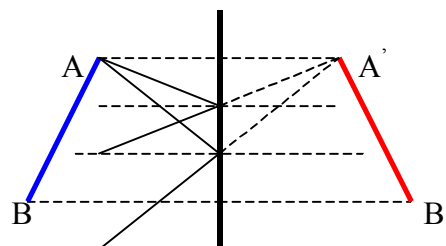


## 21 Optické zobrazovanie

- pod **optickou sústavou** rozumieme všeobecne sústavu optických prostredí a ich rozhraní, ktoré menia smer chodu lúčov. Postup, ktorým získavame optické obrazy bodov, predmetov, nazývame **optické zobrazovanie**
- keď lúče tvoria zbiehavý zväzok, vznikne v ich priesečníku **skutočný (reálny) obraz**
- keď lúče tvoria rozbiehavý zväzok, tak zdanlivo sa pretnú za zrkadlom, a tak vytvárajú **neskutočný (virtuálny) obraz**

### 21.1 zobrazovanie odrazom na rovinnom zrkadle

- pre odrazené lúče platí zákon odrazu ( $\alpha = \alpha'$ )
- lúče po odraze na rovinnom zrkadle sú rozbiehavé; vznikne neskutočný obraz
- pre obraz platí: obraz utvorený na rovinnom zrkadle je vždy neskutočný, priamy, rovnako veľký ako predmet a súmerný s predmetom podľa roviny zrkadla (je stranovo prevrátený)



### 21.2 guľové zrkadlá

- zrkadliacu plochu tvorí časť povrchu gule
- guľové zrkadlá rozdeľujeme na: **duté** (svetlo odráža vnútorná plocha gule) a **vypuklé** (svetlo odráža vonkajšia plocha gule)

#### - popis zrkadla:

- o bod  $C$  sa nazýva **stred optickej plochy**; priamka vedená stredom optickej plochy je **optická os zrkadla**; priesečník optickej osi s guľovou plochou zrkadla je **vrchol zrkadla  $V$** , bod  $F$  je **ohnisko**
- o vzdialenosť  $r = |CV|$  je **polomer krivosti zrkadla**,  $f = |FV|$  je **ohnisková vzdialenosť**, pričom  $r = 2f$
- o vzdialenosť predmetu od vrcholu zrkadla  $a = |AV|$  je **predmetová vzdialenosť**; vzdialenosť obrazu od vrcholu zrkadla  $a' = |A'V|$  je **obrazová vzdialenosť**

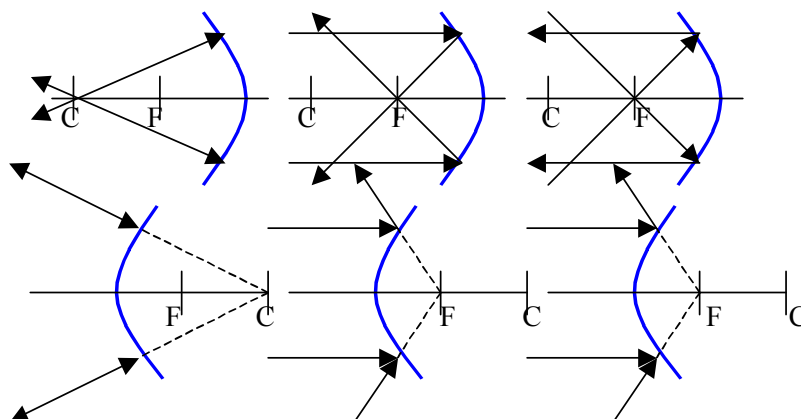
#### - znamienková konvencia:

- o vzdialenosti pred zrkadlom sú kladné, za zrkadlom záporné (duté zrkadlo má  $f > 0$ , vypuklé má  $f < 0$ )
- o keď  $a' > 0$ , obraz je skutočný; keď  $a' < 0$ , obraz je neskutočný

- najpresnejšie zobrazovanie vzniká lúčmi v blízkosti optickej osi, tzv. **paraxiálnymi lúčmi**; priestor, v ktorom sú paraxiálne lúče, volá sa **paraxiálny priestor**

#### - smer odrazených lúčov:

- o lúče prechádzajúce cez stred  $C$  sa odrážajú späť tým istým smerom
- o lúče rovnobežné s optickou osou sa odrážajú do ohniska
- o lúče idúce cez ohnisko sa odrážajú rovnobežne s optickou osou



## 21.2.1 zobrazovacia rovnica

- pre lúča odrazené od zrkadla platí zákon odrazu
- pre súčet vnútorných uhlov v  $\triangle AMC$  a  $\triangle CMA'$  platí:

$$\sigma + \alpha + \pi - \rho = \pi$$

$$\rho + \alpha' + \pi - \sigma' = \pi$$

- sčítaním oboch rovníc dostaneme:

$$\sigma + \sigma' = 2\rho$$

- ak je lúč  $AM$  paraxiálny, uhly sú také malé, že ich tangensy môžeme vyjadriť priamo veľkosťami uhlov v oblúčkovej miere:

$$\sigma \approx \text{tg}\sigma = \frac{|MV|}{a}, \sigma' \approx \text{tg}\sigma' = \frac{|MV|}{a'}, \rho \approx \text{tg}\rho = \frac{|MV|}{r}$$

- dosadením do predchádzajúcej rovnice dostaneme **zobrazovaciu rovnicu guľového zrkadla**:

$$\frac{|MV|}{a} + \frac{|MV|}{a'} = \frac{2|M|}{r}$$

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

- **priečne zväčšenie Z**:

- o je to pomer výšky obrazu  $y'$  a výšky predmetu  $y$ , teda:

$$Z = \frac{y'}{y}$$

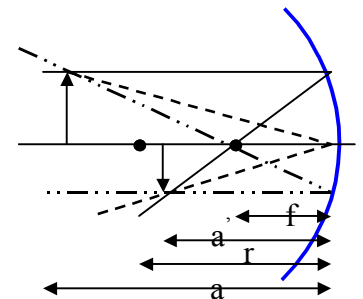
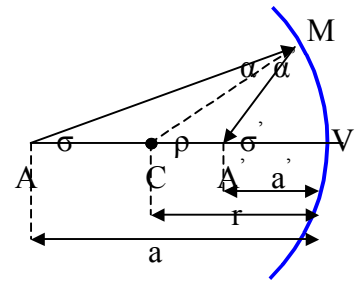
- o z podobnosti trojuholníkov dostaneme:

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

- o znamienko mínus vyjadruje, že predmet a obraz sú v navzájom opačných polrovinách

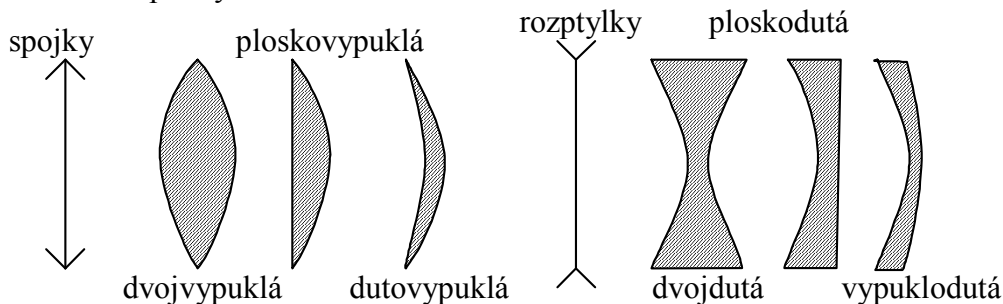
- o podľa veľkosti a znamienka zväčšenia rozoznávame vlastnosti obrazu:

- o ak  $|z| > 1$ , obraz je zväčšený; ak  $|z| < 1$ , obraz je zmenšený
- o ak  $z > 0$ , obraz je priamy; ak  $z < 0$ , obraz je prevrátený



## 21.3 šošovky

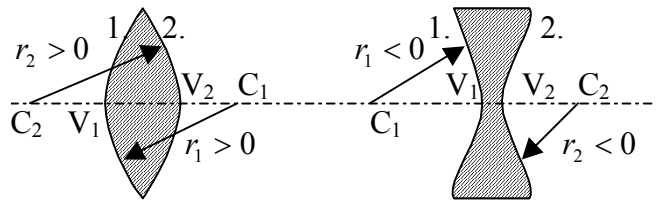
- šošovky sú priehľadné rovnorodé telesá, ktoré sú ohraničené dvoma guľovými plochami alebo guľovou a rovinnou optickou plochou. Keď index lomu šošovky (zhotovenej väčšinou zo skla) je väčší ako okolitého prostredia zväčša vzduch), potom **spojné šošovky (spojky)** sú uprostred najhrubšie a **rozptylné šošovky (rozptylky)** najtenšie. Šošovky zobrazujú v dôsledku lomu svetla na dvoch optických rozhraniach.



- **popis šošovky**:

- o **stredy optických plôch** šošovky označujeme  $C_1, C_2$  a príslušné **polomery krivosti optických plôch**  $r_1, r_2$ . Priamka prechádzajúca stredmi  $C_1, C_2$  je **optická os šošovky**. Priesečníky optickej osi s optickými plochami sú **vrcholy šošovky**  $V_1, V_2$ . Vzdialenosť

$|V_1V_2|$  je **hrúbka šošovky** a stred úsečky  $V_1V_2$  je **optický stred šošovky**  $O$ .  $F$  je **predmetové ohnisko** a  $f = |FO|$  je **predmetová ohnisková vzdialenosť**;  $F'$  je **obrazové ohnisko** a  $f' = |F'O|$  je **obrazová ohnisková vzdialenosť**. Priestor, z ktorého svetlo do šošovky vstupuje, je priestor **predmetový**; do ktorého svetlo po prechode šošovkou vystupuje, je priestor **obrazový**.



- o vzdialenosť predmetu od optického stredy šošovky  $a = |AO|$  je **predmetová vzdialenosť**; vzdialenosť obrazu od optického stredy šošovky  $a' = |A'O|$  je **obrazová vzdialenosť**

- **znamienková konvencia:**

- o spojky majú **kladnú ohniskovú vzdialenosť**, rozptyľky **zápornú**
- o hodnota  $a$  je **kladná** pred šošovkou, **záporná** za šošovkou; hodnota  $a'$  je **kladná** za šošovkou, **záporná** pred šošovkou
- o keď  $a' > 0$ , obraz je **skutočný**; keď  $a' < 0$ , obraz je **neskutočný**

- pre **ohniskovú vzdialenosť tenkej šošovky** platí:

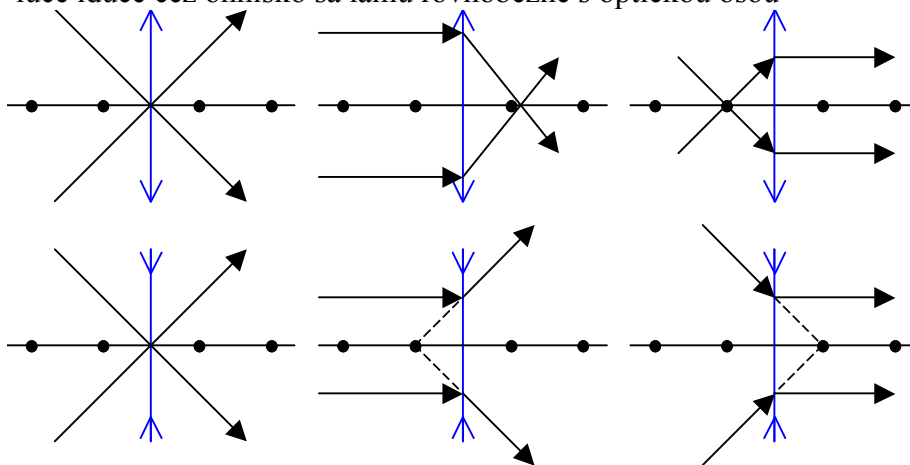
- o  $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$ , kde  $n_2$  je index lomu šošovky,  $n_1$  index lomu prostredia, v ktorom je šošovka;  $r_1$  a  $r_2$  sú polomery krivosti optických plôch šošovky

- **prevrátená hodnota ohniskovej vzdialenosti šošovky** sa nazýva **optická mohutnosť  $\varphi$** :

- o  $\varphi = \frac{1}{f}$ , jednotkou ohniskovej vzdialenosti je  $m$ , jednotkou optickej mohutnosti je  $m^{-1}$ ; v očnej optike sa používa jednotka optickej mohutnosti **dioptria  $D$** . Pre spojky  $\varphi > 0$ , pre rozptyľky  $\varphi < 0$ .

- **smery lúčov po prechode šošovkou.**

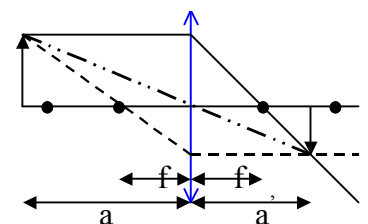
- o lúče idúce cez stred pokračujú v pôvodnom smere
- o lúče idúce rovnobežne s optickou osou sa lámu do ohniska
- o lúče idúce cez ohnisko sa lámu rovnobežne s optickou osou



### 21.3.1 zobrazovacia rovnica

- pre **priečne zväčšenie šošovky  $Z$**  podľa podobnosti trojuholníkov na obr. platí:

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



- porovnaním niektorých dvoch vzťahov z priechneho zväčšenia dostaneme **zobrazovaciu rovnicu šošovky**:

$$\frac{a'}{a} = \frac{a' - f}{f} \quad | \cdot af$$

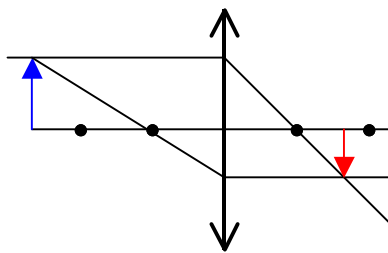
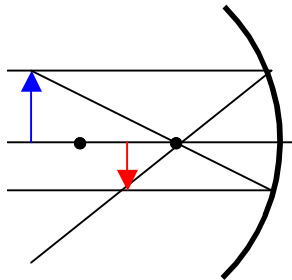
- o  $a'f = a'a - af \quad | \cdot \frac{1}{aa'f}$

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

## 21.4 zobrazovanie guľovými zrkadlami a šošovkami

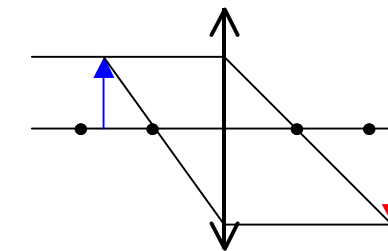
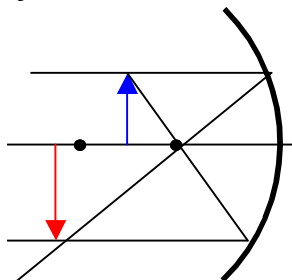
### 21.4.1 $f > 0$

- $a > 2f$



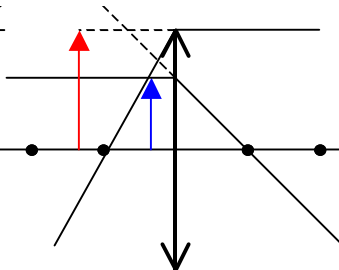
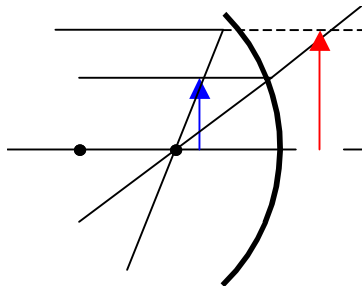
obraz je:  
 skutočný  $a' > 0$   
 zmenšený  $|z| < 1$   
 prevrátený  $z < 0$

- $2f > a > f$



obraz je:  
 skutočný  $a' > 0$   
 zväčšený  $|z| > 1$   
 prevrátený  $z < 0$

- $a < f$

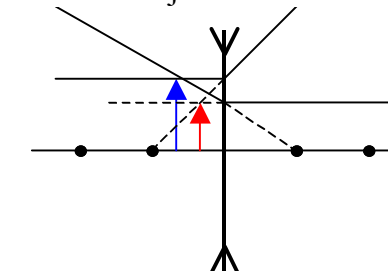
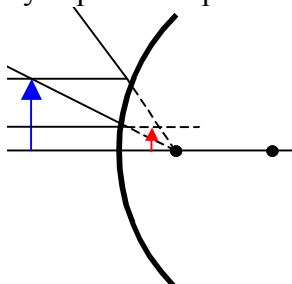


obraz je:  
 neskutočný  $a' < 0$   
 zväčšený  $|z| > 1$   
 priamy  $z > 0$

o

### 21.4.2 $f < 0$

- pri všetkých polohách predmetu nastáva iba jedna situácia:



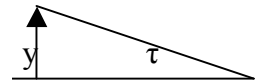
obraz je:  
 neskutočný  $a' < 0$   
 zmenšený  $|z| < 1$   
 priamy  $z > 0$

o

## 21.5 optické prístroje

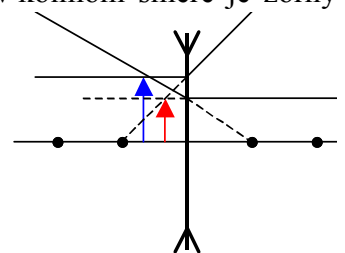
### 21.5.1 ľudské oko

- hlavnou súčasťou oka je spojná optická sústava, ktorá na citlivej matici, t.j. **sietnici** (najcitlivejším miestom sietnice je **žltá škvrna**, kde je najväčšia hustota **tyčíniek** (citlivé na svetlo) a **čapíkov** (slúžia na rozoznávanie farieb)) utvára skutočné, zmenšené a prevrátené obrazy predmetov. Pomocou očného nervu (v mieste, v ktorom opúšťa oko je **slepá škvrna**) sa tieto informácie prenášajú do mozgu, kde vnímame prevrátené obrazy predmetov ako priame.
- **očná šošovka** je dvojkvapká spojka, ktorej index lomu sa od povrchu dovnútra zväčšuje. Zaostrenie oka na predmety v rôznych vzdialenostiach (**akomodácia**) sa uskutočňuje tak, že kruhový sval viac či menej napína šošovku, či sa mení jej zakrivenie, a tým aj optická mohutnosť.
- akomodačná schopnosť má isté hranice. najbližší bod, ktorý sa zobrazí na sietnici ostro, volá sa **blízky bod**; body bližšie k oku sa zobrazujú neostro. najvzdialenejší bod, ktorý sa na sietnici zobrazí ostro, nazýva sa **d'aleký bod** (pri zdravom oku je to v nekonečne). vzdialenosť, v ktorej môžeme predmety dlhšie pozorovať bez väčšej únavy, je asi 25 cm – **konvenčná zraková vzdialenosť  $d$**
- **chyby oka**:
  - o **krátkozrakosť**
    - obraz veľmi vzdialeného predmetu sa utvorí pred sietnicou. Krátkozraké oko má d'aleký bod v konečnej vzdialenosti a blízky bod má posunutý k oku. Krátkozrakosť sa odstraňuje rozptylkou.
  - o **d'alekozrakosť**
    - obraz veľmi vzdialeného predmetu sa utvorí za sietnicou. Blízky bod je v značnej vzdialenosti od oka (50–100 cm). Ďalekozrakosť sa odstraňuje spojkou.
- veľkosť obrazu na sietnici závisí od veľkosti **zorného uhla  $\tau$** , ktorý zvierajú svetelné lúče prechádzajúce optickým stredom šošovky a okrajmi predmetu. Čím je predmet bližšie k oku, tým je zorný uhol  $\tau$  väčší. oko je schopné rozlíšiť dva predmety (body), keď ich vidí pod zorným uhlom  $\tau \geq 1'$  (keď  $\tau < 1'$ , vníma ich ako jeden bod).
- krátkotrvajúci vnem sa pri bežnom osvetlení predmetu zachová asi 0,1 s. Toto **zachovanie vnemu** umožňuje vnímať postupnosť rýchle sa striedajúcich obrazov (film) ako plynulý dej.



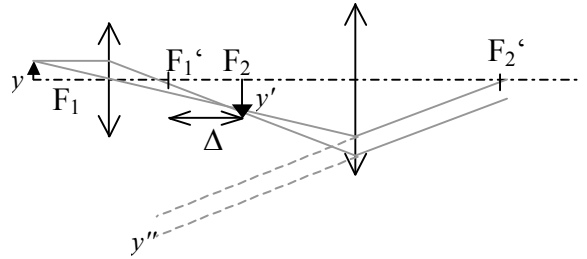
### 21.5.2 lupa

- lupa je každá spojná šošovka (alebo sústava šošoviek) s ohniskovou vzdialenosťou  $f < d$ , kde  $d$  je konvenčná zraková vzdialenosť. Keď lupu umiestnime tesne pred oko, vznikne spolu s okom optická sústava, ktorá má väčšiu optickú mohutnosť ako samotné oko.
- keď je predmet s výškou  $y$  v ohnisku lupy alebo medzi ohniskom a lupou, vidí naše oko obraz pod väčším zorným uhlom  $\tau'$  ako je  $\tau$ ; obraz je neskutočný, zväčšený a priamy.
- na posúdenie veľkosti obrazu sa zavádza **uhlové zväčšenie  $\gamma$** :
  - o  $\gamma = \frac{\tau'}{\tau}$
- pri pozorovaní úsečky dĺžky  $y$  z konvenčnej zrakovej vzdialenosti  $d$  v kolmom smere je zorný uhol určený vzťahom:
  - o  $\text{tg } \tau = \frac{y}{d}$
- **uhlové zväčšenie lupy** môžeme vyjadriť vzťahom:
  - o  $\gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{\text{tg } \tau'}{\text{tg } \tau} = \frac{y}{a} : \frac{y}{d} = \frac{d}{a}$ , kde  $d$  je konvenčná zraková vzdialenosť;  $a$  je vzdialenosť predmetu od lupy
  - o jednoduché spojky, ktoré sa používajú ako lupy, dosahujú uhlové zväčšenie  $\gamma = 6$



### 21.5.3 mikroskop

- mikroskop je centrovaná optická sústava zložená z **objektívu** a **okulára**. Objektív aj okulár tvoria spojné optické sústavy; v najjednoduchšom prípade sú to jednoduché spojky (okulár má väčšiu ohniskovú vzdialenosť ako objektív). Vzdialenosť  $\Delta = |F_1'F_2|$  sa nazýva **optický interval mikroskopu**.



- pre **uhlové zväčšenie mikroskopu** platí:

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{tg \tau'}{tg \tau} = \frac{y'}{f_2} \cdot \frac{y}{d} = \frac{y'}{y} \frac{d}{f_2}$$

- z podobnosti trojuholníkov platí:

$$\frac{y'}{y} = \frac{\Delta}{f_1}$$

- po dosadení pre uhlové zväčšenie mikroskopu platí:

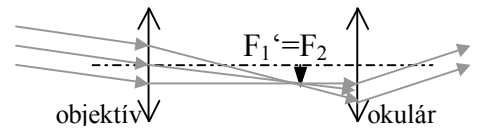
$$\gamma = \frac{\Delta}{f_1} \frac{d}{f_2}, \text{ kde } Z = \frac{y'}{y} = \frac{\Delta}{f_1} \text{ je priečne zväčšenie objektívu a } \gamma_2 = \frac{d}{f_2} \text{ je uhlové zväčšenie}$$

okulára, potom pre zväčšenie mikroskopu platí:  $\gamma = Z\gamma_2$

- mikroskopom môžeme dosiahnuť zväčšenie asi 2 000

### 21.5.4 ďalekohľad

- ďalekohľad sa skladá z objektívu a okulára; zväčšuje zorný uhol pri pozorovaní vzdialených predmetov
- ďalekohľady, ktoré ako objektív používajú šošovky, volajú sa **refraktory**; ďalekohľady, ktoré používajú ako objektív duté (parabolické) zrkadlá, volajú sa **reflektory**
- **Keplerov (hvezdársky) ďalekohľad:**



- okulár a objektív tvoria spojné optické sústavy, v najjednoduchšom prípade sú to dve spojky. Ohnisková vzdialenosť objektívu  $f_1$  je omnoho väčšia ako okulára  $f_2$ .

- vzniknutý obraz je neskutočný, zväčšený, výškovo aj stranovo prevrátený
- pre **uhlové zväčšenie** platí:

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{tg \tau'}{tg \tau} = \frac{y'}{f_2} \cdot \frac{y}{f_1} = \frac{f_1}{f_2}$$

- na pozemské pozorovanie sa musí obraz utvorený objektívom prevrátiť. To sa robí buď pomocou spojnej šošovky, alebo sústavou dvoch odrážajúcich hranolov – **hranolový ďalekohľad (triéder)**

- **Galileiho (pozemský, holandský) ďalekohľad:**

- objektív tvorí spojná sústava, okulár rozptylná sústava
- vzniknutý obraz je neskutočný, priamy, zväčšený
- pre uhlové zväčšenie platí:

$$\gamma = \frac{f_1}{|f_2|}$$

- **zrkadlový (Newtonov) ďalekohľad:**

- objektív tvorí duté (parabolické) zrkadlo, okulár tvoria šošovky
- zrkadlové ďalekohľady majú v porovnaní s refraktormi veľa predností (na objektíve vznikajú oveľa menšie zobrazovacie chyby a majú menšiu absorpciu)

