Geometrická optika

Optické soustavy a optická zobrazení

Přímé vidění - paprsek od zobrazovaného předmětu dopadne přímo do oka

Optická soustava - soustava optických prostředí a jejich rozhraní, která mění chod paprsků

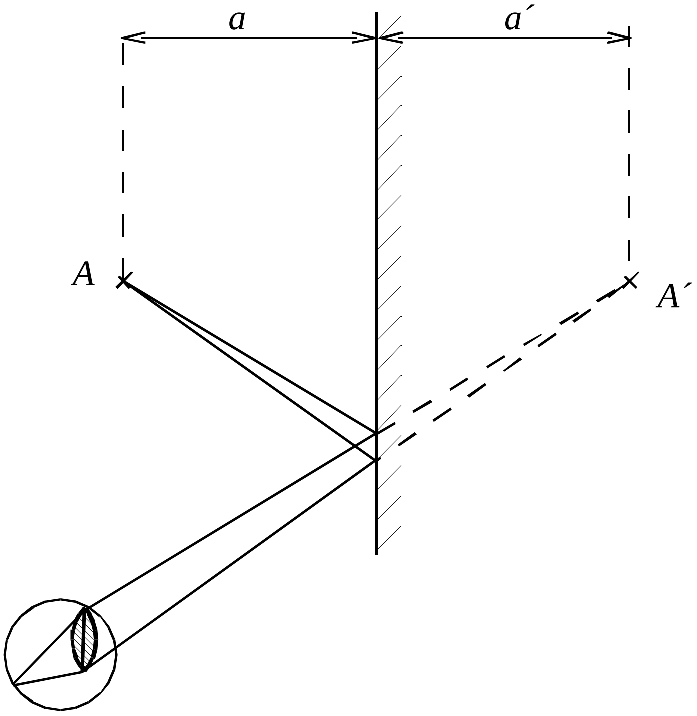
Optické zobrazení - postup, kterým získáváme optické obrazy bodů a předmětů

Skutečný obraz - optická soustava vytváří sbíhavý svazek paprsků, jejich průsečíkem prochází světelná energie $\Rightarrow$ možno zachytit obraz na stínítku.

Neskutečný obraz - opt. soustava vytváří rozbíhavý paprsek, paprsky jsou zobrazeny až okem na sítnici, pozorovatel pozoruje neskut. obraz – zdá se mu, jako kdyby paprsky vycházely z bodu, který je průsečíkem přímek vedených v opač. směru než je chod paprsků před jejich vstupem do oka. Zdánlivý obraz nelze zachytit na stínítko – neprochází jeho body světelná energie.

Zobrazení rovinným zrcadlem

- zobrazení odrazem (platí zákon odrazu)



Zrcadlo- cínový amalgam na zadní stěně skleněné desky

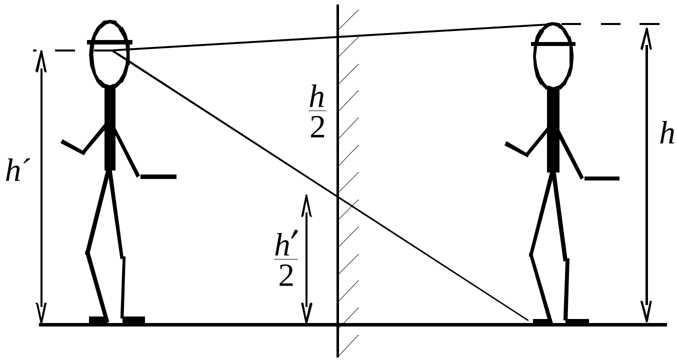
Obraz: vždy neskutečný, přímý, stejně veliký jako předmět, souměrný s předmětem podle roviny zrcadla, stranově převrácený

Příklad: Vaše tělesná výška je *h*, šířka ramen je *š*.

a) Jaké nejmenší rozměry musí mít zrcadlo tvaru obdélníku, abyste se v něm celí viděli?

b) V jaké výšce od podlahy umístíte jeho dolní okraj?

c) Jak daleko od zrcadla musíte stát?



Řešení:

Z obrázku plyne: Temeno hlavy člověka je ve stejné výšce jako jeho obraz v zrcadle. Aby člověk viděl v zrcadle svoje nohy, stačí, když výška zrcadla bude odpovídat polovině výšky člověka, to samé platí pro šířku.

a) $\frac{h}{2} \times \frac{š}{2}$, b) $\frac{h'}{2}$, c) nezáleží na vzdálenosti

Zobrazení kulovým zrcadlem

duté zrcadlo - odraz uvnitř kulové plochy

vypuklé zrcadlo - odraz vně kulové plochy

střed optické plochy zrcadla … *C*

optická osa … přímka procházející bodem *C*

vrchol … *V* - průsečík opt. osy a kul. plochy

poloměr křivosti … vzdálenost *CV*

paraxiální paprsky - paprsky blízko opt. osy, tvoří tzv. paraxiální prostor

Schéma dutého zrcadla:

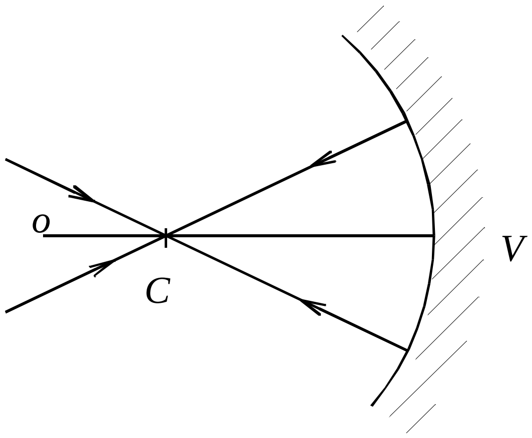
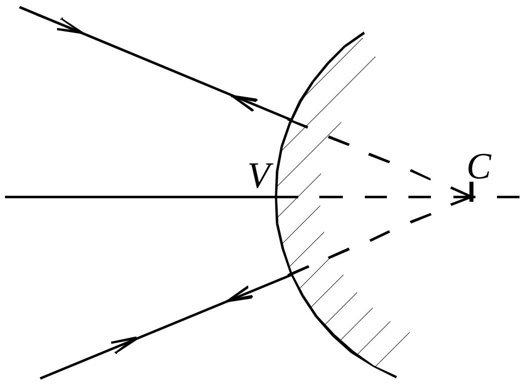
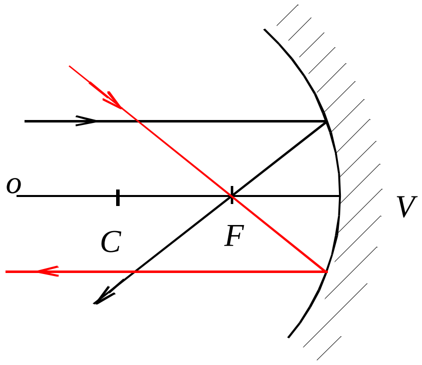


Schéma vypuklého zrcadla:

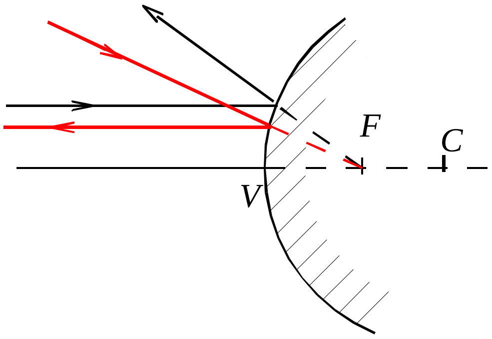


Ohnisko *F*: obraz předmětového osového bodu, který je v nekonečnu

Odraz význačných paraxiálních paprsků na dutém zrcadle:

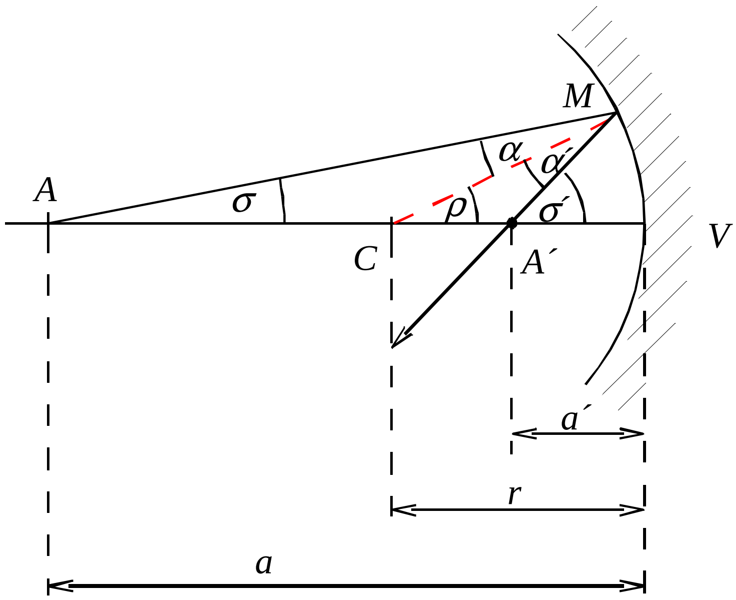


Skutečné ohnisko dutého zrcadla, rovina kolmá na osu v *F* je ohnisková rovina
$v(FV) = f$ … ohnisková vzdálenost



Neskutečné ohnisko vypuklého zrcadla

Zobrazovací rovnice kulového zrcadla



$$\left.\begin{aligned}\sigma+\alpha&=\rho\\ \rho+\alpha'&=\sigma'\end{aligned}\right\}\sigma+\sigma'=2\rho+\underbrace{\alpha-\alpha'}_{0}$$

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

Úhly jsou velmi malé ⇒ $\triangle$ *AMV*, *CMV*, *A´MV* jsou pravoúhlé a tg $\sigma \doteq \sigma$, tg $\rho \doteq \rho$, tg $\sigma' \doteq \sigma'$.

⇒ tg σ + tg σ' = 2 ρ

$$\Rightarrow \frac{|MV|}{|AV|}+\frac{|MV|}{|A'V|}=2\frac{|MV|}{|CV|}$$

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

a … předmětná vzdálenost
a´ … obrazová vzdálenost
r … poloměr křivosti

Platí i pro vypuklé zrcadlo!

Je-li předmět v ∞, pak je obraz v ohnisku:

$$a\to\infty \quad\Rightarrow\quad \frac{1}{a}\to 0 \ \text{ a } \ \frac{1}{a'}=\frac{1}{f}$$

potom

$$\frac{1}{f}=\frac{2}{r} \quad\Rightarrow\quad \boxed{f=\frac{r}{2}}$$

takže

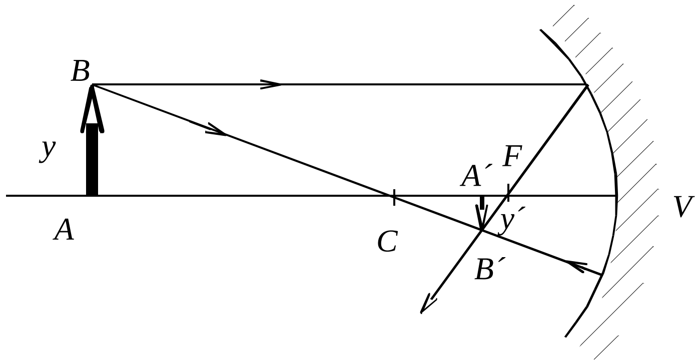
$$\boxed{\frac{1}{a}+\frac{1}{a'}=\frac{1}{f}}$$

Znaménková konvence

a, a', r, f se znaménkem + před zrcadlem
se znaménkem – za zrcadlem

je-li $a' > 0$ … obraz je skutečný
$a' < 0$ … obraz je neskutečný

Zobrazení předmětu

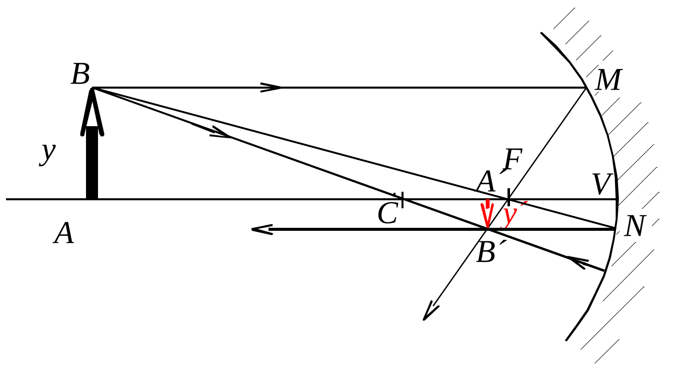


Příčné zvětšení

$$\boxed{Z = \frac{y'}{y}} \qquad y = |AB| \quad y' = |A'B'|$$

konvence: y a y' nad osou se znaménkem +, pod osou se znaménkem –

$Z:$	$Z > 0$ ...	vzpřímený
	$Z < 0$ ...	převrácený
	$\lvert Z \rvert > 1$ ...	zvětšený
	$\lvert Z \rvert < 1$ ...	zmenšený



$$\triangle BMF \sim \triangle B'FN \quad \Rightarrow \quad \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a}$$

$$\triangle ABF \sim \triangle FVN \quad \Rightarrow \quad \frac{y'}{y} = -\frac{f}{a-f}$$

$$\triangle A'FB' \sim \triangle FMV \qquad \Rightarrow \qquad \frac{y'}{y} = -\frac{a'-f}{f}$$

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

Konstrukcí obrazu pomocí paraxiálních paprsků při různých vzdálenostech předmětů od kulového zrcadla dostaneme následující tabulku pro vlastnosti a polohu obrazu:

Vypuklé zrcadlo

Předmět	Obraz	Popis
$\infty > a > 0$ $\infty > a > 0$ $\infty > a > 0$	vždy mezi *F* a *V*	zdánlivý vzpřímený zmenšený

$\Rightarrow$ $a' < 0$ vždy

Duté zrcadlo

Předmět	Obraz	Popis
v ∞	v *F*	
mezi ∞ a *S*	mezi *F* a *S*	skutečný, převrácený, zmenšený
v *S*	v *S*	skutečný, převrácený, stejně veliký
mezi *S* a *F*	mezi ∞ a *S*	skutečný, převrácený, zvětšený
v *F*	v ∞	
mezi *F* a *V*	za zrcadlem	zdánlivý, vzpřímený, zvětšený

Kulová vada: pro širší svazek paprsků, mimo paraxiální prostor, obrazem není bod, ale ploška – obraz je neostrý, korekce vady – užití parabolických zrcadel

Příklady:

1. Předmět vysoký 2 cm stojí kolmo na optickou osu ve vzdálenosti 12 cm od vrcholu kulového zrcadla (r = 16 cm). Určete polohu a vlastnosti obrazu, je-li zrcadlo a) duté, b) vypuklé.

Řešení:
a) y = 2 cm, a = 12 cm, r = 16 cm $\Rightarrow$ f = 8 cm
a' = ? Z = ?

$$\frac{1}{a'}=\frac{1}{8}-\frac{1}{12}=\frac{3-2}{24} \quad \Rightarrow \quad a'=24\,\text{cm}$$

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

Předmět se nachází 24 cm od vrcholu dutého zrcadla a je skutečný, převrácený a dvakrát větší než předmět.

b) y = 2 cm, a = 12 cm, r = – 16 cm $\Rightarrow$ f = – 8 cm
a' = ? Z = ?

$$\frac{1}{a'}=-\frac{1}{8}-\frac{1}{12}=\frac{-3-2}{24}=-\frac{5}{24} \quad \Rightarrow \quad a'=-4{,}8\,\text{cm}$$

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

Obraz se nachází ve vzdálenosti 4,8 cm od vrcholu vypuklého zrcadla, je neskutečný, vzpřímený a zmenšený.

2. V jaké vzdálenosti od dutého kulového zrcadla s ohniskovou vzdáleností 3 cm se musí umístit předmět, abychom získali skutečný obraz pětkrát větší než předmět?

Řešení:

f = 3 cm, Z = – 5, a = ?

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

$$aZ=f\left(Z-1\right) \quad \Rightarrow \quad a=\frac{f\left(Z-1\right)}{Z}$$

$$\underline{\underline{a=3{,}6\,\text{cm}}}$$

Předmět je nutno umístit do vzdálenosti 3,6 cm od vrcholu kulového (dutého) zrcadla.

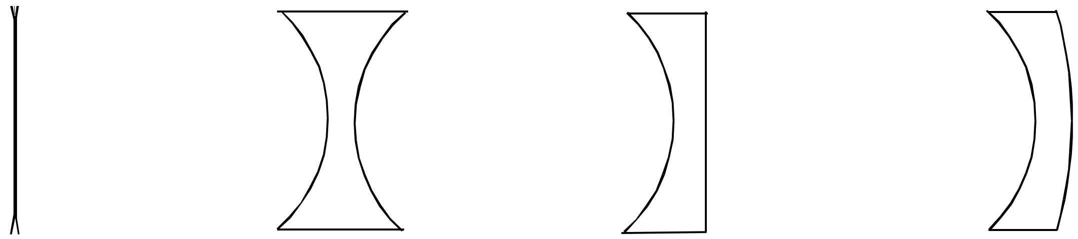
Zobrazení čočkou

Čočky: spojné (uprostřed nejširší) – konvexní
rozptylné (uprostřed nejužší) – konkávní

Spojky:

značka dvojvypuklá ploskovypuklá dutovypuklá

Rozptylky:



Značka dvojdutá ploskodutá vypuklodutá

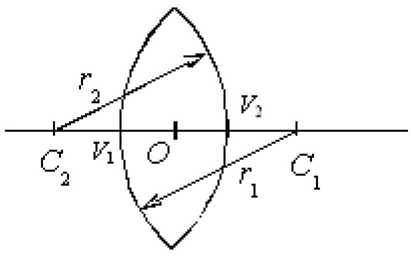
Důležité pojmy:

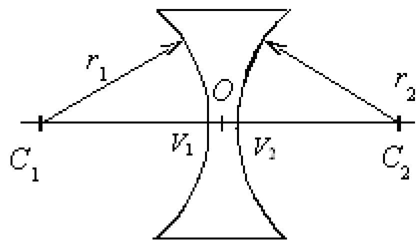
Středy optických ploch … C_1, C_2

Poloměry křivosti opt. ploch … r_1, r_2

Optická osa … spojnice C_1C_2

Vrcholy … V_1, V_2 (u tenké čočky V_1, V_2 splývají v O – optický střed)





Prostor předmětový … prostor, ze kterého světlo vstupuje do čočky

Prostor obrazový … prostor, do kterého světlo vystupuje po průchodu čočkou

Obrazové ohnisko F' … obraz osového bodu, který leží v ∞ v předmětovém prostoru

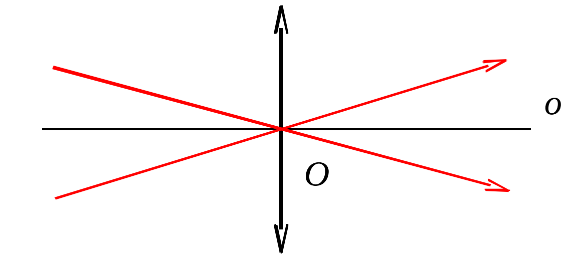
Předmětové ohnisko F … má obraz na opt. ose v obrazovém prostoru v ∞

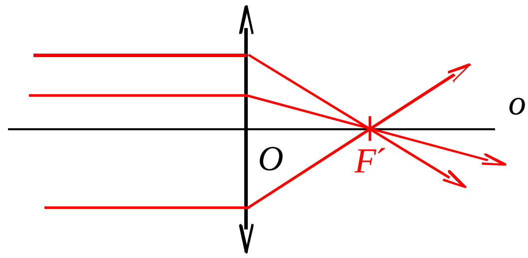
Obrazová ohnisková vzdálenost … $|F'O| = f'$

Předmětová ohnisková vzdálenost … $|FO| = f$

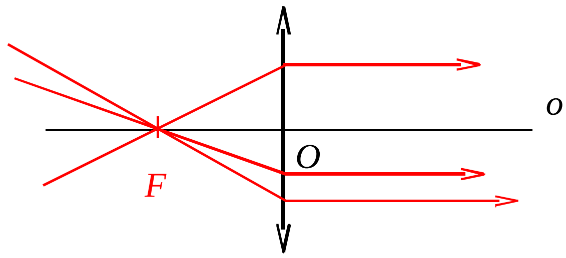
Je-li před i za čočkou stejné prostředí $\Rightarrow$ $f = f'$

Lom význačných paprsků spojkou:



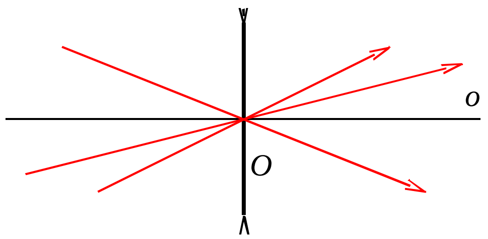


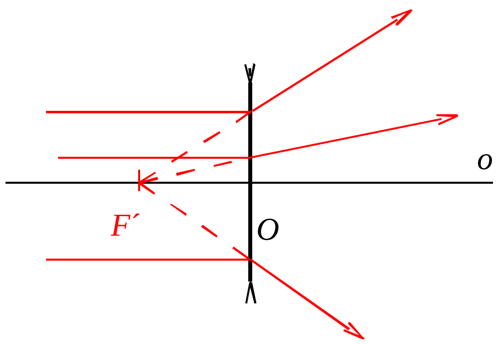
skutečné obrazové ohnisko spojky



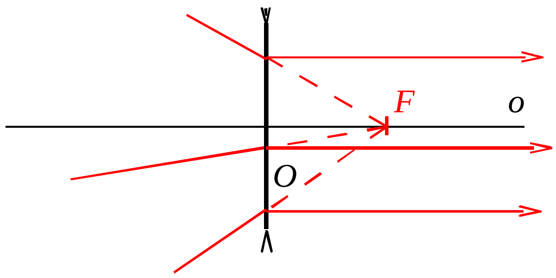
skutečné předmětové ohnisko spojky

Lom význačných paprsků rozptylkou:





neskutečné obrazové ohnisko rozptylky



neskutečné předmětové ohnisko rozptylky

Ohnisková vzdálenost tenké čočky:

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

n_2 … index lomu čočky
n_1 … index lomu prostředí
r_1, r_2 … poloměry křivosti optických ploch

Znaménková konvence:
r_1, r_2 … kladné pro vypuklé plochy, záporné pro duté

$n_2 > n_1$

$\Rightarrow$ pro spojky je $\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}>0 \quad \Rightarrow \quad f>0$

$\Rightarrow$ pro rozptylky je $\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}<0 \quad \Rightarrow \quad f<0$

Optická mohutnost

$$\varphi=\frac{1}{f} \qquad [\varphi]=\mathrm{m}^{-1}=\mathrm{D} \text{ ... dioptrie}$$

pro spojky $\varphi > 0$
pro rozptylky $\varphi < 0$

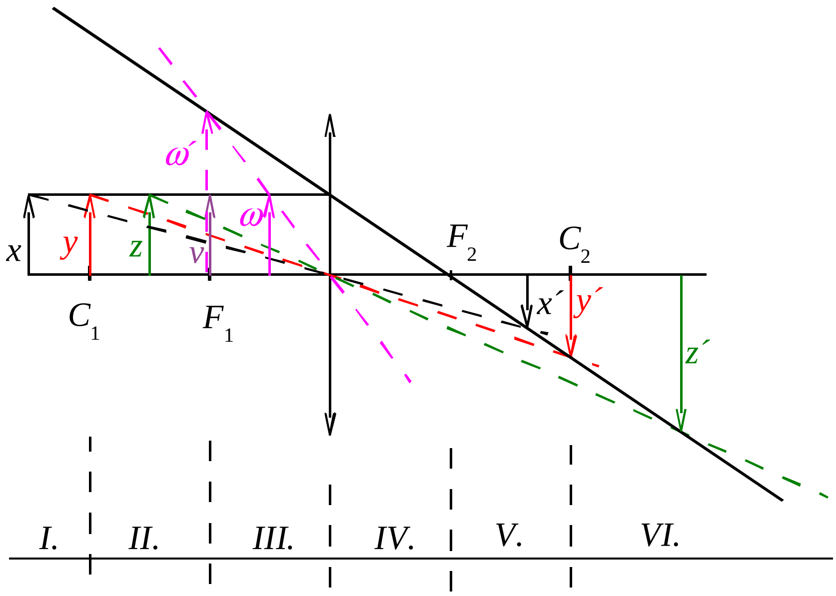
Příklad: Určete optickou mohutnost ploskovypuklé čočky o indexu lomu n_2 = 1,5 ve vzduchu (n_1 = 1). Poloměr křivosti čočky je r_1 = 10 cm.

Ploskovypuklá čočka $\Rightarrow r_2=\infty$

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

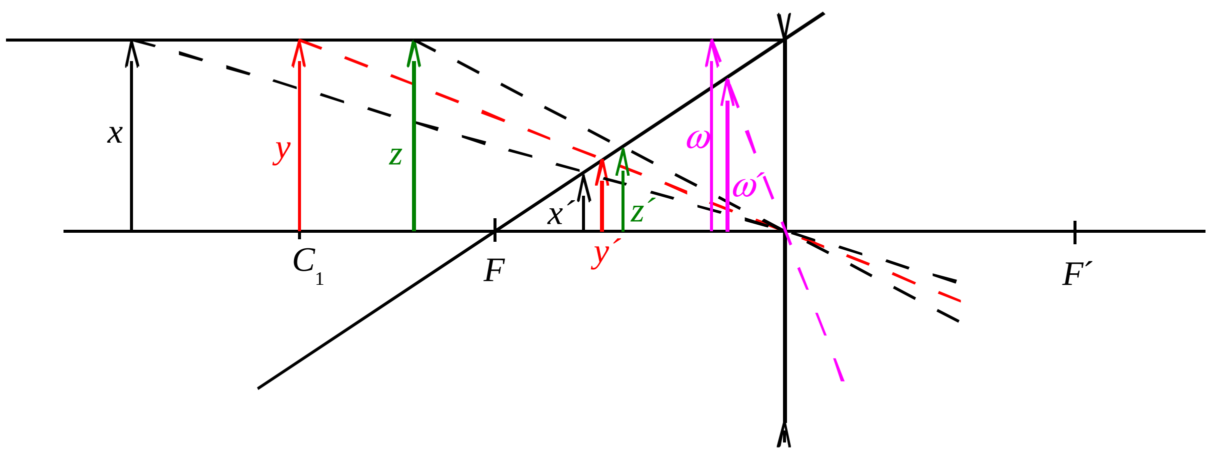
$$=(1,5-1)\left(\frac{1}{0,1}+\frac{1}{\infty}\right)\mathrm{D}=0,5\cdot 10\ \mathrm{D}=\underline{\underline{5\,\mathrm{D}}}$$

Konstrukce obrazu spojkou



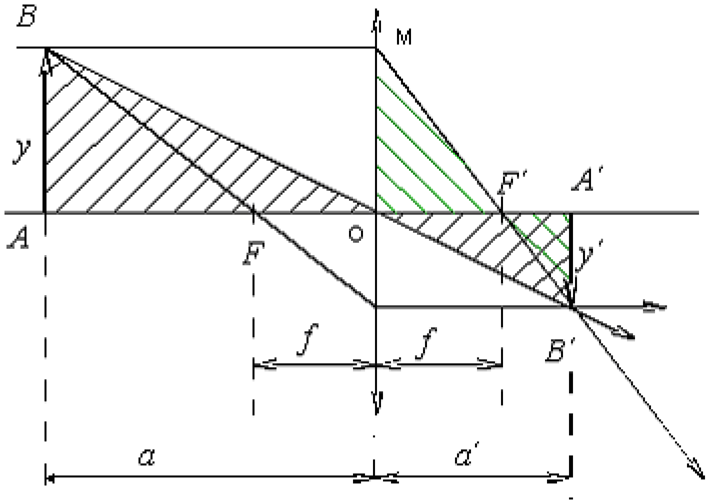
Předmět	Obraz	Vlastnosti
v ∞	F_2	–
v *I.*	*V.*	skutečný, převrácený, zmenšený
v C_1	C_2	skutečný, převrácený, stejně veliký
v *II.*	*VI.*	skutečný, převrácený, zvětšený
v F_1	∞	–
v *III.*	*I., II., III.*	zdánlivý, vzpřímený, zvětšený

Konstrukce obrazu rozptylkou



Obraz vždy zdánlivý, vzpřímený, zmenšený, je-li předmět před rozptylkou.

Zobrazovací rovnice čočky, zvětšení



Z obrázku plyne:

$\triangle OAB \sim \triangle OA'B' \sim \triangle F'OM \sim \triangle F'A'B' \Rightarrow$

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

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

$$\Rightarrow a'f = aa' - af \qquad / \cdot \frac{1}{aa'f}$$

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

Zobrazovací rovnice pro čočku:

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

<u>Příčné zvětšení</u>

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

$Z > 0$ přímý
$Z < 0$ převrácený
$|Z| > 1$ zvětšený
$|Z| < 1$ zmenšený

Znaménková konvence:

- je-li předmět v prostoru předmětovém je a s +
- je-li předmět v prostoru obrazovém je a s –
- je-li obraz v prostoru obrazovém je $a´$ s +
- je-li obraz v prostoru předmětovém je $a´$ s –
- je-li přední stěna čočky vypuklá do prostoru předmětového je r_1 s +
- je-li přední stěna čočky vypuklá do prostoru obrazového je r_1 s –
- je-li zadní stěna čočky vypuklá do prostoru předmětového je r_1 s –
- je-li zadní stěna čočky vypuklá do prostoru obrazového je r_1 s +

Úlohy

1. Předmět vysoký 1 cm je umístěn před tenkou spojnou čočkou s ohniskovou vzdáleností 20 cm ve vzdálenosti a) 40 cm, b) 30 cm, c) 15 cm. Určete polohy obrazů a jejich vlastnosti.

y = 1 cm, f = 20 cm
a) a = 40 cm, b) a = 30 cm, c) a = 15 cm
$a´$ = ? Z = ?

Řešení:

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

$$a' = \frac{af}{a-f}, Z = -\frac{a'}{a}$$

a) $a´$ = 40 cm, Z = – 1 obraz skutečný, převrácený, stejně velký jako předmět
b) $a´$ = 60 cm, Z = – 2 obraz skutečný, převrácený, dvakrát zvětšený
c) $a´$ = – 60 cm, Z = 4 obraz zdánlivý, vzpřímený, 4x větší než předmět

2. Úlohu 1 řešte pro rozptylku.

y = 1 cm, f = – 20 cm
a) a = 40 cm, b) a = 30 cm, c) a = 15 cm
$a´$ = ? Z = ?

Řešení:

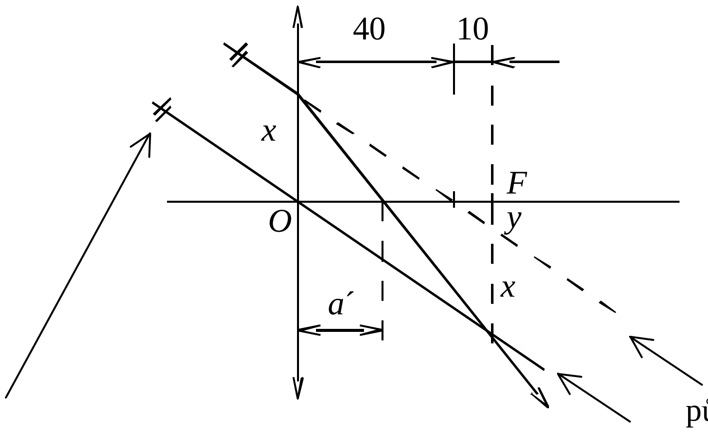
$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} = \frac{a-f}{af}$$

$$a' = \frac{af}{a-f},\ Z = -\frac{a'}{a}$$

a) $a´$ = – 13,3 cm, Z = 0,3 obraz neskutečný, vzpřímený, zmenšený
b) $a´$ = – 12 cm, Z = 0,4 obraz neskutečný, vzpřímený, zmenšený
c) $a´$ = – 8,6 cm, Z = 0,6 obraz neskutečný, vzpřímený, zmenšený

3. Do sbíhavého svazku paprsků umístíme tenkou spojku s optickou mohutností 2 D tak, že její optický střed je ve vzdálenosti 40 cm od bodu, ve kterém by se paprsky protínaly, a optická osa čočky splývá s osou svazku paprsků. V jaké vzdálenosti od optického středu spojky se po lomu protnou paprsky svazku?

Řešení: $\varphi = 2\ \mathrm{D} \Rightarrow f = 50\ \mathrm{cm}$



Z podobnosti trojúhelníků plyne:

$$\frac{x}{y} = \frac{40}{10}$$

$$x = 4y$$

a zároveň:

$$\frac{a'}{50 - a'} = \frac{x}{x + y}$$

$$\frac{a'}{50 - a'} = \frac{4}{5}$$

$$9a' = 200$$

$$\underline{\underline{a' = 22{,}2\,\mathrm{cm}}}$$

Paprsky svazku se protnou ve vzdálenosti 22,2 cm od optického středu spojky.

4. Určete ohniskovou vzdálenost tenké ploskovypuklé čočky s poloměrem kulové plochy 30 cm pro červené $\left(n_{č} = 1{,}60\right)$ a fialové $\left(n_f = 1{,}61\right)$ světlo.

$r_1 = 30$ cm
$n_{č} = 1{,}60$, $n_f = 1{,}61$

f = ?

Řešení:

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_2}{n_1}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right),\ n_1=1,\ r_2=\infty,\ n_2=n_{č},n_f$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f}=(n_2-1)\cdot\frac{1}{30}$$

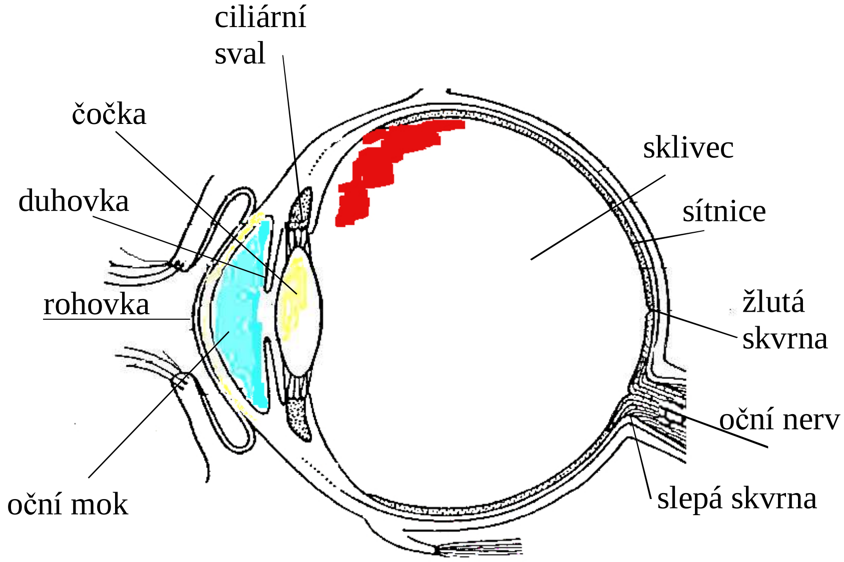
$$f=\frac{30}{n_2-1}$$

$f_{č}$ = 50 cm
f_f = 49,2 cm

Ohnisková vzdálenost čočky je pro červené světlo 50 cm a pro fialové světlo 49,2 cm.

Oko

- vytváří skutečný, zmenšený, převrácený obraz



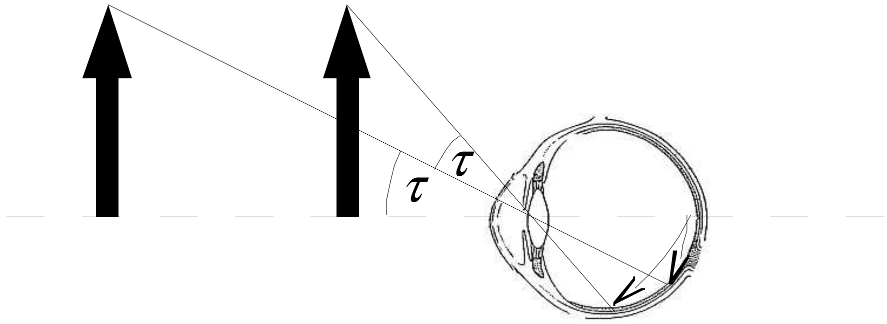
- čočka oka je dvojvypuklá
- akomodace oka – zaostřování oka - ciliární sval více či méně napíná čočku a tím mění její opticku mohutnost
- hranice akomodace oka: blízký bod – nejbližší bod, který se ještě ostře zobrazí na sítnici
  daleký bod – nejvzdálenější bod, který se ještě ostře zobrazí na sítnici – pro normální oko je tento bod v nekonečnu, oko je bez akomodace
- konvenční zraková vzdálenost – vzdálenost, z níž lze dlouho pozorovat předměty bez větší únavy (čtení, psaní apod.), je 25 cm od oka

- krátkozraké oko - obraz vzniká před sítnicí, opt. mohutnost oka je velká, blízký bod posunut blíže k oku, daleký bod je v konečné vzd. od oka - korekce vady – brýle s rozptylkami
- dalekozraké oko - obraz se tvoří za sítnicí, opt. mohutnost oka malá, blízký bod daleko od oka – korekce vady – brýle se spojkami

- duhovka … funguje jako clona (∅ 6 mm ve tmě – 2 mm na světle)
- tyčinky (citlivé na světlo), čípky (citlivé na barvu)

Citlivost sítnice je asi 10 000 x větší než citlivost foto emulze.

<u>Zorný úhel τ</u>



Oko rozliší dva body pro $\tau \geq 1'$
(jinak oba splynou v jeden bod)

Krátkodobý zrakový vjem se uchová po dobu 0,1 s (člověk je schopen odděleně postřehnout jevy, jež za sebou následují s časovým odstupem alespoň jedné desetiny sekundy … film pak běží jako plynulý děj … 25 obr/s

Vidění oběma očima umožní prostorové vnímání.

Přehled geometrické optiky

<table>
<tr><th>Zrcadla</th><th>Čočky</th></tr>
<tr><td>$f = \frac{r}{2}$</td><td>$\varphi = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Zobrazovací rovnice
$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">f je s + pro z. duté a pro spojku
f je s – pro z. vypuklé a pro rozptylku</td></tr>
<tr><td colspan="2">$a' > 0$ za čočkou, před z. … skutečný
$a' < 0$ před čočkou, za z. … neskutečný</td></tr>
<tr><td colspan="2">$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a} = -\frac{a' - f}{f} = -\frac{f}{a - f}$</td></tr>
</table>

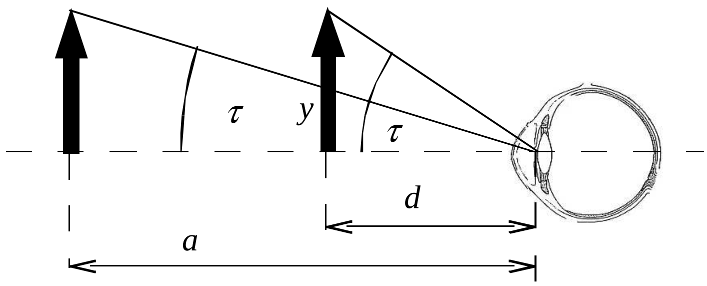
$\lvert Z\rvert > 1$ zvětšený	$\lvert Z\rvert < 1$ zmenšený
$Z > 0$ přímý	$Z < 0$ převrácený

Obrazy:

předmět	duté z.	spojka	vypuklé z.	rozptylka
∞	v F	v F'		
(∞, S)	skut. převr. zmenš.	skut. převr. zmenš.	vždy zmenšený	vždy zmenšený
S	skut. převr. stejně veliký	skut. převr. stejně veliký	přímý	přímý
(S, F)	skut. převr. zvětšený	skut. převr. zvětšený	neskut.	neskut.
F	v ∞	v ∞	mezi F a V	mezi F a V
(F, V)	neskut. přímý zvětšený	neskut. přímý. zvětšený	mezi F a V	mezi F a V

Lupa

- zvětšuje zorný úhel τ



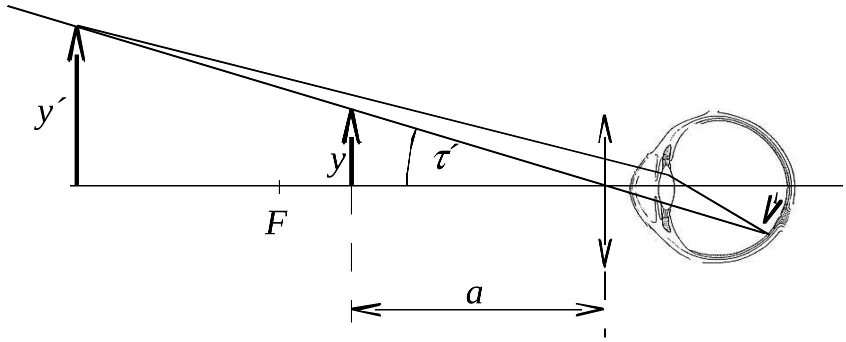
Vztah pro zorný úhel úsečky délky y z konvenční zrakové vzd d : $\mathrm{tg}\,\tau = \dfrac{y}{d}$

$\Rightarrow$ Zorný úhel při pozorování pouhým okem je maximální, je-li předmět v konvenční zrakové vzdálenosti (dva body ve vzdálenosti d = 25 cm od oka vidíme odděleně – jsou-li vzdálené aspoň 0,072 mm)

Úhlové zvětšení

$\boxed{\gamma = \dfrac{\tau'}{\tau}}$ pro malé úhly: $\gamma \doteq \dfrac{\mathrm{tg}\,\tau'}{\mathrm{tg}\,\tau}$

Lupa … každá spojka s $f < d$
… dvojice čoček lupa + oko má větší optickou mohutnost než samotné oko
… obraz je neskutečný, zvětšený, vzpřímený



Většinou je pozorovaný předmět mezi čočkou a jejím ohniskem v takové vzdálenosti *a* od čočky, aby neskutečný obraz vznikl v konvenční zrakové vzdálenosti *d*.

$$\operatorname{tg}\tau' = \frac{y}{a}$$

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg}\tau'}{\operatorname{tg}\tau} = \frac{\frac{y}{a}}{\frac{y}{d}} = \frac{d}{a} \qquad \boxed{\gamma \doteq \frac{d}{a}}$$

Pro běžnou lupu je $\gamma = 6$

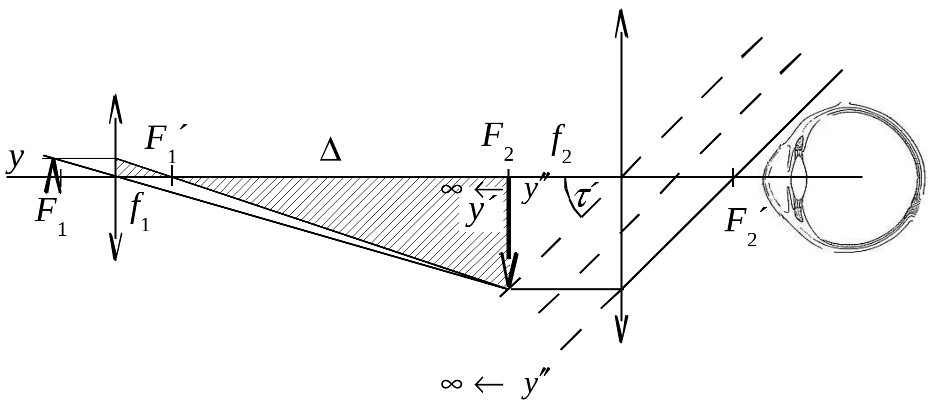
Mikroskop

Centrovaná optická soustava - objektiv (u předmětu) – f_1
- okulár (u oka) – f_2

Objektiv a okulár … spojky $f_2 > f_1$

Předmět těsně před ohniskem objektivu – objektiv vytvoří skutečný, převrácený, zvětšený obraz (*y*´) – okulár umístíme tak, aby se *y*´nacházel v předmětové ohniskové rovině okuláru – okulár má funkci lupy – oko vidí neskutečný, zvětšený obraz

Vzdálenost ohnisek F_1', F_2 ... $\Delta = \left|F_1'F_2\right|$ … optický interval



$$\operatorname{tg}\tau' = \frac{y'}{f_2}$$

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

z obrázku plyne: $\frac{y'}{y} = \frac{\Delta}{f_1}$

Zvětšení mikroskopu:

$$\Rightarrow \boxed{\gamma = \frac{\Delta \cdot d}{f_1 \cdot f_2}}$$

Obvyklé hodnoty: Δ = 15 – 20 cm
γ= 400 – 2 000

$\frac{\Delta}{f_1} = \frac{y'}{y}$ … příčné zvětšení Z objektivu

$\frac{d}{f_2} = \gamma_2$ … úhlové zvětšení okuláru

$$\gamma = Z \cdot \gamma_2$$

Důležitým faktorem je také osvětlení.

Příklady:

1. Určete zvětšení lupy s ohniskovou vzdáleností 25 mm, je-li předmět a) v ohnisku, b) mezi ohniskem a lupou ve vzdálenosti 22,7 mm od lupy.

Řešení:

$\gamma = \frac{d}{a} \qquad d = 0{,}25\,\text{m}$

$a_1 = 0{,}025\,\text{m}$

$a_2 = 0{,}0227\,\text{m}$

$\Rightarrow \underline{\underline{\gamma_1 = 10}}$

$\underline{\underline{\gamma_2 = 11}}$

2. V jaké vzdálenosti od lupy s ohniskovou vzdáleností 50 mm umístí pozorovaný předmět člověk a) se zdravým okem, b) s krátkozrakým okem (d_2 = 10 cm), c) s dalekozrakým okem (d_3 = 50 cm), aby obraz viděl v příslušné zrakové vzdálenosti?

Řešení:

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

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

f = 0,05 m; d_1 = 0,25 m; d_2 = 0,1 m; d_3 = 0,5 m

$a'_1 = -d_1 = -0{,}25\ \text{m} \Rightarrow a_1 = 41{,}\overline{6}\ \text{mm}$

$a'_2 = -d_2 = -0{,}1\ \text{m} \Rightarrow a_2 = 33{,}\overline{3}\ \text{mm}$

$a'_3 = -d_3 = -0{,}5\ \text{m} \Rightarrow a_3 = 45{,}5\ \text{mm}$

↑

mínusy, protože se jedná o neskutečný obraz

3. Jaké je úhlové zvětšení mikroskopu s optickým intervalem 16 cm, s objektivem o ohniskové vzdálenosti 0,4 cm a okulárem s ohniskovou vzdáleností 4 cm, když zdravé oko vidí obraz v nekonečnu?

Δ = 0,16 m
f_1 = 0,004 m
f_2 = 0,04 m
d = 0,25 m
$\underline{\gamma = ?}$

Řešení:

$$\gamma=\frac{\Delta\cdot d}{f_1\cdot f_2}=\underline{\underline{250}}$$

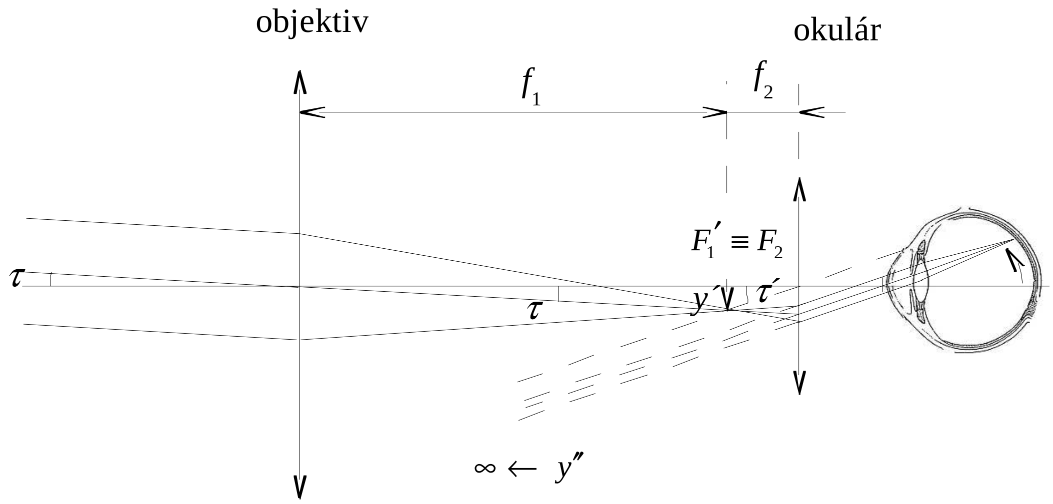
Úhlové zvětšení mikroskopu je 250.

Dalekohled

- pro pozorování vzdál. předmětů
- objektiv (f_1) + okulár (f_2)
- čočkové dalekohledy … refraktory
- zrcadlové dalekohledy … reflektory

Keplerův (hvězdářský) dalekohled
- dvě spojky, $f_1 >> f_2$
- společné ohnisko $F_1' \equiv F_2$ (délka dalekohledu je $f_1 + f_2$)
- teleskopická (afokální) soustava = svazek rovn. paprsků vystupuje zase jako rovnoběžný

- objektiv předmět z ∞ zobrazí do své obrazové ohniskové roviny, která je zároveň předmětovou ohniskovou rovinou okuláru a ten pak vytvoří neskutečný obraz v ∞

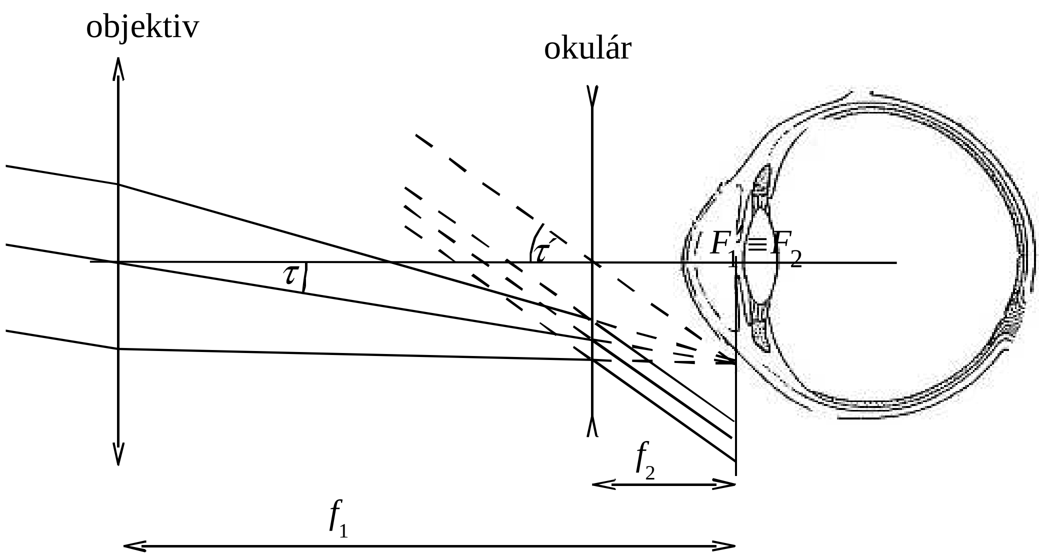


Obraz: neskutečný, zvětšený, výškově i stranově převrácený

$$\operatorname{tg} \tau' = \frac{y'}{f_2}$$

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{y'}{f_1} \qquad \boxed{\gamma = \frac{f_1}{f_2}}$$

<u>Galileiho (pozemský, holandský) dalekohled</u>
- objektiv = spojka
- okulár = rozptylka
- vytváří teleskopickou soustavu $\Rightarrow$ $F_1' \equiv F_2$
- délka dalekohledu $f_1 - |f_2|$
- divadelní kukátka



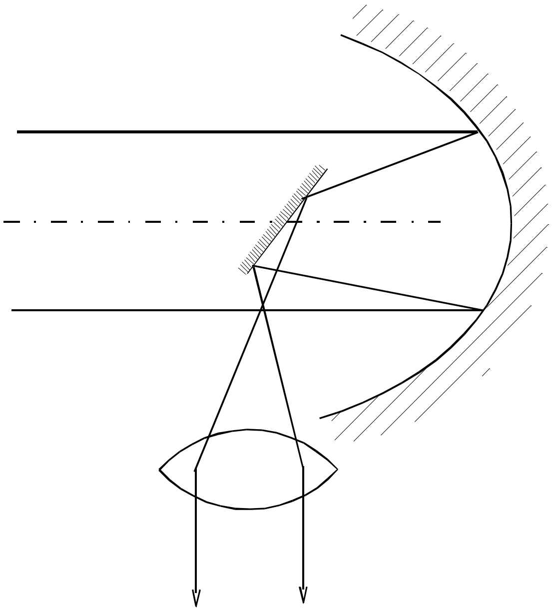
Obraz: neskutečný, úhlově zvětšený, přímý

$$\mathrm{tg}\,\tau = \frac{y'}{f_2}$$

$$\mathrm{tg}\,\tau' = \frac{y'}{f_1} \qquad \boxed{\gamma = \frac{f_1}{|f_2|}}$$

<u>Zrcadlový (Newtonův) dalekohled</u>
- objektiv = zrcadlo: duté, parabolické

Schéma:



čočk. dalekohled … $\varnothing_{max} \doteq 1$ m
zrc. dalekohled … $\varnothing_{max} \doteq 6$ m
Zvětšení mnohem větší než Galileiho dalekohled

Příklady:

1. Máme dvě spojky s ohniskovými vzdálenostmi $f_1 = 50$ cm, $f_2 = 5$ cm a rozptylku s ohniskovou vzdáleností $f_3 = -5$ cm. Určete délku d a zvětšení γ a) Keplerova dalekohledu, b) Galileova dalekohledu.

Řešení:

a) $d = f_1 + f_2 = 55$ cm

$$\gamma = \frac{f_1}{f_2} = 10$$

b) $d = f_1 - |f_2| = 45$ cm

$$\gamma = \frac{f_1}{|f_2|} = 10$$

2. Určete zvětšení γ dalekohledu, který vytvoří obraz o velikosti $y' = 1\ \text{cm}$, když zobrazuje předmět o výšce *y* = 1 m ve vzdálenosti *a* = 400 m. Konvenční zraková vzdálenost *d* je 25 cm.

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg}\tau'}{\operatorname{tg}\tau} = \frac{\frac{y'}{d}}{\frac{y}{a}} = \frac{\frac{0,01}{0,25}}{\frac{1}{400}} = \frac{4}{0,25} = \underline{\underline{16}}$$