

# Geometrická optika



PINK FLOYD

# 1. Světlo jako elektromagnetické vlnění

## Optika

- zkoumá podstatu světla a jeho šíření
- zkoumá vzájemné působení světla a látky
- zkoumá účinky světla v chemii, biologii, fyzice, lékařství, psychologii

## Významné optické přístroje

- oko, brýle (1267 R. Bacon)
- dalekohled, mikroskop, fotoaparát, kamera
- laser, holografie, CD-ROM, tiskárny, optická vlákna, digitální kamera, data projektor
- VR, 3D brýle, FVE, nanotechnologie

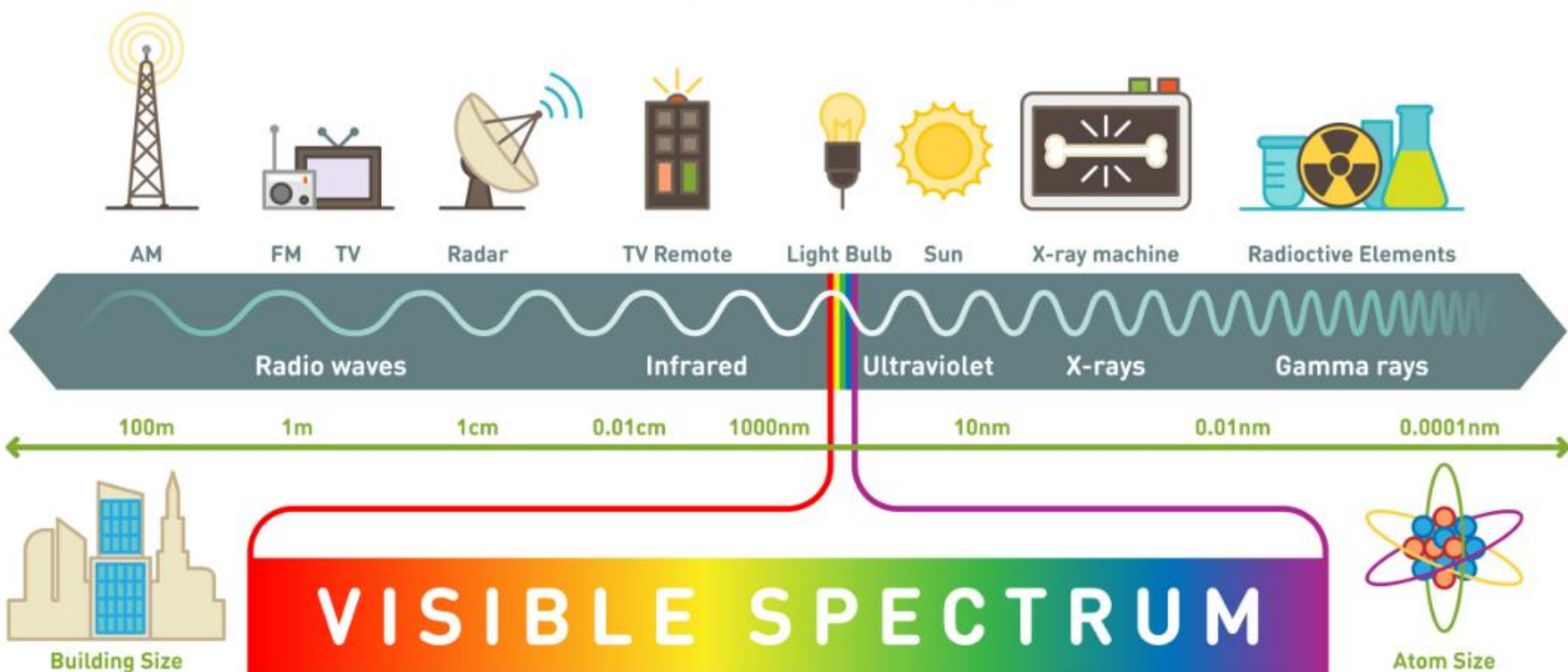
## Názory na podstatu světla

- **vlnová teorie** → 1678 Ch. Huygens – mechanické vlnění šířící se v **éteru**
- **korpuskulární** (částicová) **teorie** → 1704 I. Newton – světlo je proud částic
- **elektromagnetická teorie** → 1865 J.C. Maxwell – **příčné elmg. vlnění** šířící se rychlostí  $c$
- **kvantová teorie** → 1900 M. Planck – spojil předchozí tři v jednu  
→ 1905 A. Einstein – **fotoelektrický jev, foton**

# 1. Světlo jako elektromagnetické vlnění

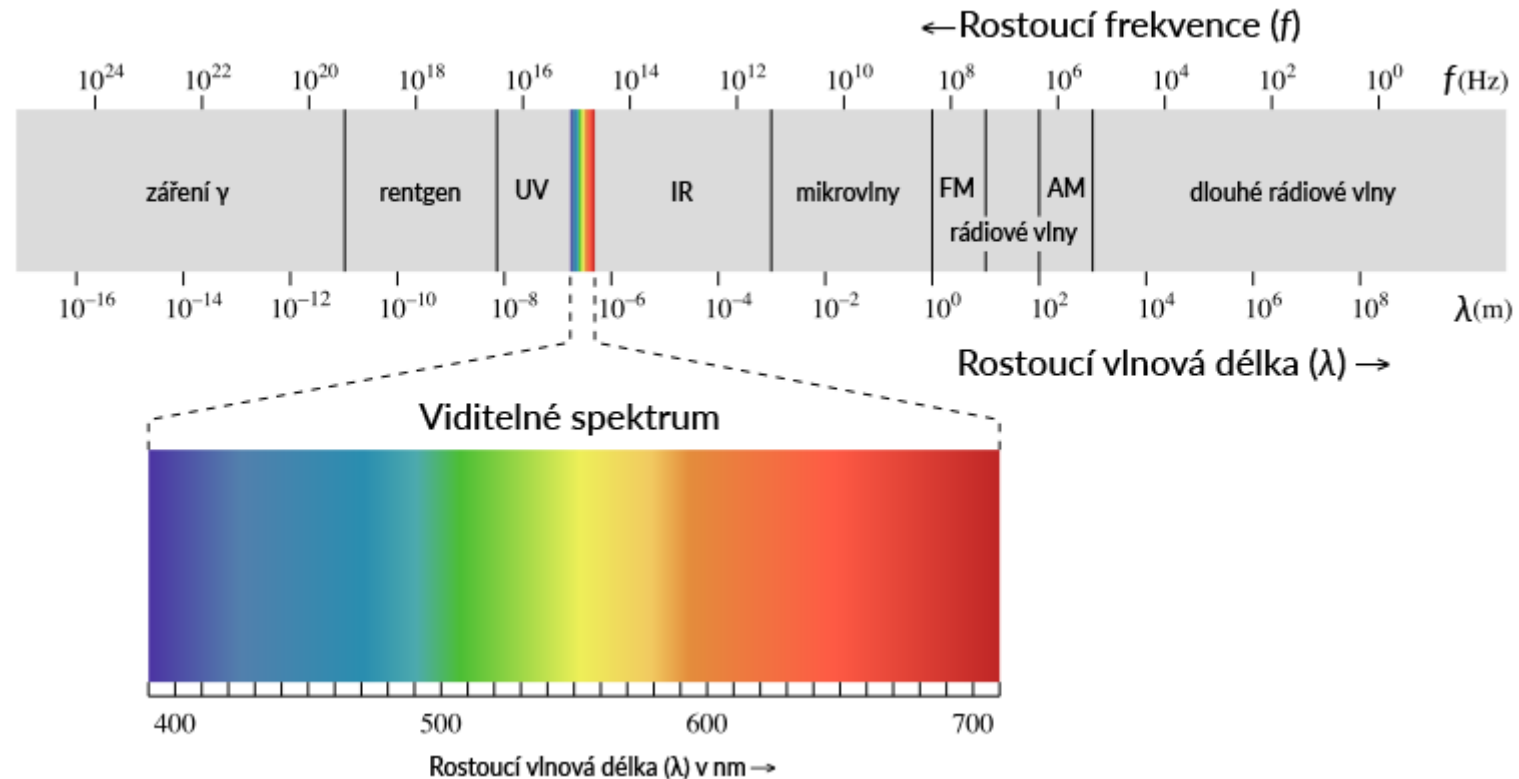
## Elektromagnetické spektrum

### Electromagnetic Spectrum



# 1. Světlo jako elektromagnetické vlnění

## Elektromagnetické spektrum



## Viditelné spektrum

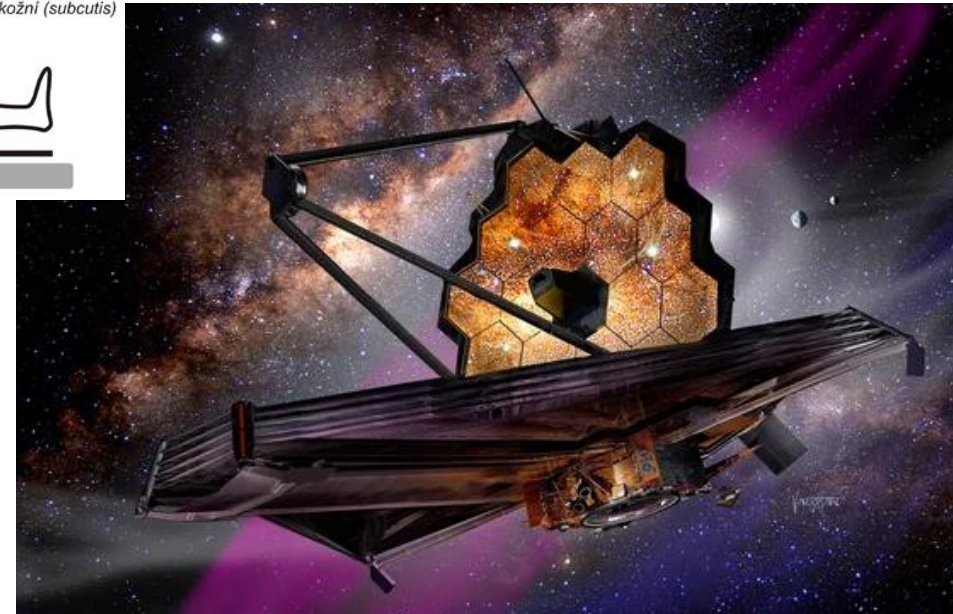
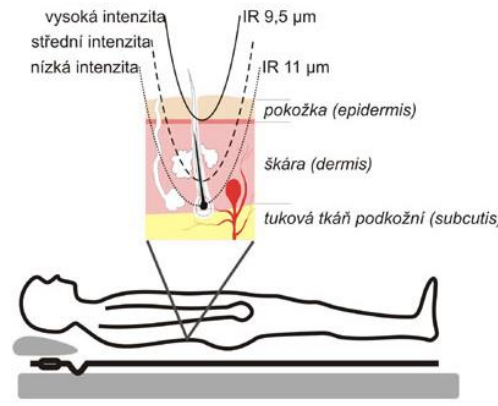
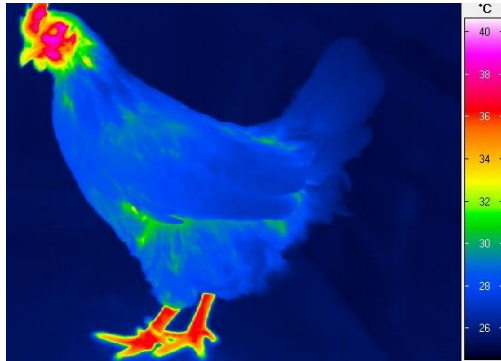
$$\lambda = (390 - 760) \text{ nm}$$

- **bílé světlo** – polyfrekvenční – složené z více barev, rozklad na monofrekvenční složky např. hranolem (hranolové spektrum), mřížkou (mřížkové spektrum)  
Př. sluneční světlo, žárovka
- **monofrekvenční** (monochromatické) **světlo** – zdroj září na 1 frekvenci, např. přibližně laser

# 1. Světlo jako elektromagnetické vlnění

## Infračervené záření (IČ, IR)

- zdrojem jsou všechna tělesa zahřátá na teplotu  $0 \text{ K} < T < 18\,000 \text{ K}$
- vlnová délka  $\lambda = 760 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$
- využití: ovladače TV, bezkontaktní měření teploty, infrakamery, IR filtry při fotografování, IR spektroskopie, meteorologie, JWST – zkoumání vesmíru



# 1. Světlo jako elektromagnetické vlnění

## Ultrafialové záření (UV)

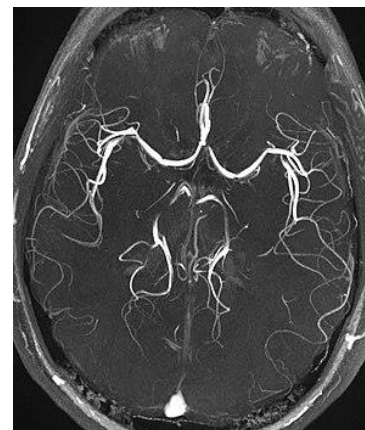
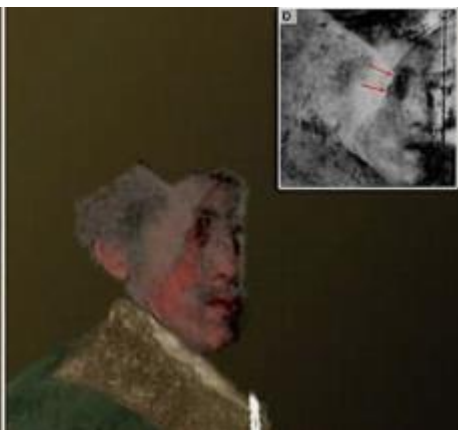
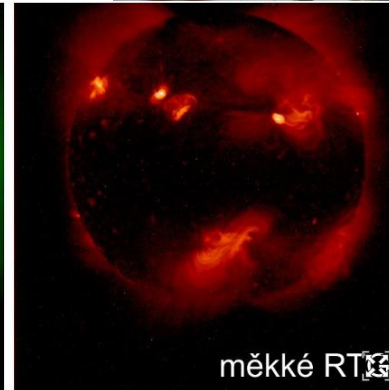
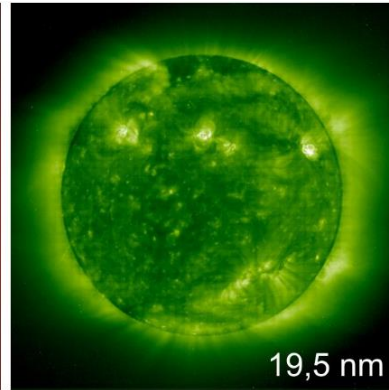
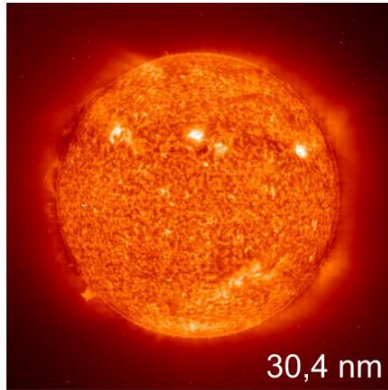
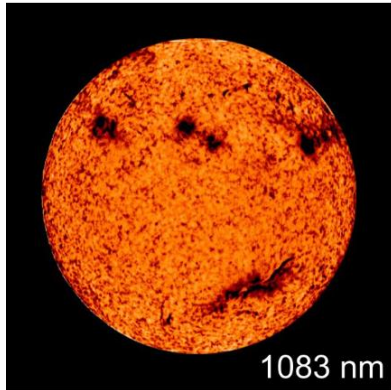
- zdrojem jsou všechna tělesa zahřátá na teplotu  $48 < T < 1400 \text{ kK}$
- vlnová délka  $\lambda = (10 - 400) \text{ nm}$
- využití: UV lampy na kontrolu bankovek, dezinfekce a sterilizace, značkovací látky v genetice, čištění vody, detektory požáru, opalování – solária, výmaz EPROM, archeologie, obrazy, kriminalistika



# 1. Světlo jako elektromagnetické vlnění

## RTG záření

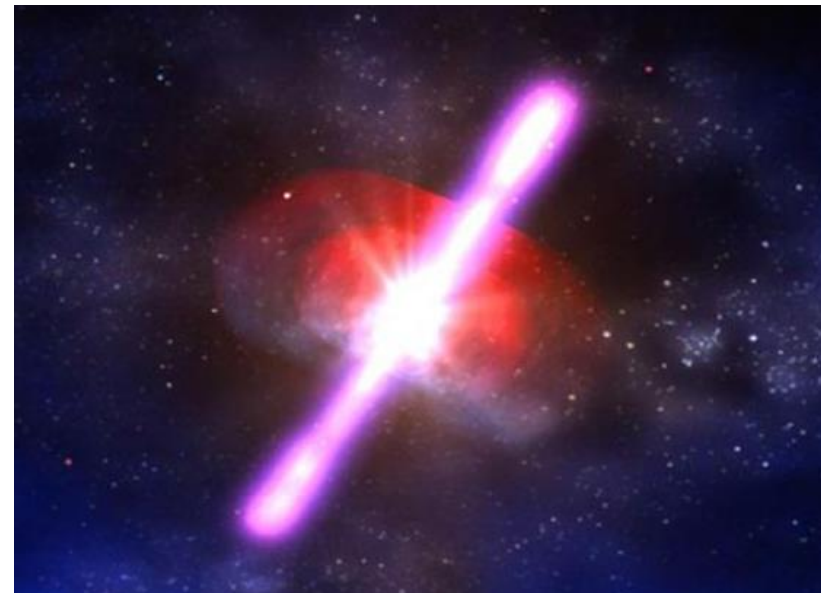
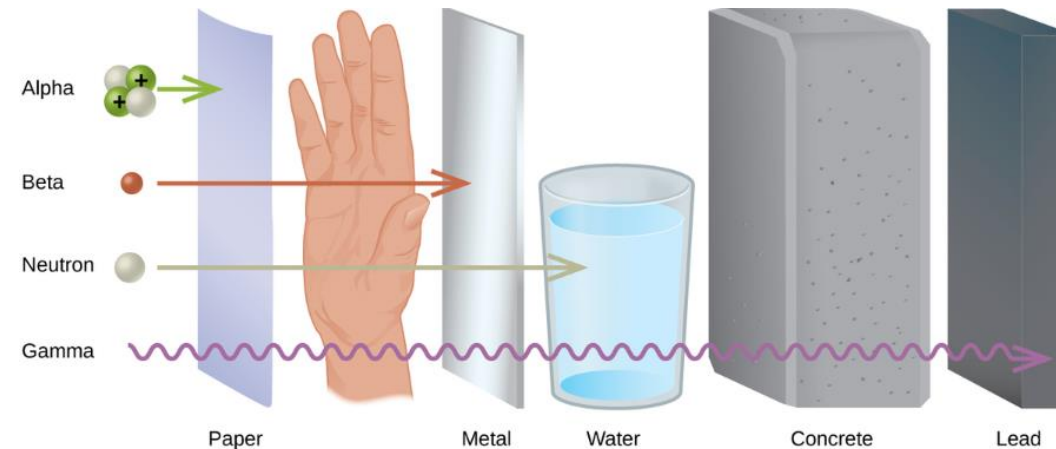
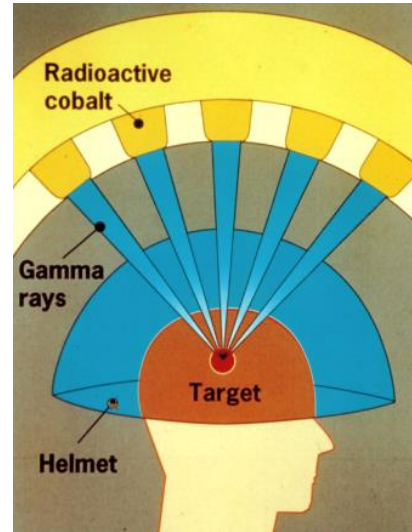
- **W.C. Roentgen (1845 – 1923)**: objev náhodou 1895
- Ionizující záření o vlnové délce  $\lambda = 10 \text{ nm} - 1 \text{ pm}$
- využití: RTG diagnostika, CT, RTG defektoskopie, archeologie, astronomie, skiografie, angiografie



# 1. Světlo jako elektromagnetické vlnění

## Gama záření

- pronikavé ionizující záření o vlnové délce  $\lambda < 124 \text{ pm}$
- energie  $E > 10 \text{ keV}$  (naměřené max. 1400 TeV)
- **nebezpečné pro živé organismy**
- využití: hubení bakterií, sterilizace potravin, léčba nádorů, astronomie



# 2. Základní vlastnosti světla

## Zdroje světla

- **přírozené** → fyzikální, chemické (Slunce, hvězdy, oheň, Měsíc – odrazem, blesk)  
→ biologické (luminiscence světlušek)
- **umělé** → svíčky, žárovky, doutnavky, LED, laser



## Rychlost světla

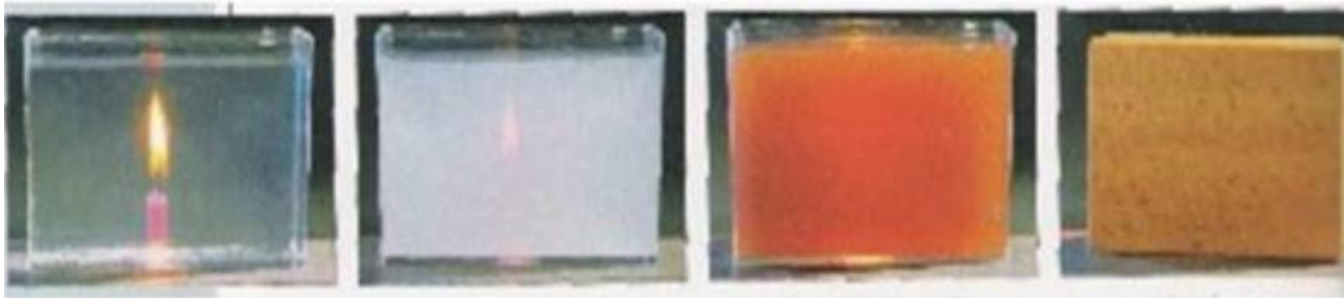
- univerzální fyzikální konstanta pomocí které se od roku 2019 definuje 7 základních fyzikálních jednotek
- **$c = 299\,792\,458\text{ m/s}$**
- **maximální rychlost** částic, objektů i fyzikálních interakcí **ve vakuu**
- **vztah k permitivitě a permeabilitě vakua**

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

# 2. Základní vlastnosti světla

## Optická prostředí

- **průhledné** → paprsky po průchodu zachovávají rovnoběžnost
- **průsvitné** → rozptyl paprsků po průchodu způsobuje neostré obrysy
- **neprůhledné** → odraz paprsků od tělesa, případně pohlcení světla



průhledné

průsvitné

málo průsvitné

neprůhledné



# 2. Základní vlastnosti světla

## Základní principy šíření světla

- 1. Princip přímočarého šíření** → v homogenním prostředí se světlo šíří po přímce



# 2. Základní vlastnosti světla

## Základní principy šíření světla

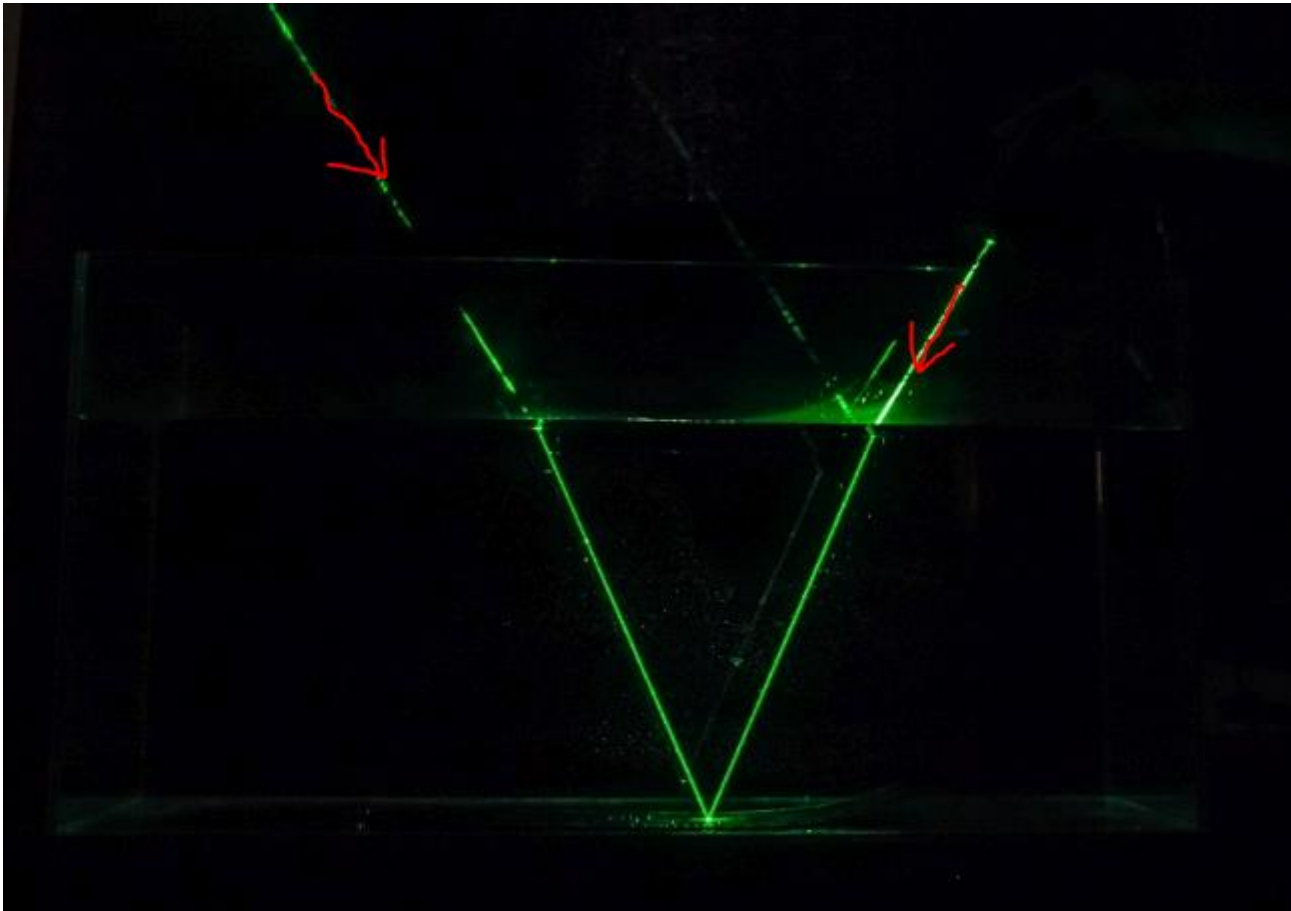
2. **Princip nezávislosti chodu** → protínající se paprsky se vzájemně neovlivňují



## 2. Základní vlastnosti světla

### Základní principy šíření světla

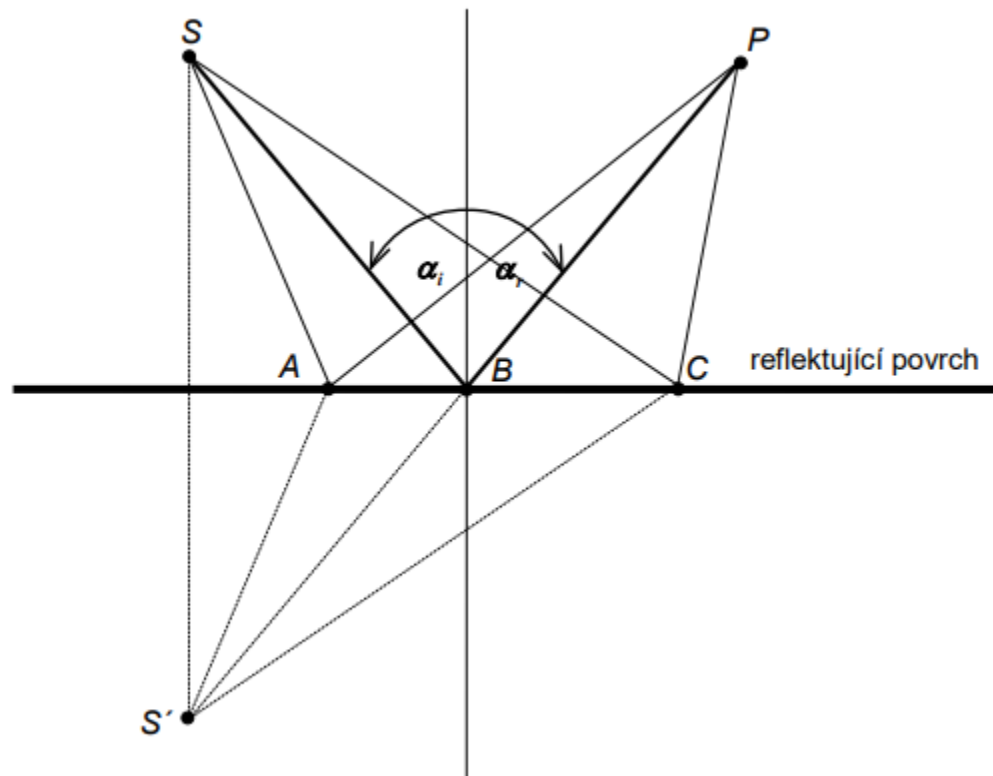
3. **Princip záměnnosti chodu** → paprsek může po téže trajektorii projít tam i zpět



# 2. Základní vlastnosti světla

## Základní principy šíření světla

4. **Fermatův princip** → světlo se pohybuje po takové trajektorii, kterou projde za nejkratší čas  
→ nejkratší dráha paprsku z S do P je ze všech možných bodů přes bod B



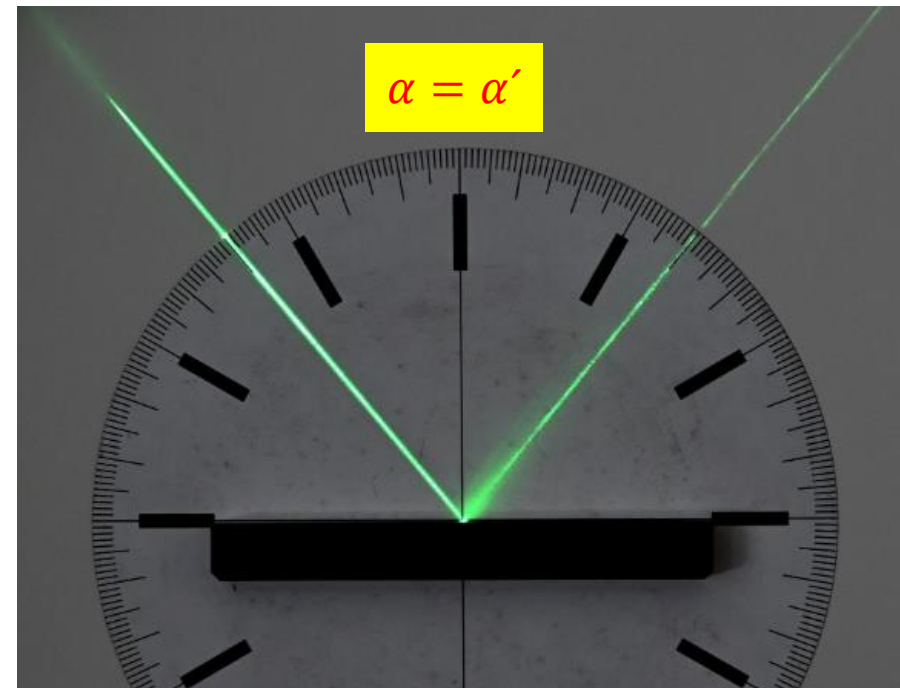
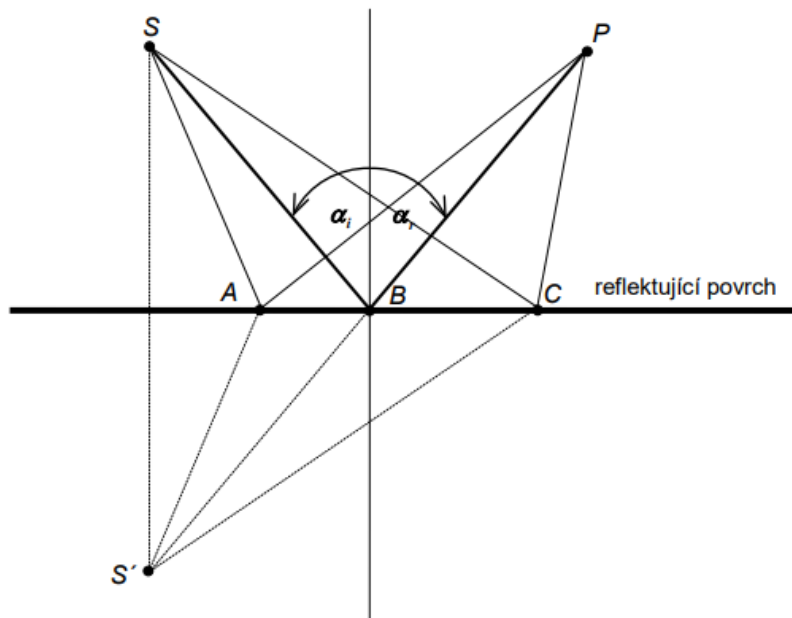
# 3. Odraz a lom světla

## Zákon odrazu

**Fermatův princip** → světlo se pohybuje po takové trajektorii, kterou projde za nejkratší čas → nejkratší dráha paprsku z S do P je ze všech možných bodů přes bod B

**Úhel odrazu je stejný jako úhel dopadu. Odražený paprsek leží v rovině dopadu, která je dána dopadajícím paprskem a kolmicí dopadu.**

**Úhel dopadu i odrazu se měří od kolmice dopadu k paprsku.**



# 3. Odraz a lom světla

## Zákon lomu (Snellův)

Jako první publikoval R. Descartes 1637 v díle Dioptrica.

**Lomený paprsek leží v rovině dopadu.**

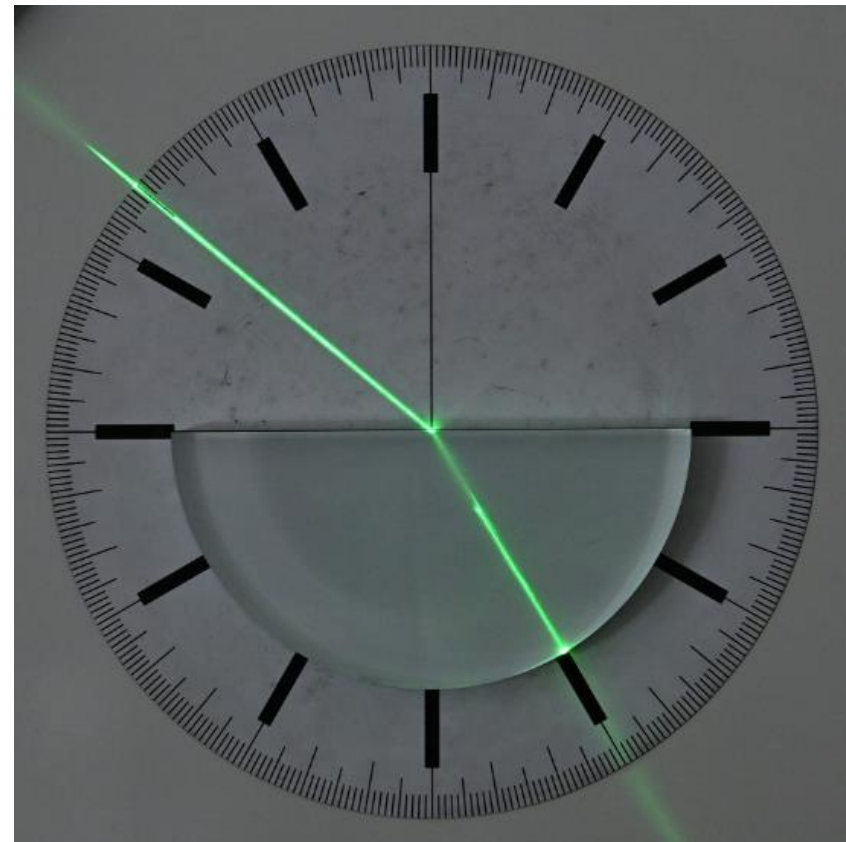
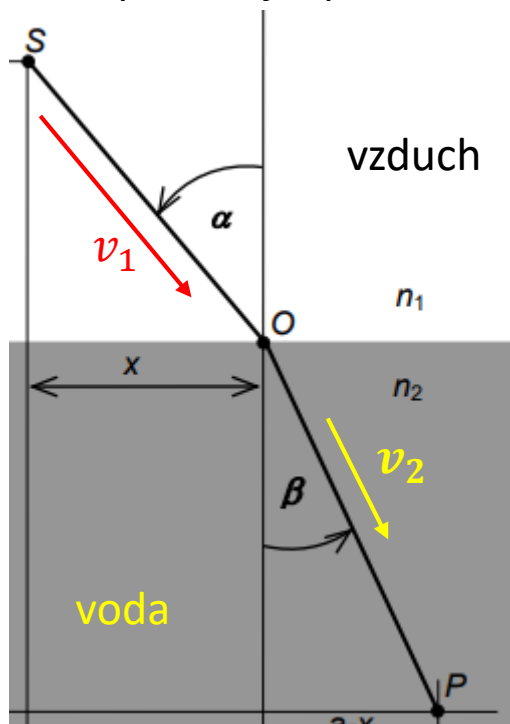
**Úhel dopadu i lomu se měří od kolmice dopadu k paprsku.**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

### Absolutní index lomu - $n$

- udává, kolikrát se v daném prostředí šíří světlo pomaleji oproti vakuu

$$n = \frac{c}{v}$$



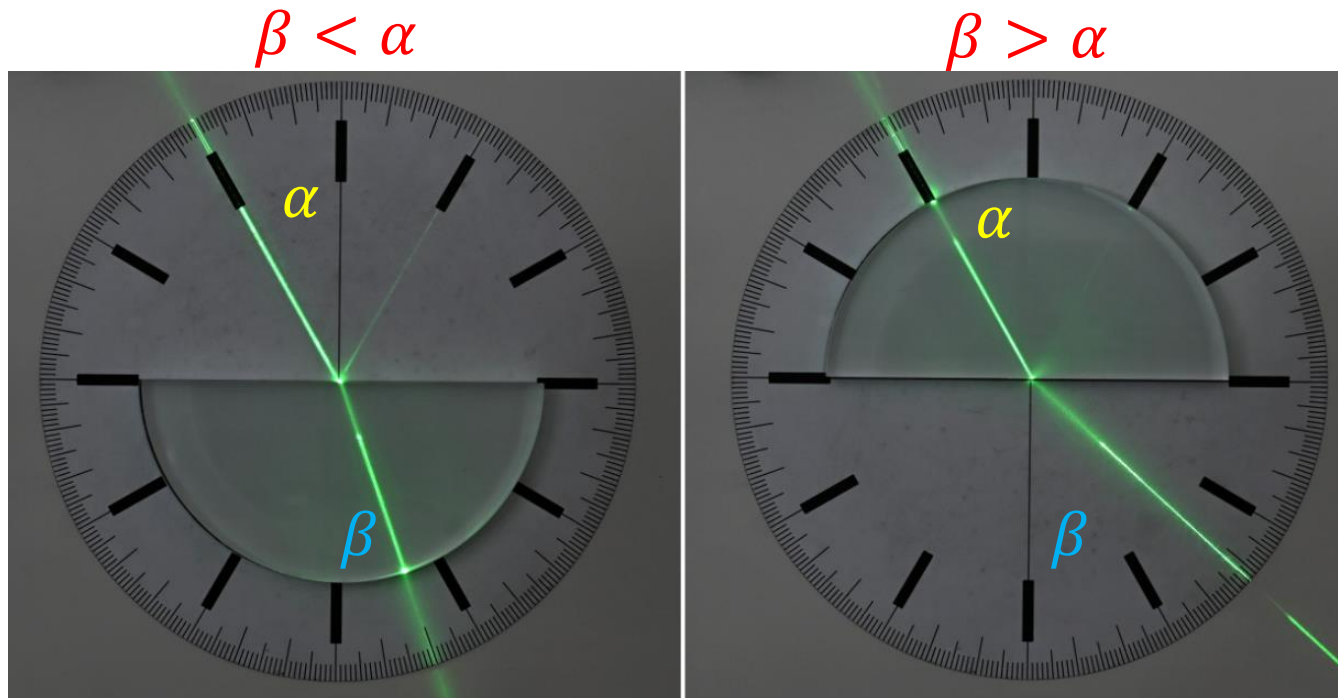
# 3. Odraz a lom světla

**Lom ke kolmici**  $v_1 > v_2, n_1 < n_2$

Světlo se šíří z prostředí opticky řidšího (např. vzduch) do prostředí opticky hustšího (např. voda, sklo).

**Lom od kolmice**  $v_1 < v_2, n_1 > n_2$

Světlo se šíří z prostředí opticky hustšího (voda, sklo) do prostředí opticky řidšího (vzduch).

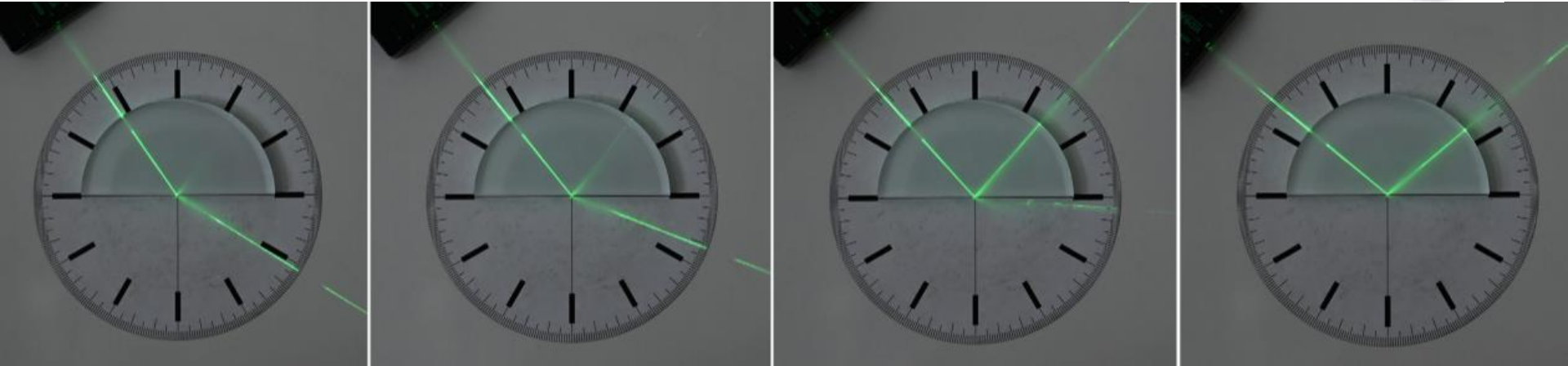


# 3. Odraz a lom světla

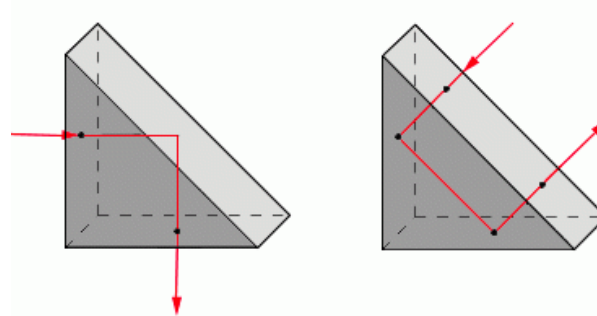
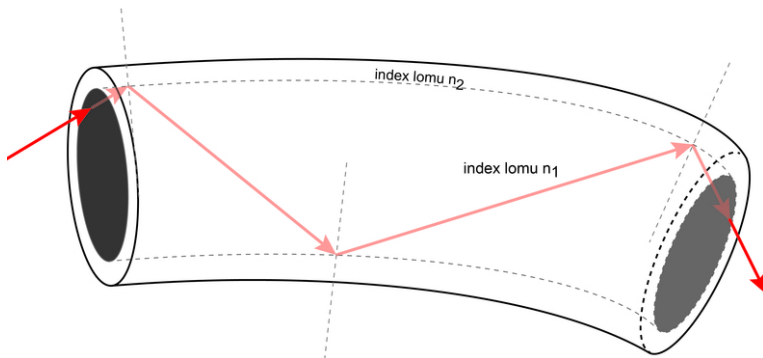
## Lom od kolmice – totální odraz

**mezní úhel** -  $\alpha_m$   
→ úhel lomu  $\beta = 90^\circ$

$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1} \quad n_2 < n_1$$



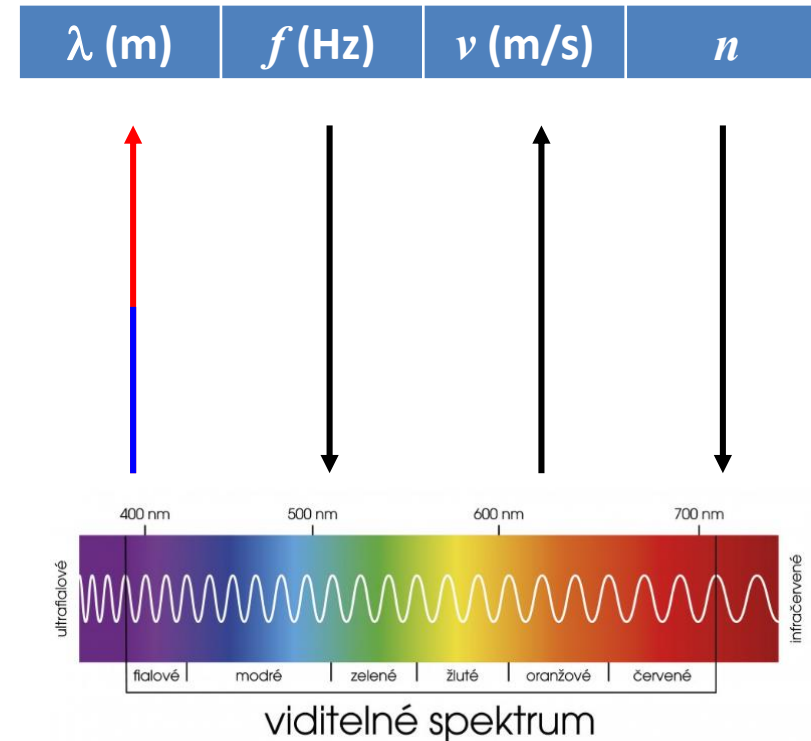
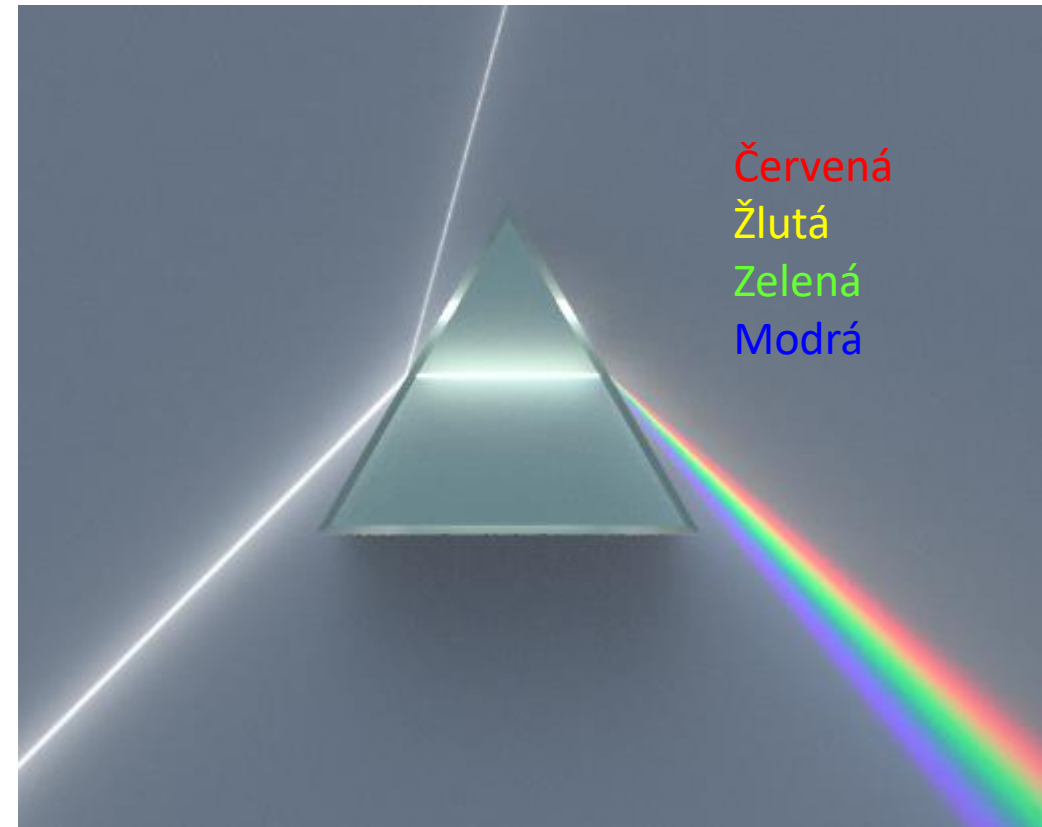
- využití: optická vlákna, refraktometry, triedry, odrazky



# 4. Disperze světla. Barva světla.

## Disperze světla

- rozklad bílého světla na barevné složky při lomu → hranolové spektrum, mřížkové spektrum



- Index lomu závisí na frekvenci →  $n_{\text{červená}} < n_{\text{modrá}}$
- normální disperze** → rychlost světla se s rostoucí frekvencí zmenšuje

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{v}{c} \lambda_0 = \frac{\lambda_0}{n}$$

- při průchodu světla rozhraním dvou prostředí se nemění frekvence (barva) světla**

# 4. Disperze světla. Barva světla.

## Hranolové a mřížkové spektrum

- **hranolové spektrum** → nerovnoměrné rozložení barev, úzká červená, široká modrá



- **mřížkové spektrum** → rovnoměrné rozložení barev



# 4. Disperze světla. Barva světla.

## Barva světla

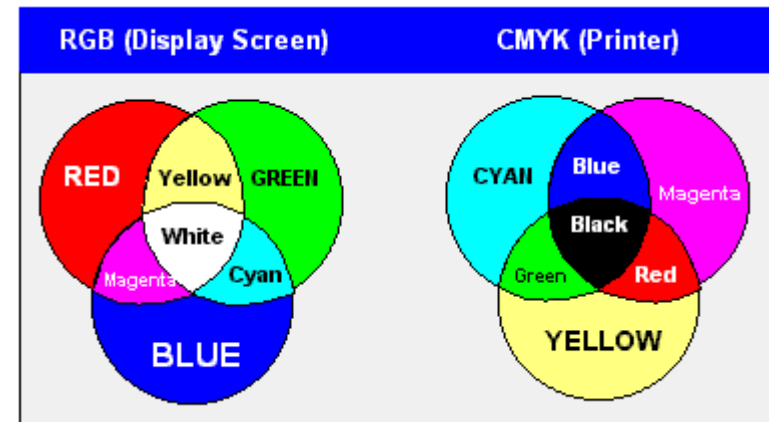


- Newtonův kotouč 1686
- [https://www.youtube.com/watch?v=VaQFYu5b\\_R8](https://www.youtube.com/watch?v=VaQFYu5b_R8)

- **barevné spektrum** → složením monochromatických světél vzniká bílé světlo
- **barva světla** → odstín (tón, frekvence) barvy  
→ sytost barvy
- **odstín barvy** → závisí na poměru složek RGB, resp. CMYK  
→ barva předmětu závisí také na barvě světla, kterým je předmět osvětlen
- **sytost barvy** → dána podílem bílé složky ve světle dané barvy

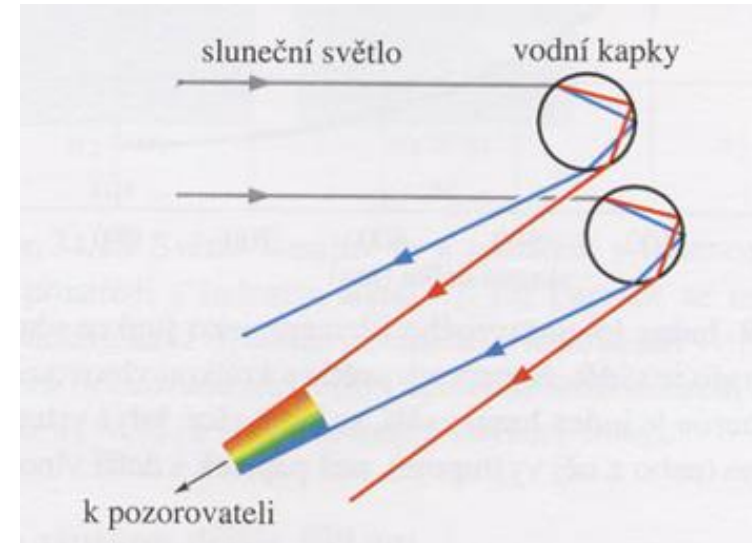
## Míšení barev

- **aditivní (RGB model)**  
→ složením jednotlivých barev vzniká výsledná bílá  
→  $R+G = \text{žlutá}$ ,  $R + G + B = \text{bílá}$  → TV, displeje
- **subtraktivní (CMYK)** → složením vzniká černá  
→ barevné tiskárny



# 5. Optické jevy v atmosféře.

## Duha



- chromatická disperze vzniklá rozkladem bílého slunečního světla na kapách vody
- kapky nejvýše na obloze → ze všech lomených barev vidíme jen červenou
- kapky nejnižší na obloze → ze všech lomených barev vidíme jen modrou
- pozorovací úhel cca  $42^\circ$
- **sekundární duha**: inverzní pořadí barev
- tvar duhy → kruh, ze kterého vidíme běžně jen jeho část nad obzorem

# 5. Optické jevy v atmosféře.

## Modrá barva oblohy



- 1899 – **Rayleighův rozptyl** světla na molekulách plynů ve vzduchu
- **malé vlnové délky se rozptylují více než velké** → modré světlo má menší  $\lambda$  než červené
- **A. Einstein** – rozptyl se děje na fluktuacích hustoty vzduchu, které vytváří tzv. rozptylující centra

# 5. Optické jevy v atmosféře.

## Červánky a green flash (zelený záblesk)



- **Rayleighův rozptyl** světla na částicích prachu v době východu a západu slunce + lom paprsků v atmosféře
- **červené světlo** → více se ohýbá, méně se láme, je tedy déle vidět
- **červené světlo** → méně se rozptyluje, je tedy intenzivnější než modrá
- **green flash** → zelené světlo při západu nebo východu slunce, je-li Slunce těsně pod horizontem

# 5. Optické jevy v atmosféře.

## Měsíční a sluneční haló

- lom světla světla **na ledových krystálcích** v atmosféře



# 5. Optické jevy v atmosféře.

## Měsíční korona

- **ohyb světla** světla na kapkách vody, mlhy v chladném období



# 5. Optické jevy v atmosféře.

## Fata morgana

- **lom světla** světla **na rozhraní studeného a horkého vzduchu**
- **dolní:** silnice – horký vzduch ( $n_1$ ) – studený vzduch ( $n_2$ ) →  $n_2 > n_1$  → totální odraz oblohy



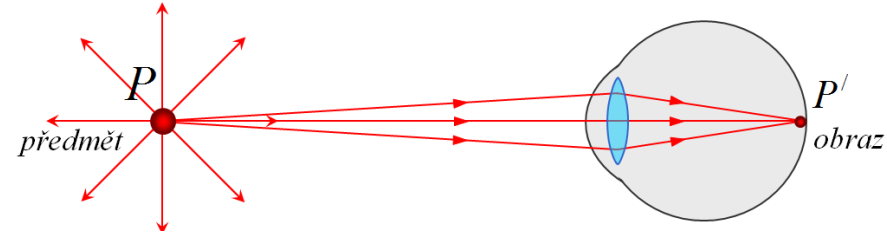
- **horní:** nad vrstvou studeného vzduchu je vrstva teplejšího → lze vidět předměty za horizontem  
opačný totální odraz, někdy předměty jsou vidět převrácené → zrcadlový obraz města



# 6. Optické zobrazování.

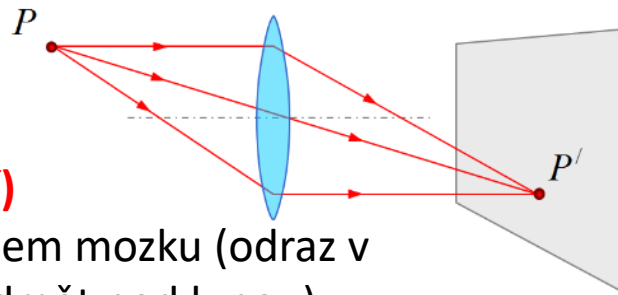
## Přímé vidění

- **rozbíhavý svazek paprsků ze zdroje se v oku mění na sbíhavý**
- **předmět  $P$  – viditelné těleso**
- **obraz předmětu  $P'$**
- **zobrazovací prvky – mění chod paprsků**  
→ čočky, zrcadla, hranoly

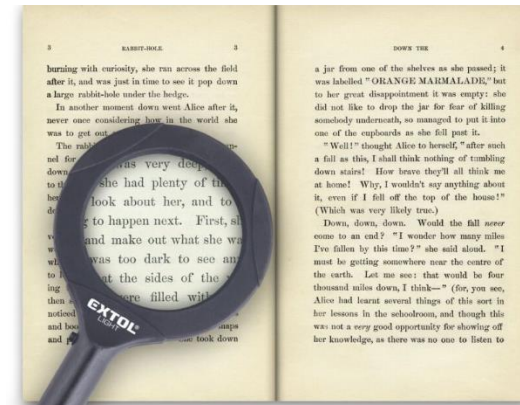
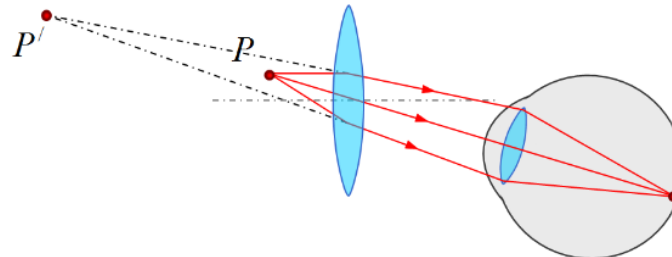


## Skutečný a neskutečný obraz

- **skutečný (reálný) – lze zachytit na stínítku**  
→ optická soustava vytvoří sbíhavý svazek  
→ filmové plátno



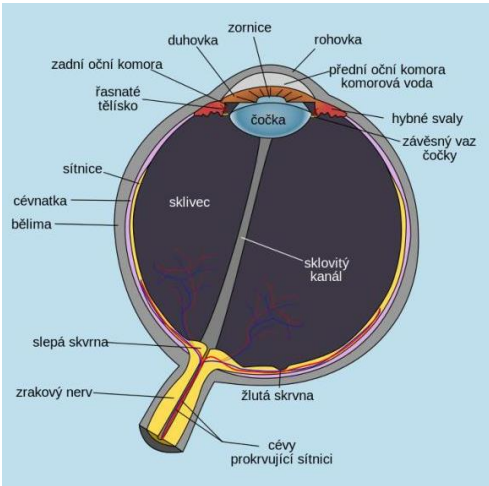
- **neskutečný (virtuální)**  
→ vzniká pouze v našem mozku (odraz v zrcadle, zvětšený předmět pod lupou)  
→ optická soustava vytvoří rozbíhavý svazek  
→ nelze zachytit na stínítku



# 6. Optické zobrazování.

## Zobrazování optickými soustavami

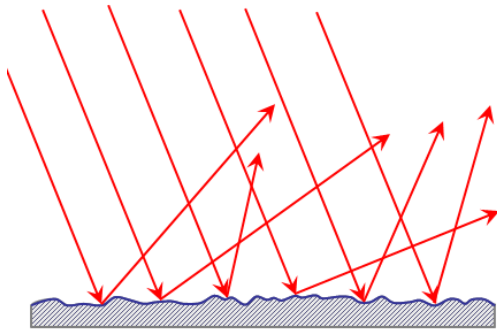
- optická soustava – oko, fotoaparát, dalekohled, mikroskop, dataprojektor, teodolit, spektroskop, sextant, polarimetr
- funkce přístrojů je založena na:
  - přímočaré šíření světla (tzv. geometrická optika, neuvažuje se vlnový ani částicový charakter)
  - zákony odrazu a lomu
  - princip nezávislosti chodu paprsků



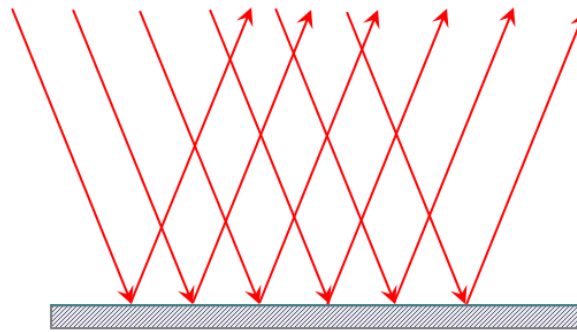
# 7. Rovinné zrcadlo.

## Zrcadlo

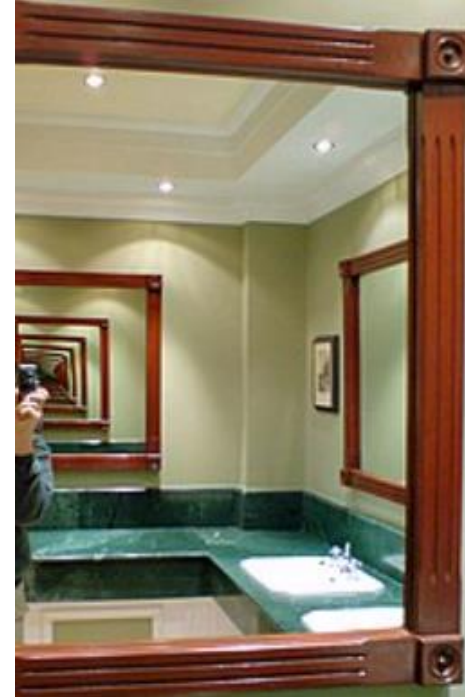
- povrch odrážející úzký svazek paprsků téměř do jednoho směru
- nerovnosti plochy způsobují rozptyl paprsků



Rozptyl světla



Odráž světla

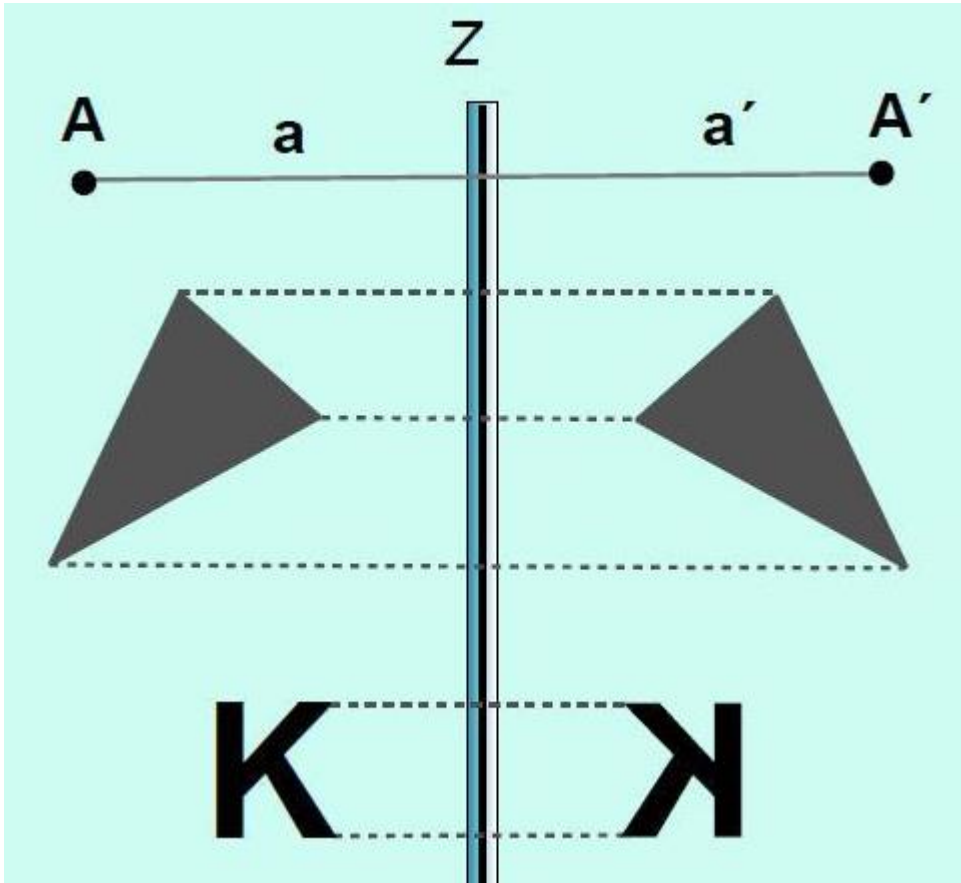


- Příklad: vyleštěný kov, pokovené sklo
- Archimedes zapaloval římské lodě vyleštěnými štíty vojáků



# 7. Rovinné zrcadlo.

## Zobrazovací rovnice

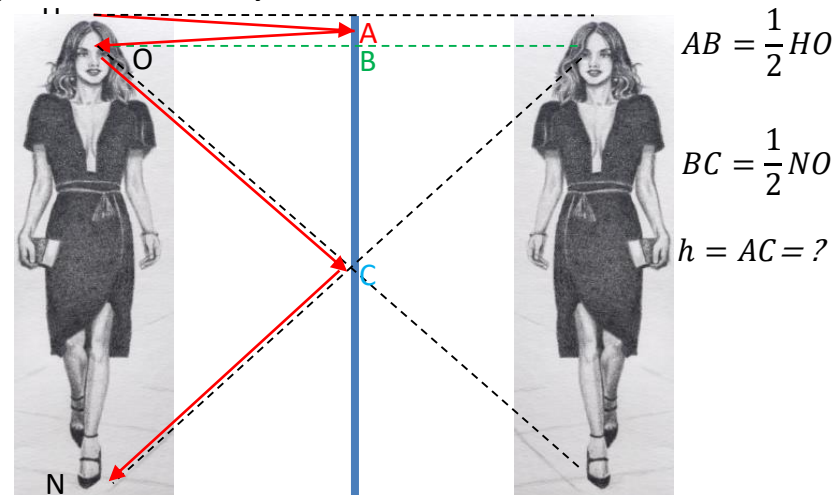


$$a = a'$$

## Vlastnosti obrazu

- neskutečný
- vzpřímený
- stejně veliký  $\rightarrow |Z| = 1$
- souměrný podle roviny zrcadla
- stranově převrácený

Př.: Výška osoby je 198 cm. Jak velké musí být zrcadlo, aby se osoba viděla celá?



# 7. Rovinné zrcadlo.

## Bar ve Folies - Bergère

- 1882 E. Manet - impresionista



Najděte aspoň 3 chyby v optickém zobrazení.

# 8. Kulové zrcadlo.

## Vyduté kulové zrcadlo

- odráží světlo z **vnitřní** strany kulové plochy
- význačné body a paprsky:
  - **S**, **C** – střed křivosti zrcadla
  - **F** – **ohnisko** zrcadla
  - **V** – vrchol zrcadla
  - **o** – optická osa
- **ohnisková vzdálenost** –  $f = |FV| = \frac{1}{2}|SV|$
- poloměr křivosti –  $r = |SV|$
- využití: zubaři, ORL, Newtonův dalekohled



## Vypuklé kulové zrcadlo

- odráží světlo z **vnější** strany kulové plochy
- Význačné body:
  - **S** – střed křivosti zrcadla
  - **F** – **ohnisko** zrcadla
  - **V** – vrchol zrcadla
- využití: křižovatky, automobily



# 8. Kulové zrcadlo.

## Duté kulové zrcadlo



## Vypuklé kulové zrcadlo



# 8. Kulové zrcadlo.

## Zobrazovací rovnice kulového zrcadla

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

$a$  – předmětová vzdálenost

$a'$  – obrazová vzdálenost

$f$  – ohnisková vzdálenost

$r$  – poloměr křivosti zrcadla

$y$  – výška předmětu

$y'$  – výška obrazu



## Příčné zvětšení – $Z$

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

$Z > 0$  přímý obraz

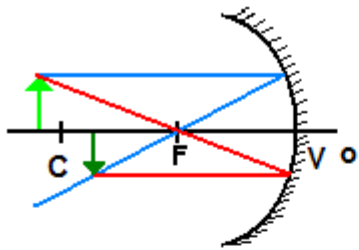
$Z < 0$  převrácený obraz

$|Z| > 1$  zvětšený obraz

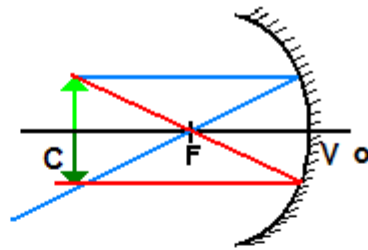
$|Z| < 1$  zmenšený obraz

# 8. Kulové zrcadlo.

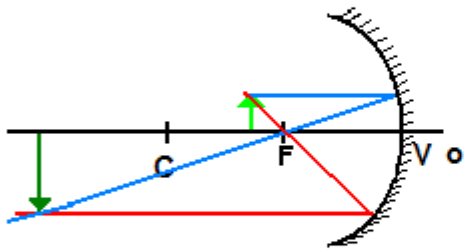
## Zobrazení dutým a vypuklým kulovým zrcadlem



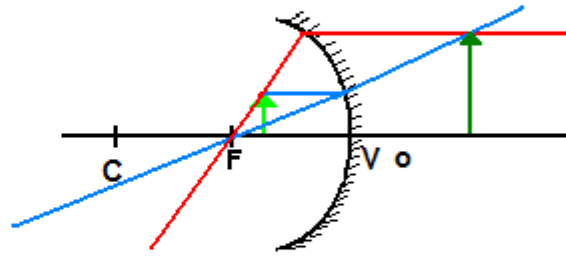
skutečný, převrácený, zmenšený



skutečný, převrácený, stejně velký

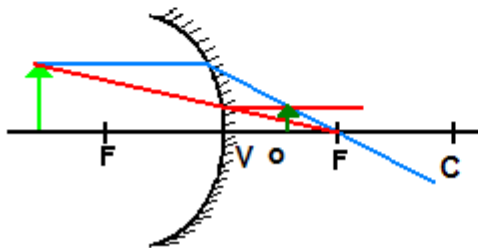


skutečný, převrácený, zvětšený



zdánlivý, přímý, zvětšený

### VYPUKLÉ



zdánlivý, přímý, zmenšený - vždy stejné

**Znaménková konvence** pro  $r, f, a, a'$

Před zrcadlem +

Za zrcadlem -

# 8. Kulové zrcadlo.

## Vzorové úlohy

Př.1 Svíčka se nachází ve vzdálenosti 50 cm od dutého kulového zrcadla. Obraz na stínítku vzniká ve vzdálenosti 60 cm. Určete vlastnosti obrazu, ohniskovou vzdálenost a poloměr křivosti zrcadla.

$$a = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$a' = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

-----

$$Z = ?$$

$$r = ? (m)$$

$$f = ? (m)$$

$$Z = -\frac{a'}{a} = -\frac{6}{5} = -1,2$$

Obraz je zvětšený, převrácený a skutečný.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{2}{r}$$

$$r = \frac{2aa'}{a + a'} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 0,6}{0,5 + 0,6} = 0,54 \text{ m}$$

$$f = \frac{r}{2} = \frac{0,54}{2} \text{ m} = 0,27 \text{ m}$$



# 8. Kulové zrcadlo.

## Vzorové úlohy

Př.2 Předmět vysoký 2 cm stojí kolmo na optickou osu ve vzdálenosti 12 cm od vrcholu zrcadla s poloměrem křivosti 16 cm. Urči polohu a vlastnosti obrazu pro oba typy zrcadel.

$$a = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

$$r = 16 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}$$

$$y = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$$

-----

$$Z = ?$$

$$a' = ? \text{ (m)}$$

a) duté zrcadlo

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{2}{r}$$

$$\frac{1}{a'} = \frac{2a - r}{ar}$$

$$a' = \frac{ar}{2a - r} =$$

$$\frac{0,12 \cdot 0,16}{0,24 - 0,16} = 0,24 \text{ m}$$

$$Z = -\frac{a'}{a} = -\frac{24}{12} = -2$$

Obraz je zvětšený, převrácený a skutečný.

b) vypuklé zrcadlo

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{a'} = -\frac{2}{r}$$

$$\frac{1}{a'} = \frac{r + 2a}{ar}$$

$$a' = \frac{ar}{r + 2a}$$

$$a' = \frac{0,12 \cdot 0,16}{0,16 + 0,24} = 0,048 \text{ m}$$

$$Z = -\frac{a'}{a} = -\frac{-4,8}{12} = 0,4$$

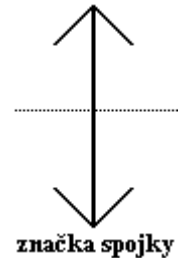
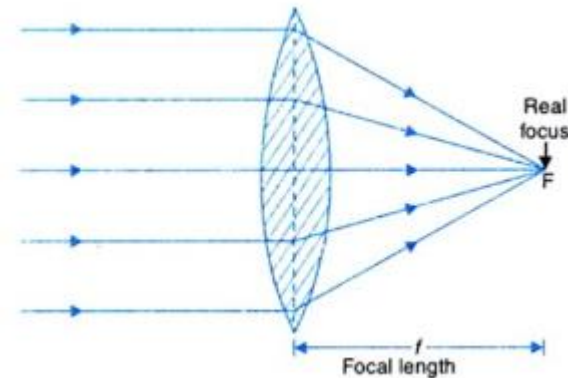
Obraz je zmenšený, přímý a neskutečný.

# 9. Čočky.

- **čočka**: průhledný materiál (sklo, plast), který mění chod paprsků pomocí lomu světla
- dva typy: spojky a rozptylky

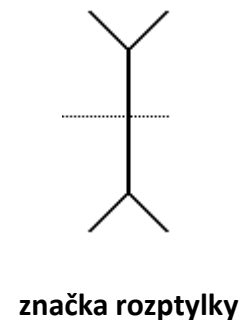
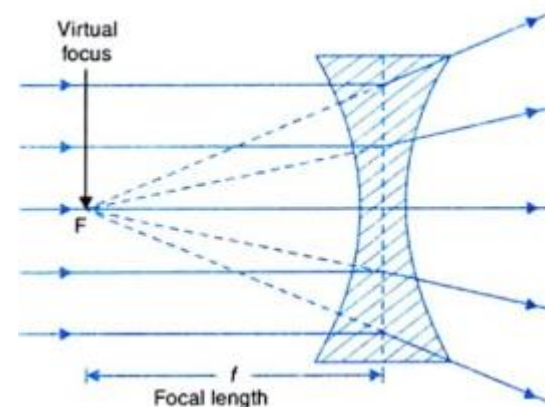
## Spojky

- z rovnoběžného svazku udělá sbíhavý
- význačné body a paprsky:
  - **F** – **reálné ohnisko** čočky
  - **V** – vrchol čočky
  - **O** – optický střed čočky
- **ohnisková vzdálenost** –  $f = |FO|$
- využití: optické přístroje (dalekohled, mikroskop, spektroskop, dataprojektor, foťák)



## Rozptylky

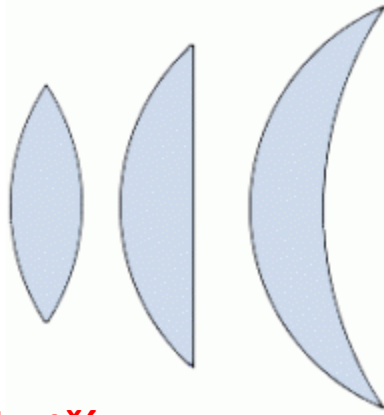
- z rovnoběžného svazku udělá rozbíhavý
- Význačné body:
  - **F** – **virtuální ohnisko** čočky
  - **V** – vrchol čočky
- využití: optické přístroje (dalekohled, mikroskop, spektroskop, dataprojektor, foťák)



# 9. Čočky.

## Typy spojek

- dvojvypuklá
- ploskovypuklá
- Dutovypuklá



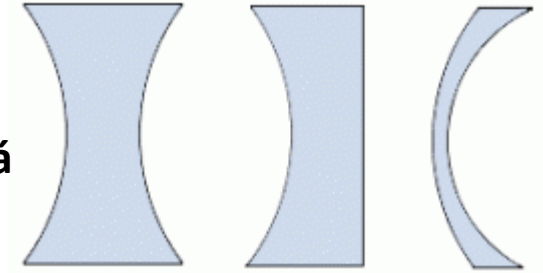
- uprostřed jsou nejtlustší

## Význačné paprsky

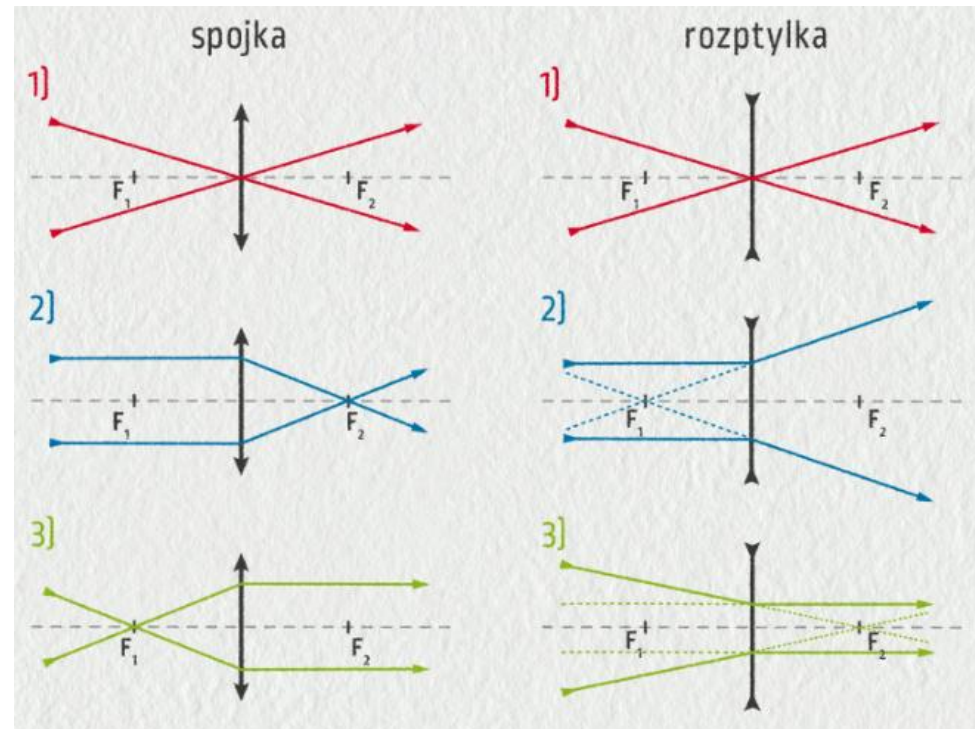
- 1. paprsek **procházející optickým středem čočky nemění svůj směr**
- 2. paprsek **jdoucí rovnoběžně s optickou osou se láme do ohniska**
- 3. paprsek **procházející předměťovým ohniskem je po průchodu čočkou rovnoběžný s optickou osou**

## Typy rozptylek

- dvojdutá
- ploskodutá
- vypuklodutá

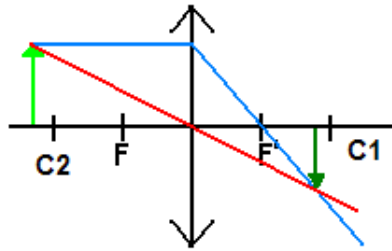


- uprostřed jsou nejtenčí

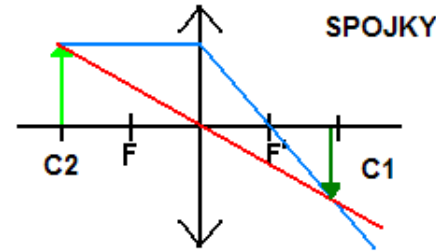


# 10. Zobrazení tenkou čočkou.

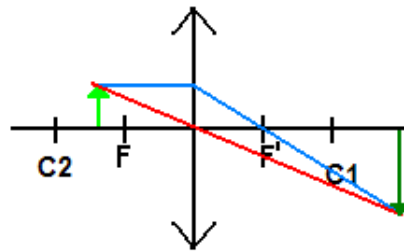
## Zobrazení spojkou a rozptylkou



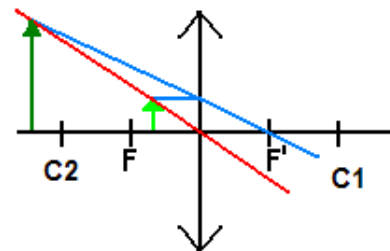
skutečný, převrácený, zmenšený



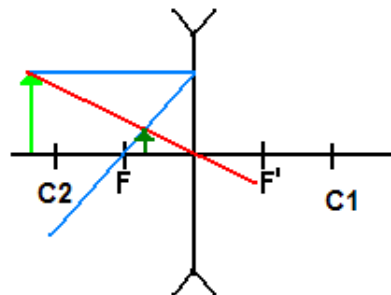
skutečný, převrácený, stejně velký



skutečný, převrácený, zvětšený



zdánlivý, přímý, zvětšený

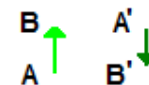


zdánlivý, přímý, zmenšený - **vždy stejné**

SPOJKY

ROZPTYLKA

šipky popsat:



# 10. Zobrazení tenkou čočkou.

**Optická mohutnost -  $\varphi$**       $[\varphi] = D$  (dioptrie)

$$\varphi = \frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

**$f$  – ohnisková vzdálenost**

**$n_2$  – index lomu čočky**

**$n_1$  – index lomu prostředí**

## Znaménková konvence

**spojky:  $f > 0, \varphi > 0$**

**rozptylky:  $f < 0, \varphi < 0$**

## Zobrazovací rovnice čočky

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \right)$$

## Příčné zvětšení čočky – $Z$

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

# 11. Vzorové příklady.

Př.1 Geometrickou konstrukcí najděte obraz předmětu o výšce 1 cm, zobrazeného spojnou čočkou, která má ohniskovou vzdálenost 4 cm. Řešte pro vzdálenosti předmětu a) 12 cm, b) 8 cm, c) 2 cm. Vzdálenosti obrazu  $a'$  a jeho velikost  $y'$  ověřte výpočtem.

$$y = 1 \text{ cm}$$

$$f = 4 \text{ cm}$$

$$a = 12 \text{ cm}; 8 \text{ cm}; 2 \text{ cm}$$

---

$$a' = ? \text{ (cm)}$$

$$y' = ? \text{ (cm)}$$

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \right)$$

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a}$$

$$a) \frac{1}{a'} = \frac{1}{4} - \frac{1}{12} = \frac{1}{6}$$

$$a' = 6 \text{ cm}$$

$$Z = -\frac{a'}{a} = -\frac{6}{12} = -\frac{1}{2} \text{ zmenšený}$$

$$y' = -0,5 \text{ cm} \text{ (-převrácený obraz)}$$

$$b) \frac{1}{a'} = \frac{1}{4} - \frac{1}{8} = \frac{1}{8}$$

$$a' = 8 \text{ cm}$$

$$Z = -\frac{a'}{a} = -\frac{8}{8} = -1 \text{ stejně veliký}$$

$$y' = +1 \text{ cm (+ přímý obraz)}$$

$$c) \frac{1}{a'} = \frac{1}{4} - \frac{1}{2} = -\frac{1}{4}$$

$$a' = -4 \text{ cm}$$

$$Z = -\frac{a'}{a} = -\frac{-4}{2} = +2 \text{ zvětšený}$$

$$y' = +2 \text{ cm (+ přímý obraz)}$$

# 11. Vzorové příklady.

Př.2 Spojná čočka vytváří obraz, pro který platí  $Z_1 = -2$ . Jestliže k ní předmět přiblížíme o 15 cm, je  $Z_2 = -5$ . Určete ohniskovou vzdálenost čočky.

$$\begin{array}{l} a \dots Z_1 = -2 \\ a - 15 \dots Z_2 = -5 \end{array}$$

---

$$f = ? (cm)$$

$$Z = -\frac{f}{a - f}$$
$$-2 = -\frac{f}{a - f}$$

$$2(a - f) = f$$

$$2a = 3f$$

$$a = \frac{3}{2}f$$

$$Z = -\frac{f}{a - f}$$
$$-5 = -\frac{f}{a - 15 - f}$$

$$5a - 75 - 5f = f$$

$$5 \cdot \frac{3}{2}f - 6f = 75$$

$$f = \frac{75 \cdot 2}{3} \text{ cm} = \mathbf{50 \text{ cm}}$$

# 11. Vzorové příklady.

Př.3 Spojnou čočkou o optické mohutnosti 5 D byl vytvořen na stínítku ve vzdálenosti 1 m od čočky obraz o velikosti 20 cm.

- Jaká byla vzdálenost mezi předmětem a stínítkem
- Jakou velikost měl předmět?

$$\varphi = 5 D$$

$$a' = 1 m$$

$$y' = 20 cm = 0,2 m$$

-----

$$d = a + a' = ? (cm)$$

$$y = ? (cm)$$

$$\varphi = \frac{1}{f} = \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \right)$$

$$\frac{1}{a} + 1 = 5$$

$$a = \frac{1}{4} cm = 25 cm$$

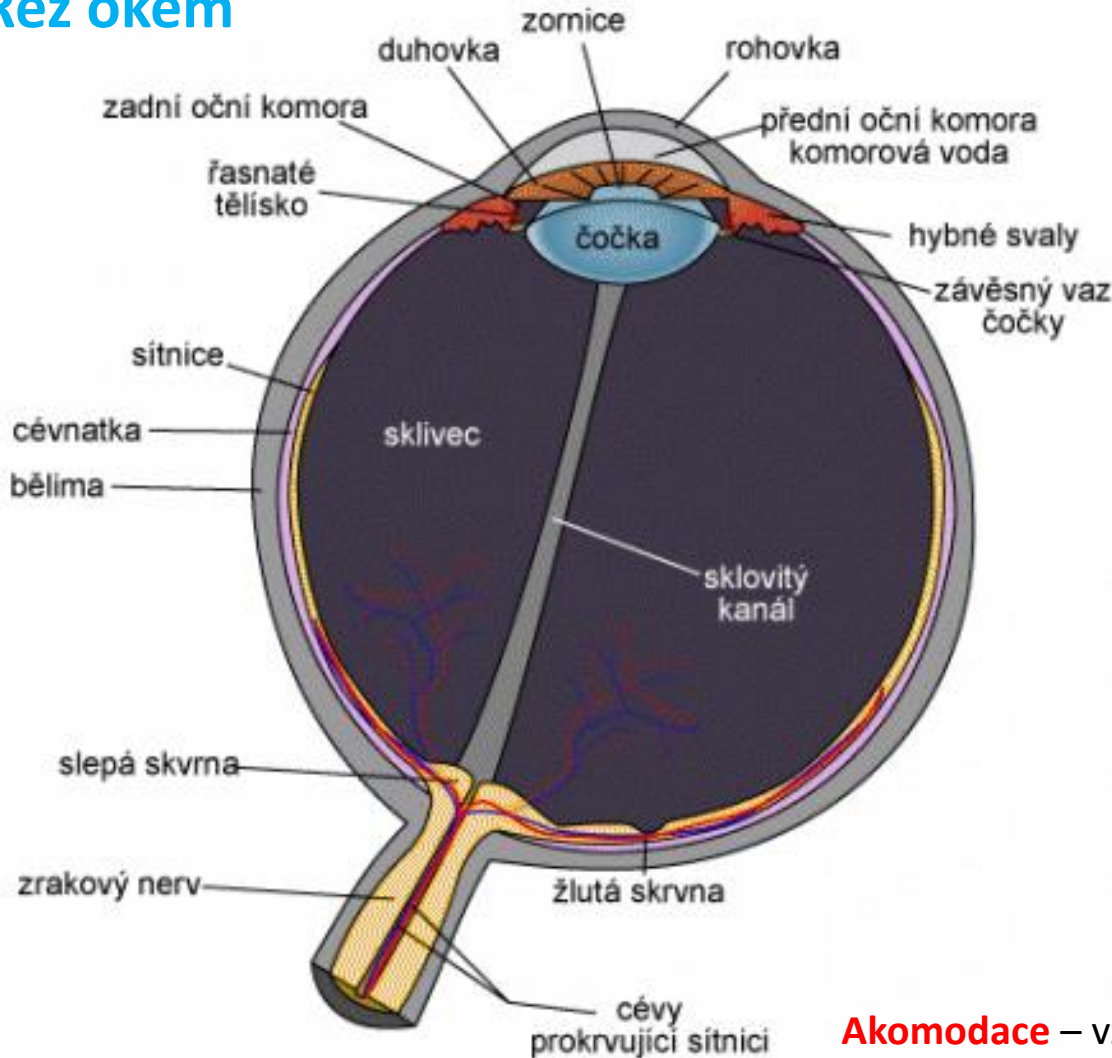
$$a) d = 0,25 + 1 m = 1,25 m$$

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

$$y = \frac{a}{a'} y' = \frac{25}{100} 20 cm = \mathbf{5 cm}$$

# 12. Oko.

## Řez okem



## Optická soustava oka

**Rohovka** – hlavní lámavá plocha,  $n = 1,37$   $\varphi = 42 D$

**Spojná čočka** – složena z různých vrstev o různém indexu lomu (uprostřed 1,4, na krajích 1,38; jemné doladění obrazu  $\varphi = 19 - 28 D$ )

**Oční mok** – kapalina za rohovkou,  $n = 1,33$

**Sklivec** – 98 % voda, 2 % NaCl, udržuje nitrooční tlak

**Duhovka – zornice** (otvor) řídí intenzitu světla, 2-8 mm

**Sítnice** – tyčinky a čípky, žlutá skvrna, slepá skvrna. Na sítnici vzniká převrácený zmenšený reálný obraz vytvořený oční čočkou. Přímý obraz vytváří až mozek, mimina vidí do určitého věku „vzhůru nohama“

**Akomodace** – vznik ostrého obrazu pomocí ciliárních svalů, **blízký bod** (max.ak.) a **daleký bod** (min.ak.), mění se s věkem roky/akomod.vzdál.(cm):

10/7      20/10      30/14      40/22      50/40      60/200

**Konvenční zraková vzdálenost** –  $d = 25 \text{ cm}$

# 12. Oko.

## Princip barevného vidění

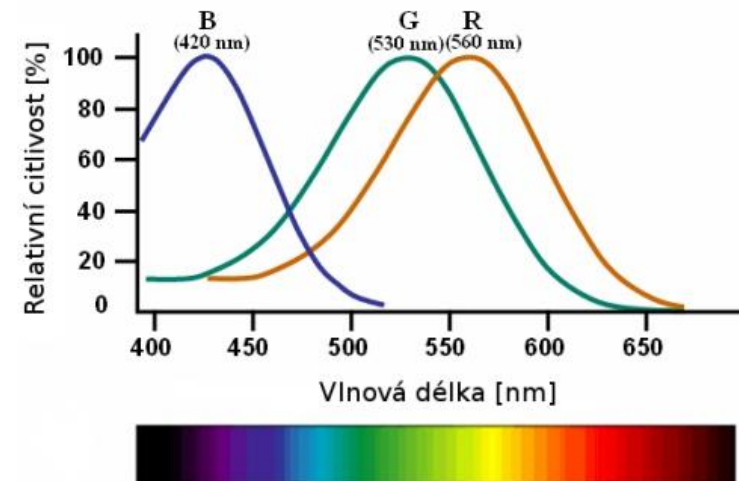
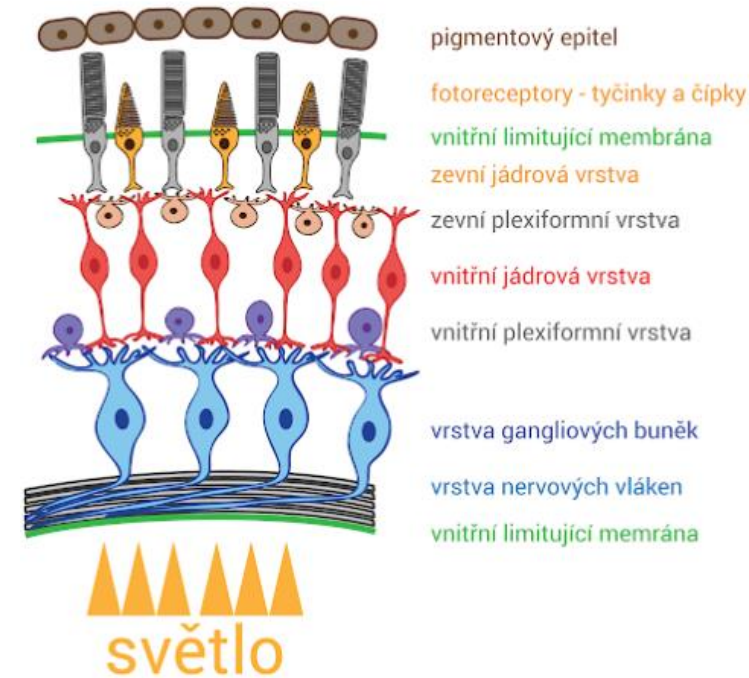
**Sítnice** – převedení optického obrazu na elektrické signály (malý elektrický proud), které se šíří nervovými vlákny do mozku

→ **Tyčinky** – řídí intenzitu světla, umožňují vidět za šera, citlivé na modrou oblast světla, pro  $\lambda > 650$  nm (červená) je světlo „černé“, cca 120 miliónů

→ **Čípky** – světlo citlivé buňky obsahující barevné pigmenty (RGB) s různými absorpčními spektry, cca 8 miliónů, **kombinace signálů z čípků umožňuje barevné vidění**

**Žlutá skvrna** – uprostřed zorného pole na sítnici, obsahuje pouze čípky, využíváme ji při zaostření na předmět

**Slepá skvrna** – vývod zrakového nervu bez světlo citlivých buněk



# 12. Oko.

## Oční vady

**Dalekozrakost** – čočka má malou optickou mohutnost

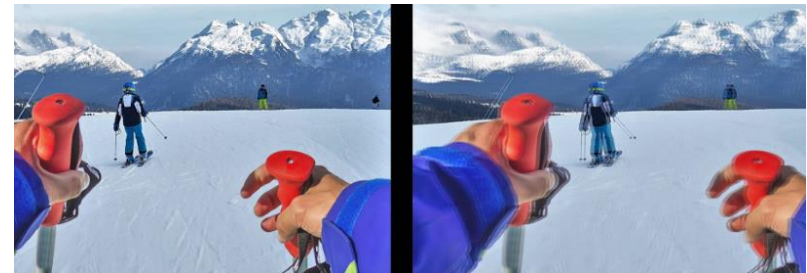
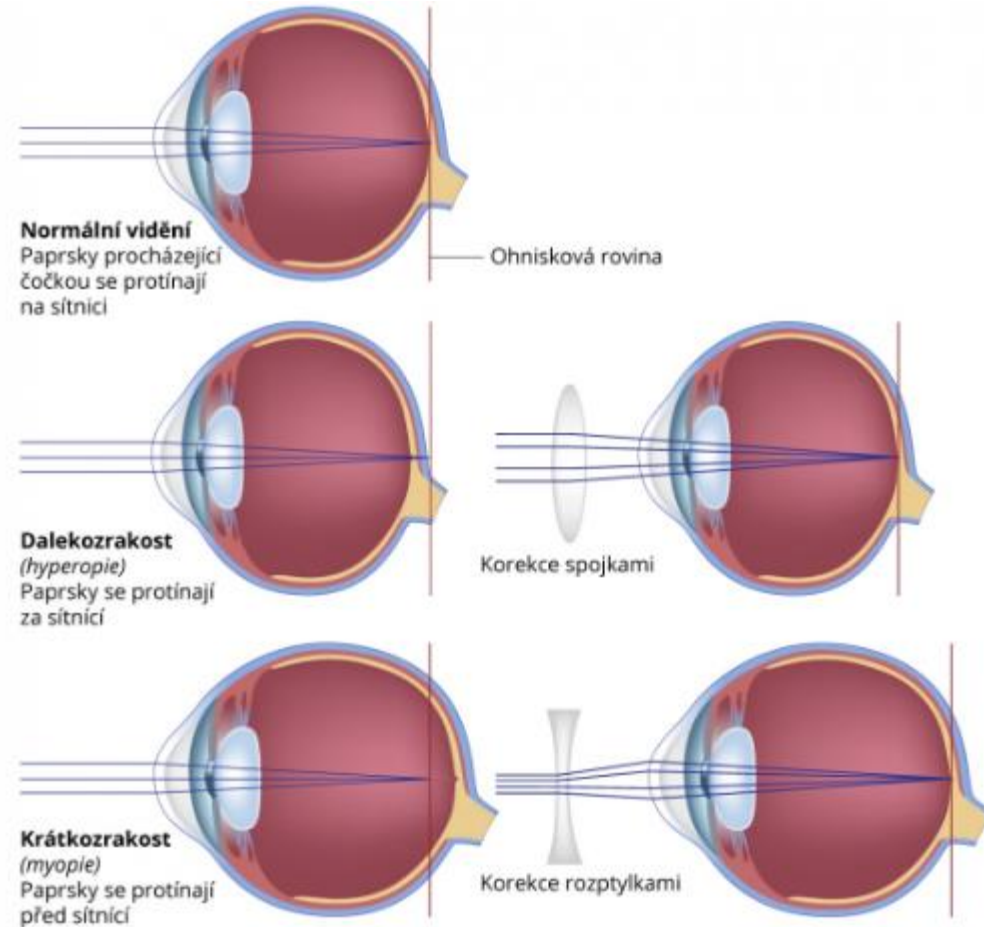
- obraz vzniká za sítnicí
- oko vidí dobře na dálku, špatně na blízko
- korekce spojkou

**Krátkozrakost** – čočka má velkou optickou mohutnost

- obraz vzniká před sítnicí
- oko vidí dobře na blízko, špatně do dálky
- korekce rozptylkou

**Astigmatismus** – způsobený změněným zakřivením rohovky

- zkreslený obraz na blízko i na dálku
- léčba: brýle, kontaktní čočky, operace



# 12. Oko.

## Podmínky kvalitního obrazu

**Dobré osvětlení** – nízká úroveň více namáhá oko

## Přiměřená doba trvání vjemu

- záběry s frekvencí  $> 10$  Hz vnímáme jako splývající
- setrvačnost oka cca 0,1 s – vnímáme plynulý pohyb (např. v TV)
- film: 24 snímků/s
- TV: 25 snímků/s

## Podprahové frekvence (snímky)

- oko je nevidí, mozek je vnímá
- zákaz podprahové reklamy
- ? urychlení učení se (matematika, cizí jazyky), meditativní hudba

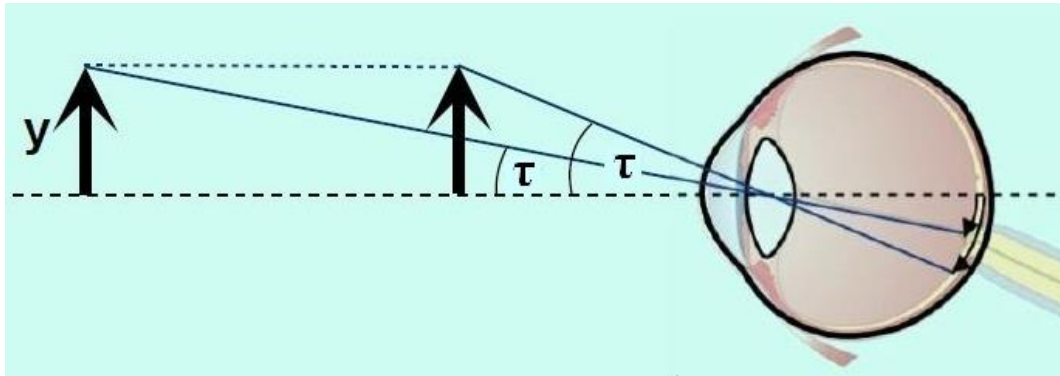


<https://www.youtube.com/watch?v=qSDSOMGMg7A>

# 13. Lupa.

## Zorný úhel – $\tau$

- úhel, pod kterým pozorujeme předměty
- velikost zorného úhlu určuje velikost obrazu na sítnici a tím i kvalitu vidění
- ke zvětšení zorného úhlu používáme různé optické přístroje: lupu, mikroskop, dalekohled
- vzdálené předměty pozorujeme pod menším zorným úhlem



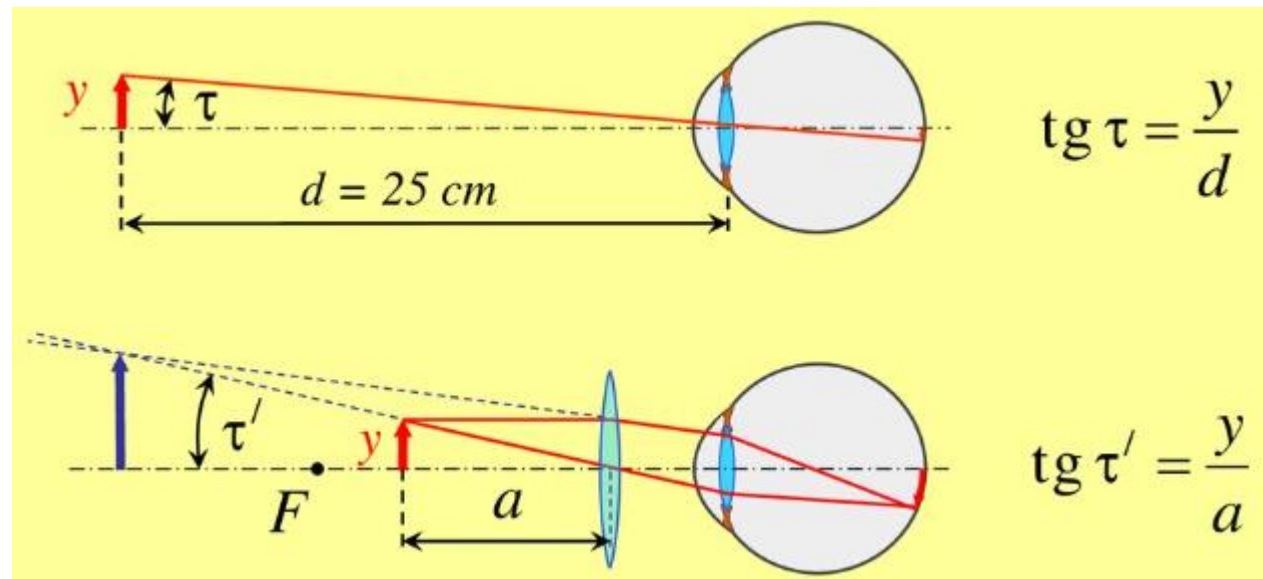
## Rozlišovací schopnost oka

- minimální zorný úhel, při kterém rozlišíme ještě dva body od sebe
- $\tau_{min} \geq 1'$  (úhlová minuta) – cca 100 km na povrchu Měsíce z pohledu ze Země
- z konvenční zrakové vzdálenosti  $d = 25 \text{ cm}$  je to  $\text{tg}(\tau) = \tau = \frac{y}{d} \rightarrow y = 0,072 \text{ mm}$

# 13. Lupa.

## Lupa

- spojná čočka, která zvětšuje zorný úhel (nezvětšuje tedy daný předmět, jak se někdy neprávě říká)
- ohnisková vzdálenost  $f <$  konvenční zraková vzdálenost  $d$ :  $f < 25 \text{ cm}$



## úhlové zvětšení lupy - $\gamma$

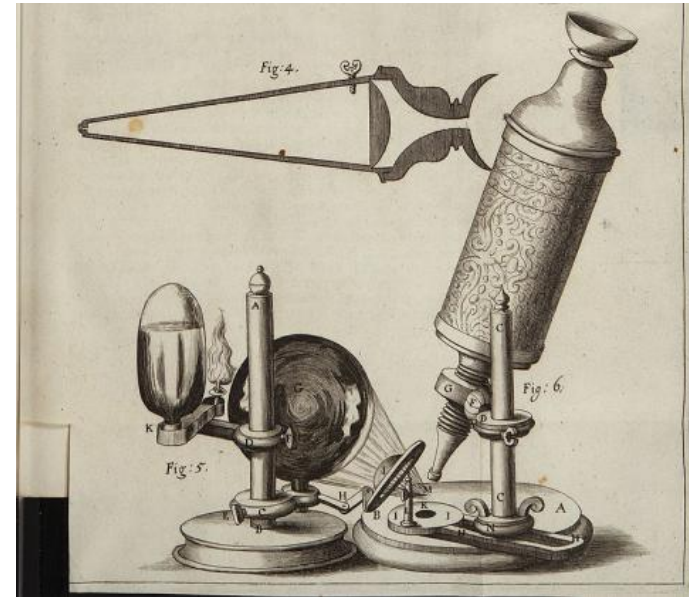
- max. zvětšení: cca 6x, pak se projevují vady čočky
- větší zvětšení: kombinace čoček: mikroskop, dalekohled

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{d}{f} \cong \frac{d}{a}$$

# 14. Mikroskop.

## Historie mikroskopu

- **Zacharias Jansen (1580 – 1638)** – holandský optik, padělatel peněz, spory ohledně jeho prvenství
- **Galileo Galilei (1564 – 1642)** – toskánský astronom  
→ vynálezce teploměru (1606), dalekohledu (1609), mikroskopu (1610, výroba od 1623)
- **Robert Hooke (1635 – 1703)** – anglický vědec  
→ 1661 objev vlásečnic a červených krvinek  
→ 1665 *Micrographia* – kniha s mnoha mikroskopickými pozorováními, zavedl pojem **buňka**  
→ vynálezy: anemometr, vodováha, hodinový nepokoj, irisová clona, zrcadlový dalekohled, helioskop, formulace gravitačního zákona
- **Antoni van Leeuwenhoek (1632 – 1723)** – holandský přírodovědec  
→ zakladatel mikrobiologie, zdokonalil Hookův mikroskop  
→ 1676 pozoroval bakterie, 1677 spermie
- **René Descartes (1596 – 1650)** – francouzský filozof, matematik, fyzik  
→ 1637 popis mikroskopu v díle *Optica*

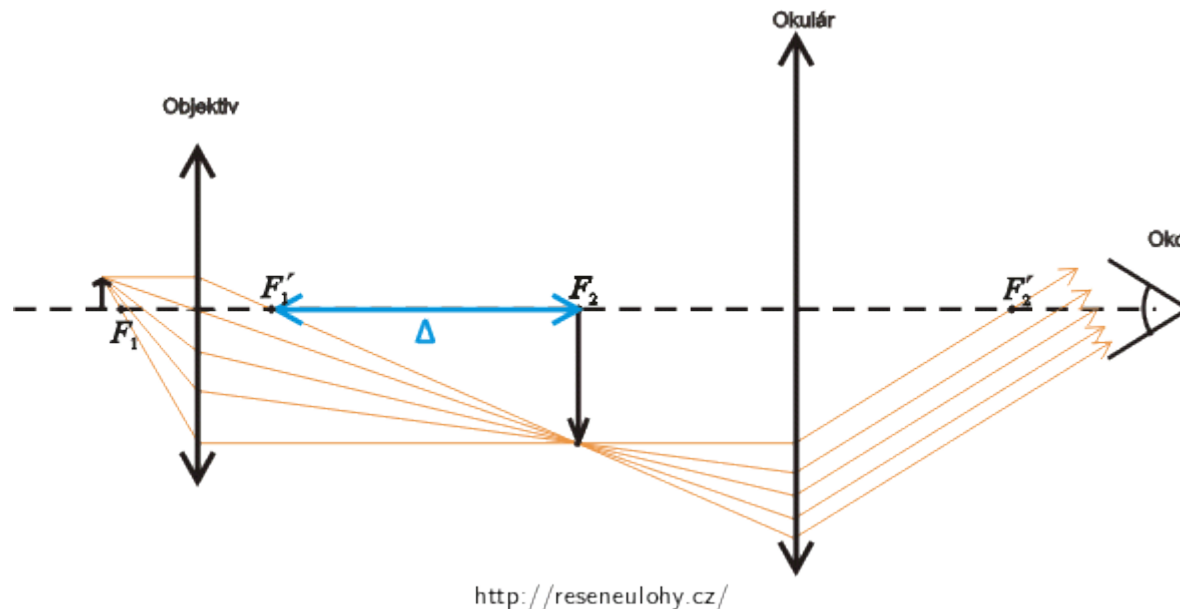


Hookův mikroskop

# 14. Mikroskop.

## Stavba mikroskopu

- základem jsou 2 spojné čočky  
→ objektiv s ohniskovou vzdáleností  $f_1$  – čočka blízko preparátu  
→ okulár s ohniskovou vzdáleností  $f_2$  – čočka u oka
- optimální zobrazení je takové, aby **obraz z objektivu vznikl v ohniskové rovině okuláru**



## Optický interval mikroskopu – $\Delta$ $[\Delta] = m$

- vzdálenost mezi obrazovým ohniskem objektivu a předmětovým ohniskem okuláru

$$\Delta = |F_1' F_2|$$

# 14. Mikroskop.

## úhlové zvětšení mikroskopu - $\gamma$

- max. zvětšení: cca 2000x, pak se projevují vlnové vlastnosti světla
- větší zvětšení: místo světla použít elektronový paprsek → elektronový mikroskop

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot d}{f_1 \cdot f_2} = Z_{\text{objektiv}} \cdot \gamma_{\text{okulár}}$$

$$Z_{\text{objektiv}} = \frac{\Delta}{f_1}$$

$$\gamma_{\text{okulár}} = \frac{d}{f_2}$$

$Z_{\text{objektiv}}$  – příčné zvětšení objektivu

$\gamma_{\text{okulár}}$  – úhlové zvětšení okuláru

$f_1$  – ohnisková vzdálenost objektivu

$f_2$  – ohnisková vzdálenost okuláru

$d$  – konvenční zraková vzdálenost 25 cm

$$f_1 \ll f_2$$



# 14. Mikroskop.

## Elektronový mikroskop

- místo světla (fotonů) je materiál prosvícen paprskem elektronů
- zvětšení až 1 000 000x
- TEM – transmisní elektronový mikroskop, urychlovací napětí 100-400 kV, paprsky prochází vzorkem, 1931 první prototyp, 1986 NC
- SEM – rastrovací elektronový mikroskop, zobrazuje povrch vzorku pomocí sekundárních elektronů (SE) nebo odražených elektronů (BSE), urychlovací napětí do 30 kV, 1942 první prototyp

