

Geometric optics, optical instruments

Reflection and refraction from
mirrors and lenses. Microscope,
magnifying glass, telescope.

Geometric optics

Optical elements

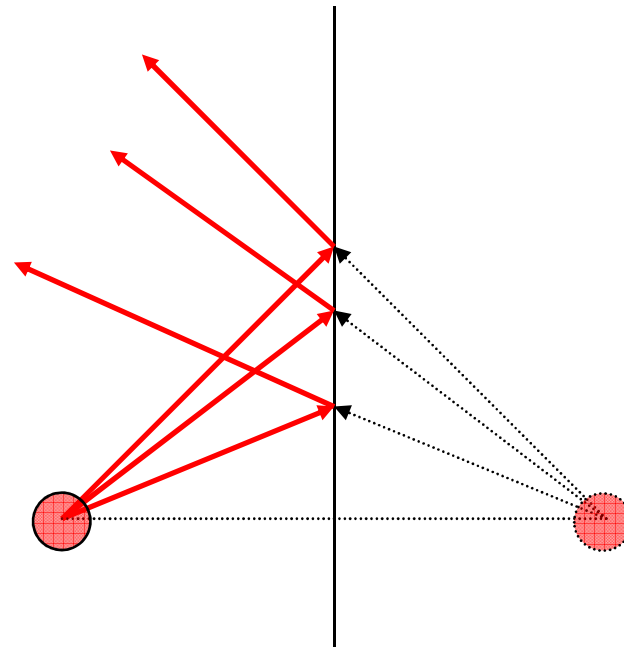
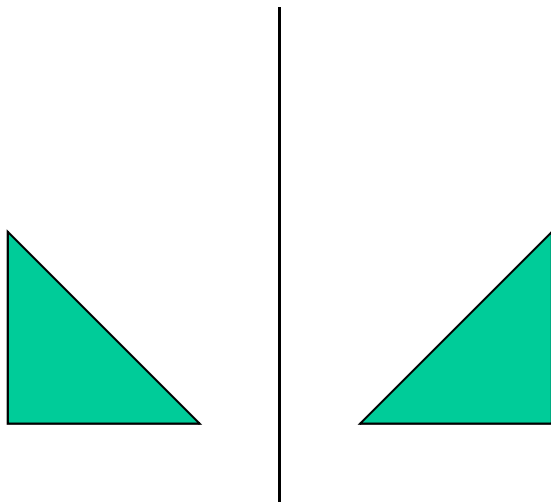
- Reflection – mirrors
- Refraction – lenses

Magnifying glass, camera, microscope, etc.

Ray optics, limited to narrow range of angles in the vicinity of principal axis (paraxial rays), none information about phase shifts between rays, interference etc.

Mirrors

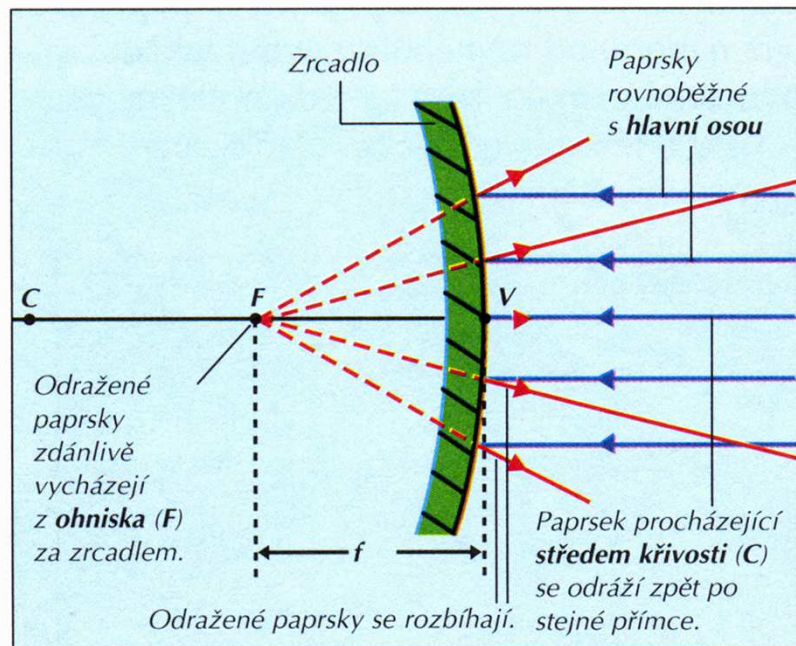
Light reflection on plane, spherical, parabolic
etc. mirror



Spherical mirrors

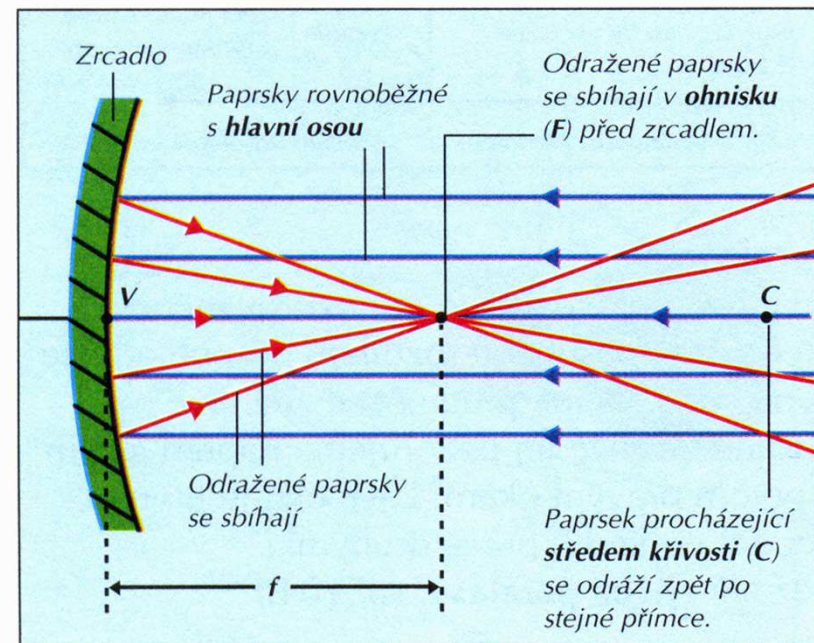
Convex mirror

Konvexní zrcadlo



Concave mirror

Konkávní zrcadlo

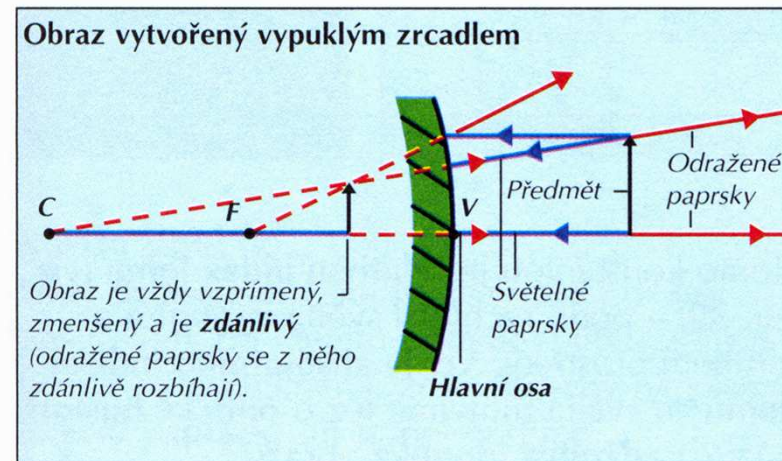
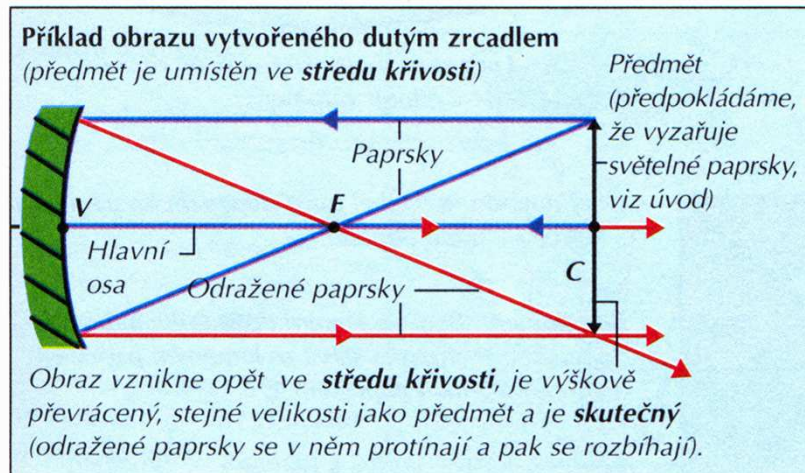


Mirror equation

Mirror focus, focal length

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

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



Particular rays

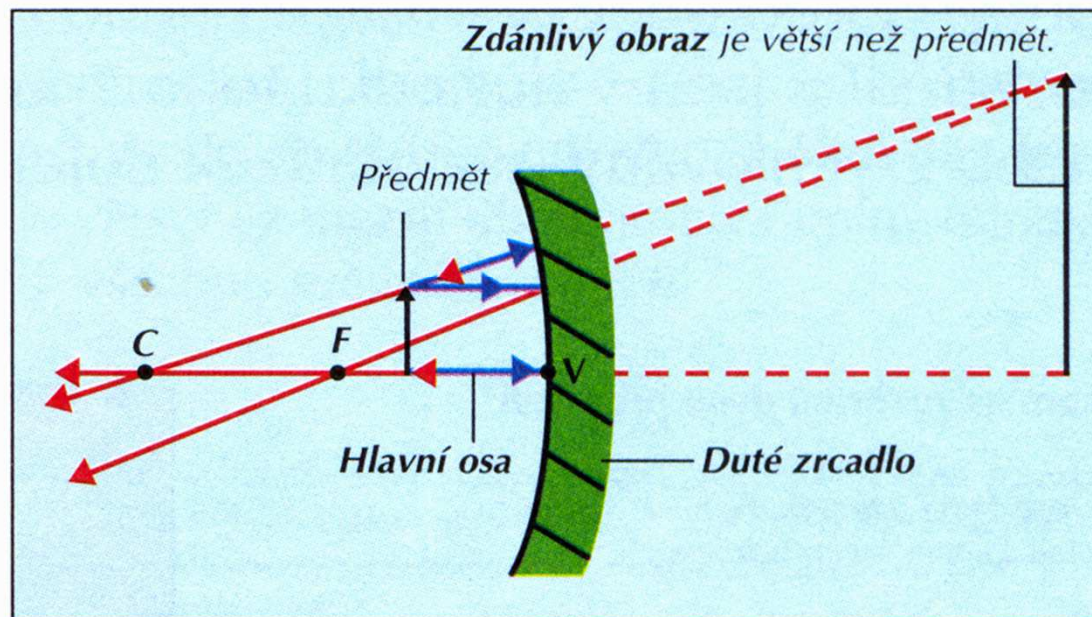
1. Goes through center of curvature, i.e. perpendicular to mirror \rightarrow reflection without change of direction
2. Goes through focus \rightarrow reflection parallel to principal axis
3. Goes parallel to principal axis \rightarrow reflection to focus

Two rays starting from one point are reflected into one point.

Magnification of image

Transversal magnification of image $Z = \frac{y'}{y}$

Příklad příčného zvětšení

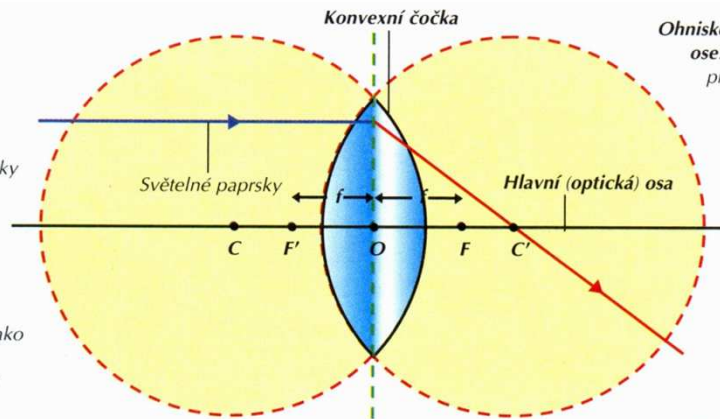


Thin lenses

Converging

Body používané k sestavení dráhy lomených paprsků (viz též str. 50)

Všechny zde uvedené čočky považujeme za tenké (tj. tloušťka čoček je malá ve srovnání s **ohniskovou vzdáleností**). I když se paprsky ohýbají jak při vstupu do čočky, tak při výstupu z ní, kreslíme je jako lomené pouze jednou ve svislé přímce procházející **optickým středem** čočky.

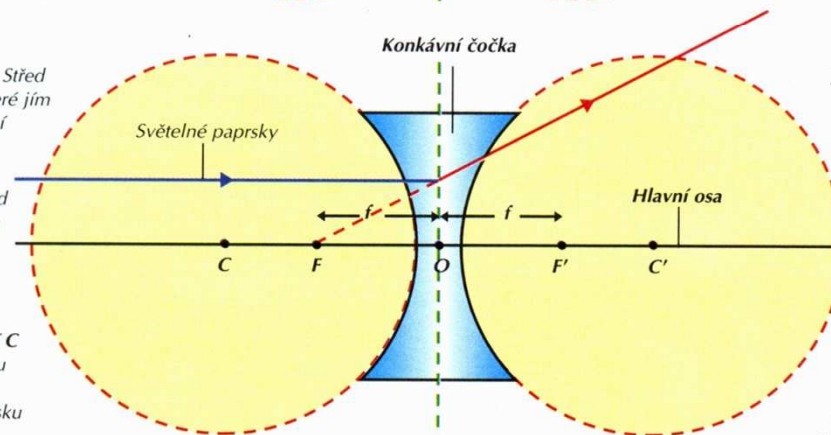


Ohnisko. Význačný bod na **optické ose**. Všechny rovnoběžné paprsky procházející blízko osy se lámou tak, že se sbíhají do ohniska (**spojka**) nebo se z něho zdánlivě rozbíhají (**rozptylka**). Ohniska jsou dvě, protože světlo může do čočky vstupovat z obou stran – označení **F** se dává vždy hlavnímu ohnisku, do kterého se paprsky sbíhají, nebo z kterého se zdánlivě rozbíhají (druhé ohnisko je **F'**).

Diverging

Optický střed (O). Střed čočky. Paprsky, které jím procházejí, nemění směr.

Střed křivosti. Střed koule, jejíž částí je povrch čočky. Protože čočka má dvě plochy, máme také dva středy křivosti – označení **C** se vždy dává středu křivosti na straně dopadajícího paprsku (druhý je **C'**).



Hlavní osa. Přímka procházející středy křivosti a optickým středem.

Ohnisková délka (f). Vzdálenost mezi ohnisky a optickým středem.

Světelný otvor (apertura). Oblast, kterou světlo prochází při dopadu na čočku.

Converging and diverging lenses

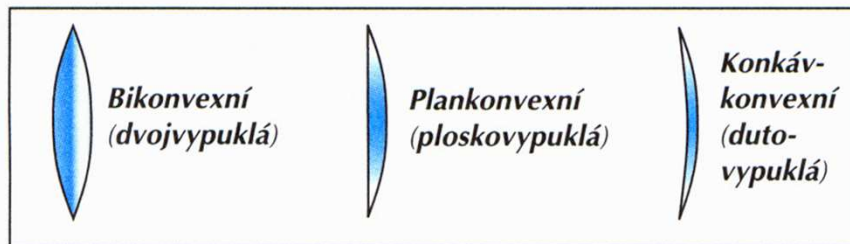
Lensmaker's equation (power = $1/f$ [diopter])

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad n = \frac{N_{glass}}{N_{env}}$$

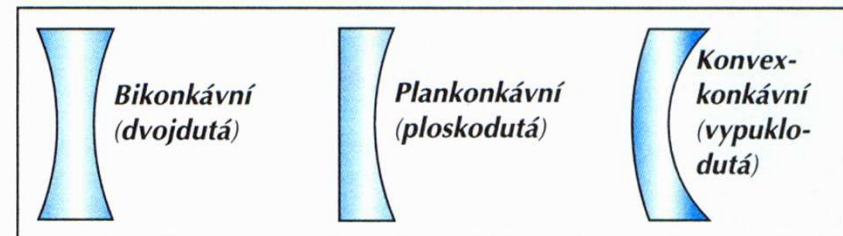
Converging $f > 0$

Diverging $f < 0$

Typy konvexních čoček

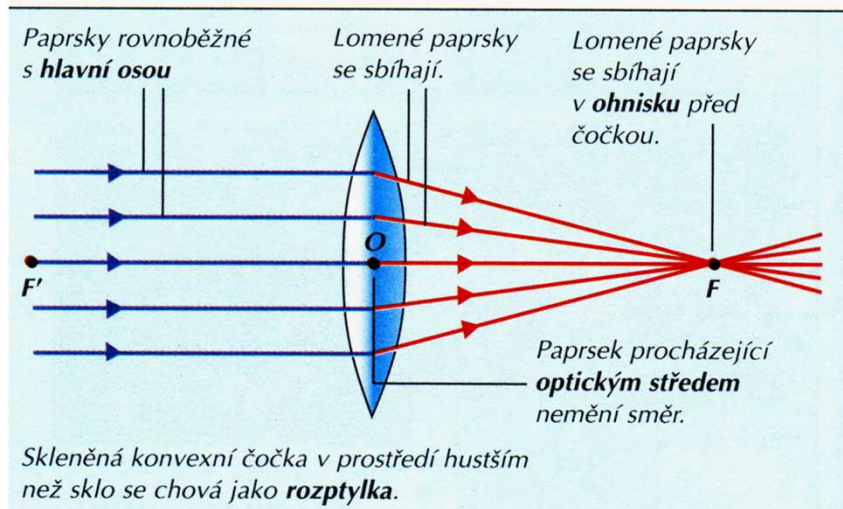


Typy konkávních čoček

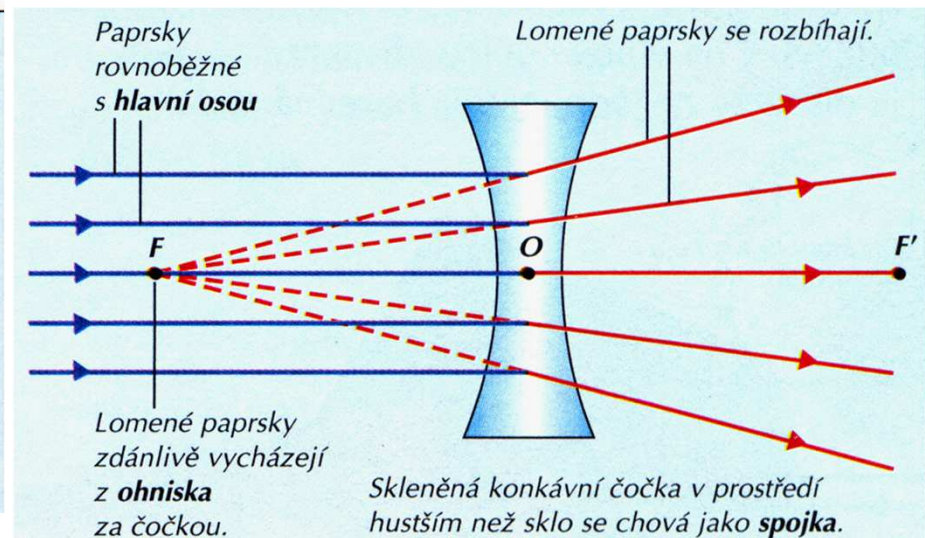


Ray tracing by lenses

Converging

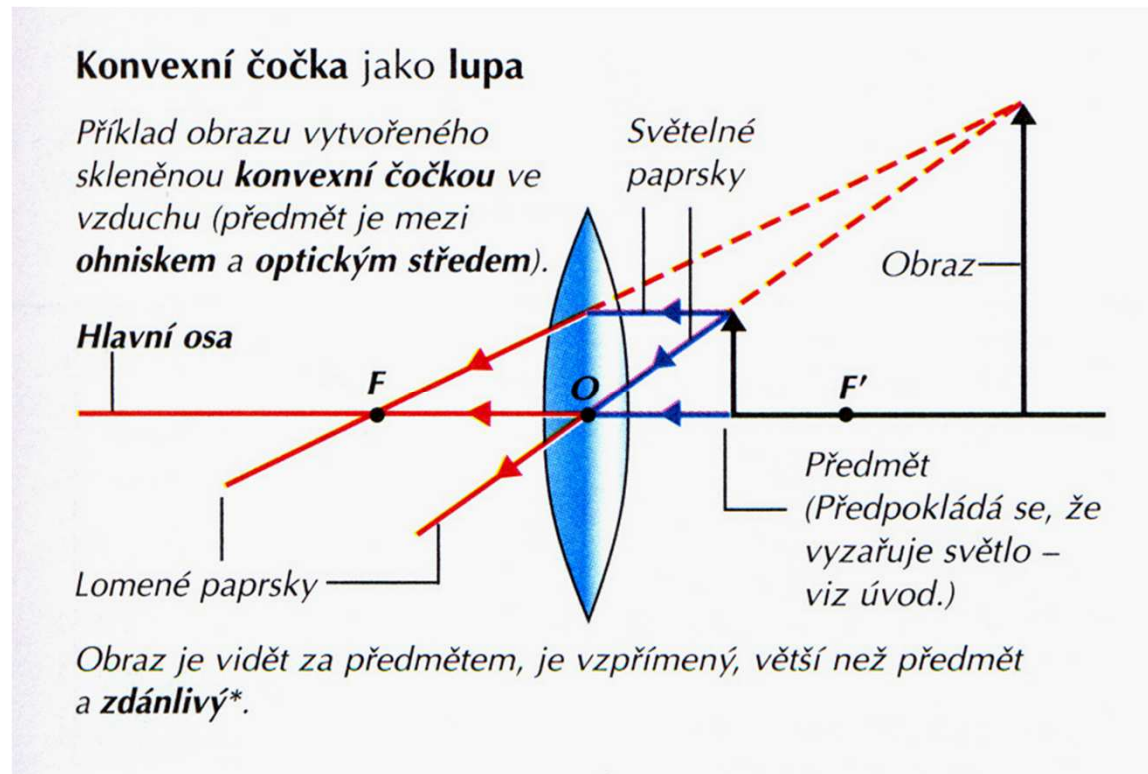


Diverging



Converging lens as magnifying glass

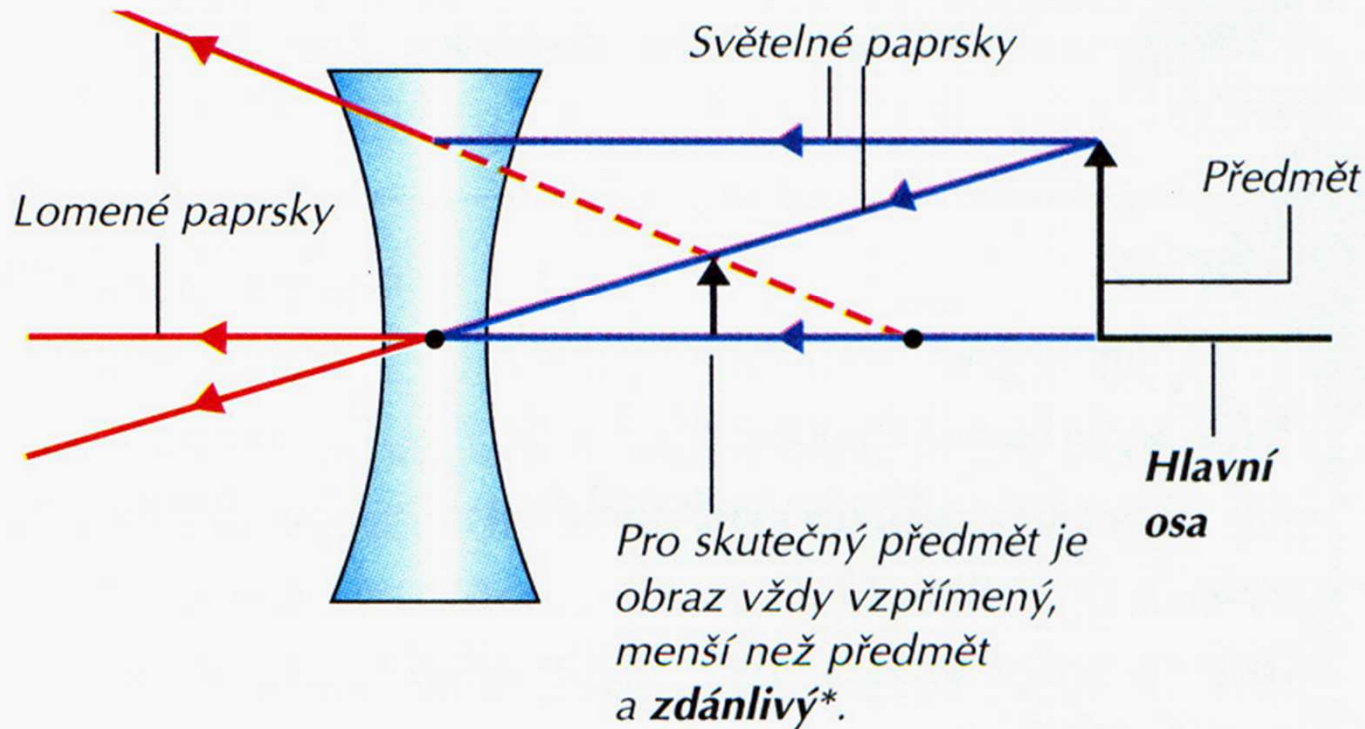
Virtual and magnified image



Diverging lens – ray tracing

Konkávní čočka

*Obraz vytvořený skleněnou **konkávní čočkou** ve vzduchu*



Thin lens equation

The same as for mirrors (a = object distance, b = image distance, f = focal length)

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

Focal distance depends on refraction index and radii of curvature – lensmaker's equation

Sign convention for $a, b, f < 0$ or > 0

Transversal magnification

Magnification of image

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{b}{a} = \frac{-f}{a-f} = -\frac{b-f}{f}$$

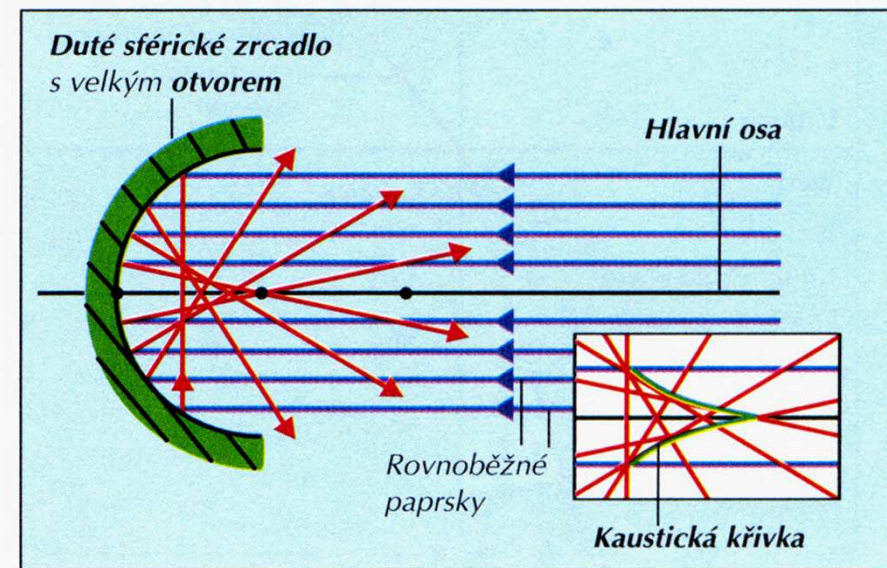
Upright image $y' > 0$, $Z > 0$

Inverted image $y' < 0$, $Z < 0$

Defects of ray tracing

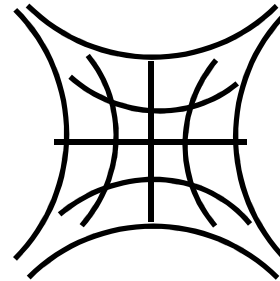
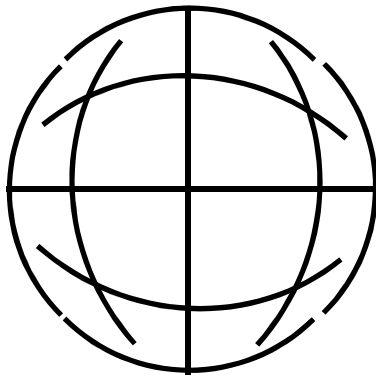
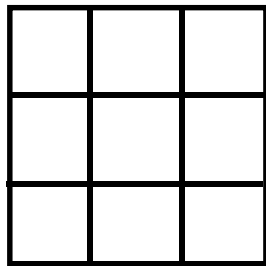
- Reflection – independent from wavelength
- Refraction – dependent on wavelength
- aperture defects
- astigmatism
- distortion of image
- dispersion defects

Kulová vada



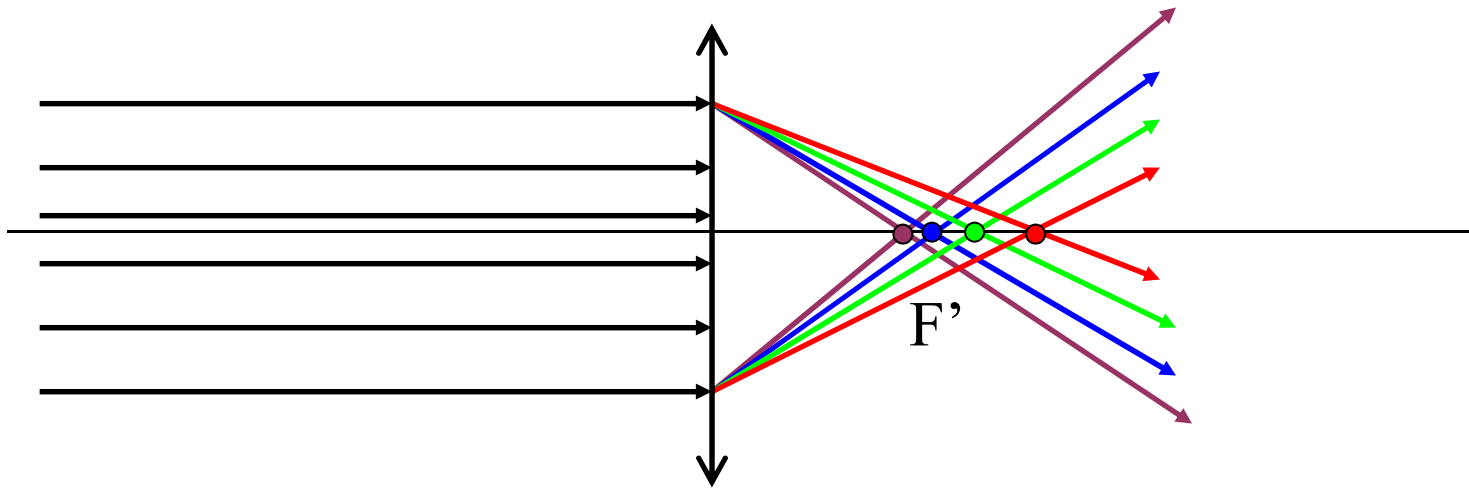
Distortion of image

- Astigmatism – two different focal points in perpendicular planes, image of circular spot is diverging spot of rays (comet)
- Distortion of image – keg or pillow like



Dispersion defects

Different focal points for different wavelengths – mostly visible at the edge of image



Optical instruments

- Magnifying glass
- Telescope
- Microscope

Magnifying glass

Standard optical distance (focus of eye at near point) $l=25\text{cm}$

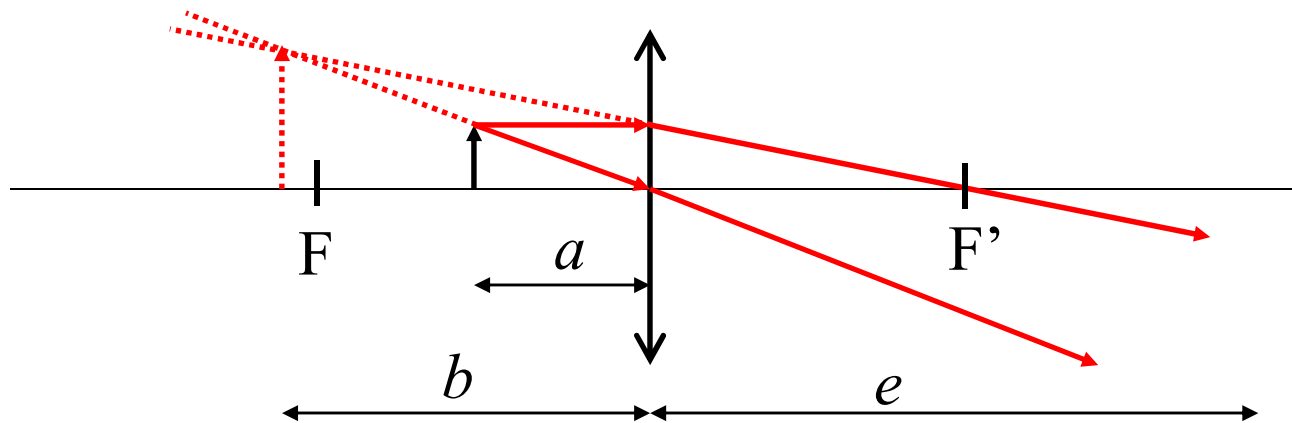
Simple magnifier (magnifying glass) =
converging lens, object between focal point
and lens (near focal point), image virtual
and magnified

Observation from the distance e from magnifier

Angular magnification (angular power) of magnifying glass

Eye focused to infinity $b \rightarrow \infty$

$$w = \alpha' / \alpha = \frac{l}{f} \frac{b-f}{b-e} \rightarrow \frac{l}{f}$$



Microscope

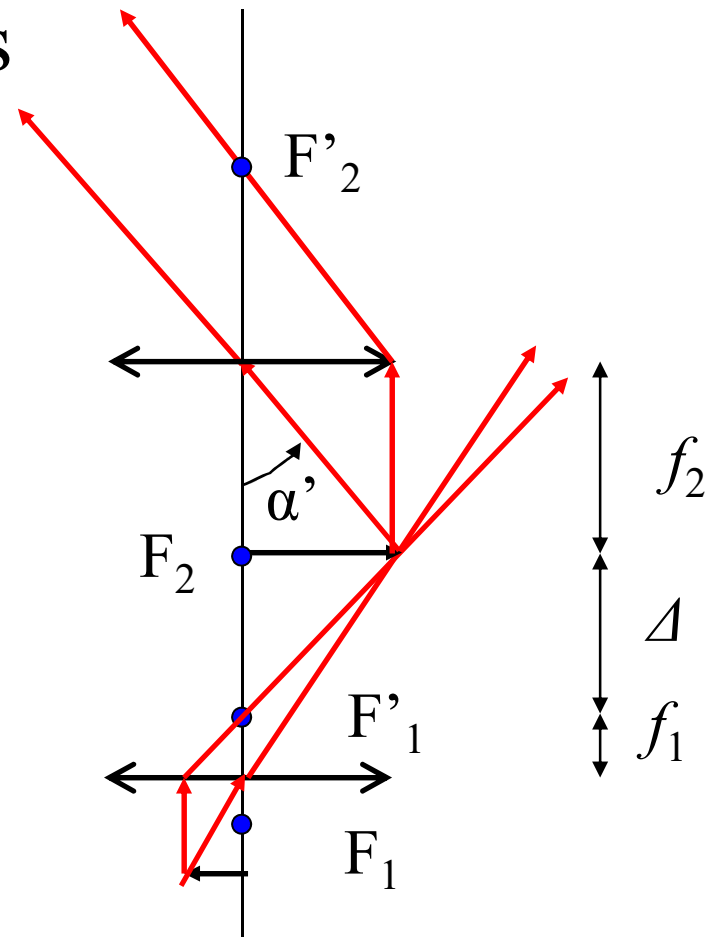
- Objective lens - $f_1 \sim 1\text{mm}$
- Eyepiece lens - $f_2 \sim 1\text{cm}$
- Distance between focal point of lenses
 $\Delta = 160\text{mm}$

Image formed by objective lens is magnified
by eyepiece lens

Angular power of microscope

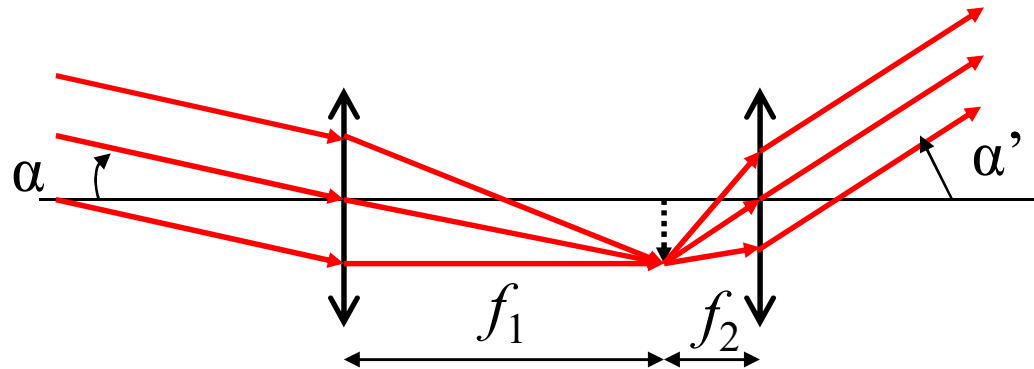
Product of magnifications
of both lenses

$$w = \frac{\alpha'}{\alpha} \approx \frac{\Delta}{f_1} \frac{l}{f_2} = Z_1 Z_2$$

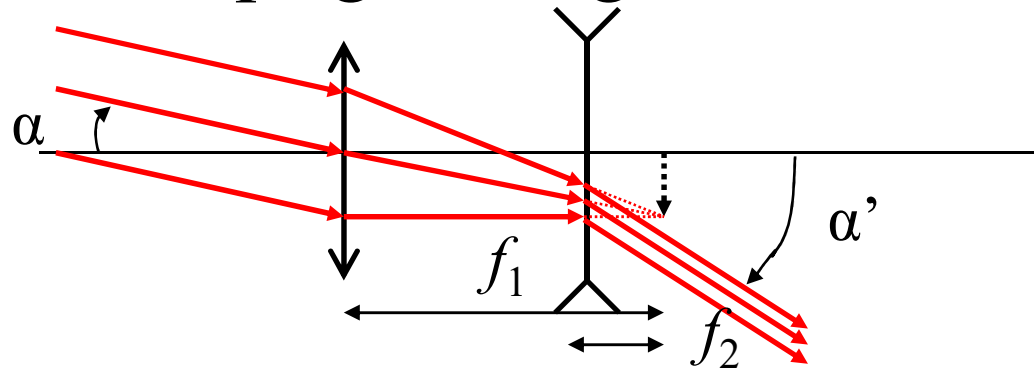


Telescope

- Keplerian (astronomical) – inverted image



- Galileian – upright image



Angular power of telescope

- Angular magnification

$$w = \frac{f_1}{f_2}$$

- E.g. 8x50 = magnification of 8 times,
50mm input light beam diameter

Output light beam diameter = $50\text{mm}/8 = 6\text{mm}$

Literature

Pictures used from the books:

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J.: Fyzika (část 4 – Elektromagnetické vlny – Optika – Relativita), Vutium, Brno 2000

Velká ilustrovaná encyklopedie, Fyzika, Chemie, Biologie, Fragment, Havlíčkův Brod 2000