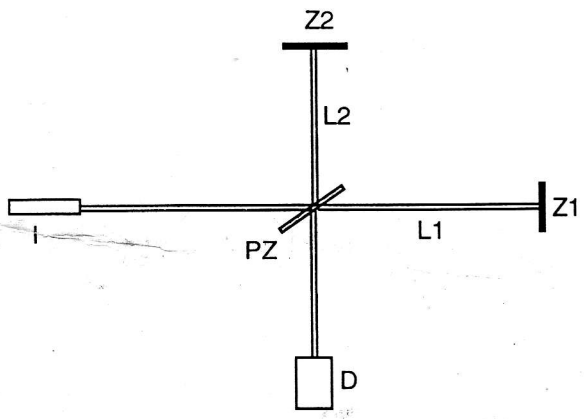
DRŽAVNO NATJECANJE I SMOTRA IZ FIZIKE
Varaždin, 2. - 3. svibnja 2010

Srednje škole – 4. skupina

1. zadatak (20 bodova)



Michelsonov interferometar sastoji se od izvora I crvene svjetlosti valne duljine 635nm, polupropusnog zrcala PZ, dva zrcala Z1 i Z2 te detektora D, postavljenih kako je prikazano na slici. Polupropusno zrcalo, zakrenuto za kut 45° s obzirom na put L1 i put L2, od upadne zrake načini dvije zrake polovičnog intenziteta, jedna prođe duž L1, a druga se odbije duž L2. Zrcala Z1 i Z2 su postavljena okomito na L1, odnosno L2. Nakon refleksije dviju zraka na zrcalima Z1 i Z2 pri povratku na PZ opet se svakoj zraci događa isto: polovica intenziteta se odbije, a polovica prođe. Kao rezultat do detektora dospiju dvije zrake koje interferiraju.

a) Ako se Z1 polako pomiče duž L1 na detektoru se u vremenu izmjenjuju maksimumi i minimumi. Za koliko se pomaknulo zrcalo Z1 ako je uređaj izbrojio da je u detektoru kao rezultat tog pomicanja prošlo 1573 maksimuma?

b) Duž puta L1 postavljen je šuplji evakuirani valjak na čijim su krajevima stakleni poklopci, a prostor između poklopaca dug je 10cm. Valjak se polagano puni plinom do uspostavljanja standardnog tlaka. Za to vrijeme u detektoru je izbrojen prolazak 1573 maksimuma. Koliki je indeks loma plina?

c) Michelson i Morley su namjeravali izmjeriti brzinu gibanja Zemlje kroz pretpostavljeni Eter (medij kroz koji se šire elektromagnetski valovi). Pretpostavili su da će se tada brzina svjetlosti na mjestu njihova interferometra dobiti zbrajanjem brzine svjetlosti c u Eteru i brzine gibanja Zemlje v=30km/s kroz Eter. L1 je postavljeno duž smjera gibanja Zemlje. Daljine duž dva okomita smjera u njihovu eksperimentu iznosile su L1=L2=11m. Kolika bi prema njihovim pretpostavkama bila razlika vremena putovanja zrake svjetlosti koja je prešla od PZ do Z1 te nazad do PZ i one koja je prešla od PZ do Z2 te nazad do PZ? Koliki pomak izražen preko valne duljine bi izazvalo preokretanje interferometra tako da L2 postane usmjeren duž gibanja Zemlje? Budući da nikakav pomak nije uočen iako interferometar može detektirati pomak od 0,01 λ, kakav zaključak predlažeš za v? Taj rezultat bio je važan ne samo radi odbacivanja hipoteze o Eteru, već i kao polazište za apsolutnost brzine svjetlosti.

2. zadatak (15 bodova)

Sustav za zumiranje čini skup leća koje proizvode različito povećanje dok zadržavaju položaj predmeta i slike na svojim mjestima. Povećanje se mijenja pomicanjem jedne ili više leća duž optičke osi. Dok se u praksi koristi više leća da bi se dobilo što kvalitetniju sliku, efekt zumiranja može se pokazati i pomoću sustava dvije leće. Predmet, dvije sabirne leće i zaslon nalaze se na optičkoj osi. Prva leća desno od predmeta ima žarišnu daljinu 5cm, a druga leća koja je desno od prve leće ima žarišnu daljinu 10cm. Zaslon je desno od druge leće. Predmet je postavljen na udaljenost 7,5cm lijevo od prve leće i slika na zaslonu ima povećanje 1. a) Kolika je udaljenost predmeta i zaslona? b) Obje leće pomaknu se duž optičke osi, dok predmet i zaslon zadrže svoj položaj, nakon čega slika na zaslonu ima povećanje 3. Izračunaj pomake leća s obzirom na njihove početne položaje!

DRŽAVNO NATJECANJE I SMOTRA IZ FIZIKE
Varaždin, 2. - 3. svibnja 2010

3. zadatak (15 bodova)

Leteći zmajem iznad brežuljaka najednom u dolini opaziš mnoštvo cvjetova jaglaca i pomisliš da ih ima na milijune. Raspoređeni su unutar kruga čiji je promjer 50m, a promatraš ih s visine iznad središta. Pretpostavi da su promjeri cvjetova dosta manji od njihova razmaka, te da su jednoliko razmaknuti jedni od drugih i složeni tako da ih stane najviše moguće unutar kruga. Valna duljina žute svjetlosti je 575nm.

a) Primjećuješ da spuštanjem ispod visine 303m od tla vidiš cvjetove kao pojedinačne, dok na visini iznad 303m ne razlučuješ cvjetove jedne od drugih. Procijeni što preciznije koliko je cvjetova unutar kruga ako znaš da su posloženi najgušće moguće?

b) Da bi u oku nastao osjet vida, potrebno je da u sekundi kroz zjenicu uđe barem 60 fotona. Pretpostavi da je efektivni promjer cvijeta 2cm (razmak središta im je izračunat u a) zadatku) i da 1,5% energije u sunčevom zračenju pripada žutoj svjetlosti. Na površinu zemlje upada 600W/m^2 Sunčeva zračenja. Cvjetovi emitiraju svu upadnu žutu svjetlost jednoliko u svim smjerovima prema nebu (polovica sfere). Uz te vrlo grube pretpostavke izračunaj koliko ti fotona žute svjetlosti u sekundi sa svakog cvijeta ulazi kroz zjenicu? Jesu li stoga i s energijskog kriterija svi cvjetovi vidljivi?

$r_t = 4mm$

4. zadatak (20 bodova)

a) Neutroni se mogu dobiti putem fisije radioaktivnih izotopa. Jedan od takvih je i kalifornij ^{252}Cf koji se dobiva ozračivanjem urana u nuklearnim reaktorima. Cijena tipičnog novog ^{252}Cf izvora koji emitira 10^8 neutrona u sekundi iznosi \$20,000. Vrijeme poluraspada je 2,645 godina. Vjerojatnost fisije pri svakom raspadu jezgre ^{252}Cf je 3,09% (ostalo su α-raspadi koji ne proizvode neutrone), a prosječan broj neutrona po fisiji je 3,73 (događa se niz emisija neutrona pri promjeni po izotopima kirija). Kolika je cijena jednog grama izotopa ^{252}Cf?

b) Iz tog izvora najviše emitiranih neutrona jest energije oko 1MeV. Masa neutrona je $1{,}675\cdot10^{-27}$kg, što odgovara energiji 939,5MeV. Da bi bili prikladni za istraživanja u fizici čvrstog stanja, ovi neutroni moraju se usporiti tako da im valna duljina bude približna onoj karakterističnoj za udaljenosti među atomima, za koju uzmi $5\cdot10^{-10}$m. Usporavanje se odvija uzastopnim elastičnim sudaranjem sa vrlo sporim jezgrama čija je masa p puta veća od neutronske. Izvedi izraz koji povezuje broj sudara N s p i s v_N/v_0 (omjer konačne i početne brzine neutrona)! Koliki je broj potrebnih sudara s jezgrama deuterija ^{2}H za to usporenje! Je li manji broj sudara potreban pri sudaranju s težim jezgrama ili lakšim jezgrama?

c) Nakon ovog znatnog usporavanja primjenom monokromatora dobije se snop neutrona podjednakih bzina kojima odgovara valna duljina $6{,}4\cdot10^{-10}$m. Snop neutrona koristi se za određivanje razmaka među ravninama magnetskih atoma u kristalu. (Cijena ovih neutrona je preskupa i obično se koriste drugi izvori.) Braggov maksimum za difrakciju neutronskog snopa na kristalu manganova oksida MnO pri temperaturi tekućeg dušika pojavljuje se kad snop upada pod najmanjim kutom od 21.2° s obzirom na ravninu Mn iona. Koliki je razmak među tim ravninama? Ako je neodređenost valne duljine neutronskog snopa 1%, koliko stupnjeva je široka linija ovog difrakcijskog maksimuma?

Prirodne konstante:

- brzina svjetlosti $c=3\cdot10^8$m/s
- Planckova konstanta $h=6{,}626\cdot10^{-34}$Js
- elementarni naboj $e=1{,}6\cdot10^{-19}$C
- unificirana atomska jedinica mase $u=1{,}66\cdot10^{-27}$kg

Uputa: za $|x| << 1$ možete uzeti $(1+x)^n = 1+n\cdot x$ za bilo koji realan n i bilo koji predznak od x

DRŽAVNO NATJECANJE I SMOTRA IZ FIZIKE

Varaždin, 2. - 3. svibnja 2010

Srednje škole - 4. skupina
Rješenja i smjernice za bodovanje

1. zadatak (20 bodova)

a) Pomak Z1 za x dovodi do dodatne razlike puta $2x$ pa je uvjet za konstruktivnu interferenciju $2x=k\lambda$.

Iz zadanog slijedi pomak $x=\frac{1573\lambda}{2}=0{,}5\text{mm}$. **(5b)**

b) Dodatna razlika optičkih puteva pri punjenju plinom dovodi do konstruktivne interferencije kada je $2(n-1)l=k\lambda$.

Iz zadanog je indeks loma $n=1+\frac{1573\lambda}{2l}=1{,}005$. **(5b)**

c) Ukupno vrijeme potrebno zraci da prijeđe udaljenost od PZ do Z1 i nazad do PZ je $\frac{L}{c-v}+\frac{L}{c+v}$.

Za zraku od PZ do Z2 i nazad do PZ vrijeme putovanja je $\frac{2L}{\sqrt{c^2+v^2}}$. **(4b)**

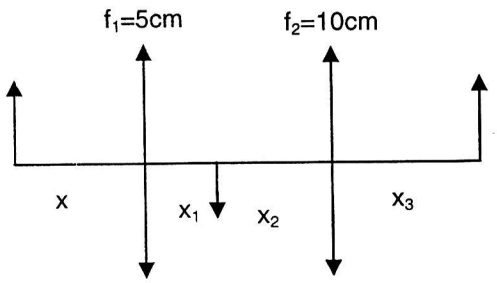
Razlika tih dvaju vremena jest $\Delta t=\frac{2L}{c}\left(\left(1-v^2/c^2\right)^{-2}-\left(1-v^2/c^2\right)^{-1/2}\right)$, što za $v<<c$ iznosi $\Delta t\approx\frac{Lv^2}{c^3}$.

Okretanjem interferometra za 90° ostvari se dvostruko veća razlika vremena, koja se može izraziti preko razlike optičkih puteva kao $\Delta d=2c\Delta t=\frac{2Lv^2}{c^2}$. **(3b)**

Iz zadanog je $\frac{\Delta d}{\lambda}=\frac{2\cdot 11m\cdot(30km/s)^2}{635nm\cdot(300000km/s)^2}=0{,}346$. **(2b)**

Pomak bi trebao biti mnogo veći od osjetljivosti uređaja. Budući da nije opažen, zaključuje se da gibanje Zemlje s obzirom na eter nije moguće detektirati. **(1b)**

2. zadatak (15 bodova)



a) Za predmet, međusliku i sliku je $\frac{1}{x}+\frac{1}{x_1}=\frac{1}{f_1}$ i $\frac{1}{x_2}+\frac{1}{x_3}=\frac{1}{f_2}$,

a zadano ukupno povećanje je $\frac{x_3}{x_2}\cdot\frac{x_1}{x}=1$. **(2b)**

Iz zadanog x=7,5cm slijedi x_1=15cm, zatim $x_2=2x_3$ te x_2=30cm i x_3=15cm. Stoga je udaljenost predmeta i zaslona $x+x_1+x_2+x_3=67{,}5\text{cm}$. **(3b)**

b) Kad se pomicanjem leća ponovno ostvari oštra slika, vrijedi $\frac{1}{x'}+\frac{1}{x_1'}=\frac{1}{f_1}$ i $\frac{1}{x_2'}+\frac{1}{x_3'}=\frac{1}{f_2}$, a ukupno povećanje je $\frac{x_3'}{x_2'}\cdot\frac{x_1'}{x'}=3$. **(1b)**

Udaljenost mora i dalje ostati $x'+x_1'+x_2'+x_3'=67{,}5\text{cm}$. **(1b)**

Jasno ali zamorno rješavanje ove četiri jednadžbe daje rješenje: primjerice moguće je iz prve i druge jednadžbe dvaput na različit način izraziti omjere položaja i uvrstiti u omjer veličina slika te potom u očuvanje duljine i ponovno iskoristiti jednu od jednadžbi leće. Krajnja kvadratna jednadžba vodi do dva skupa rješenja: i) x'=8,784cm, x_1'=11,61cm, x_2'=14,40cm, x_3'=32,71cm te ii) x'=6,573cm, x_1'=20,89cm, x_2'=20,59cm, x_3'=19,44cm. **(6b)**

Dva tražena rješenja su: i) pomak lijeve leće 1,284cm udesno i desne 17,71cm ulijevo te ii) pomak lijeve leće 0,927cm ulijevo i desne leće 4,44cm ulijevo. **(2b)**

3. zadatak (15 bodova)

a) Zjenicom promjera d razlučiti se mogu točke kutno udaljene barem θ ako vrijedi $d\sin\theta=1{,}22\lambda$. **(3b)**

Gledajući s visine D=303m cvjetove razmaknute za s, kutni razmak je s/D, pa je $s=\frac{1{,}22\lambda D}{d}=5{,}3\text{cm}$.

Krugovi složeni u ravnini najgušće moguće zauzimaju 0,906 ukupne površine. Stoga unutar kruga polumjera r=2km stane $N=0{,}906\frac{r^2}{(s/2)^2}=800000$. **(4b)**

b) Žutoj svjetlosti pripada 1,5% od 600W/m^2, što je 9W/m^2.
Cvijet promjera 2cm emitira $9\text{W/m}^2\cdot(0{,}01\text{m})^2\pi=2{,}83\cdot10^{-3}$W žute svjetlosti. **(3b)**

Od toga na zjenicu dolazi dio $\frac{(d/2)^2\pi}{2\pi D^2}=2{,}18\cdot10^{-11}$, što je $6{,}16\cdot10^{-14}$W. **(2b)**

Energija fotona je $E_f=\frac{hc}{\lambda}=3{,}457\cdot10^{-19}$J pa je broj 'žutih' fotona koji upada u oko u jedinici vremena s pojedinog cvijeta $1{,}78\cdot10^5$/s, što zadovoljava i energijske zahtjeve oka. **(3b)**

4. zadatak (20 bodova)

a) Iz $N=N_0e^{-\lambda t}$ slijedi $A=-dN/dt=\lambda N_0e^{-\lambda t}$, tj $A=\lambda N$, gdje je $\lambda=\ln2/T_{1/2}$.

Stoga je broj raspada u sekundi $A=\frac{N\ln2}{T_{1/2}}$, gdje je N broj jezgara, a $T_{1/2}$ vrijeme poluraspada. **(2b)**

Broj fisija po sekundi je $s=pA=\frac{pN\ln2}{T_{1/2}}$, gdje je p vjerojatnost fisije pri raspadu. **(1b)**

Broj neutrona po sekundi je $n=qs=\frac{pqN\ln2}{T_{1/2}}$, gdje je q broj neutrona po fisiji. **(1b)**

Slijedi masa ^{252}Cf uzorka $m=NMu=\frac{nT_{1/2}Mu}{pq\ln2}=4{,}37\cdot10^{-5}$g pa je cijena grama 458 milijuna \$. **(3b)**

b) Za elastičan sudar neutrona mase m i jezgre mase M vrijedi $mv_0=mv_1+Mv_1'$ i $mv_0^2=mv_1^2+Mv_1'^2$.

Iz toga slijedi brzina neutrona nakon sudara $v_1=v_0\frac{m-M}{m+M}$. **(2b)**

Nakon z sudara lako se vidi da je $v_z=v_0\left(\frac{1-p}{1+p}\right)^z$, gdje je $p=M/m$. **(2b)**

Početna brzina je $v_0=\sqrt{2E/m}=1{,}4\cdot10^7$m/s, a poželjna konačna brzina je $v_z=\frac{h}{\lambda m}=800$m/s. **(2b)**

Za p=2 slijedi $z=\frac{\ln(v_z/v_0)}{\ln|-1/3|}=8{,}88$, što znači da je potrebno prosječno 9 sudara. **(1b)**

Ako su jezgre teže, potrebno je više sudara. **(1b)**

c) Iz Braggove jednadžbe $2d\sin\theta=k\lambda$ za najmanji kut slijedi $d=\frac{575nm}{2\sin21{,}2°}=8{,}85\cdot10^{-10}$m. **(2b)**

Diferenciranjem slijedi jednadžba $2d\cos\theta\Delta\theta=k\Delta\lambda$, iz čega je $\Delta\theta$=3,88mrad=0,22°. **(3b)**

DRŽAVNO NATJECANJE I SMOTRA IZ FIZIKE
Varaždin, 2. - 3. svibnja 2010.

Srednje škole – 4. skupina

Praktični zadatak

Pribor:

- laserski pokazivač
- pomična mjerka
- trokut
- dvometar
- tri komada žice različitih presjeka
- šivaća igla
- drveni podložak
- izolir traka
- plastelin
- gumica
- bijeli papir
- karton
- škare

Zadatak:

1. Odrediti valnu duljinu laserske svjetlosti koristeći dvije od četiri ponuđene "niti" tako da se:
   a) opiše teorijska osnova eksperimentalnog postupka uz skicu s naznačenim fizikalnim veličinama ..... 4 boda
   b) opiše primijenjeni eksperimentalni postupak određivanja debljine odabranih niti primjenom noniusove skale na pomičnoj mjerki ..... 2 boda
   c) detaljno opiše i skicira primijenjeni eksperimentalni postupak određivanja valne duljine laserske svjetlosti ..... 4 boda
   d) tablično prikažu rezultati za minimalno tri mjerenja s istom niti ..... 3 boda
   e) provede račun pogreške koji uključuje srednju vrijednost, maksimalno pojedinačno odstupanje, maksimalnu relativnu pogrešku i zapis točnog rezultata. ..... 4 boda

2. Ponoviti eksperimentalni postupak iz prvog zadatka na vlasi kose. .... 5 bodova

3. Analizirati dobivene eksperimentalne rezultate:
   a) u skladu s karakteristikama laserskog snopa ..... 2 boda
   b) u skladu s teorijom ogiba ..... 2 boda
   c) uz osvrt na preciznost mjerenja i određivanje energije za dobivenu vrijednost valne duljine ..... 4 boda

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

Natjecateljima želimo uspješan rad!

DRŽAVNO NATJECANJE I SMOTRA IZ FIZIKE

Varaždin, 2. - 3. svibnja 2010

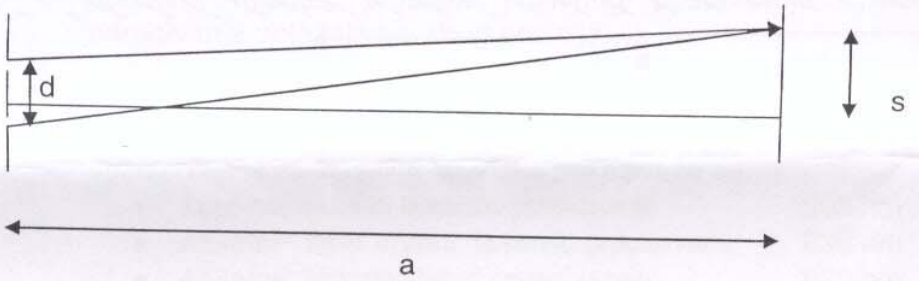
Srednje škole – 4. skupina

Praktični zadatak - rješenje

1.

a) Teorijska osnova eksperimentalnog postupka odnosi se na opis ogiba svjetlosti na niti i nastajanje interferentne slike na zastoru, pri čemu je najznačajnije spomenuti:

- ogib ili difrakcija svjetlosna je pojava skretanja svjetlosti u geometrijsku sjenu zapreke ili pukotine i jedan je od dokaza valne prirode svjetlosti;
- na mjestima na zastoru do kojih svjetlosni valovi dolaze s razlikom hoda $n\lambda$ nastaju svijetle pruge konstruktivne interferencije; tamne pruge su posljedica destruktivne interferencije;
- ako je upadna svjetlost monokromatska – svijetle pruge imaju boju upadne svjetlosti, u suprotnom slučaju na zastoru dobivamo pruge spektralnih boja;
- ogib na niti tumači se Huygensovim principom analogno kao i interferencija valova iz koherentnih izvora, te se najjednostavnije skicom može prikazati kao Youngov pokus interferencije:



Skica 1.

Na skici 1. su:

d - udaljenost između dvije pukotine – u eksperimentalnom primjeru debljina niti;

a - udaljenost od niti do zastora;

s - udaljenost između središnje i prve svijetle pruge.

Valna duljina se može odrediti prema izrazu /izvod nije neophodan/:

$$n\lambda = (s \cdot d) / a \quad (1)$$

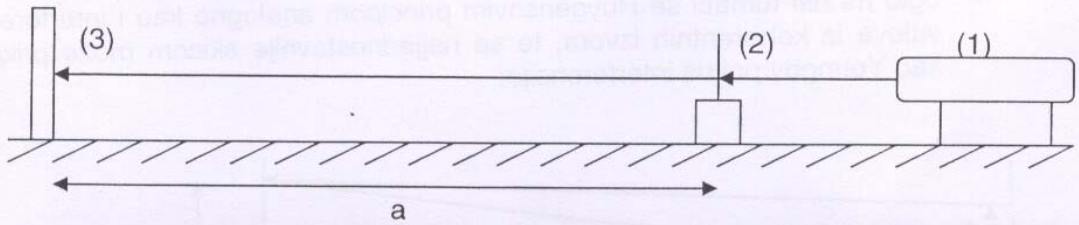
..... 4 boda

b) Pomična mjerka /pomično mjerilo/ omogućuje točnost mjerenja dužina na desetinku milimetra. Pomična mjerka se sastoji od štapa na kojem su označeni cm i mm, duž kojeg može kliziti otvor koji nosi skalu 'nonij' i tako omogućava očitavanje 1/10 mm. Svaki djelić na noniju za 1/10 je manji od djelića na štapu. Podudaraju li se npr. peta crtica noniusove skale sa petom crticom štapa, razlika između je 0,5 mm /može se i skicirati/.

..... 2 boda

c)

1. Odaberu se dvije tanje žice i njihov se promjer izmjeri pomoću pomične mjerke /tri puta se ponovi svako mjerenje, rezultati mjerenja upisuju se u Tablicu 1/.
2. Na jednom kraju stola stavi se drveni kvadar (3) na kojem se pomoću izolir trake zalijepi bijeli papir koji će poslužiti kao zastor.
3. Škarama se iz kartona izreže pravokutnik/kvadrat s rupom istog oblika, te se pomoću izolir trake na kvadrat pričvrsti žica. Karton (2) se zatim postavi na improvizirani stalak od plastelina ili gumice (plastelin se može zarezati škarama i zatim pritisnuti uz karton; za gumicu se karton može spojiti pomoću izolir trake).
4. Laserski pokazivač (1) pričvrsti se također za gumicu ili dio plastelina; ako je potrebno, pri korištenju laser se drži u upaljenom položaju pomoću izolir trake omotane oko njega i postolja.
5. Elementi se poslažu kao na skici 2 /korisno je na stolu povući ravnu crtu ili prilijepiti izolir traku, radi bržeg nalaženja ogibne slike/. Udaljenost između niti i zastora mjeri se dvometrom, a između dviju svijetlih (tamnih) pruga pomoću trokuta. Valna duljina se računa prema relaciji (1).



Skica 2. Raspored pri vršenju mjerenja ..... 4 boda

d)

Tablica 1:

Mjerenje d niti pomoću pomične mjerke

Nit	Red. br.	d/m	$\bar{d} - d_i$

Tablica 2:

Određivanje λ laserske svjetlosti

Nit	Red. br.	d/m	a/m	s/m	λ/m	$\lambda' - \lambda_i$

..... 3 boda

e) Određivanje srednje vrijednosti: $\bar{d} = \Sigma\, d_i / n$, n – broj mjerenja

Apsolutna vrijednost maksimalnog pojedinačnog odstupanja: $|\Delta d_{max}|$

Relativna maksimalna pogreška: $r_m = [\,(\,|\Delta d_{max}| / \bar{d}\,) \cdot 100\,]\,\%$

Zapis točnog rezultata: $d = (\bar{d} \pm \Delta d_{max})$ m

(isto sve i za λ) ..... 4 boda

2. Eksperiment s vlasi kose klasičan je u ovom području i zahtjeva veću strpljivost pri namještanju, a omogućava veću preciznost pri mjerenju:

Tablični prikaz za tri mjerenja ..... 3 boda
Račun pogrešaka i zapis rezultata ..... 2 boda

3. Analiza eksperimentalnih rezultata:

a) jedna od osnovnih karakteristika laserskog snopa je koherentnost - rezultati dobiveni pomoću ogiba na tri različite niti trebali bi biti približno isti uz malu relativnu pogrešku; ..... 2 boda

b) koliko će se valovi ogibati, ovisi o širini otvora pukotine u odnosu prema valnoj duljini valova; ako je širina otvora mnogo veća od valne duljine svjetlosti, ogib je malen; sa smanjivanjem širine otvora/niti ogib postaje izrazitiji – na to je trebalo obratiti pažnju pri izboru pogodnih "niti" – tanjih žica, radi lakšeg mjerenja razmaka između pruga na ogibnoj slici; ..... 2 boda

c) Navesti, na osnovu stečenog eksperimentalnog iskustva, minimalno dva utjecaja na prečiznost mjerenja (poput: precizno očitavanje pomoću pomične mjerke, problem pravilnog postavljanja elemenata, točno određivanje položaja niti zbog postolja...). ..... 2 boda

Rezultati za valnu duljinu laserske svjetlosti priznaju se u granicama eksperimentalne pogreške (poželjno je: $r_m < 5\%$); teorijske vrijednosti valnih duljina za klasične laserske pokazivače su:

- Žuto-narančasti laserski pokazivači: 593 nm
- AlGaInP 'bolji' crveni laserski pokazivači: 635 nm
- AlGaInP 'jeftiniji/slabiji' crveni laseri: 670 nm

Energiju fotona potrebno izraziti u eV, a računa se prema:

$E_F = (h \cdot c) / \lambda$ (2) ..... 2 boda

1. zadatak:	17 bodova
2. zadatak:	5 bodova
3. zadatak:	8 bodova
Ukupno:	**30 bodova**