Zadatak 321 (Vesna, Ana, gimnazija)

Predmet se nalazi na udaljenosti 15 cm od **divergentne** leće. Gdje se nalazi slika, ako je žarište od leće udaljeno 10 cm? Koliko je povećanje? Kakva je slika? Koliko iznosi jakost leće?

Rješenje 321

$a = 15\ cm = 0.15\ m,\quad f = -10\ cm = -0.1\ m$ divergentna leća, $\quad b = ?,\quad \gamma = ?,\quad C = ?$

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim plohama, od kojih jedna može biti ravnina. Leće širokog ruba jesu divergentne (ili konkavne, ili rastresne), a leće tankog ruba konvergentne (ili konveksne, ili sabirne). Jednadžba je tanke leće

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f},$$

gdje je a udaljenost predmeta i b udaljenost slike od leće, a f fokalna daljina leće. Udaljenost je virtualne slike, kao i fokalna daljina divergentne leće negativna ($b < 0, f < 0$).
Povećanje, tj. omjer između veličine slike i predmeta iznosi:

$$\gamma=\frac{y'}{y}=-\frac{b}{a}.$$

Jakost ili konvergencija leće C dana je jednadžbom

$$C=\frac{1}{f},$$

gdje je f fokalna daljina leće. Konvergentne leće imaju pozitivnu optičku jakost, dok divergentne leće imaju negativnu optičku jakost.
Divergentne leće od realnog predmeta daju uvijek virtualnu, umanjenu i uspravnu sliku.
Računamo položaj slike.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}\ \Rightarrow\ \frac{1}{b}=\frac{1}{f}-\frac{1}{a}\ \Rightarrow\ \frac{1}{b}=\frac{a-f}{f\cdot a}\ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow\left[\frac{a}{b}=\frac{c}{d}\ \Rightarrow\ \frac{b}{a}=\frac{d}{c}\right]\Rightarrow\ b=\frac{a\cdot f}{a-f}=\frac{15\ cm\cdot(-10\ cm)}{15\ cm-(-10\ cm)}=\frac{-15\ cm\cdot 10\ cm}{15\ cm+10\ cm}=-6\,cm.$$

Povećanje iznosi:

$$\gamma=-\frac{b}{a}=-\frac{-6\ cm}{15\ cm}=0.4.$$

Kada je γ pozitivan, slika je uspravna.
Od realnog predmeta slika je virtualna (irealna), umanjena i uspravna.
Jakost leće je

$$C=\frac{1}{f}=\frac{1}{-0.1\ m}=-10\ m^{-1}=-\ 10\ dioptrija.$$

Vježba 321

Predmet se nalazi na udaljenosti 1.5 dm od **divergentne** leće. Gdje se nalazi slika, ako je žarište od leće udaljeno 1 dm? Koliko je povećanje? Kakva je slika? Koliko iznosi jakost leće?

Rezultat: 3 dm, 0.4, virtualna, uspravna i umanjena, – 10 dioptrija.

Zadatak 322 (Veseli maturanti ☺, gimnazija)

Svjetlost upada iz zraka (n = 1) na površinu vode pod kutom od 30 º. Koliko iznosi kut loma ako je indeks loma vode 1.5?

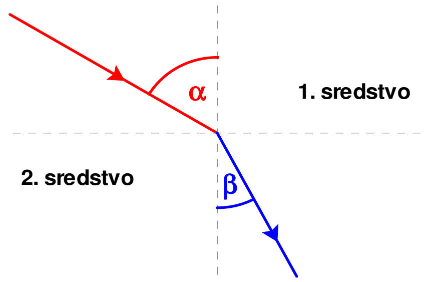
Rješenje 322

$n_1 = 1,\quad \alpha = 30^\circ,\quad n_2 = 1.5,\quad \beta = ?$

Kad svjetlost prelazi iz jednog optičkog sredstva u drugo, mijenja smjer. Upadna zraka, okomica na granicu sredstva u upadnoj točki i lomljena zraka leže u istoj ravnini. Omjer sinusa kuta upadanja α i sinusa kuta loma β stalan je broj koji nazivamo indeksom loma n. Upadni kut α i kut loma β vezani su jednadžbom (Snelliusov zakona):

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{n_2}{n_1} \quad , \quad \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=n_{2,1},$$

gdje je α upadni kut, β kut loma, n_1 apsolutni indeks loma prvog sredstva, n_2 apsolutni indeks loma drugog sredstva, $n_{2,1}$ relativni indeks loma drugog sredstva prema prvom sredstvu.



Da bismo odredili kut loma β uporabit ćemo Snelliusov zakon.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \ / \cdot \frac{n_1\cdot\sin\beta}{n_2} \Rightarrow \sin\beta=\frac{n_1\cdot\sin\alpha}{n_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta=\sin^{-1}\left(\frac{n_1\cdot\sin\alpha}{n_2}\right) \Rightarrow \beta=\sin^{-1}\left(\frac{1\cdot\sin 30^{\circ}}{1.5}\right) \Rightarrow \beta=19^{\circ}\,28'\,16''.$$

Vježba 322

Pod kojim se kutom lomi zraka svjetlosti koja pod kutom α = 45º pada na vodu? (indeks loma vode n = 1.5)

Rezultat: 28º 7' 32''.

Zadatak 323 (Veseli maturanti ☺, gimnazija)

Infracrveno zračenje valne duljine 2 µm nailazi na pregradu s dvjema pukotinama međusobnoga razmaka 1 mm. Maksimumi interferencije detektiraju se na udaljenosti 1 m od pregrade. Koliki je razmak između susjednih maksimuma interferencije.

A. 1 *mm* *B.* 2 *mm* *C.* 3 *mm* *D.* 4 *mm*

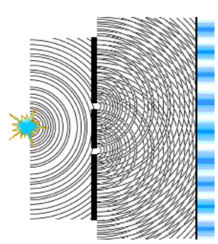
Rješenje 323

$\lambda = 2\ \mu m = 2\cdot 10^{-6}$ m, $d = 1$ mm $= 10^{-3}$ m, $a = 1$ m, $s = ?$

Kod interferencije dvaju valova svjetlosti na zastoru dobivamo tamne i svijetle pruge interferencije uz ove uvjete: d << a, širina izvora svjetlosti je mala. U Youngovu uređaju pomoću dviju pukotina dobivamo dva realna koherentna (jednake frekvencije i konstantne razlike u fazi) izvora svjetlosti. Razmak s susjednih tamnih i svijetlih pruga na zastoru dan je izrazom

$$s=\frac{\lambda\cdot a}{d},$$

gdje je λ valna duljina svjetlosti, a udaljenost od izvora do zastora, d udaljenost između izvora (pukotina).



$$s = \frac{\lambda \cdot a}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \ m \cdot 1 \ m}{10^{-3} \ m} = 2 \cdot 10^{-3} \ m = 2 \ mm.$$

Odgovor je pod B.

Vježba 323

Infracrveno zračenje valne duljine 2 μm nailazi na pregradu s dvjema pukotinama međusobnoga razmaka 0.1 cm. Maksimumi interferencije detektiraju se na udaljenosti 10 dm od pregrade. Koliki je razmak između susjednih maksimuma interferencije.

$$A. \ 1 \ mm \qquad B. \ 2 \ mm \qquad C. \ 3 \ mm \qquad D. \ 4 \ mm$$

Rezultat: B.

Zadatak 324 (Veseli maturanti ☺, gimnazija)

Monokromatska svjetlost prelazi iz zraka u vodu. Što se od navedenog pritom događa?

A. Brzina svjetlosti ostaje ista, a njezina se frekvencija poveća.

B. Smanje se brzina svjetlosti i njezina frekvencija.

C. Povećaju se brzina svjetlosti i njezina frekvencija.

D. Smanji se brzina svjetlosti, a njezina frekvencija ostaje ista.

Rješenje 324

c, ν

Kod val prelazi iz jednog sredstva u drugo, međusobno različitih svojstava, brzina i valna duljina mu se mijenjaju, dok frekvencija ostaje ista. Frekvencija je svojstvo izvora vala. Brzina elektromagnetskog vala u vakuumu ima približnu vrijednost $c \approx 3 \cdot 10^8$ m / s. U nekom sredstvu (tekućini, plinu, kristalu) brzina širenja vala je manja i ovisi o svojstvu tvari.
Odgovor je pod D.

Vježba 324

Malo odmora!

Rezultat: B.

Zadatak 325 (Marijan, maturant)

Dvije tanke leće, konvergentna jakosti + 10 dpt i divergentna jakosti – 6 dpt, zalijepljene su zajedno. Kolika je jakost ili konvergencija ovog sustava leća? Kolika je žarišna daljina?

Rješenje 325

$C_1 = 10 \ m^{-1}$, $C_2 = -6 \ m^{-1}$, $C = ?$, $f = ?$

Jakost ili konvergencija leće C dana je jednadžbom

$$C = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{C},$$

gdje je f fokalna daljina leće. Konvergentne leće imaju pozitivnu optičku jakost, dok divergentne leće imaju negativnu optičku jakost.

1.inačica

Ekvivalentna jakost ili konvergencija sustava leća je

$$C = C_1 + C_2 = 10 \ m^{-1} - 6 \ m^{-1} = 4 \ m^{-1}.$$

Žarišna daljina iznosi:

$$f = \frac{1}{C} = \frac{1}{4 \ m^{-1}} = 0.25 \ m = 25 \ cm.$$

Ovakav sustav leća ponaša se kao konvergentna leća.

2.inačica

Odredimo žarišne daljine obje leće.

- $f_1 = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{10\ m^{-1}} = \frac{1}{10}\ m$
- $f_2 = \frac{1}{C_2} = \frac{1}{-6\ m^{-1}} = -\frac{1}{6}\ m.$

Tada je žarišna daljina sustava leća jednaka

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{f_2 + f_1}{f_1 \cdot f_2} \Rightarrow \left[\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \right] \Rightarrow f = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2} =$$

$$= \frac{\frac{1}{10}\ m \cdot \left(-\frac{1}{6}\ m \right)}{\frac{1}{10}\ m - \frac{1}{6}\ m} = \frac{1}{4}\ m = 0.25\ m = 25\ cm.$$

Jakost ili konvergencija iznosi:

$$C = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.25\ m} = 4\ m^{-1}.$$

Vježba 325

Dvije tanke konvergentne leće svaka jakosti + 2 dpt, zalijepljene su zajedno. Kolika je jakost ili konvergencija ovog sustava leća? Kolika je žarišna daljina?

Rezultat: $C = 4\ m^{-1}$, f = 25 cm.

Zadatak 326 (Tin, gimnazija)

Kolika je žarišna daljina bikonkavne leće napravljene od stakla indeksa loma 1.60? Polumjeri zakrivljenosti leće iznose 10 cm i 20 cm.

Rješenje 326

n = 1.60, R_1 = – 10 cm = – 0.10 m leća je konkavna, R_2 = – 20 cm = – 0.20 m leća je konkavna, f = ?

Jednadžba je tanke leće

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

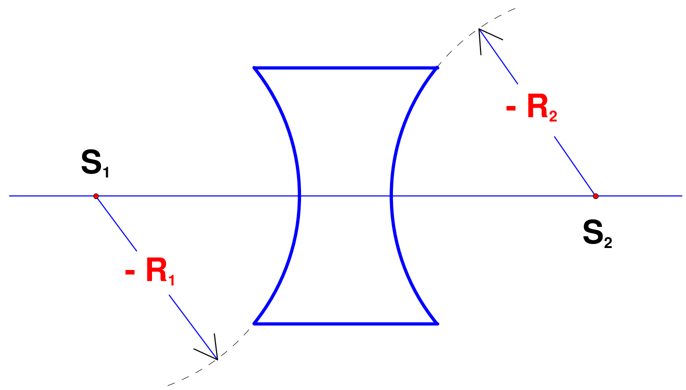
gdje je f fokalna daljina leće, n relativni indeks loma leće (prema sredstvu u kojemu se nalazi leća), a R_1 i R_2 jesu polumjeri zakrivljenosti sfernih ploha leće.

- Za konvergentne (konveksne, tankog ruba) leće veličine R_1 i R_2 uzimamo s pozitivnim predznakom.
- Za divergentne (konkavne, širokog ruba) leće veličine R_1 i R_2 uzimamo s negativnim predznakom.
- Žarišnu udaljenost divergentne leće uzimamo s negativnim predznakom.

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{f} = (n-1) \cdot \frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow \frac{1}{f} = (n-1) \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left[\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \right] \Rightarrow f = \frac{R_1 \cdot R_2}{(n-1) \cdot (R_1 + R_2)} =$$

$$= \frac{-0.10\ m \cdot (-0.20\ m)}{(1.60 - 1) \cdot (-0.10\ m - 0.20\ m)} = -0.1111\ m = -11.11\ cm.$$



Vježba 326

Kolika je žarišna daljina bikonkavne leće napravljene od stakla indeksa loma 1.60? Polumjeri zakrivljenosti leće iznose 1 dm i 2 dm.

Rezultat: -11.11 cm.

Zadatak 327 (Martina, gimnazija)

Svjetlost upada okomito na optičku rešetku. Prvi maksimum S_1 je 3 m udaljen od središnje svijetle pruge S_0 na zastoru udaljenom 4 m od rešetke. Konstanta rešetke iznosi:

$A.\ 0.60 \cdot \lambda$ $\quad B.\ 0.75 \cdot \lambda$ $\quad C.\ 0.80 \cdot \lambda$ $\quad D.\ 1.67 \cdot \lambda$ $\quad E.\ 2.87 \cdot \lambda$

Rješenje 327

b = 3 m, a = 4 m, k = 1 prvi maksimum, d = ?

Optička rešetka sastoji se od ekvidistantnih tijesno poredanih pukotina. Udaljenost između dviju pukotina zove se konstanta rešetke. Maksimum rasvjete dobit ćemo interferencijom u smjerovima koji zatvaraju kut α_k s okomicom na optičku mrežicu, tj. ako je

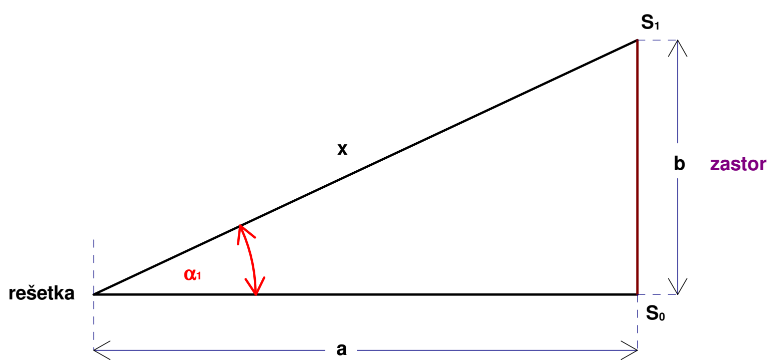
$$k \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha_k , \quad k = 1, 2, 3, \ldots , n.$$

Trokut je dio ravnine omeđen s tri dužine. Te dužine zovemo stranice trokuta.
Pravokutni trokuti imaju jedan pravi kut (kut od 90º). Stranice koje zatvaraju pravi kut zovu se katete, a najdulja stranica je hipotenuza pravokutnog trokuta.

Pitagorin poučak

Trokut ABC je pravokutan ako i samo ako je kvadrat nad hipotenuzom jednak zbroju kvadrata nad katetama.

Sinus šiljastog kuta pravokutnog trokuta jednak je omjeru duljine katete nasuprot tog kuta i duljine hipotenuze.



Pomoću Pitagorina poučka izračunamo hipotenuzu pravokutnog trokuta.

$$x^2 = a^2 + b^2 \Rightarrow x^2 = a^2 + b^2 \ / \sqrt{\ } \Rightarrow x = \sqrt{a^2 + b^2} \Rightarrow \begin{bmatrix} a = 4 \\ b = 3 \end{bmatrix} \Rightarrow x = \sqrt{4^2 + 3^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ x = \sqrt{16 + 9} \ \Rightarrow \ x = \sqrt{25} \ \Rightarrow \ x = 5 \ m.$$

Sada je:

$$\sin \alpha_1 = \frac{b}{x} \ \Rightarrow \ \sin \alpha_1 = \frac{3}{5}.$$

Konstanta rešetke iznosi:

$$k \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha_k \ \Rightarrow \begin{bmatrix} k = 1 \\ \sin \alpha_1 = \frac{3}{5} \end{bmatrix} \Rightarrow \ \lambda = d \cdot \frac{3}{5} \ \Rightarrow \ \frac{3}{5} \cdot d = \lambda \ \Rightarrow \ \frac{3}{5} \cdot d = \lambda \ / \cdot \frac{5}{3} \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ d = \frac{5}{3} \cdot \lambda = 1.67 \cdot \lambda.$$

Odgovor je pod D.

Vježba 327

Svjetlost upada okomito na optičku rešetku. Prvi maksimum S_1 je 6 m udaljen od središnje svijetle pruge S_0 na zastoru udaljenom 8 m od rešetke. Konstanta rešetke iznosi:

A. $0.60 \cdot \lambda$ *B.* $0.75 \cdot \lambda$ *C.* $0.80 \cdot \lambda$ *D.* $1.67 \cdot \lambda$ *E.* $2.87 \cdot \lambda$

Rezultat: D.

Zadatak 328 (Lussy, medicinska škola)

Neko apsolutno crno tijelo zrači najviše energije na valnoj duljini od $5.8 \cdot 10^{-6}$ m. Kolika je ploština toga tijela, ako mu snaga zračenja iznosi 400 W?

Rješenje 328

$\lambda_m = 5.8 \cdot 10^{-6}$ m, $P = 400$ W, $S = ?$

Prema Wienovu zakonu umnožak apsolutne temperature T i valne duljine λ_m kojoj pripada najveća energija zračenja u spektru apsolutno crnog tijela jednak je stalnoj veličini, tj.

$$\lambda_m \cdot T = C = 2.9 \cdot 10^{-3} \ m \cdot K.$$

Štefan-Boltzmannov zakon

Toplinska energija koju zrači površina apsolutno crnog tijela u jedinici vremena određuje se zakonom:

$$P = \sigma \cdot S \cdot T^4,$$

gdje je P snaga zračenja, T temperatura tijela, S ploština tijela i σ Stefan-Boltzmannova konstanta

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \ \frac{W}{m^2 \cdot K^4}.$$

$$\left.\begin{matrix} \lambda_m \cdot T = C \\ P = \sigma \cdot S \cdot T^4 \end{matrix}\right\} \Rightarrow \left.\begin{matrix} \lambda_m \cdot T = C \ / \cdot \frac{1}{\lambda_m} \\ P = \sigma \cdot S \cdot T^4 \end{matrix}\right\} \Rightarrow \left.\begin{matrix} T = \frac{C}{\lambda_m} \\ P = \sigma \cdot S \cdot T^4 \end{matrix}\right\} \Rightarrow \ P = \sigma \cdot S \cdot \left(\frac{C}{\lambda_m}\right)^4 \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ \sigma \cdot S \cdot \left(\frac{C}{\lambda_m}\right)^4 = P \ \Rightarrow \ \sigma \cdot S \cdot \left(\frac{C}{\lambda_m}\right)^4 = P \ / \cdot \frac{1}{\sigma \cdot \left(\frac{C}{\lambda_m}\right)^4} \ \Rightarrow \ S = \frac{P}{\sigma \cdot \left(\frac{C}{\lambda_m}\right)^4} \ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ S = \frac{P}{\sigma} \cdot \left(\frac{\lambda_m}{C}\right)^4 = \frac{400 \ W}{5.67 \cdot 10^{-8} \ \frac{W}{m^2 \cdot K^2}} \cdot \left(\frac{5.8 \cdot 10^{-6} \ m}{2.9 \cdot 10^{-3} \ m \cdot K}\right)^4 = 0.11 \ m^2.$$

Vježba 328

Neko apsolutno crno tijelo zrači najviše energije na valnoj duljini od $5.8 \cdot 10^{-6}$ m. Kolika je ploština toga tijela, ako mu snaga zračenja iznosi 0.4 kW?

Rezultat: 0.11 m^2.

Zadatak 329 (Žac, tehnička škola)

Konvergentna leća ima žarišnu daljinu f. Kakva slika nastane kada je udaljenost predmeta od leće veća od f, a manja od $2 \cdot f$?

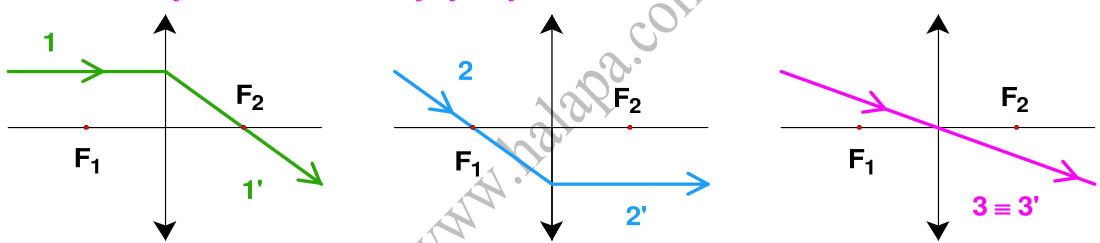
A. realna i obrnuta *B.* realna i uspravna
C. virtualna i uspravna *D.* virtualna i obrnuta

Rješenje 329

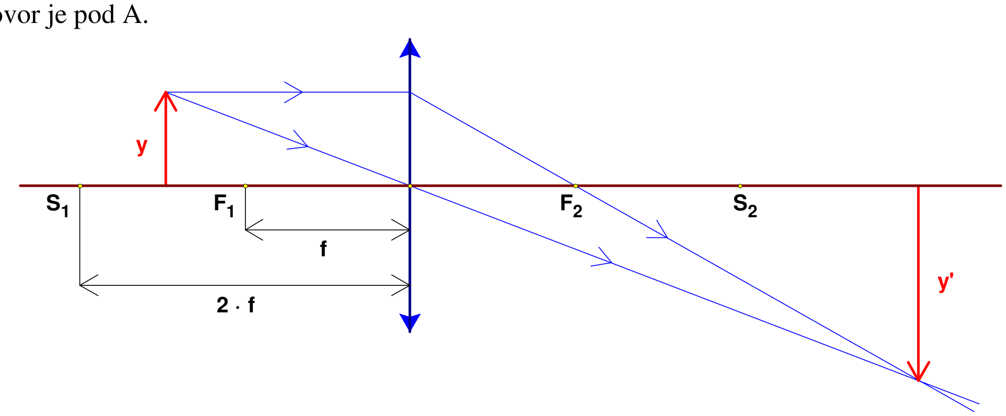
f, $2 \cdot f$

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim plohama, od kojih jedna može biti ravnina. Leće širokog ruba jesu divergentne (ili konkavne, ili rastresne), a leće tankog ruba konvergentne (ili konveksne, ili sabirne).
Konvergentne leće **skupljaju** paralelan snop svjetlosti. One stvaraju realnu sliku, ako je udaljenost predmeta veća od žarišne daljine. Žarišta konvergentnih leća su realna. Slika je realna jer se vidi na zastoru. Realna slika konvergentne leće uvijek je obrnuta.
Pri konstrukciji slika rabimo tri zrake:

1. Zraka usporedna s osi lomi se tako da prolazi fokusom leće.
2. Zraka koja prolazi fokusom lomi se tako da ide usporedno s osi.
3. Zraka koja ide središtem ne mijenja smjer.



Zadatak možemo riješiti grafički, ako konstruiramo sliku pomoću najmanje dviju karakterističnih zraka. Iz crteža vidimo da je slika realna i obrnuta.
Odgovor je pod A.



Vježba 329

Odmor!

Rezultat: …

Zadatak 330 (Žac, tehnička škola)

Bikonveksna leća kojoj plohe imaju jednak polumjer zakrivljenosti načinjena je od stakla indeksa loma 1.752. Koliki mora biti polumjer zakrivljenosti da žarišna daljina bude 25 cm?

Rješenje 330

n = 1.752, f = 25 cm = 0.25 m, $R_1 = R_2 = R = ?$

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim plohama, od kojih jedna može biti ravnina. Leće širokog ruba jesu divergentne (ili konkavne, ili rastresne), a leće tankog ruba konvergentne (ili konveksne, ili sabirne). Žarišna je daljina dana jednadžbom

$$\frac{1}{f}=(n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right),$$

gdje je n relativni indeks loma leće (prema sredstvu u kojemu se nalazi leća), a R_1 i R_2 jesu polumjeri zakrivljenosti sfernih ploha leće. Predznak polumjera pozitivan je pri konveksnoj leći, a negativan pri konkavnoj leći.

$$\frac{1}{f}=(n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \frac{1}{f}=(n-1)\cdot\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R}\right) \Rightarrow \frac{1}{f}=(n-1)\cdot\frac{2}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f}=(n-1)\cdot\frac{2}{R} \;/\cdot R\cdot f \Rightarrow R=2\cdot f\cdot(n-1)=2\cdot 0.25\ m\cdot(1.752-1)=0.376\ m=37.6\ cm.$$

Vježba 330

Bikonveksna leća kojoj plohe imaju jednak polumjer zakrivljenosti načinjena je od stakla indeksa loma 1.752. Koliki mora biti polumjer zakrivljenosti da žarišna daljina bude 2.5 dm?

Rezultat: 37.6 cm.

Zadatak 331 (Žac, tehnička škola)

Bikonveksna leća jednakih polumjera 25.2 cm napravljena je od stakla indeksa loma 1.7. Odredi žarišnu daljinu te leće u sredstvu indeksa loma 2.4?

Rješenje 331

$R_1 = R_2 = R$ = 25.2 cm = 0.252 m, n = 1.7, $n_1 = 2.4$, f = ?

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim plohama, od kojih jedna može biti ravnina. Leće širokog ruba jesu divergentne (ili konkavne, ili rastresne), a leće tankog ruba konvergentne (ili konveksne, ili sabirne). Žarišna je daljina dana jednadžbom

$$\frac{1}{f}=(n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right),$$

gdje je n relativni indeks loma leće (prema sredstvu u kojemu se nalazi leća), a R_1 i R_2 jesu polumjeri zakrivljenosti sfernih ploha leće. Predznak polumjera pozitivan je pri konveksnoj leći, a negativan pri konkavnoj leći. Žarišna daljina divergentne leće je negativna. Ako je tanka leća izrađena od materijala apsolutnog indeksa loma n_1, a nalazi se u sredstvu apsolutnog indeksa loma n_2 njezina jednadžba glasi:

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_1}{n_2}-1\right)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right).$$

Ako se leća od stakla indeksa loma n nalazi u sredstvu indeksa loma n_1 treba uzeti jednadžbu

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n}{n_1}-1\right)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) \Rightarrow \frac{1}{f}=\frac{n-n_1}{n_1}\cdot\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R}\right) \Rightarrow \frac{1}{f}=\frac{n-n_1}{n_1}\cdot\frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1}{f}=\frac{2\cdot\left(n-n_1\right)}{R\cdot n_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \frac{R \cdot n_1}{2 \cdot \left(n - n_1\right)} = \frac{0.252 \; m \cdot 2.4}{2 \cdot \left(1.7 - 2.4\right)} = -0.432 \; m = -43.2 \; cm.$$

Pozor!
Dobili smo negativnu žarišnu daljinu. U sredstvu indeksa loma većeg od indeksa loma materijala leće bikonveksna leća postaje divergentna.

Vježba 331

Bikonveksna leća jednakih polumjera 252 mm napravljena je od stakla indeksa loma 1.7. Odredi žarišnu daljinu te leće u sredstvu indeksa loma 2.4?

Rezultat: – 43.2 cm.

Zadatak 332 (Ivan, tehnička škola)

Snaga kojom Sunce zrači iznosi $3.8 \cdot 10^{26}$ W. Za koliko će se vremena masa Sunca smanjiti za 1% uz pretpostavku da će snaga zračenja Sunca ostati čitavo vrijeme stalna? Masa Sunca iznosi $2 \cdot 10^{30}$ kg. (brzina svjetlosti u praznini $c = 3 \cdot 10^8$ m / s)

Rješenje 332

$P = 3.8 \cdot 10^{26}$ W, $\eta = 1\% = 0.01$, $m = 2 \cdot 10^{30}$ kg, $c = 3 \cdot 10^8$ m / s, $\Delta t = ?$

Stoti dio nekog broja naziva se postotak. Piše se kao razlomak s nazivnikom 100.

Na primjer, $9\ \% = \frac{9}{100}$, $81\ \% = \frac{81}{100}$, $4.5\ \% = \frac{4.5}{100}$, $0.3\ \% = \frac{0.3}{100}$, $p\ \% = \frac{p}{100}$.

Kako se računa "... p% od x..."?

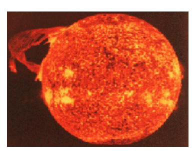
$$\frac{p}{100} \cdot x.$$

Masa tijela m i energija E povezane su relacijom

$$E = m \cdot c^2,$$

gdje je c brzina svjetlosti.
Snaga je obavljeni rad u jedinici vremena ili promjena energije u jedinici vremena. Ako uzmemo Δt kao oznaku za vrijeme, a ΔE kao oznaku za promjenu energije imamo ovu formulu za izračunavanje snage:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}.$$



Masa Sunca smanji se za Δm i pretvori u energiju ΔE.

$$\left.\begin{array}{l} \Delta m = \eta \cdot m \\ \Delta E = \Delta m \cdot c^2 \end{array}\right\} \Rightarrow \Delta E = \eta \cdot m \cdot c^2.$$

To će se dogoditi za vrijeme Δt.

$$\left.\begin{array}{l} \Delta E = \eta \cdot m \cdot c^2 \\ P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \end{array}\right\} \Rightarrow P = \frac{\eta \cdot m \cdot c^2}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{\eta \cdot m \cdot c^2}{\Delta t} \; / \cdot \frac{\Delta t}{P} \Rightarrow \Delta t = \frac{\eta \cdot m \cdot c^2}{P} =$$

$$= \frac{0.01 \cdot 2 \cdot 10^{30} \; kg \cdot \left(3 \cdot 10^8 \; \frac{m}{s}\right)^2}{3.8 \cdot 10^{26} \; W} = 4.74 \cdot 10^{18} \; s.$$

Vježba 332

Snaga kojom Sunce zrači iznosi $3.8 \cdot 10^{26}$ W. Za koliko će se vremena masa Sunca smanjiti za 2% uz pretpostavku da će snaga zračenja Sunca ostati čitavo vrijeme stalna? Masa Sunca iznosi $2 \cdot 10^{30}$ kg. (brzina svjetlosti u praznini $c = 3 \cdot 10^{8}$ m / s)

Rezultat: $9.47 \cdot 10^{18}$ s.

Zadatak 333 (Petra, medicinska škola)

Svjetlost valne duljine 600 nm ogiba se na optičkoj rešetci konstante 4 μm. Koliko se najviše ogibnih maksimuma može vidjeti na zastoru?

Rješenje 333

$\lambda = 600$ nm $= 6 \cdot 10^{-7}$ m, $\quad d = 4$ μm $= 4 \cdot 10^{-6}$ m, $\quad N_m = ?$

Optička rešetka je slijed (niz) uskih pukotina za svjetlo prolaznih mjesta. One su međusobno usporedne i veoma blizu. Razmak između dviju pukotina je **konstanta optičke rešetke** (d) s redom veličine valne duljine svjetlosti.

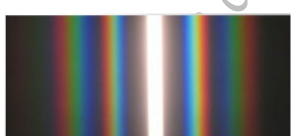
$$k \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha_k, \quad k = 0, 1, 2, 3, \ldots .$$

Kad je k = 0 dobije se spektar nultog reda, za k = 1 spektar prvog reda itd. To će vrijediti za otklon pod kutom α_k na jednu i drugu stranu od smjera $\alpha = 0$. Pojava je simetrična s obzirom na spektar nultog reda. Budući da je $\sin \alpha \le 1$, najveći broj maksimuma k_m dobije se za $\sin \alpha = 1$, odnosno

$$k_m \le \frac{d}{\lambda}.$$

Ukupan broj ogibnih maksimuma je

$$N_m = 2 \cdot k_m + 1.$$



$$k_m \le \frac{d}{\lambda} \Rightarrow k_m \le \frac{4 \cdot 10^{-6}\ m}{6 \cdot 10^{-7}\ m} \Rightarrow k_m \le 6.67 \Rightarrow k_m = 6.$$

Sada je

$$N_m = 2 \cdot k_m + 1 = 2 \cdot 6 + 1 = 13.$$

Vježba 333

Svjetlost valne duljine 300 nm ogiba se na optičkoj rešetci konstante 2 μm. Koliko se najviše ogibnih maksimuma može vidjeti na zastoru?

Rezultat: 13.

Zadatak 334 (Iva, medicinska škola)

Realni predmet je od divergentne leće udaljen 20 cm, a virtualna slika koja se vidi kroz leću je na udaljenosti 10 cm od leće. Kolika je jakost leće?

Rješenje 334

$x = 20$ cm $= 0.2$ m, $\quad x' = -10$ cm $= -0.1$ m, $\quad C = ?$

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim plohama, od kojih jedna može biti ravnina. Leće širokog ruba jesu divergentne (ili konkavne, ili rastresne), a leće tankog ruba konvergentne (ili konveksne, ili sabirne). Jakost ili konvergencija leće C dana je jednadžbom

$$C = \frac{1}{x} + \frac{1}{x'},$$

gdje je x udaljenost predmeta i x' udaljenost slike od leće.

Sabirne (konvergentne, konveksne) leće imaju pozitivnu optičku jakost, a rastresne (divergentne) leće imaju negativnu dioptrijsku jakost. Udaljenost je virtualne slike, kao i fokalna daljina divergentne leće negativna ($x' < 0, f < 0$).

$$C = \frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{0.2\ m} + \frac{1}{-0.1\ m} = -5\ \frac{1}{m} = -5\ m^{-1}.$$

Vježba 334

Realni predmet je od divergentne leće udaljen 2 dm, a virtualna slika koja se vidi kroz leću je na udaljenosti 1 dm od leće. Kolika je jakost leće?

Rezultat: $-5\ m^{-1}$.

Zadatak 335 (Maturant, gimnazija)

Zemlja zrači prosječno u svakoj minuti s površine 1 cm^2 energiju 0.54 J. Koju temperaturu mora imati apsolutno crno tijelo koje zrači jednaku energiju?

Rješenje 335

$t = 1\ min = 60\ s, \quad S = 1\ cm^2 = 10^{-4}\ m^2, \quad E = 0.54\ J, \quad T = ?$

Stefan-Boltzmannov zakon

Toplinska energija koju zrači površina apsolutno crnog tijela u jedinici vremena određuje se zakonom:

$$P = \sigma \cdot S \cdot T^4,$$

gdje je P snaga zračenja, T temperatura tijela, S površina tijela i σ Stefan-Boltzmannova konstanta

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}\ \frac{W}{m^2 \cdot K^4}.$$

Snaga je brzina vršenja rada ili prijenosa energije. Ne misli se na brzinu gibanja u prostoru, nego na brzinu promjene funkcije koja ovisi o vremenu (vršenje rada ili prijenos energije).

$$P = \frac{E}{t}.$$

$$\left.\begin{array}{l} P = \delta \cdot S \cdot T^4 \\ P = \dfrac{E}{t} \end{array}\right\} \Rightarrow \delta \cdot S \cdot T^4 = \frac{E}{t} \Rightarrow \delta \cdot S \cdot T^4 = \frac{E}{t}\ / \cdot \frac{1}{\delta \cdot S} \Rightarrow T^4 = \frac{E}{t \cdot \delta \cdot S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T^4 = \frac{E}{t \cdot \delta \cdot S}\ / \sqrt[4]{\ } \Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{E}{t \cdot \delta \cdot S}} = \sqrt[4]{\frac{0.54\ J}{60\ s \cdot 5.67 \cdot 10^{-8}\ \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot 10^{-4}\ m^2}} = 199.6\ K.$$

Vježba 335

Zemlja zrači prosječno u svakoj minuti s površine 2 cm^2 energiju 1.08 J. Koju temperaturu mora imati apsolutno crno tijelo koje zrači jednaku energiju?

Rezultat: 199.6 K.

Zadatak 336 (Maturant, gimnazija)

Odredi snagu električne struje koja je potrebna da nit žarulje duljine 20 cm i promjera 1 mm zrači kad joj je temperatura 3500 K. Pretpostavljamo da nit zrači kao apsolutno crno tijelo. Zanemarimo gubitak topline koja se troši na zagrijavanje niti.

Rješenje 336

$h = 20\ cm = 0.2\ m, \quad d = 1\ mm = 10^{-3}\ m, \quad T = 3500\ K, \quad P = ?$

Stefan-Boltzmannov zakon

Toplinska energija koju zrači površina apsolutno crnog tijela u jedinici vremena određuje se zakonom:

$$P = \sigma \cdot S \cdot T^4,$$

gdje je P snaga zračenja, T temperatura tijela, S površina tijela i σ Stefan-Boltzmannova konstanta

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}.$$

Formula za oplošje valjka visine h i promjera baze d:

$$S = d \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + h\right).$$

$$\left.\begin{array}{l} S = d \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + h\right) \\ P = \sigma \cdot S \cdot T^4 \end{array}\right\} \Rightarrow P = \sigma \cdot d \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + h\right) \cdot T^4 =$$

$$= 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \cdot 10^{-3}\ m \cdot \pi \cdot \left(\frac{10^{-3}\ m}{2} + 0.2\ m\right) \cdot (3500\ K)^4 = 5359.44\ W.$$

Vježba 336

Odredi snagu električne struje koja je potrebna da nit žarulje duljine 2 dm i promjera 0.1 cm zrači kad joj je temperatura 3500 K. Pretpostavljamo da nit zrači kao apsolutno crno tijelo. Zanemarimo gubitak topline koja se troši na zagrijavanje niti.

Rezultat: 5359.44 W.

Zadatak 337 (Doty, maturantica)

Leća daje dva puta uvećanu sliku na zastoru koji je 3 metra udaljen od predmeta. Kolika je žarišna daljina leće?

Rješenje 337

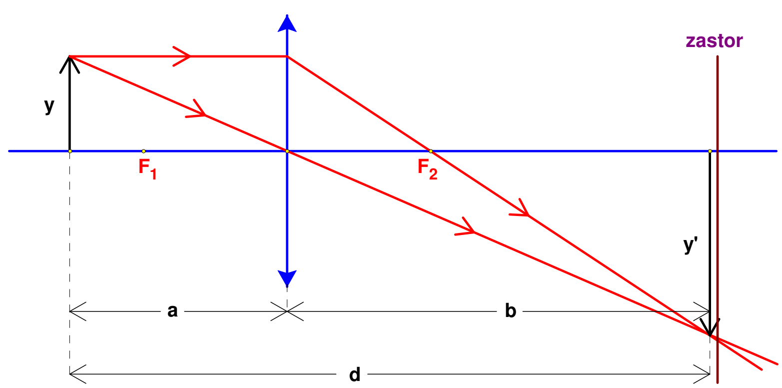
y ' = 2 · y, d = 3 m, f = ?

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim plohama, od kojih jedna može biti ravnina. Leće širokog ruba jesu divergentne (ili konkavne, ili rastresne), a leće tankog ruba konvergentne (ili konveksne, ili sabirne). Jednadžba je tanke leće

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

gdje je a udaljenost predmeta i b udaljenost slike od leće, a f fokalna daljina leće.
Povećanje, tj. omjer između veličine slike y ' i predmeta y iznosi:

$$\gamma = \frac{y'}{y} = -\frac{b}{a}.$$



Slika se vidi na zastoru pa je realna i dobivena je konvergentnom lećom jer divergentne leće daju samo virtualne slike.

$$\gamma = \frac{y'}{y} \Rightarrow \gamma = \frac{2 \cdot y}{y} \Rightarrow \gamma = \frac{2 \cdot y}{y} \Rightarrow \gamma = 2.$$

Realna slika konvergentne leće uvijek je obrnuta te je povećanje γ negativno.

$$\gamma = -2.$$

Udaljenost predmeta od zastora jednaka je zbroju udaljenosti predmeta i slike od leće.

$$a + b = d.$$

$$\left.\begin{array}{l}\gamma = -\frac{b}{a} \\ \gamma = -2 \\ a + b = d\end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l}-\frac{b}{a} = -2 \\ a + b = d\end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l}-\frac{b}{a} = -2 \; / \cdot (-a) \\ a + b = d\end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l}b = 2 \cdot a \\ a + b = d\end{array}\right\} \Rightarrow a + 2 \cdot a = d \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3 \cdot a = d \Rightarrow 3 \cdot a = d \; / : 3 \Rightarrow a = \frac{d}{3} = \frac{3\ m}{3} = 1\ m.$$

Računamo b.

$$\left.\begin{array}{l}a = 1\ m \\ b = 2 \cdot a\end{array}\right\} \Rightarrow b = 2 \cdot 1\ m = 2\ m.$$

Žarišna daljina leće iznosi:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{b+a}{a \cdot b} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{a+b}{a \cdot b} \Rightarrow \left[\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c}\right] \Rightarrow f = \frac{a \cdot b}{a+b} = \frac{1\ m \cdot 2\ m}{1\ m + 2\ m} = 0.67\ m.$$

Vježba 337

Leća daje dva puta uvećanu sliku na zastoru koji je 6 metra udaljen od predmeta. Kolika je žarišna daljina leće?

Rezultat: 1.33 m.

Zadatak 338 (Doty, maturantica)

Realna slika koja se dobije uz pomoć konkavnog sfernog zrcala tri je puta veća od predmeta. Kolika je žarišna daljina upotrijebljenoga zrcala ako su predmet i realna slika međusobno udaljeni 80 cm?

Rješenje 338

$y' = 3 \cdot y$, $d = 80$ cm, $f = ?$

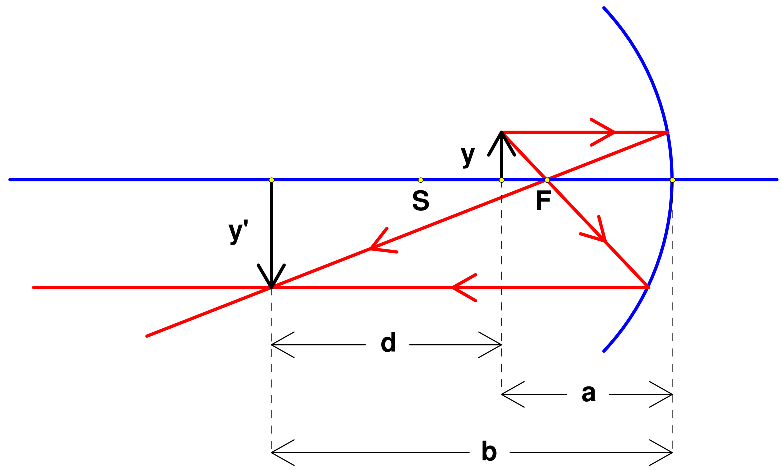
Zrake koje padaju na sferno zrcalo usporedno s osi sijeku se u točki koja se zove fokus F ili žarište zrcala. Fokus leži na osi zrcala. Udaljenost f fokusa od tjemena jest fokalna ili žarišna daljina. Sferno zrcalo je dio kugline površine, tj. ono je kalota kugle. Jednadžba sfernog zrcala daje svezu između udaljenosti predmeta i slike od sfernog zrcala i fokalne daljine.
Uzmemo li kao ishodište tjeme zrcala i označimo li sa a udaljenost predmeta od tjemena, sa b udaljenost slike od tjemena, sa f žarišnu ili fokalnu daljinu zrcala, vrijedi jednadžba:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Povećanje zrcala γ zovemo omjerom između veličine slike y' i veličine predmeta y:

$$\gamma = \frac{y'}{y} = -\frac{b}{a}.$$

Kad je γ negativan, slika je obrnuta. Kad je γ pozitivan, slika je uspravna.



Kada se kod konkavnog sfernog zrcala predmet nalazi između žarišta F i središta zakrivljenosti S dobije se realna i uvećana slika.

$$\gamma=\frac{y'}{y} \Rightarrow \gamma=\frac{3\cdot y}{y} \Rightarrow \gamma=\frac{3\cdot y}{y} \Rightarrow \gamma=3.$$

Budući da je slika obrnuta, povećanje γ je negativno.

$$\gamma=-3.$$

Udaljenost slike b veća je od udaljenosti predmeta a od zrcala. Udaljenost predmeta i realne slike jednaka je razlici udaljenosti slike i predmeta od zrcala.

$$b-a=d.$$

$$\left.\begin{array}{l}\gamma=-\frac{b}{a}\\ \gamma=-3\\ b-a=d\end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l}-\frac{b}{a}=-3\\ b-a=d\end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l}-\frac{b}{a}=-3 \;/\cdot(-a)\\ b-a=d\end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l}b=3\cdot a\\ b-a=d\end{array}\right\} \Rightarrow 3\cdot a-a=d \Rightarrow 2\cdot a=d \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2\cdot a=d \;/:2 \Rightarrow a=\frac{d}{2}=\frac{80\ cm}{2}=40\ cm.$$

Računamo b.

$$\left.\begin{array}{l}a=40\ cm\\ b=3\cdot a\end{array}\right\} \Rightarrow b=3\cdot 40\ cm=120\ cm.$$

Žarišna daljina zrcala iznosi:

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \Rightarrow \frac{b+a}{a\cdot b}=\frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f}=\frac{a+b}{a\cdot b} \Rightarrow \left[\frac{a}{b}=\frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a}=\frac{d}{c}\right] \Rightarrow f=\frac{a\cdot b}{a+b}=$$

$$=\frac{40\ cm\cdot 120\ cm}{40\ cm+120\ cm}=30\ cm.$$

Vježba 338

Realna slika koja se dobije uz pomoć konkavnog sfernog zrcala tri je puta veća od predmeta. Kolika je žarišna daljina upotrijebljenoga zrcala ako su predmet i realna slika međusobno udaljeni 100 cm?

Rezultat: 37.5 cm.

Zadatak 339 (Doty, maturantica)

Učenik izvodi pokus puštajući laserski snop svjetlosti frekvencije f na dvije vrlo uske pukotine razmaknute za d. Na zastoru udaljenome a od pukotine opaža svijetle pruge razmaknute za s. Učenik uzima drugi laser čija je frekvencija svjetlosti $f_1 = 1.5 \cdot f$. Koliki razmak s_1 opaža učenik između svijetlih pruga na zastoru nakon što osvijetli pukotine drugim laserom?

$$A.\ s_1 = \frac{s}{2} \qquad B.\ s_1 = \frac{2 \cdot s}{3} \qquad C.\ s_1 = s \qquad D.\ s_1 = \frac{3 \cdot s}{2}$$

Rješenje 339

d, a, s, $f_1 = 1.5 \cdot f$, $s_1 = ?$

Prema valnoj teoriji svjetlost se širi u valovima za koje vrijedi jednadžba

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f},$$

gdje je c brzina širenja, λ duljina vala, f frekvencija.
Razmak s između dviju svijetlih ili dviju tamnih interferencijskih pruga na zastoru usporednom sa dva koherentna izvora je

$$s = \frac{\lambda \cdot a}{d},$$

gdje je λ valna duljina svjetlosti, a udaljenost od izvora do zastora, d udaljenost između izvora.

$$\left.\begin{array}{l} \lambda = \dfrac{c}{f} \\ s = \dfrac{\lambda \cdot a}{d} \end{array}\right\} \Rightarrow s = \frac{\frac{c}{f} \cdot a}{d} \Rightarrow s = \frac{c \cdot a}{f \cdot d}.$$

Gledamo omjer!

$$\frac{s_1}{s} = \frac{\frac{c \cdot a}{f_1 \cdot d}}{\frac{c \cdot a}{f \cdot d}} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{\frac{c \cdot a}{f_1 \cdot d}}{\frac{c \cdot a}{f \cdot d}} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{f}{f_1} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{f}{1.5 \cdot f} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{f}{1.5 \cdot f} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{1}{1.5} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{\frac{1}{1}}{\frac{15}{10}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{10}{15} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{10}{15} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{2}{3} \Rightarrow \frac{s_1}{s} = \frac{2}{3} \; / \cdot s \Rightarrow s_1 = \frac{2}{3} \cdot s.$$

Odgovor je pod B.

Vježba 339

Učenik izvodi pokus puštajući laserski snop svjetlosti frekvencije f na dvije vrlo uske pukotine razmaknute za d. Na zastoru udaljenome a od pukotine opaža svijetle pruge razmaknute za s. Učenik uzima drugi laser čija je frekvencija svjetlosti $f_1 = 2 \cdot f$. Koliki razmak s_1 opaža učenik između svijetlih pruga na zastoru nakon što osvijetli pukotine drugim laserom?

$$A.\ s_1 = \frac{s}{2} \qquad B.\ s_1 = \frac{2 \cdot s}{3} \qquad C.\ s_1 = s \qquad D.\ s_1 = \frac{3 \cdot s}{2}$$

Rezultat: A.

Zadatak 340 (Luka, srednja škola)

Konstanta optičke rešetke je dva puta veća od valne duljine monokromatske svjetlosti koja na nju upada okomito. Sinus kuta prvog ogibnog maksimuma je:

$$A.\ 0.5 \qquad B.\ 0.3 \qquad C.\ 30^{\circ} \qquad D.\ 30\ rad.$$

Rješenje 340

$d = 2 \cdot \lambda$, $k = 1$, $\sin \alpha = ?$

Optička rešetka sastoji se od ekvidistantnih tijesno poredanih pukotina. Udaljenost između dviju pukotina zove se konstanta rešetke. Maksimum rasvjete dobit ćemo interferencijom u smjerovima koji zatvaraju kut α_k s okomicom na optičku mrežicu, tj. ako je

$$k \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha_k , \ k = 1, 2, 3, ... , n.$$

Za spektar prvog reda vrijedi:

$$d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda \Rightarrow d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda \ / \cdot \frac{1}{d} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{k \cdot \lambda}{d} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{1 \cdot \lambda}{2 \cdot \lambda} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sin \alpha = \frac{1 \cdot \lambda}{2 \cdot \lambda} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{1}{2} \Rightarrow \sin \alpha = 0.5.$$

Odgovor je pod A.

Vježba 340

Konstanta optičke rešetke je četiri puta veća od valne duljine monokromatske svjetlosti koja na nju upada okomito. Sinus kuta drugog ogibnog maksimuma je:

$A.$ 0.5 $\quad B.$ 0.3 $\quad C.$ 30° $\quad D.$ 30 rad.

Rezultat: A.