



The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. These shapes are primarily located on the left and right sides of the frame, creating a modern, layered effect. The central area is white, providing a clean space for the text.

OPTIKA

GEOMETRIJSKA OPTIKA

OPTIKA

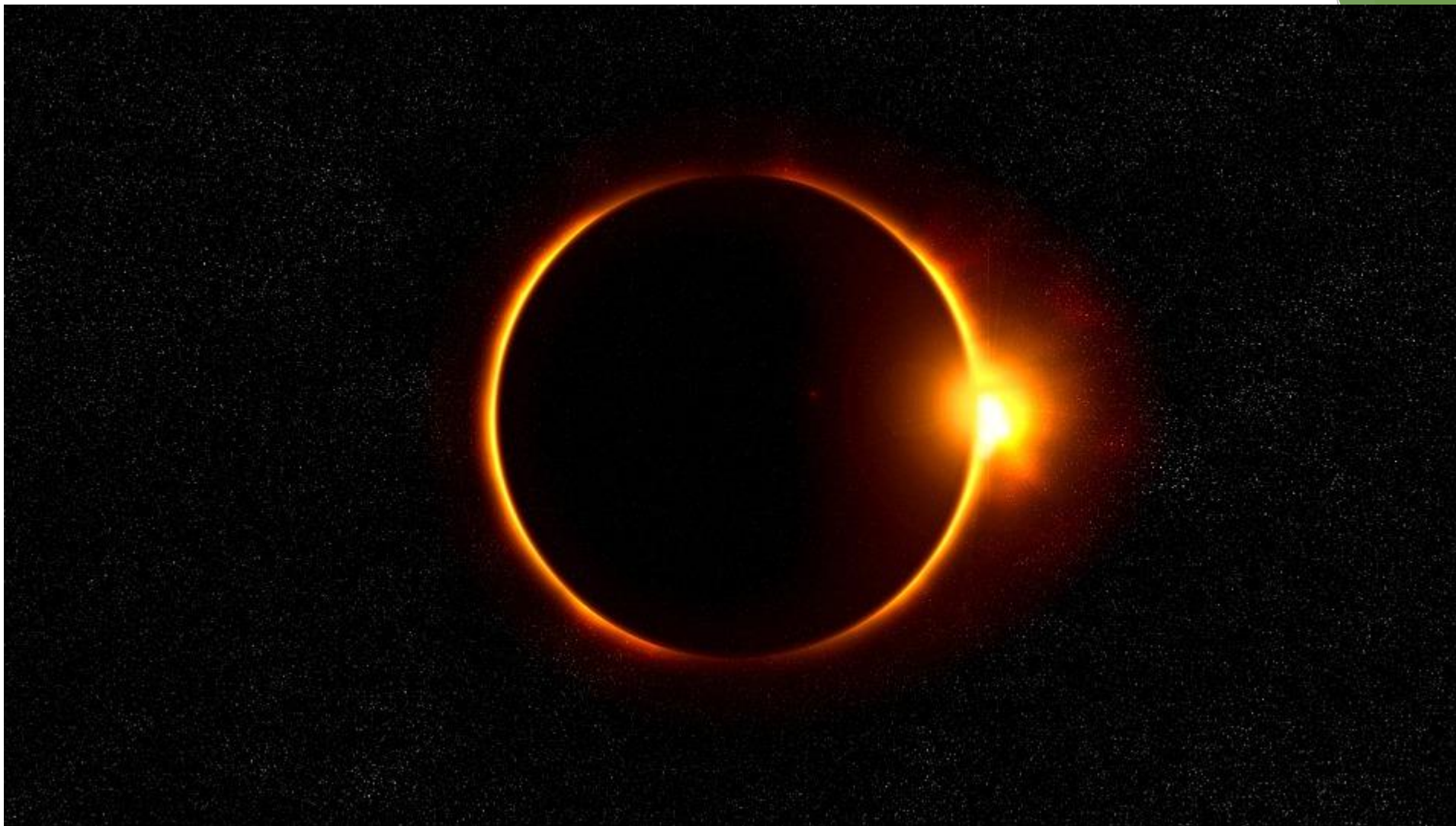
Dio fizike koji proučava svjetlost i svjetlosne pojave.

Podjela:

- **Geometrijska optika:** svjetlost opisujemo kao snop zraka koje se šire sredstvom. Aproksimacija je dobra dok su promatrane dimenzije puno veće od valne duljine svjetlosti.
- **Fizikalna optika:** proučava pojave u kojima se jasno očituje valna priroda svjetlosti (interferencija, ogib, difrakcija i polarizacija)

Neke procese ne može objasniti klasična optika, odnosno valna teorija svjetlosti. Objasnjavaju ih čestična priroda svjetlosti. Kasnije više o tome.





Pomrčina Sunca nastaje kad se Mjesec nađe na istom pravcu između Sunca i Zemlje pa djelomično ili potpuno zakloni Sunce.

Vidljiva svjetlost i izvori svjetlosti

Vidljiva svjetlost - elektromagnetski valovi na koje je ljudsko oko osjetljivo (380 do 780 nm).

Izvori svjetlosti:

- **Primarni izvori** - tijela koja svijetle sama od sebe: Sunce, zvijezde, užarene kovine...
- **Sekundarni izvori** - **tijela od kojih se svjetlost odbija: Mjesec...**
- **Umjetni izvori** - tijela koja svijetle izgaranjem ili zbog zagrijavanja električnom strujom na visoku temperaturu: baklje, svijeće, petrolejske svjetiljke, žarulje...

Polikromatski izvori - svjetlost im je sastavljena od više valnih duljina.

Monokromatski izvori - svjetlost je sastavljena od valova samo jedne valne duljine. Teško za postići.

Najbliže monokromatskom izvoru: laser!

Valne duljine vidljive svjetlosti:

380-440 nm **Ljubičasta**

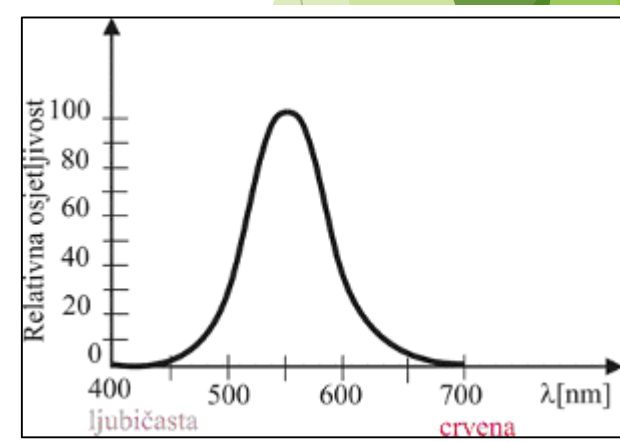
440-490 nm **Plava**

490-570 nm **Zelena**

570-590 nm **Žuta**

590-620 nm **Narančasta**

620-780 nm **Crvena**



Geometrijska optika



Refleksija s mirne
površine vode.
Je li fotografija
uspravna ili obrnuta?
Zašto?

Geometrijska optika

Svjetlost opisujemo kao snop zraka koji se od izvora širi po osnovnim zakonima geometrijske optike.

Osnovni zakoni geometrijske optike:

- Zakon pravocrtnog širenja svjetlosti
- Zakon nezavisnosti svjetlosnih snopova
- Zakon refleksije (odbijanja) svjetlosti i
- Zakon refrakcije (loma) svjetlosti

Zakon pravocrtnog širenja svjetlosti:

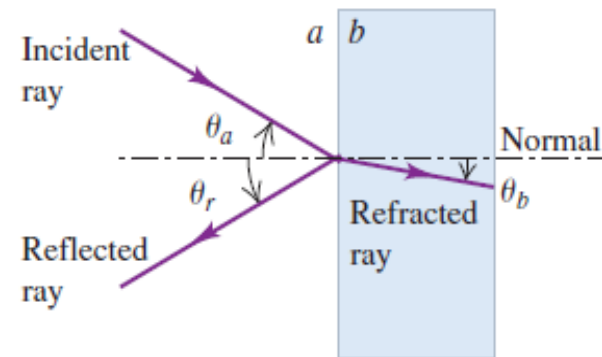
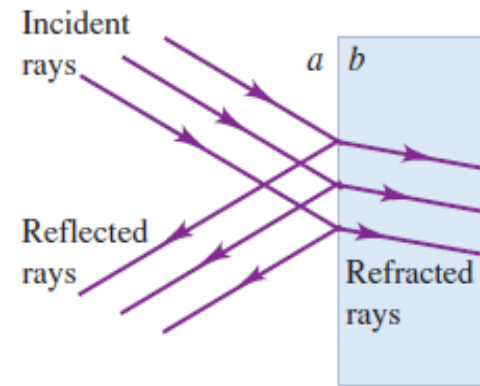
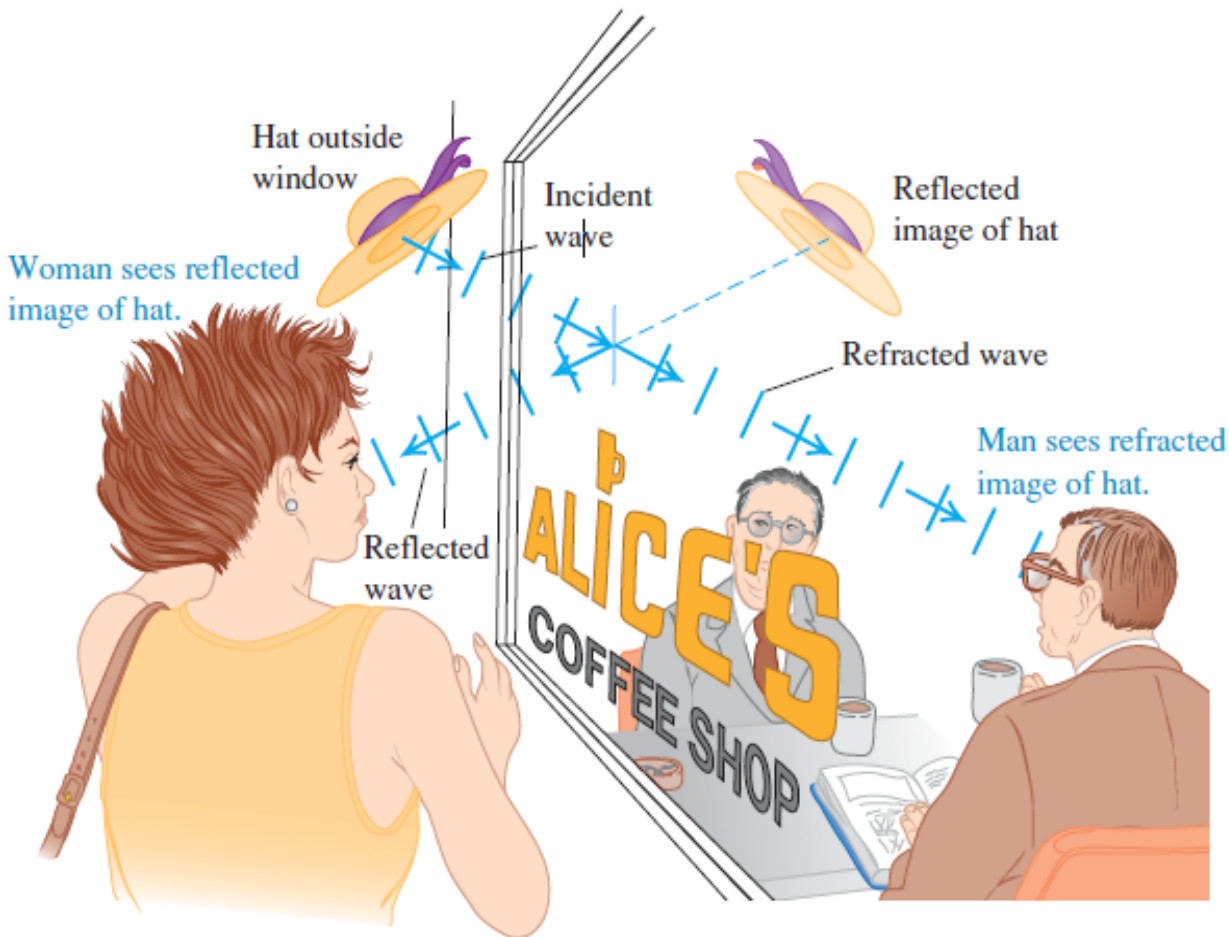
Svjetlost se u homogenom prozirnom sredstvu širi po pravcu.

Zakon nezavisnosti svjetlosnih snopova

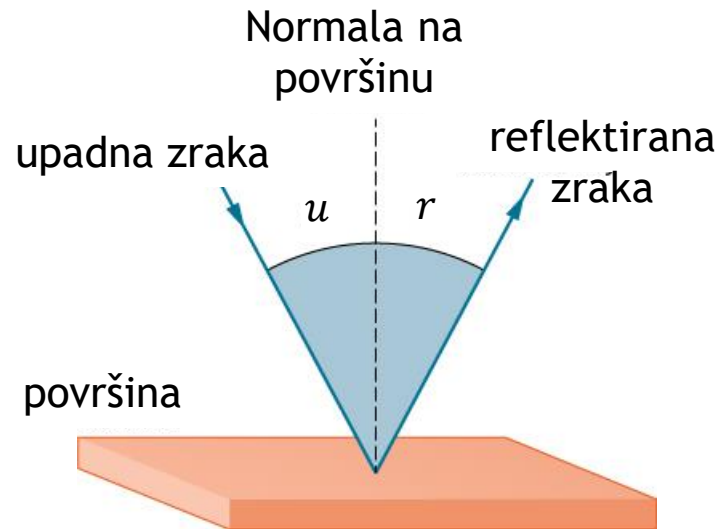
Ako se dva svjetlosna snopa presijecaju, jedan na drugi ne utječu i svaki se širi tako kao da onaj drugi ne postoji.

Refleksija i lom svjetlosti

Kada svjetlost upada na granicu između dvaju sredstava, jedan se njezin dio reflektira, a ostatak prolazi u drugo sredstvo, pri čemu dolazi do loma.

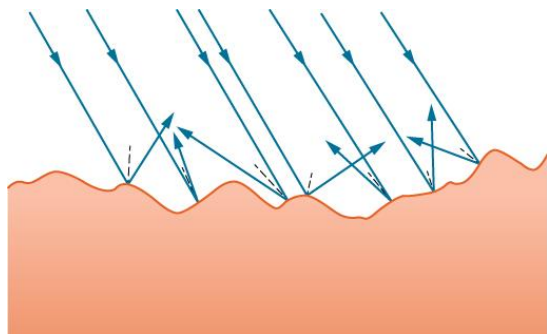


Refleksija svjetlosti

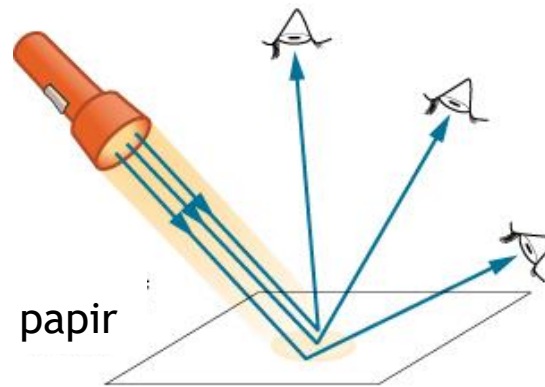


Kut upadanja svjetlosti u , tj. kut koji upadna zraka svjetlosti zatvara s normalom na površinu, jednak je kutu refleksije r , tj. kutu između normale i reflektirane zrake.

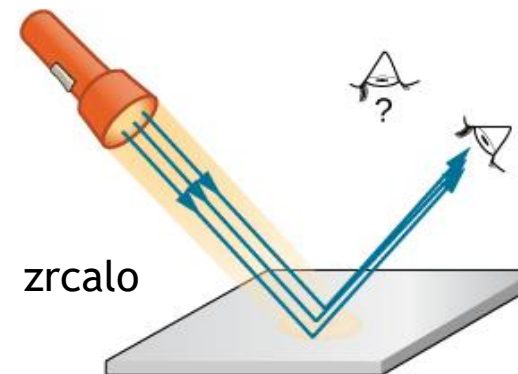
$$u = r$$



Difuzija svjetlosti s neravne površine



Difuzija svjetlosti s neravne površine



Difuzija svjetlosti s glatke površine

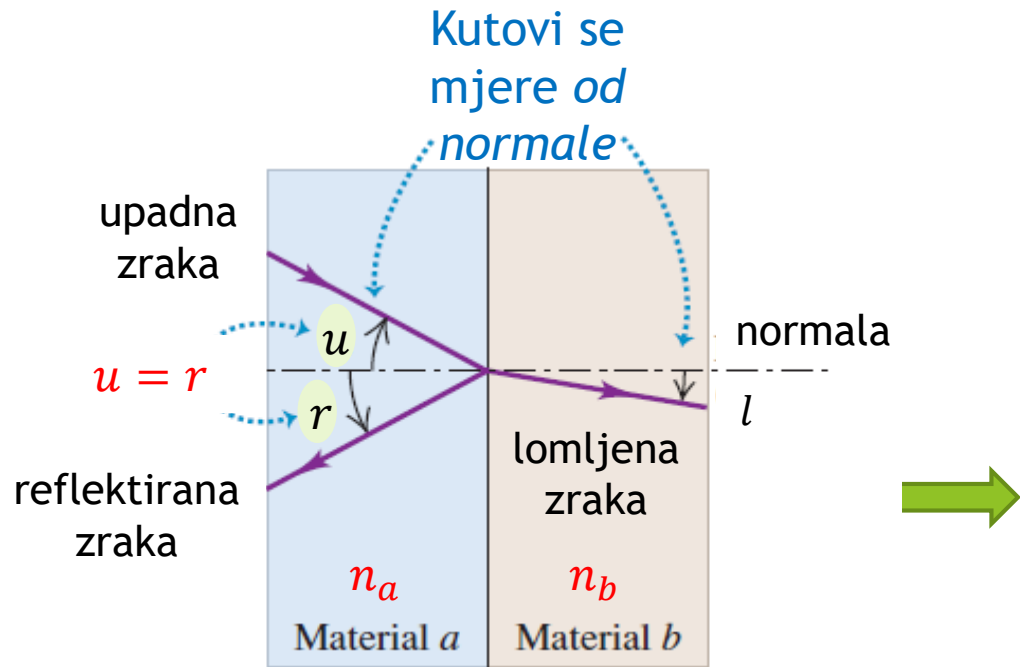


kombinacija



Lom svjetlosti

Upadna, reflektirana i lomljena zraka, kao i normala na reflektiranu površinu sve leže u istoj ravnini.



$$\frac{\sin u}{\sin l} = \frac{n_b}{n_a}$$

Snellov zakon

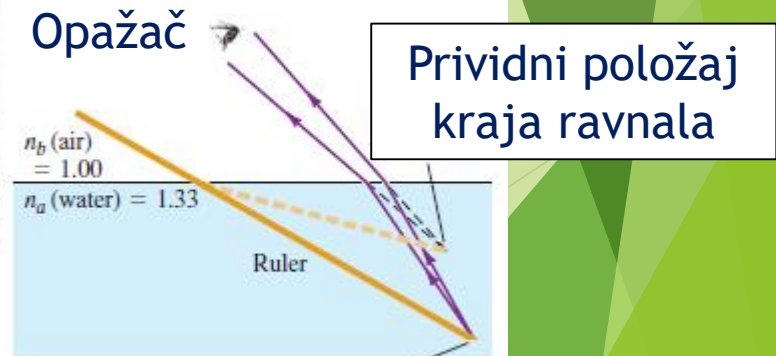
Ravnalo uronjeno u vodu do pola, čini se savinuto



Zašto se ravnalo čini savinuto:

Opažać

$n_b(\text{air}) = 1.00$
 $n_a(\text{water}) = 1.33$



Prividni položaj kraja ravnala

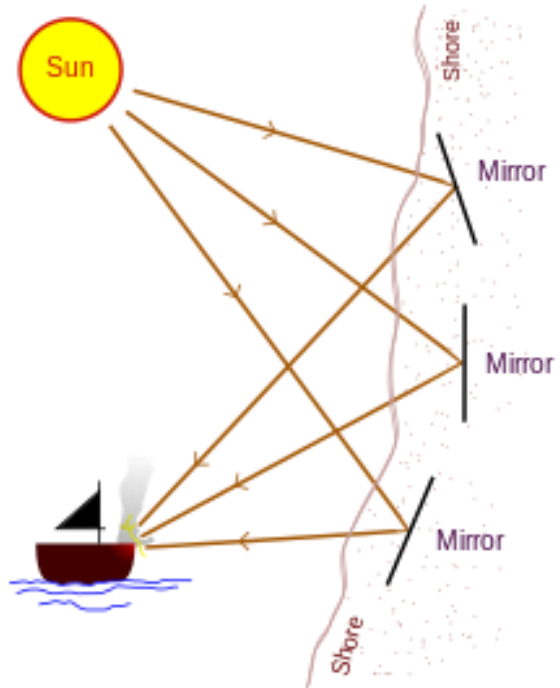
Stvarni položaj kraja ravnala

Tablica 8.6. Indeksi loma nekih tvari

Sredstvo	Brzina / $1\,000\text{ km s}^{-1}$	Indeksa loma
vakuum	300	1
zrak	300	1,0003
voda	225	1,333
etilni alkohol	220	1,362
krunsko staklo	198	1,515
kanadski balsam	198	1,515
flint-staklo	186	1,609
ugljik-bisulfid	184	1,629
dijamant	124	2,417



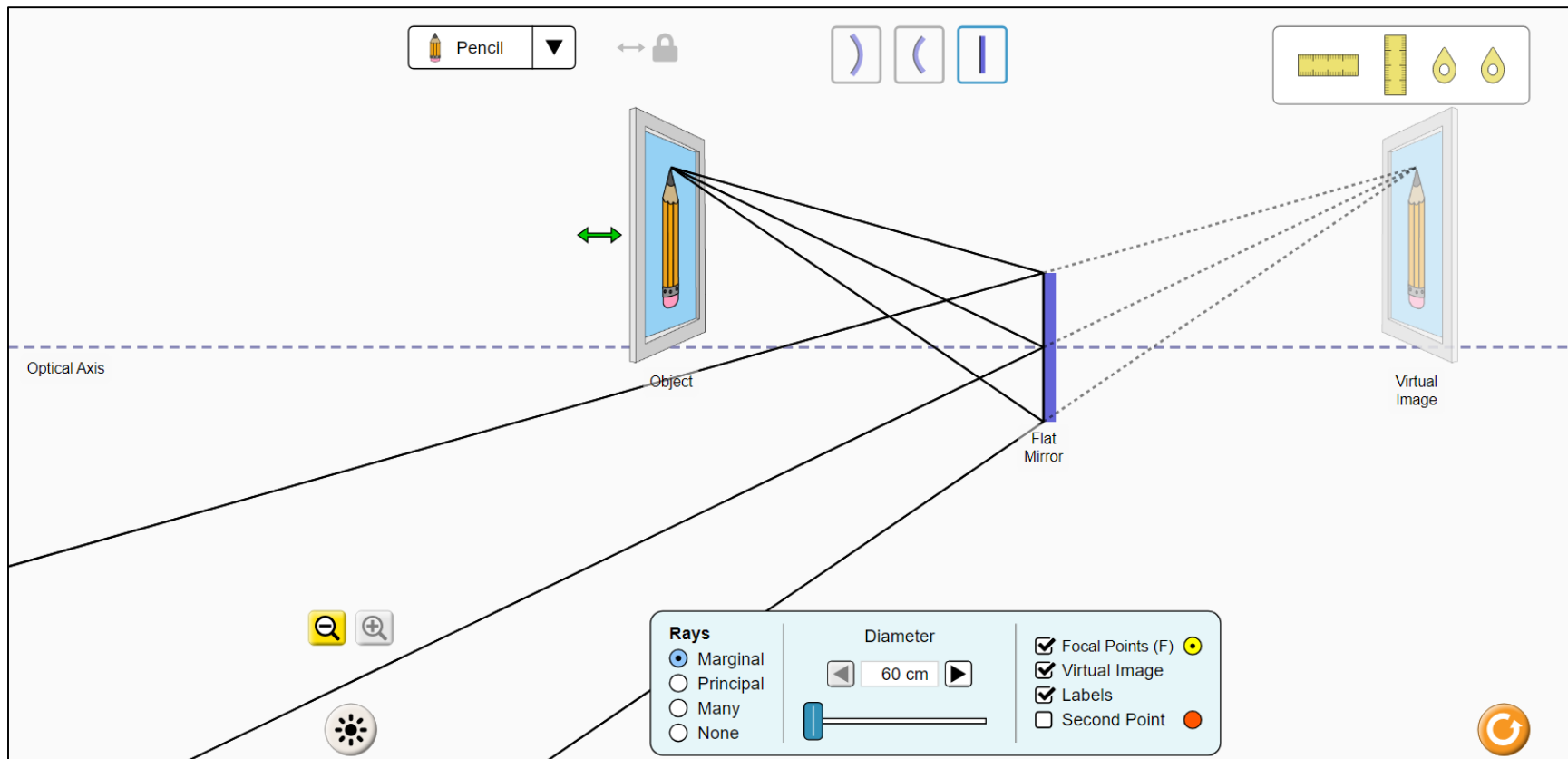
Da li je to moguće ?



Zrcala

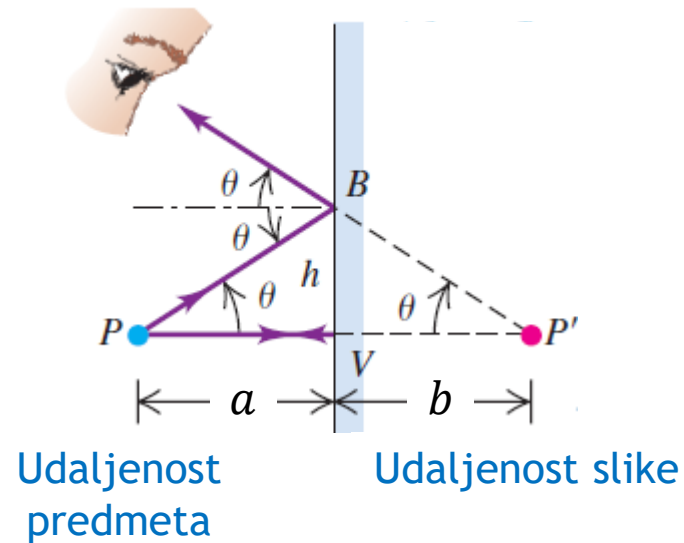
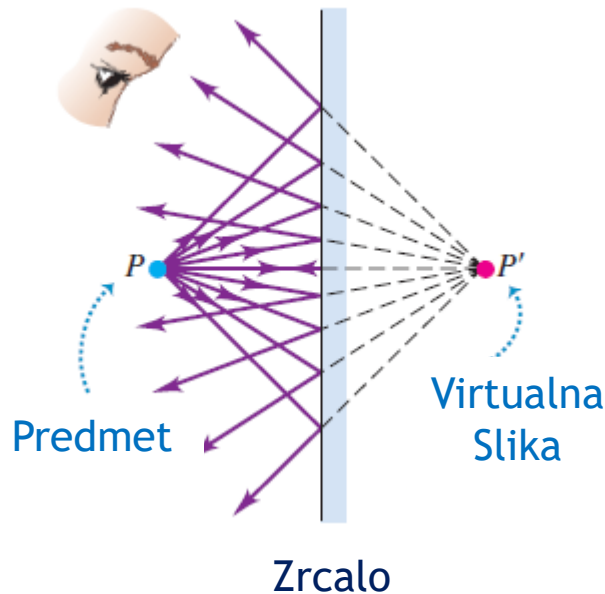
Zrcalo (ogledalo) = svaka glatka površina koja dobro reflektira svjetlost.

- Ravno, sferno, parabolično, eliptično...



Ravno zrcalo

= ravna, glatka, reflektirajuća površina



Zrake emitirane iz točkastog izvora P, nakon refleksije na zrcalu daju divergentni snop. **Produžeci** reflektiranih zraka sijeku se **IZA** zrcala u točki P' → **Virtualna slika**.

$$u = r = \theta$$

Sukladni trokuti: BPV i $BP'V$

$$\rightarrow \overline{PV} = \overline{P'V}$$

$$a = -b$$

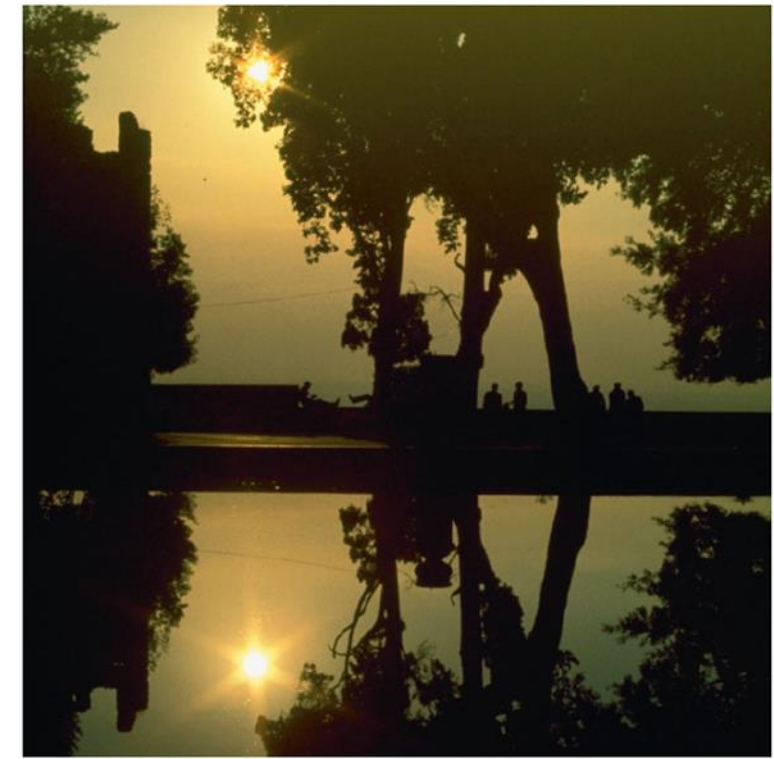
Jednadžba
ravnog zrcala

Virtualna slika

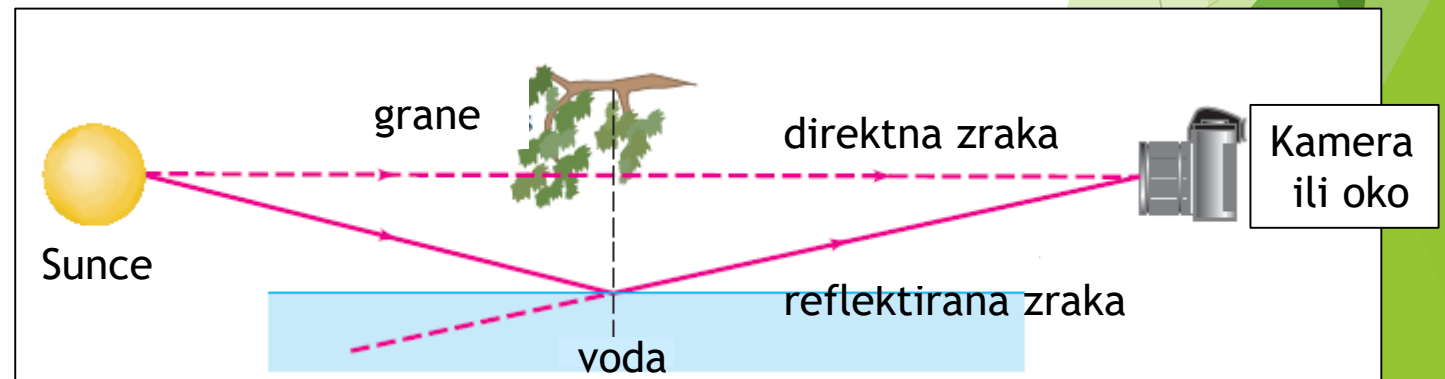
Ravno zrcalo



Početna fotografija
je obrnuta



Direktna svjetlost dolazi
kroz grane, reflektirana ne.
Obrnuto nije moguće.



Pravila o predznacima

- vrijede ne samo za ravna zrcala, već i za sferna zrcala i leće.

Udaljenost predmeta, a

- Kad je predmet s iste strane reflektirajuće površine kao i dolazna svjetlost, udaljenost predmeta je pozitivna: $a > 0 \rightarrow$ **realan** predmet; ako nije, udaljenost je negativna (**virtualan** predmet).

Udaljenost slike, b

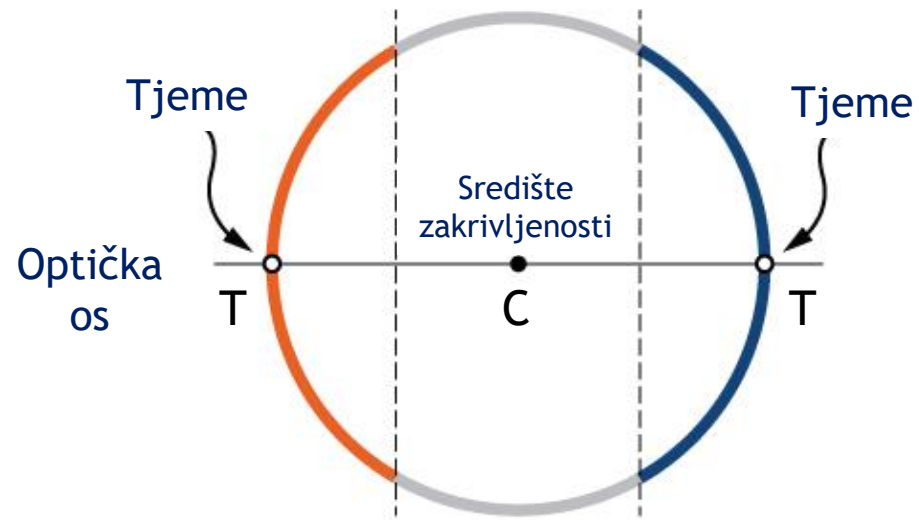
- Kad je slika s iste strane reflektirajuće površine kao i odlazna svjetlost, udaljenost slike je pozitivna: $b > 0 \rightarrow$ **realna** slika; ako nije, udaljenost je negativna (**virtualna** slika).
- Ili: ako nakon refleksije (ili lomova) na optičkom sustavu divergentni snop iz izvora P konvergira u točku P', P' je realna slika ($b > 0$). Ako se nakon prolaska kroz sustav zrake ne sijeku, već divergiraju, tada se njihovi produžeci sijeku i daju virtualnu sliku ($b < 0$).
- Vidimo i realnu i virtualnu sliku, razlika je što virtualnu sliku ne možemo uhvatiti na zastoru, a realnu možemo.

Radijus zakrivljenosti, R i žarište, f

- Kad je središte zakrivljenosti s iste strane kao i izlazna svjetlost, radijus i žarište su pozitivni, ($R, f > 0$); ako je s druge strane, $R, f < 0$.

Sferna zrcala

- Dio kugline plohe



Penguin

Optical Axis

Object

F

Concave Mirror

Real

Rays

- Marginal
- Principal
- Many
- None

Radius of Curvature (-)

150 cm

Diameter

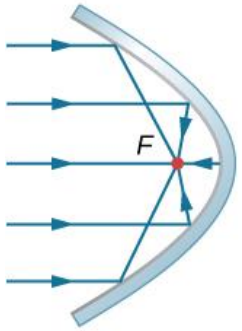
85 cm

- Focal Points (F)
- Virtual Image
- Labels
- Second Point

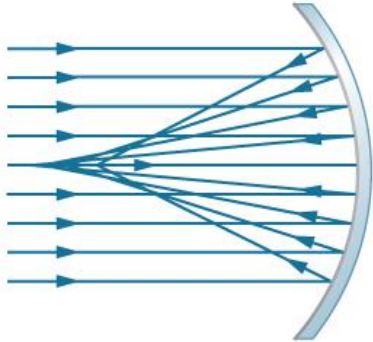
Sferna zrcala - žarište

Konkavno zrcalo

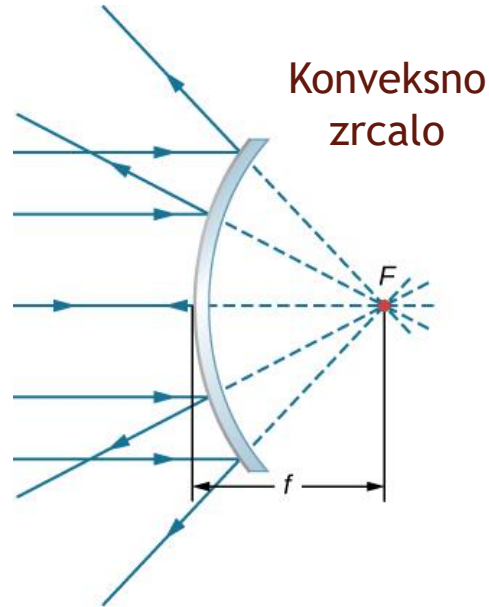
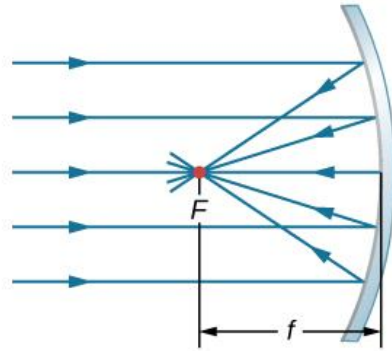
Parabolično zrcalo



Veliko sferno zrcalo



Malo sferno zrcalo



Konveksno zrcalo

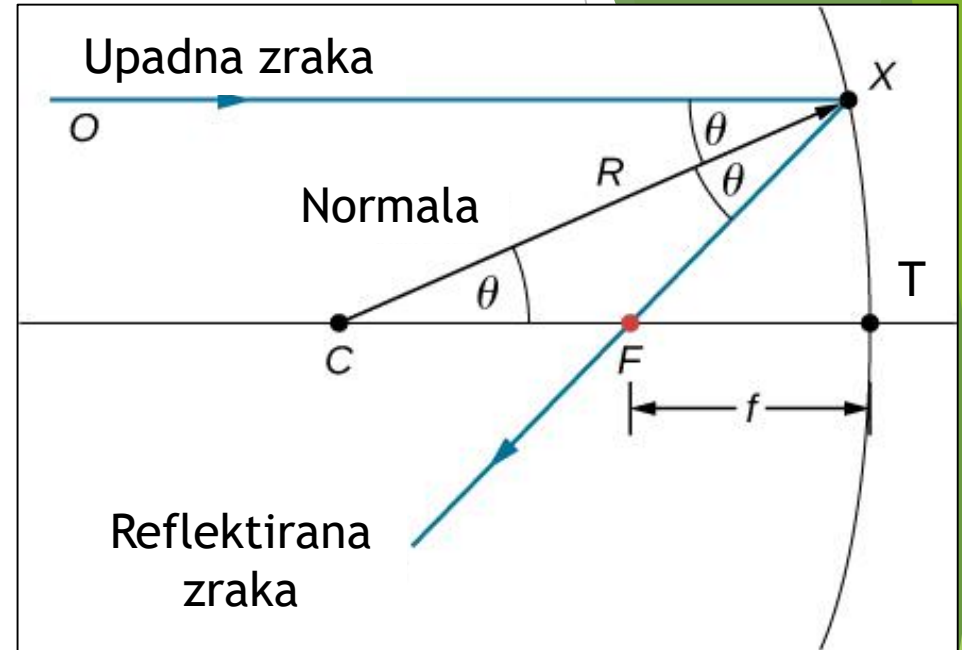


- Snop zraka paralelnih s optičkom osi se nakon refleksije na sfernom zrcalu sijeku u točki $F = \check{Z}ARI\check{S}TE$ (fokus).
- $f = \check{z}ari\check{s}na\ daljina$
- Za parabolična zrcala to je uvijek točno.
- Za velika sferna zrcala (u usporedbi s R) paralelne zrake se ne sijeku u istoj točki -*sferna aberacija* - nastaje mutna slika
- Mala sferna zrcala (u usporedbi s R) - dobra aproksimacija paraboličnog zrcala.

Sferna zrcala - žarište

Gaussove aproksimacije

- Sferna zrcala daju dovoljno dobru sliku samo kada sve zrake koje daju sliku zatvaraju mali kut s optičkom osi, odnosno kad se upotrijebi snop malog otvora čije zrake idu približno paralelno optičkoj osi -paraksijalne zrake.



Aproksimacija malih kutova ($\sin \theta \approx \theta$):



$$R = CF + FT$$

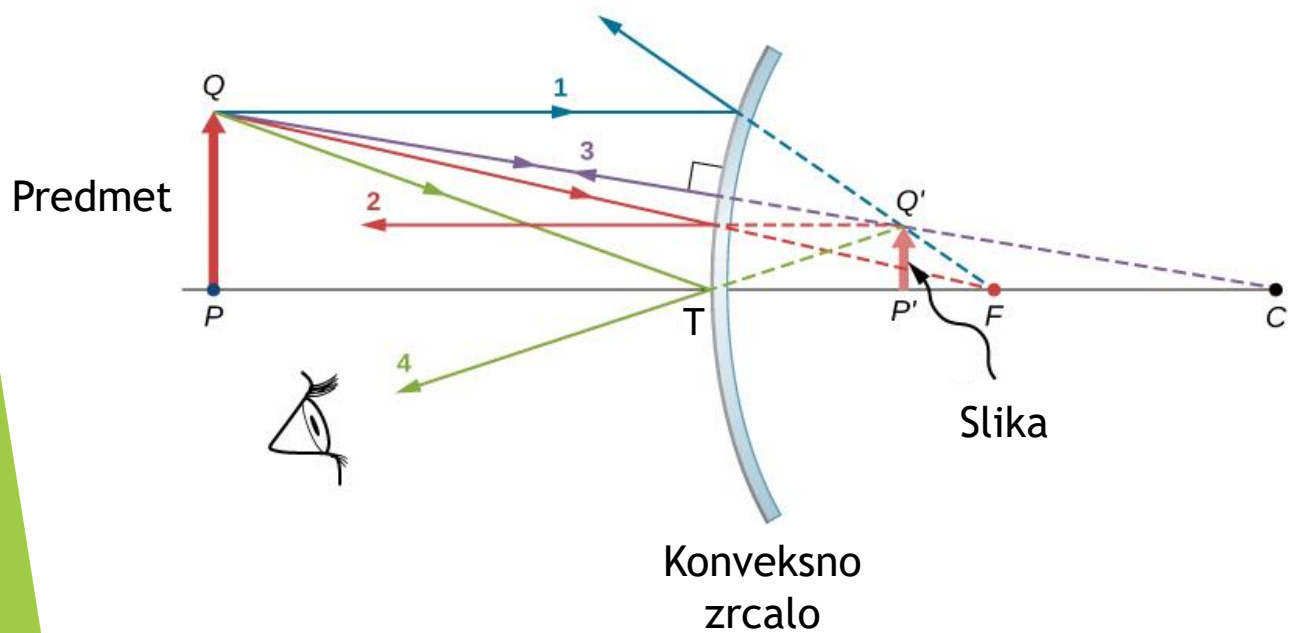
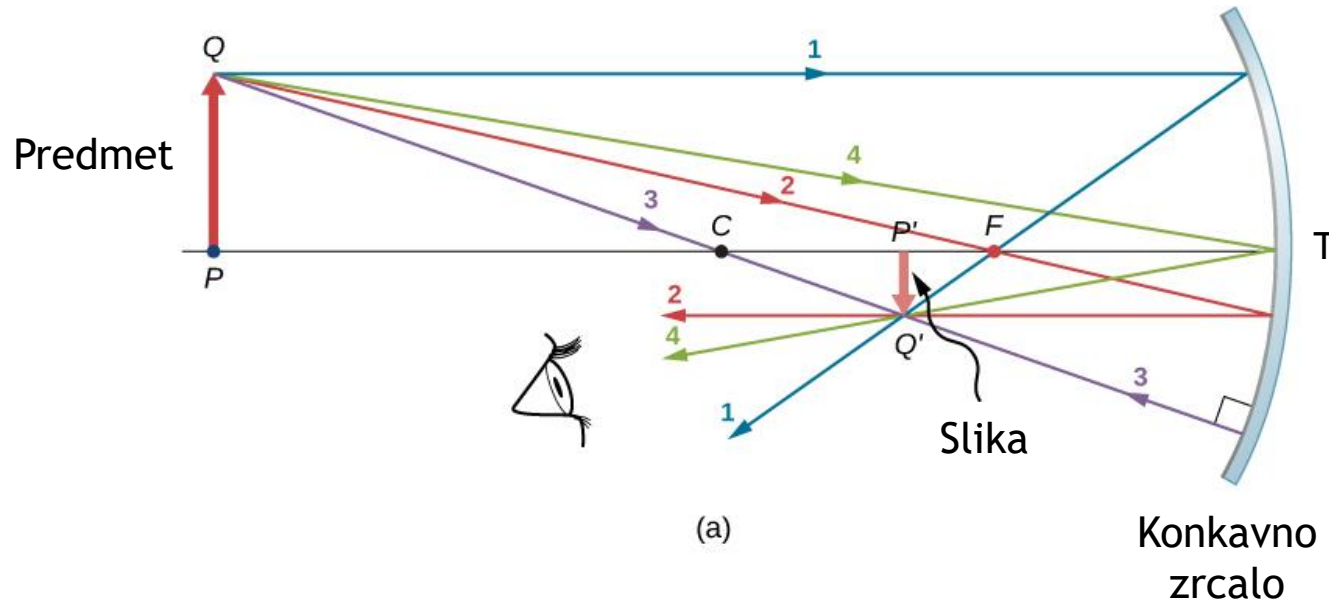
CFX – jednakokr. trokut $\rightarrow CF = FX$

$$FX \approx FT, CF \approx FT$$

$$R = CF + FT = FT + FT = 2f$$

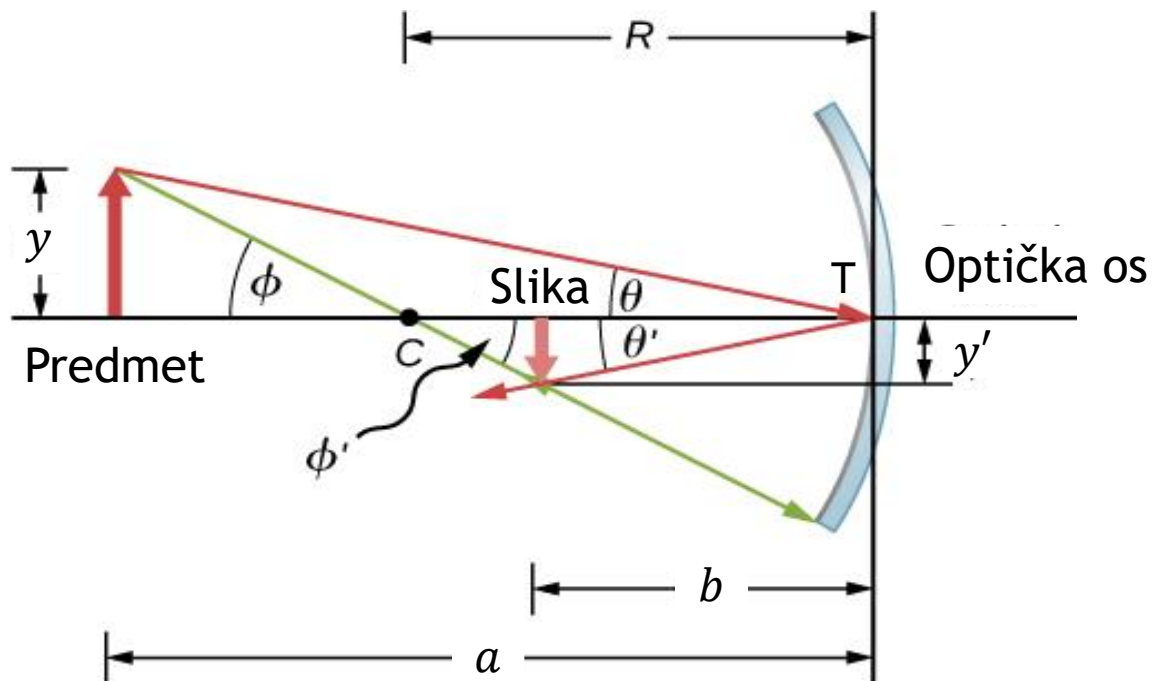
$$f = \frac{R}{2}$$

Sferna zrcala - karakteristične zrake



1. Zraka koja ide paralelno s optičkom osi sfernog zrcala reflektira se tako da prolazi njegovim žarištem.
2. Zraka koja prolazi žarištem reflektira se paralelno s optičkom osi.
3. Zraka koja prolazi središtem zakrivljenosti sfernog zrcala reflektira se sama u sebe.
4. Zraka koja upada u zrcalo u tjemenu reflektira se tako da zatvara jednak kut s optičkom osi kao i upadna zraka ($u = r$).

Sferna zrcala - jednadžba zrcala



Uz aproksimaciju malih kutova:

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

Linearno povećanje:

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

Minus zbog dogovora:
 $m < 0$ obrnuta slika
 $m > 0$ uspravna slika

Predznaci:

$a, b > 0$ – **realni** predmet i slika (ispred zrcala)

$a, b < 0$ – **virtualni** predmet i slika (iza zrcala)

$R, f > 0$ – **konkavno** zrcalo

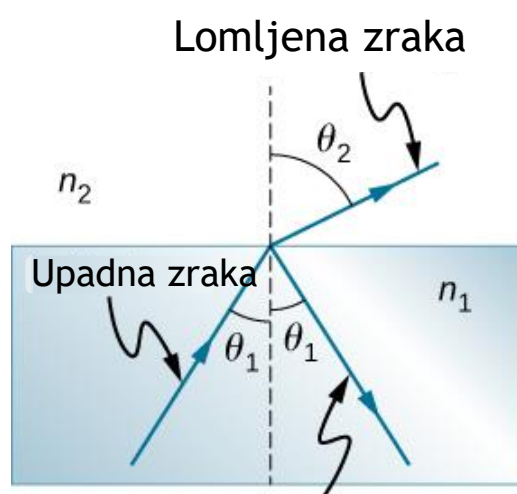
$R, f < 0$ – **konveksno** zrcalo



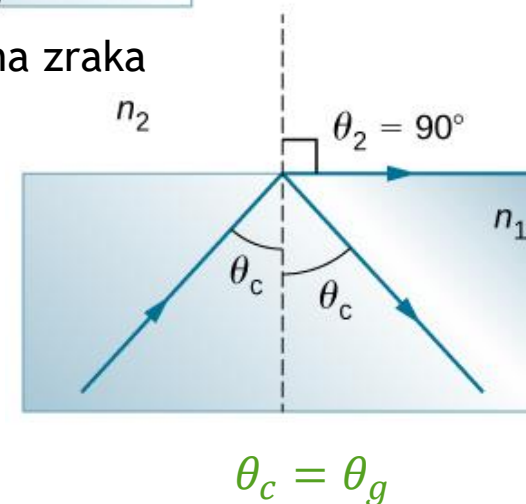
Zašto piše obrnuto ?

Totalna refleksija

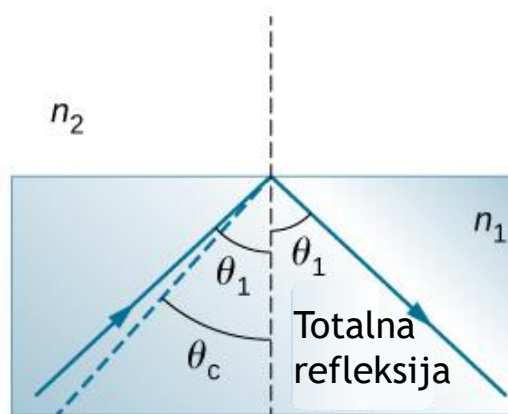
- Zakon loma: $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$
- Za $n_1 > n_2 \rightarrow \theta_2 > \theta_1$:



Kut loma može biti 90° - upadni kut za koji se to događa nazivamo granični kut θ_g .



Za veće upadne kutove od graničnog - totalna refleksija.



$$\sin 90^\circ = 1$$

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

Totalna refleksija - primjena

Ako svjetlost prelazi iz sredstva indeksa loma $n_1 = n$ u zrak/vakuum

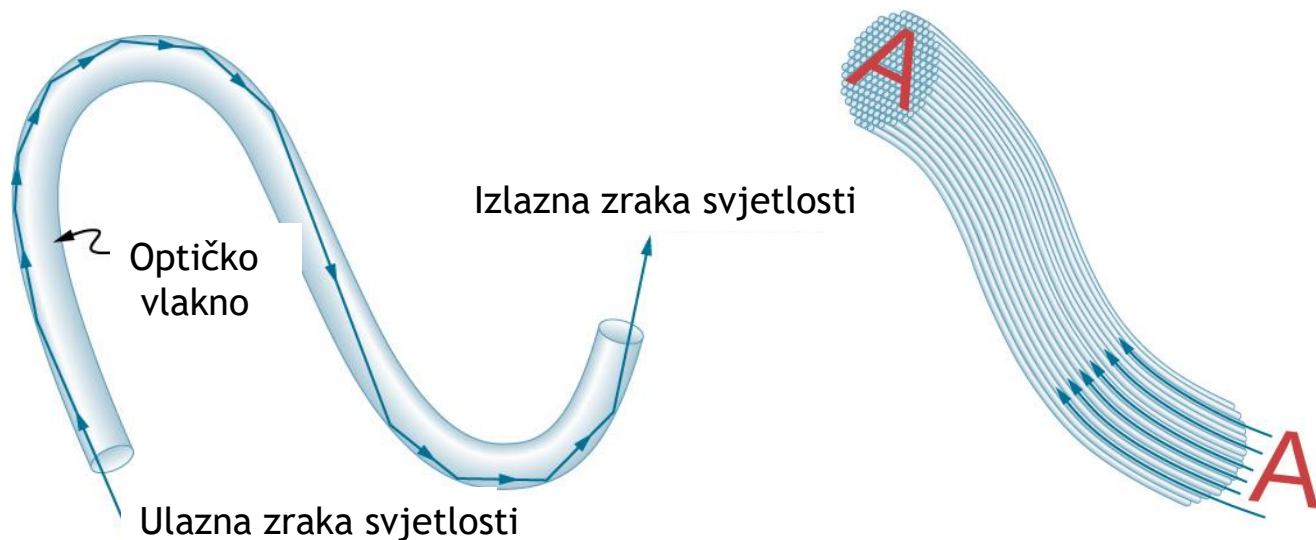
$n_2 = 1$, tada je granični kut:

$$\sin \theta_g = \frac{1}{n}$$

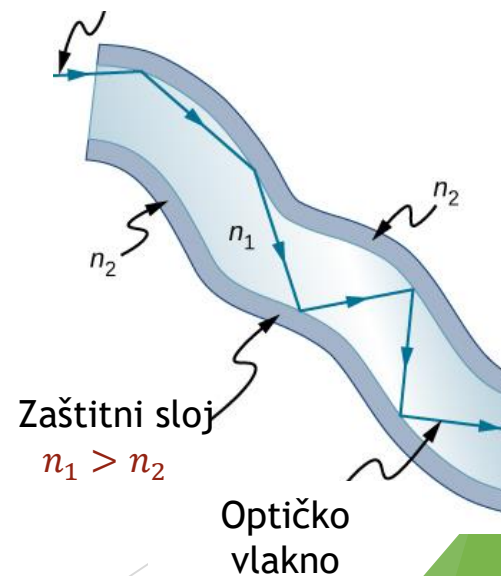
- Za sustav staklo-zrak $\theta_g \approx 40^\circ$, za dijamant-zrak ($n = 2,7$) $\theta_g \approx 24^\circ$
- Kod totalne refleksije 100% upadnog intenziteta je reflektirano, kod obične refleksije dio se apsorbira u sredstvu.

Optička vlakna - komunikacija, medicinska dijagnostika...

Stakleni ili plastični štap



Ulazna zraka svjetlosti



Zaštita optičkih vlakana u snopu da svjetlost ne prelazi iz jednog u drugo vlakno.

Total Internal Reflection in Water

starring Daniel



0:01 / 1:49



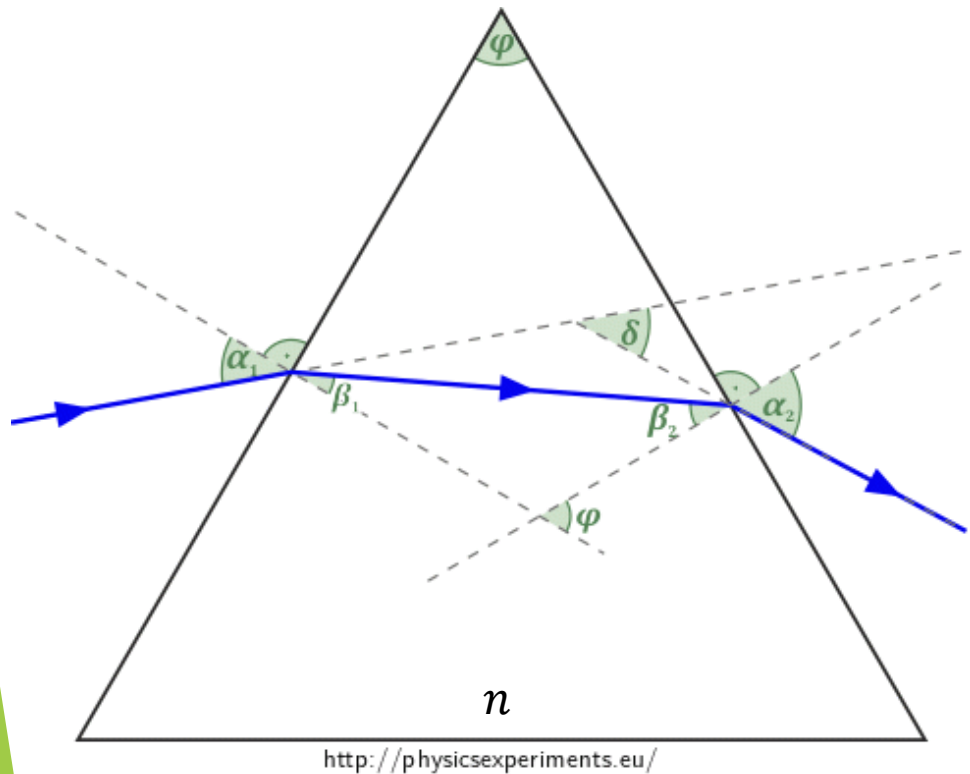
HD





Zašto je nebo plavo ?

Optička prizma



<http://physicsexperiments.eu/>

$$\varphi = \beta_1 + \beta_2$$

$$\delta = \alpha_1 - \beta_1 + \alpha_2 - \beta_2$$

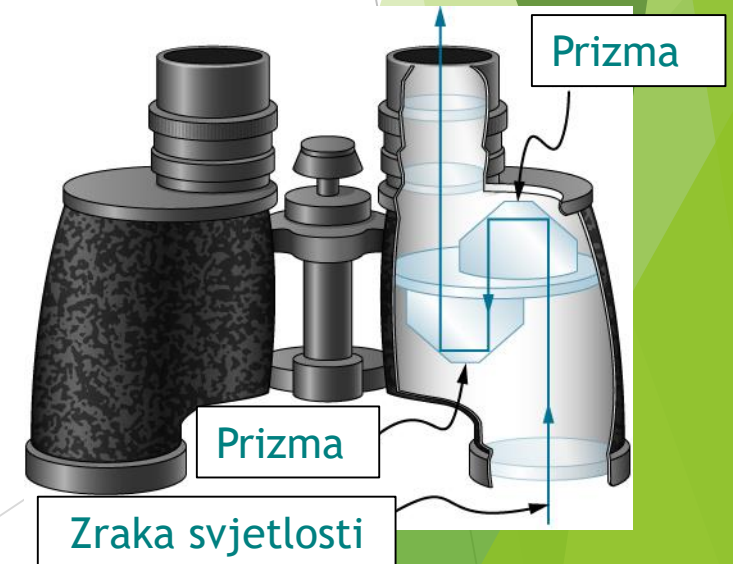
Optička prizma - prozirno sredstvo omeđeno dvama ravnim dioptrima koji zatvaraju kut φ .

Zraka svjetlosti upada pod kutom α_1 na prizmu, dva puta se lomi i izlazi iz prizme pod kutom α_2 .

Zraka je na izlasku iz prizme otklonjena od upadnog smjera za kut δ – kut devijacije.

$$\delta = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi$$

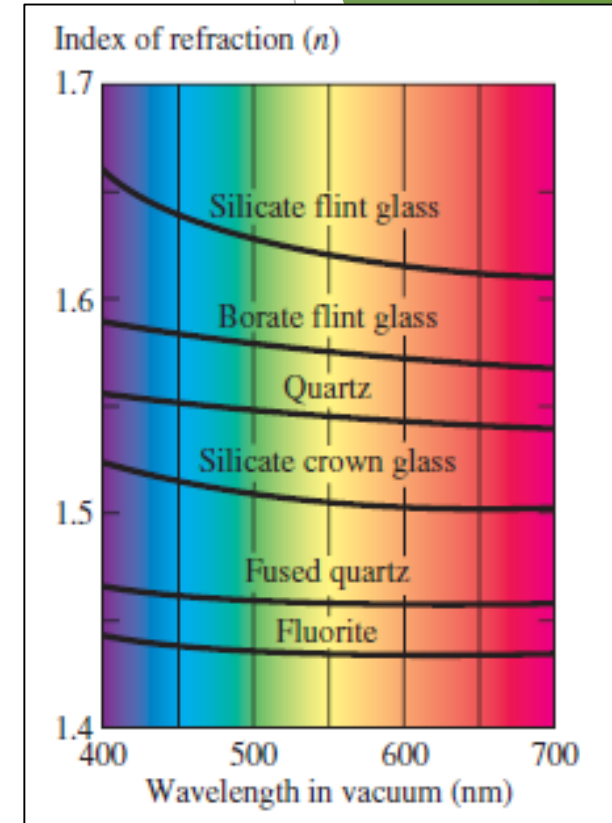
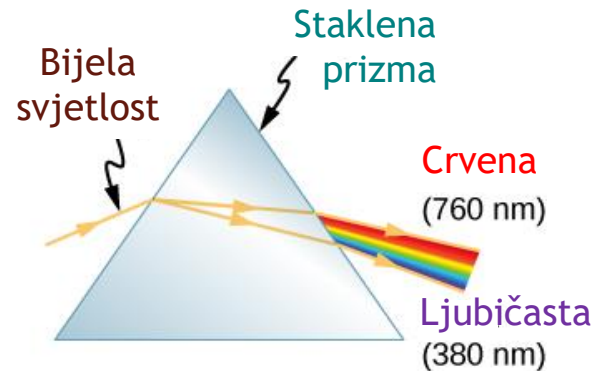
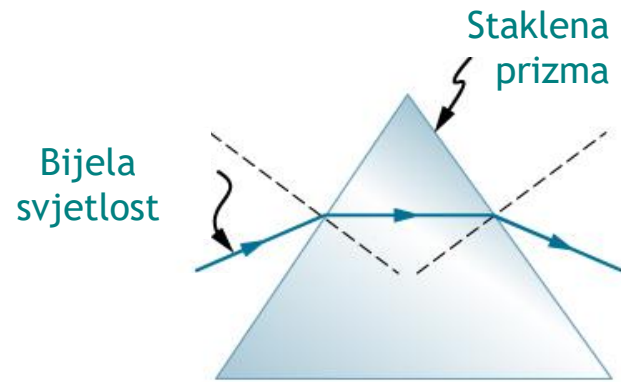
$$\delta_{min} = 2\alpha_1 - \varphi$$



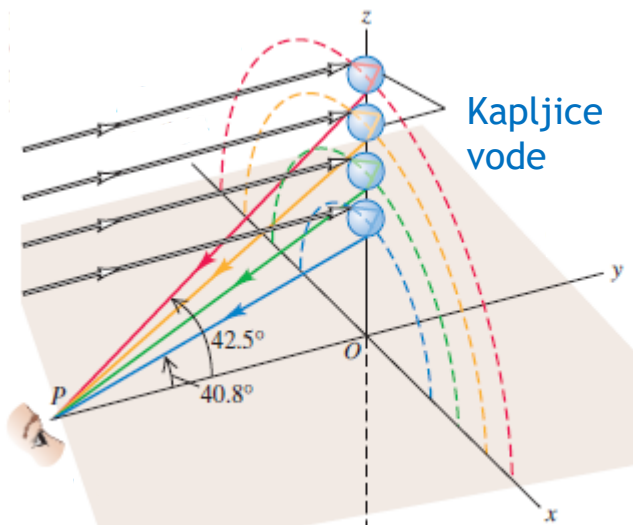
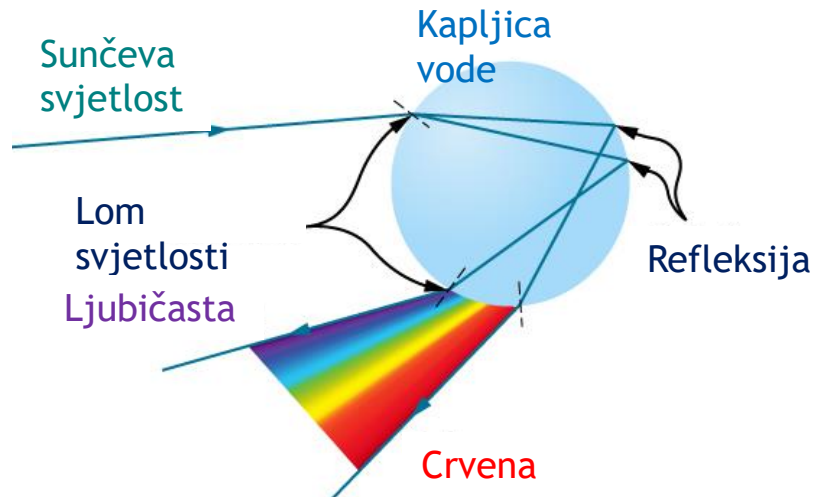
Disperzija svjetlosti

Brzina svjetlosti u sredstvu (time i indeks loma) ovisi o valnoj duljini.

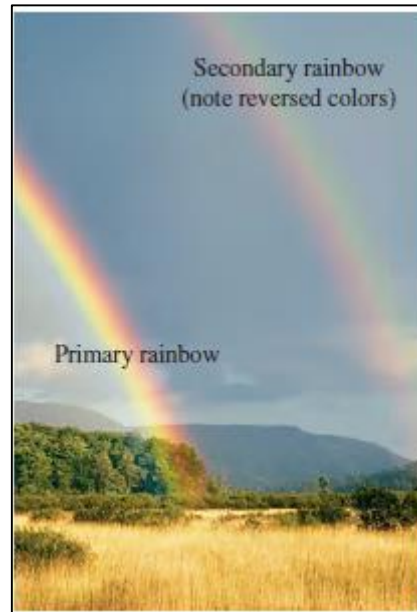
$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2} + \dots$$



Disperzija svjetlosti - duga



Kutovi su povećani radi preglednosti



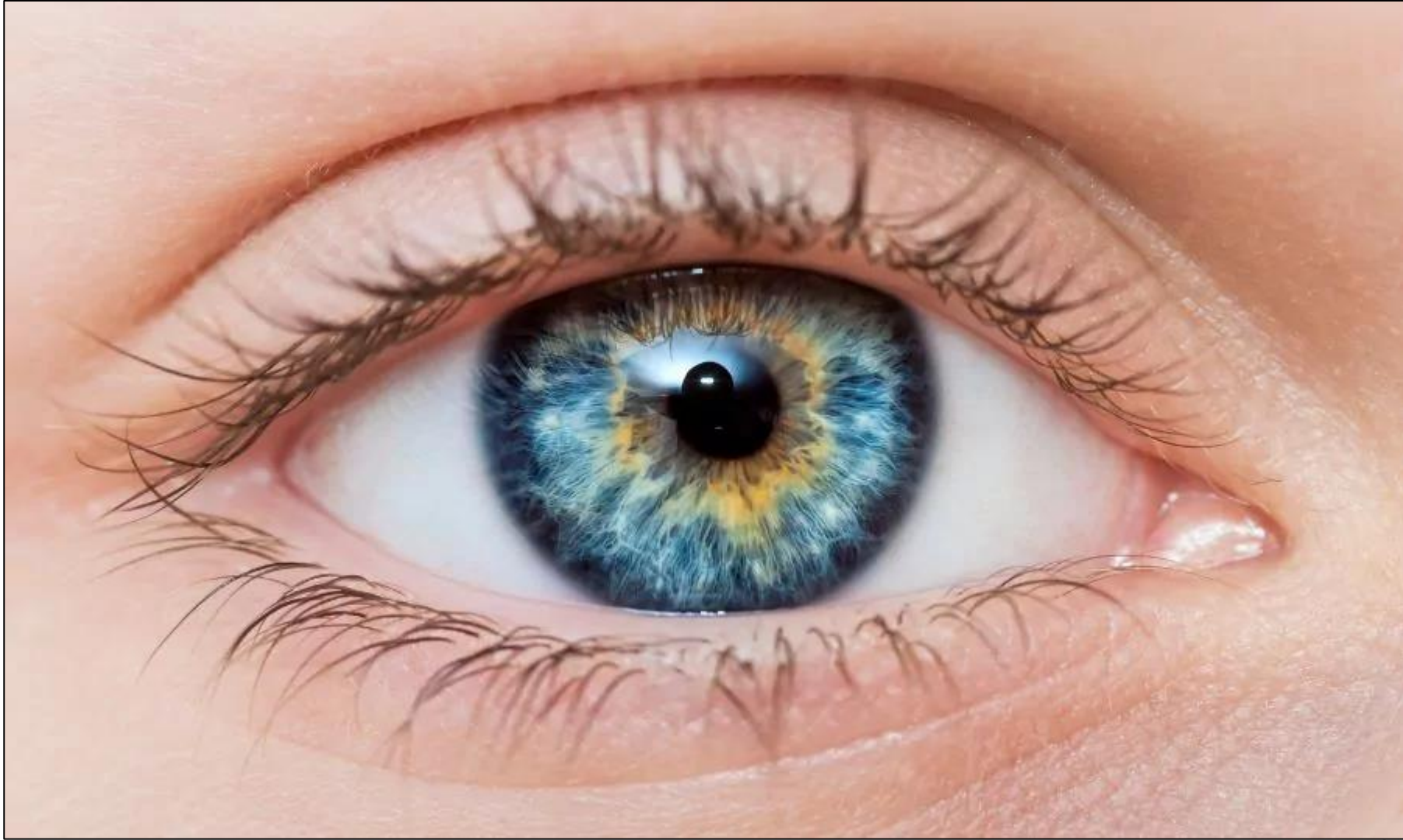
Primarna duga nastaje zbog dva loma svjetlosti i jedne unutarnje refleksije na kapljici vode.

$\Delta = 40,8^\circ$ do $42,5^\circ$

Sekundarna duga nastaje zbog dva loma svjetlosti i dvije unutarnje refleksije na kapljici vode.

Svjetlost od Sunca

$\Delta = 50,1^\circ$ do $53,2^\circ$



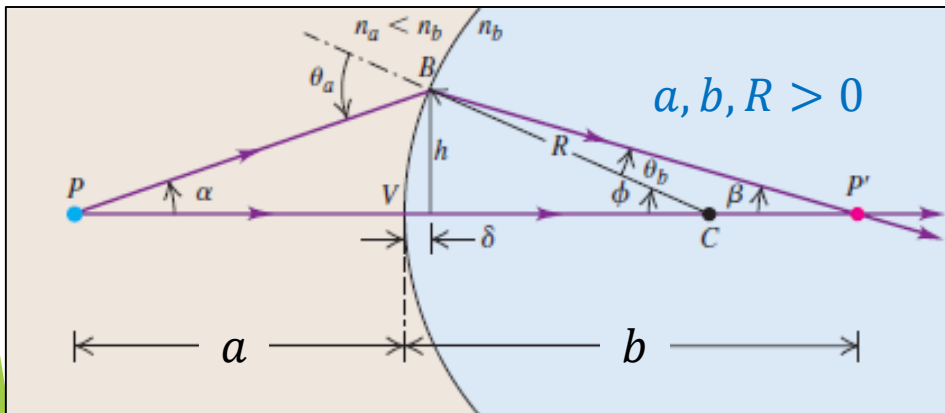
Sferni dioptar

= dva homogena sredstva različitih indeksa loma n_a i n_b odvojena sfernom plohom.

- Leće se sastoje od dva sferna dioptra.

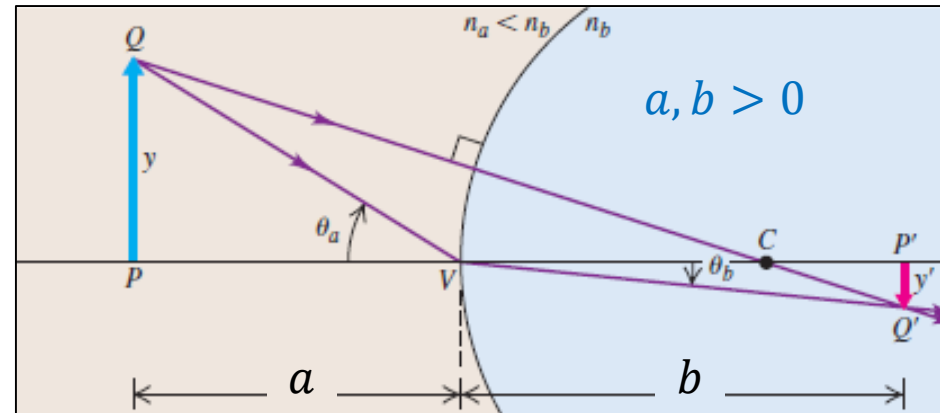
Slika se formira nakon loma svjetlosti na sfernoj plohi (granici sredstava):

- I ovdje oštru sliku dobivamo za male kutove (Gaussove aproksimacije)



$$\frac{n_a}{a} + \frac{n_b}{b} = \frac{n_b - n_a}{R}$$

Jednadžba sfernog dioptra



$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{n_a b}{n_b a}$$

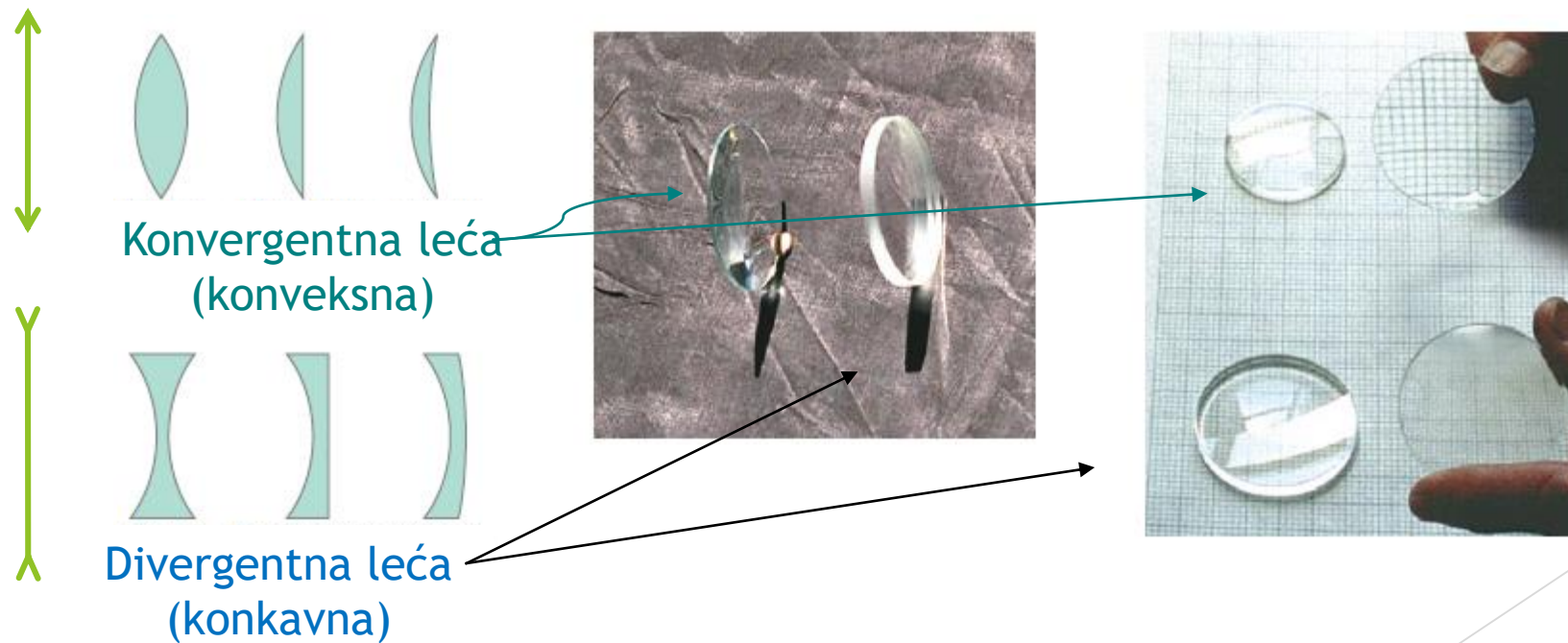
Povećanje sfernog dioptra

Tanka leća

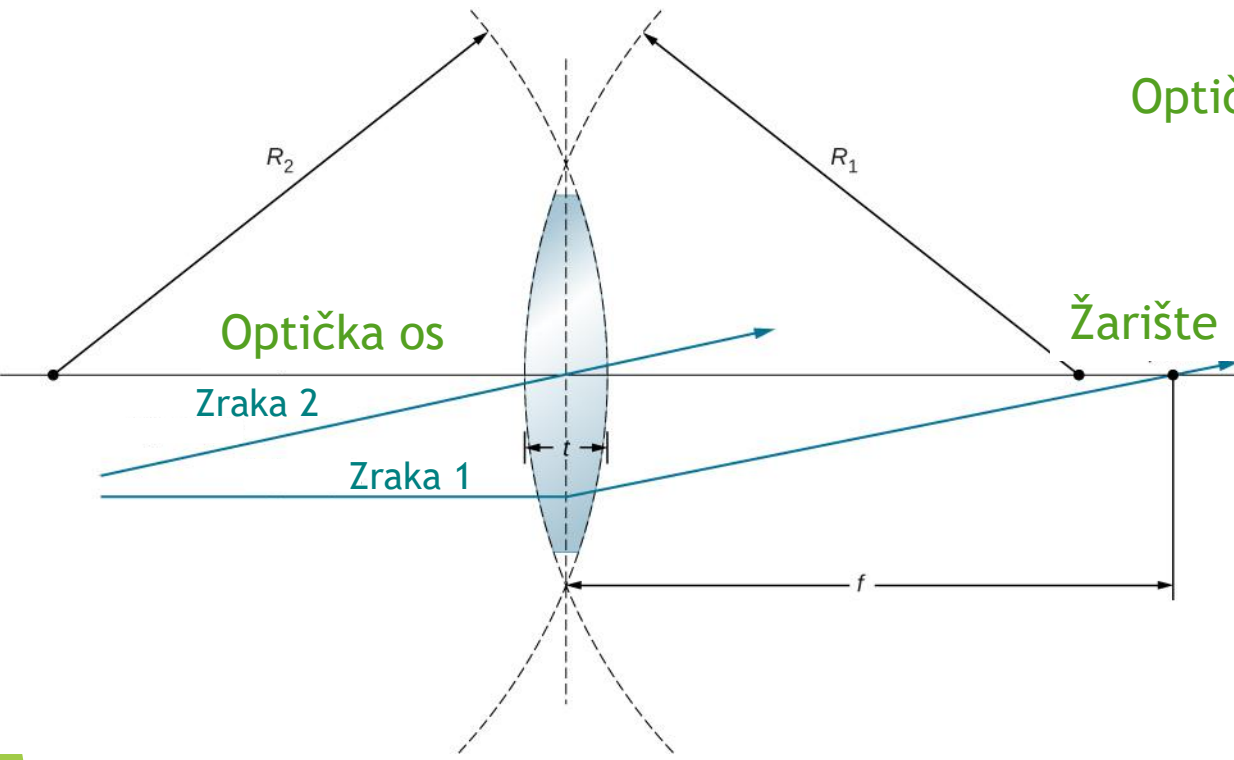
Leća - najpoznatiji i najčešći (nakon ravnog zrcala) optički sustav.

= prozirno sredstvo omeđeno s dvije, najčešće sferne, plohe.

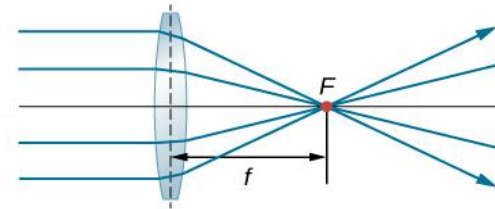
Tanka leća - sferne plohe su na zanemarivo maloj udaljenosti.



Tanka leća - žarišta

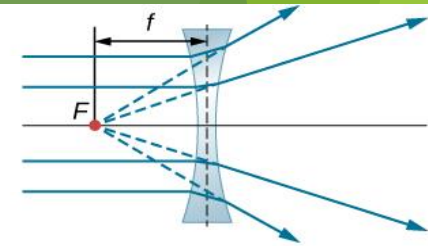


Optička os



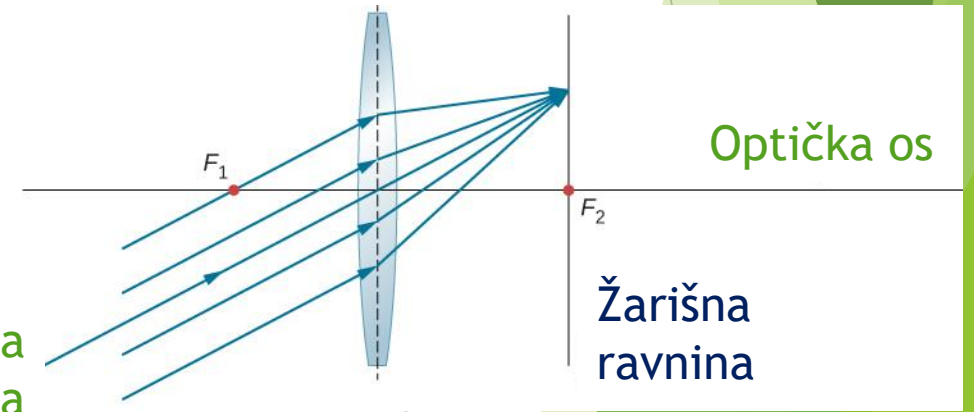
Konvergentna leća

Optička os



Divergentna leća

- Zraka 1 - lomi se u sredini leće
- Zraka 2 - prolazi neotklonjeno kroz središte leće



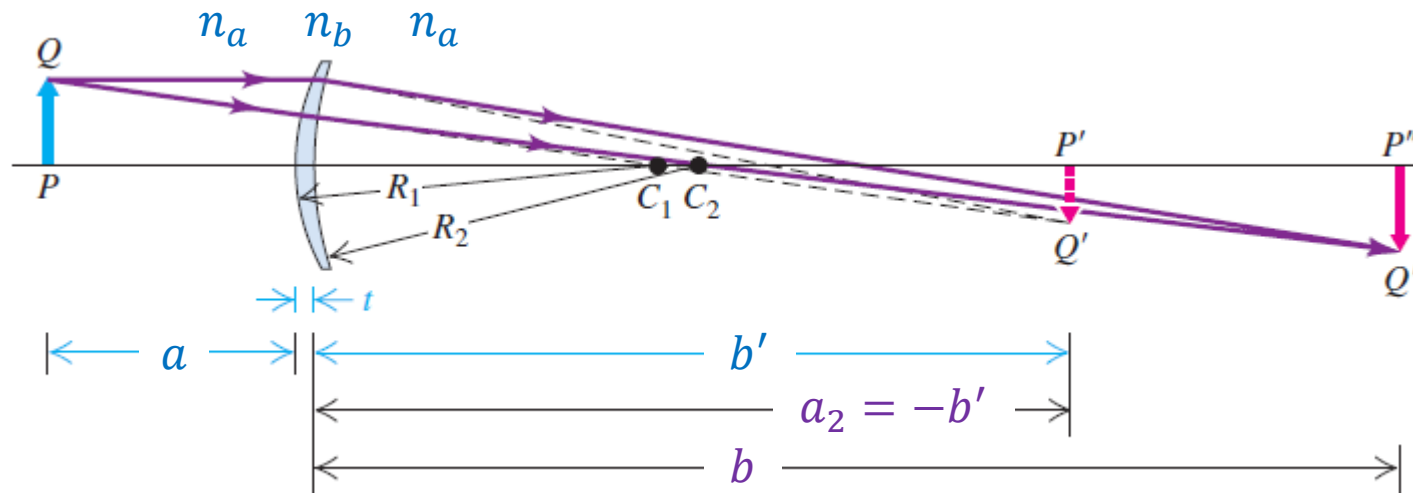
Glavna zraka

Optička os

Žarišna ravnina

Tanka leća - jednažba

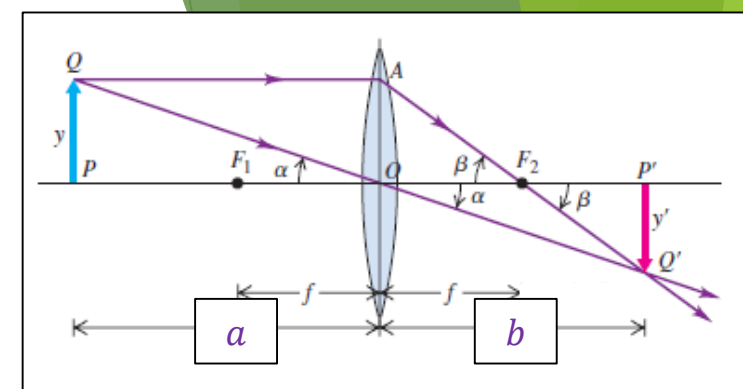
Leća se sastoji od dva sferna dioptra → jednažbu dobijemo tako da prvo nađemo položaj slike predmeta koju stvara prvi dioptar, a zatim tu sliku uzmemo kao predmet za drugi dioptar; slika na drugom dioptru je slika polaznog predmeta koju stvara leća.



$$\left. \begin{aligned} \frac{n_a}{a} + \frac{n_b}{b'} &= \frac{n_b - n_a}{R_1} \\ \frac{n_b}{-b'} + \frac{n_a}{b} &= \frac{n_a - n_b}{R_2} \end{aligned} \right\} \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{n_b - n_a}{n_a} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Tanka leća - jednađžba

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{n_b - n_a}{n_a} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



Definirali smo da je s obje strane leće isto sredstvo pa su žarišne daljine predmeta i slike jednake, f .

• Za $a = \infty$, $b = f$ \longrightarrow $\frac{1}{f} = \frac{n_b - n_a}{n_a} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$

Izraz za
žarišnu daljinu
leće

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

Jednađžba za
tanku leću

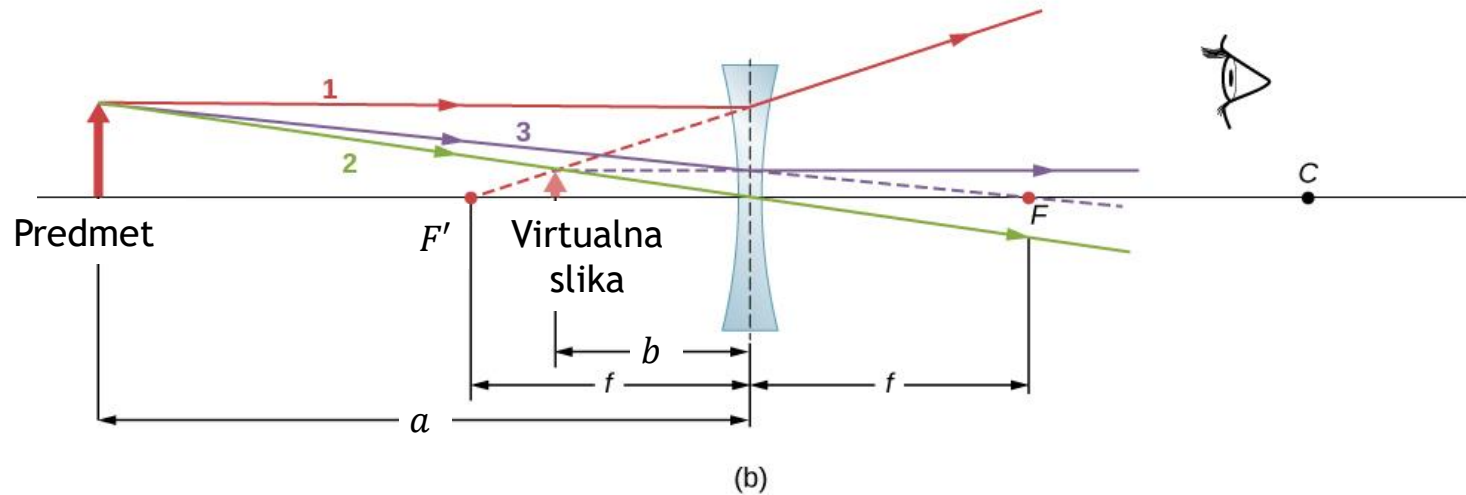
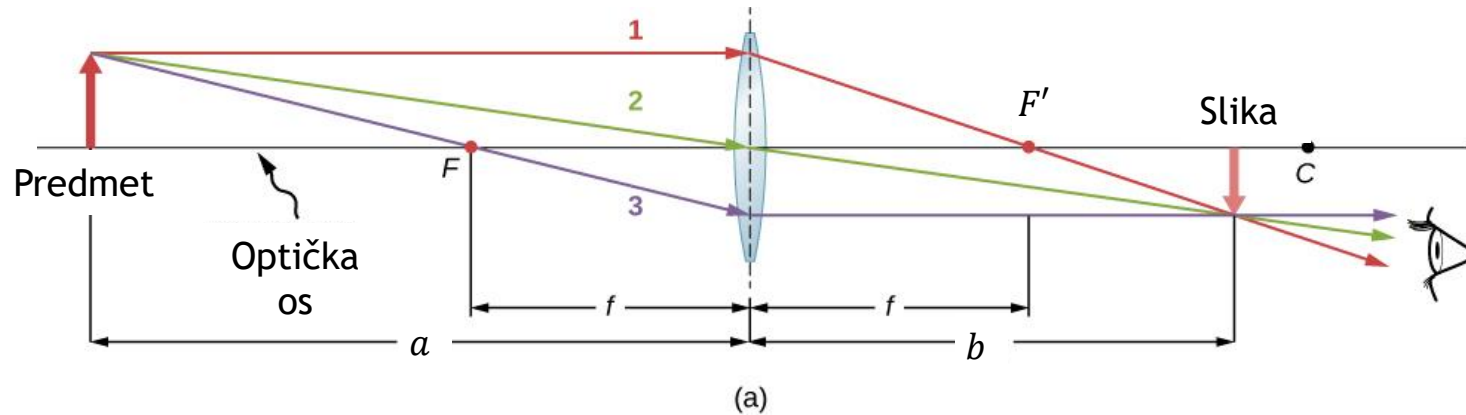
Predznaci: svjetlost se širi s lijeva na desno (obrnuto-suprotni predznaci):

$a > 0$ – **realni predmet**, ako je lijevo od tjemena (T)

$b > 0$ – **realna slika**, ako je desno od tjemena

$f > 0$ – **konvergentna leća**; $f < 0$ – **divergentna leća**

Tanka leća - karakteristične zrake



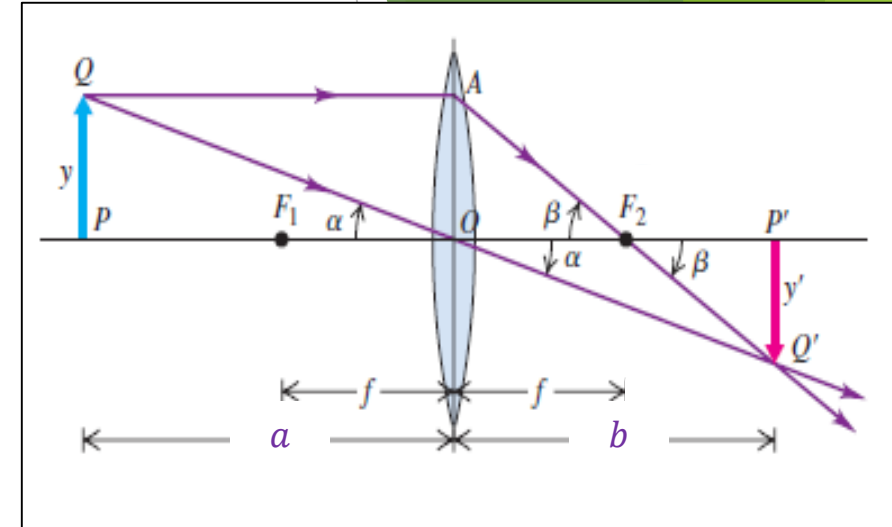
1. Zraka koja dolazi paralelno optičkoj osi lomi se kroz žarište slike F' .
2. Zraka koja prolazi kroz tjeme leće ne lomi se, tj. prolazi bez promjene smjera.
3. Zraka koja dolazi kroz žarište predmeta F lomi se paralelno optičkoj osi.

Tanka leća

Linearno povećanje:

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

Minus zbog dogovora:
 $m < 0$ obrnuta slika
 $m > 0$ uspravna slika



Jakost leće:

$$j = \frac{1}{f}$$

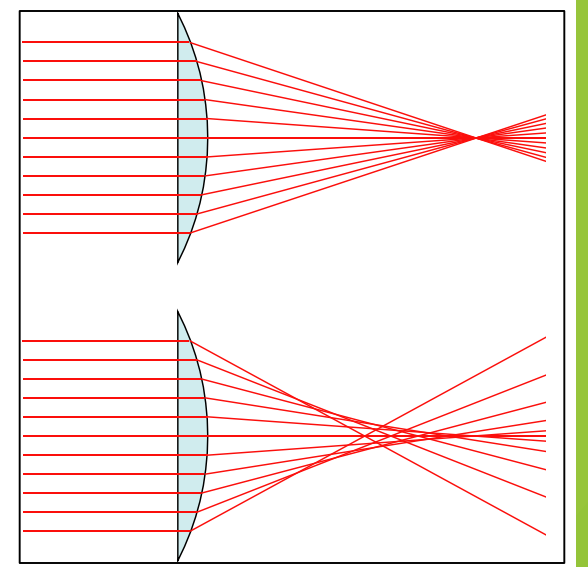
- Izražavamo u dioptrijama (jedna dioptriya je jakost leće koja ima žarišnu daljinu jedan metar).
- Konvergentne leće imaju pozitivnu, a divergentne leće negativnu jakost.

Pogreške leće

- Sferna aberacija

Javlja se kada široki snop zraka upada na leću. Iako su paralelne zrake, rubne zrake lome se jače od centralnih i od točkastog izvora nastaje razmazana slika.

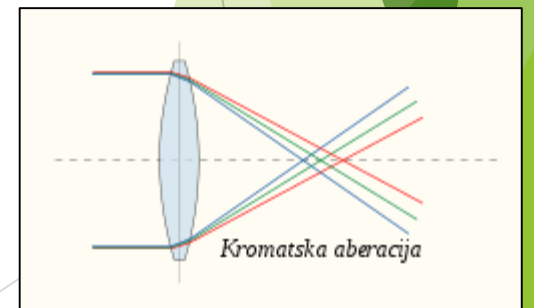
Može se korigirati kombiniranjem pozitivnih i negativnih leća kojima su aberacije u suprotnim smjerovima tako da se u sustavu leće ponište (npr. mikroskop).

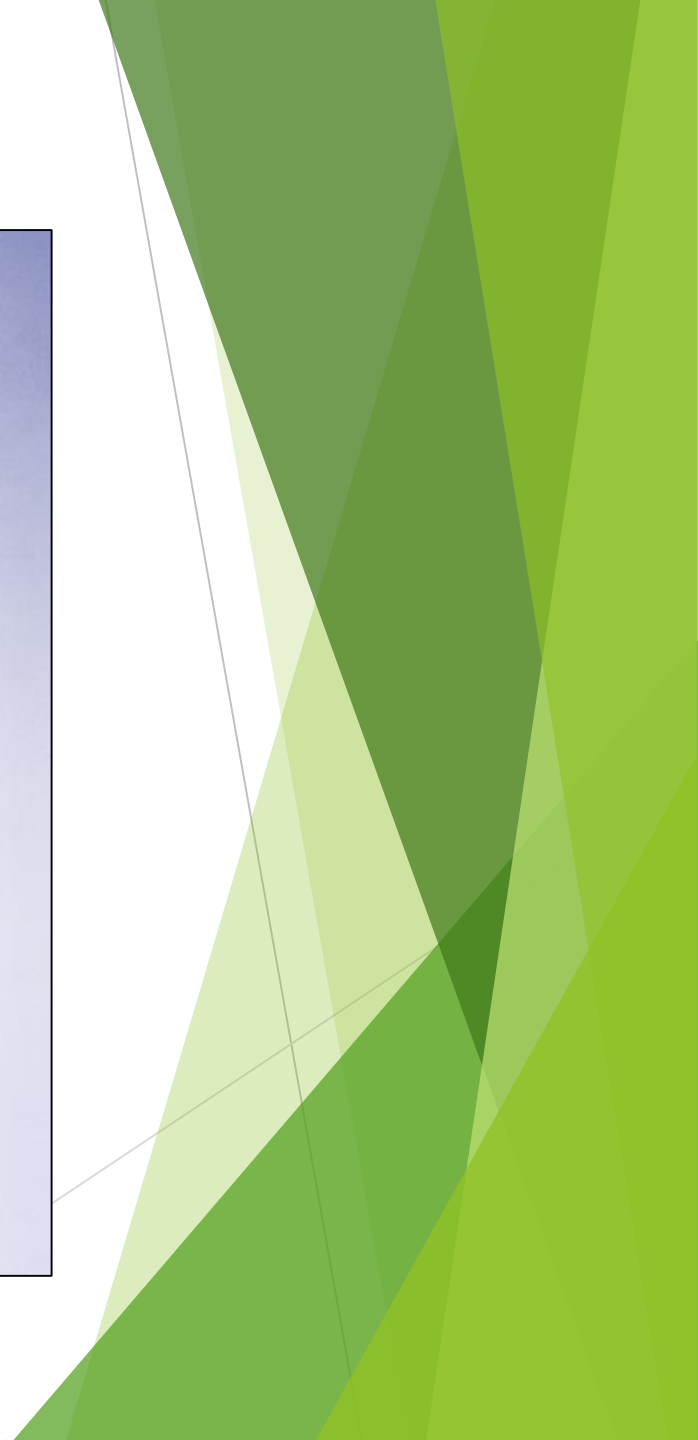


- Kromatska aberacija

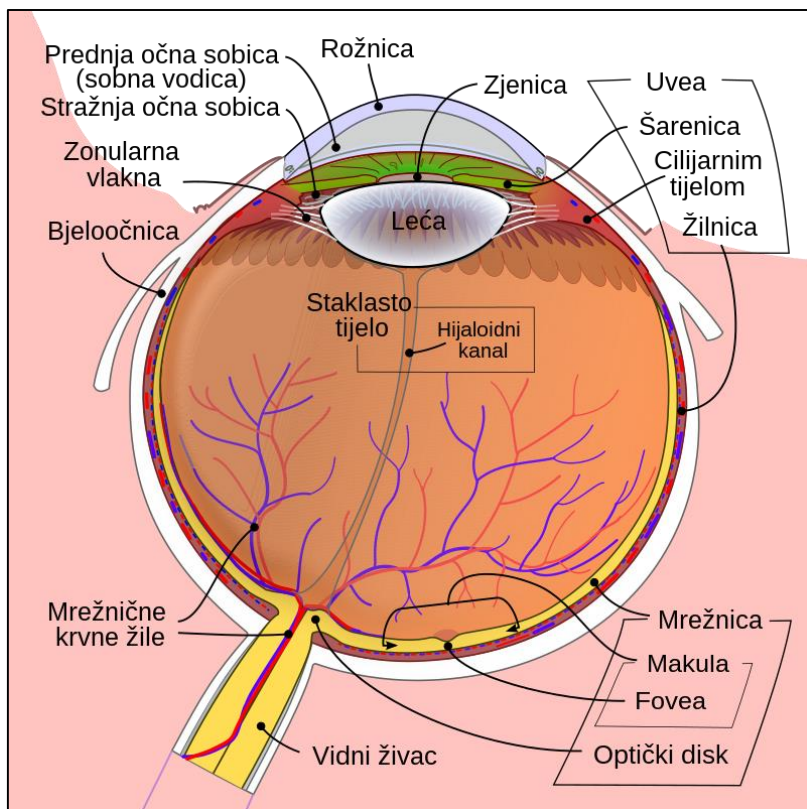
Svjetlost različitih valnih duljina iz polikromatskog izvora lomi se različito na leći (indeks loma ovisi o valnoj duljini svjetlosti).

Za svaku valnu duljinu leća ima različito žarište → slika bijelog točkastog izvora sastojat će se od koncentričnih krugova raznih boja.

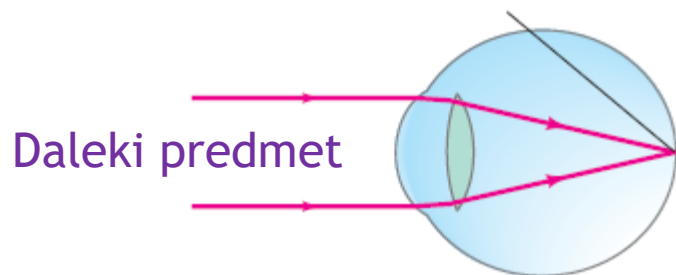




Optički instrumenti - oko



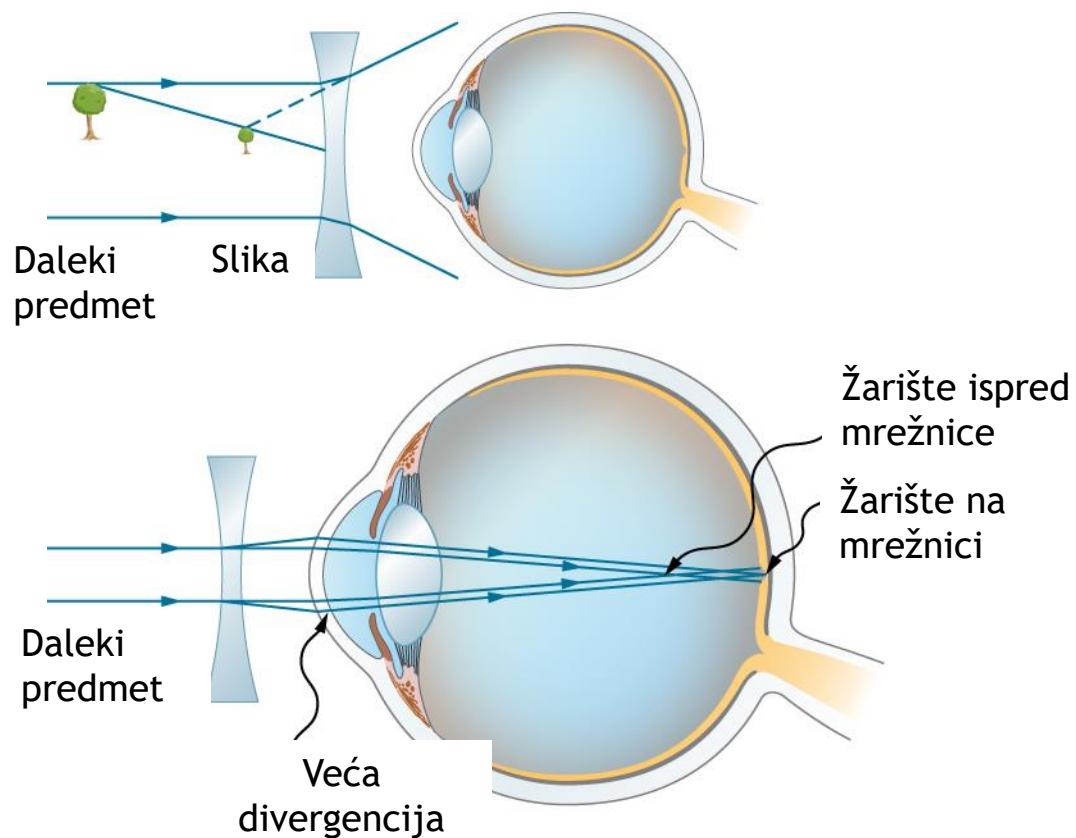
Žarište leće



- Konvergentna leća stvara sliku na stražnjoj strani oka, mrežnici.
- Udaljenost leće od mrežnice je uvijek ista. Mišići oko leće mijenjaju njezin oblik, a time i žarišnu daljinu leće što omogućava oštru sliku predmeta na svim udaljenostima → *akomodacija oka*.
- Jedino gledanje dalekih predmeta ne zahtjeva rad očnih mišića, tj. jedino se tad oko ne napreže.
- Bliska točka - najmanja udaljenost na kojoj oko jasno vidi. Za normalno oko ~ 10 cm. Starenjem se bliska točka odmiče.

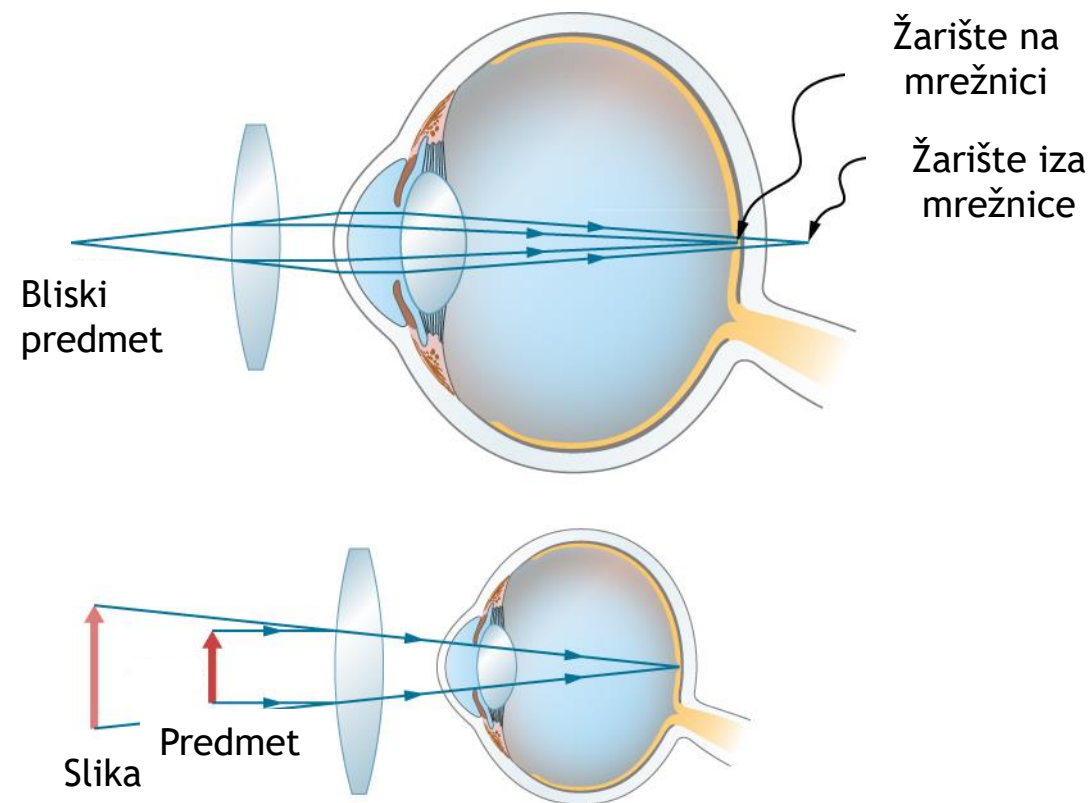
Optički instrumenti - oko

• Kratkovidnost



- Žarište ispred mrežnice.
- Korekcija divergentnom lećom.

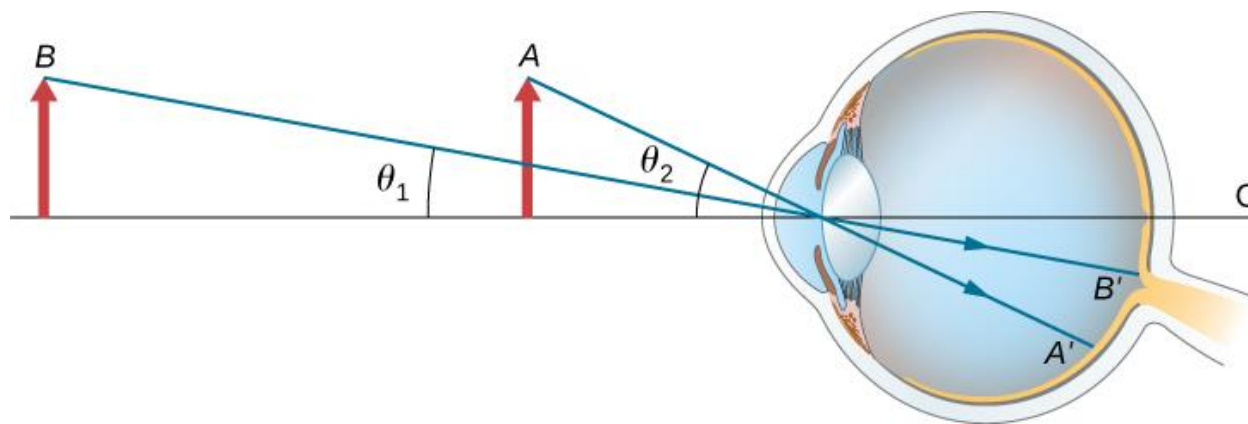
• Dalekovidnost



- Žarište iza mrežnice.
- Korekcija konvergentnom lećom.

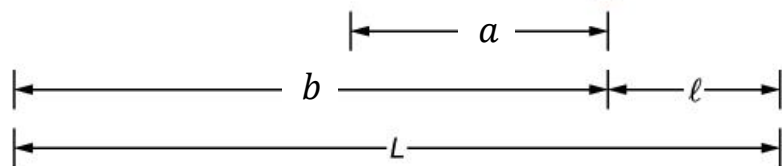
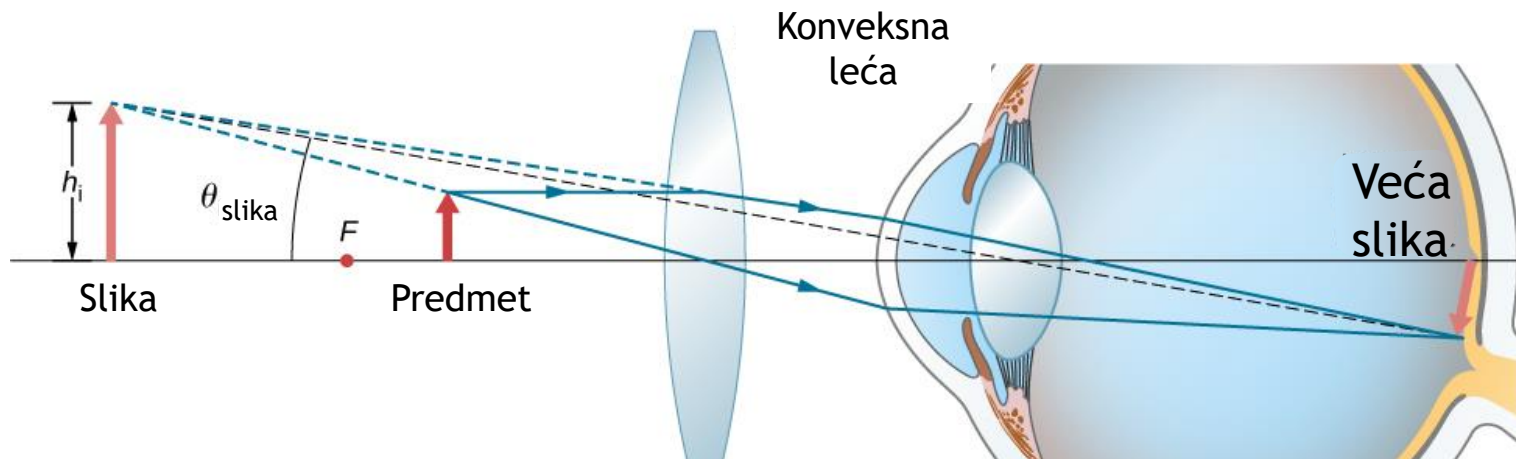
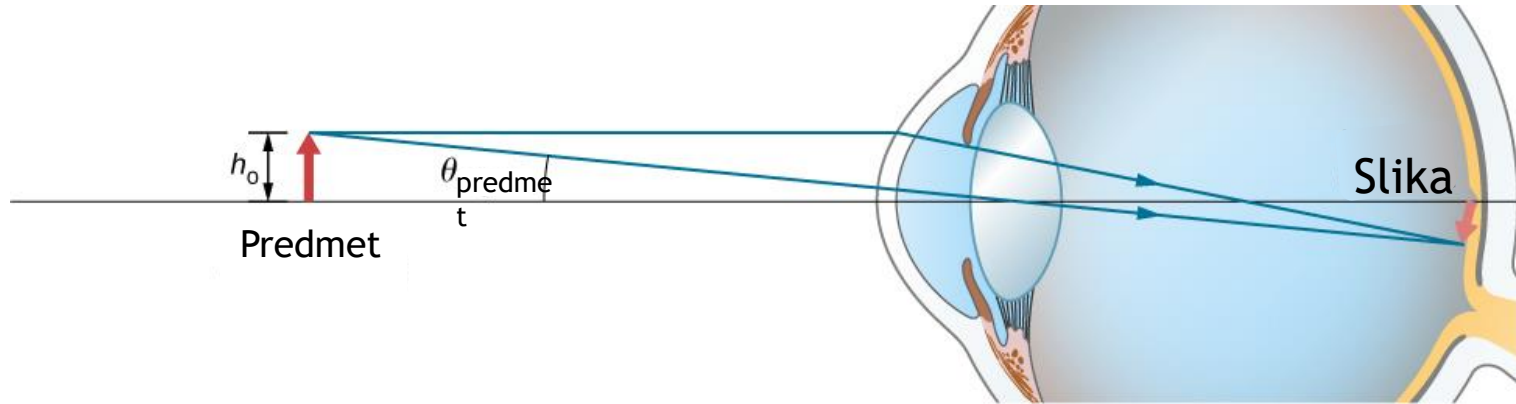
Optički instrumenti - kutno povećanje

- Prividna veličina predmeta ovisi kutu pod kojim se vidi predmet. Predmet na mjestu A vidi se pod većim kutom nego kad je na mjestu B pa i predmet u A stvara veću sliku na mrežnici nego kad je u B .



- Za male vidne kutove tangens kuta približno je jednak kutu (u radijanima) pa se obično prividna veličina predmeta izražava tangensom vidnog kuta.

Optički instrumenti - povečalo (lupa)



- Povečava vidni kut.
- Konvergentna leća s $f < 25$ cm
- Leća se postavi uz oko tako da je predmet između žarišta i tjemena leće. → Dobivena slika je uspravna, virtualna i povećana.





Made by JM



