



Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje

Razlikovni studiji (910/920/930/940/950)

Fizika 2

Predavanje 9

Geometrijska optika

Dr. sc. Damir Lelas

(Damir.Lelas@fesb.hr,

damir.lelas@cern.ch)

Danas ćemo raditi:

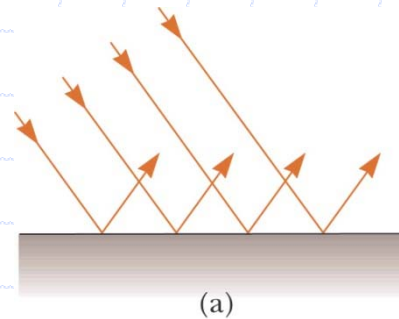
(V. Henč-Bartolić i P. Kulišić: "Valovi i optika", poglavlje 5)

□ Geometrijska optika

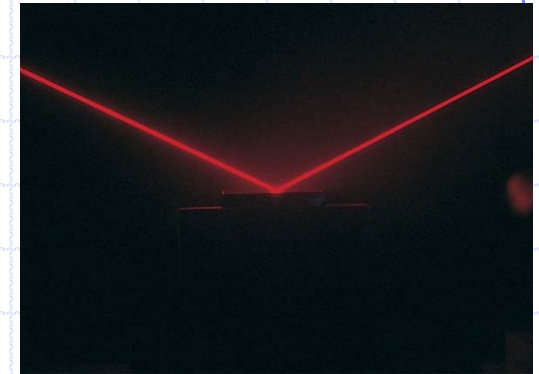
- Uvod u geometrijsku optiku
- Zakoni geometrijske optike
- Zrcala, leće
- Fizika ljudskog oka
- Povećalo
- Mikroskop
- Teleskop

Zrcalna i difuzna refleksija

- ❑ **Zrcalna (spekularna)** refleksija je refleksije na glatkoj površini.
- ❑ Reflektirane zrake su paralelne.
- ❑ Mi ćemo proučavati zrcalnu refleksiju

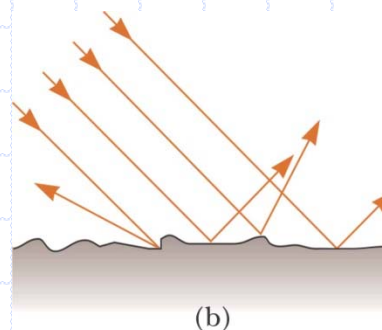


©2004 Thomson - Brooks/Cole

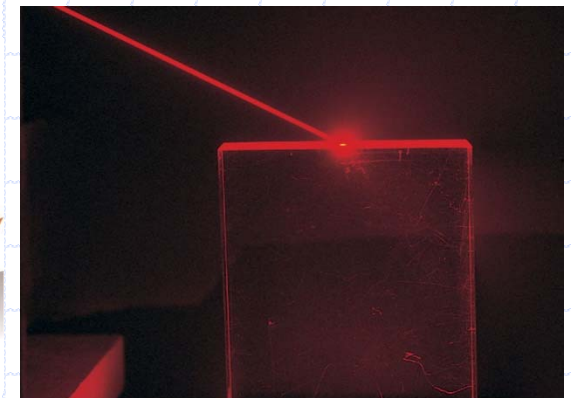


© 2004 Thomson - Brooks/Cole

- ❑ **Difuzna refleksija** je refleksija na hrapavoj površini.
- ❑ Reflektirane zrake nisu paralelne.
- ❑ Sve dok je dimenzije hrapavosti površine znatno manje od valne duljine, površina se može smatrati glatkom.



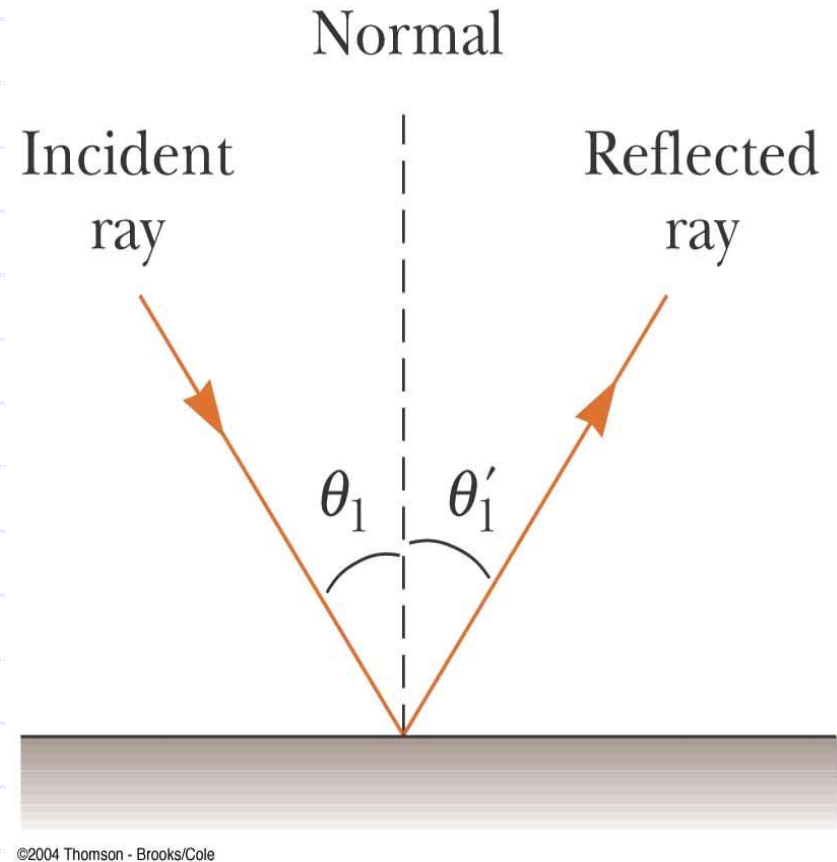
©2004 Thomson - Brooks/Cole



© 2004 Thomson - Brooks/Cole

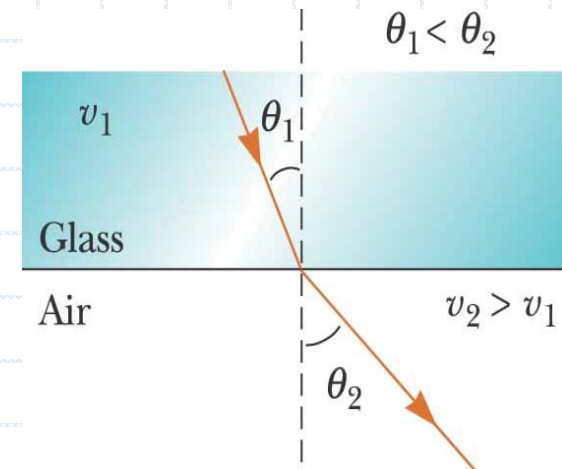
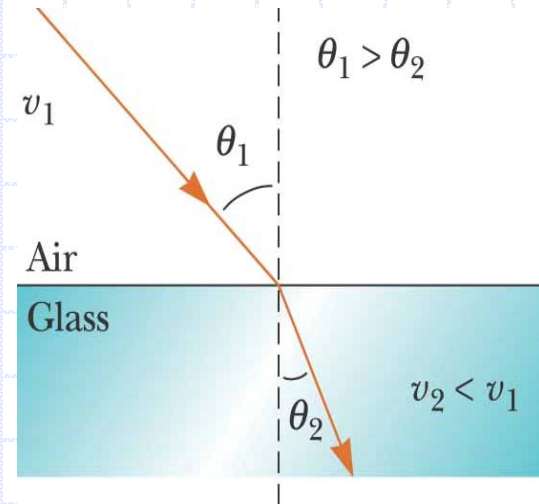
Zakon refleksije

- ❑ Normala je pravac okomit na graničnu površinu
 - prolazi kroz točku gdje svjetlost upada na površinu
- ❑ Upadna zraka zatvara kut θ_1 s normalom
- ❑ Reflektirana zraka zatvara kut θ_1' s normalom
- ❑ Kut refleksije jednak je kuta upada
- ❑ $\theta_1' = \theta_1$
 - Ova relacija se zove **zakon refleksije**
- ❑ Upadna zraka, normala i reflektirana zraka leže u istoj ravnini



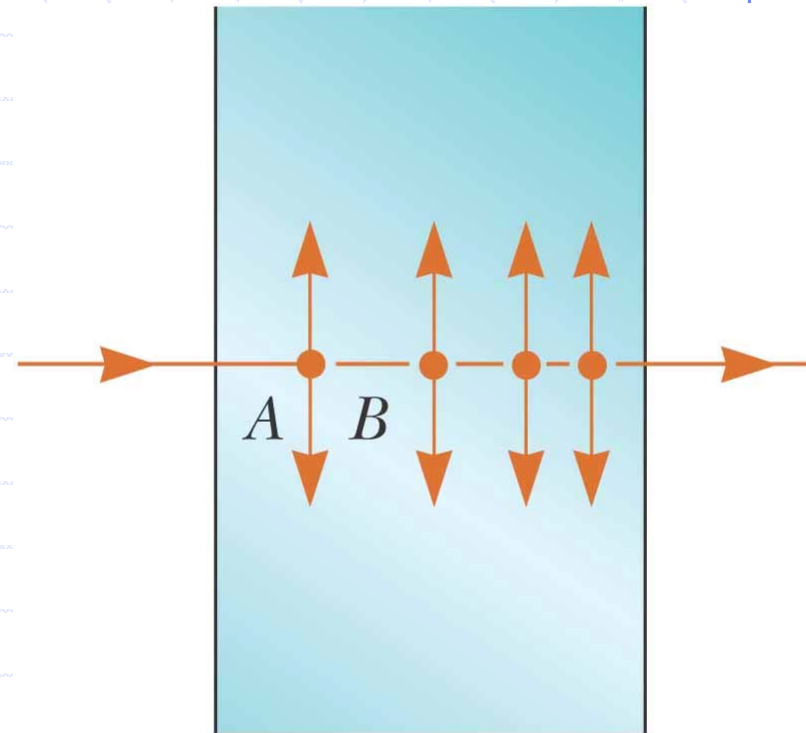
Lom svjetla

- ❑ Kad svjetlo upada iz optički rjeđeg ($v_1=c/n_1$) u optičku gušće sredstvo ($v_2=c/n_2$) ($n_2>n_1$, $v_1>v_2$) svjetlosna zraka se lomi k okomici, kut loma je manji od kuta upada.
- ❑ Kad svjetlo upada iz optički gušćeg ($v_1=c/n_1$) u optičku rjeđe sredstvo ($v_2=c/n_2$) ($n_2<n_1$, $v_1<v_2$) svjetlosna zraka se lomi od okomice, kut loma je veći od kuta upada.



Širenje svjetlosti u sredstvu (predavanje 7)

- ❑ Svjetlost upada u sredstvo s lijeva
- ❑ Svjetlost nailazi na elektron u sredstvu (svjetlost je elektromagnetski val, pa električno polje djeluje silom na elektron)
- ❑ Svjetlost pobudi elektrone na titranje.
- ❑ Elektron koji titra je antena – izvor elektromagnetskog vala.
- ❑ Dolazi do apsorpcije i re-radijacije svjetlosti, što uzrokuje da je brzina svjetlosti kroz sredstvo manja.
- ❑ Detaljniji procese propagacije svjetla objašnjava kvantna mehanika.
- ❑ Za vakuum, $n = 1$
 - za zrak također je približno $n = 1$
 - za druge sredine $n > 1$
- ❑ n je bezdimenzionalni broj veći od 1
 - n nije nužno cijeli broj



©2004 Thomson - Brooks/Cole

Indeksi loma nekih tvari (...vezano za predavanje 7)

Table 35.1

Indices of Refraction ^a			
Substance	Index of Refraction	Substance	Index of Refraction
<i>Solids at 20° C</i>		<i>Liquids at 20° C</i>	
Cubic zirconia	2.20	Benzene	1.501
Diamond (C)	2.419	Carbon disulfide	1.628
Fluorite (CaF ₂)	1.434	Carbon tetrachloride	1.461
Fused quartz (SiO ₂)	1.458	Ethyl alcohol	1.361
Gallium phosphide	3.50	Glycerin	1.473
Glass, crown	1.52	Water	1.333
Glass, flint	1.66		
Ice (H ₂ O)	1.309	<i>Gases at 0° C, 1 atm</i>	
Polystyrene	1.49	Air	1.000 293
Sodium chloride (NaCl)	1.544	Carbon dioxide	1.000 45

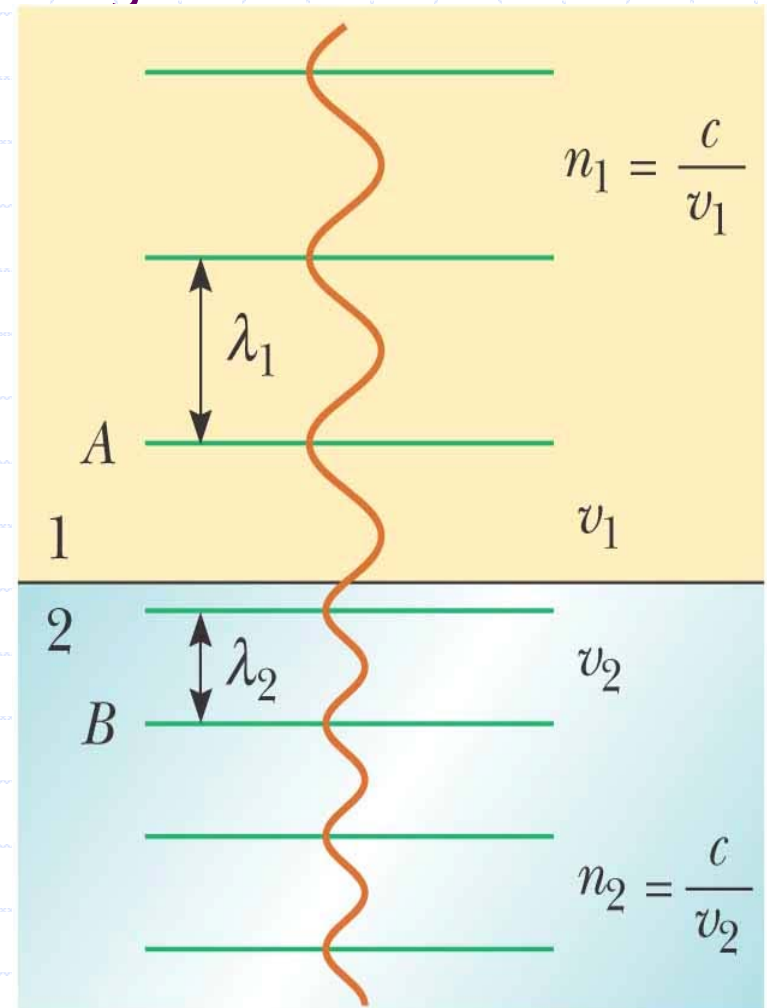
^a All values are for light having a wavelength of 589 nm in vacuum.

Frekvencija i valna duljina pri širenju svjetlosti iz jednog sredstva u drugo

- 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 $\lambda_1 \neq \lambda_2$

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

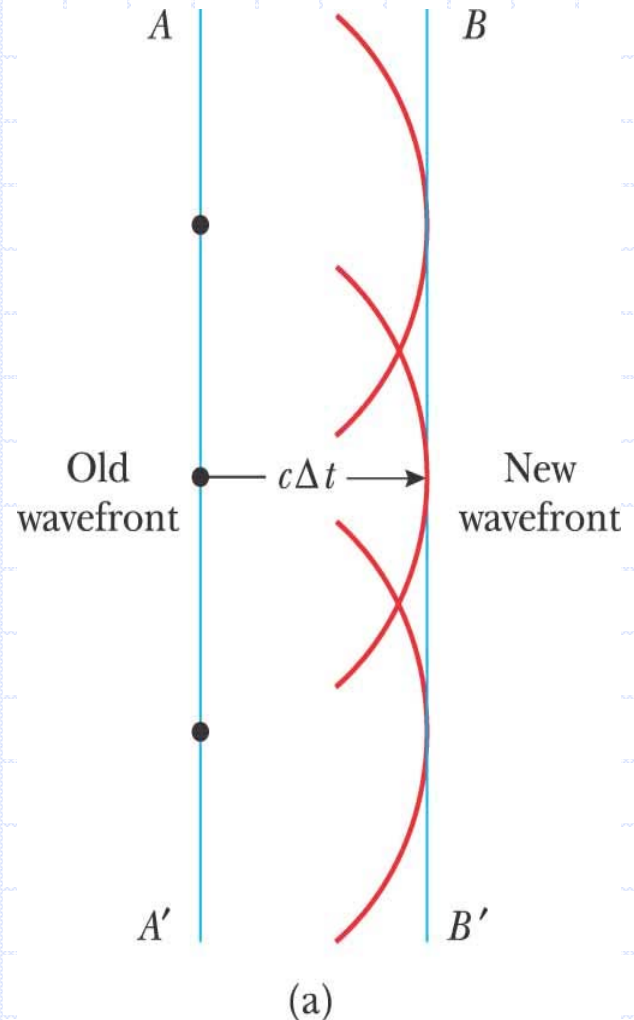
$$n = \frac{\lambda}{\lambda_n} \quad \begin{array}{l} (\lambda - \text{vakuum}) \\ (\lambda - \text{sredstvo}) \end{array}$$



©2004 Thomson - Brooks/Cole

Huygensova konstrukcija valne fronte ravnog vala

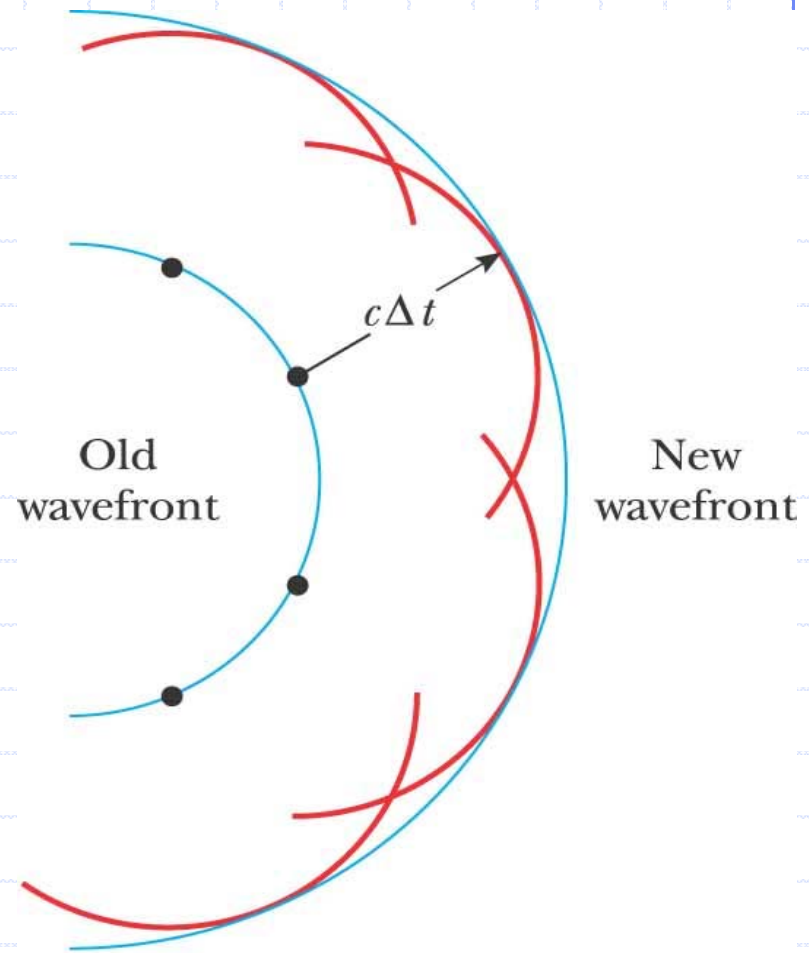
- C. Huygens pretpostavlja da je svjetlost val.
- Huygensov princip je geometrijska konstrukcija za određivanje položaja nove valne fronte iz poznavanja položaja i oblika valne fronte koja joj prethodi.
- U trenutku $t = 0$, položaj valne fronte je označen ravlinom AA' .
- Svaka točka valne fronte je izvor novog kuglastog vala, radi preglednosti razmatramo samo kuglaste valove koji se šire iz naznačenih točaka.
- Nakon Δt sekundarni kuglasti valovi su se proširili do udaljenosti $c\Delta t$, nova valna fronta je definirana ovojnicom kuglastih valova, i u ovom slučaju je to ravnina predstavljena linijom BB' .



©2004 Thomson - Brooks/Cole

Huygensova konstrukcija valne fronte sfernih valova

- ❑ Unutrašnji luk je valna fronta kuglastog vala.
- ❑ Iz svake točke kuglaste valne fronte širi se novi kuglasti val.
- ❑ Nova valna fronta je opet sfera, sada većeg radijusa, koja je ploha koja predstavlja ovojnici sekundarnih kuglastih valova.

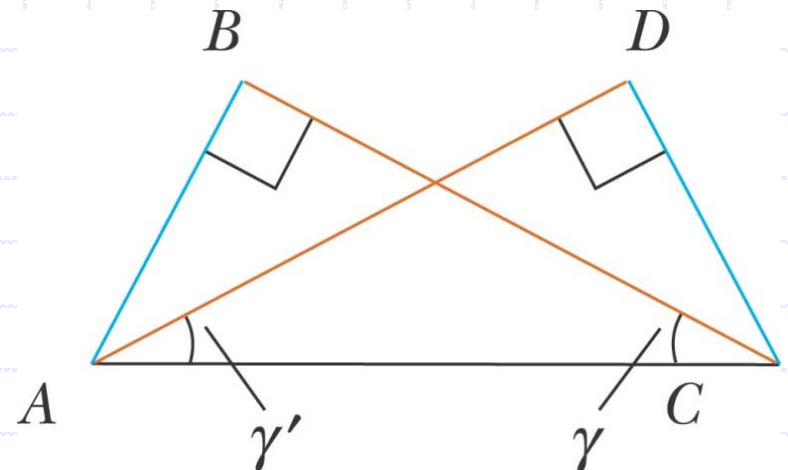
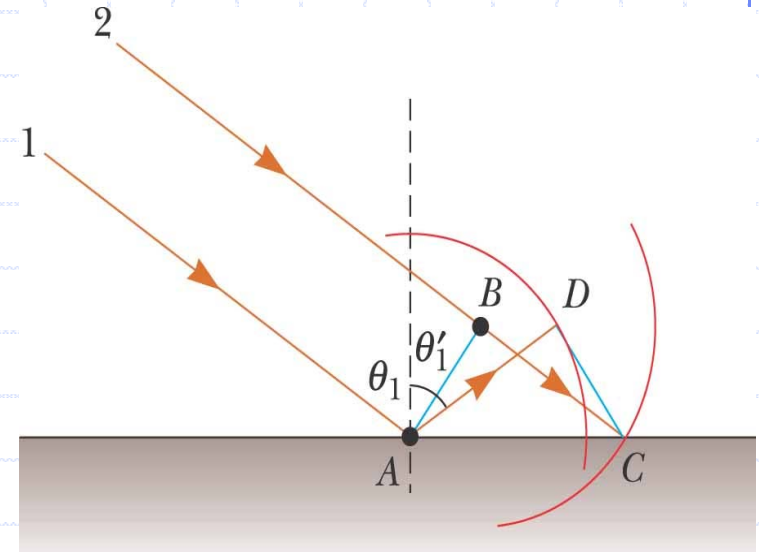


(b)

©2004 Thomson - Brooks/Cole

Huygensov princip i zakon refleksije

- AB je valna fronta upadnog vala
 - Točka A upadne valne fronte je izvor kuglastog vala koji se proširi do D
 - Za to vrijeme se iz točke B proširi val do točke C .
- $AD = BC = c \Delta t$
- Trokuti ABC je sličan trokutu ADC :
- $\cos \gamma = BC / AC$
- $\cos \gamma' = AD / AC$
- Prema tome:, $\cos \gamma = \cos \gamma'$ pa je
$$\gamma = \gamma'$$
$$90^\circ - \theta_1 = 90^\circ - \theta_1'$$
- Iz čega proizlazi $\theta_1 = \theta_1'$
- Ovo je zakon refleksije.

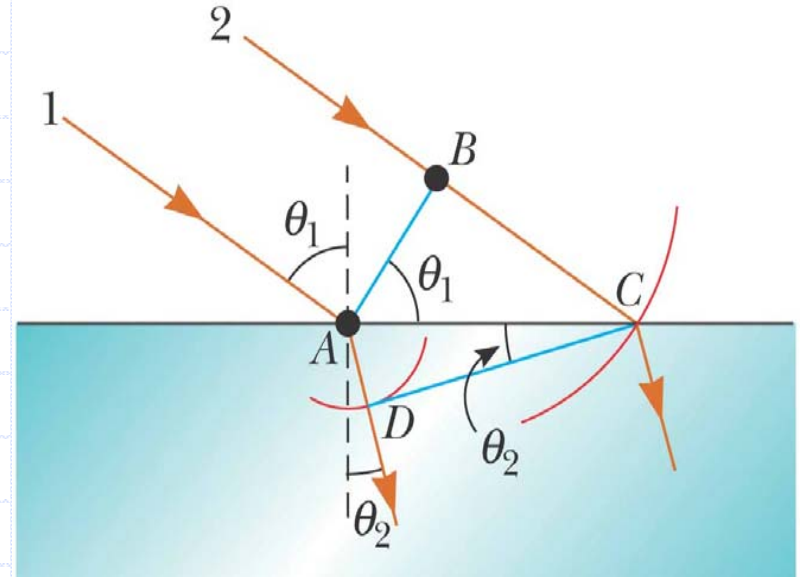


Huygensov princip i zakon loma

- ❑ Zraka 2 dođe do površine u nešto kasnijem trenutku Δt od zrake 1.
- ❑ Za to vrijeme, kuglasti val iz točke A se proširi do točke D.
- ❑ Valna fronta vala koji se počeo širiti u drugom sredstvu je naznačena linijom DC.
- ❑ Iz trokuta ABC i ADC , nalazimo:

$$\sin \theta_1 = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1 \Delta t}{AC}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{AD}{AC} = \frac{v_2 \Delta t}{AC}$$

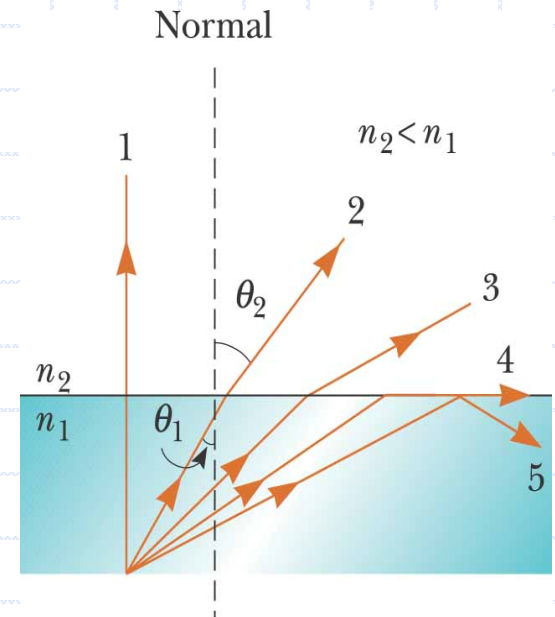


$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2}$$

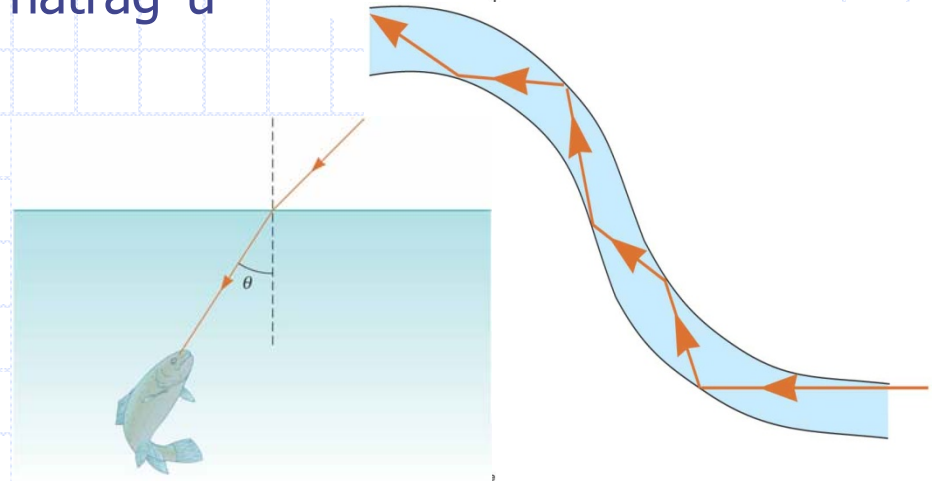
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Totalna refleksija (...vezano uz predavanje 7)

- ❑ Fenomen totalne refleksije se javlja kad se svjetlost širi iz optički gušćeg sredstva (većeg indeksa loma) u optički rjeđe sredstvo (manjeg indeksa loma) ($n_1 > n_2$).
- ❑ Zraka 4 na slici desno lomi se duž granice dvaju sredstava, i zrake čije je kut upada veći od kuta upada zrake 4 (kritični kut) će se reflektirati natrag u sredstvo 1.



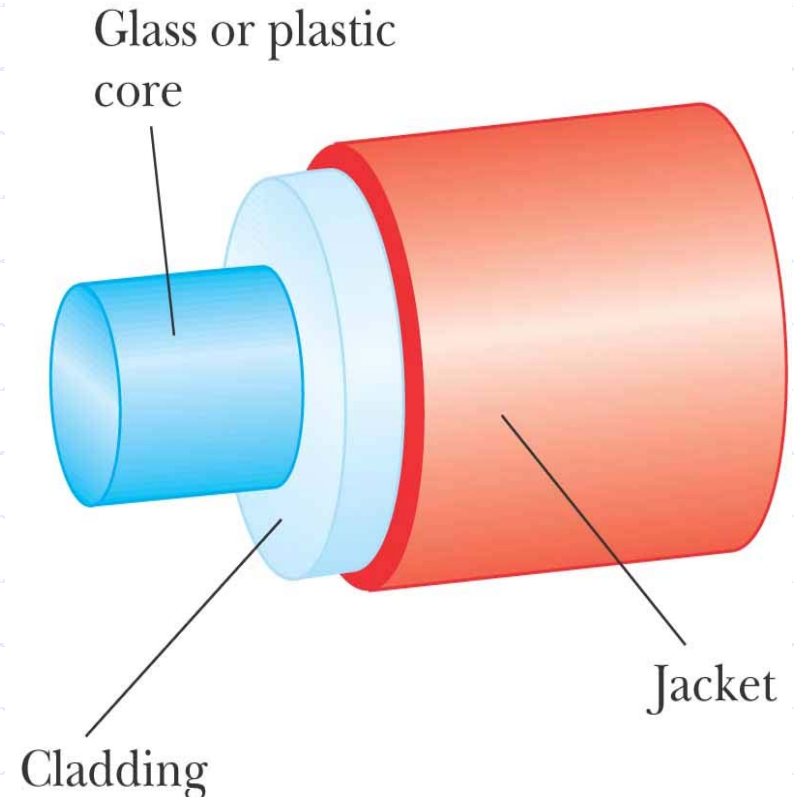
$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_1 > n_2)$$



Struktura svjetlovoda (...vezano uz predavanje 7)

□ Prozirna jezgra okružena je *cladding* –om

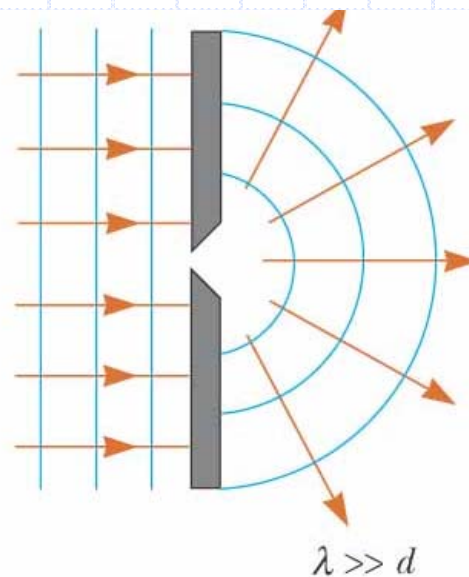
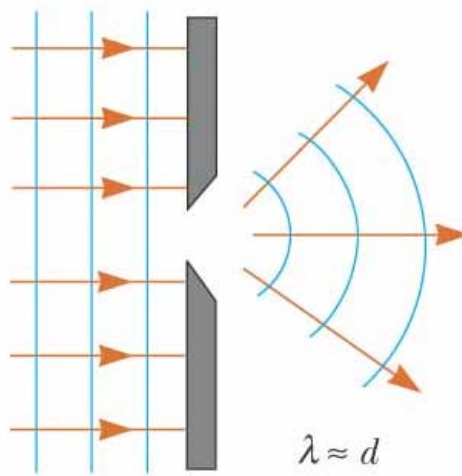
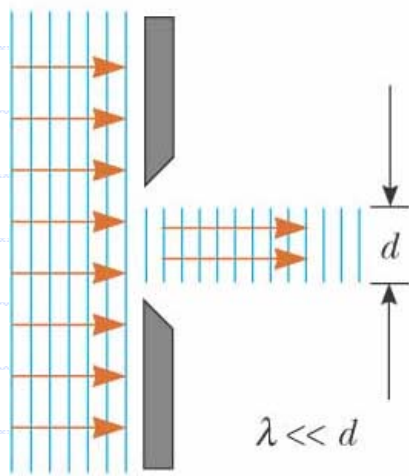
- Cladding (oklop svjetlovoda) ima manji indeks loma od jezgre kako bi se osigurala totalna refleksija
- To osigurava da svjetlost u jezgri doživljava totalnu refleksiju
- Jacket – zaštitni oklop



©2004 Thomson - Brooks/Cole

Geometrijska optika (1)

- ❑ **Geometrijska optika** je dio optike u kojoj se za opis svjetlosnih pojava služimo svjetlosnom zrakom, odnosno kako svjetlosne zrake formiraju sliku.
- ❑ Pravila geometrijske optike se mogu primijeniti kad je valna duljina znatno manja od prepreka na koje svjetlo nailazi $\lambda \ll a$, jer tada nema pojave ogiba koja iskazuje valnu prirodu svjetlosti.
- ❑ Zakoni geometrijske optike ($\lambda \rightarrow 0$)



Geometrijska optika (2)

□ Zakoni geometrijske optike ($\lambda \rightarrow 0$):

1. **Zakon o pravocrtnom širenju:**

U optički jednolikome i prozirnom sredstvu svjetlost se širi po pravcu, okomito na ravnine valnih fronti.

1. Ako se dva snopa svjetlosti sijeku, nema uzajamnog utjecaja tih snopova.

2. **Zakon odbijanja ili refleksije:**

Ako na glatku plohu padne zraka svjetlosti, ona se od nje odbije. Upadna zraka, normala na plohu u upadnoj točki i odbijena zraka leže u istoj ravnini, a pri tom je kut odbijanja jednak upadnom kutu (kutovi se mjere s obzirom na normalu na graničnu plohu).

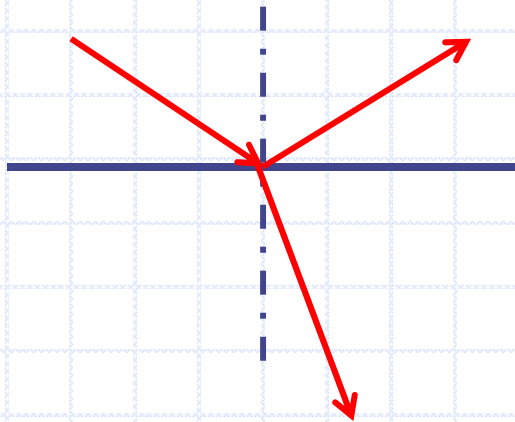
3. **Zakon loma ili refrakcije:**

Ako zraka svjetlosti prelazi iz jednog sredstva u drugo, ona mijenja smjer. Upadna zraka, normala na granicu u upadnoj točki i lomljena zraka leže u ravnini zajedno s odbijenom zrakom. Upadni kut u i kut loma l povezani su Snellovim zakonom, gdje je n_1 indeks loma sredstva u kojemu se upadna zraka širi, a n_2 indeks loma sredstva u kojemu se širi lomljena zraka.

$$\frac{\sin u}{\sin l} = \frac{n_2}{n_1}$$

Geometrijska optika (3)

- ❑ **Indeks loma** je omjer brzine svjetlosti u vakuumu i fazne brzine svjetlosti u nekom sredstvu.
- ❑ Udaljenost koju svjetlost prevaljuje naziva se **geometrijski put** (d) svjetlosti.
- ❑ Umnožak indeksa loma i geometrijskog puta naziva se **optički put** ($\delta = nd$) svjetlosti.
- ❑ U dva različita sredstva, u jednakim intervalima, svjetlost prevaljuje jednako velike optičke putove.
- ❑ **Fermatov princip (1650):**
svjetlo koja se lomi i odbija prevaljuje toliki put između dvije točke da pripadni optički put zrake ima ekstremnu vrijednost, odnosno svjetlo prolazi put u ekstremnom vremenu (obično je taj ekstrem minimum).



Pomoću Fermatova principa mogu se izvesti zakon refleksije i zakon loma svjetlosti

Fermatov princip – zakon refleksije

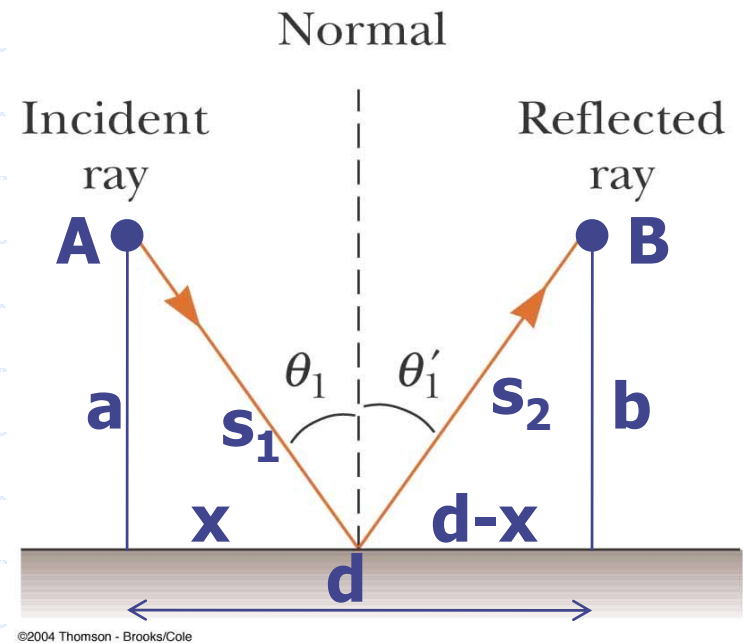
- ❑ Pierre de Fermat (1601-1665) definirao je princip (1650) koji glasi: Svjetlost koja se lomi ili reflektira giba se između dvije točke (A i B) putanjom koja zahtjeva najkraće vrijeme (proizilazi iz Huygensova načela)
- ❑ Prema Fermatovu principu, dadu se izvesti zakon odbijanja (refleksije) i zakon loma:

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

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

$$= \sin \theta_1 - \sin \theta_1' = 0, \text{ ili}$$

$$\text{kut } \theta_1 = \text{kut } \theta_1' \text{ (zakon refleksije)}$$



uvjet ekstrema

Fermatov princip – zakon loma

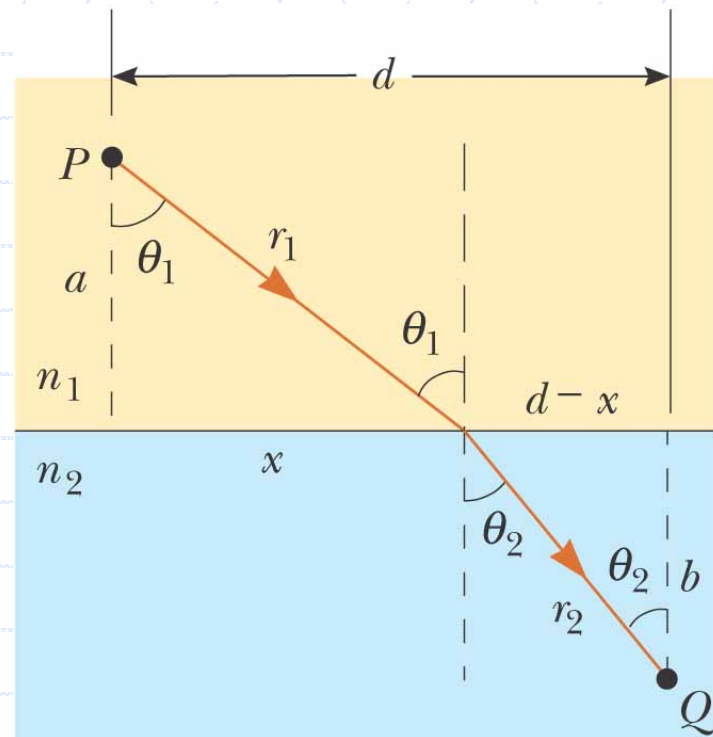
- ❑ Fermatov princip: Svjetlost koja se lomi ili reflektira giba se između dvije točke putanjom koja zahtjeva najkraće vrijeme.

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

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

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

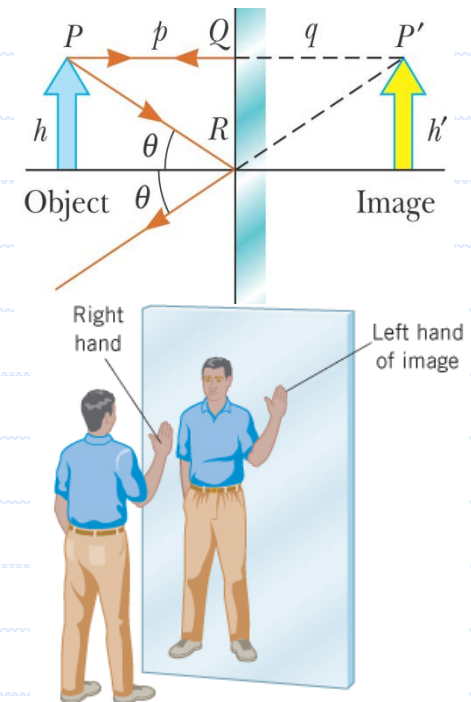
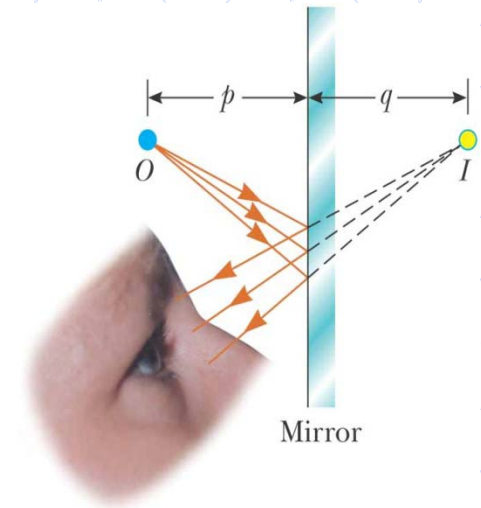
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (\text{zakon loma})$$



Uvjet ekstrema

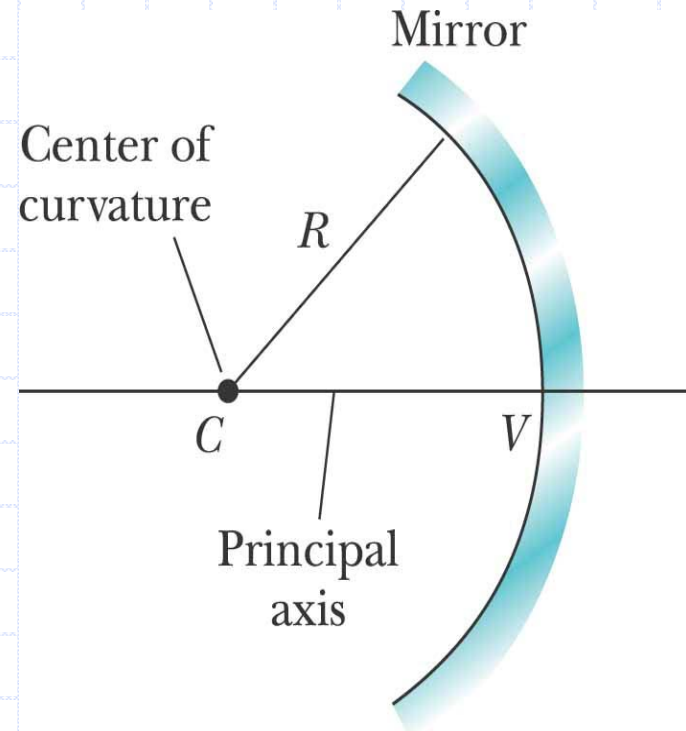
Ravno zrcalo

- ❑ Najjednostavnije zrcalo – ravna glatka ploha.
- ❑ Zrake napuštaju izvor i reflektiraju se na zrcalu.
- ❑ Točka I se zove slika objekta smještenog u točki O .
- ❑ Slika je virtualna, ravno zrcalo uvijek formira virtualnu sliku.
- ❑ Ima beskonačno zraka koje napuštaju neku točku objekta.
- ❑ Samo su dvije zrake potrebne da se odredi gdje će se slika formirati.
- ❑ Jedna zraka iz točke P se reflektira (u točki Q) u samu sebe.
- ❑ Druga zraka iz točke P slijedi put PR i reflektira se u skladu s zakonom refleksije.
- ❑ Trokuti PQR i $P'QR$ su isti.
- ❑ Da se uoči slika, promatrač treba ekstrapolirati dvije reflektirane zrake u točku P' .
- ❑ Točka P' je točka gdje izgleda kao da zrake dolaze iz nje.
- ❑ Slika kod ravnog zrcala se nalazi iza zrcala, onoliko koliko se predmet nalazi ispred zrcala.
 - $|p| = |q|$



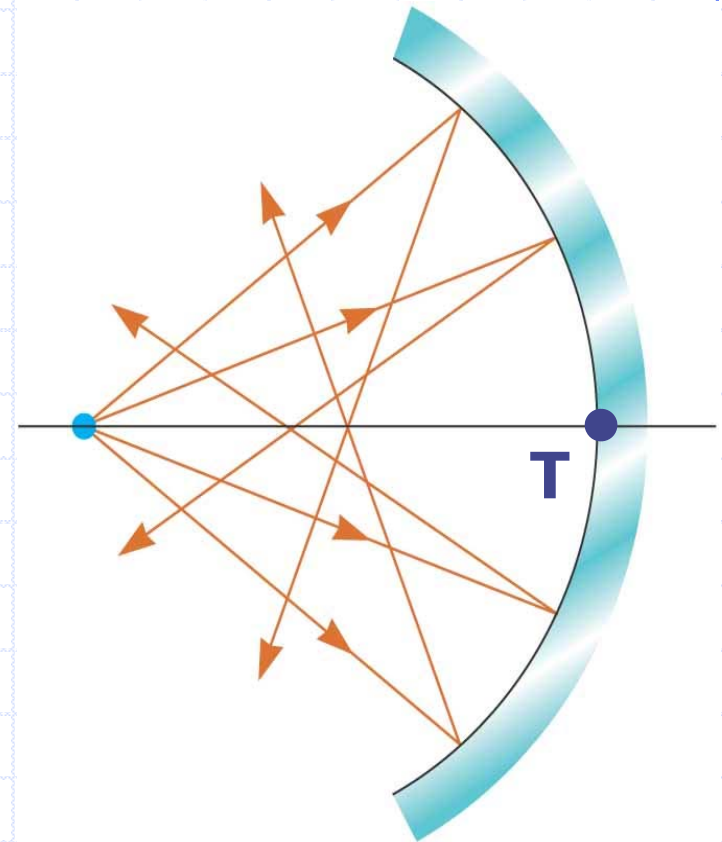
Sferna zrcala

- ❑ 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 radius 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**.



Sferna aberacija. Gaussova aproksimacija

- ❑ Zrake koje su daleko od glavne osi sijeku se na različitim točkama glavne (optičke) osi.
- ❑ Ovaj efekt se zove **sferna aberacija** i proizvodi razmazanu sliku predmeta.
- ❑ Ako se, međutim, ograničimo samo na zrake koje s optičkom osi zatvaraju mali kut i pogađaju površinu zrcala blizu tjemena T , onda one zadovoljavaju tzv. **GAUSSOVU APROKSIMACIJU**.
- ❑ U tom slučaju, slika predmeta je jasna i sve reflektirane zrake prolaze kroz jednu točku, kroz **ŽARIŠTE (FOKUS)** zrcala.



©2004 Thomson - Brooks/Cole

Određivanje slike sfernih zrcala

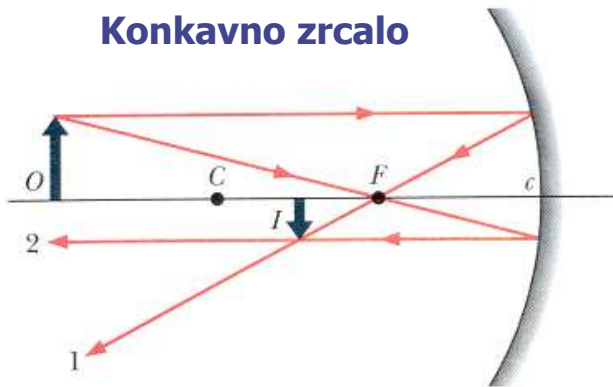
- ❑ Slike sfernih zrcala mogu se odrediti pomoću sjecišta 4 karakteristične zrake koje se šire iz predmeta:
 - Zraka 1 upada paralelno optičkoj osi i reflektira se kroz fokus F ,
 - Zraka 2 prolazi kroz fokus i reflektira se paralelno optičkoj osi,
 - Zraka 3 prolazi kroz centar zakrivljenosti i reflektira se sama u sebe,
 - Zraka 4 reflektira se u tjemenu i vrijedi: kut upada=kut refleksije.
- ❑ Ovo doslovno vrijedi za udubljeno (konkavno) zrcalo.
- ❑ Za ispupčeno (konveksno) zrcalo opis zraka malo se mijenja (više na slijedećoj stranici).
- ❑ Za određivanje slike je dovoljno ucrtati dvije od navedenih karakterističnih zraka (slijedeća stranica).

Određivanje slike sfernih zrcala - Rezultati

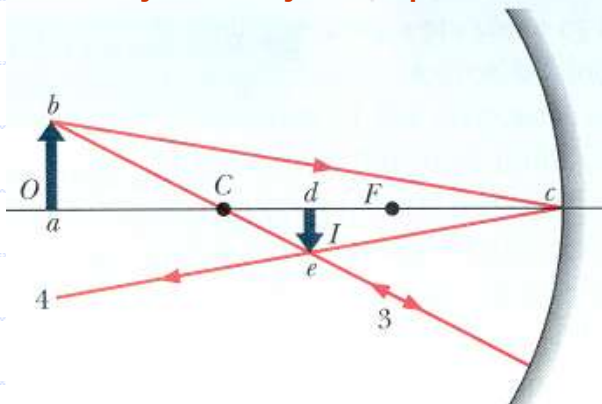
- *Napomena: na slici O - označava predmet, I - sliku, C - centar zakrivljenosti, a F - fokus zrcala*

a)

Konkavno zrcalo

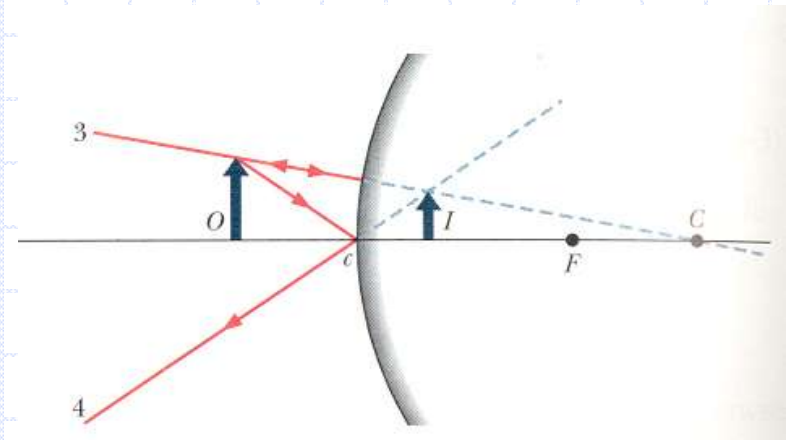
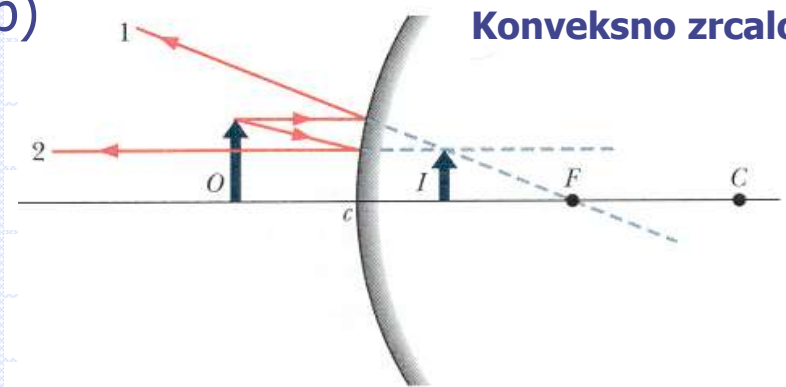


- Zraka 1 upada paralelno optičkoj osi i reflektira se kroz fokus F ,
- Zraka 2 prolazi kroz fokus i reflektira se paralelno optičkoj osi,
- Zraka 3 prolazi kroz centar zakrivljenosti i reflektira se sama u sebe,
- Zraka 4 reflektira se u tjemenu i vrijedi: kut upada=kut refleksije.



b)

Konveksno zrcalo



Formiranje slike konkavnim zrcalom

- Geometrijska razmatranja pokazuje da je poprečno **povećanje konkavnog zrcala**:

- h' je negativan kad je slika obrnuta:

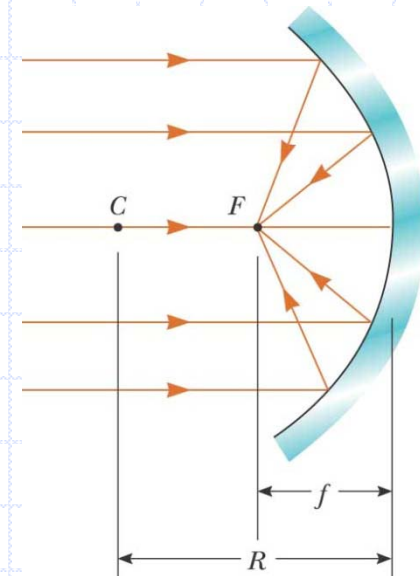
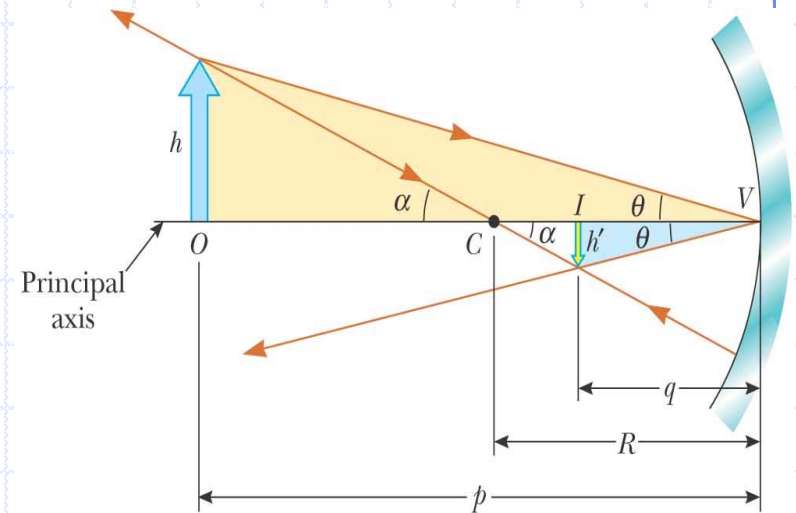
$$m = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$$

- Geometrija također pokazuje da vrijedi ova veza između udaljenosti predmeta p i slike q od zrcala:

- Izraz se naziva **jednadžba zrcala**:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}$$

- Ako je p znatno veći od R , tj. kad je predmet daleko od zrcala, slika se nalazi na pola od centra zakrivljenosti zrcala i tjemena zrcala (F – žarište ili fokus)
- $p \rightarrow \infty$, onda $1/p \approx 0$ i $q \approx R/2$



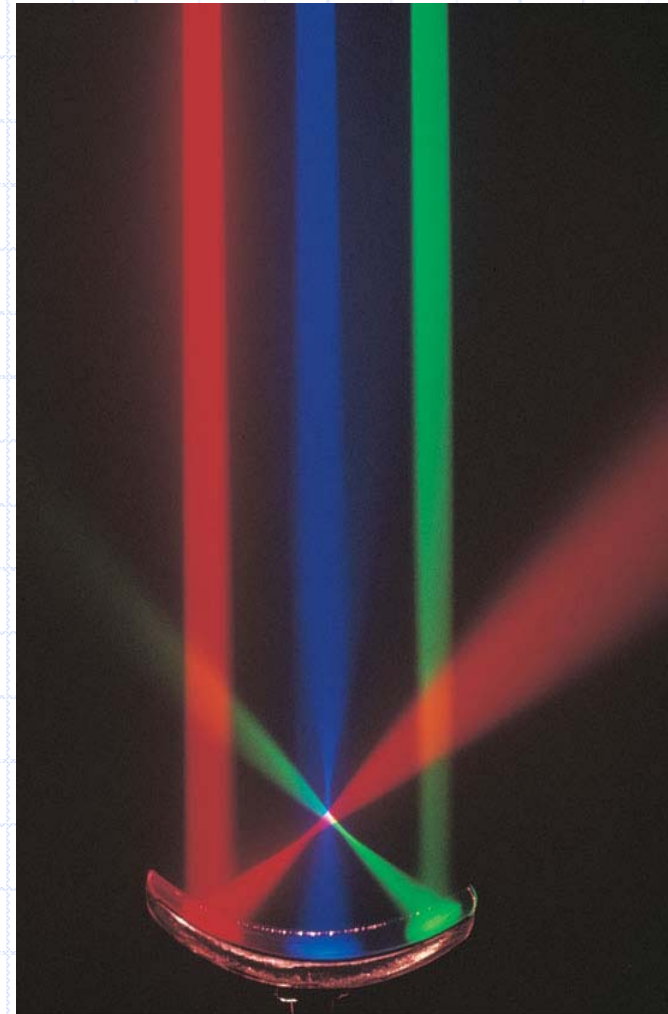
Žarište - fokus

- ❑ Obojeni snopovi putuju paralelno optičkoj osi.
- ❑ Zrcalo reflektira sva tri snopa kroz žarište.
- ❑ Žarište je točka gdje se svi snopovi sijeku.
 - Boja u žarištu je bijela
- ❑ Položaj žarišta ovisi samo o zakrivljenosti zrcala, a ne o tome gdje se nalazi objekt.
- ❑ Položaj žarišta ne ovisi o materijalu od kojeg je zrcalo napravljeno.

- ❑ $f = R / 2$

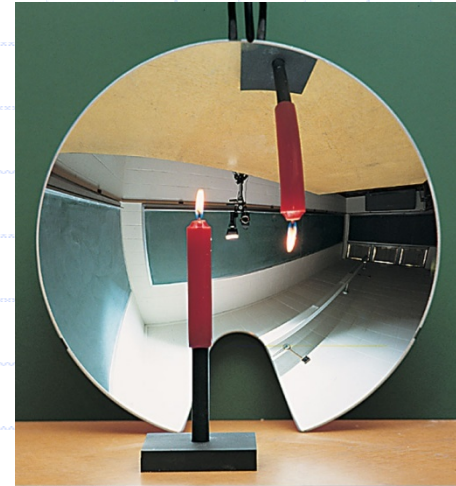
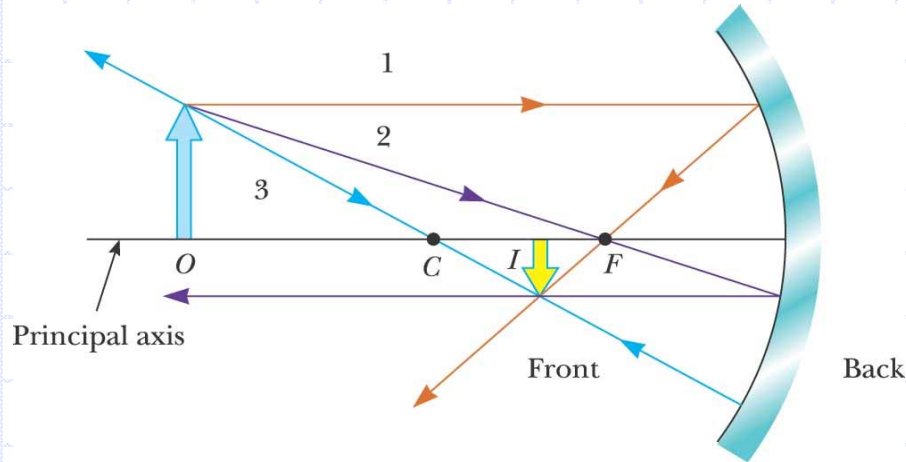
- ❑ Jednadžba zrcala glasi:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$



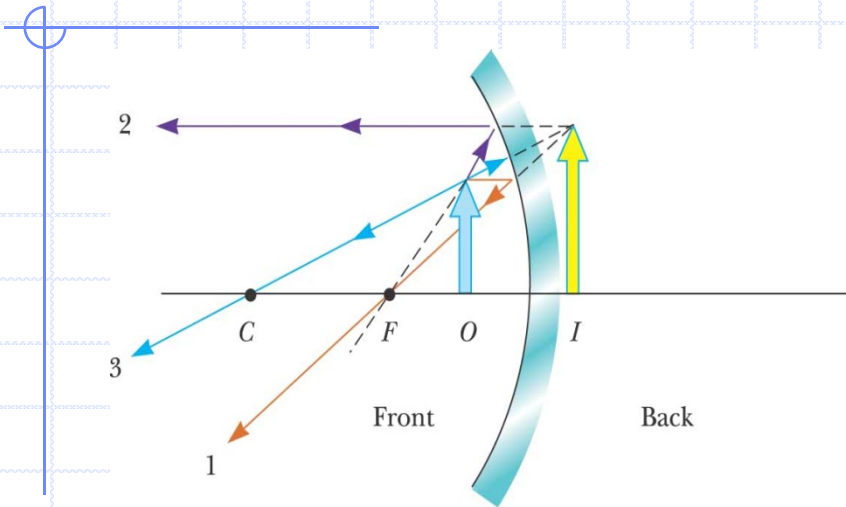
© 2004 Thomson - Brooks/Cole

Konkavno zrcalo, kad je $p > f$



- ❑ Centar zakrivljenosti je između predmeta i tjemena zrcala.
- ❑ Slika je realna.
- ❑ Slika je obrnuta.
- ❑ Slika je manja od predmeta.

Slika konkavnog zrcala, kad je $p < f$



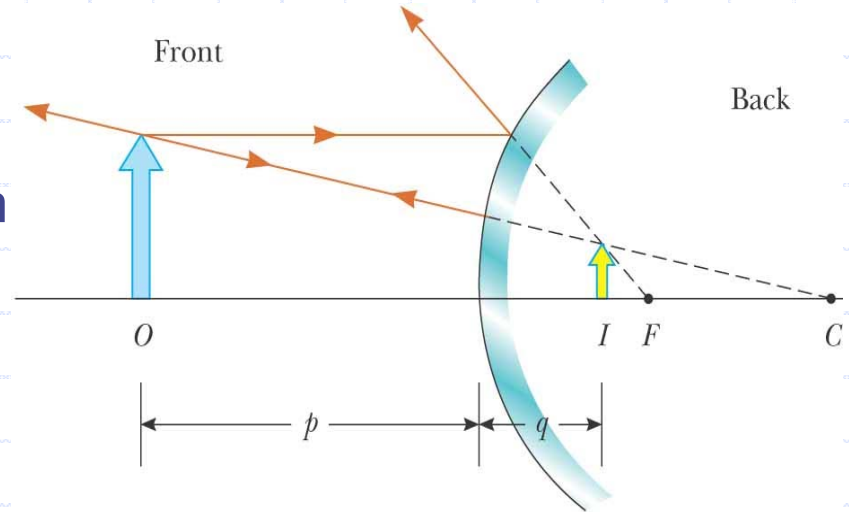
(b)

©2004 Thomson - Brooks/Cole

- ☐ Predmet se nalazi između fokusa i tjemena zrcala.
- ☐ Slika je virtualna.
- ☐ Slika je veća od objekta.
- ☐ Ovakva zrcala koriste dame za make-up.

Formiranje slike konveksnim zrcalom, $p > R$

- ❑ Konveksno zrcalo se nekad zove i divergirajuće zrcalo.
- ❑ Zrake bilo koje točke predmeta divergiraju nakon refleksije i izgleda kao da dolaze iz neke točke iza zrcala.
- ❑ Slika je virtualna.
- ❑ U načelu je slika konveksnih zrcala uspravna i manja od predmeta.
- ❑ Konveksna zrcala se često koriste u sustavima sigurnosti jer pokrivaju veliku površinu.



©2004 Thomson - Brooks/Cole



© 2004 Thomson - Brooks/Cole

Geometrijska optika (leće)

- ❑ **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

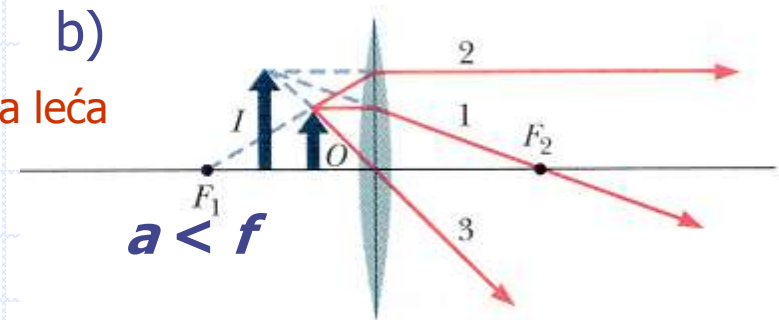
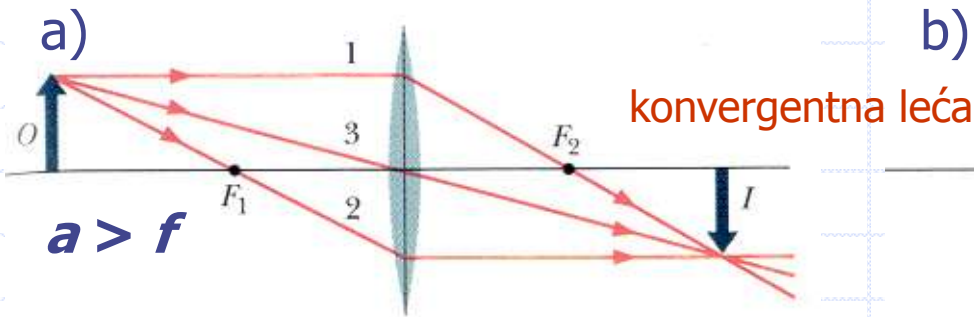
- ❑ Žarišna udaljenost **konvergente** leće je **pozitivna**, a **divergentne** leće **negativna**.
- ❑ Slika je **realna** ($b > 0$) ako je **sa suprotne strane od predmeta**, a **virtualna** ($b < 0$) ako je **s iste strane kao predmet**.
- ❑ **Jakost ili konvergencija leće** jednaka je $J = 1/f$ i izražava se recipročnim metrom (m^{-1}) ili dioptrijom (dpt).

Određivanje slike tankih leća - Rezultati

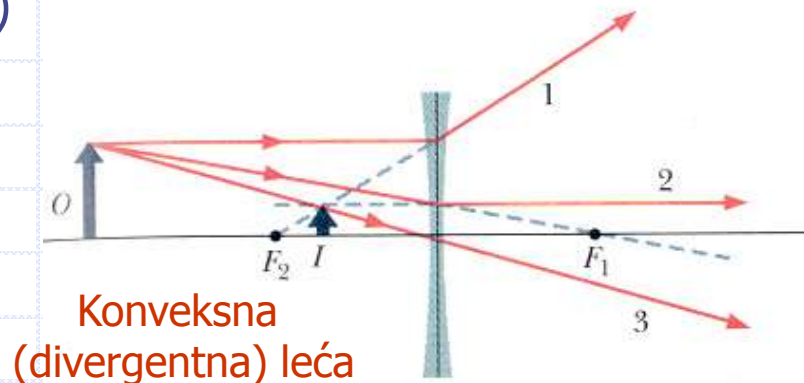
□ Slike tankih leća mogu se odrediti pomoću sjecišta 3 karakteristične zrake koje se šire iz predmeta:

- 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.

□ Napomena: na slici O - označava predmet, I - sliku, a F – fokuse (r_1 i r_2 su polumjeri zakrivljenosti sfernih ploha leće)



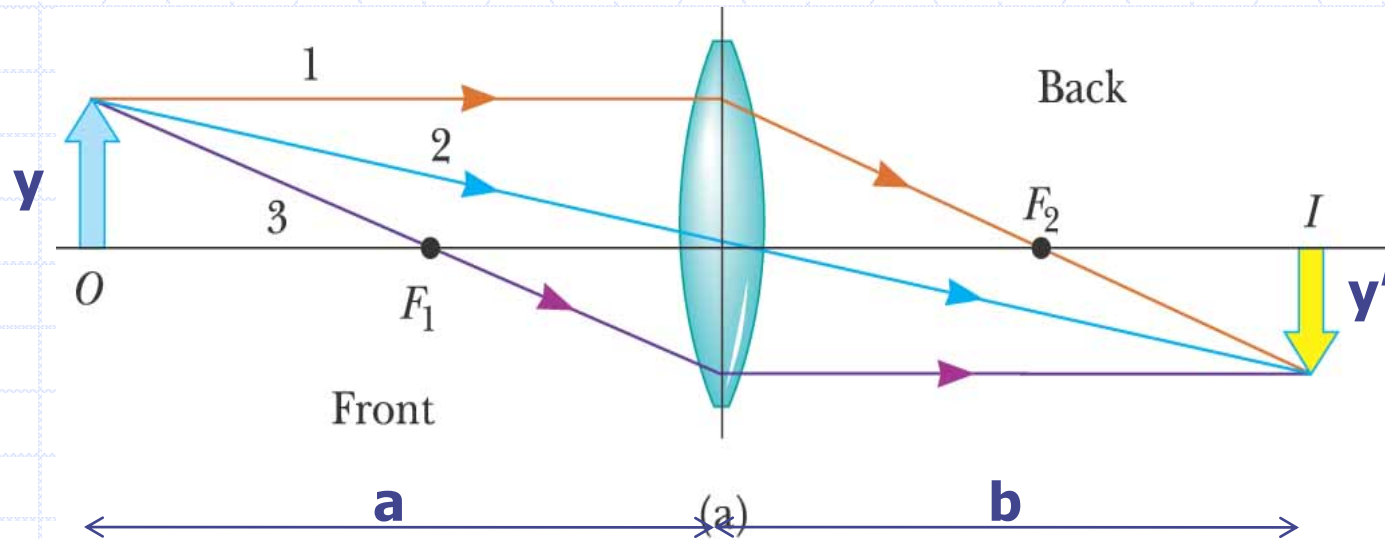
c)



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

$$\frac{1}{f} = \frac{n_2 - n_{1(\text{zrak})}}{n_{1(\text{zrak})}} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Dijagram zraka za konvergentnu leću: $a > f$



©2004 Thomson - Brooks/Cole

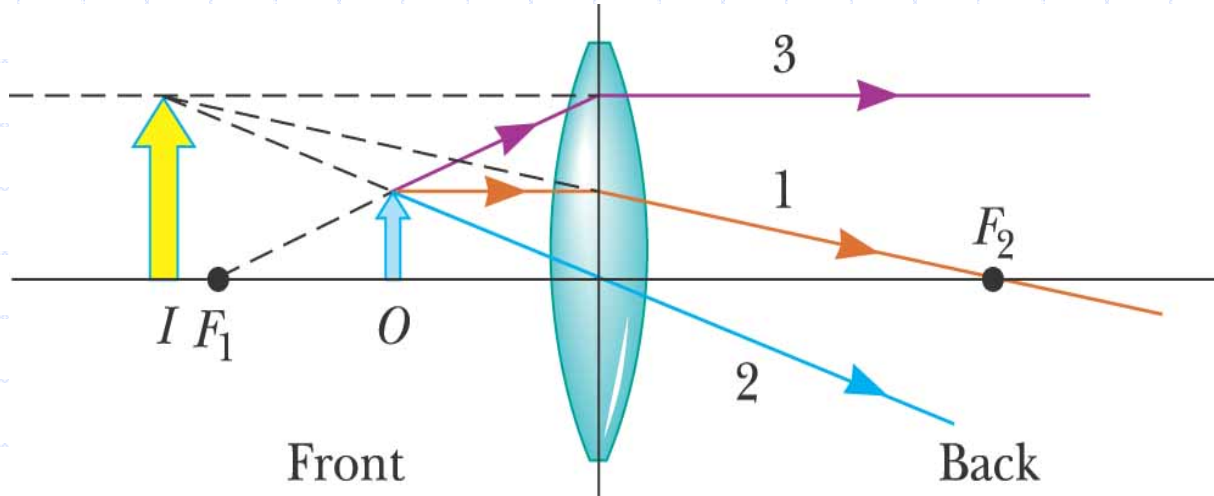
Povećanje leće

- ☐ Slika je realna.
- ☐ Slika je obrnuta.
- ☐ Slika se nalazi s druge strane leće.

$$\frac{y}{y'} = \frac{b}{a}$$

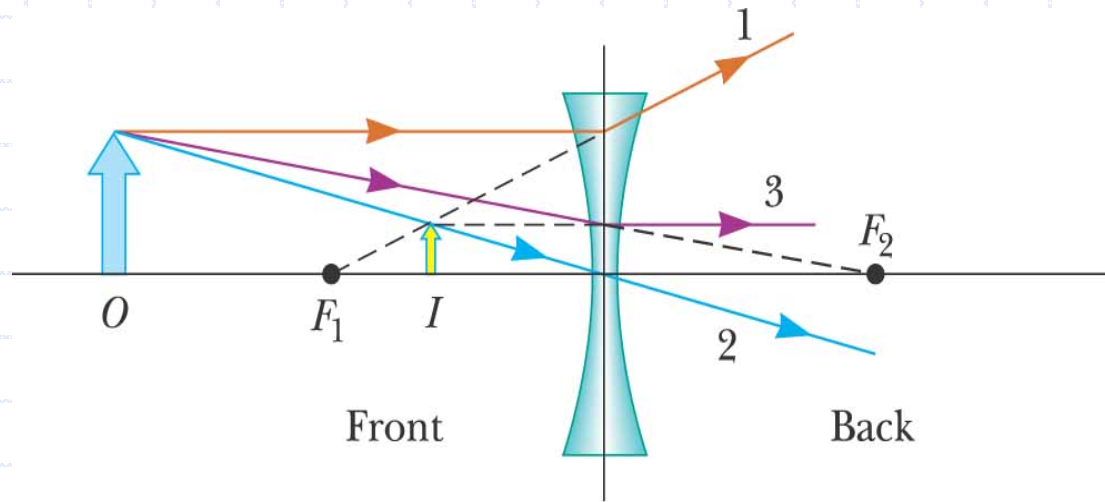
$$m = -\frac{b}{a}$$

Dijagram zraka za konvergentnu leću: $a < f$



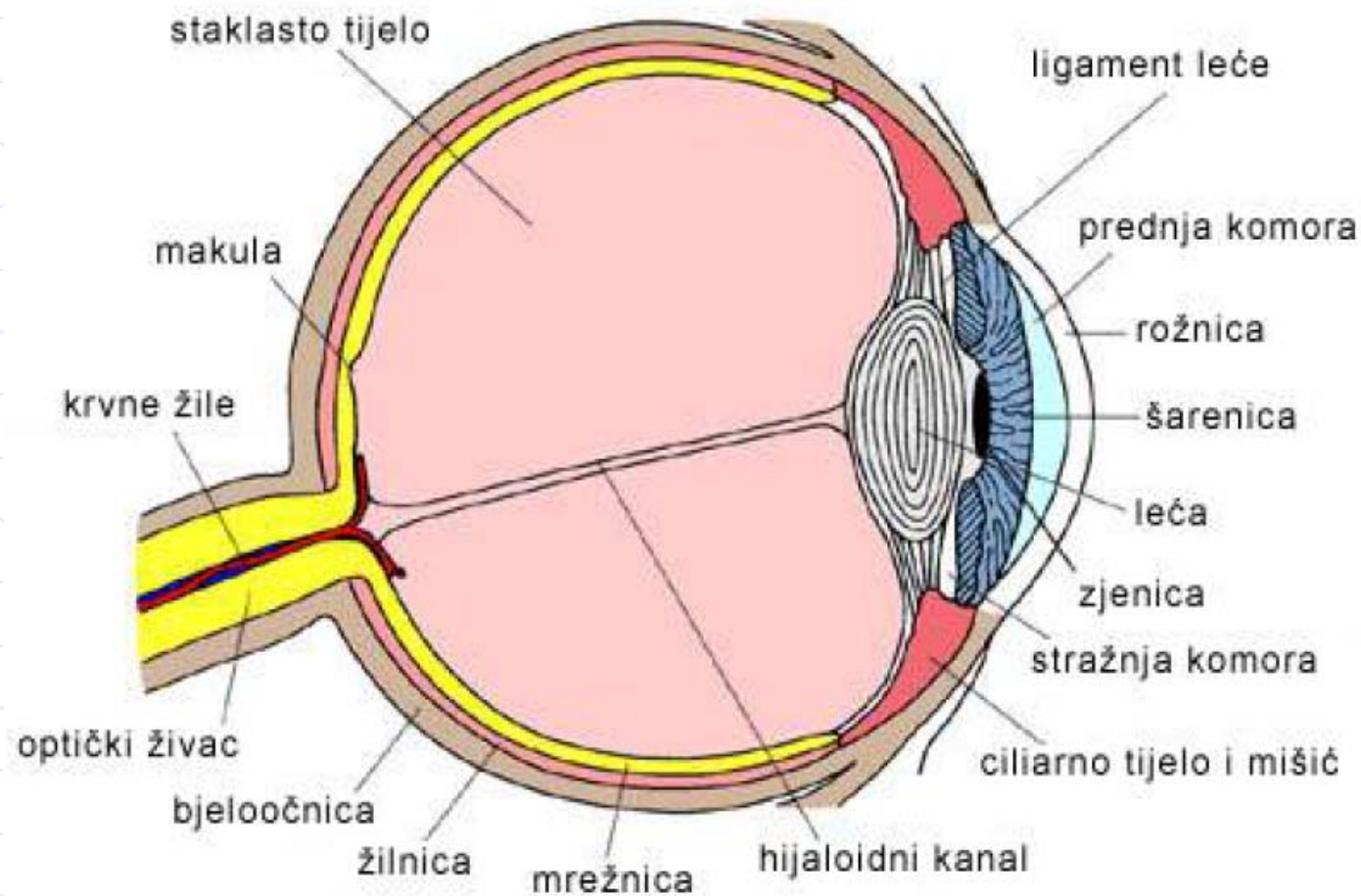
- ❑ Slika je virtualna.
- ❑ Slika je uspravna.
- ❑ Slika je veća od objekta.
- ❑ Slika ja na istoj starni na kojoj i predmet.

Dijagram svjetlosnih zraka divergentne leće



- ☐ Slika je virtualna.
- ☐ Slika je uspravna.
- ☐ Slika je umanjena.
- ☐ Slika je ispred leće.

Građa ljudskog oka:

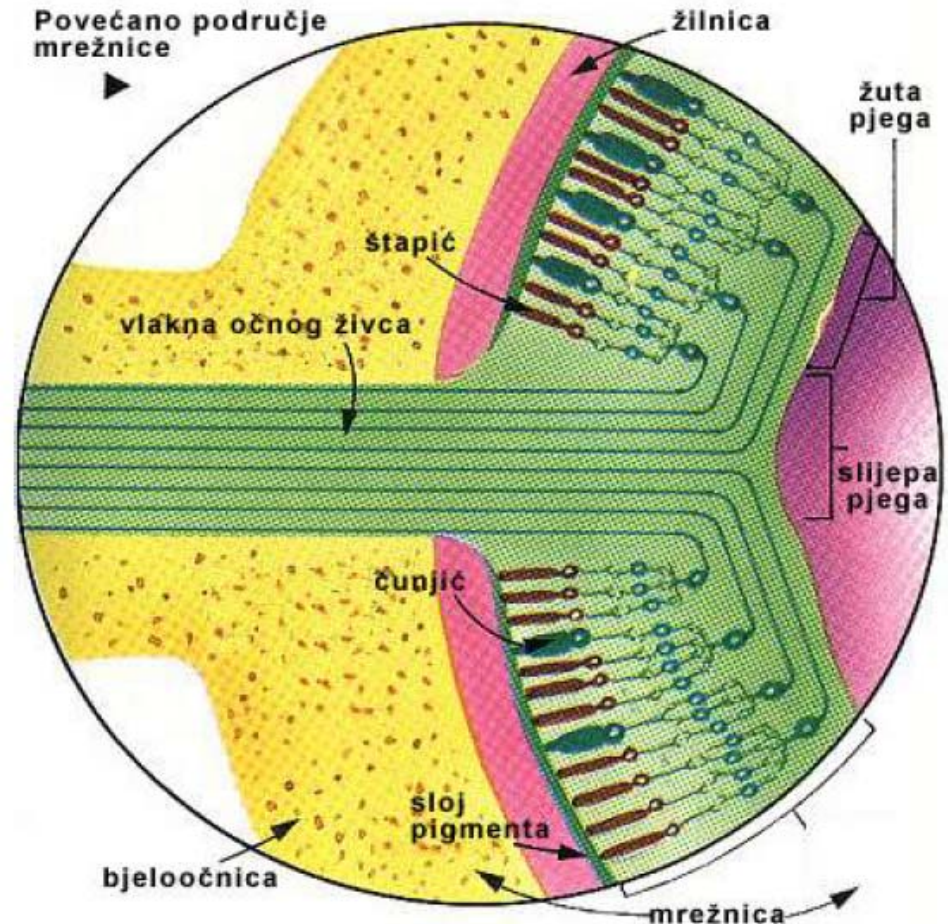


Mrežnica:

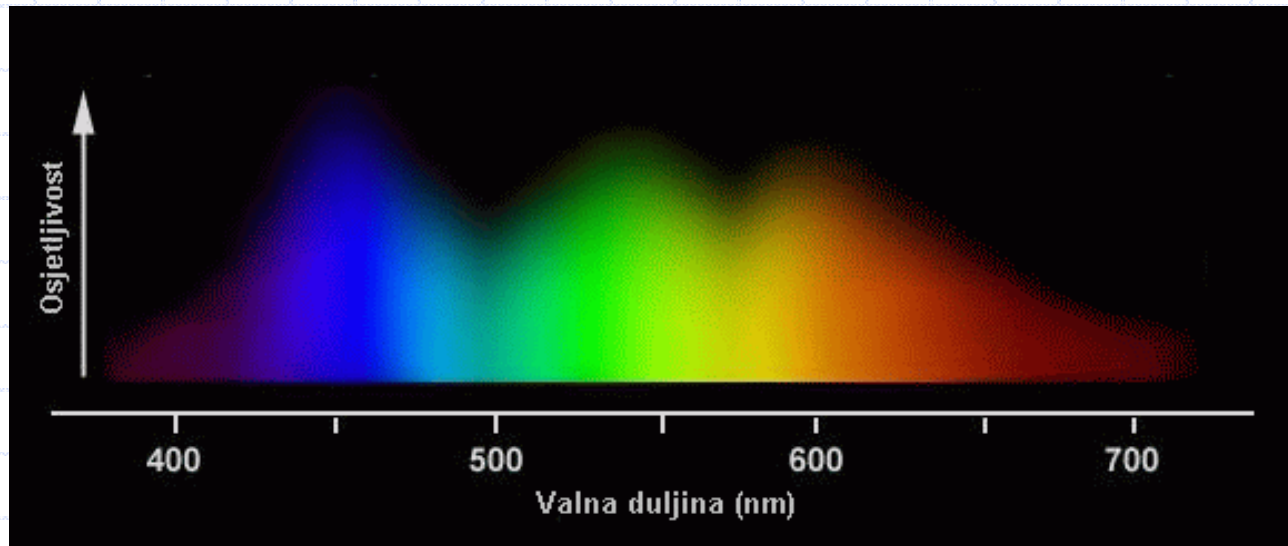
- ❑ Najvažniji čimbenik za funkciju oka.
- ❑ U njoj se nalazi receptorski aparat osjeta vida.
- ❑ Sastoji se od dvije vrste živčanih stanica, **čunjića i štapića** (6-7milijuna, 75-150 milijuna).
- ❑ Najosjetljivija točka je makula (žuta pjega) – promjera oko 1,5 mm.
- ❑ Zrake svjetla dolaze kroz rožnicu na leću, lome se i projiciraju na mrežnicu gdje nastaje obrnuta slika uočenog predmeta.

Čunjići i štapići:

- Štapići su raspoređeni periferno od žute pjege i u tom području prekrivaju 97.25% površine mrežnice.
- Čunjića ima najviše na prostoru žute pjege, a prema periferiji im broj opada.
- Štapići nisu osjetljivi na boju i služe uglavnom pri slabom svjetlu i iz tog razloga se pri slabom svjetlu slabo raspoznaju boje.
- Međutim, štapići su vrlo osjetljivi za percepciju kretanja objekata u vidnom polju.



- Postoje tri vrste čunjića prema osjetljivosti na boje, pa se dijele na crvene, zelene i plave.



Ako su obasjani odvojeno crvenom, plavom i zelenom bojom, mozak to interpretira kao da vidimo bijelu svjetlost.

Osnove razlike štapića i čunjića:

Štapići (zapažanje svjetla):

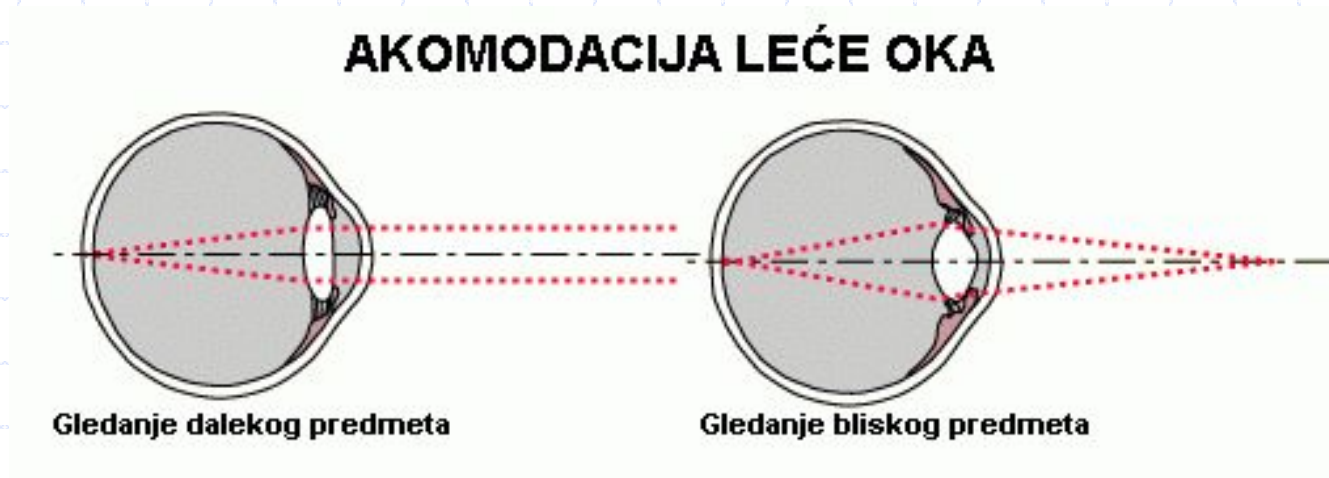
- Velika osjetljivost, specijalizirani za gledanje u mraku.
- Više vidnog pigmenta, hvataju više fotona.
- Veliko pojačavanje signala, detekcija već jednog fotona.
- Zasićenje (saturacija) pri dnevnom svjetlu.
- Najosjetljiviji na svjetlo valne duljine 505 nm.
- Spora adaptacija na mrak (oko 30 minuta).
- Slaba oštrina vida.
- Akromatski: jedna vrsta vidnog pigmenta.

Čunjići (zapažanje boja):

- Manja osjetljivost, specijalizirani za gledanje po danu.
- Manje fotopigmenta.
- Manje pojačavanje signala.
- Zasićenje (saturacija) jedino na jarkom svjetlu.
- Najosjetljiviji na svjetlo valne duljine 555 nm.
- Brza adaptacija na mrak (oko 5 minuta).
- Velika oštrina vida.
- Kromatski: tri vrste čunjića s tri vrste vidnih pigmenata (svaki osjetljiv na posebni dio vidnog spektra).

Akomodacija oka

- Oko se podešava za jasno gledanje bliskih predmeta ispuščavanjem leće, pomoću cilijarnih vlakana, tj. smanjenjem žarišne duljine leće.
- Gledajući akomodaciju oka i najfinija kamera se čini poput igračke prema složenosti oka.
- U starijoj dobi cilijarna vlakna i leća gube svoju elastičnost što otežava akomodaciju i nastaje staračka dalekovidnost.

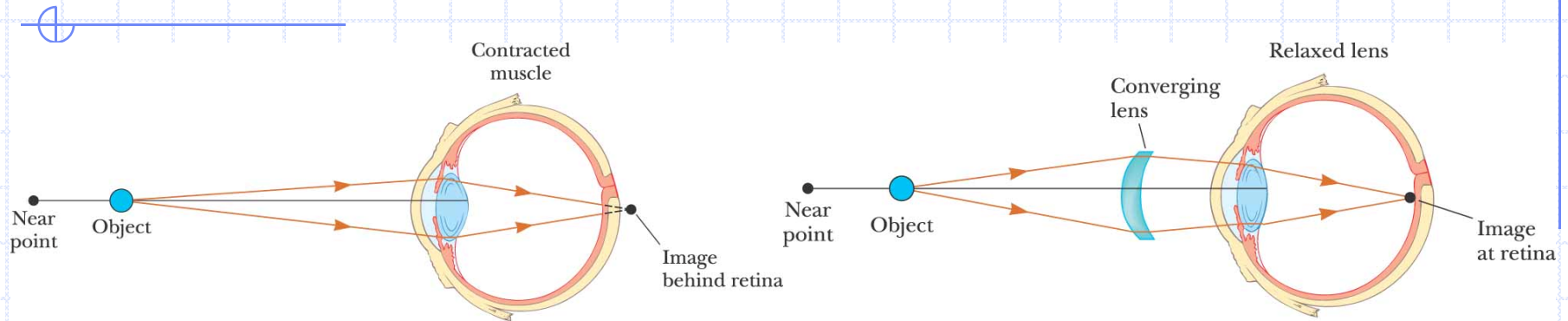


Bliska i daleka točka



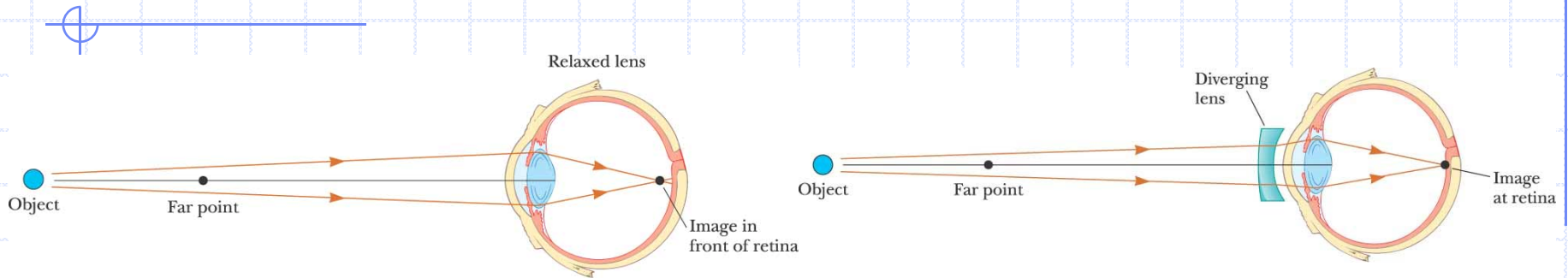
- Predmeti koji se nalaze na udaljenosti manjoj od tzv. "bliske točke" (P_n) ne vide se jasno, $P_n \sim 25$ cm
- Daleka točka je najudaljenija točka do koje oko može fokusirati neki predmet. Za ljude sa normalnim vidom daleka točka je u beskonačnosti.

Dalekovidnost :



- Zrake svjetla padaju na mrežnicu prije nego formiraju sliku, tj. formiraju sliku iza mrežnice zbog smanjene udaljenosti između leće i mrežnice.
- Dalekovidna osoba čisto vidi daleke objekte dok kod bliskih objekata vidi mutnu sliku.
- Oko dalekovidne osobe akomodacijom pokušava skratiti žarišnu duljinu, ali ne može u potpunosti.
- Vid se korigira postavljanjem konveksne leće ispred oka, čija se jačina izražava u plus (+) dioptrijama.

Kratkovidnost:

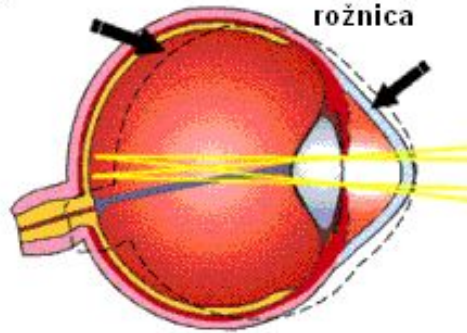


- Zrake svjetla formiraju sliku ispred mrežnice te nastavljaju divergirati prema mrežnici gdje čine nejasnu (mutnu) sliku. To je posljedica povećane udaljenosti između leće i mrežnice.
- Kratkovidna osoba čisto vidi bliske objekte, dok kod dalekih objekata vidi mutnu sliku.
- Vid se korigira postavljanjem konkavne leće ispred oka, čija se jačina izražava u minus (-) dioptrijama.

Astigmatizam:

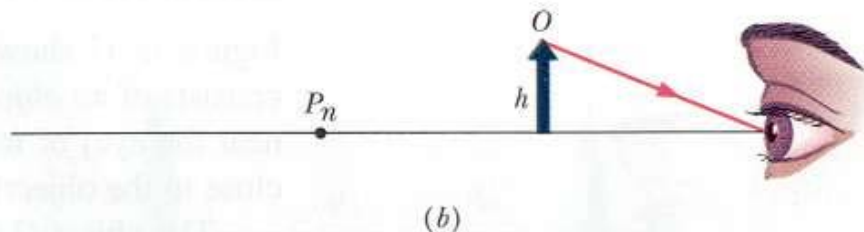
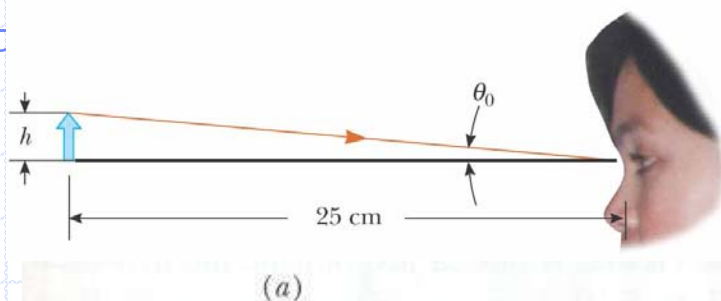
Crtkana linija
predstavlja obris
normalnog oka

Nepravilno
zakrivljena
rožnica

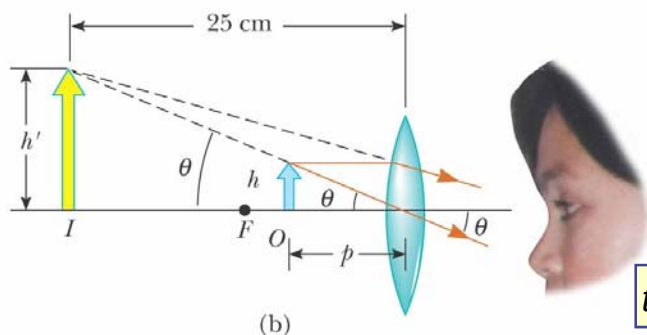


- Astigmatizam je anomalija vida koja nastaje kada je zakrivljenost rožnice nepravilna, što za posljedicu ima poremećenu oštrinu vida.
- Korigira se lećama koje duž svoje površine imaju različitu zakrivljenost.

Optički instrumenti – Jednostavno povećalo



Predmeti koji se nalaze na udaljenosti manjoj od tzv. "blize točke" (P_n) ne vide se jasno, $P_n \sim 25$ cm. Kutna veličina objekta je najveća kad se nalazi u "bliskoj točki".



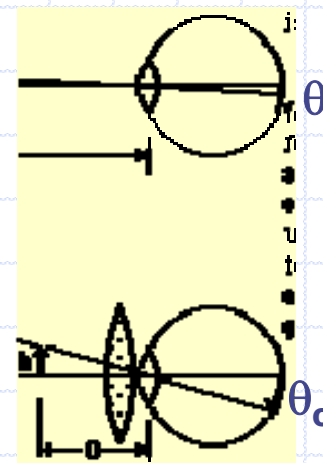
Kutno Povećanje:

$$m_{\theta} = \frac{\theta}{\theta_0}$$

Za male kutove vrijedi:

$$\text{tg } \theta \approx \theta; \quad \text{tg } \theta_0 \approx \theta_0$$

$$\theta_0 \approx \frac{h}{25 \text{ cm}}; \quad \theta = \frac{h}{f}$$



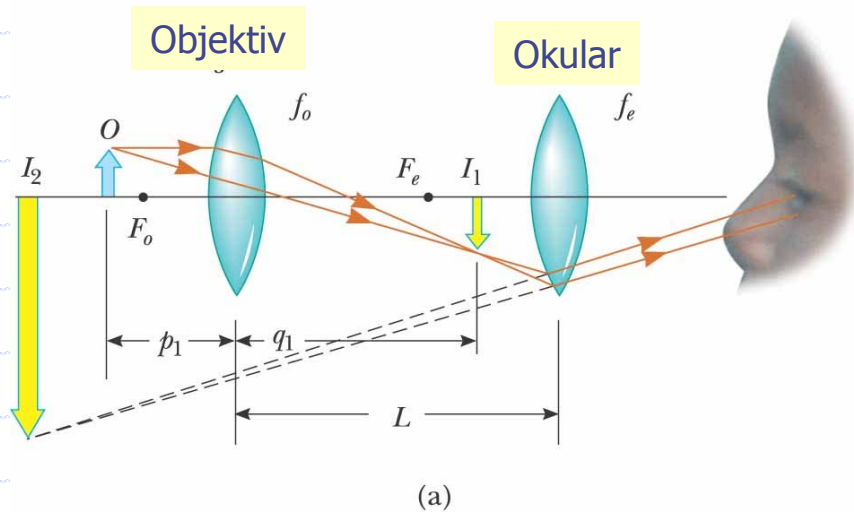
Prividna veličina objekta je određena veličinom slike na retini.

Maksimalno povećanje jednostavnog povećala je od 3 do 4 puta.

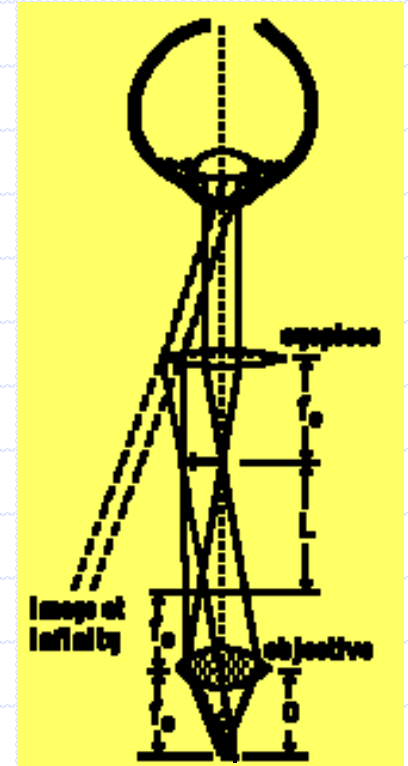
$$m_{\theta} = \frac{25 \text{ cm}}{f}$$

Kutno povećanje je omjer veličine slike na retini kad se koristi uređaj, prema veličini slike na retini viđene bez uređaja.

Optički instrumenti – Složeni mikroskop



©2004 Thomson - Brooks/Cole



□ Transverzalno povećanje objektiva:

$$m = -\frac{q_1}{p_1} \approx -\frac{L}{f_{ob}}$$

q_1 - udaljenost slike od objektiva
 p_1 -udaljenost predmeta od objektiva $\sim f_{ob}$

◆ Kutno povećanje okulara:

$$m_\theta = \frac{25\text{cm}}{f_{ey}}$$

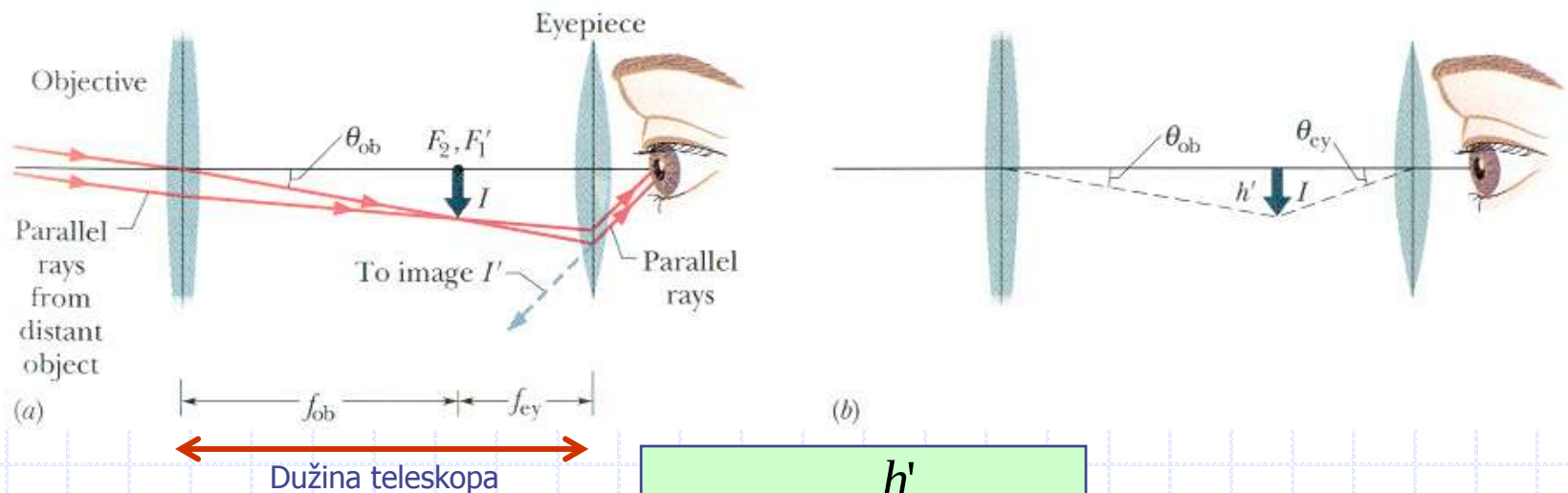
◆ Ukupno povećanje:

$$M = mm_\theta = -\frac{L}{f_{ob}} \frac{25\text{cm}}{f_{ey}}$$

Mikroskop treba imati što manju
 žaršinu daljinu objektiva i okulara.

Optički instrumenti – Teleskop

- Kod teleskopa druga žarišna točka objektiva mora se poklapati s prvom žarišnom točkom okulara, dok se one kod mikroskopa ne poklapaju.



□ Pojačanje teleskopa:

$$m_{\theta} = \frac{\theta_{ey}}{\theta_{ob}} = \frac{f_{ob}}{f_{ey}} = -\frac{f_{ob}}{f_{ey}}$$

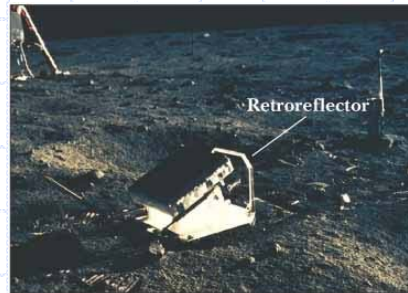
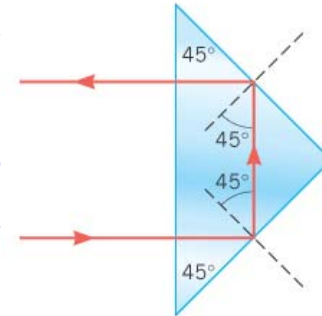
Teleskop treba imati što veću žarišnu daljinu objektiva i što manju žarišnu daljinu okulara.

Pitanja

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)
2. Objasnite nastanak totalne refleksije i navedite jednu njenu primjenu.
3. što je to Fermatov princip. Izvedite zakon refleksije i loma iz Fermatovog principa.
4. Kako se konstruira slika sfernih zrcala.
5. Kako se konstruira slika leća.

Primjer višestruke refleksije i retrorefleksije

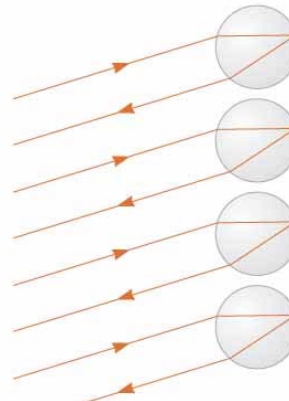
- ❑ Kad je kut između dva zrcala 90° reflektirani snop će se vratiti u izvor paralelno svom originalnom putu.
- ❑ Ova pojava se zove **retrorefleksija** i ima mnoge praktične primjene
- ❑ 1969 na Mjesecu je postavljen uređaj koji se sastoji od sustava zrcala kojima se ostvaruje retrorefleksija, tj. laserska zraka s Zemlje se reflektira natrag u samu sebe i mjeri se vrijeme potrebno da se zraka reflektira natrag i tako se s preciznošću od 15 cm mjeri udaljenost Zemlja-Sunce.
- ❑ Retrorefleksija se koristi i na stažnjim svjetlima automobila, tako se svjetla automobila koji se približava reflektiraju nazad radi bolje uočljivosti
- ❑ Male sfere na crtežu desno se koriste da pojačaju vidljivost prometnih znakova.



(a)



(b)



(c)