

# predavanje 9: Geometrijska optika

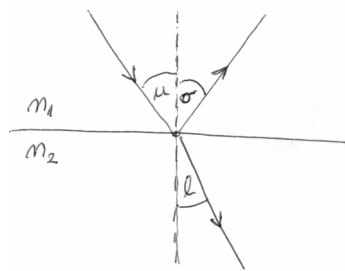
## 1. Što je geometrijska optika ? Kako glasi zakon loma i refleksije. Kako se ponašaju valna duljina i frekvencijom svjetlosti pri prijelazu iz jednog sredstva u drugo. (obavezno)

Geometrijska optika je dio optike u kojoj se za opis svjetlosnih pojava služimo svjetlosnom zrakom. Pomoću **tri osnovna zakona geometrijske optike** mogu se objasniti svojstva zrcala i leća, te načine na koje pomoću njih nastaju slike. **Osnovni zakoni geometrijske optike su:**

### 1. zakon – zakon o pravocrtnom širenju svjetlosti

U optički jednolikom i prozirnom sredstvu zamišljamo da se svjetlost širi u zrakama koje su pravci. Taj je zakon primjenjiv kada je valna duljina svjetlosti vrlo malena prema dimenzijama optičke naprave.

### 2. zakon – zakon odbijanja ili refleksije



Ako na glatku plohu, padne zraka svjetlosti, ona se od nje odbije. Upadna zraka koja je normala na plohu i odbijena zraka leže u istoj ravnini. Pri tome je kut odbijanja  $o$  jednak upadnom kutu  $u$ . Kutevi se mjere s obzirom na normalu na graničnu plohu.

### 3. zakon – zakon loma ili refrakcije

Ako zraka svjetlosti prelazi iz jednoga sredstva u drugo, ona mijena smjer. Upadna zraka, normala na granicu u upadnoj točki i lomljena zraka, leže u istoj ravnini zajedno s odbijenom zrakom.

Upadni kut  $u$  i kut loma  $\ell$  povezani su Snellovim zakonom:

$$\frac{\sin u}{\sin \ell} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad \left( n_1 = \frac{c}{v_1} ; \quad n_2 = \frac{c}{v_2} \right)$$

gdje su  $n_1$  i  $n_2$  indeksi loma , dok su  $v_1$  i  $v_2$  fazne brzine svjetlosti u sredstvu 1 i 2.

- Kad se svjetlo širi iz jedne sredine u drugu njena frekvencija se ne mijenja
  - mijenja se valna duljina i brzina propagacije
- $v = f\lambda$ 
  - $f_1 = f_2$  ali  $v_1 \neq v_2$  pa je  $\lambda_1 \neq \lambda_2$

$$v = f\lambda$$

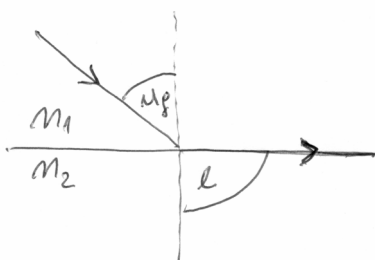
$$f_1 = f_2 \text{ ali } v_1 \neq v_2 \text{ pa je } \lambda_1 \neq \lambda_2$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n = \frac{\lambda}{\lambda_n} = \frac{(\lambda - \text{vakuum})}{(\lambda - \text{sredstvo})}$$

## 2. Objasnite nastanak totalne refleksije i navedite jednu njenu primjenu. (obavezno)

**Totalna refleksija** – Kada svjetlost prolazi iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo kut loma veći je od kuta upada. Postoji kut  $u_g$  koji zovemo granični kut, za koji je kut loma  $90^\circ$ , što znači da lomljena zraka ide točno granicom sredstva. Za kuteve veće od graničnog kuta ( $u > u_g$ ) svjetlost se reflektira u isto sredstvo i tu pojavu zovemo totalna refleksija.



Za granični kut vrijedi da je:

$$\sin u_g = \frac{n_2}{n_1}$$

Najčešća primjena totalne refleksije je u optičkim instrumentima i u svjetlovodima.

### 3. Što je to Fermatov princip. Izvedite zakon refleksije i loma iz Fermatovog principa.

**Fermatov princip** glasi: svjetlo koje se lomi i odbija prevaljuje toliki put između dviju točaka da pripadni optički put zrake ima ekstremnu vrijednost, odnosno svjetlo prelazi put u ekstremnom vremenu. Obično je taj ekstrem minimum.

Svjetlosni snop intenziteta  $I_o$  koji pada na graničnu plohu djelomično će se reflektirati, a djelomično lomiti (tj. transmitirati). Ako sredstvo ne apsorbira svjetlo, mora biti ispunjen uvjet:

$$\frac{I_r}{I_o} + \frac{I_t}{I_o} = \rho + \sigma = 1$$

gdje je  $I_r$  intenzitet reflektirane svjetlosti,  $I_t$  intenzitet transmitirane svjetlosti,  $\rho$  **faktor refleksije**, a  $\sigma$  **faktor transmisije**.

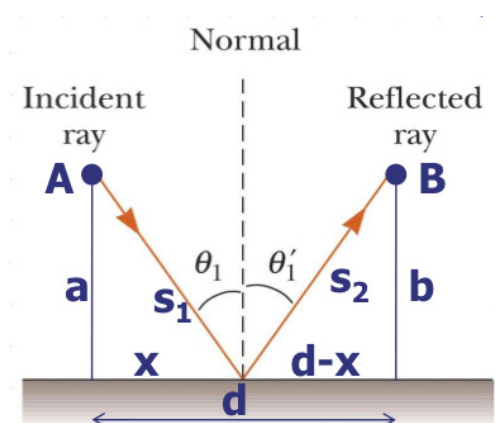
Vrijeme  $t_s$  u kojem svjetlo prijeđe put je:

$$t_s = \frac{s_u}{v_1} + \frac{s_r}{v_1} \quad \text{za slučaj odbijanja svjetla, a}$$

$$t_s = \frac{s_u}{v_1} + \frac{s_t}{v_2} \quad \text{za slučaj loma svjetla,}$$

gdje prijeđene puteve treba izraziti preko geometrijskih veličina.

#### ZAKON REFLEKSIJE



zakon refleksije:  $\angle u = \angle o$

$$s_u = \sqrt{a^2 + x^2} \quad ; \quad s_r = \sqrt{b^2 + (d-x)^2}$$

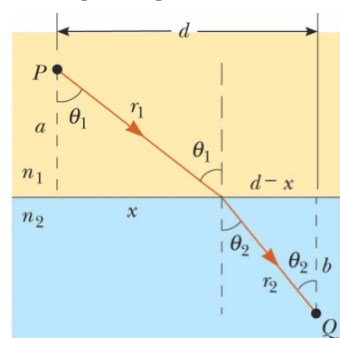
$$t = \frac{s_1}{v} + \frac{s_2}{v} = \frac{1}{v} (\sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{(d-x)^2 + b^2})$$

Na osnovi nužnog uvjeta za ekstrem ( $\frac{dt_s}{dx} = 0$ ) dobije se

$$\begin{aligned} \frac{dt}{dx} &= \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{d-x}{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}} = \\ &= \sin \theta_1 - \sin \theta_1' = 0, \text{ ili} \\ &\text{kut } \theta_1 = \text{kut } \theta_1' \quad (\text{zakon refleksije}) \end{aligned}$$

uvjet ekstrema

#### ZAKON LOMA



Fermatov princip: Svjetlost koja se lomi ili reflektira giba se između dvije točke putanjom koja zahtjeva najkraće vrijeme.

$$t = \frac{r_1}{v_1} + \frac{r_2}{v_2} = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{c/n_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}}{c/n_2}$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{n_1 x}{c\sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{n_2 (d-x)}{c\sqrt{b^2 + (d-x)^2}} = 0$$

$$n_1 \sin \theta_1 - n_2 \sin \theta_2 = 0$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (\text{zakon loma})$$

Uvjet ekstrema

$$\frac{\sin u}{\sin \ell} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

#### 4. Kako se konstruira slika sfernih zrcala. Kako se konstruira slika leća.

Sferna zrcala imaju oblik dijela sfere. **Konkavno ili udubljeno sferno zrcalo** ima reflektirajuću površinu na unutrašnjoj strani, konkavnoj stani krivulje.

**Konveksno ili ispupčeno sferno zrcalo** ima reflektirajuću površinu na vanjskom dijelu krivulje, konveksnoj strani krivulje.

Zrcalo ima radijus zakrivljenosti  $R$ . Centar zakrivljenosti je u točki  $C$ . Točka  $V$  (tjeme zrcala) se nalazi u centru sfernog segmenta. Linija od  $C$  do  $V$  se zove **glavna ili optička os**.

Slike sfernih zrcala mogu se odrediti pomoću sjecišta 4 karakteristične zrake koje se šire iz predmeta:

- Zraka 1 upada paralelno optičkoj osi i reflektira se kroz fokus  $F$ ,
- Zraka 2 prolazi kroz fokus i reflektira se paralelno optičkoj osi,
- Zraka 3 prolazi kroz centar zakrivljenosti i reflektira se sama u sebe,
- Zraka 4 reflektira se u tjemenu i vrijedi: kut upada=kut refleksije.

Leća je prozirno optičko tijelo omeđeno dvjema glatkim prozirnim površinama koje mogu biti ili obje zakrivljene, ili jedna zakrivljena a druga ravna.

Leća je prozirno optičko sredstvo omeđeno dvjema sfernim granicama (sferne leće) čiji centri zakrivljenosti leže na zajedničkoj optičkoj osi.

Ako se točkasti predmet nalazi na optičkoj osi u predmetnoj daljini  $a$ , **tanka leća** načini sliku na optičkoj osi u slikovnoj udaljenosti  $b$  prema relaciji ( $f$  – žarišna daljina):

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

Relacija vrijedi ako se leća nalazi u homogenom sredstvu jednog indeksa loma, npr. zraku

Žarišna udaljenost **konvergente** leće je **pozitivna**, a **divergentne** leće **negativna**.

Slika je **realna** ( $b > 0$ ) ako je **sa suprotne strane od predmeta**, a **virtualna** ( $b < 0$ ) ako je **s iste strane kao predmet**.

**Jakost ili konvergencija leće** jednaka je  $J = 1/f$  i izražava se recipročnim metrom ( $m^{-1}$ ) ili dioptrijom (dpt).

Slike tankih leća mogu se odrediti pomoću sjecišta 3 karakteristične zrake koje se šire iz predmeta:

- Zraka 1 koja upada paralelno optičkoj osi prolazi kroz fokus  $F_2$ ,
- Zraka 2 koja prolazi kroz fokus  $F_1$  pojavljuje se paralelno optičkoj osi,
- Zraka 3 koja prolazi kroz centar leće ne mijenja smjer pri prolasku.