DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Vinkovci, 02.–05. svibnja 2017.

Srednje škole - 4. skupina

1. Najjače električno polje koje se može uspostaviti u zraku iznosi $E = 3 \times 10^6\,\mathrm{V/m}$. Pretpostavite da je cijeli prostor ispunjen takvim homogenim električnim poljem, te da u nj postavimo mirujući elektron.

   - Nađite formulu koja opisuje vremensku ovisnost brzine elektrona $v(t)$ te odredite $\lim_{t\to\infty} v(t)$. Uzmite da vrijeme $t = 0$ označava početak gibanja elektrona.
   - Za koje će vrijeme τ elektron doseći brzinu $v = 0.99c$?
   - Koji će put s prevaliti za to vrijeme?

   Uputa: za pravocrtna gibanja, električna sila na nabijenu česticu ne ovisi o brzini čestice.

   [16 BODOVA]

2. Pretpostavimo da se višeelektronski atomi mogu dobro opisati Bohrovim modelom atoma. To znači da u atomu atomskog broja Z, koji se nalazi u stabilnom stanju, elektroni popunjavaju Bohrove energijske orbite energija

$$E_n = -\frac{Z \times 13.6\,\mathrm{eV}}{n^2},$$

   gdje je $n = 1, 2, \ldots, Z$, i to tako da se u svakoj popunjenoj orbiti nalazi točno jedan elektron. Razmotrimo sad sljedeći eksperiment. Na atom bora ($Z = 5$), koji se nalazi u stabilnom stanju, ispuca se kratkotrajni laserski puls frekvencije $\nu = 1.93 \times 10^{16}\,\mathrm{Hz}$. Kao rezultat interakcije sa svjetlosti, elektron kinetičke energije $E = 11.9\,\mathrm{eV}$ je trenutno izbačen iz atoma. Nakon nekog (kratkog) vremena, atom spontano izbaci i drugi elektron, kinetičke energije $E' = 56.2\,\mathrm{eV}$. Ubrzo, atom spontano emitira i foton frekvencije ν' te se nakon toga nađe u stabilnom, dvostruko ioniziranom stanju.

   - Odredite orbitu iz koje je izbačen prvi elektron.
   - Objasnite kako je došlo do izbacivanja drugog elektrona, te nađite orbitu iz koje je izbačen.
   - Izračunajte nepoznatu frekvenciju emitiranog fotona ν'.

   [22 BODA]

3. Obična električna žarulja sadrži gusto namotanu zavojnicu od volframove niti, koju možemo aproksimirati plaštom cilindra duljine $L = 2\,\mathrm{cm}$ i polumjera baze $R = 0.5\,\mathrm{mm}$. Za vrijeme rada žarulje volfram doseže temperature i do $T = 3300\,\mathrm{K}$ te zrači spektrom savršenog crnog tijela.

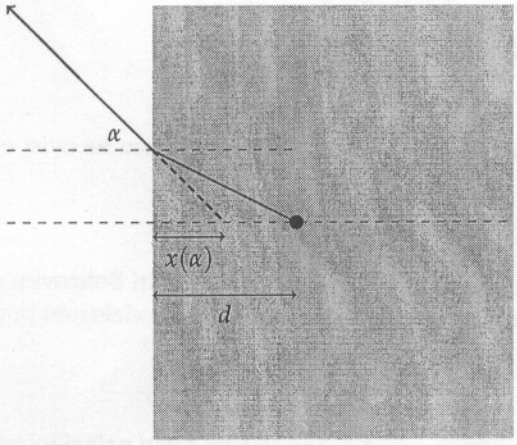
   - Odredite snagu žarulje P te valnu duljinu λ_{max} na kojoj se javlja maksimum zračenja.
   - Pretpostavimo da u mraku gori samo jedna takva žarulja. S koje će maksimalne udaljenosti D ona biti vidljiva ljudskom oku?

   Da bi ljudsko oko registriralo svjetlosni signal konstantnog intenziteta, nužno je da svake sekunde na nj upadne barem 10^7 fotona[1] srednje valne duljine $\bar{\lambda} = 565\,\mathrm{nm}$. Uzmite da je polumjer zjenice u mraku $r = 3\,\mathrm{mm}$.

   [14 BODOVA]

[1] U slučaju pojedinih bljeskova svjetlosti, taj je broj znantno manji!

4. Mala kuglica nalazi se usred prozirnog bloka načinjenog od optičkog materijala indeksa loma $n > 1$ na udaljenosti d od ruba bloka. Kad kuglicu promatramo izvan bloka, u području ispunjenom zrakom ($n_{\text{zrak}} = 1$), čini nam se da udaljenost kuglice od ruba bloka x ovisi o kutu α pod kojim promatramo kuglicu, kao što je prikazano na slici.



Provedena mjerenja za nekoliko različitih kutova daju sljedeću ovisnost $x(\alpha)$:

$\alpha/°$	x/cm
0	5.00
30	4.47
45	3.78
60	2.77
90	0.00

Koristeći ove podatke odredite indeks loma bloka n, kao i stvarnu udaljenost kuglice od ruba bloka d.

[18 BODOVA]

Vrijednosti fizikalnih konstanti:

- brzina svjetlosti: $c = 3.00 \times 10^8\,\text{m/s}$;
- elementarni naboj: $e = 1.60 \times 10^{-19}\,\text{C}$;
- masa elektrona: $m = 9.11 \times 10^{-31}\,\text{kg}$;
- Planckova konstanta: $h = 6.63 \times 10^{-34}\,\text{m}^2\text{kg/s} = 4.14 \times 10^{-15}\,\text{eV s}$;
- Stefan-Boltzmannova konstanta: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\,\text{Ws}^{-2}\text{K}^{-4}$;
- Wienova konstanta: $b = 2.89 \times 10^{-3}\,\text{m K}$;

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Vinkovci, 02.–05. svibnja 2017.

Srednje škole - 4. skupina, rješenja i smjernice za bodovanje

Upute za bodovanje: Ovdje je prikazan jedan način rješavanja zadataka. Ukoliko učenici riješe zadatak drugačijim, a fizikalno ispravnim načinom, treba im dati puni broj bodova predviđen za taj zadatak. Ako učenici ne napišu posebno svaki ovdje predviđeni korak, a vidljivo je da su ga napravili, treba im dati bodove kao da su ga napisali.

1. • Gibanje naboja u električnom polju konstantnog iznosa je opisano drugim Newtonovim zakonom

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = qE, \qquad [3 \text{ BODA}]$$

gdje je $p = \gamma m v$ relativistička količina gibanja. Uz $p(t = 0) = 0$, gornja jednadžba postaje

$$p(t) = qEt. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

Izražavanjem brzine preko količine gibanja

$$v(t) = \frac{p/m}{\sqrt{1 + (p/mc)^2}}, \qquad [2 \text{ BODA}]$$

nalazimo vremensku ovisnost brzine

$$v(t) = \frac{qEt/m}{\sqrt{1 + (qEt/mc)^2}}. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

U limesu $t \to \infty$ dobivamo očekivani rezultat

$$\lim_{t\to\infty} v(t) = c, \qquad [2 \text{ BODA}]$$

budući da čestica konstantno ubrzava, a ne može se gibati brže od brzine svjetlosti.

• Vrijeme potrebno da čestica dosegne 99% brzine svjetlosti računamo iz

$$\tau = \frac{m\gamma v}{qE} \qquad [2 \text{ BODA}]$$

$$= 4.00 \times 10^{-9}\,\text{s}, \qquad [1 \text{ BOD}]$$

gdje smo uvrstili $v = 0.99c$.

• Put koji čestica prevali računamo iz rad-energija teorema. Ukupni rad koji je konstantna sila qE obavila na pravocrtnoj putanji elektrona mora biti jednak promjeni kinetičke energije elektrona. Budući da je elektron na početku mirovao, vrijedi

$$s = \frac{(\gamma - 1)mc^2}{qE} \qquad [3 \text{ BODA}]$$

$$= 1.04\,\text{m}. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

2. • Budući da je elektron izbačen zbog izravnog međudjelovanja sa svjetlošću, koristeći zakon očuvanja energije možemo odrediti orbitu u kojoj se izbačeni elektron nalazio

$$h\nu = E + \frac{Z\epsilon}{n^2}, \qquad [1 \text{ BOD}]$$

gdje smo uveli pokratu $\epsilon = 13.6\,\text{eV}$. Odavde odmah imamo

$$n = \sqrt{\frac{Z\epsilon}{h\nu - E}} \qquad [1 \text{ BOD}]$$

$$= 1. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

Prvi je elektron, dakle, izbačen iz najniže Bohrove orbite.

• Nakon što je elektron izbačen iz $n = 1$ orbite, atom bora se ionizirao i sadrži četiri elektrona u orbitama $n = 2, 3, 4, 5$. Svaki od tih elektrona ima na raspolaganju slobodnu $n = 1$ orbitu u koju može spontano skočiti. U trenutku skoka, emitira se jedan foton koji može napustiti atom, ali može i izbaciti neki drugi elektron, ako ima dovoljno energije za to. Taj se proces naziva Augerov efekt. Ukoliko je opažena spontana emisija elektrona, bez drugih emitiranih čestica, radi se o Augerovom elektronu. [3 BODA]

Da bismo kvantitativno odredili je li moglo doći do Augerovog efekta u našem slučaju, pretpostavimo da je elektron iz m-te orbite prešao u $n = 1$ orbitu, zatim emitirao foton koji je izbacio elektron iz k-te orbite i predao mu kinetičku energiju E'. Zakon očuvanja energije u ovom slučaju daje

$$Z\epsilon\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) = \frac{Z\epsilon}{k^2} + E'. \qquad [2 \text{ BODA}]$$

Odavde slijedi da nepoznate orbite m i k moraju zadovoljavati uvjet

$$\frac{1}{m^2} + \frac{1}{k^2} = \frac{1}{n^2} - \frac{E'}{Z\epsilon}. \qquad [2 \text{ BODA}]$$

U posljednjoj se jednakosti brojevi m i k javljaju simetrično, što znači da ako je moguće da elektron iz m-te orbite prelaskom u $n = 1$ orbitu izbaci elektron iz k-te orbite, moguće je i da elektron iz k-te orbite na isti način izbaci elektron iz m-te orbite. Dakle, ako rješenje gornje jednadžbe postoji, ono nije jedinstveno, već postoje dva rješenja. [3 BODA]

Sad preostaje isprobati sljedeće kombinacije brojeva

$$(m, k) \in \{(2,3), (2,4), (2,5), (3,4), (3,5), (4,5)\}$$

i provjeriti zadovoljava li koja gornju relaciju. Jedino je rješenje gornje jednadžbe

$$(m, k) = (3, 4), \qquad [3 \text{ BODA}]$$

što znači da je drugi emitirani elektron mogao doći iz treće ili četvrte Bohrove orbite.

• Nakon što je emitiran i drugi elektron, atom bora je sad dvostruko ioniziran i ima elektrone u orbitama $n = 1, 2, 5$. Jedini mogući elektronski prijelazi su $5 \to 4$ i $5 \to 3$. Prijelaz $5 \to 4$ ne bi doveo ion bora u stabilno stanje, što znači da je posljednji foton rezultat prijelaza $5 \to 3$. [3 BODA]

Frekvencija ovog prijelaza je stoga

$$\nu' = \frac{E_5 - E_3}{h} = \frac{16}{225}\frac{Z\epsilon}{h} \qquad [2 \text{ BODA}]$$

$$= 1.17 \times 10^{15}\,\text{Hz}. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

3. • Prema Stefan-Boltzmannovom zakonu, snagu zračenja crnog tijela računamo kao

$$P = S\sigma T^4, \qquad \text{[2 BODA]}$$

gdje je S površina crnog tijela, a T njegova temperatura. U slučaju volframove žarulje, imamo

$$P = 2R\pi L\sigma T^4 \qquad \text{[1 BOD]}$$
$$= 423\,\mathrm{W}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Valnu duljinu maksimuma zračenja možemo odredite iz Wienovog zakona

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \qquad \text{[1 BOD]}$$
$$= 876\,\mathrm{nm}, \qquad \text{[1 BOD]}$$

što je izvan vidljivog spektra.

• Kad smo odmaknuti od žarulje, možemo uzeti da se svjetlost širi izotropno, bez obzira na činjenicu što je izvor svjetlosti cilindar, a ne sfera. Na udaljenosti D od izvora, ukupna snaga zračenja koja upada na disk polumjera r (oko) jest

$$P_{\text{oko}} = P\frac{\pi r^2}{4\pi D^2} = P\left(\frac{r}{2D}\right)^2, \qquad \text{[2 BODA]}$$

gdje je P ukupna snaga izvora, izračunata gore. Prosječan foton koji upada u oko ima energiju

$$\bar{E} = \frac{hc}{\bar{\lambda}}, \qquad \text{[2 BODA]}$$

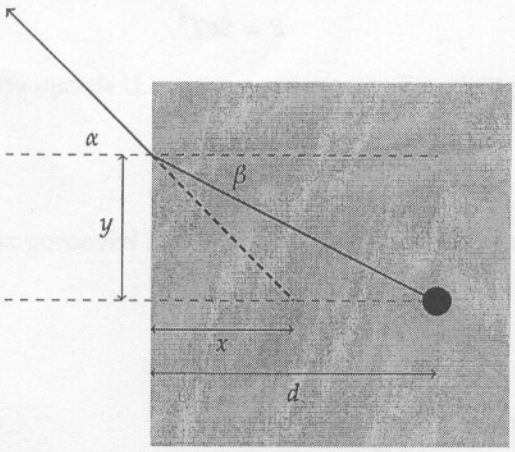
što znači da u $\Delta t = 1\,\mathrm{s}$ na oko upadne

$$N = \frac{P_{\text{oko}}\Delta t}{\bar{E}} = P\left(\frac{r}{2D}\right)^2 \frac{\bar{\lambda}\Delta t}{hc} \qquad \text{[2 BODA]}$$

fotona. Ako iz ove relacije izrazimo D i uvrstimo minimalan potreban broj fotona, dobijemo

$$D = \sqrt{\frac{Pr^2}{4N}\frac{\bar{\lambda}\Delta t}{hc}} \qquad \text{[1 BOD]}$$
$$= 16.44\,\mathrm{km}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

4. Promotrimo zraku svjetlosti kao na slici.



Ako su kutovi α i β izlazni i upadni kut svjetlosti kao sa slike, tada je veza među njima određena Snellovim zakonom

$$\sin\alpha = n\sin\beta. \qquad \text{[3 BODA]}$$

S druge strane, iz pravokutnih trokuta na slici imamo

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y}{x}, \qquad \text{[2 BODA]}$$

kao i

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{y}{d}. \qquad \text{[2 BODA]}$$

Eliminacijom visine y, dolazimo do relacije

$$x = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}d. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Ako posljednju jednadžbu kombiniramo sa Snellovim zakonom dobivamo ovisnost $x(\alpha)$

$$x = \frac{\cos\alpha}{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}d. \qquad \text{[2 BODA]}$$

Budući da je funkcija $x(\alpha)$ zadana s dva neodređena parametra, n i d, moramo iskoristiti dva različita mjerenja dana u zadatku. Svejedno je koja ćemo dva podatka uzeti (osim $\alpha = 90°$, iz kojeg ne možemo ništa zaključiti), pa uzmimo $\alpha = 0°$ i $\alpha = 45°$. To nas vodi na sustav od dvije jednadžbe s dvije nepoznanice

$$x(0) = \frac{d}{n}, \quad x(45) = \frac{d}{\sqrt{2n^2-1}}. \qquad \text{[2 BODA]}$$

Odavde imamo

$$d = \left(\frac{2}{x(0)^2} - \frac{1}{x(45)^2}\right)^{-1/2} \qquad \text{[2 BODA]}$$

$$= 10\,\text{cm}, \qquad \text{[1 BOD]}$$

te

$$n = \frac{x(45)}{\sqrt{2x(45)^2 - x(0)^2}} \qquad \text{[2 BODA]}$$

$$= 2. \qquad \text{[1 BOD]}$$

DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA
Vinkovci, 02. – 05. svibnja 2017.

Srednje škole – 4. grupa

EKSPERIMENTALNI ZADATAK

Pribor:

- konkavno i konveksno sferno zrcalo na postolju
- bikonveksna leća
- svijeća
- šibice
- krojački metar
- dva ravnala različite duljine
- dva tanja kartona
- škare
- selotejp
- plastelin
- bijeli papir A4
- milimetarski papir

Zadatak:

1. Odredite žarišnu daljinu konveksnog sfernog zrcala tako da:

I. a) opišete način na koji ste odredili koja je strana sfernog zrcala konveksna ..... 2 boda
b) opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka ..... 3 boda
c) napravite odgovarajuće skice rasporeda optičkih elemenata s naznačenim fizikalnim veličinama ..... 3 boda
d) tablično prikažete rezultate za minimalno pet mjerenja ..... 2 boda
e) provedete račun slučajnih pogrešaka uz zapis točnog rezultata i određivanje relativne maksimalne pogreške ..... 4 boda

II. f) konstruirate sliku za žarište konkavnog sfernog zrcala ..... 2 boda
g) konstruirate sliku za žarište konveksnog sfernog zrcala ..... 2 boda
h) konstruirate sliku za općeniti slučaj konveksnog sfernog zrcala sa svim označenim veličinama i navedenom naravi slike ..... 4 boda
i) konstruirate optički put zraka svjetlosti i položaj konačne slike u konkretno provedenom eksperimentalnom postupku ..... 3 boda

III. j) ukratko komentirate preciznost mjerenja prema dobivenoj maksimalnoj relativnoj pogrešci ..... 1 bod
k) prema stečenom eksperimentalnom iskustvu navedete što sve utječe na preciznost mjerenja ..... 1 bod
l) zaključno potvrdite teorijski model kojeg ste provjerili ovim eksperimentalnim mjerenjima tako da odredite koje su zrake svjetlosti dale konačnu sliku i koja je bila konačna narav slike u odnosu na početni predmet ..... 3 boda

---

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

Natjecateljima želimo uspješan rad!

DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA
Vinkovci, 02. – 05. svibnja 2017.

Srednje škole – 4. grupa

EKSPERIMENTALNI ZADATAK – rješenje

1. Odredite žarišnu daljinu konveksnog sfernog zrcala tako da:

I. a) opišete način na koji ste odredili koja je strana sfernog zrcala konveksna ..... 2 boda

U priboru uz eksperimentalni zadatak nalazi se sferno zrcalo kojemu je jedna strana konveksna, a druga konkavna. Najjednostavniji i najbrži način određivanja vrste sfernog zrcala je određivanje naravi slike pri primicanju i odmicanju zrcala od našeg odraza:

- konkavna strana zrcala ima žarišnu daljinu veću od prosječne udaljenosti ruke, te će narav slike za te udaljenosti uspravna, uvećana i virtualna, što se odnosi na sve slučajeve u kojima se predmet nalazi između žarišta i tjemena konkavnog sfernog zrcala;
- konveksna strana zrcala za sve udaljenosti predmeta daje uspravnu, umanjenu i virtualnu sliku.

b) opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka ..... 3 boda

Narav ili priroda slike za konveksno sferno zrcalo uvijek je virtualna i nastaje iza samog zrcala te ju nije moguće dobiti na zastoru; realnu sliku možemo dobiti ako između konveksnog zrcala i predmeta postavimo konvergentnu (sabirnu, u našem primjeru bikonveksnu) leću.

Eksperimentalni set sastoji se od dva dijela:

1. Ispred plamena svijeće kojeg možemo koristiti kao predmet na određenoj udaljenosti postavimo konvergentnu leću i na suprotnoj strani zastor (slika 1).
   Zastor se nalazi na udaljenosti d od predmeta.
   Leću pomičemo sve dok na zastoru ne dobijemo oštru realnu sliku predmeta; time smo odredili njezin položaj na optičkoj osi.
2. Na put zraka svjetlosti između leće i zastora postavljamo konveksno sferno zrcalo (slika 2); u odgovarajućem položaju zrcala na drugom zastoru kojeg smo postavili uz predmet dobivamo realnu sliku. Zrcalo se tada nalazi na udaljenosti x od predmeta. Obzirom da smo realnu sliku dobili od zraka svjetlosti koje su se od zrcala reflektirale same u sebe, to je moguće jedino u slučaju kad je zrcalo u takvom položaju da mu je središte zakrivljenosti u ravnini prvog zastora, te stoga slijedi:

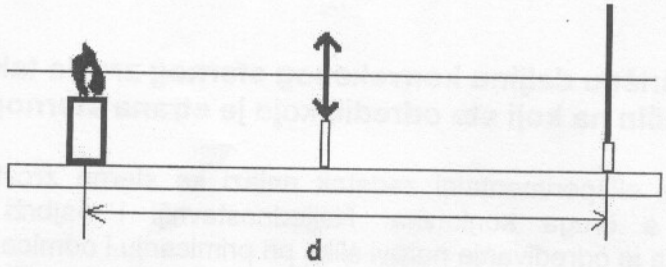
$$d - s = R = 2f \qquad (1)$$

Napomena:

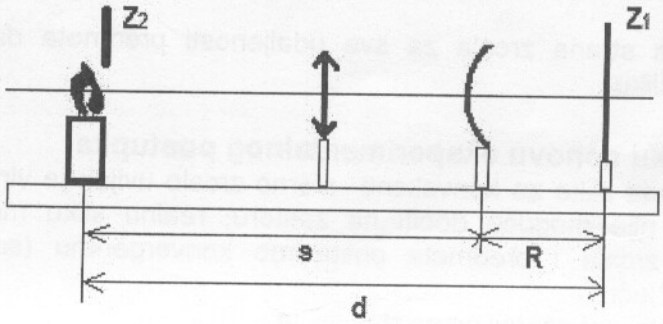
- krojački metar služi za mjerenja duž optičke osi i predstavlja osnovni pravac za postavljanje optičkih elemenata;
- zrcalo ima svoje postolje, tako da se može zakretati pod malim kutovima u odnosu na optičku os u smislu bržeg i optimalnijeg dobivanja konačne slike uz plamen svijeće;
- od dobivenog pribora, pomoću škara, papira i kartona može se napraviti i izrezani predmet u obliku trokuta, slova 'L' ili improvizirane strelice, kojeg se postavlja ispred plamena svijeće, no eksperimentalni set daje zadovoljavajuće rezultate i s izravnim korištenjem samog plamena;
- plastelin se oblikuje prema potrebi i pomaže pri učvršćivanju leće i zastora u odgovarajuće položaje; po rubu plastelina dobro je škarama urezati točan smjer sredine leće i zastora, kako bi kasnija mjerenja ravnalom bila preciznija;
- zastor treba pripremiti od kartona; može se izravno koristiti izravno ploha kartona, ili se na nju pomoću selotejpa može zalijepiti bijeli papir, tj. milimetarski papir ako se tako želi preciznije određivati sama veličina dobivene realne slike;

- ukoliko svijeća tijekom rada previše smanji svoju visinu, mogu se za povećanje konačne visine plamena u odnosu na zadanu optičku os koristiti izrezani dijelovi kartona ili kutija šibica kao podmetnuta podloga za svijeću.

c) napravite odgovarajuće skice rasporeda optičkih elemenata s naznačenim fizikalnim veličinama ..... 3 boda



Slika 1. – 1. Eksperimentalni set: predmet – leća – prvi zastor



Slika 2. – 2. Eksperimentalni set: predmet i drugi zastor – leća – zrcalo – prvi zastor

d) tablično prikažete rezultate za minimalno pet mjerenja ..... 2 boda

Organizacija podataka koje prikupljamo tijekom mjerenja značajan je dio svakog eksperimentalnog rada. Tablica treba biti smisleno i svrsishodno organizirana tako da se lako uočava redni broj mjerenja, mjerene veličine i konačni rezultat svakog mjerenja; zadnji stupac u tablici, radi preglednosti prikaza rezultata, može biti i određivanje veličine $\Delta f_i = \overline{f} - f_i$. Tablica treba imati i jasno naznačen naziv koji ukazuje na to koji se podaci u njoj nalaze.

Primjer tabličnog prikaza:

Tablica 1. Tablični prikaz rezultata određivanje žarišne duljine konveksnog sfernog zrcala

Redni broj mjerenja:	d (cm)	s (cm)	f_i (cm)	$(\Delta f_i = \overline{f} - f_i)$/(cm)
1.				
...				
5.				

e) provedete račun slučajnih pogrešaka uz zapis točnog rezultata i određivanje relativne maksimalne pogreške ..... 4 boda

Svako je mjerenje, u ovisnosti o eksperimentalnom setu i specifičnostima samog postupka, podložno grubim, sustavnim i slučajnim pogreškama. Do sustavnih pogrešaka može doći zbog netočnosti pojedinih instrumenata koje pri mjerenju koristimo ili konstantnim nepravilnim načinom mjerenja, tj. interpretacije pri očitavanju podataka; pretpostavka je da su u provedenom eksperimentu grube i sustavne pogreške svedene na minimum, kao i slučajne (statističke pogreške), koje su subjektivne prirode i najčešće ovise o načinu vršenja mjerenja i nekontroliranim vanjskim utjecajima.

Računom slučajnih pogrešaka procjenjujemo točnost kojom smo izmjerili određenu veličinu, pri čemu određujemo:

- aritmetičku sredinu ili srednju vrijednost svih pojedinih mjerenja:

$$\bar{f} = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} f_i \quad \text{(mjerna jedinica)} \qquad (2)$$

- razlike između srednje vrijednosti i svakog pojedinačnog mjerenja:

$$\Delta f_i = (\bar{f} - f_i) \quad \text{(mjerna jedinica)} \qquad (3)$$

- apsolutnu vrijednost maksimalnog pojedinačnog odstupanja:

$$|\Delta f_{i\,max}| \quad \text{(mjerna jedinica)} \qquad (4)$$

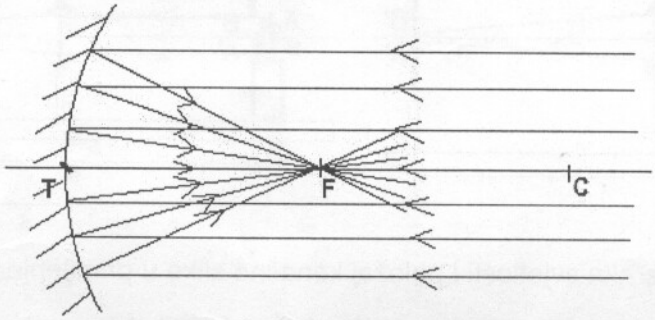
- zapis točnog rezultata:

$$f = (\bar{f} \pm |\Delta f_{i\,max}|) \quad \text{(mjerna jedinica)} \qquad (5)$$

- maksimalnu relativnu pogrešku koju najčešće izražavamo u postocima:

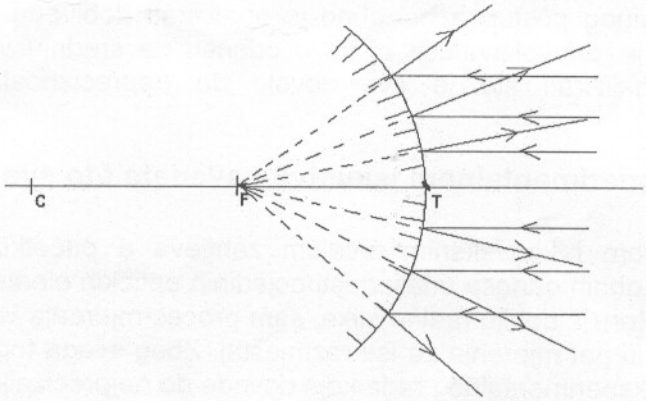
$$r_m = \left(\frac{|\Delta fi\,max|}{\bar{f}} \cdot 100\right) \% \qquad (6)$$

II. f) konstruirate sliku za žarište konkavnog sfernog zrcala ..... 2 boda



Slika 3. Konstrukcija slike za žarište konkavnog sfernog zrcala*

g) konstruirate sliku za žarište konveksnog sfernog zrcala ..... 2 boda

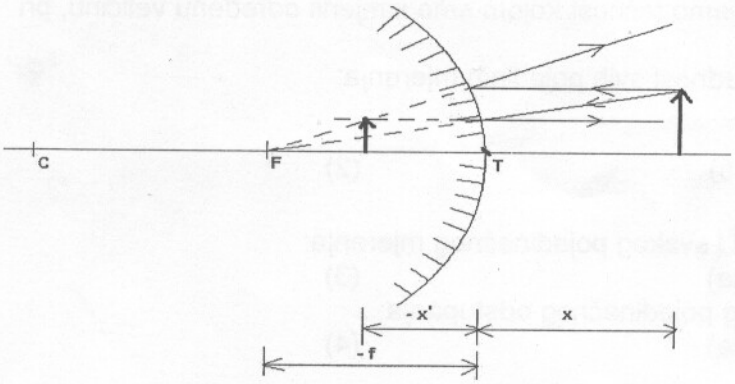


Slika 4. Konstrukcija slike za žarište konveksnog sfernog zrcala*

*Konstrukcija slike treba sadržavati minimalno četiri paralelne zrake u odnosu na optičku os i označene točke T (tjeme zrcala) i F (žarište ili fokus zrcala). Sve konstrukcije trebaju biti nacrtane s priborom i put zraka svjetlosti treba biti određen strelicama. Strana sfernog zrcala koja nije zrcalna treba biti označena na uobičajeni način u stručnoj literaturi (slike 3. i 4.).

Za konstrukcije slika pod h) i i) (slike 5. i 6.) potrebno je označiti i veličine: žarišnu daljinu, udaljenost predmeta i udaljenost slike od tjemena zrcala.

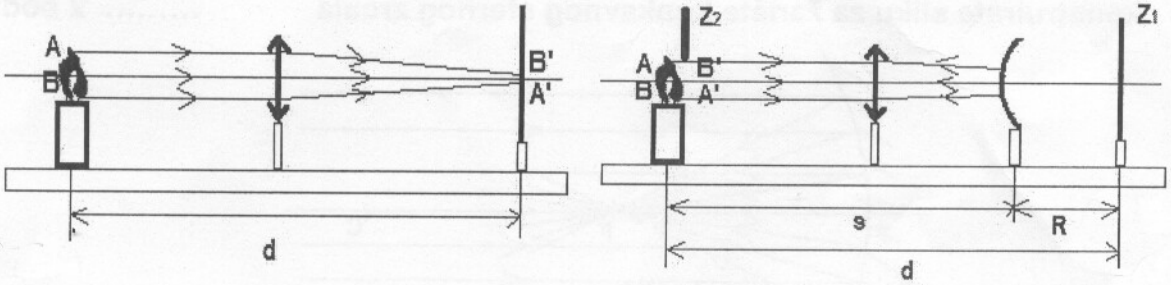
h) konstruirate sliku za općeniti slučaj konveksnog sfernog zrcala sa svim označenim veličinama i navedenom naravi slike ..... 4 boda



Narav ili priroda slike
za konveksno sferno zrcalo:
- uspravna,
- umanjena,
- imaginarna ili virtualna.

Slika 5. Konstrukcija slike za konveksno sferno zrcalo

i) konstruirate optički put zraka svjetlosti i položaj konačne slike u konkretno provedenom eksperimentalnom postupku ..... 3 boda



Slike 6. i 7. Optički put zraka svjetlosti i položaj konačne slike u primijenjenom eksperimentu

III. j) ukratko komentirate preciznost mjerenja prema dobivenoj maksimalnoj relativnoj pogrešci ..... 1 bod

Maksimalna relativna pogreška predstavlja omjer apsolutne vrijednosti najvećeg odstupanja pojedinog mjerenja u odnosu na srednju vrijednost svih mjerenja i same srednje vrijednosti. Na kraju svakog eksperimentalnog postupka potrebno je analizirati dobivenu maksimalnu relativnu pogrešku (r_m) u smislu je li zadovoljavajuće niska u odnosu na srednju vrijednost. Za veće r_m potrebno je temeljitije analizirati što je sve dovelo do nepreciznosti mjerenja (točka k eksperimentalnog zadatka).

k) prema stečenom eksperimentalnom iskustvu navedete što sve utječe na preciznost mjerenja ..... 1 bod

Eksperimentalni set s lećom i konveksnim zrcalom zahtjeva u početku dosta strpljenja pri određivanju idealnih međusobnih odnosa udaljenosti pojedinih optičkih elemenata. Jednom kad se na zastoru 1 i zatim na zastoru 2 dobiju realne slike, sam proces mjerenja vrlo je jednostavan, tim više što je potrebno napraviti pet mjerenja za isti razmještaj. Zbog svega toga ovdje treba ukratko navesti opažanja prilikom eksperimentalnog rada koja dovode do najpreciznijih mjerenja i rezultata.

l) zaključno potvrdite teorijski model kojeg ste provjerili ovim eksperimentalnim mjerenjima tako da odredite koje su zrake svjetlosti dale konačnu sliku i koja je bila konačna narav slike u odnosu na početni predmet ..... 3 boda

Slika na zastoru 1 nastala prolazom zraka svjetlosti kroz konvergentnu leću je obrnuta i realna; zrake svjetlosti koje daju konačnu sliku na zastoru 2 su zrake koje su izravno reflektirane od konveksnog sfernog zrcala (slika 7) jer je zrcalo postavljeno u takav položaj da mu je središte zakrivljenosti C u ravnini prvog zastora Z_1. Konačna slika nastaje na drugom zastoru Z_2 u ravnini predmeta: slika je obrnuta, realna i jednake veličine kao i predmet.

Ukupno: .....30 bodova