

Zadatak 241 (Anaa, graditeljsko – geodetska škola)

Pomoću sfernog zrcala polumjera zakrivljenosti 40 cm želimo na zastoru dobiti sliku upola manje visine od predmeta. Na koju udaljenost od tjemena zrcala moramo postaviti predmet i gdje će se tada nalaziti njegova slika?

Rješenje 241

$$R = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}, \quad y' = \frac{1}{2} \cdot y, \quad a = ?, \quad b = ?$$

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 udaljenost fokusa (žarišta) od tjemena i sa R polumjer zakrivljenosti zrcala, vrijede jednadžbe:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{R}.$$

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, a kad je pozitivan, slika je uspravna.

Za konkavno sferno zrcalo vrijedi:

- slika je realna ako je udaljenost predmeta od zrcala veća od žarišne daljine

$$a > f$$

- tada je

$$b > f$$

- slika je obrnuta
- povećanje je negativno

$$\gamma < 0.$$

Za realnu sliku je:

$$\gamma = -\frac{y'}{y} \Rightarrow \gamma = -\frac{\frac{1}{2} \cdot y}{y} \Rightarrow \gamma = -\frac{\frac{1}{2} \cdot y}{y} \Rightarrow \gamma = -\frac{1}{2}.$$

Tada vrijedi:

$$-\frac{b}{a} = -\frac{1}{2} \Rightarrow -\frac{b}{a} = -\frac{1}{2} \quad / \cdot (-2 \cdot a) \Rightarrow 2 \cdot b = a \Rightarrow a = 2 \cdot b.$$

Računamo udaljenost b .

$$\left. \begin{array}{l} a = 2 \cdot b \\ \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{R} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{1}{2 \cdot b} + \frac{1}{b} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1+2}{2 \cdot b} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{3}{2 \cdot b} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{3}{2 \cdot b} = \frac{2}{R} \quad / \cdot 2 \cdot b \cdot R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3 \cdot R = 4 \cdot b \Rightarrow 4 \cdot b = 3 \cdot R \Rightarrow 4 \cdot b = 3 \cdot R \quad / : 4 \Rightarrow b = \frac{3}{4} \cdot R = \frac{3}{4} \cdot 0.4 \text{ m} = 0.3 \text{ m} = 30 \text{ cm}.$$

Računamo udaljenost a .

$$\left. \begin{array}{l} b = 0.3 \text{ m} \\ a = 2 \cdot b \end{array} \right\} \Rightarrow a = 2 \cdot 0.3 \text{ m} = 0.6 \text{ m} = 60 \text{ cm}.$$

Vježba 241

Pomoću sfernog zrcala polumjera zakrivljenosti 2 m želimo na zastoru dobiti sliku četiri puta veće visine od predmeta. Na koju udaljenost od tjemena zrcala moramo postaviti predmet i gdje će se tada nalaziti njegova slika?

Rezultat: $a = 1.25 \text{ m}$, $b = 5 \text{ m}$.

Zadatak 242 (Frenky, gimnazija)

Zraka svjetlosti prelazi iz stakla u vodu pod kutom 45° . Koliki je kut loma ako je indeks loma vode s obzirom na staklo 0.880?

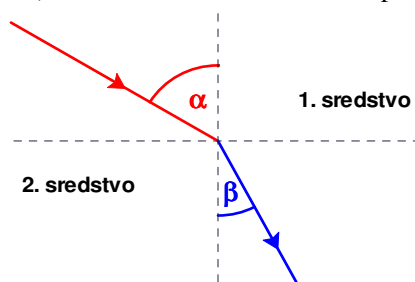
Rješenje 242

$$\alpha = 45^\circ, \quad n = 0.880, \quad \beta = ?$$

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 stalna je broj koji nazivamo indeksom loma n . Upadni kut α i kut loma β vezani su jednadžbom (Snelliusov zakona):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$$

Ako je prvo sredstvo vakuum (zrak), tada indeks loma nazivamo apsolutnim indeksom loma n .



Na granici dvaju optičkih sredstava svjetlost skreće od prvobitnog pravocrtnog smjera (lomi se) prema zakonu:

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

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. Brzina svjetlosti različita je u različitim materijalima pa se svjetlost u njima različito lomi. Ako je optički gušće sredstvo brzina je manja. Ako je optički rjeđe sredstvo brzina je veća. To svojstvo materijala naziva se indeks loma (n). Apsolutni indeks loma: svjetlost prelazi iz vakuuma (ili zraka) u promatrano sredstvo. Relativni indeks loma: svjetlost prelazi iz jednog sredstva u drugo, a niti jedno nije vakuum ili zrak.

$$\frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}.$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n}{1} \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n}{1} \cdot \sin \beta \Rightarrow \sin \alpha = n \cdot \sin \beta \Rightarrow n \cdot \sin \beta = \sin \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n \cdot \sin \beta = \sin \alpha \cdot \frac{1}{n} \Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \Rightarrow \beta = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{n} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{\sin 45^\circ}{0.880} \right) = 53^\circ 28' 7''.$$

Vježba 242

Zraka svjetlosti prelazi iz stakla u vodu pod kutom 50° . Koliki je kut loma ako je indeks loma vode s obzirom na staklo 0.880?

Rezultat: $60^\circ 31' 3''$.

Zadatak 243 (Frenky, gimnazija)

Za koliko će se posto promijeniti brzina svjetlosti kada iz zraka prijeđe u vodu? (indeks loma vode $n = 4/3$)

Rješenje 243

$$n = \frac{4}{3}, \quad p = ?$$

Pri prijelazu svjetlosti iz jednog optičkog sredstva u drugo frekvencija ostaje nepromijenjena, a valna se duljina i brzina mijenjaju. Apsolutni indeks loma n nekog prozirnog sredstva jednak je kvocijentu brzine svjetlosti u vakuumu c i brzine svjetlosti v u tom sredstvu.

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n}$$

Stoti dio nekog broja naziva se postotak. Piše se kao razlomak s nazivnikom 100. Postotak p je broj jedinica koji se uzima od 100 jedinica neke veličine.

Na primjer,

$$9\% = \frac{9}{100}, \quad 81\% = \frac{81}{100}, \quad 4.5\% = \frac{4.5}{100}, \quad 547\% = \frac{547}{100}, \quad p\% = \frac{p}{100}.$$

Relativna promjena brzine iznosi:

$$p = \frac{\Delta c}{c} \Rightarrow p = \frac{c-v}{c} \Rightarrow p = \frac{c-\frac{c}{n}}{c} \Rightarrow p = \frac{c \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right)}{c} \Rightarrow p = \frac{c \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right)}{c} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = 1 - \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{\frac{4}{3}} = 1 - \frac{1}{\frac{4}{3}} = 1 - \frac{3}{4} = \frac{4-3}{4} = \frac{1}{4} = 0.25 = \frac{25}{100} = 25\%.$$

Vježba 243

Za koliko će se posto promijeniti brzina svjetlosti kada iz zraka prijeđe u eter? (indeks loma etera $n = 1.35$)

Rezultat: 25.93%.

Zadatak 244 (Frenky, gimnazija)

Zraka svjetlosti pada na tekućinu ($n = 1.29$). Koliki mora biti upadni kut da reflektirana zraka stoji okomito na lomljenoj?

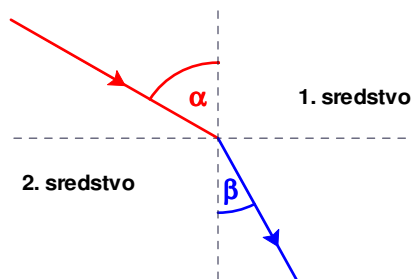
Rješenje 244

$$n = 1.29, \quad \alpha + \beta = 90^\circ, \quad \alpha = ?$$

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):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$$

Ako je prvo sredstvo vakuum (zrak), tada indeks loma nazivamo apsolutnim indeksom loma n .



Na granici dvaju optičkih sredstava svjetlost skreće od prvobitnog pravocrtnog smjera (lomi se) prema zakonu:

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

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. Brzina svjetlosti različita je u različitim materijalima pa se svjetlost u njima različito lomi. Ako je optički gušće sredstvo brzina je manja. Ako je optički rjeđe sredstvo brzina je veća. To svojstvo materijala naziva se indeks loma (n). Apsolutni indeks loma: svjetlost prelazi iz vakuuma (ili zraka) u promatrano sredstvo. Relativni indeks loma: svjetlost prelazi iz jednog sredstva u drugo, a niti jedno nije vakuum ili zrak.

$$\frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}.$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha + \beta = 90^\circ \\ \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \beta = 90^\circ - \alpha \\ \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = n \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = n \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = n \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = \operatorname{tg}^{-1} n \Rightarrow \alpha = \operatorname{tg}^{-1} 1.29 = 52^\circ 13' 3''.$$

Vježba 244

Zraka svjetlosti pada na tekućinu ($n = 1.20$). Koliki mora biti upadni kut da reflektirana zraka stoji okomito na lomljenoj?

Rezultat: $50^\circ 11' 40''$.

Zadatak 245 (Josip, srednja škola)

Točkasti izvor svjetlosti nalazi se na 2 m ispred tanke leće. Slika tog izvora nalazi se 2 m iza leće. Jakost leće iznosi:

- A. +1 dioptriju B. +2 dioptrijske C. -2 dioptrijske D. -1 dioptriju

Rješenje 245

$$a = 2 \text{ m}, \quad b = 2 \text{ m}, \quad C = ?$$

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim ploham, 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 ($b < 0, f < 0$).

Jakost ili konvergencija leće C jest recipročna vrijednost žarišne (fokalne) daljine:

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

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = C \Rightarrow C = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \Rightarrow C = \frac{b+a}{a \cdot b} = \frac{2 \text{ m} + 2 \text{ m}}{2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}} = 1 \frac{1}{\text{m}} = +1 \text{ dioptrija}.$$

Odgovor je pod A.

Vježba 245

Točkasti izvor svjetlosti nalazi se na 20 dm ispred tanke leće. Slika tog izvora nalazi se 20 dm iza leće. Jakost leće iznosi:

- A. +1 dioptriju B. +2 dioptrijske C. -2 dioptrijske D. -1 dioptriju

Rezultat: A.

Zadatak 246 (Josip, srednja škola)

Realni predmet nalazi se ispred divergentne leće u njezinom žarištu. Ako je visina predmeta označena s y , tada je visina slike:

A. $2 \cdot y$ B. y C. $\frac{y}{2}$ D. $-\frac{y}{2}$

Rješenje 246

a, $f = -a$ **divergentna leća**, $y' = ?$

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim ploham, 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:

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

Najprije odredimo b udaljenost slike od leće.

$$\begin{aligned} \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} &\Rightarrow \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} \Rightarrow \frac{1}{b} = \frac{1}{-a} - \frac{1}{a} \Rightarrow \frac{1}{b} = \frac{-1-1}{a} \Rightarrow \frac{1}{b} = -\frac{2}{a} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \left[\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \right] \Rightarrow b = -\frac{a}{2}. \end{aligned}$$

Visina slike iznosi:

$$\frac{y'}{y} = -\frac{b}{a} \Rightarrow \frac{y'}{y} = -\frac{b}{a} \cdot y \Rightarrow y' = -\frac{b}{a} \cdot y = -\frac{-a}{2} \cdot y = \frac{a}{2} \cdot y = \frac{a}{2} \cdot y = \frac{1}{2} \cdot y = \frac{y}{2}.$$

Odgovor je pod C.

Vježba 246

Realni predmet nalazi se ispred divergentne leće u njezinom žarištu. Ako je visina predmeta označena s $2 \cdot y$, tada je visina slike:

A. $2 \cdot y$ B. y C. $\frac{y}{2}$ D. $-\frac{y}{2}$

Rezultat: B

Zadatak 247 (Lorenzo, srednja škola)

Brewsterov kut za neko prozirno sredstvo iznosi 60° . Kolika je brzina svjetlosti u tom sredstvu? (brzina svjetlosti u praznini $c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

Rješenje 247

$\alpha = 60^\circ$, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, $v = ?$

Pri prijelazu svjetlosti iz jednog optičkog sredstva u drugo frekvencija ostaje nepromijenjena, a valna se duljina i brzina mijenjaju. Apsolutni indeks loma n nekog prozirnog sredstva jednak je kvocijentu brzine svjetlosti u vakuumu c i brzine svjetlosti v u tom sredstvu.

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n}.$$

Kada nepolarizirana svjetlost upada pod kutom α na graničnu plohu prozirnog sredstva djelomično se reflektira, a djelomično lomi. **Reflektirana svjetlost je potpuno polarizirana samo u slučaju kada**

reflektirana i lomljena zraka zatvaraju pravi kut (90°).

Ako je tangens kuta upadanja nepolarizirane zrake na neko sredstvo jednak indeksu loma tog sredstva reflektirana je zraka polarizirana, tj.

$$\operatorname{tg} \alpha = n,$$

gdje je α upadni kut zrake svjetlosti, a n indeks loma sredstva u koje zrake padaju.

$$\left. \begin{array}{l} \operatorname{tg} \alpha = n \\ v = \frac{c}{n} \end{array} \right\} \Rightarrow v = \frac{c}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{\operatorname{tg} 60^\circ} = 1.73 \cdot 10^8 \frac{m}{s}.$$

Vježba 247

Brewsterov kut za neko prozirno sredstvo iznosi 50° . Kolika je brzina svjetlosti u tom sredstvu? (brzina svjetlosti u praznini $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rezultat: $2.52 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.

Zadatak 248 (Ante, tehnička škola)

Dvije leće žarišnih daljina 25 cm i 20 cm smještene su na razmaku 80 cm, tako da imaju zajedničku optičku os. Predmet se nalazi 60 cm ispred prve leće. Gdje će nastati slika predmeta?

Rješenje 248

$$f_1 = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}, \quad f_2 = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m}, \quad d = 80 \text{ cm} = 0.80 \text{ m}, \quad a_1 = 60 \text{ cm} = 0.60 \text{ m},$$

$$b_2 = ?$$

Leće su prozirna tijela, omeđena dvjema sfernim ploham, 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.

Računamo udaljenost slike od prve leće.

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f_1} \Rightarrow \frac{1}{b_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{a_1} \Rightarrow \frac{1}{b_1} = \frac{a_1 - f_1}{f_1 \cdot a_1} \Rightarrow \left[\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow b_1 = \frac{f_1 \cdot a_1}{a_1 - f_1} = \frac{0.25 \text{ m} \cdot 0.60 \text{ m}}{0.60 \text{ m} - 0.25 \text{ m}} = 0.4286 \text{ m} = 42.86 \text{ cm}.$$

Budući da je slika nastala prvom lećom predmet za drugu leću, vrijedi:

$$\left. \begin{array}{l} a_2 = d - b_1 \\ \frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} a_2 = d - b_1 \\ \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{a_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{1}{b_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{d - b_1} \Rightarrow \frac{1}{b_2} = \frac{d - b_1 - f_2}{f_2 \cdot (d - b_1)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left[\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \right] \Rightarrow b_2 = \frac{f_2 \cdot (d - b_1)}{d - b_1 - f_2} =$$

$$= \frac{0.20 \text{ m} \cdot (0.80 \text{ m} - 0.4286 \text{ m})}{0.80 \text{ m} - 0.4286 \text{ m} - 0.20 \text{ m}} = 0.4334 \text{ m} = 43.34 \text{ cm}.$$

Vježba 248

Dvije leće žarišnih daljina 2.5 dm i 200 mm smještene su na razmaku 0.80 m, tako da imaju zajedničku optičku os. Predmet se nalazi 60 cm ispred prve leće. Gdje će nastati slika predmeta?

Rezultat: $b_2 = 43.34 \text{ cm}$.

Zadatak 249 (Tea, gimnazija)

Tea ☺ stoji na udaljenosti 1 m od vertikalnog ravnog zrcala. Koliko je slika njezinog stopala udaljena od očiju ako se oči nalaze na visini 160 cm?

Rješenje 249

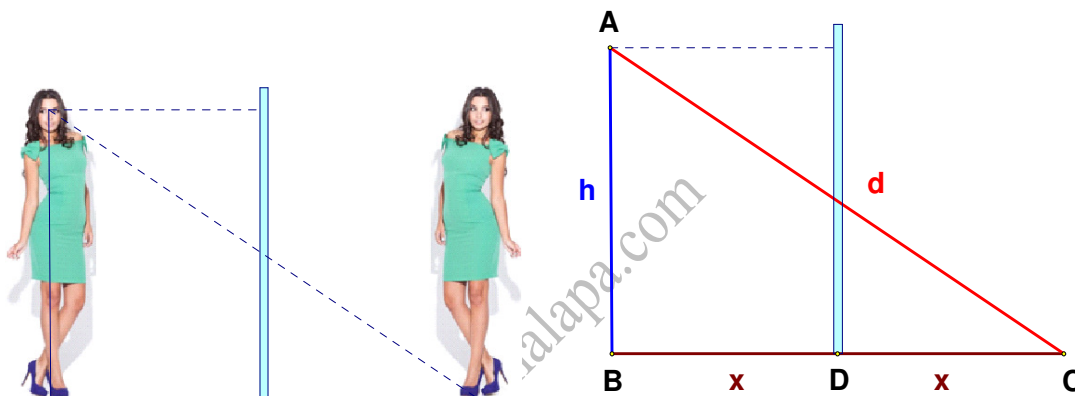
$$x = 1 \text{ m}, \quad h = 160 \text{ cm} = 1.6 \text{ m}, \quad d = ?$$

Zrcalo je svaka ugladena ploha koja dobro i pravilno reflektira svjetlost. Ravno zrcalo je zrcalo koje za dioptrijsku plohu ima ravninu. Ravno zrcalo je ravna glatka ploha koja može odbijati zrake svjetlosti prema zakonu odbijanja. Plohe dobrih zrcala su tanki slojevi srebra naparenog na ravne staklene podloge. Ravno zrcalo daje virtualnu uspravnu i stigmatičnu sliku (stigmatična slika znači da je ogledalo sposobno za točno i oštro odslikavanje predmeta). Slika u ravnom zrcalu je simetrična s predmetom i virtualna.

Trokut je dio ravnine omeđen s tri dužine. Te dužine zovemo stranice trokuta.

Pravokutni trokuti imaju jedan pravi kut (kut od 90°). 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.



Sa slika vidi se:

$$|AB| = h = 1.6 \text{ m}, \quad |BD| = |DC| = x = 1 \text{ m}, \quad |BC| = 2 \cdot x = 2 \text{ m}, \quad |AC| = d$$

Uočimo pravokutan trokut ABC i uporabimo Pitagorin poučak.

$$\begin{aligned} |AC|^2 &= |AB|^2 + |BC|^2 \Rightarrow |AC|^2 = |AB|^2 + |BC|^2 \quad \checkmark \Rightarrow \\ \Rightarrow |AC| &= \sqrt{|AB|^2 + |BC|^2} \Rightarrow d = \sqrt{(1.6 \text{ m})^2 + (2 \text{ m})^2} = 2.56 \text{ m}. \end{aligned}$$

Vježba 249

Osoba stoji na udaljenosti 100 cm od vertikalnog ravnog zrcala. Koliko je slika njezinog stopala udaljena od očiju ako se oči nalaze na visini 16 dm?

Rezultat: 2.56 m.

Zadatak 250 (Amir, tehnička škola)

Ukupni svjetlosni tok koji daje izotropni svjetlosni izvor ima 1256 lm.

a) Kolika je jakost izvora svjetlosti?

b) Kolika je osvijetljenost neke točke na površini okomitoj na zrake ako je točka udaljena 2 m?

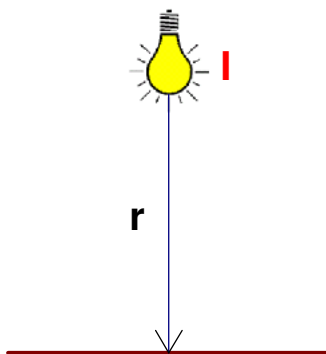
Rješenje 250

$$\Phi = 1256 \text{ lm}, \quad r = 2 \text{ m}, \quad I = ?, \quad E = ?$$

Jakost izvora I i svjetlosni tok Φ povezani su izrazom

$$I = \frac{\Phi}{\Omega},$$

gdje je Ω prostorni kut koji je određen omjerom površine koju taj kut izrezuje na sferi polumjera r .



Za točkasti izvor svjetlosti, jakosti I , osvijetljenje E (iluminacija) iznosi:

$$E = \frac{I}{r^2},$$

gdje je r udaljenost izvora od promatrane plohe, a svjetlost okomito pada na plohu.

a)

Budući da je cijeli prostor obuhvaćen prostornim kutom $\Omega = 4 \cdot \pi$, slijedi:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} = \frac{1256 \text{ lm}}{4 \cdot \pi} = 99.95 \text{ cd} \approx 100 \text{ cd}.$$

b)

Osvjetljenje točke na površini okomitoj na zrake ako je točka udaljena r , iznosi:

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{100 \text{ cd}}{(2 \text{ m})^2} = 25 \text{ lx}.$$

Vježba 250

Ukupni svjetlosni tok koji daje izotropni svjetlosni izvor ima 2512 lm. Kolika je jakost izvora svjetlosti?

Rezultat: 200 cd.

Zadatak 251 (Ante, srednja škola)

Valna duljina žute natrijeve svjetlosti u vakuumu je $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$. Izračunajte:

a) valnu duljinu

b) frekvenciju

c) brzinu svjetlosti u vodi.

(indeks loma vode $n = 1.33$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rješenje 251

$$\lambda_0 = 589 \text{ nm} = 5.89 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad n = 1.33, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \quad \lambda = ?, \quad \nu = ?, \quad v = ?$$

Indeks loma n nekog prozirnog sredstva jednak je kvocijentu brzine svjetlosti c u vakuumu i brzine svjetlosti v u tom sredstvu.

$$n = \frac{c}{v}.$$

Sveza između valne duljine λ , frekvencije ν i brzine v dana je relacijama:

$$v = \lambda \cdot \nu \Rightarrow \lambda = \frac{v}{\nu} \Rightarrow \nu = \frac{v}{\lambda}.$$

a) Pri prijelazu svjetlosti iz vakuuma u vodu valna duljina se smanji, a frekvencija ostaje ista.

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_0 = \frac{c}{\nu} \text{ valna duljina u vakuumu} \\ \lambda = \frac{v}{\nu} \text{ valna duljina u vodi} \\ n = \frac{c}{v} \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{podijelimo prve} \\ \text{dvije jednađbe} \end{array} \right] \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \\ n = \frac{c}{v} \end{array} \right\} \Rightarrow \\
 \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \\ n = \frac{c}{v} \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \\ n = \frac{c}{v} \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{pomnožimo} \\ \text{jednađbe} \end{array} \right] \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_0} \cdot n = \frac{v}{c} \cdot \frac{c}{v} \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_0} \cdot n = \frac{v}{c} \cdot \frac{c}{v} \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_0} \cdot n = 1 \Rightarrow \frac{\lambda}{\lambda_0} \cdot n = 1 \cdot \frac{\lambda_0}{n} \Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{5.89 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{1.33} = 4.43 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 443 \text{ nm}.$$

b) Frekvencija iznosi:

$$\nu = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5.89 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 5.09 \cdot 10^{14} \text{ Hz}.$$

c) Brzina svjetlosti u vodi je:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.33} = 2.26 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Vježba 251

Kolika je brzina svjetlosti u dijamantu? (indeks loma dijamanta $n = 2.42$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rezultat: $1.24 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zadatak 252 (Tea, gimnazija)

Predmet i realna slika međusobno su udaljeni 60 cm. Slika je 2 puta veća od predmeta. Kolika je žarišna daljina zrcala?

Rješenje 252

$$d = 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m}, \quad \gamma = -2, \quad f = ?$$

Sferno zrcalo je dio kugline površine, tj. ono je kalota kugle. Jednađba 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 udaljenost fokusa (žarišta) od tjemena zrcala, vrijedi jednađba:

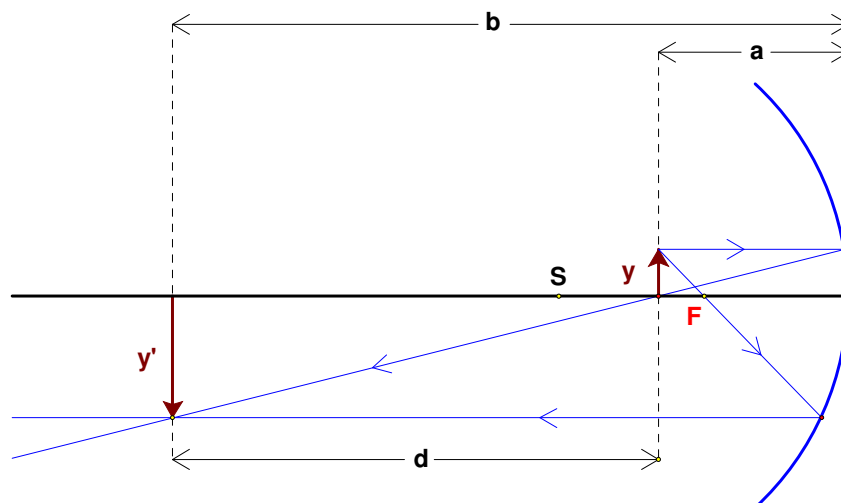
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Konveksna zrcala ne daju realnu sliku, nego prividnu (virtualnu).

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, a kad je pozitivan, slika je uspravna.



Konkavno sferno zrcalo daje realnu i uvećanu sliku kada je predmet između žarišta F i središta zakrivljenosti S. Slika je obrnuta pa je povećanje γ negativno. Udaljenost slike b veća je od udaljenosti predmeta a , stoga je

$$b - a = d.$$

Iz uvjeta zadatka dobije se:

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

Računamo b .

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

Iz jednadžbe zrcala dobije se f .

$$\left. \begin{array}{l} a = d, b = 2 \cdot d \\ \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{1}{d} + \frac{1}{2 \cdot d} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{2+1}{2 \cdot d} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{3}{2 \cdot d} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{3}{2 \cdot d} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left[\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \right] \Rightarrow f = \frac{2 \cdot d}{3} = \frac{2 \cdot 0.6 \text{ m}}{3} = 0.4 \text{ m} = 40 \text{ cm}.$$

Vježba 252

Predmet i realna slika međusobno su udaljeni 600 mm. Slika je 2 puta veća od predmeta. Kolika je žarišna daljina zrcala?

Rezultat: 400 mm.

Zadatak 253 (Matko, srednja škola)

Pri prijelazu iz vakuumu u neko sredstvo svjetlost upada pod kutom 60° , a lomi se pod kutom 30° . Kolika je brzina svjetlosti u sredstvu, ako je brzina svjetlosti u vakuumu c ?

- A. $0.58 \cdot c$ B. $1.73 \cdot c$ C. $0.85 \cdot c$ D. c

Rješenje 253

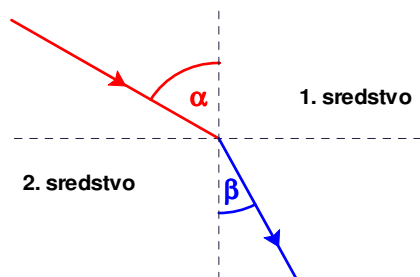
$$\alpha = 60^\circ, \quad \beta = 30^\circ, \quad v_1 = c, \quad v_2 = ?$$

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. Upadni kut α i kut loma β vezani su jednažbom (Snelliusov zakona):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2},$$

gdje su v_1 i v_2 brzine svjetlosti u prvom i drugom sredstvu.



$$\begin{aligned} \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} &\Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{v_2 \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1 \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} \Rightarrow v_2 = \frac{c \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} = \\ &= \frac{c \cdot \sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = 0.58 \cdot c. \end{aligned}$$

Odgovor je pod A.

Vježba 253

Pri prijelazu iz vakuumu u neko sredstvo svjetlost upada pod kutom 30° , a lomi se pod kutom 60° . Kolika je brzina svjetlosti u sredstvu, ako je brzina svjetlosti u vakuumu c ?

- A. $0.58 \cdot c$ B. $1.73 \cdot c$ C. $0.85 \cdot c$ D. c

Rezultat: D.

Zadatak 254 (Matko, srednja škola)

Pri prolasku dva svjetlosna vala kroz vakuum omjer njihovih valnih duljina je $1 : 4$. Frekvencije tih valova imaju omjer:

- A. $1 : 4$ B. $1 : 2$ C. $4 : 1$ D. $2 : 1$

Rješenje 254

$$\lambda_1 : \lambda_2 = 1 : 4, \quad v_1 : v_2 = ?$$

Prema valnoj ili undulatornoj teoriji svjetlost se širi u valovima za koje vrijedi jednažba

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

gdje je c brzina širenja, λ duljina vala, ν frekvencija (učestalost).

$$\begin{aligned} \lambda_1 : \lambda_2 = 1 : 4 &\Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{\frac{c}{\nu_1}}{\frac{c}{\nu_2}} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{4}{1} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{4}{1} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \left[\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \Rightarrow \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \right] \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{4}{1} \Rightarrow v_1 : v_2 = 4 : 1. \end{aligned}$$

Odgovor je pod C.

Vježba 254

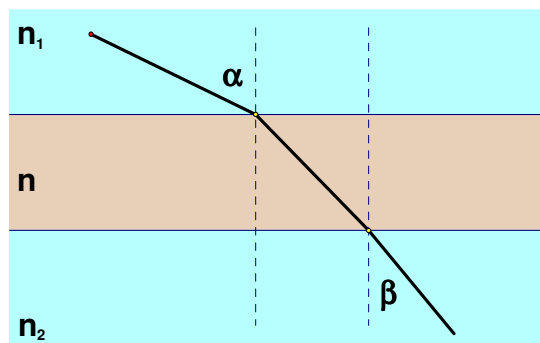
Pri prolasku dva svjetlosna vala kroz vakuum omjer njihovih valnih duljina je 1 : 2. Frekvencije tih valova imaju omjer:

- A. 1 : 4 B. 1 : 2 C. 4 : 1 D. 2 : 1

Rezultat: D.

Zadatak 255 (Mario, srednja škola)

Između dvije staklene pločice indeksa loma n_1 i n_2 nalazi se sloj tekućine indeksa loma n . Vidi sliku! Zraka svjetlosti pada na prvu pločicu pod kutom α , prolazi kroz sloj tekućine i ulazi u drugu ploču pod kutom β . Dokažite da za kutove α i β vrijedi zakon loma neovisno o sloju tekućine između pločica.



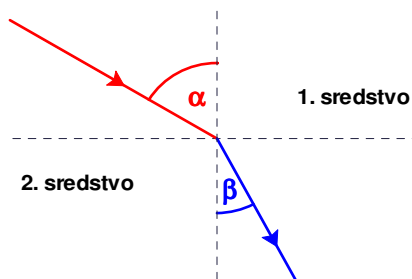
Rješenje 255

n_1 , n_2 , n

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):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$$

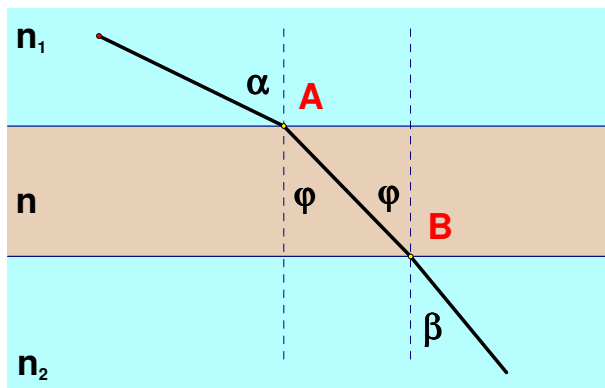
Ako je prvo sredstvo vakuum (zrak), tada indeks loma nazivamo apsolutnim indeksom loma n .



Na granici dvaju optičkih sredstava svjetlost skreće od prvobitnog pravocrtnog smjera (lomi se) prema zakonu:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1},$$

gdje je α upadni kut, β kut loma, n_1 apsolutni indeks loma prvog sredstva, n_2 apsolutni indeks loma drugog sredstva.



Sa slike vidi se da za zakon loma u točki A vrijedi

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} = \frac{n}{n_1},$$

a u točki B

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n}.$$

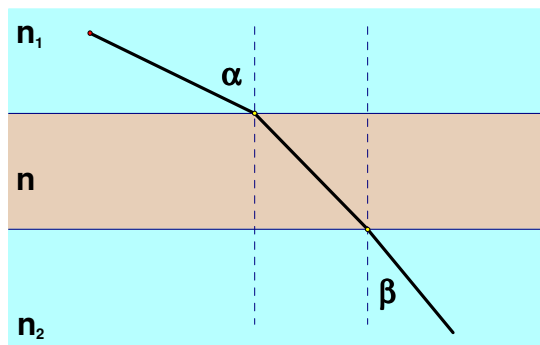
Tada je:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} = \frac{n}{n_1} \\ \frac{\sin \varphi}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n} \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{pomnožimo} \\ \text{jednadžbe} \end{array} \right] \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \beta} = \frac{n}{n_1} \cdot \frac{n_2}{n} \Rightarrow$$

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

Vježba 255

Između dvije staklene pločice indeksa loma n_1 i n_2 nalazi se sloj tekućine indeksa loma 1.2. Vidi sliku! Zraka svjetlosti pada na prvu pločicu pod kutom α , prolazi kroz sloj tekućine i ulazi u drugu ploču pod kutom β . Dokažite da za kutove α i β vrijedi zakon loma neovisno o sloju tekućine između pločica.



Rezultat: Dokaz analogan.

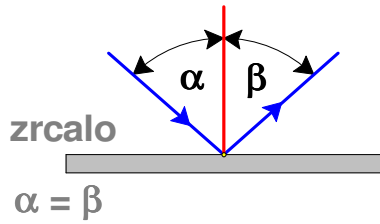
Zadatak 256 (Anita, srednja škola)

Zraka svjetlosti pada na površinu stola pod kutom 48° . Kako treba postaviti ravno zrcalo da bi reflektirana zraka svjetlosti bila usporedna sa površinom stola?

Rješenje 256

$$\alpha = 48^\circ, \quad \beta = ?$$

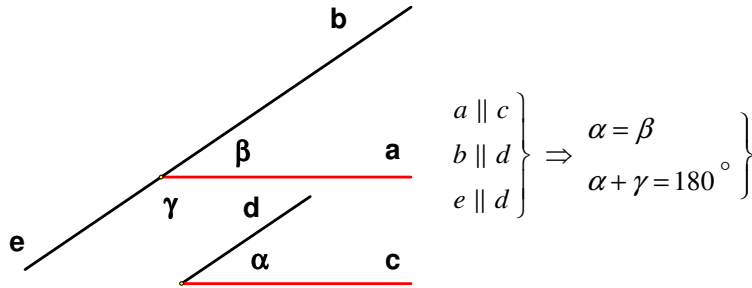
Ponovimo!



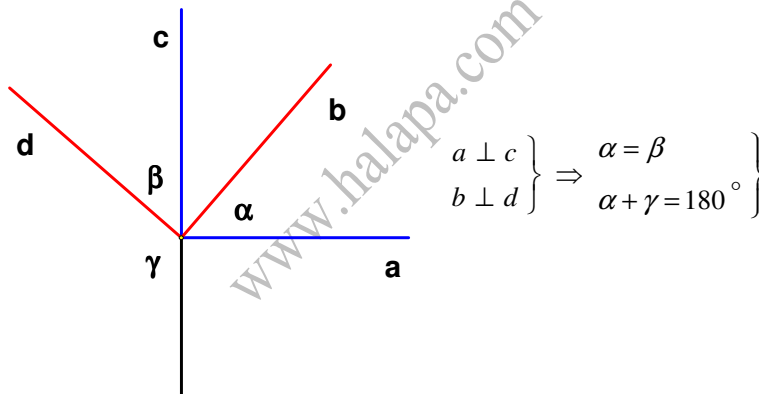
Ako zraka svjetlosti pada na ravno zrcalo, tj. na ravninu koja odbija ili reflektira zrake svjetlosti, onda upadna zraka, okomica na granicu sredstva u upadnoj točki i reflektirana zraka leže u istoj ravnini okomitoj na ravninu zrcala. Upadnim kutom α zovemo kut između upadne zrake i okomice, a kutom odraza ili refleksije β kut između reflektirane zrake i okomice. Kut upada α jednak je kutu refleksije β :

$$\text{kut upada} = \text{kut refleksije}, \quad \alpha = \beta.$$

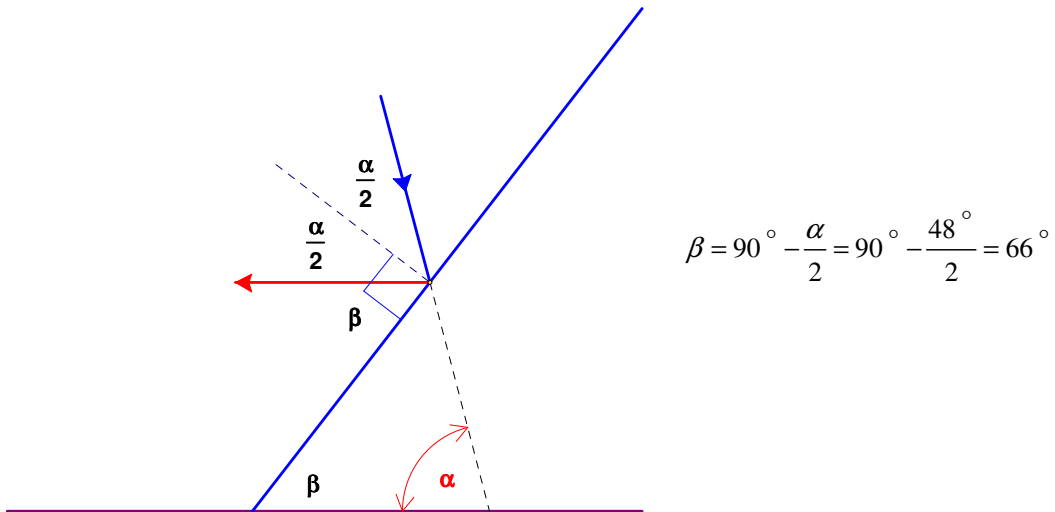
Kutovi sa paralelnim kracima sukladni su ili suplementni.

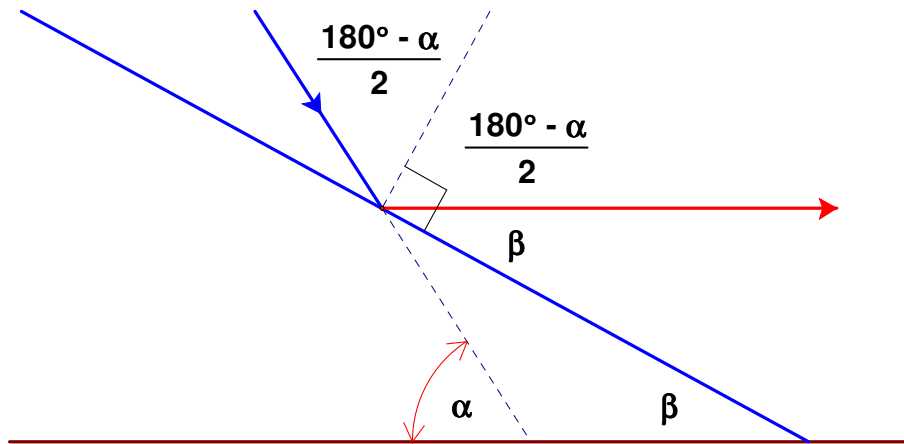


Kutovi s okomitim kracima sukladni su ili suplementni.



Uporabom zakona refleksije dobije se kut od 66° ili pak kut od 24° .





$$\beta = 90^\circ - \frac{180^\circ - \alpha}{2} = \frac{90^\circ}{1} - \frac{180^\circ - \alpha}{2} = \frac{180^\circ - 180^\circ + \alpha}{2} = \frac{180^\circ - 180^\circ + \alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} = \frac{48^\circ}{2} = 24^\circ.$$

Vježba 256

Zraka svjetlosti pada na površinu stola pod kutom 40° . Kako treba postaviti ravno zrcalo da bi reflektirana zraka svjetlosti bila usporedna sa površinom stola?

Rezultat: $70^\circ, 20^\circ$.

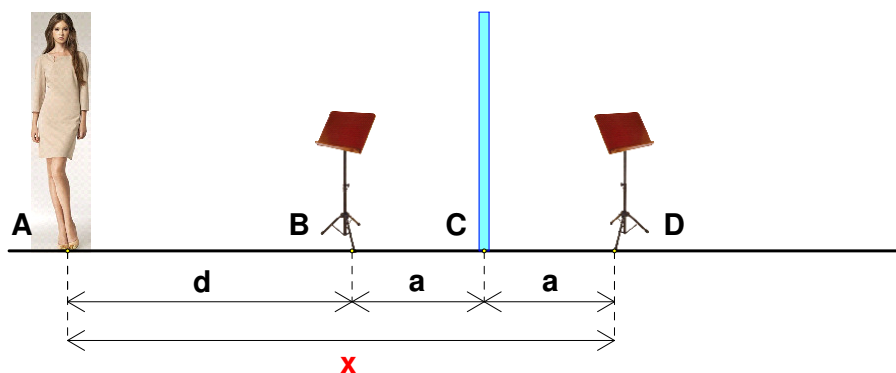
Zadatak 257 (Amra, gimnazija)

Predmet se nalazi 1 m ispred ravnog zrcala. Tri metra iza predmeta nalazi se Amra ☺. Na kojoj se udaljenosti od Amre nalazi slika predmeta?

Rješenje 257

$$a = 1 \text{ m}, \quad d = 3 \text{ m}, \quad x = ?$$

Zrcalo je svaka uglađena ploha koja dobro i pravilno reflektira svjetlost. Ravno zrcalo je zrcalo koje za dioptrijsku plohu ima ravninu. Ravno zrcalo je ravna glatka ploha koja može odbijati zrake svjetlosti prema zakonu odbijanja. Plohe dobrih zrcala su tanki slojevi srebra naparenog na ravne staklene podloge. Ravno zrcalo daje virtualnu uspravnu i stigmatičnu sliku (stigmatična slika znači da je ogledalo sposobno za točno i oštro odslikavanje predmeta). Slika u ravnom zrcalu je simetrična s predmetom i virtualna.



Sa slike vidi se:

$$|AB| = d, \quad |BC| = |CD| = a, \quad |AD| = x$$

Tražena udaljenost iznosi:

$$|AD| = |AB| + |BC| + |CD| \Rightarrow x = d + a + a \Rightarrow x = d + 2 \cdot a = 3 \text{ m} + 2 \cdot 1 \text{ m} = 5 \text{ m}.$$

Vježba 257

Predmet se nalazi 3 m ispred ravnog zrcala. Jedan metar iza predmeta nalazi se promatrač. Na kojoj se udaljenosti od promatrača nalazi slika predmeta?

Rezultat: 7 m.

Zadatak 258 (Toni, tehnička škola)

Koliko mora biti visoko Sunce (kut iznad horizonta) da bi Sunčeve zrake reflektirane od površine vode bile polarizirane? (indeks loma vode $n = 1.33$)

Rješenje 258

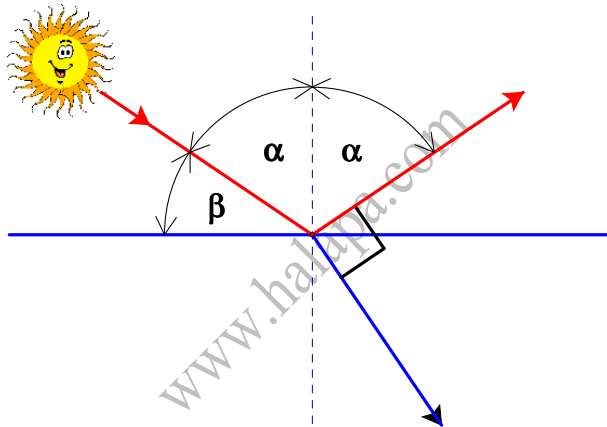
$$n = 1.33, \quad \beta = ?$$

Kada nepolarizirana svjetlost upada pod kutom α na graničnu plohu prozirnog sredstva djelomično se reflektira, a djelomično lomi. Reflektirana svjetlost je potpuno polarizirana samo u slučaju kada reflektirana i lomljena zraka zatvaraju pravi kut (90°).

Ako je tangens kuta upadanja nepolarizirane zrake na neko sredstvo jednak indeksu loma tog sredstva reflektirana je zraka polarizirana, tj.

$$\operatorname{tg} \alpha = n,$$

gdje je α upadni kut zrake svjetlosti, a n indeks loma sredstva u koje zrake padaju.



$$\operatorname{tg} \alpha = n \Rightarrow \alpha = \operatorname{tg}^{-1} n \Rightarrow \alpha = \operatorname{tg}^{-1} 1.33 \Rightarrow \alpha = 53^\circ 3' 40''.$$

Kut β iznad horizonta (visina Sunca) je komplement kuta α pa slijedi:

$$\begin{aligned} \alpha + \beta = 90^\circ &\Rightarrow \beta = 90^\circ - \alpha \Rightarrow \beta = 90^\circ - 53^\circ 3' 40'' \Rightarrow \beta = 89^\circ 59' 60'' - 53^\circ 3' 40'' \Rightarrow \\ &\Rightarrow \beta = 36^\circ 56' 20''. \end{aligned}$$

Vježba 258

Koliko mora biti visoko Sunce (kut iznad horizonta) da bi Sunčeve zrake reflektirane od površine vode bile polarizirane? (indeks loma vode $n = 1.73$)

Rezultat: 30° .

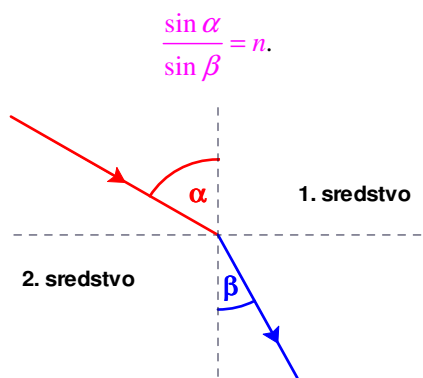
Zadatak 259 (Toni, tehnička škola)

Pod kojim kutom vidi ronilac pod vodom Sunce koje je u zenitu? (indeks loma vode $n = 1.33$)

Rješenje 259

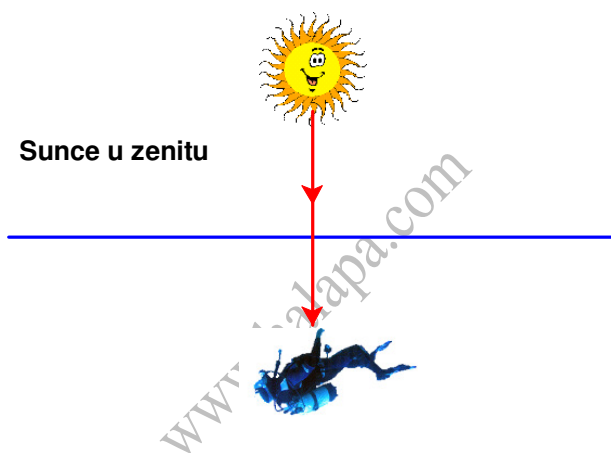
$$\alpha = 0^\circ \text{ upadni kut zrake Sunca u zenitu, } n = 1.33, \quad \beta = ?$$

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):



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \Rightarrow n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \Rightarrow n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{\sin \beta}{n} \Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin 0^\circ}{1.33} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sin \beta = \frac{0}{1.33} \Rightarrow \sin \beta = 0 \Rightarrow \beta = \sin^{-1} 0 \Rightarrow \beta = 0^\circ.$$



Vježba 259

Pod kojim kutom vidi ronilac pod vodom Sunce koje je u zenitu? (indeks loma vode $n = 1.73$)

Rezultat: $\beta = 0^\circ$.

Zadatak 260 (Jasmina, gimnazija)

Polumjer zakrivljenosti konkavnog zrcala je 60 cm. Na kojoj udaljenosti od zrcala treba postaviti predmet da bi reflektirane zrake bile međusobno usporedne (paralelne)?

Rješenje 260

$$R = 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m}, \quad b = \infty \text{ reflektirane zrake usporedne su}, \quad a = ?$$

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 udaljenost fokusa (žarišta) od tjemena i sa R polumjer zakrivljenosti zrcala, vrijede jednadžbe:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{R}.$$

Za žarišnu (fokalnu) daljinu vrijedi:

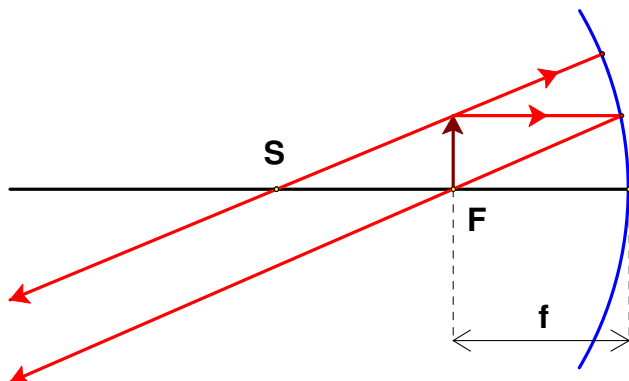
$$f = \frac{R}{2}.$$

Žarišna daljina zadanog zrcala iznosi je

$$f = \frac{R}{2} = \frac{0.6 \text{ m}}{2} = 0.3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$

pa dalje slijedi:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{a} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{a} + 0 = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{a} = \frac{1}{f} \Rightarrow a = f = 0.3 \text{ m} = 30 \text{ cm}.$$



Kada je predmet u fokusu ($a = f$) slika je u neizmjernosti. Slika 'nastaje' beskonačno daleko, tj. na konačnoj udaljenosti ne postoji jer su reflektirane zrake međusobno usporedne (paralelne).



Izraz $\frac{1}{\infty} = 0$ nije matematički korektno napisan, ali za naše potrebe može poslužiti.

Vježba 260

Polumjer zakrivljenosti konkavnog zrcala je 40 cm. Na kojoj udaljenosti od zrcala treba postaviti predmet da bi reflektirane zrake bile međusobno usporedne (paralelne)?

Rezultat: $a = 20 \text{ cm}.$