

Fizika 2

Optika

Geometrijska optika

Preslikavanje refleksijom

Preslikavanje

Preslikavanje u geometrijskoj optici je proces u kojem se svakoj točki predmeta, (P), jednoznačno pridružuje jedna točka slike, (S), pomoću optičkog sustava, (OS), koji točke slike stvara optičkom obradom (refleksijom ili lomom) svjetlosnih zraka.

U preslikavanju je, dakle, prisutna veza između između predmeta, optičkog sustava i slike:

$$\mathbf{P - OS - S,}$$

za koju ćemo pokazati da se može opisati jednoznačnom relacijom; jednačbom konjugacije ili, jednostavnije: jednačbom leće.

Preslikavanje

Jednoznačno preslikavanje omogućeno je dijelom geometrijske optike koju je definirao Gauss, pa taj dio nazivamo **Gaussovom optikom**.

Uvjeti jednoznačnog preslikavanja zahtijevaju idealna svojstva optičkih sustava i svjetlosnih snopova koji s njima interagiraju; upravo takva svojstva omogućuju jednostavan matematički zapis i jednoznačno preslikavanje.

Gaussovi uvjeti za jednoznačno preslikavanje:

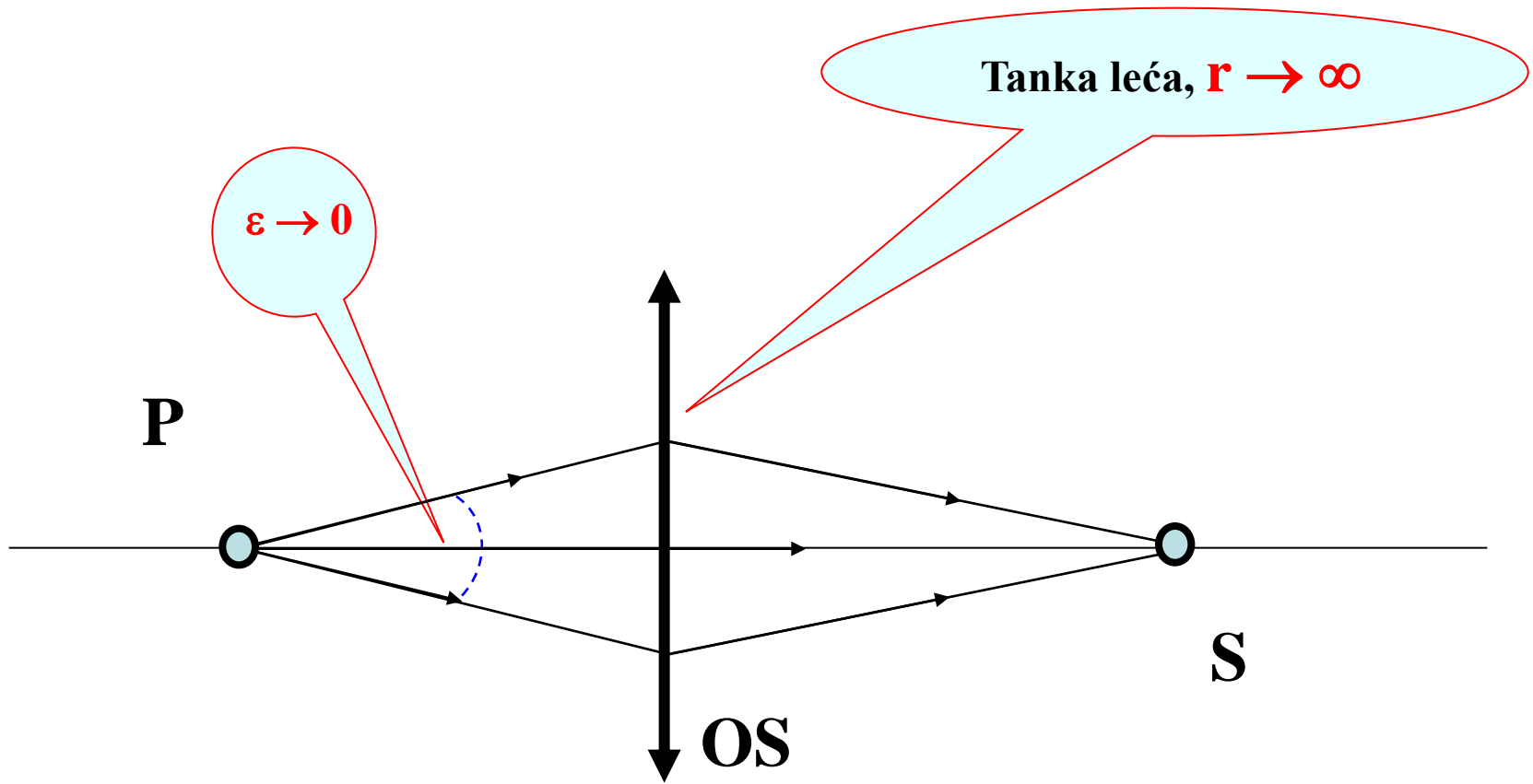
- a) Optički sustavi (zrcala, leće) moraju biti male zakrivljenosti, **r**
 $\rightarrow \infty$, što znači gotovo ravni sustavi; tanke leće.
- b) Snopovi svjetlosti moraju biti uski (paraksijalne zrake), tj. otvori snopa (kut snopa, ε) moraju težiti prema nuli;
 $\varepsilon \rightarrow 0$.



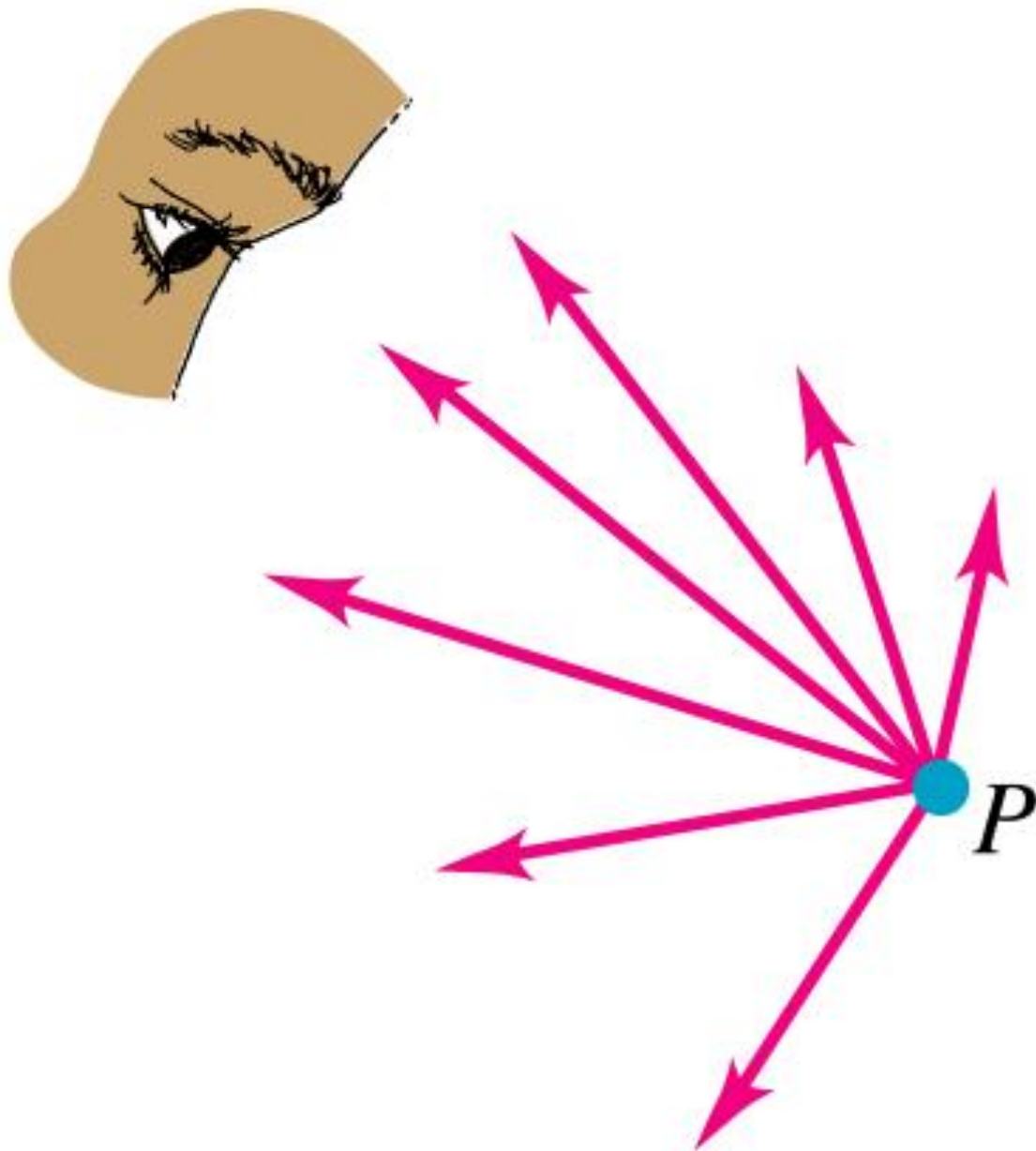
Johann Carl Friedrich Gauss (1777. – 1855.), bio je njemački matematičar i znanstvenik, koji je dao veliki doprinos u matematici (analiza, diferencijalne jednačbe) i fizici (elektrostatika, optika, astronomija);

ponekad je nazivan i “princem matematičara”.

Navedeni uvjeti za jednoznačno preslikavanje mogu se jednostavnim crtežom prikazati na način, kojeg uvijek moramo imati na umu:



Zrake
svjetlosti
izlaze iz
točkastog
predmeta
(točka P) u
svim
smjerovima
(realan
predmet).



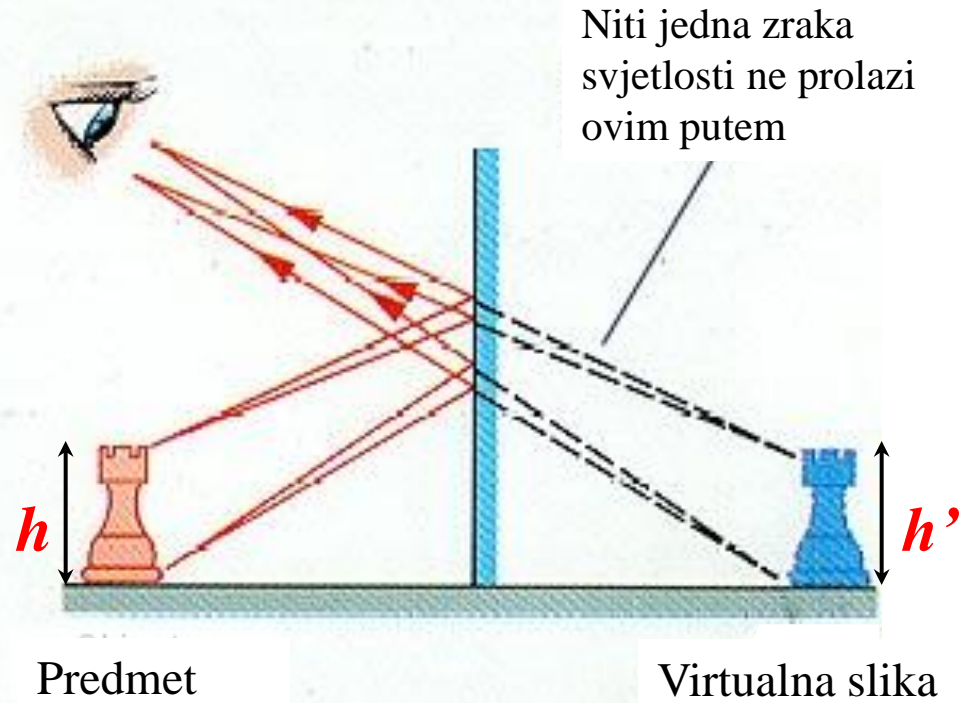
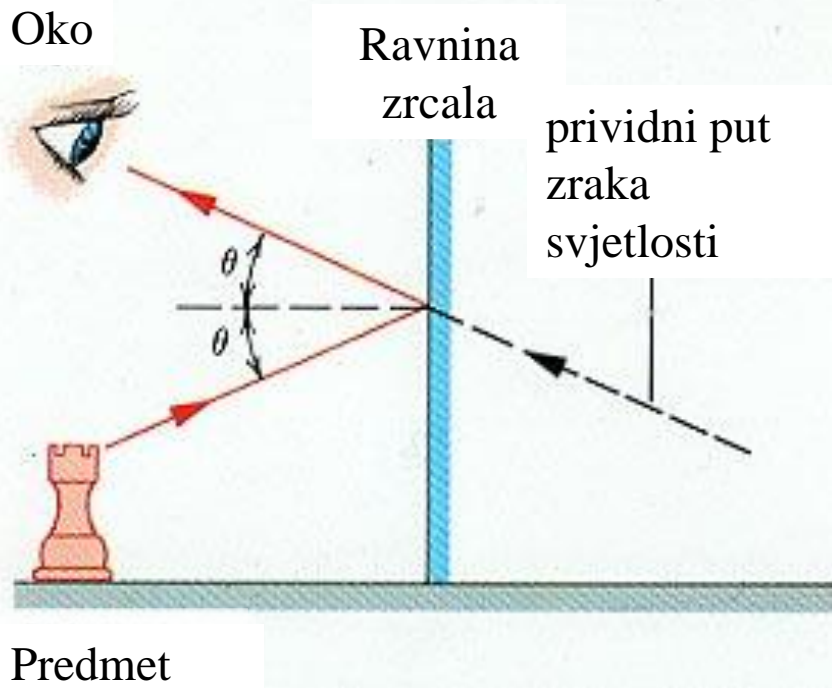
Notacija za zrcala i leće

- udaljenost od predmeta do zrcala ili leće
 - oznaka *p* ili *a*
- udaljenost od slike do zrcala ili leće
 - oznaka *q* ili *b*
- povećanje zrcala ili leće je omjer visine slike i visine predmeta; odnosno negativni omjer udaljenosti slike od zrcala ili leće i udaljenosti predmeta od zrcala ili leće
 - oznaka M ili P

Ravno zrcalo

Kako ogledalo gradi sliku? Kad vidite svoju sliku u ravnom zrcalu, gdje se nalazi slika? Da li zraka svjetlosti iz slike putuju u vaše oko?





Svjetlost iz izvora se reflektira od figure i dolazi na zrcalo. Poštujući zakon refleksije, ona ulazi u oko. Oko tumači zraku kao pravocrtnu stazu te “vidi” sliku iza zrcala.

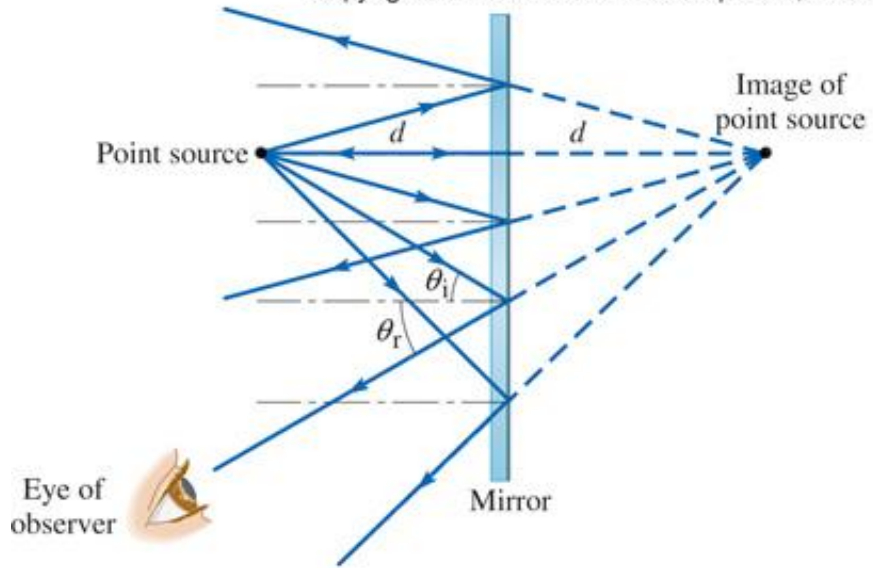
Slike razlikujemo kao realne ili virtualne.

Realna slika se formira kada svjetlosne zrake nakon prolaza kroz optički sustav konvergiraju i sijeku se u nekoj točki (**sliku vidimo na zaslonu**).

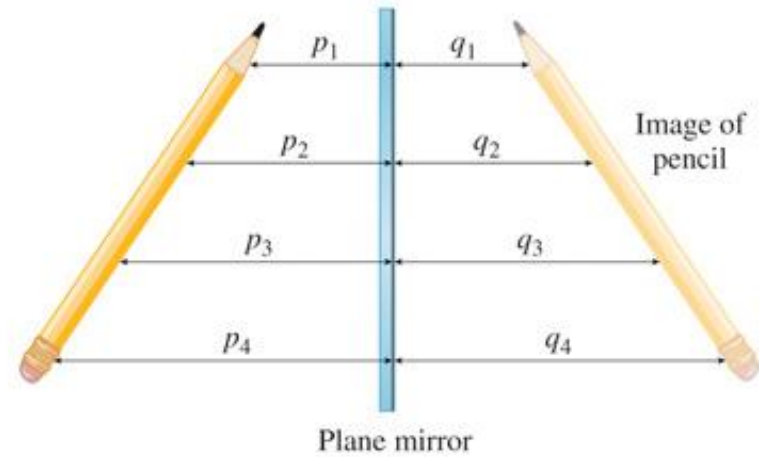
Virtualna slika se formira kada svjetlosne zrake nakon prolaza kroz optički sistem divergiraju, a sliku dobivamo na mjestu presjeka njihovih produžetaka (**sliku vidimo gledajući kroz optički sustav**).

Ravno zrcalo

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



(a)



(b)

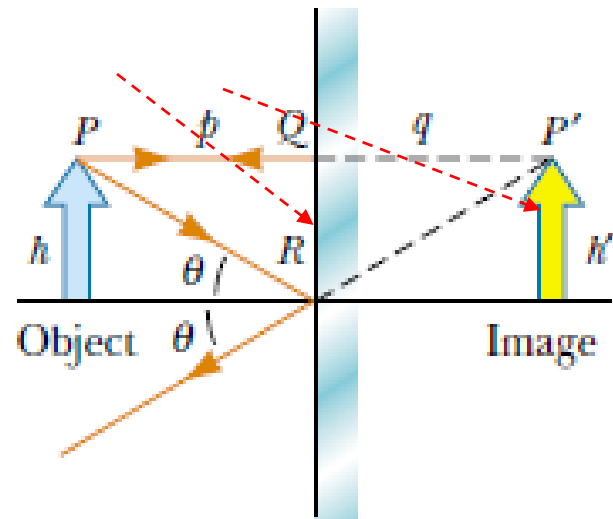
Svojstva slike dobivene ravnim zrcalom:

- slika je uspravna, ali su zamijenjene desna i lijeva strana.
- nalazi se na istoj udaljenosti iza ogledala kao i predmet ispred zrcala ($p=q$).
- slika je iste veličine kao i predmet ($M=1$)
slika je virtualna

Zakon refleksije na ravnom zrcalu
ili jednažba ravnog zrcala:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 0 \Rightarrow p = -q$$

$$M = -\frac{q}{p} = \frac{h'}{h} = 1$$



Povećanje

- Povećanje, P , definirano je kao

$$P \equiv \frac{\text{visina slike}}{\text{visina predmeta}} = \frac{h'}{h}$$

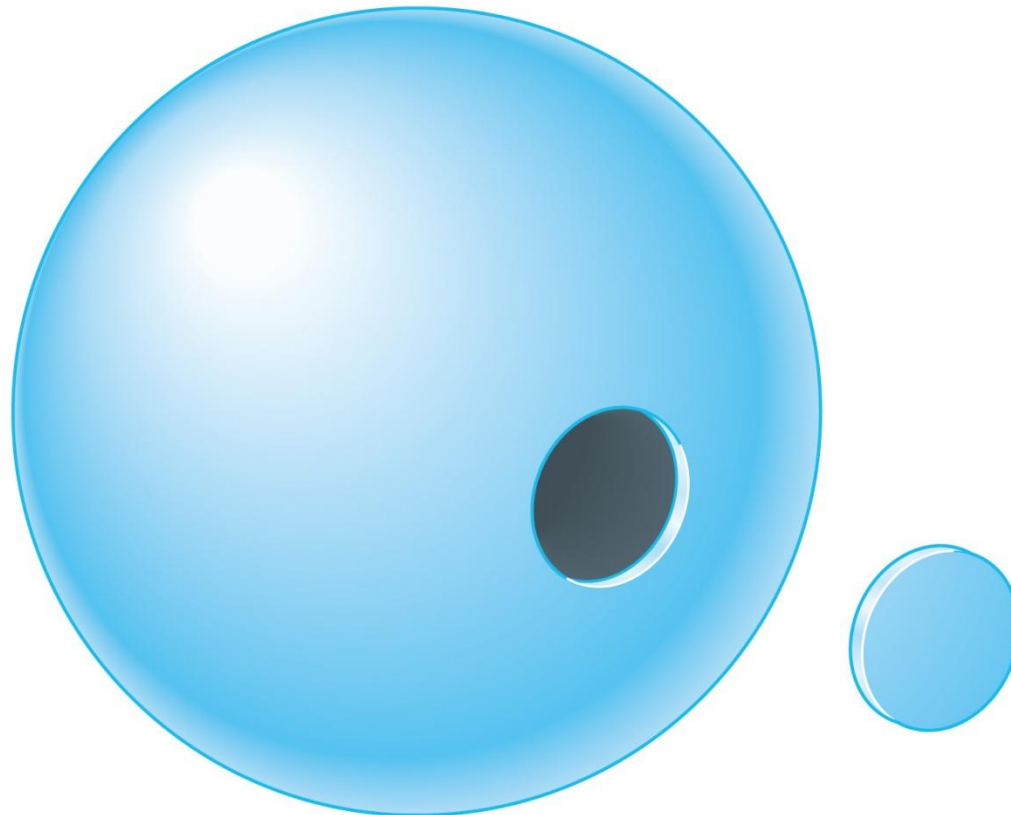
- Ili:
$$P = -\frac{\text{udaljenost _ slike _ od _ leće}}{\text{udaljenost _ predmeta _ od _ leće}} = -\frac{q}{p}$$

- vrijedi za sva preslikavanja (refleksija, lom)
- Povećanje ne znači uvijek uvećanje – slika se može ili povećati ili smanjiti u odnosu na predmet
 - P može biti manje ili veće od 1
- Povećanje ravnog zrcala = +1
- To znači da je $h' = h$ za sve slike
- Pozitivan predznak označava da je slika uspravna u odnosu na predmet (virtualna slika)

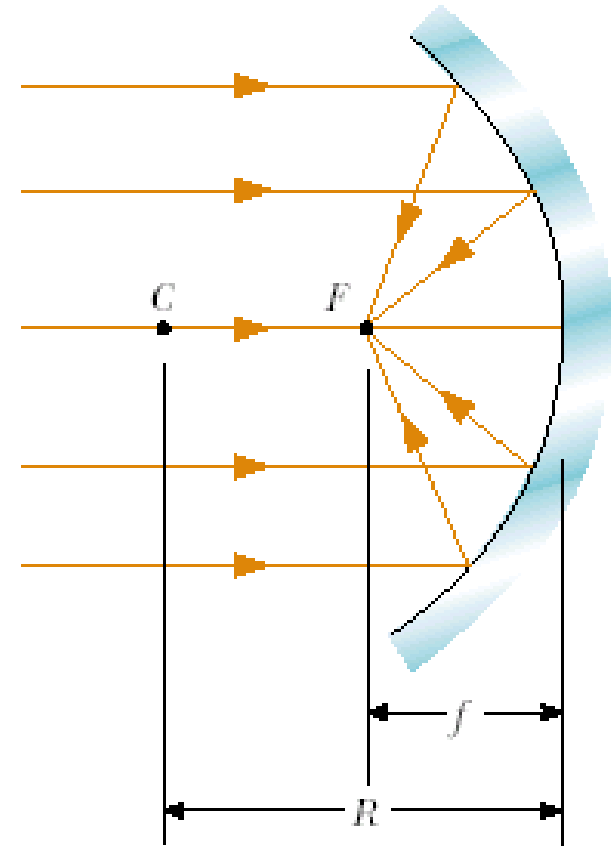
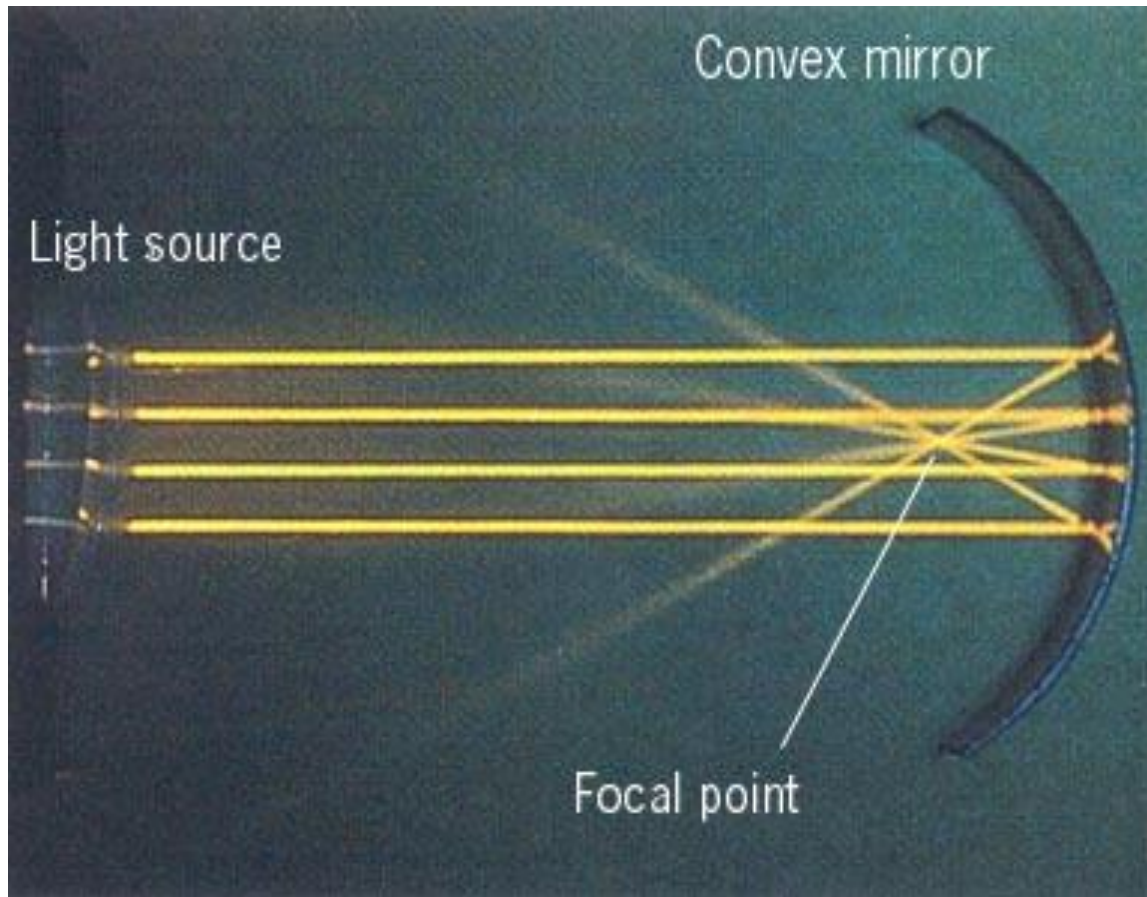
Sferna zrcala

Sferno zrcalo, kao što i ime kaže, ima oblik dijela kugle.

Ako je reflektirajući sloj na vanjskoj strani sfere – *konveksno zrcalo*, ako je unutar sfere – *konkavno zrcalo*.

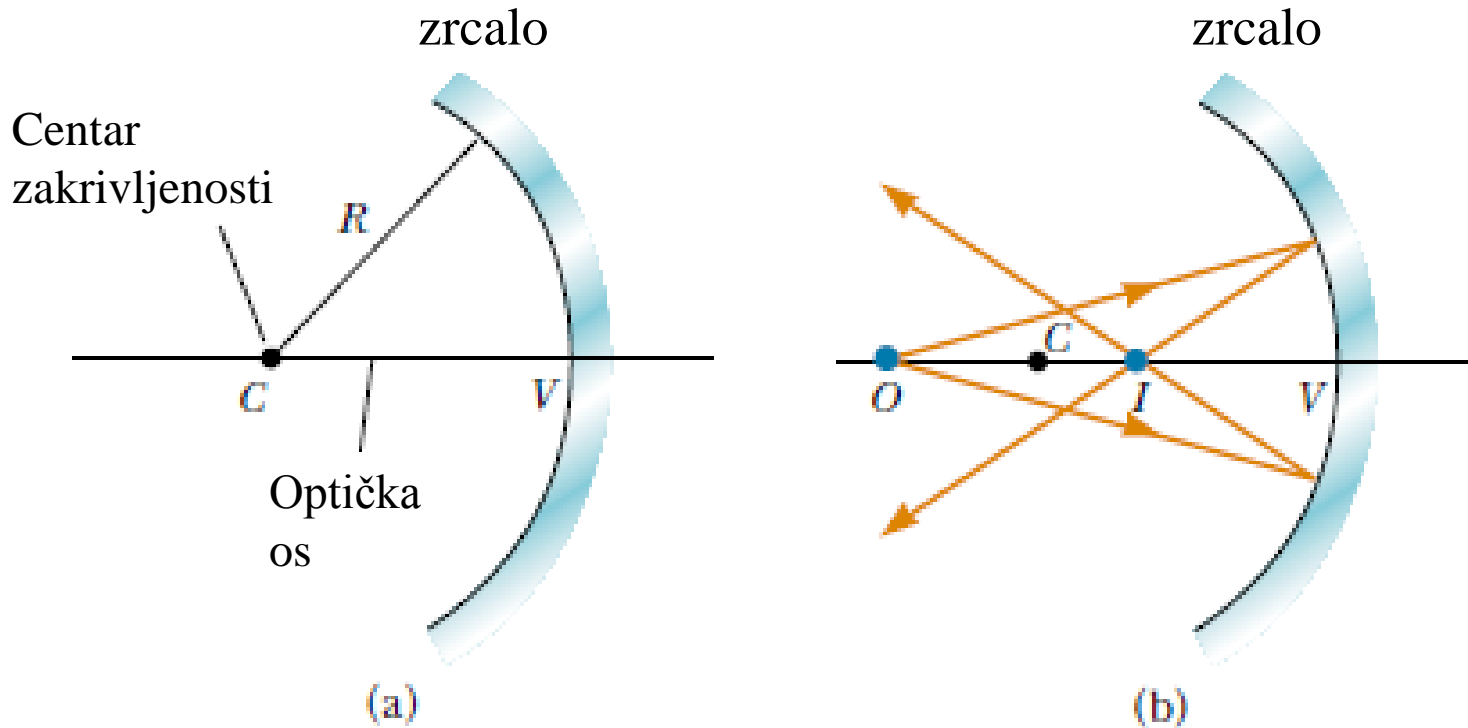


Konkavno zrcalo



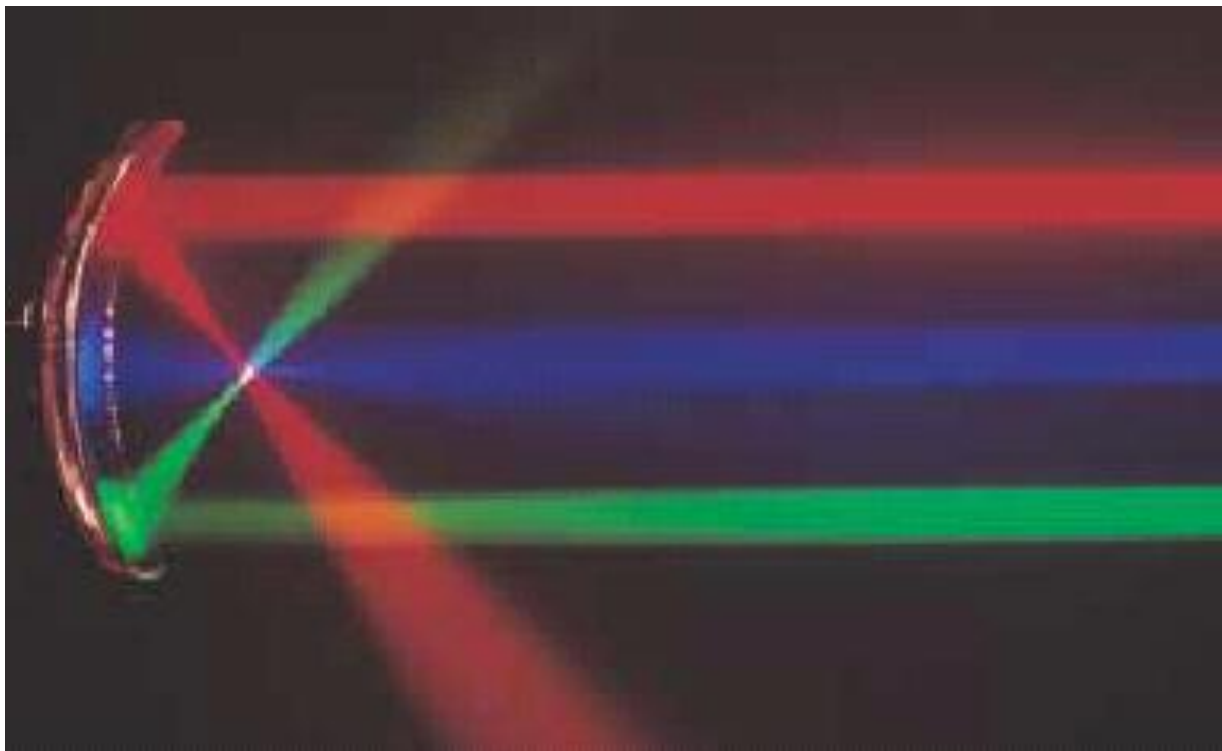
Dolazne zrake iz izvora (predmeta) su u osnovi paralelne zato što se pretpostavlja da je izvor vrlo daleko od zrcala. Žarište (*fokus*) F nalazi se na $R/2$ udaljenosti od tjemena zrcala. U žarištu se sijeku sve paralelne zrake svjetlosti.

Konkavno zrcalo



- (a) konkavno zrcalo polumjera R . Središte zakrivljenosti C nalazi se na optičkoj osi.
- (b) točka predmeta nalazi se u O ispred konkavnog sfernog zrcala polumjera R , gdje je O bilo koja točka na glavnoj osi na udaljenosti većoj od R od površine zrcala, tvori realnu sliku u I . Ako zrake izlaze iz O pod malim kutom, sve su reflektirane kroz istu točku slike (Gaussova aproksimacija).

Sferna zrcala



Ova vrsta zrcala fokusiraju ulazne paralelne zrake u točku koju zovemo žarište.

Crtanje dijagrama toka zrake

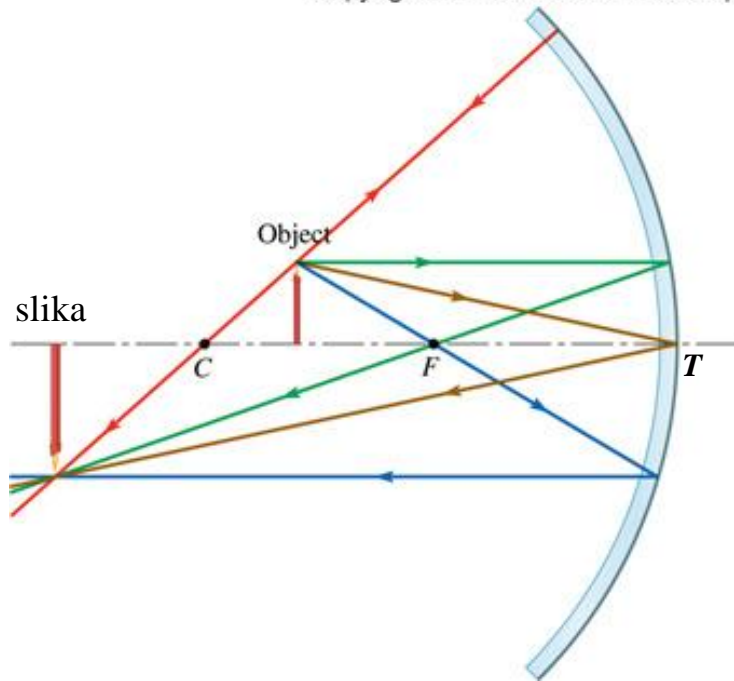
- Za crtanje dijagrama toka zrake, treba znati:
 - položaj predmeta
 - položaj žarišta i središta zakrivljenosti
- Crtaju se tri karakteristične zrake
 - Sve one polaze od iste točke na predmetu
- Sjecište bilo koje dvije zrake predstavlja položaj slike
 - Treća zraka služi kao provjera konstrukcije

Zrake u dijagramu toka zrake – Konkavno zrcalo

- Zraka 1 izlazi iz vrha predmeta paralelno s optičkom osi i reflektira se u žarište, F
- Zraka 2 izlazi iz vrha predmeta kroz žarište i reflektira se paralelno s optičkom osi
- Zraka 3 izlazi iz vrha predmeta, prolazi kroz centar zakrivljenosti, C, i reflektira se natrag u samu sebe
- Tri navedene karakteristične zrake su odabrane zbog jednostavnosti konstrukcije
- Vrijednosti dobivene iz dijagramu toka zrake moraju se slagati s izračunatim vrijednostima iz jednadžbe zrcala

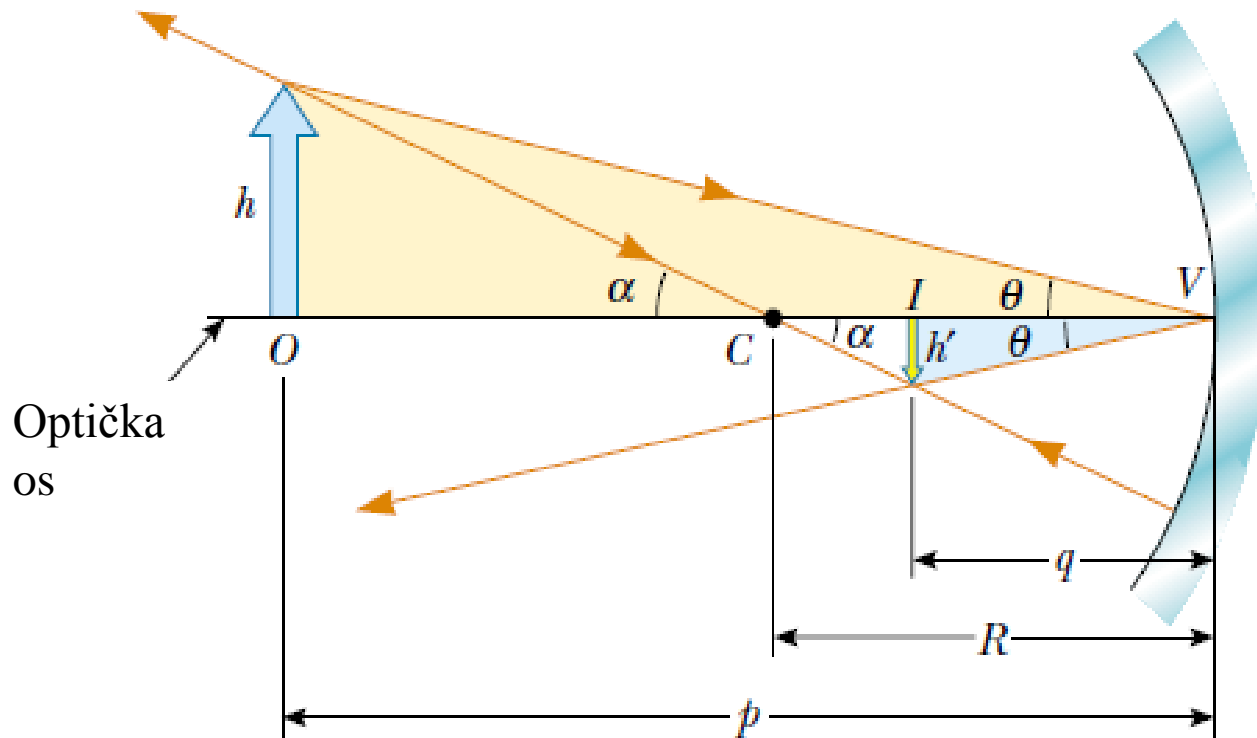
Konkavne sferna zrcala: Kako rade?

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



1. Zraka paralelna optičkoj osi reflektira se kroz fokus
2. Zraka koja prolazi kroz centar zakrivljenosti C reflektira se u samu sebe
3. Zraka koja prolazi kroz fokus reflektira se paralelno optičkoj osi
4. Zraka koja polazi iz predmeta i udara u tjeme T leće reflektira se pod istim kutom u odnosu na optičku os pod kojim je došla

Konkavno zrcalo



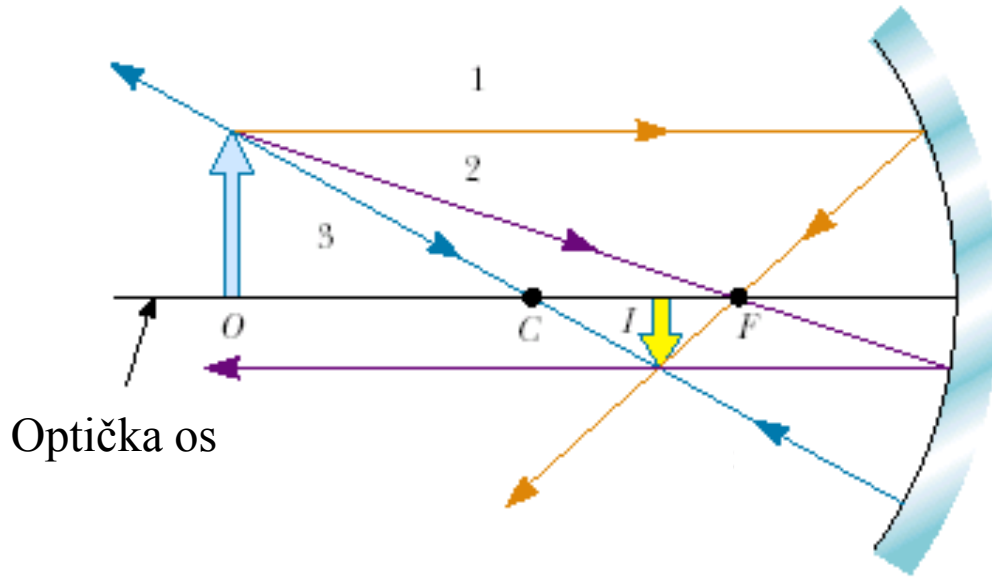
Zakon refleksije na sfernom zrcalu
ili jednađba sfernog zrcala

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

ili

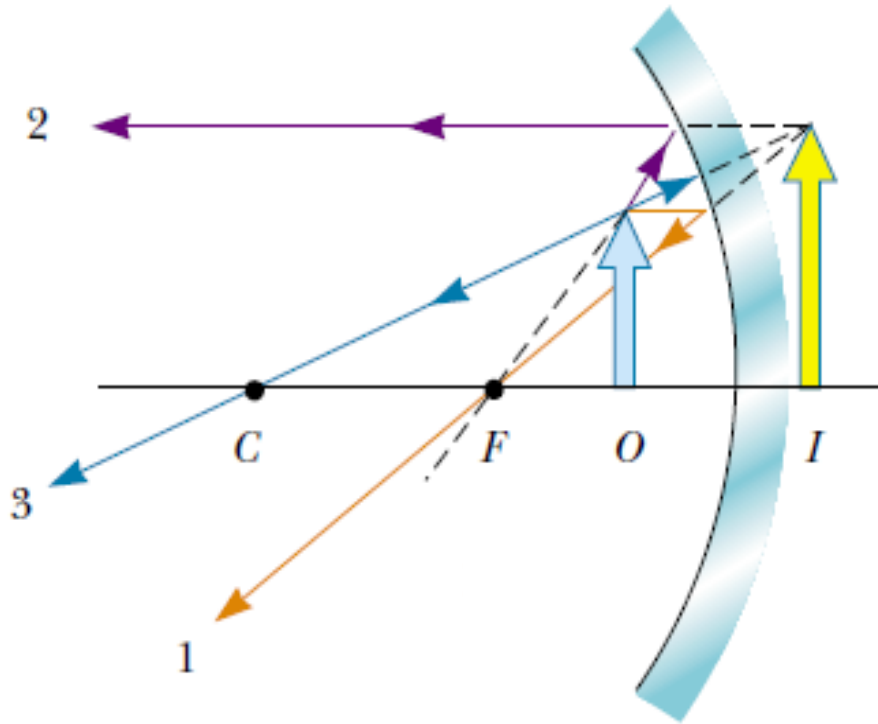
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Konkavno zrcalo



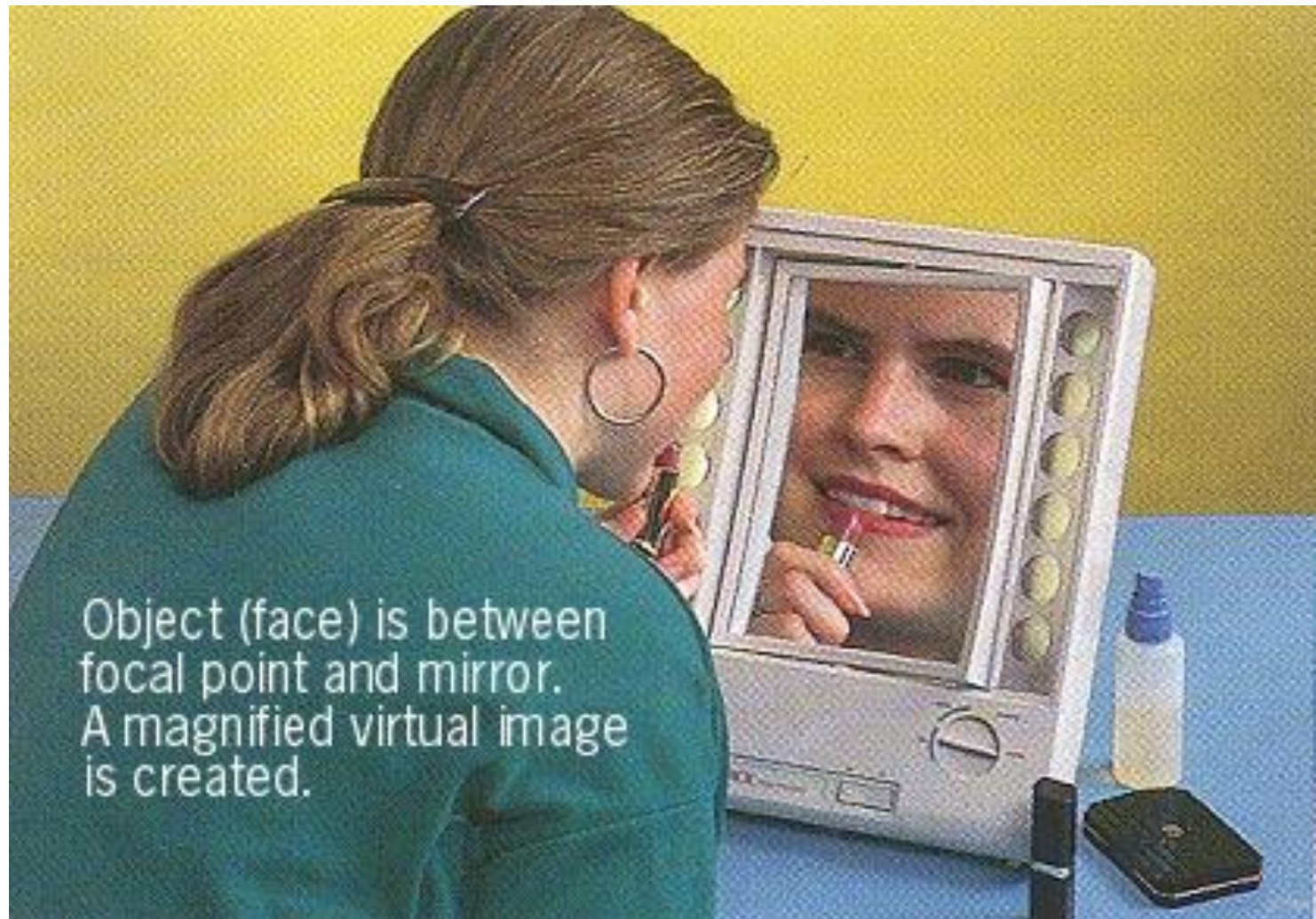
Kada se predmet nalazi na udaljenosti većoj od R slika je *realna*, *obrnuta* i *umanjena*.

Konkavno zrcalo



Kad je predmet smješten je između žarišta i konkavnog zrcala, slika je *virtualna*, *uspravna* i *uvećana*.

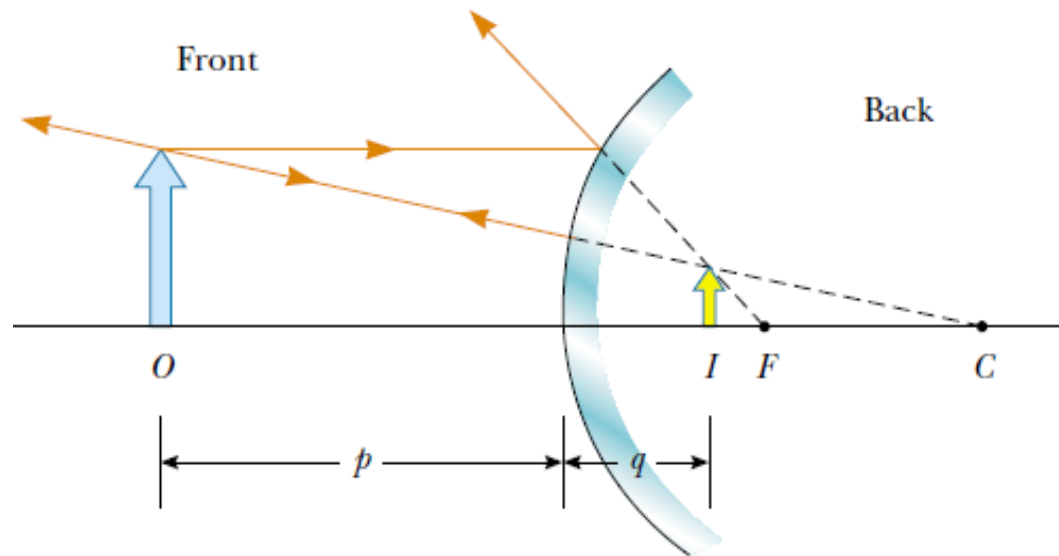
Konkavno zrcalo



Object (face) is between focal point and mirror. A magnified virtual image is created.

Konveksna zrcala

- Konveksno zrcalo se ponekad naziva divergentno zrcalo
 - Svjetlost se reflektira od izbočene, konveksne strane
- Zrake koje izlaze iz realnog predmeta divergiraju nakon refleksije kao da izlaze iz neke točke iza zrcala (poziciju slike dobijemo u produžetcima reflektiranih zraka)

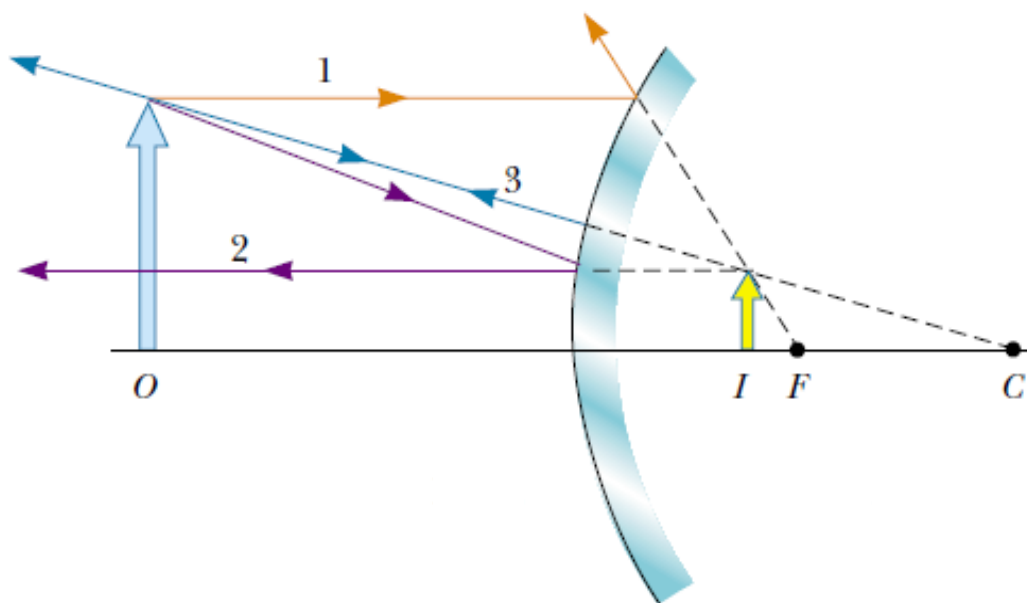


- Općenito, slika dobivena konveksnim zrcalom je uspravna, virtualna i umanjena

Konvencije za predznake kod zrcala

- p ili a je pozitivno ako se predmet nalazi ispred zrcala (realni predmet).
- p ili a je negativno ako se predmet nalazi iza zrcala (virtualni predmet).
- q ili b je pozitivan ako je slika ispred zrcala (realna slika).
- q ili b je negativan ako je slika iza zrcala (virtualna slika).
- f i R su pozitivni, ako centar zakrivljenosti ispred zrcala (konkavno zrcalo).
- f i R su negativni ako je centar zakrivljenosti iza zrcala (konveksno zrcalo).
- Ako je P ili M pozitivno, slika je uspravna i virtualna.
- Ako je P ili M negativno, slika je obrnuta i realna.

Konveksno zrcalo



Kada je predmet ispred konveksnog zrcala, slika je *virtualna*, *uspravna* i *umanjena*.

Bilješke o slikama

- S konkavnim zrcalom, slika može biti realna ili virtualna
 - Kada se predmet nalazi izvan žarišta, slika je realna
 - Kad je predmet u žarištu, slika se nalazi u beskonačnosti
 - Kada je predmet između zrcala i žarišta, slika je virtualna
- S konveksnim zrcalom, slika je virtualna i uvijek uspravna
 - Kako se predmet približava konveksnom zrcalu virtualna slika se povećava

Primjer:

Pretpostavimo da neko konkavno zrcalo ima fokalnu duljinu od 10,0 cm. Pronađite i opišite sliku za predmet na udaljenosti (a) 25,0 cm, (b) 10,0 cm, i (c) 5,00 cm.

Položaj slike odrediti ćemo pomoću jednadžbe zrcala :

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

$$\frac{1}{25} + \frac{1}{q} = \frac{1}{10}$$

$$q = 16.7 \text{ cm}$$



Budući da je q pozitivno, slika je *realna*

Povećanje je:

$$P = -\frac{q}{p} = -\frac{16.7}{25} = -0.668$$

Budući da je P negativno, slika je *obrnuta*

Zbog toga što je 0,668 manje od 1, slika je *umanjena*

Slika je realna, obrnuta i umanjena.

Slika u zrcalu

Slika se u ravnom zrcalu vidi na jednakoj udaljenosti od originala.



Utamaro, Žena pudra svoj vrat



Helmut Newton,
Bergstrom over Paris



Neravna zrcala

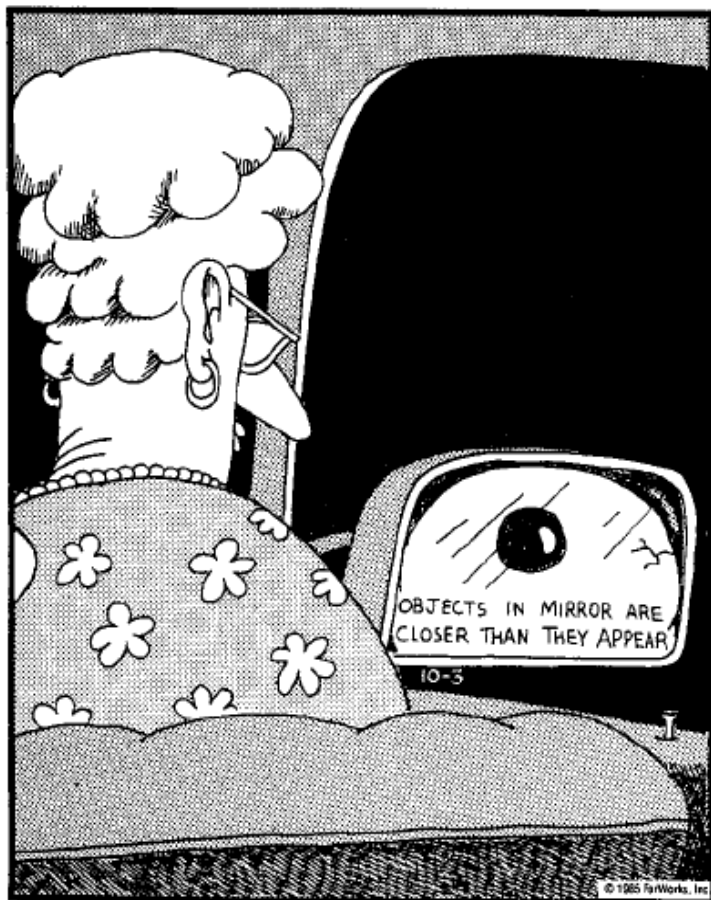


Demo: konveksna zrcala

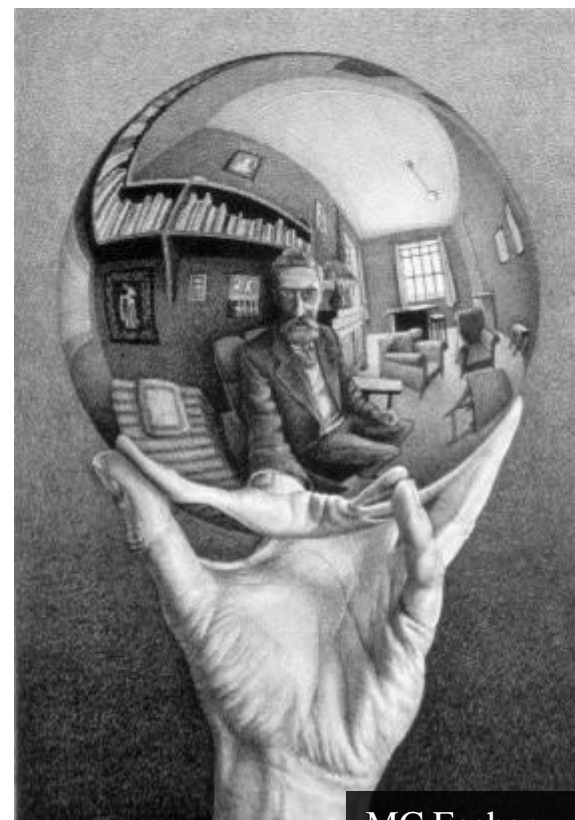
Zrcalna površina na kugli ili sl. Slika je manja i bliže.

THE FAR SIDE

By GARY LARSON



Predmeti u zrcalu su
bliže nego što izgledaju



MC Escher
*Ruka s
reflektirajućom
kuglom*