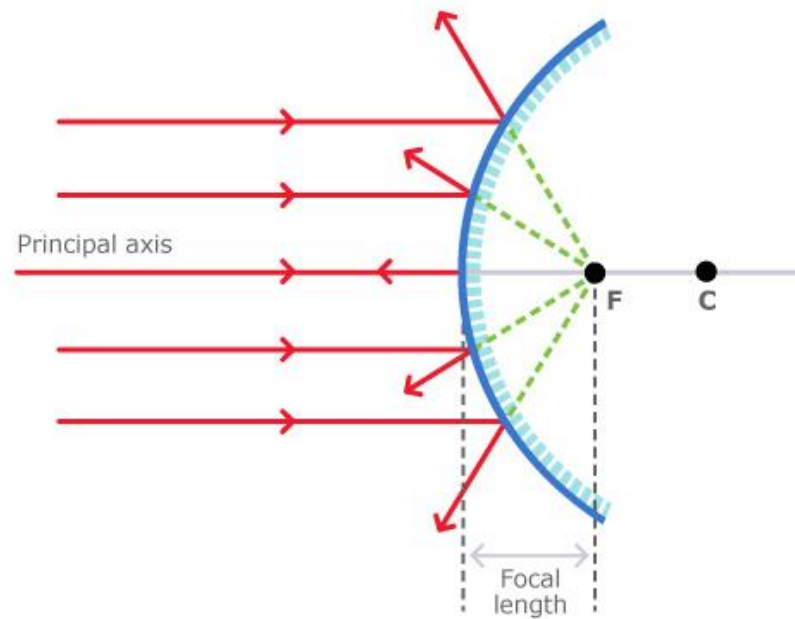


OPTICKÉ ZOBRAZENÍ

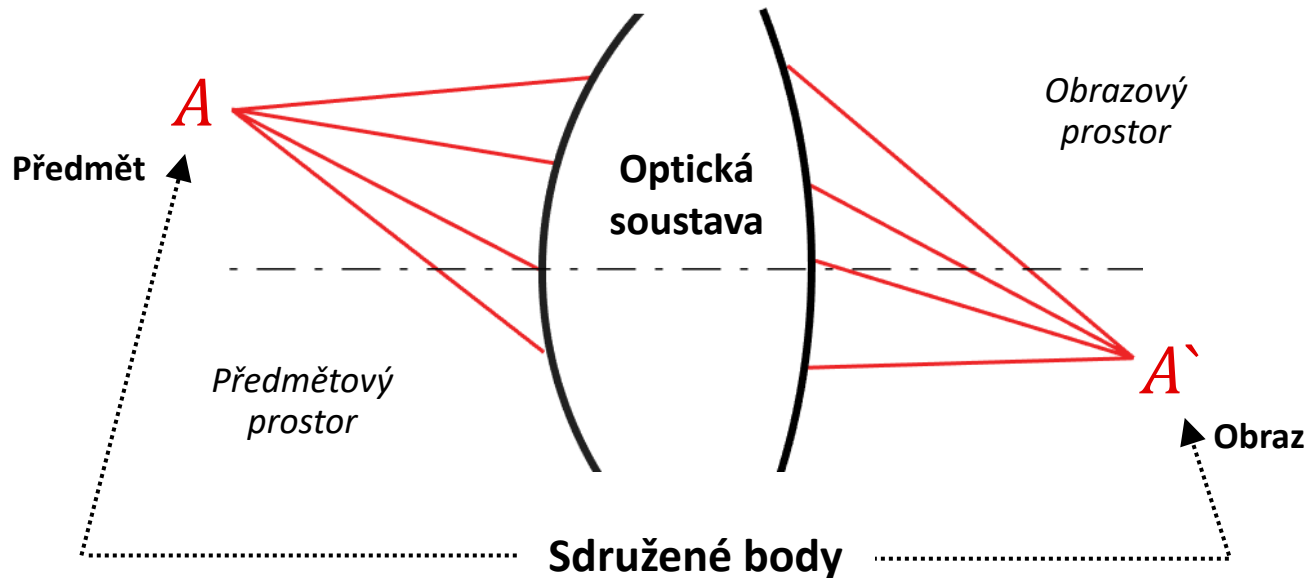


Obsah

- **Základní pojmy**
Stigmatické a perfektní zobrazení
- **Kulová rozhraní**
Aproximace paraxiálního prostoru, znaménková konvence, lom na rozhraní, kulové zrcadlo, významné body a roviny
- **Tlustá čočka**
2 rozhraní, zobrazovací rovnice, grafické řešení, tenká čočka
- **Soustavy čoček**
Postupné zobrazení
- **Pozice předmětu a obrazu**

Zobrazení

- Transformace homocentrického svazku paprsků s průsečíkem v bodě A v jiný homocentrický svazek paprsků s průsečíkem v bodě A'
- Cílem je učinit objekty viditelné na **jiném místě**, s **jinou velikostí**



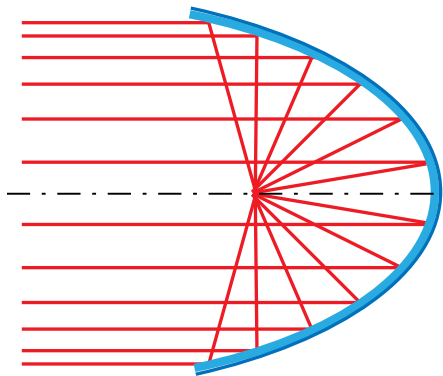
Stigmatické zobrazení

Zobrazení bez vad, všechny paprsky vycházející z objektového bodu P_0 se střetnou v obrazovém bodu P_1 .

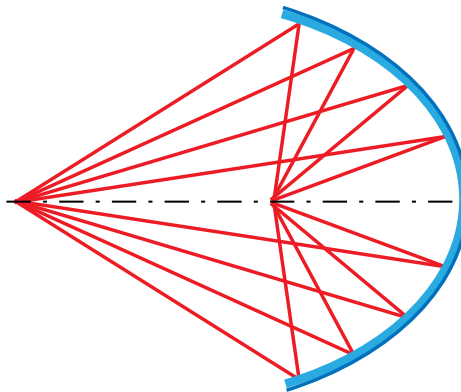
Stigmatické zobrazení části prostoru

- Odrazné plochy vzniklé rotací kuželoseček

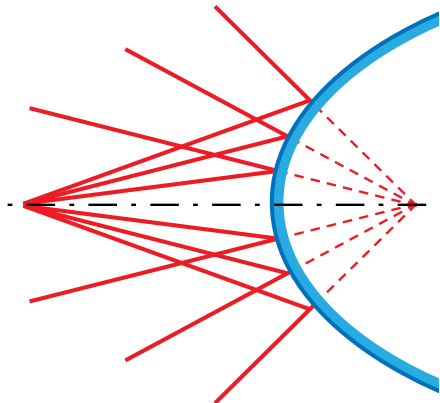
Parabolické zrcadlo



Eliptické zrcadlo



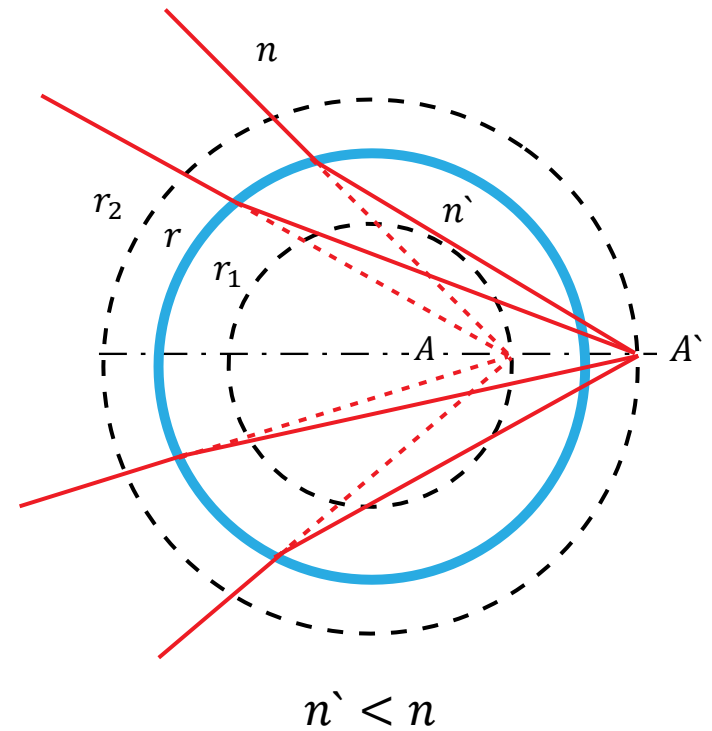
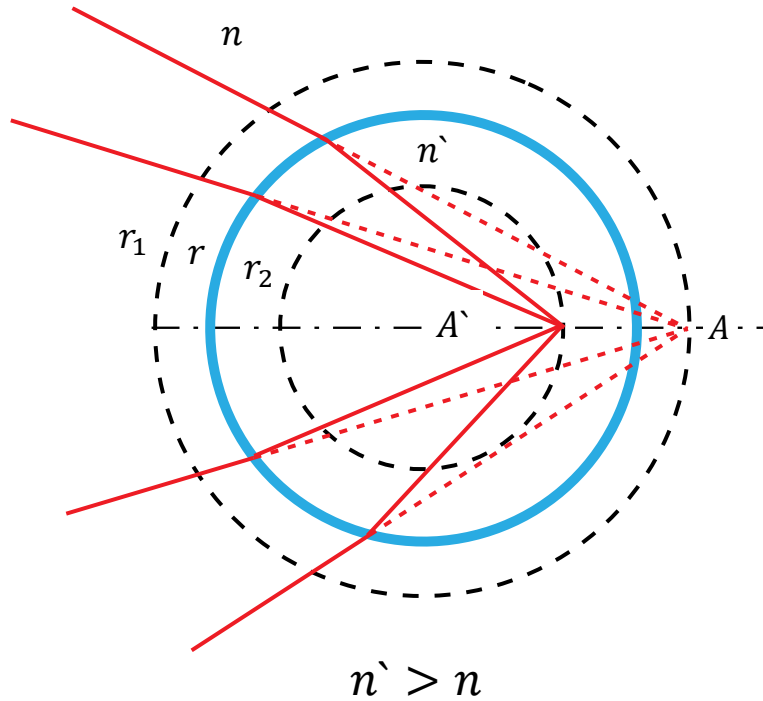
Hyperbolické zrcadlo



Stigmatické zobrazení části prostoru

- Aplanatické plochy kulových rozhraní

$$r_1 = \frac{n'}{n} r \quad r_2 = \frac{n}{n'} r$$



Perfektní zobrazení

Stigmatické zobrazení celého prostoru, kde je navíc každá křivka C_1 v obrazovém prostoru geometricky podobná sdružené křivce C_0 v předmětovém prostoru.

- Přímka se zobrazí jako přímka
- Úhly se zachovávají
- Zobrazení bez zkreslení

Perfektní zobrazení

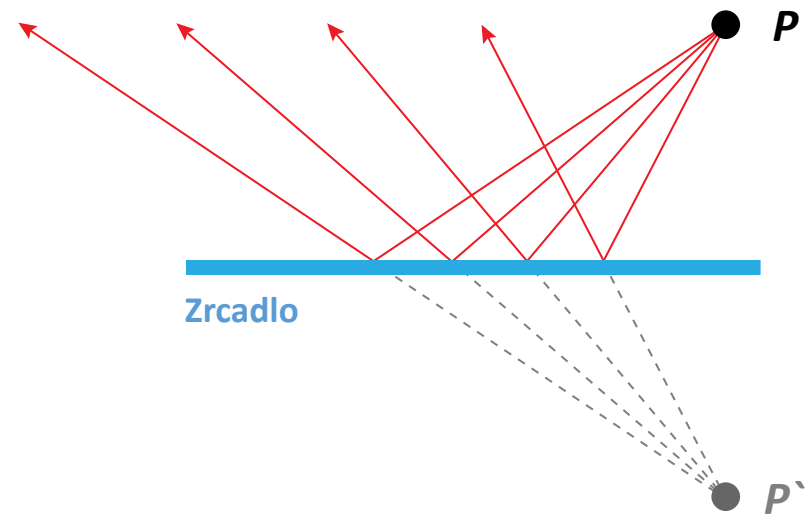
Stigmatické zobrazení celého prostoru, kde je navíc každá křivka C_1 v obrazovém prostoru geometricky podobná sdružené křivce C_0 v předmětovém prostoru.

- Přímka se zobrazí jako přímka
- Úhly se zachovávají
- Zobrazení bez zkreslení



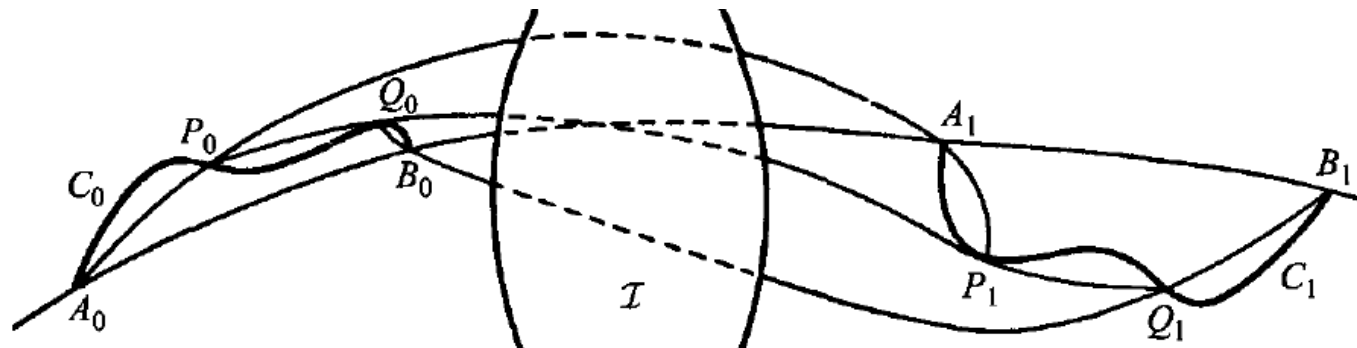
Rovinné zrcadlo

- Absolutní přístroj



Absolutní přístroj

- Optická délka podél křivky C_0 v předmětovém prostoru je shodná s optickou délkou podél sdružené křivky C_1 v obrazovém prostoru
- Všechny body zobrazuje stigmaticky
- Maxwellův teorém absolutního přístroje:
$$\int_{C_0} n_0 ds_0 = \int_{C_1} n_1 ds_1 \quad (1.1)$$



Maxwellovo „rybí oko“

Příklad absolutního přístroje, prostředí s indexem lomu:

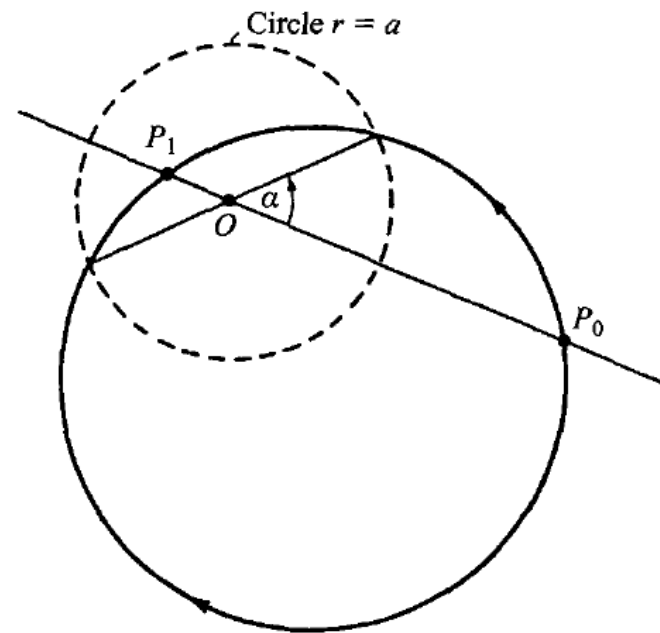
$$(1.2) \quad n(r) = \frac{1}{1 + (r/a)^2} n_0$$

Paprsky jsou kružnice, symetricky protínající inverzní kouli $r = a$

Zobrazení tzv. **kulovou inverzí**

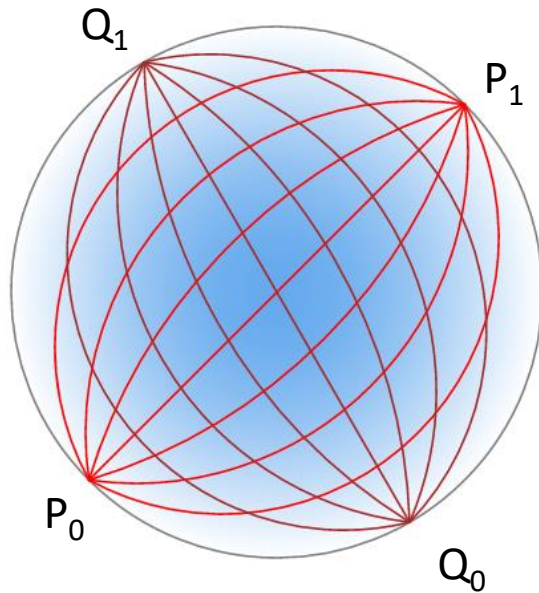
$$[P_0 O] \cdot [P_1 O] = a^2$$

... kdy P_1 je na opačné straně O

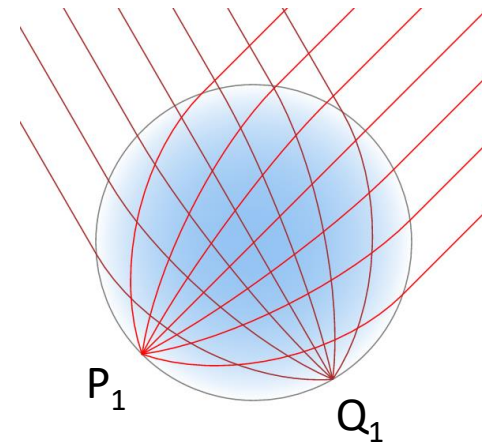


Maxwellovo „rybí oko“

Bod z povrchu inverzní koule $r = a$ se zobrazí na její opačnou stranu



Lunebergova čočka



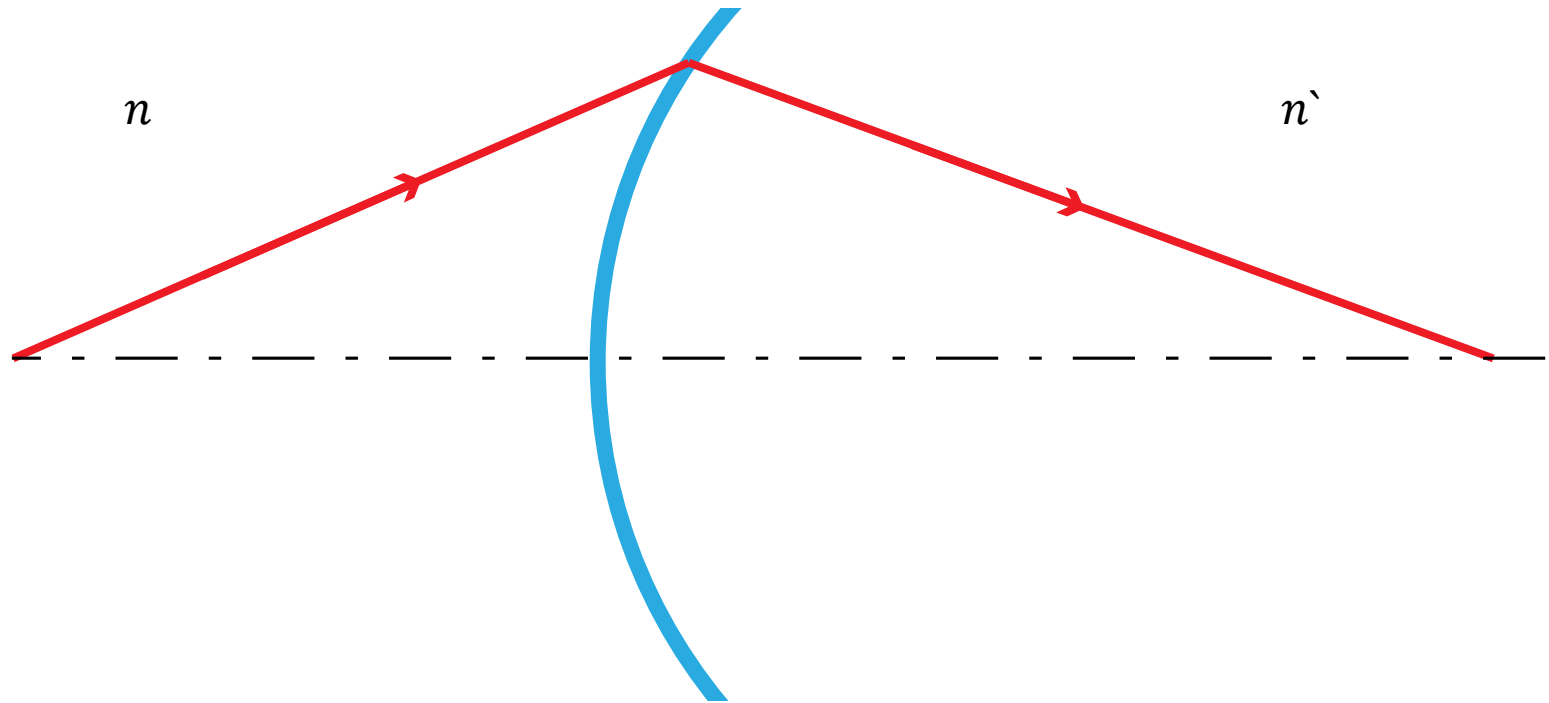
Aberace

- Odchytky od perfektního zobrazení

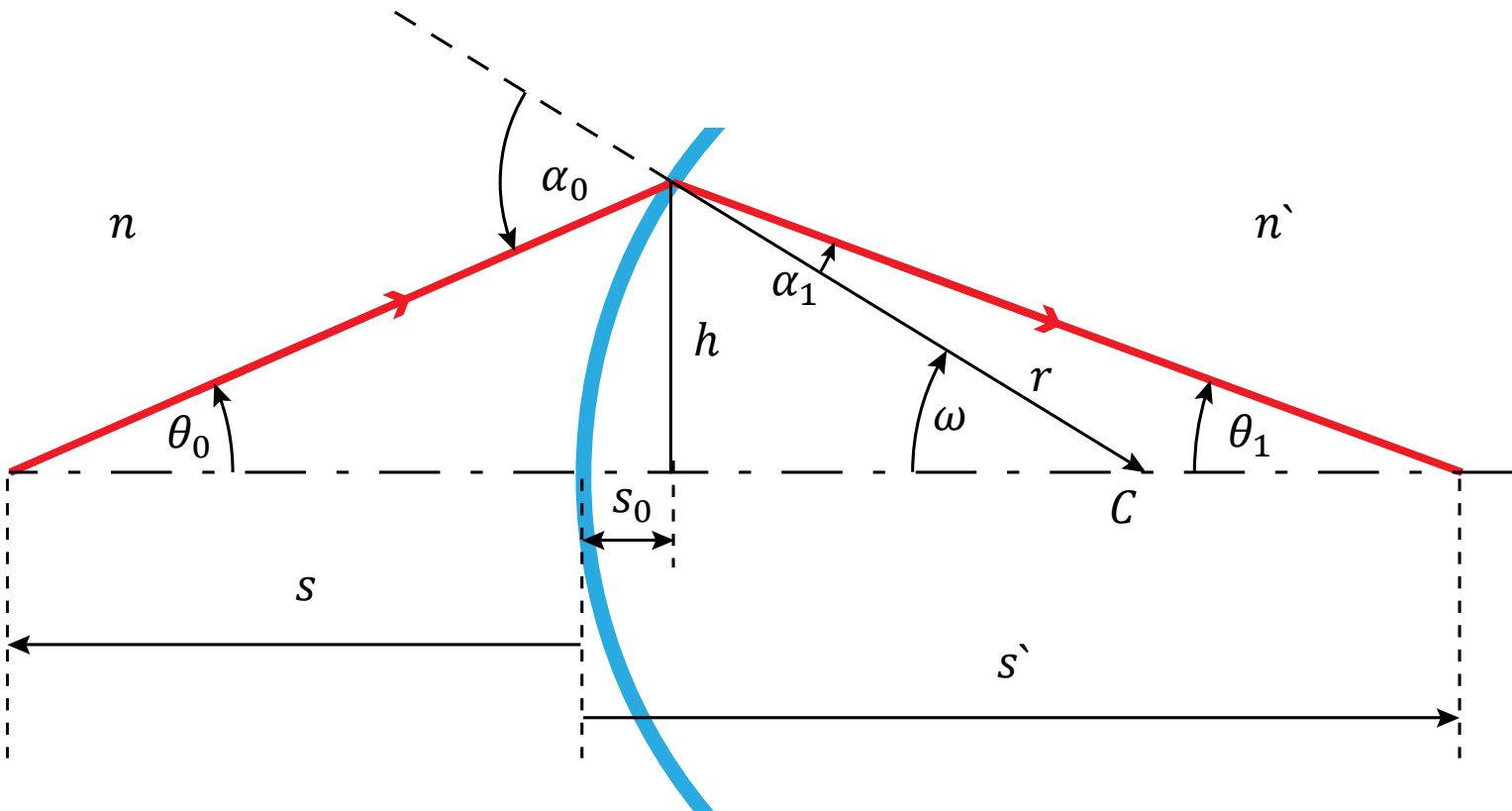
Dokonalé zobrazení

- Perfektní zobrazení v rámci schopností detektoru

Lom na kulové ploše



Lom na kulové ploše

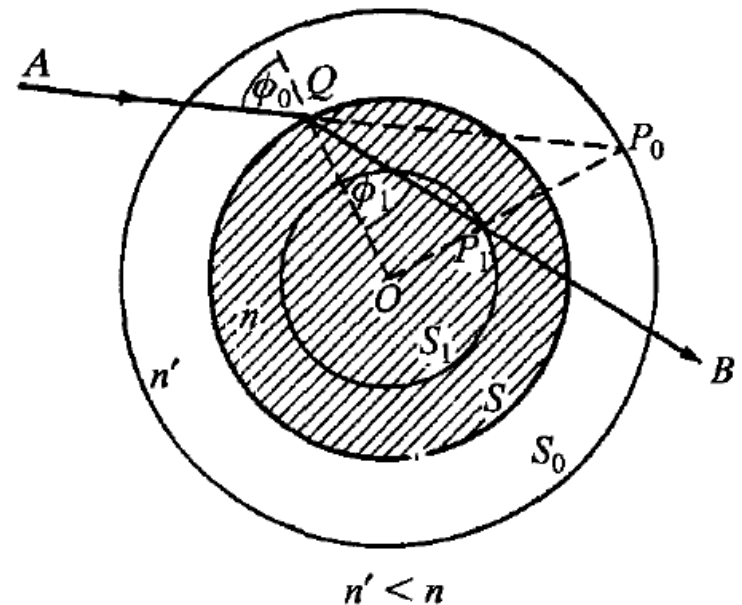


Grafické řešení

Lom paprsku na sférickém rozhraní S dvou homogenních prostředí

- Poloměr křivosti r
- Úhel dopadu ϕ_0
- Bodu dopadu Q
- Pomocné koule S_0 a S_1 s poloměry

$$(2.9) \quad r_0 = r \frac{n}{n'} \quad r_1 = r \frac{n'}{n}$$



Důkaz konstrukce lomeného paprsku B:

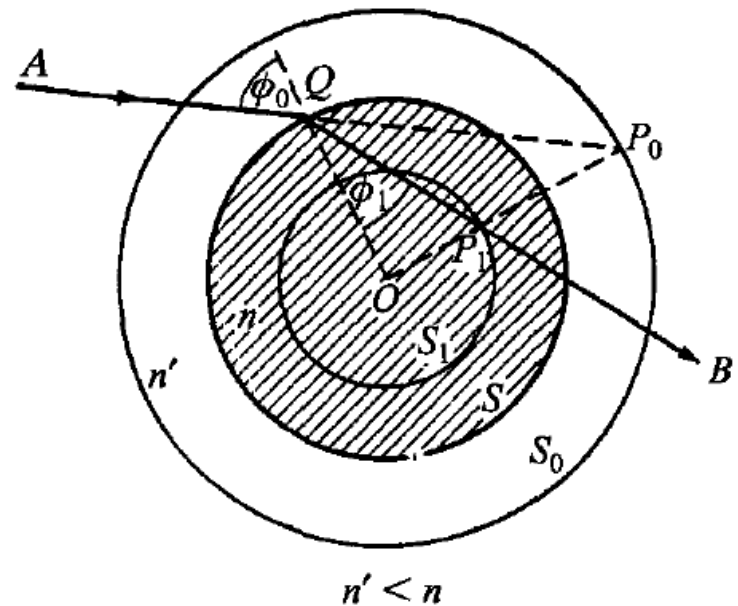
Z geometrie a dosazením (2.9) platí

$$(2.10) \quad \frac{OQ}{OP_0} = \frac{OP_1}{OQ} = \frac{n'}{n}$$

Tedy trojúhelníky QOP_0 a QOP_1 jsou podobné a úhly dopadu a lomu lze vyjádřit jako

$$(2.11) \quad \sin(\phi_1) = \frac{OP_1}{QP_1} = \frac{QO}{QP_0}$$

$$\sin(\phi_0) = \frac{OP_0}{QP_0} = \frac{QO}{QP_1}$$



Dosazením (2.11) do (2.10)

$$(2.12) \quad \frac{\sin(\phi_0)}{\sin(\phi_1)} = \frac{OP_0}{QO} = \frac{n}{n'}$$

... tedy **Snellův zákon** lomu.

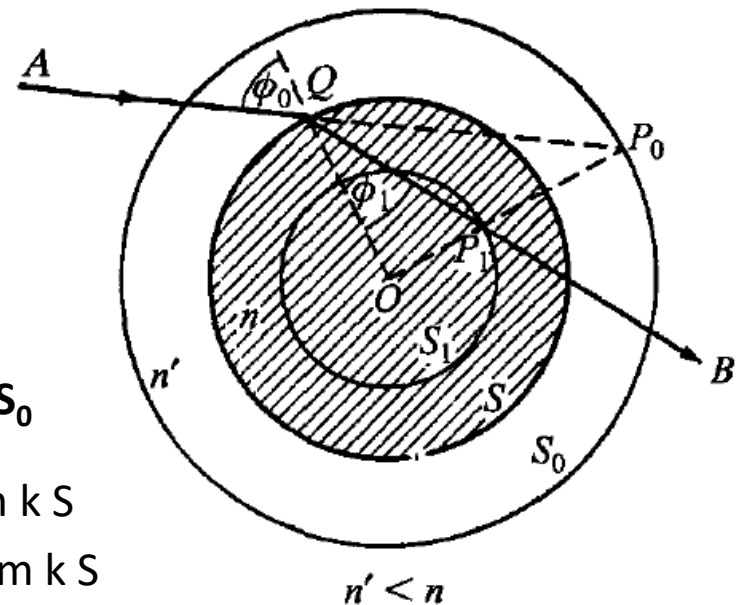
Všechny paprsky z (do) P_0 vytváří
stigmatický obraz v P_1 (sdružené body)



Plocha S_1 je stigmatickým obrazem plochy S_0

P_0 a P_1 jsou tzv. **aplanatické body** vzhledem k S

S_0 a S_1 jsou tzv. **aplanatické plochy** vzhledem k S



Zavedení nových úhlů

$$\theta_0 = \angle OP_0Q$$

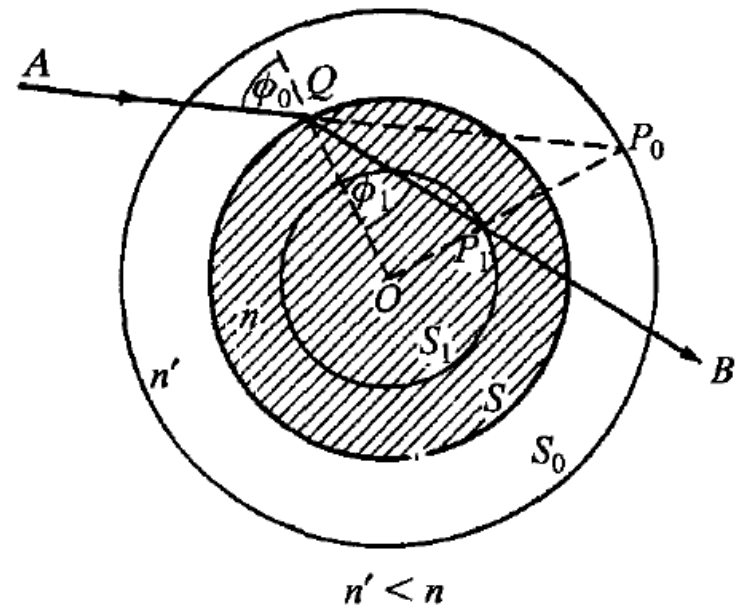
$$\theta_1 = \angle OP_1Q$$

a z podobnosti trojúhelníků QOP_0 a QOP_1 , lze (2.12) přepsat na

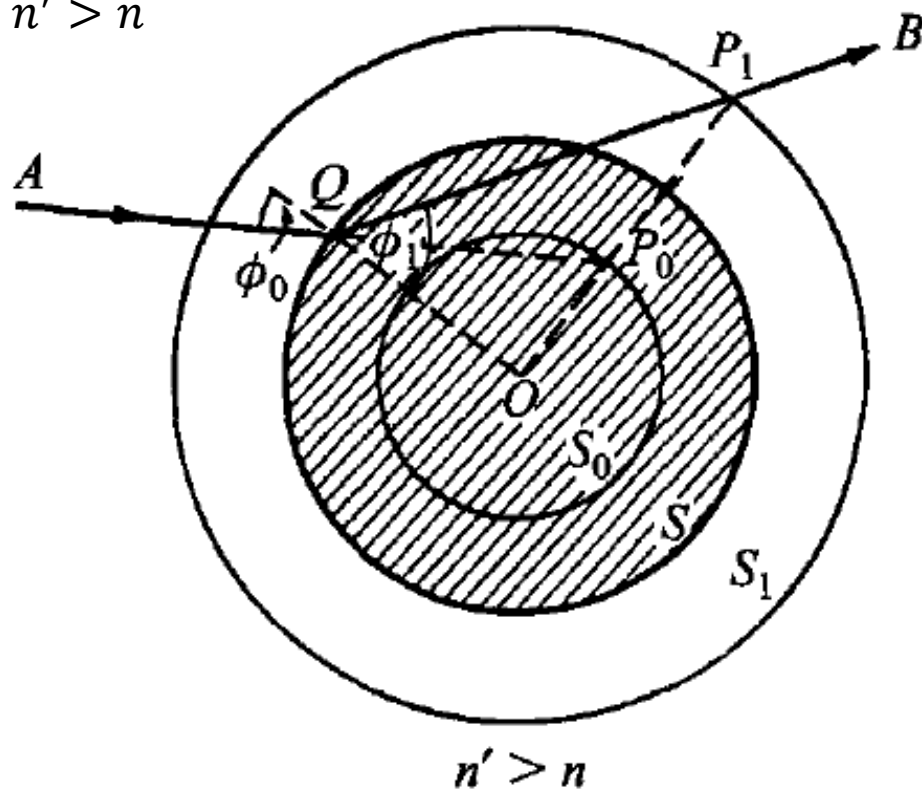
$$(2.13) \quad \frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_0)} = \frac{n}{n'} = \textit{konst.}$$



Sinova podmínka
speciální tvar



Případ pro $n' > n$



Paraxiální aproximace

- Pro zjednodušení odvození zobrazovacích vztahů
- Z mocninného rozvoje funkce *sin* a *tan* ponecháváme pouze první člen:

$$\sin \alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \frac{\alpha^7}{7!} + \dots \quad \tan \alpha = \alpha - \frac{1}{3} \alpha^3 + \frac{2}{15} \alpha^5 + \dots \quad (2.1)$$

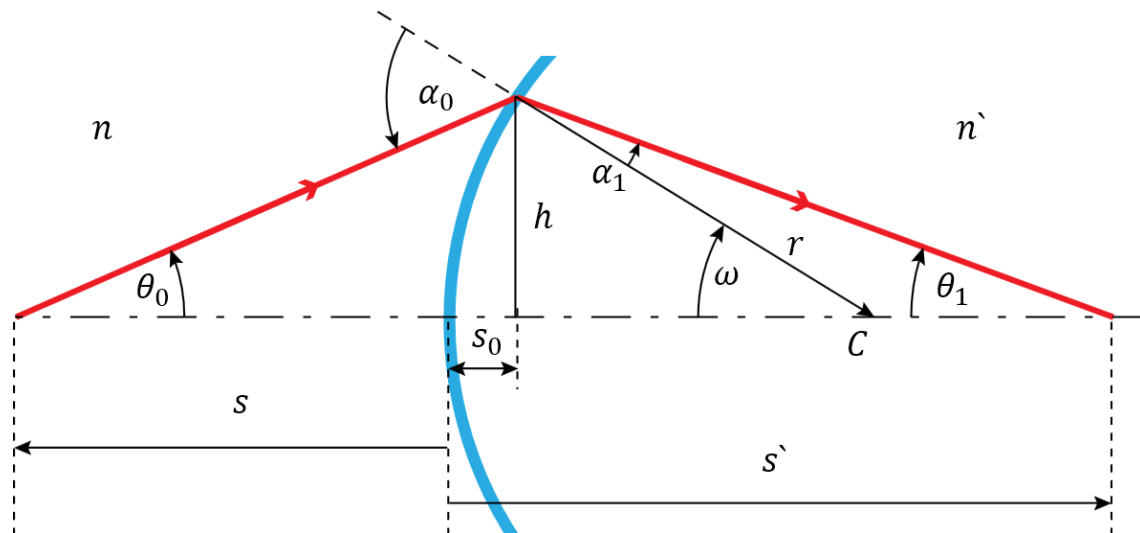
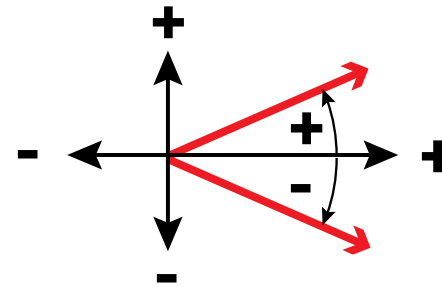
- Lze tedy ustanovit, že:

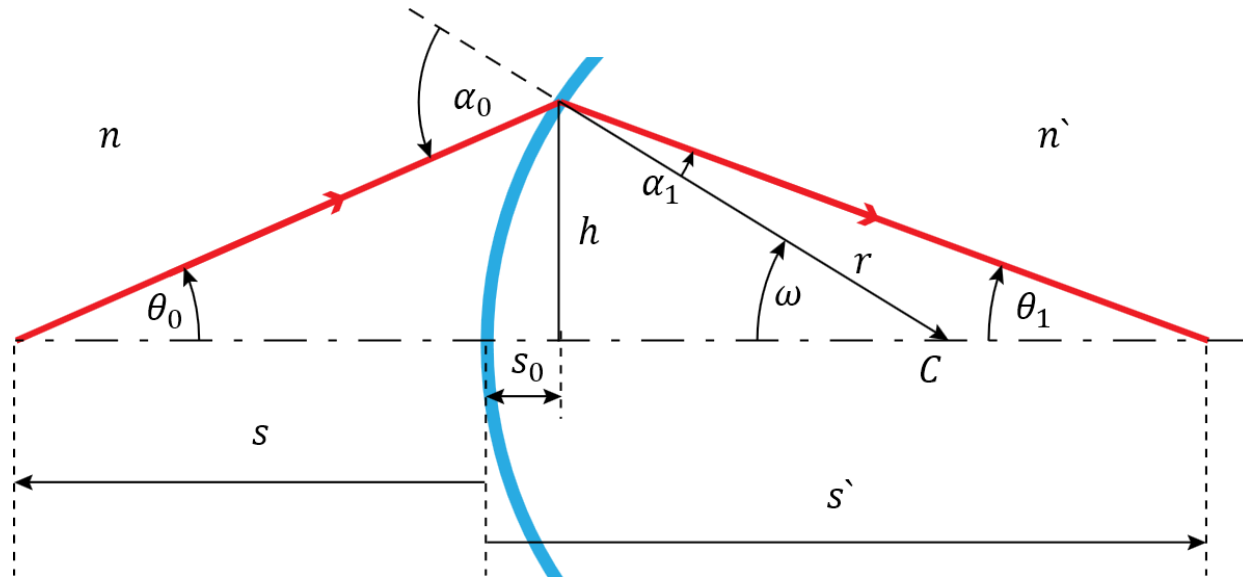
$$\sin \alpha \cong \tan \alpha \cong \alpha \quad (2.2)$$

- Platí pro paprsky blízké optické ose, pro malé úhly dopadu a lomu (<2°)
- Dostatečná přesnost pro řešení zobrazovacích úloh

Znaménková konvence

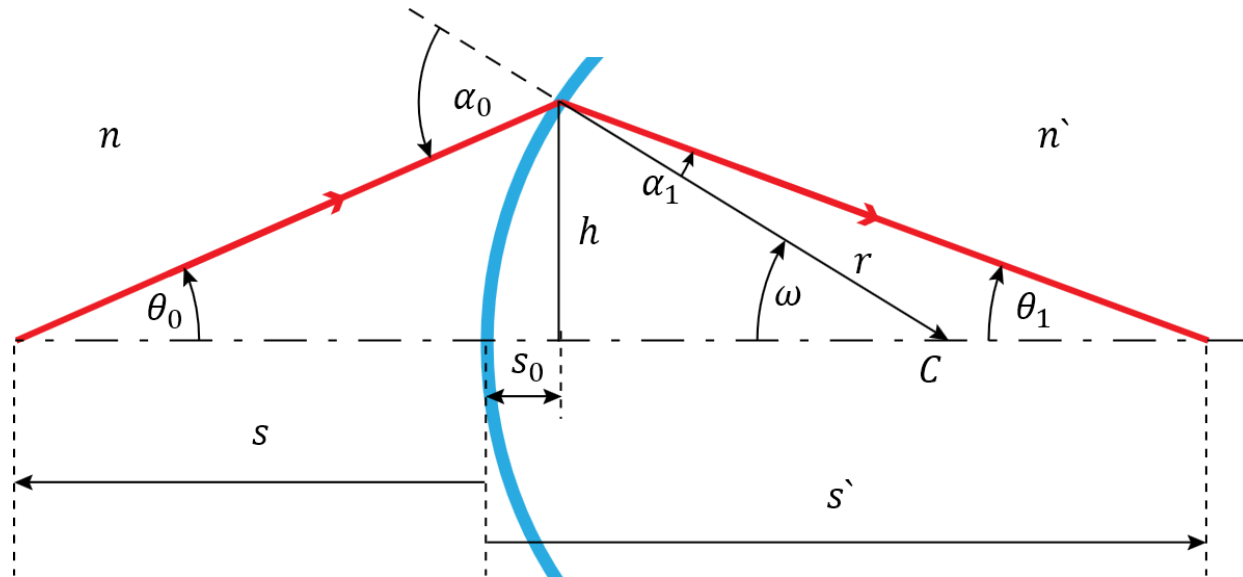
Dle kartézské soustavy souřadnic:





Z geometrického uspořádání s přihlednutím k (2.2) vyplývá:

$$\begin{aligned}
 \tan\theta_0 &= \frac{h}{-(s - s_0)} & \tan\theta_1 &= \frac{h}{-s' - s_0} & \tan\omega &= \frac{h}{-r} \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \\
 \theta_0 &= \frac{h}{-s} & \theta_1 &= \frac{h}{-s'} & \omega &= \frac{h}{-r}
 \end{aligned} \tag{2.3}$$



Pro vyznačené úhly nadále platí

$$\alpha_0 = \theta_0 - \omega \quad \alpha_1 = \theta_1 - \omega \quad (2.4)$$

V bodě lomu

$$n \sin \alpha_0 = n' \sin \alpha_1 \quad \longrightarrow \quad n \alpha_0 = n' \alpha_1 \quad (2.5)$$

Dosazením (2.3-4) do (2.5) získáváme **zobrazovací rovnici pro lom na rozhraní:**


$$\boxed{\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r}} \quad (2.6)$$

Výraz na pravé straně je roven optické mohutnosti D:

$$\varphi = \frac{n' - n}{r} \quad [D] \quad (2.7)$$

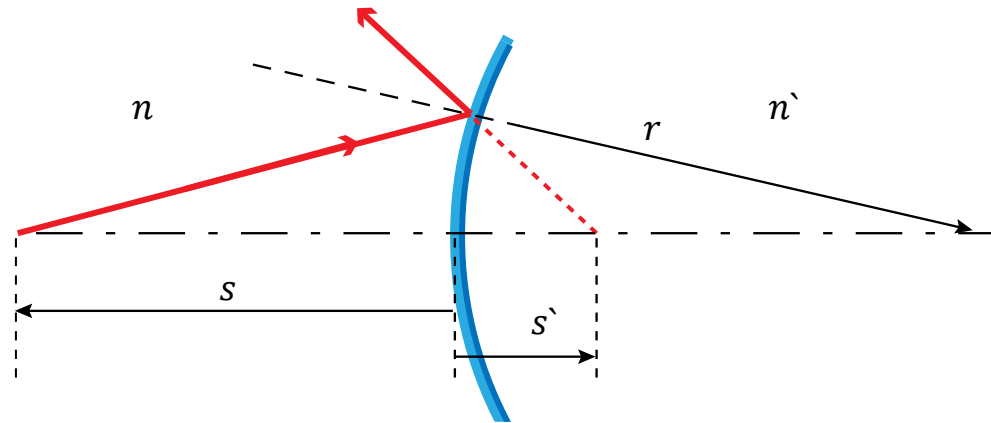
Každý předmětový bod vytvoří jeden obrazový bod – **Stigmatické zobrazení.**

Přepisem (2.6) do tvaru

$$n \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s} \right) = n' \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s'} \right) \quad (2.8)$$


získáváme na obou stranách rovnice **Abbeho invariant lomu**, konstantu pro všechny postupné lomy v systému.

Kulové zrcadlo



Matematické vyjádření odrazu: $n' = -n$ (2.14)

Dosazením do (2.6) získáváme zobrazovací rovnici ve tvaru:

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{r}} \quad (2.15)$$

Přepisem (2.9) do tvaru

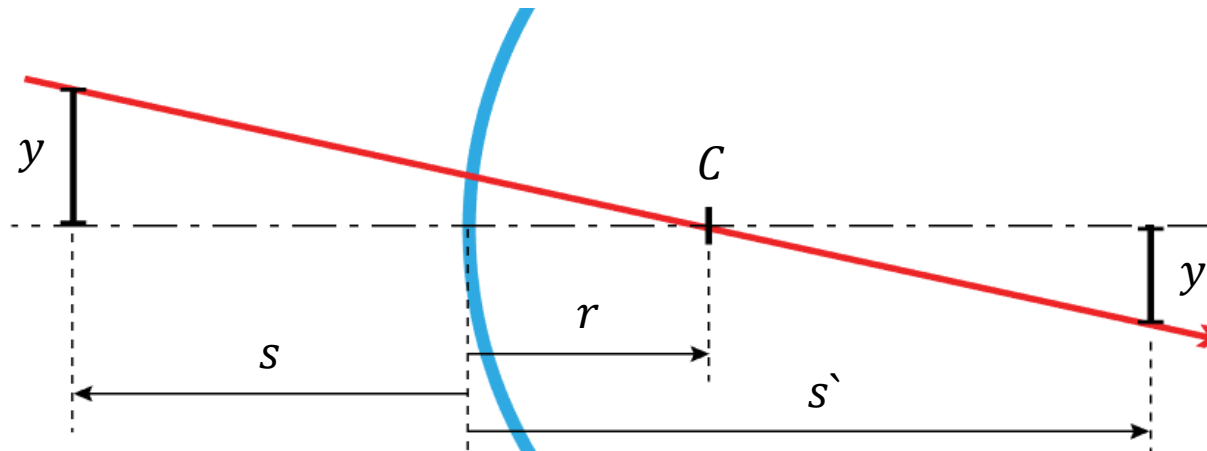
$$\frac{1}{s} - \frac{1}{r} = -\frac{1}{s'} + \frac{1}{r} \quad (2.16)$$

získáváme na obou stranách rovnice **Abbeho invariant odrazu**, konstantu pro všechny odrazy v systému.

Příčné zvětšení

Podíl sružených úseček kolmých k optické ose:

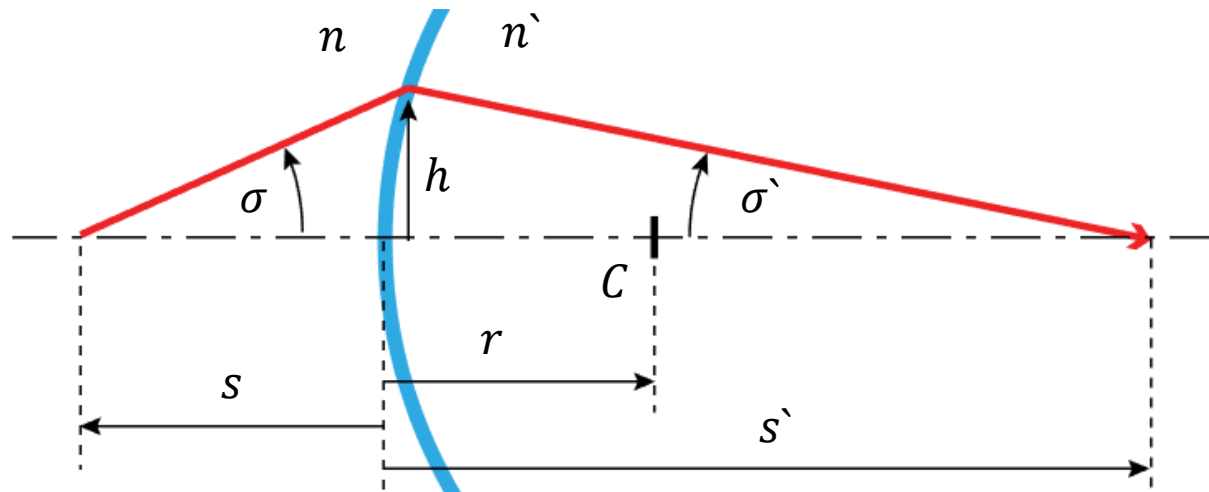
$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{y' - r}{r - y} \longrightarrow \beta = \frac{n s'}{n' s} \quad (2.17)$$



Úhlové zvětšení

Podíl úhlů sdružených úseček k optické ose:

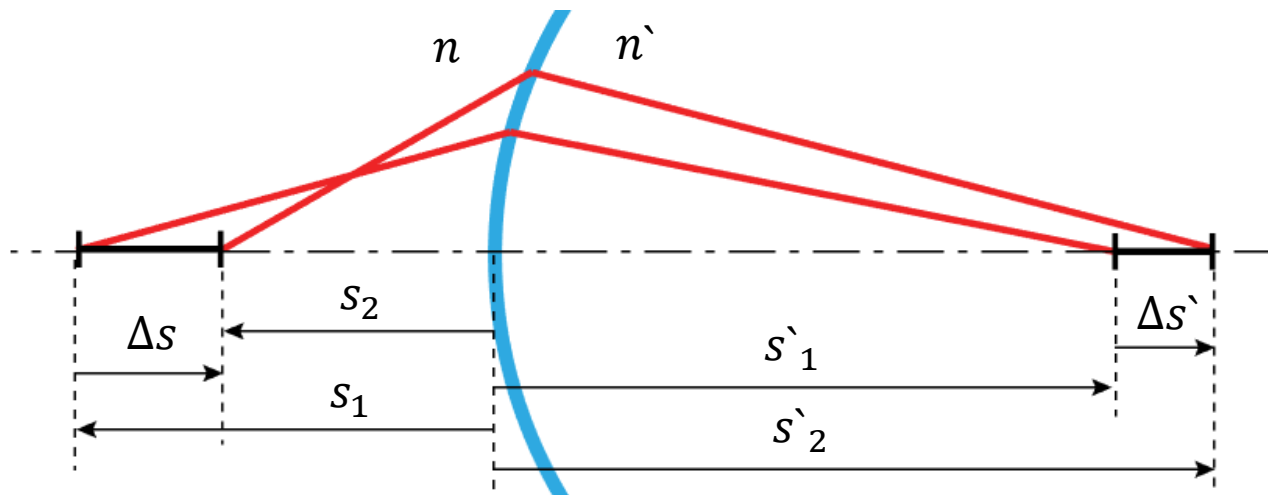
$$\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma} \longrightarrow \sigma = \frac{h}{-s} \quad \sigma' = \frac{h}{-s'} \longrightarrow \gamma = \frac{s}{s'} \frac{1}{\beta} \quad (2.18)$$



Osové zvětšení

Podíl sdružených úseček podél optické osy:

$$\alpha = \frac{\Delta s'}{\Delta s} = \frac{s'_2 - s'_1}{s_2 - s_1} = \dots = \frac{n}{n'} \frac{s'_1}{s_1} \frac{s'_2}{s_2} = \frac{n}{n'} \beta_1 \beta_2 \cong \frac{n}{n'} \beta^2 \quad (2.19)$$



Základní body

Body, reprezentující celý optický systém.

Znalost pozice základních bodů / rovin soustavy umožňuje:

- Řešit zobrazení bez znalosti fyzických parametrů a poloh rozhraní
- Řešit soustavu graficky
- **Ohniska F, F'** - body sdružené s body v nekonečnu (na optické ose)
- **Uzlové body N, N'** – sdružené body s jednotkovým úhlovým zvětšením
- **Hlavní body H, H'** – sdružené body s jednotkovým příčným zvětšením



Kolmo na optickou osu jimi prochází ohniskové, uzlové, respektive hlavní roviny.

Ohniska

Obrazové ohnisko F'

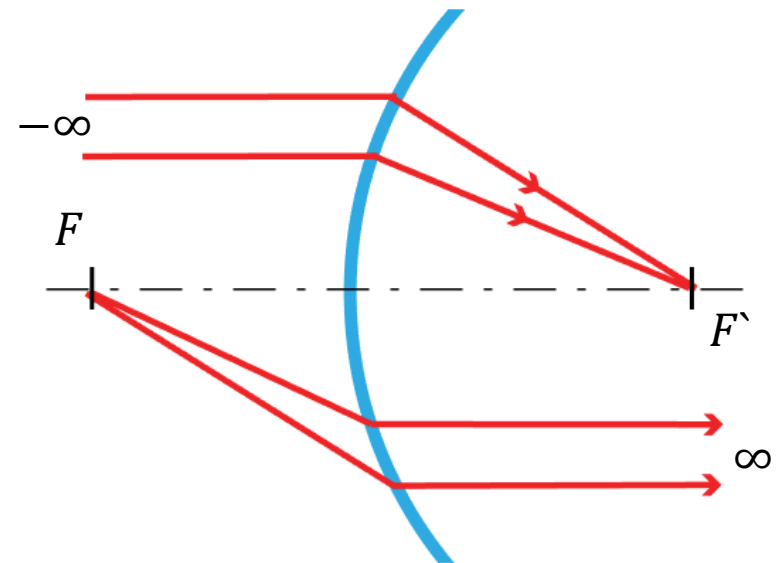
Bod, jenž je obrazem bodu v nekonečnu na optické ose

Předmětové ohnisko F

Bod, jehož obraz je v nekonečnu na optické ose



Nejedná se o vzájemně sdružené body



Ohniska

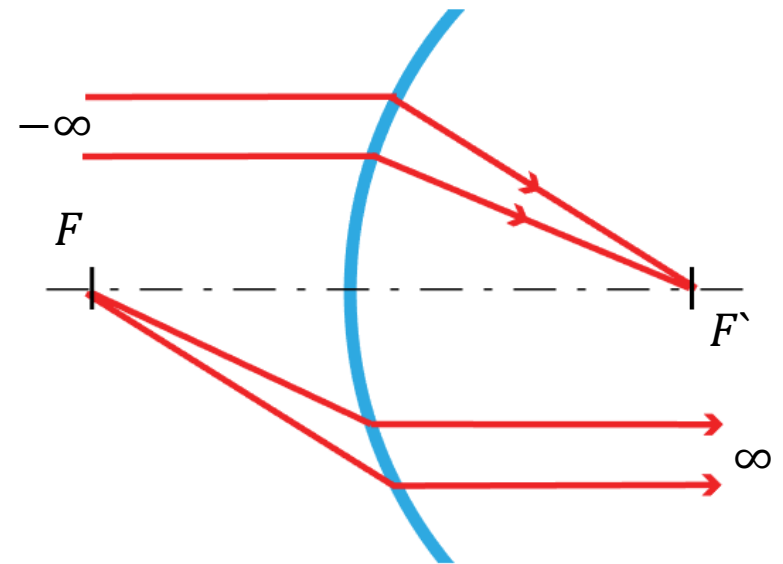
Pozice ohnisek F a F' lze vyjádřit ze zobrazovací rovnice (2.6) :

$$(2.20) \quad s \rightarrow -\infty \quad s'_{F'} \rightarrow \frac{n'r}{n' - n}$$

$$s' \rightarrow \infty \quad s_F \rightarrow -\frac{nr}{n' - n}$$

Pro kulové zrcadlo tedy platí:

$$(2.21) \quad s'_{F'} = s_F = \frac{r}{2}$$



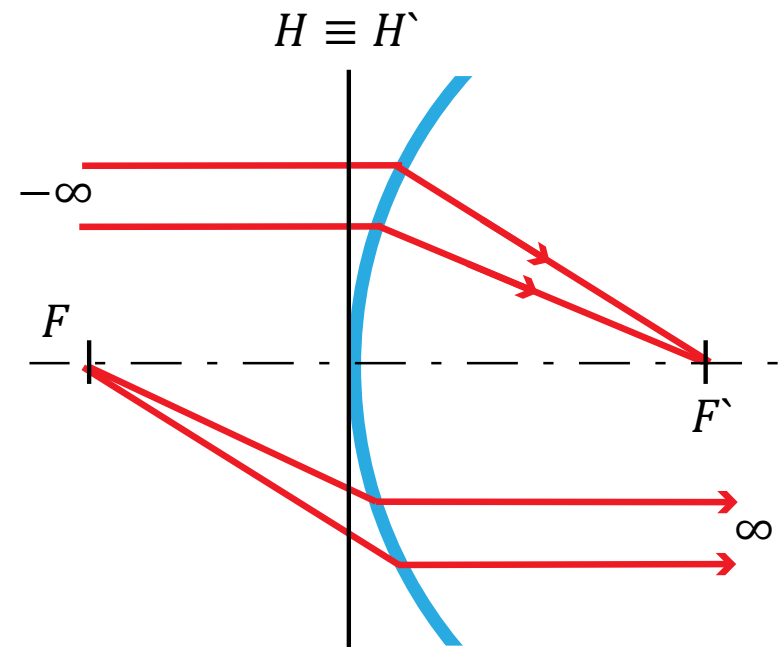
Hlavní body

Z podmínky jednotkového zvětšení
a z rovnice příčného zvětšení (2.17)
vyplývá:

$$(2.22) \quad s(H) = s'(H') = 0$$



V případě jednoho rozhraní, splývají
hlavní body s vrcholem rozhraní.



Ohniskové vzdálenosti

Obrazová ohnisková vzdálenost $f' = |H'F'|$

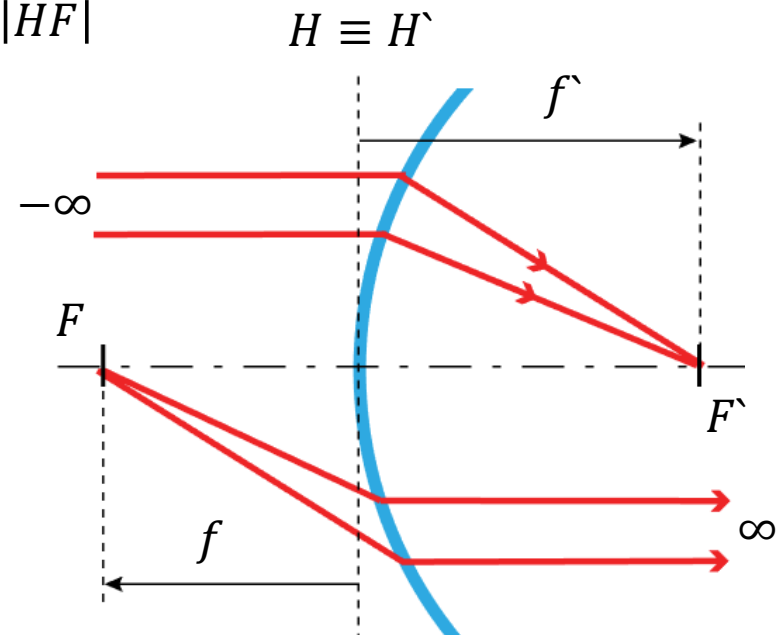
Předmětová ohnisková vzdálenost $f = |HF|$

Pro případ $H \equiv H'$ a z rovnice (2.6):

$$(2.24) \quad f' = \frac{n'r}{n' - n} \quad f \rightarrow -\frac{nr}{n' - n}$$

Úpravou dostáváme

$$(2.25) \quad \boxed{\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}}$$



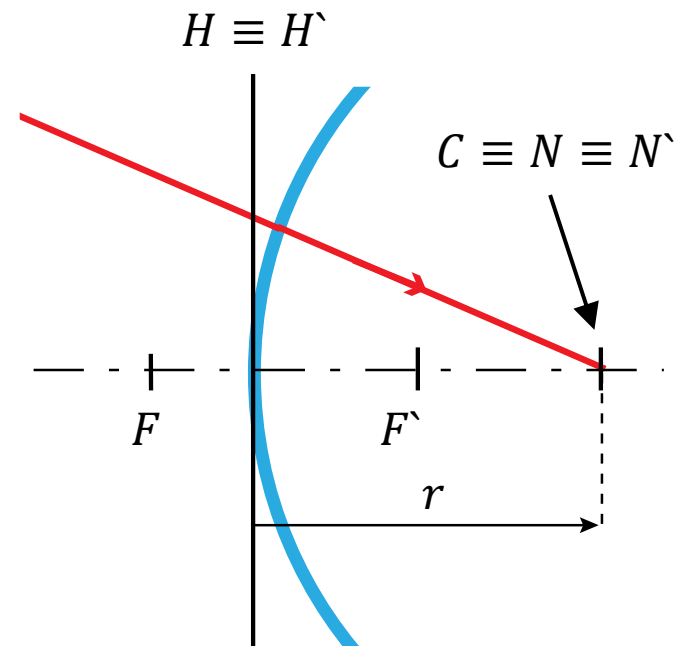
Uzlové body

Z podmínky jednotkového úhlového zvětšení a z rovnice úhlového zvětšení (2.18) vyplývá

$$(2.23) \quad s(N) = s'(N') = r$$

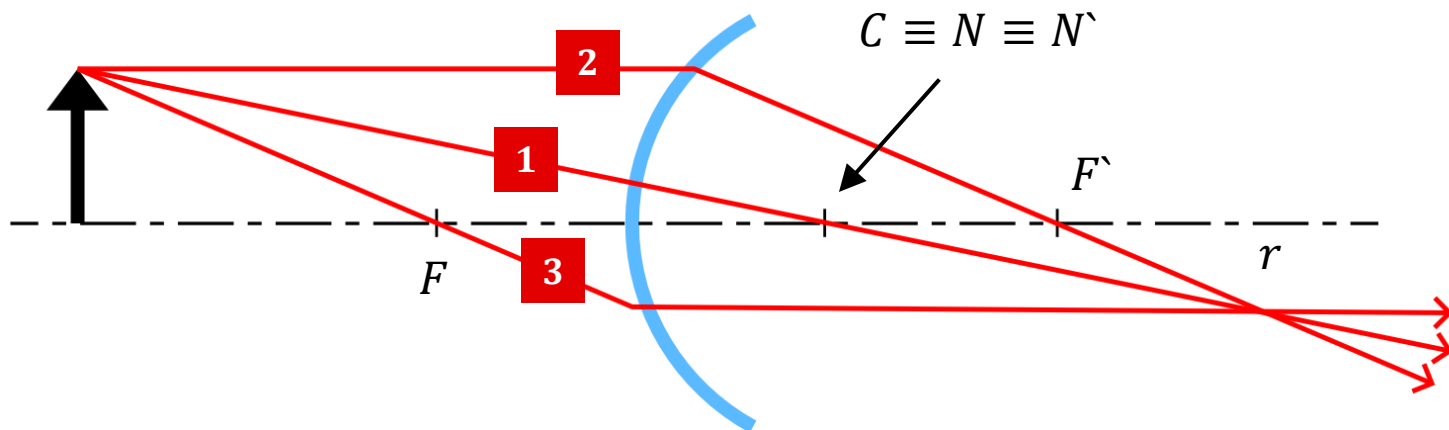


Uzlové body leží ve středu křivosti.



Základní paprsky

- Pro grafické řešení zobrazení

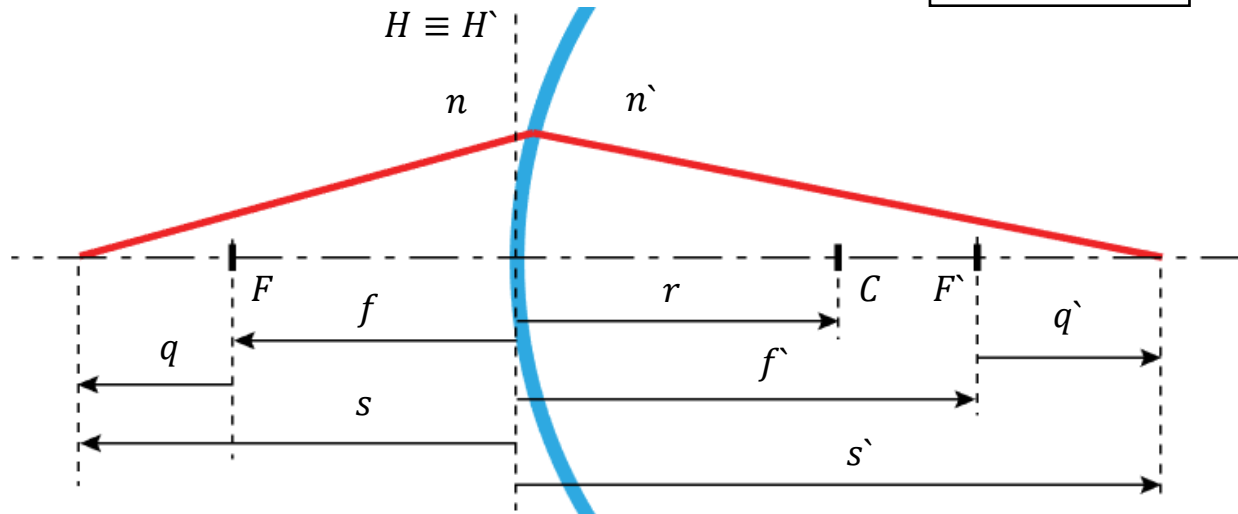


Zobrazení vztažené na ohniska

Z geometrie platí: $s = q + f$ $s' = q' + f'$ (2.26)

Dosazením do zobrazovací rovnice (2.6) a úpravou získáváme **Newtonovu zobrazovací rovnici**:

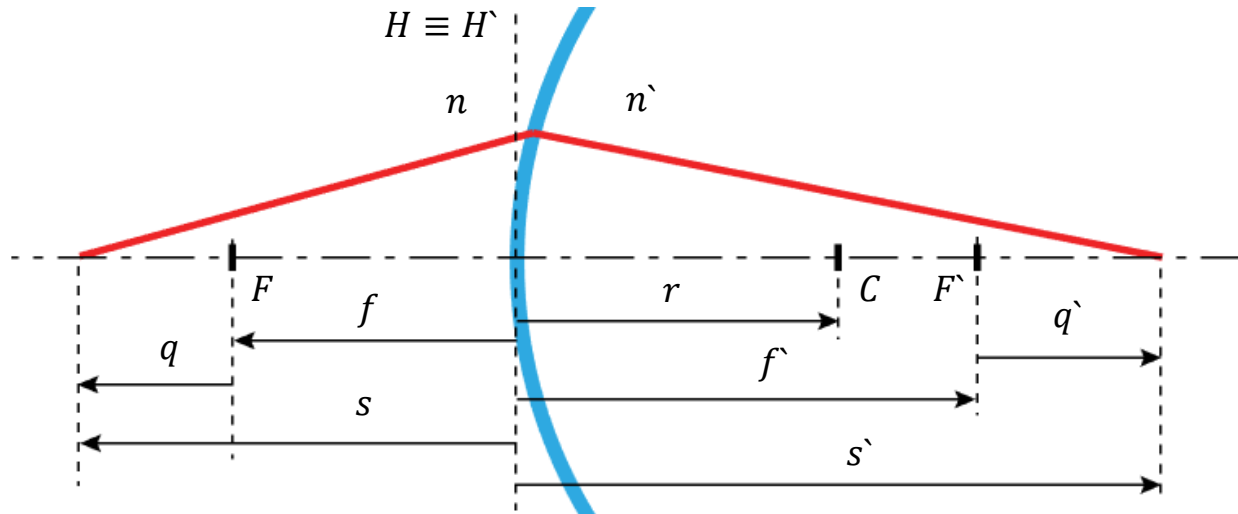
$$qq' = ff' \quad (2.27)$$



Pro příčné zvětšení platí dle geometrie (2.17):

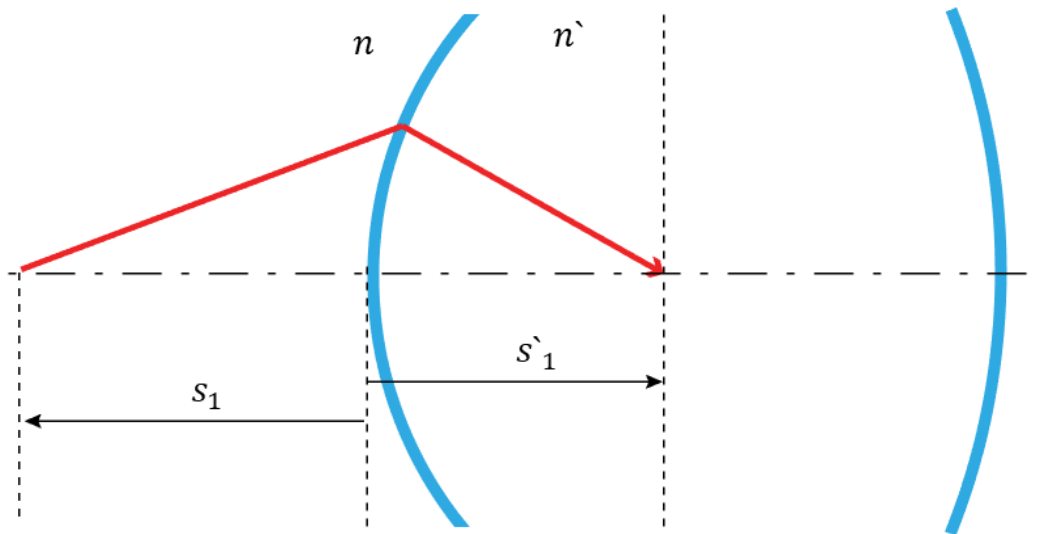
$$\beta = \frac{n s'}{n' s} = \frac{n q' + f'}{n' q + f} \quad (2.28)$$

Použitím (2.24) získáváme: $\beta = -\frac{f}{q} = -\frac{q'}{f'}$ (2.29)



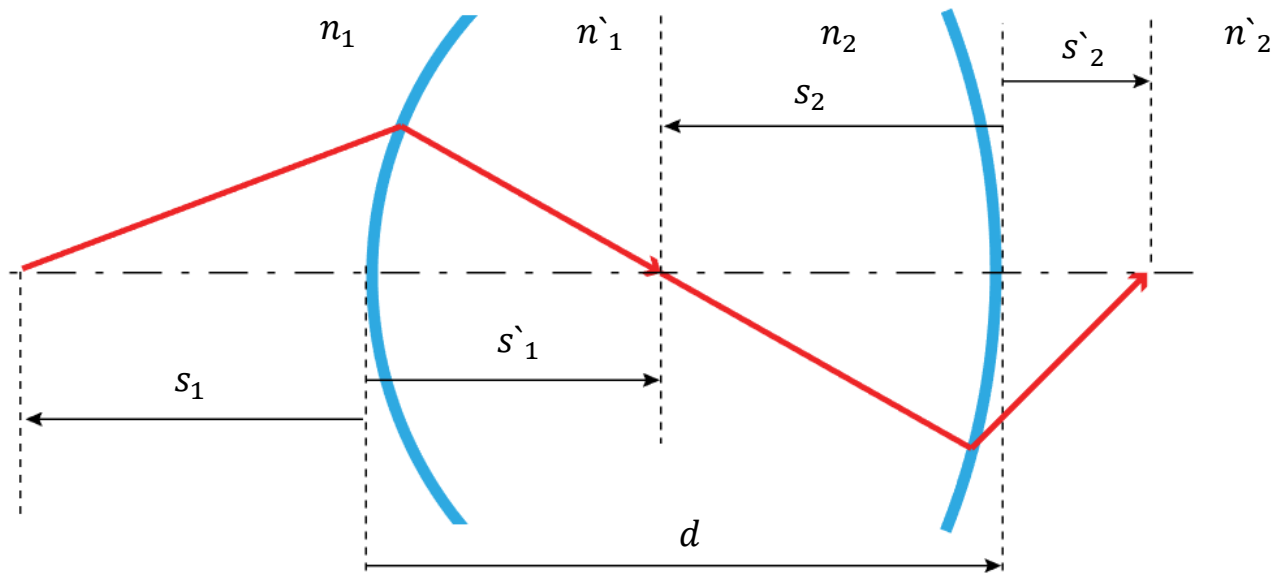
Tlustá čočka

- Kombinace 2 lomových ploch tvořících dohromady čočku
- Postupné zobrazení přes I. a následně přes II. plochu



Tlustá čočka

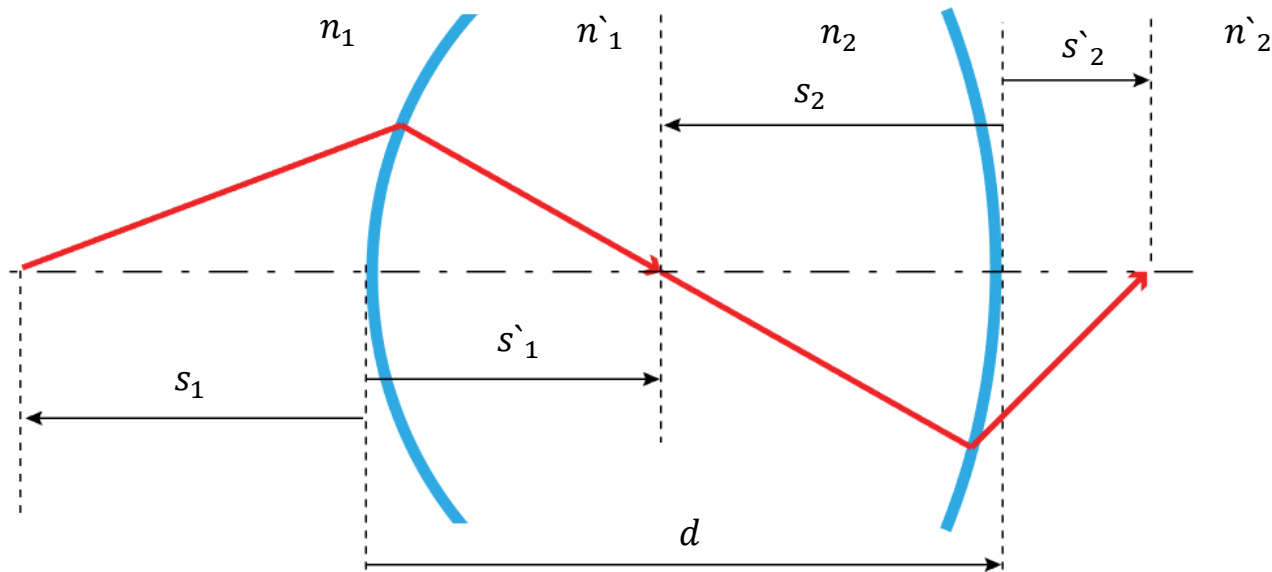
- Kombinace 2 lomových ploch tvořících dohromady čočku
- Postupné zobrazení přes I. a následně přes II. plochu



Dvojití využití zobrazovací rovnice (2.6)

$$\frac{n'_1}{s'_1} - \frac{n_1}{s_1} = \frac{n'_1 - n_1}{r_1} \longrightarrow \frac{n'_2}{s'_2} - \frac{n_2}{s_2} = \frac{n'_2 - n_2}{r_2} \quad (3.1)$$

Kde platí, že $s_2 = s'_1 - d$ $n'_1 = n_2$ (3.2)



Na základě vztahů pro zvětšení jedné lámavé plochy, vyjádříme vztahy pro tlustou čočku.

$$\text{Celkové příčné zvětšení: } \beta_C = \frac{y'_2}{y_1} = \beta_1 \beta_2 = \frac{n_1 s'_1 s'_2}{n_2 s_1 s_2} \quad (3.3)$$

$$\text{Celkové úhlové zvětšení: } \gamma_C = \frac{\sigma'_2}{\sigma_1} = \gamma_1 \gamma_2 = \frac{n_1}{n_2} \frac{1}{\beta_C} \quad (3.4)$$

$$\text{Celkové osové zvětšení: } \alpha_C = \frac{\Delta s'_2}{\Delta s_1} = \alpha_1 \alpha_2 = \frac{n_2}{n_1} \frac{1}{\beta_C^2} \quad (3.5)$$

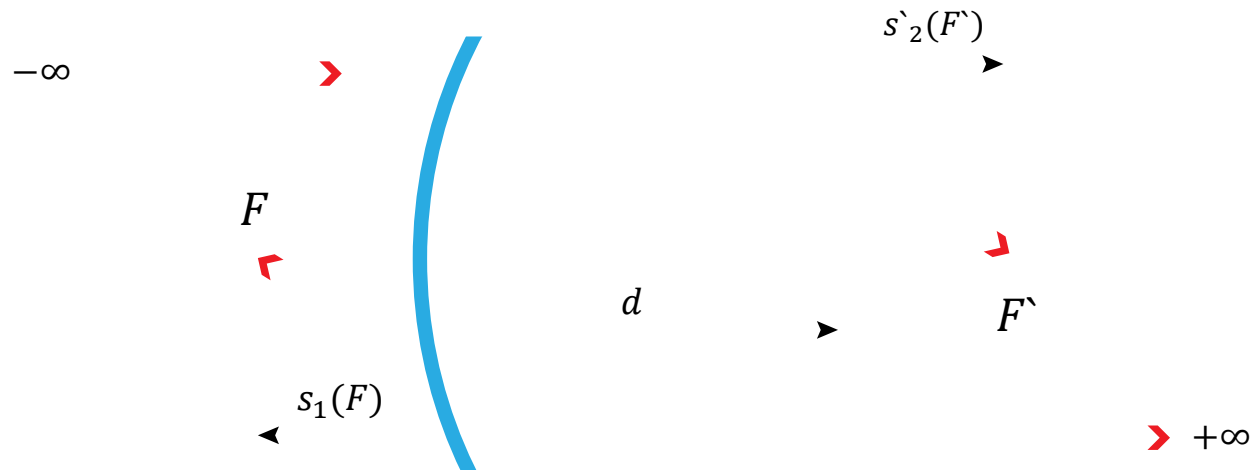
Jsou-li na obou stranách tlusté čočky shodná optická prostředí, platí:

$$\gamma_C = \alpha_C \beta_C \quad (3.6)$$

Tlustá čočka, stejně jako jakýkoli optický systém, má své celkové základní body, jejichž pozici je pro konstrukci / řešení zobrazení výhodné znát.

Ohniska tlusté čočky

Sečné pozice ohnisek získáme řešením zobrazovacích rovnic (3.1) pro předmět v nekonečnu (obraz je pak v F'), respektive pro obraz v nekonečnu (předmět je pak v F).



Tlustá čočka, stejně jako jakýkoli optický systém, má své celkové základní body, jejichž pozici je pro konstrukci / řešení zobrazení výhodné znát.

Ohniska tlusté čočky

Sečné pozice ohnisek získáme řešením zobrazovacích rovnic (3.1) pro předmět v nekonečnu (obraz je pak v F'), respektive pro obraz v nekonečnu (předmět je pak v F).

$$s_1(F) = -\frac{r_1[nr_2 + (n-1)d]}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]} \quad (3.7)$$

$$s'_2(F') = \frac{r_2[nr_1 - (n-1)d]}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]} \quad (3.8)$$

Hlavní body tlusté čočky

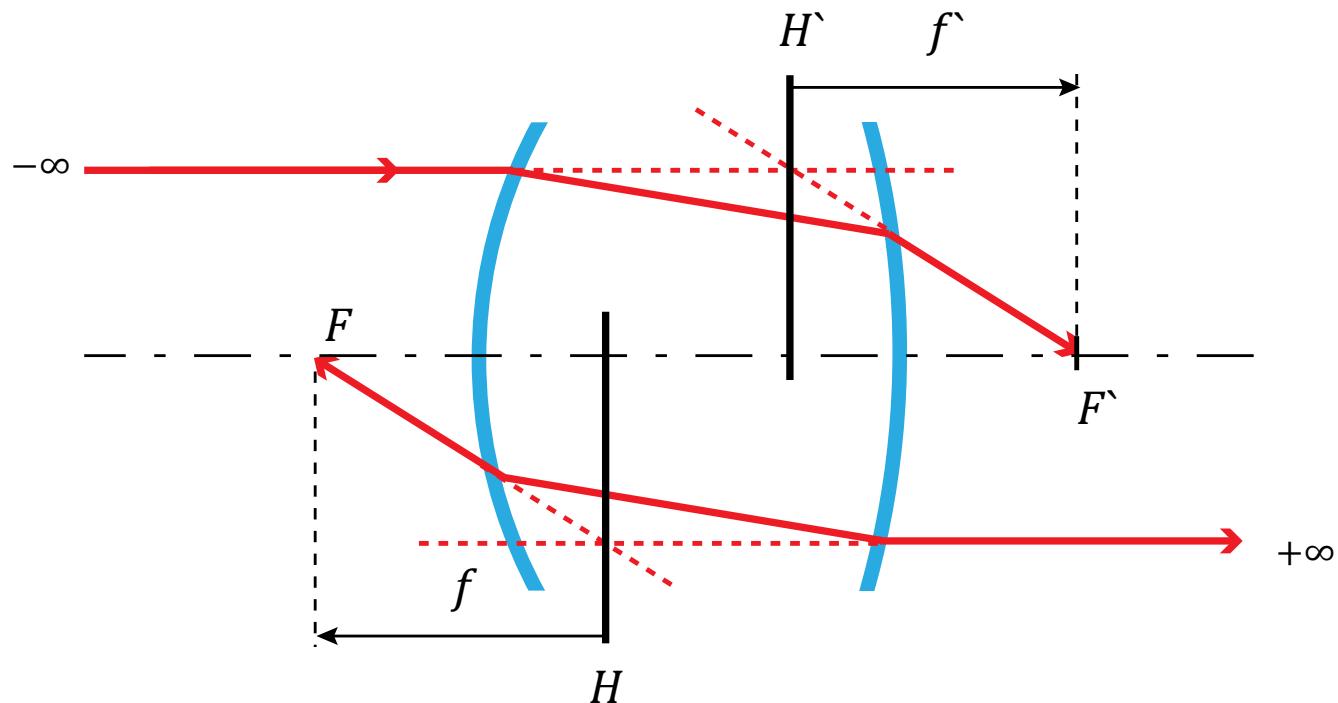
Z podmínky $\beta_C = 1$ a ze zobrazovacích rovnic (3.1 a 3.3) lze získat:

$$s_1(H) = -\frac{d(n_2 - n'_2)n_1r_1}{A} \quad s'_2(H') = -\frac{d(n'_1 - n_1)n'_2r_1}{A} \quad (3.9)$$

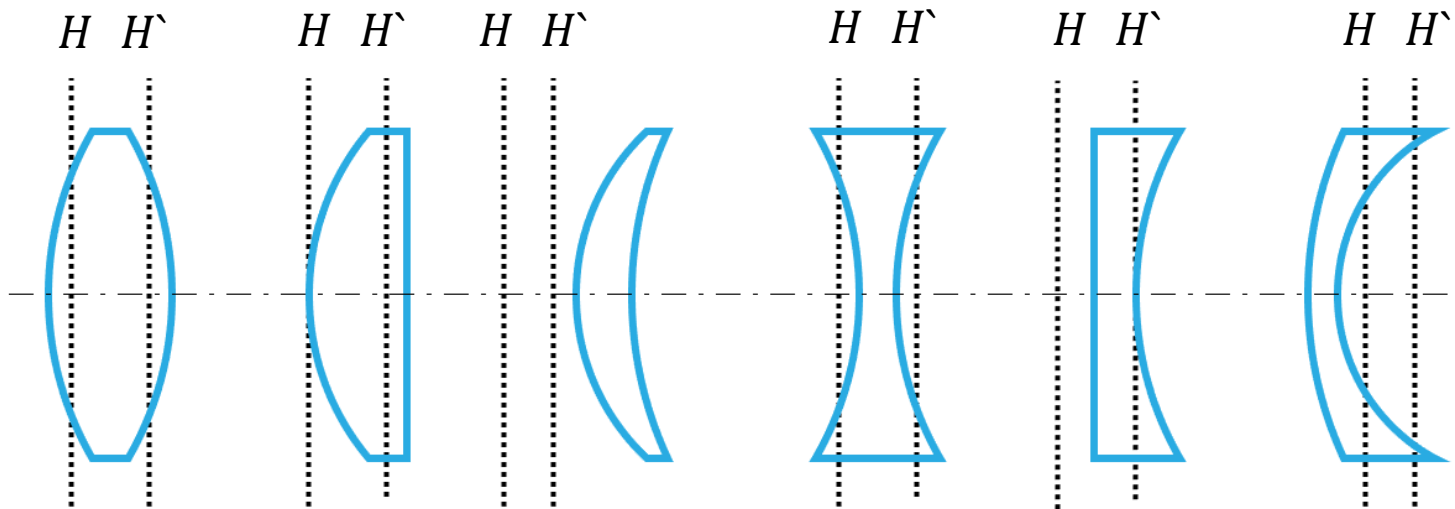
kde $A = f(n_1, n'_1, n_2, n'_2, r_1, r_2, d)$

- ! Zatímco u jedné lámavé plochy spolu hlavní roviny splývají ve vrcholu rozhraní, hlavní roviny soustavy mají obecně různou polohu.

Z podmínky $\beta_C = 1$ lze nalézt hlavní body také graficky – jako průsečíky prodloužení dopadajícího a lomeného paprsku.



Možné pozice hlavních rovin



V případě jedné tlusté čočky je pořadí hlavních rovin neměnné.

Ohniskové vzdálenosti

Z geometrie vyplývá vztah:
$$f = -\frac{n_1}{n_2} \frac{s_1 s_2}{s_2} \quad (3.10)$$

Poměr ohniskových vzdáleností lze vyjádřit:
$$\frac{f}{f'} = -\frac{n_2}{n_1} \quad (3.11)$$

Pro tlustou čočku na vzduchu ($n_1 = n_2 = 1$) tedy platí:

$$\boxed{f = -f'} \quad \boxed{\frac{1}{f'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n - 1)^2}{n} \frac{d}{r_1 r_2}} \quad (3.12)$$

Použitím vztahu (3.12) je možné sečné vzdálenosti ohnisek tlusté čočky přepsat do přehlednější podoby:

$$s_1(F) = -f \left(1 + \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_2} \right) \quad s_2(F') = f \left(1 - \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_1} \right) \quad (3.13)$$

Sečné vzdálenosti hlavních bodů lze následně získat odečtením příslušné ohniskové vzdálenosti od (3.13)

$$s_1(H) = -f \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_2} \quad s_2(H') = -f \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_1} \quad (3.14)$$

Uzlové body

Z podmínky $\gamma_C = 1$ je možné vypočítat přes vztah (3.4) ze zobrazovacích rovnic (3.1 a 3.3) pozice příslušných sdružených bodů.

Pro případ $n_1 = n_2$ platí ze vztahu pro úhlové zvětšení (3.4), že

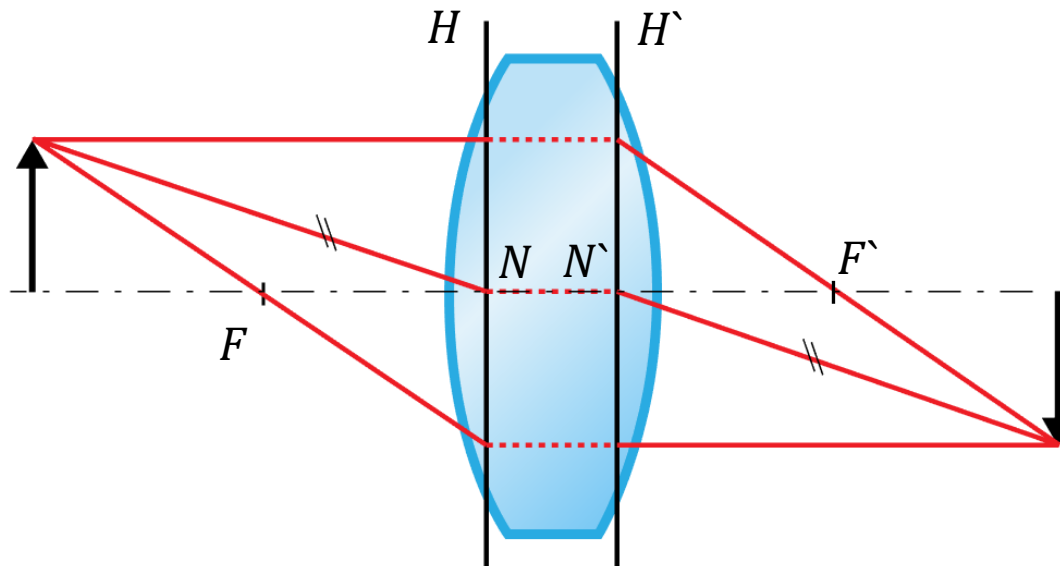
$$\gamma_C = \frac{n_1}{n_2} \frac{1}{\beta_C} = \frac{1}{\beta_C} \quad (3.15)$$



Jsou-li na obou stranách tlusté čočky shodná optická prostředí,
splývají uzlové body s body hlavními.

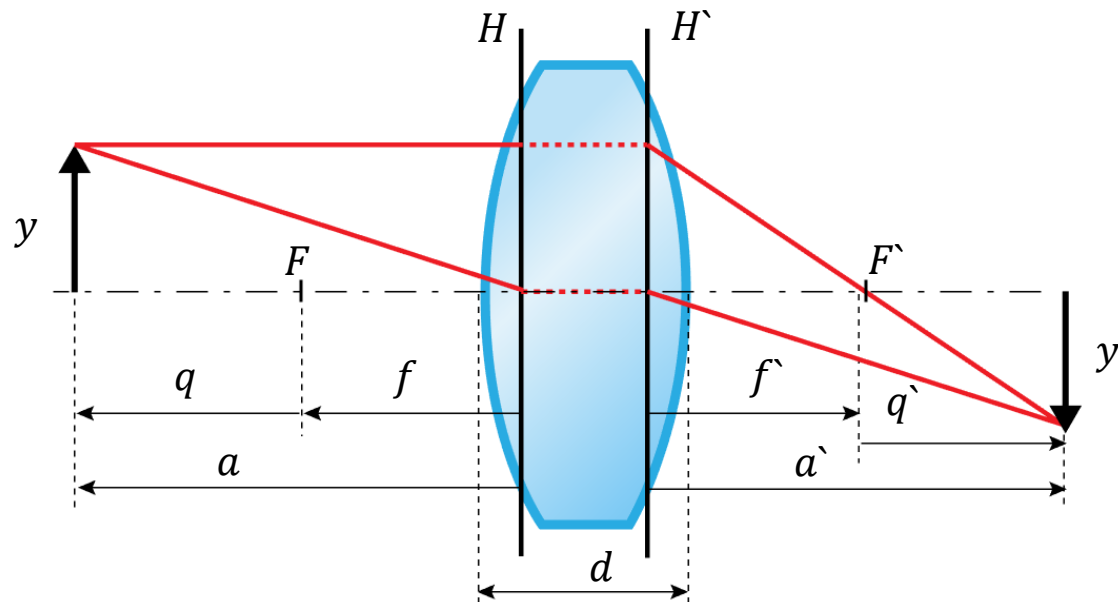
Grafické řešení

Pomocí základních bodů / rovin a 3 základních paprsků lze zobrazení řešit graficky



Zobrazovací rovnice

- Postupné dvojí zobrazení pomocí rovnice (2.6) lze ze znalosti poloh hlavních bodů s výhodou nahradit jednou rovnicí.
- Odvození vychází z geometrie uspořádání jednotlivých veličin



Zobrazovací rovnice

Newtonova zobrazovací rovnice

Využívá vzdálenosti vztažené k ohniskům

$$\boxed{qq' = ff'} \quad \boxed{\beta = \frac{f'}{q} = -\frac{g'}{f'}} \quad (3.16)$$

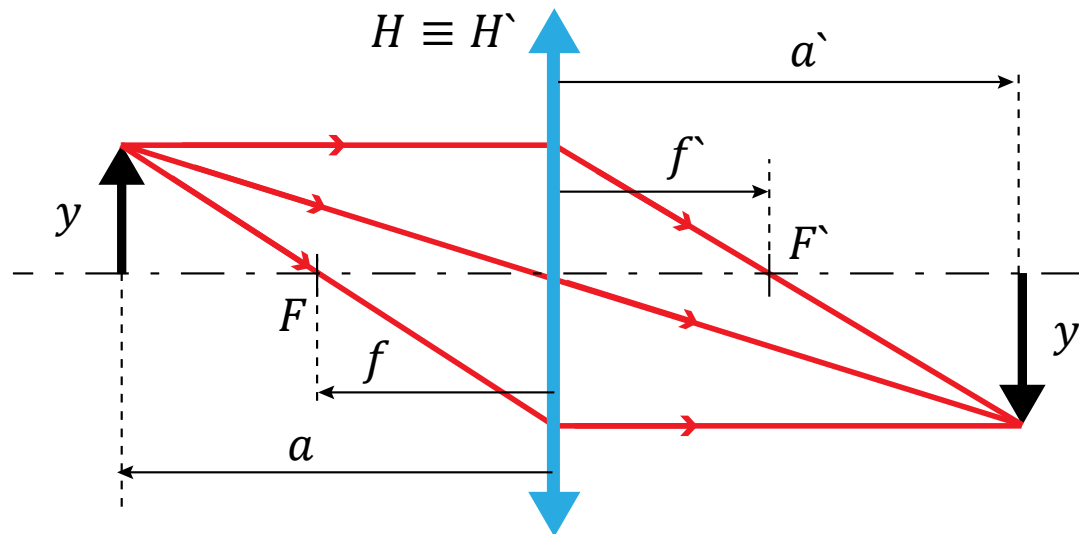
Gaussova zobrazovací rovnice

Využívá vzdálenosti vztažené k hlavním rovinám:

$$\boxed{\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}} \quad \boxed{\beta = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}} \quad (3.17)$$

Tenká čočka

- Speciální případ tlusté čočky, aproximace pro $d \rightarrow 0$
- Splývají spolu rozhraní, hlavní roviny i uzlové body
- Zobrazovací vztahy jsou shodné s tlustou čočkou



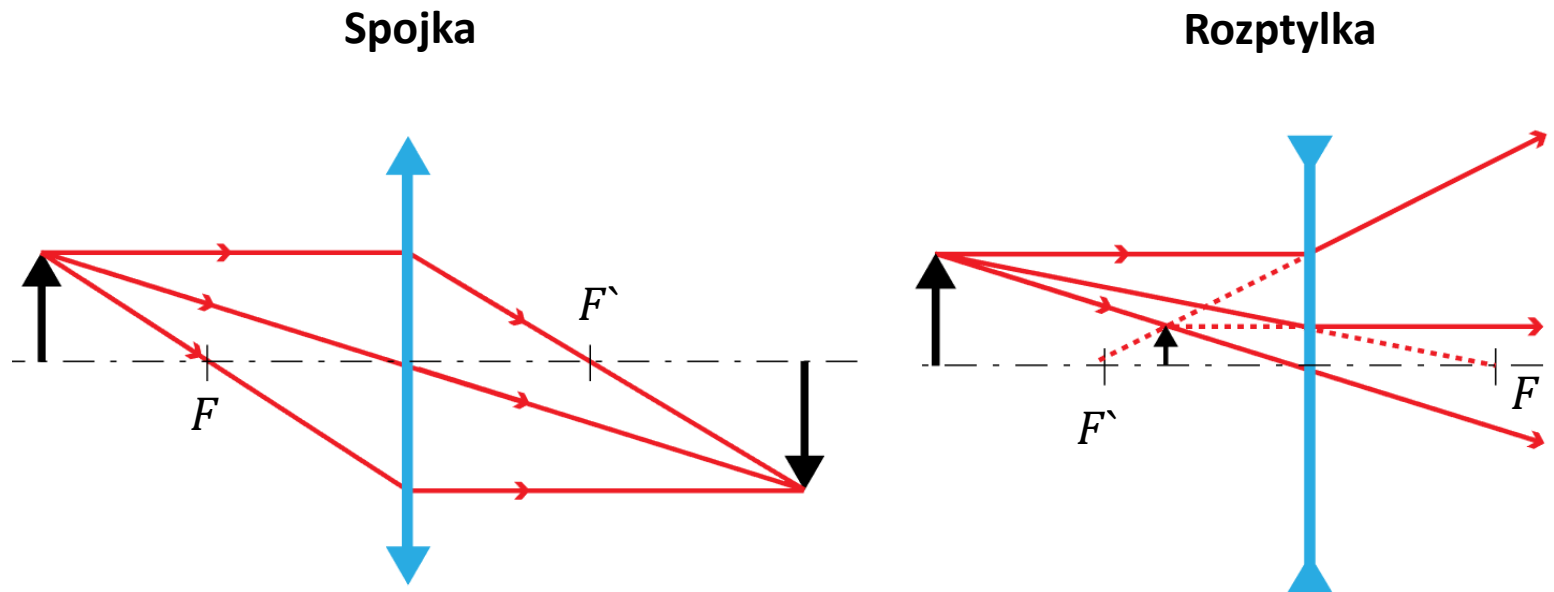
Tenká čočka

Vztah (3.12) pro celkovou ohniskovou vzdálenost se v případě tenké čočky redukuje do podoby:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (3.18)$$

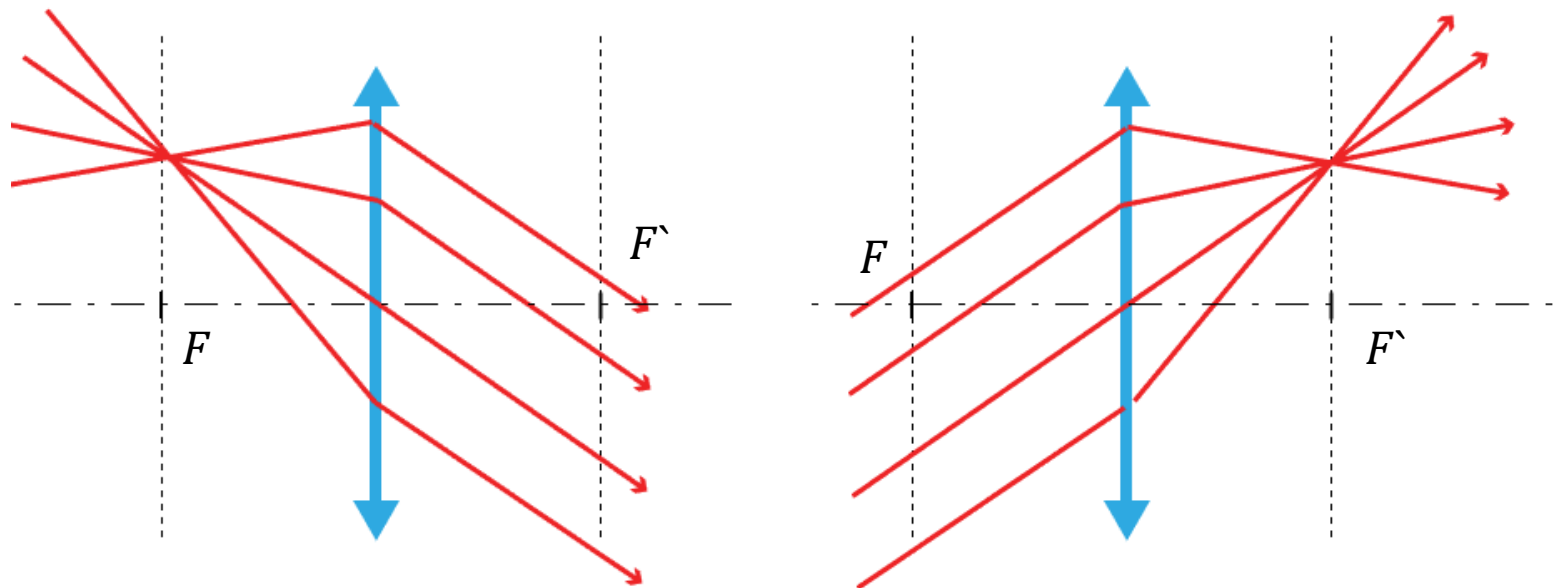
Tenká čočka

Základní chody paprsků jsou shodné s tlustou čočkou.



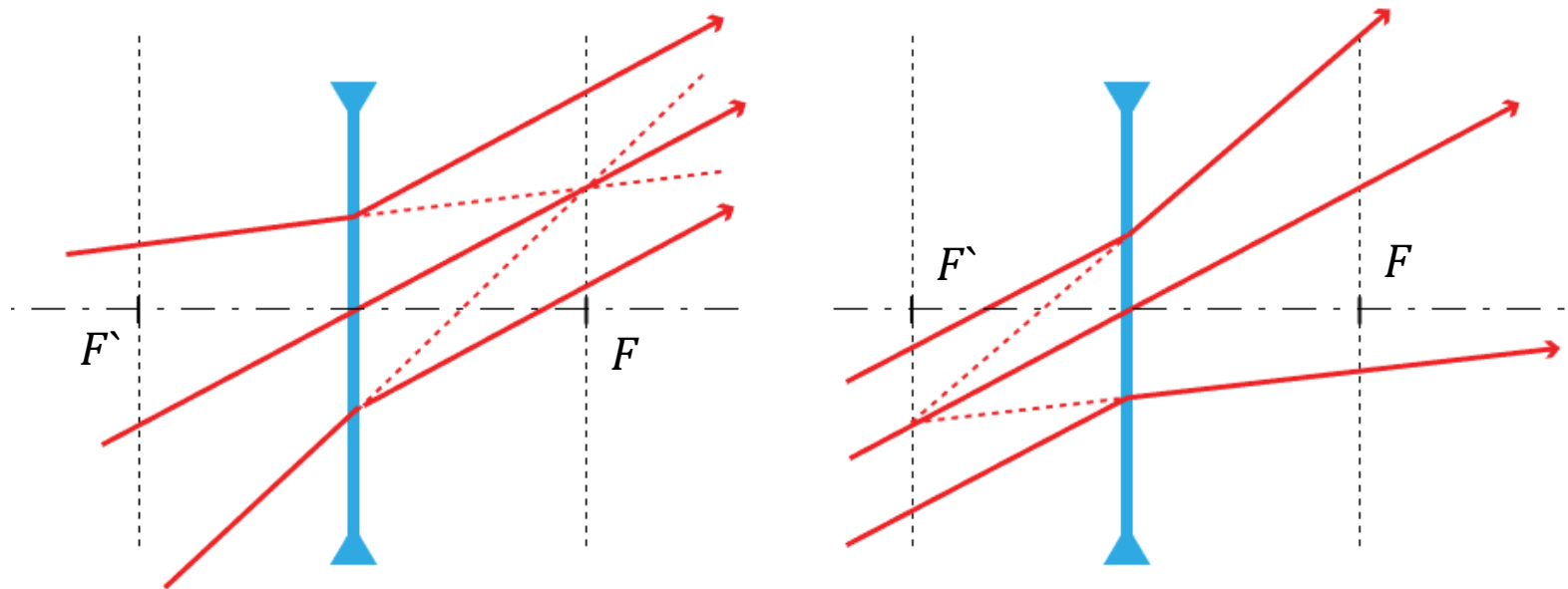
Obecný chod paprsků

Spojka



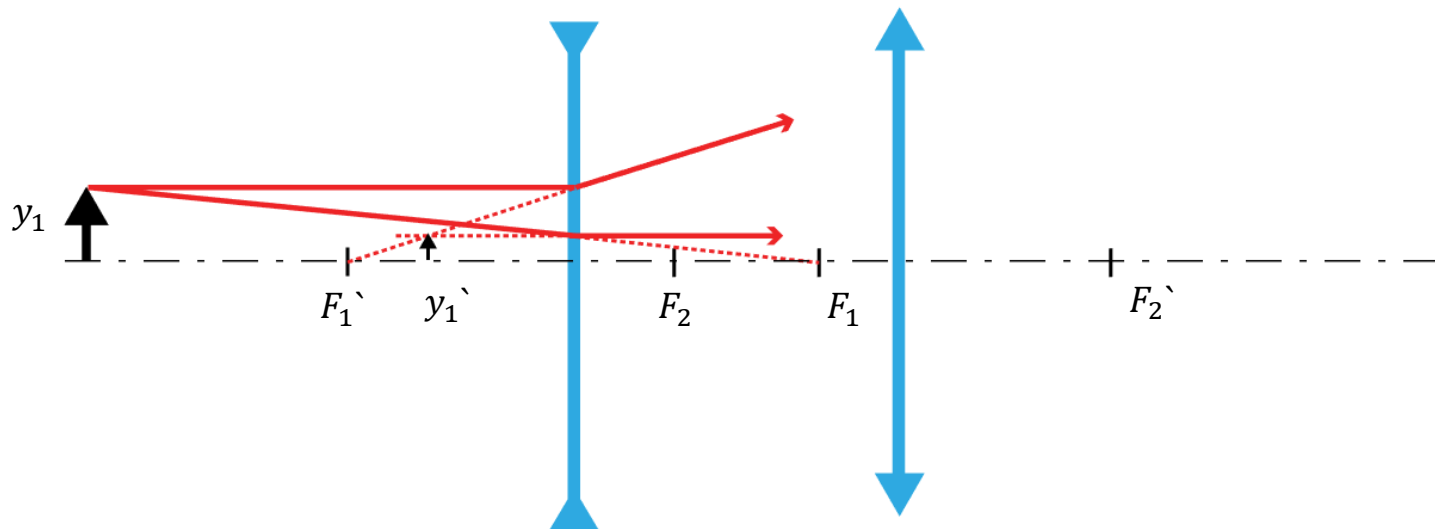
Obecný chod paprsků

Rozptylka



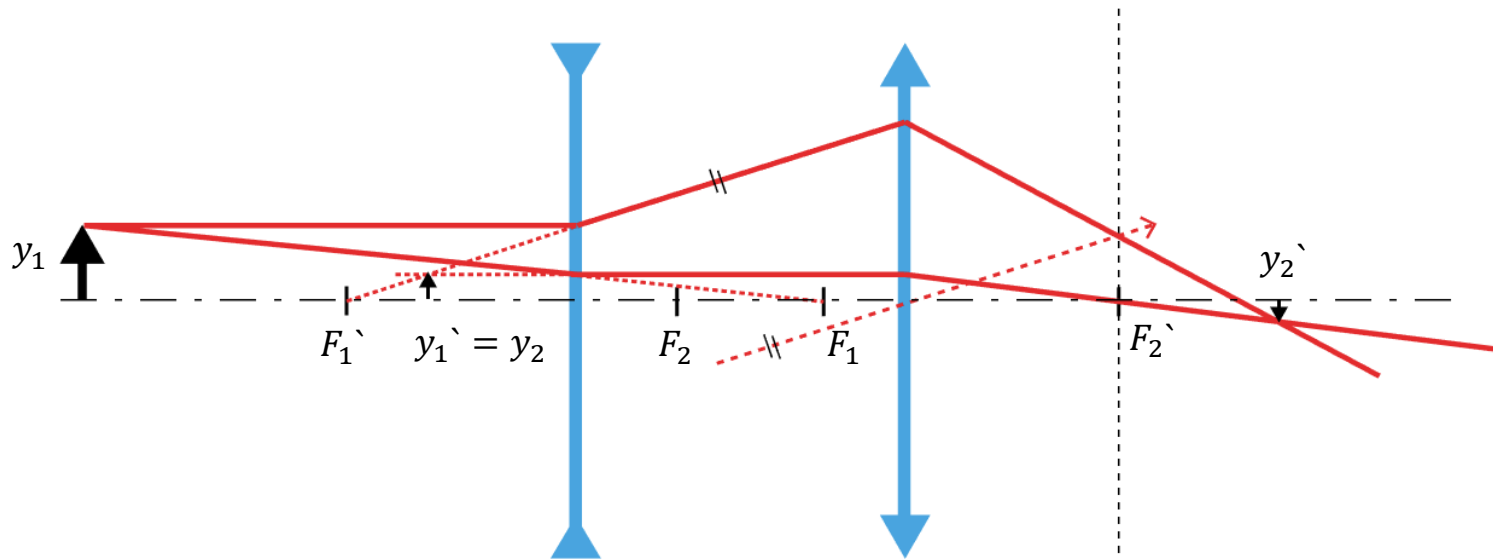
Soustavy tenkých čoček

- Opakované řešení zobrazovacích rovnic (3.10-3.11) pro jednotlivé čočky
- Obraz předešlého zobrazení je předmětem pro následující zobrazení



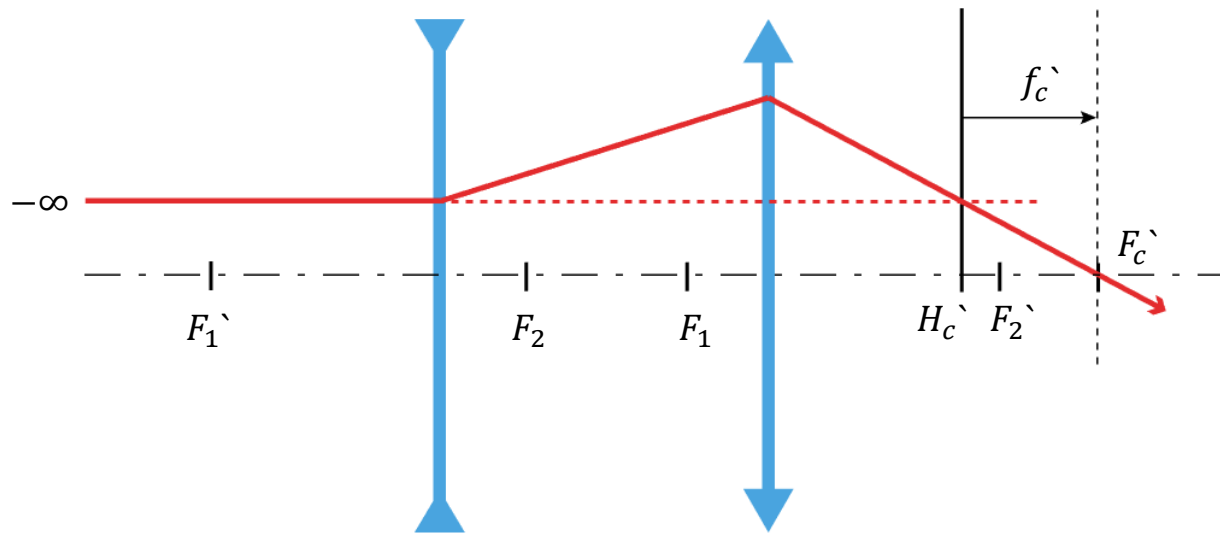
Soustavy tenkých čoček

- Cyklické řešení zobrazovacích rovnic (3.10-3.11)
- Obraz předešlého zobrazení je předmětem pro následující zobrazení



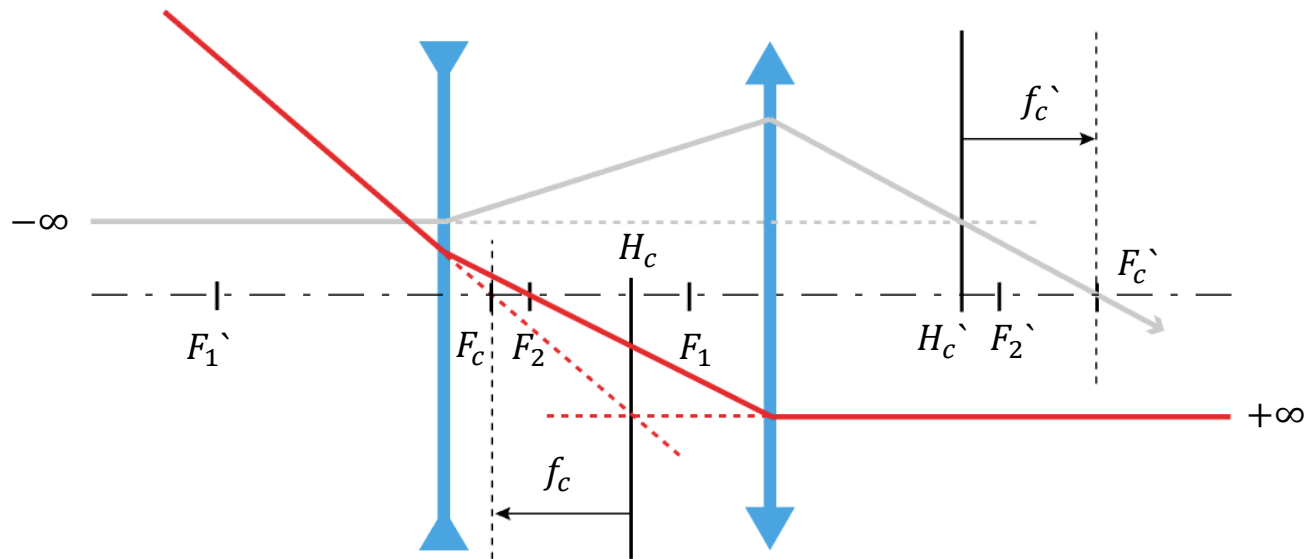
Základní body soustavy

- Soustava čoček, stejně jako jakákoli optická soustava, má svá celková ohniska, hlavní body, uzlové body a ohniskové vzdálenosti.
- Zobrazení pomocí jediné Gaussovy či Newtonovy zobrazovací rovnice.



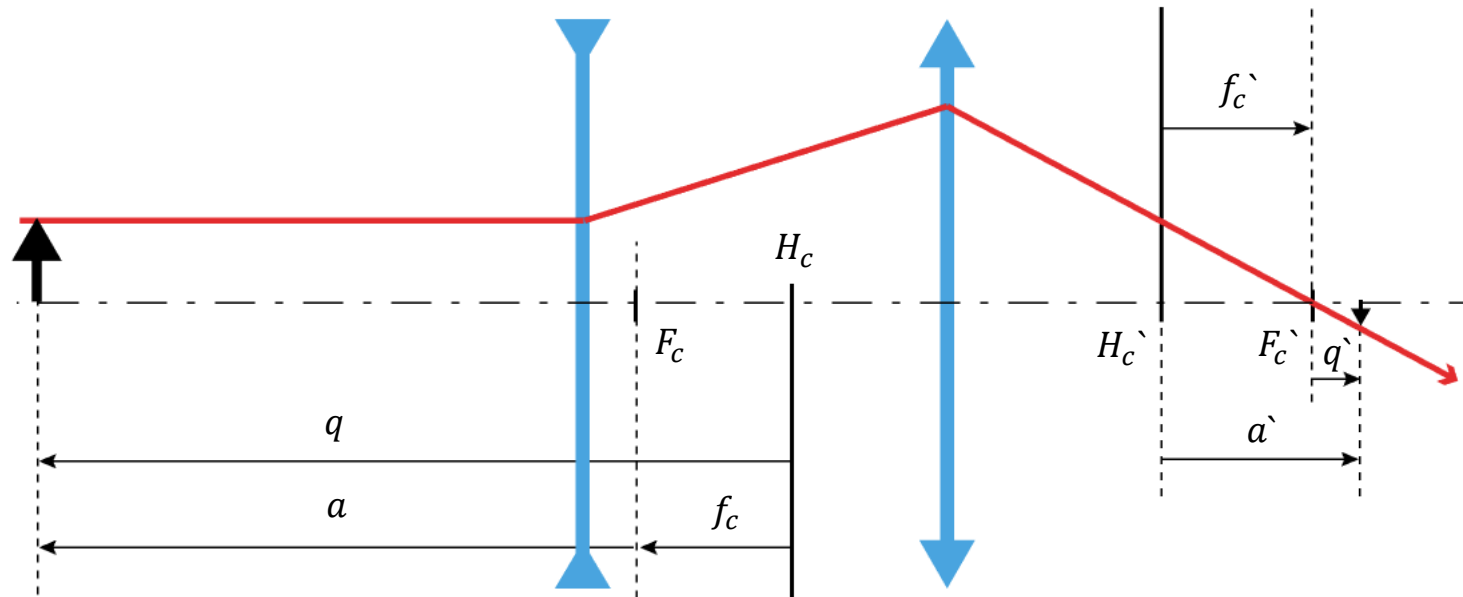
Základní body soustavy

- Soustava čoček, stejně jako jakákoli optická soustava, má svá celková ohniska, hlavní body, uzlové body a ohniskové vzdálenosti.
- Zobrazení pomocí jediné Gaussovy či Newtonovy zobrazovací rovnice.



Zobrazení soustavou

Pomocí základních bodů lze zobrazovat opět pomocí jediné Newtonovy (3.16) či Gaussovy (3.17) zobrazovací rovnice.



Zobrazení soustavou

Ohniskové vzdálenosti

Pro celkovou ohniskovou vzdálenost soustavy 2 čoček ve vzduchu lze odvodit vztah:

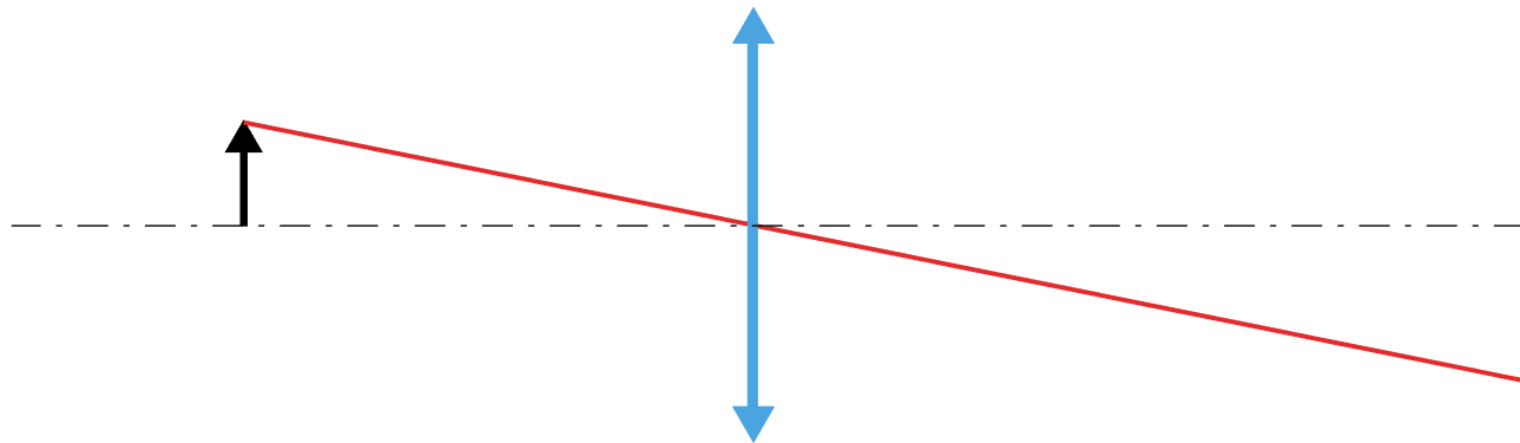
$$\frac{1}{f^*} = \frac{1}{f_1^*} + \frac{1}{f_2^*} - \frac{d}{f_1^* f_2^*} = \frac{1}{-f}$$

$$f^* = -f = \frac{f_1^* f_2^*}{f_1^* + f_2^* - d}$$

kde d je vzdálenost mezi H_1^* a H_2^* - tedy přímo rozteč čoček.

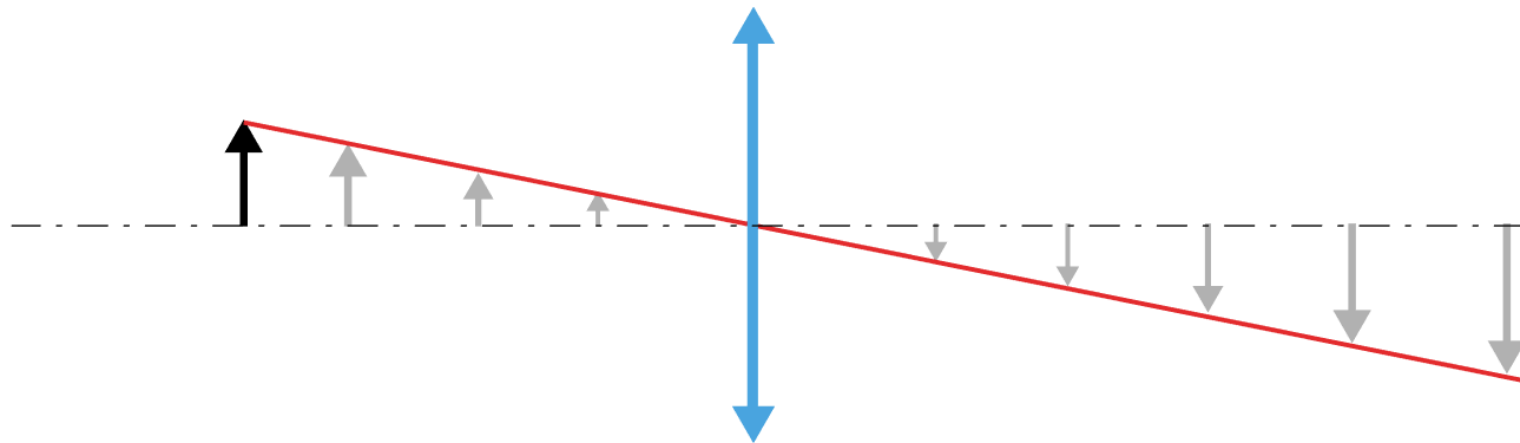
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



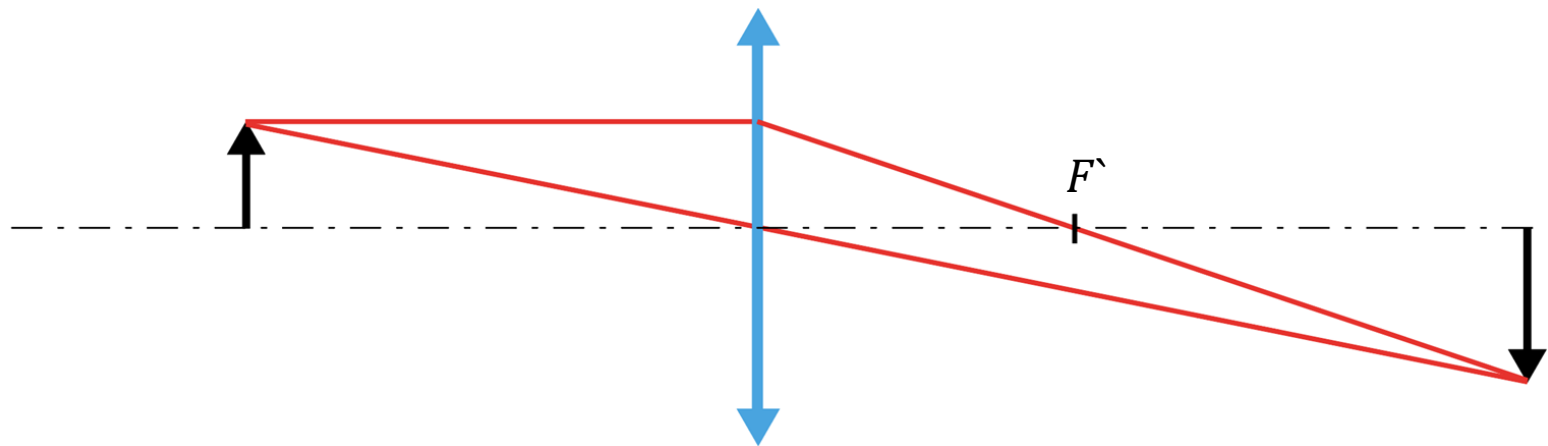
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



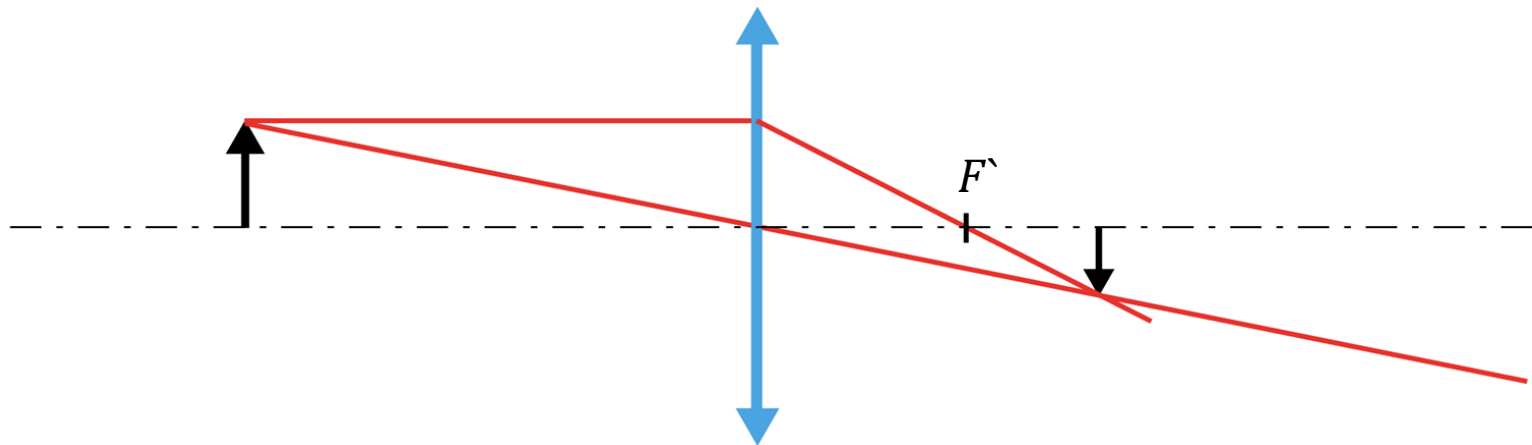
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



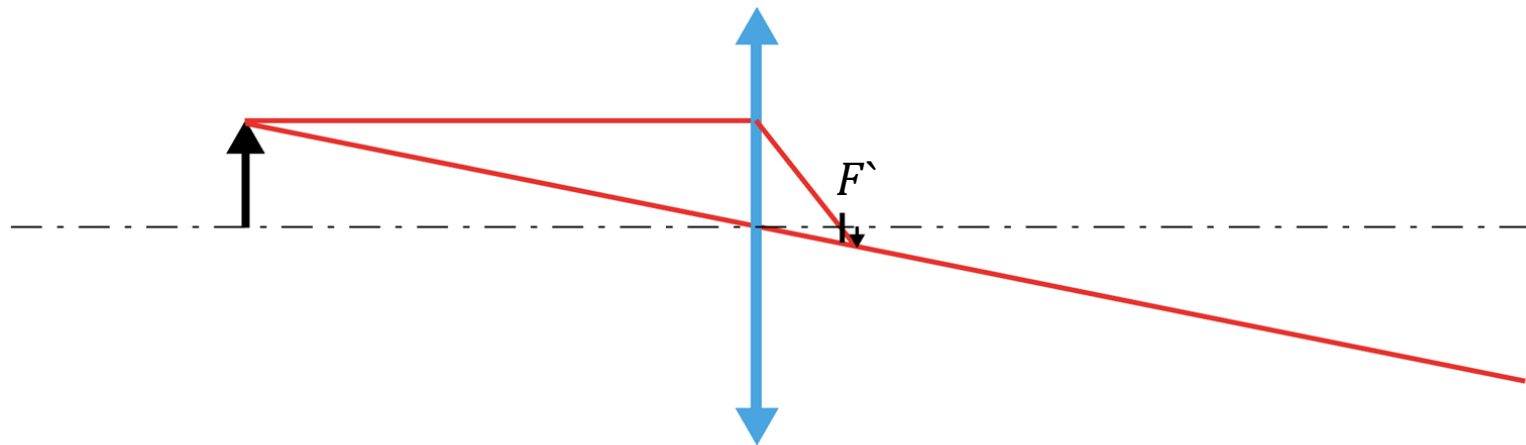
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



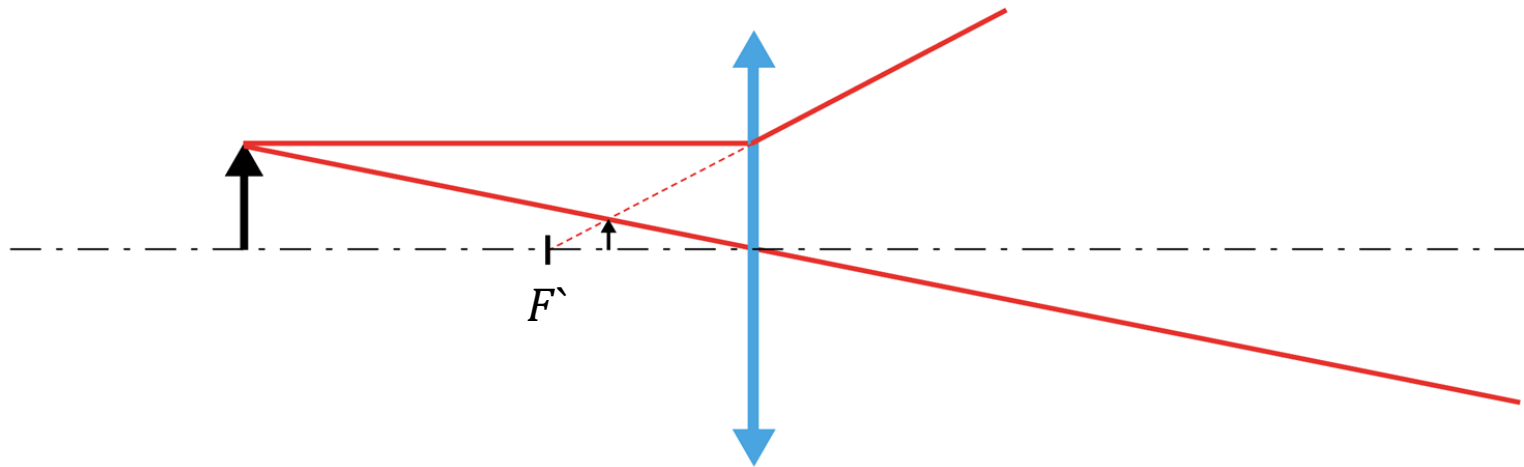
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



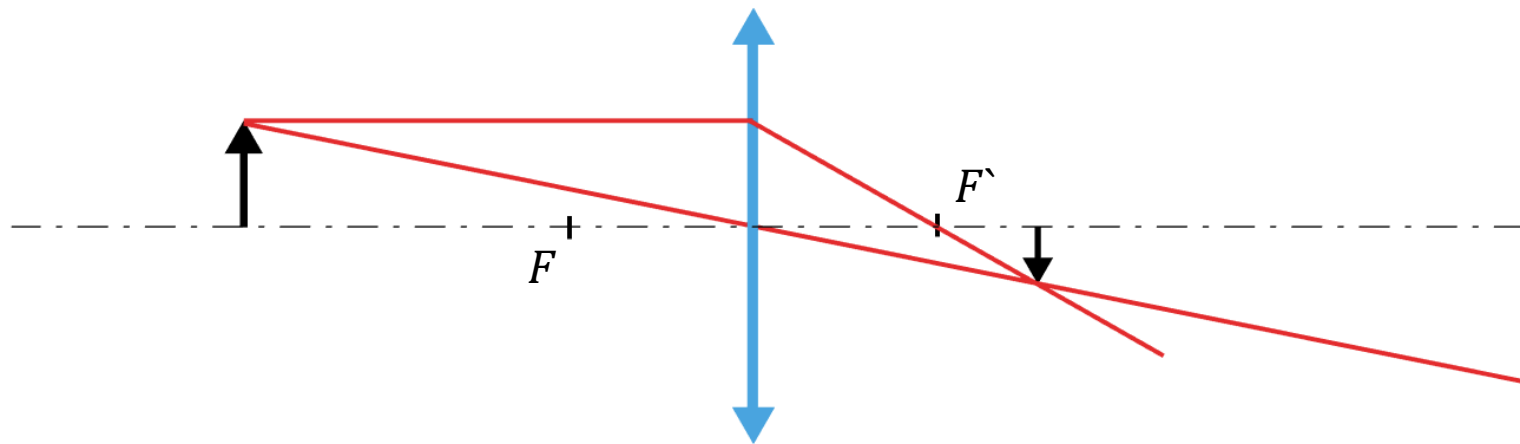
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



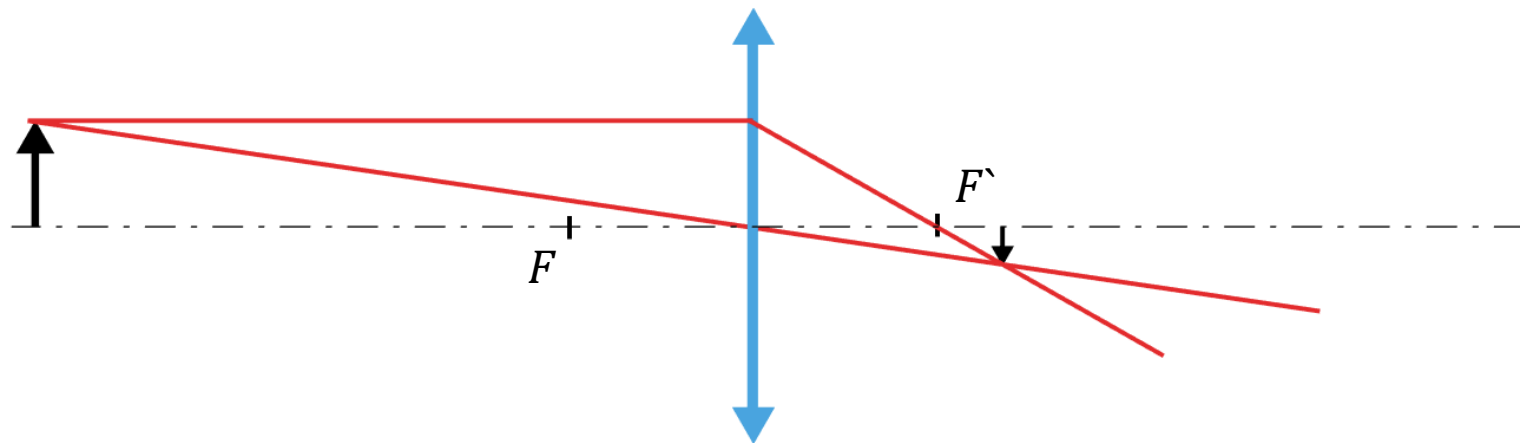
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



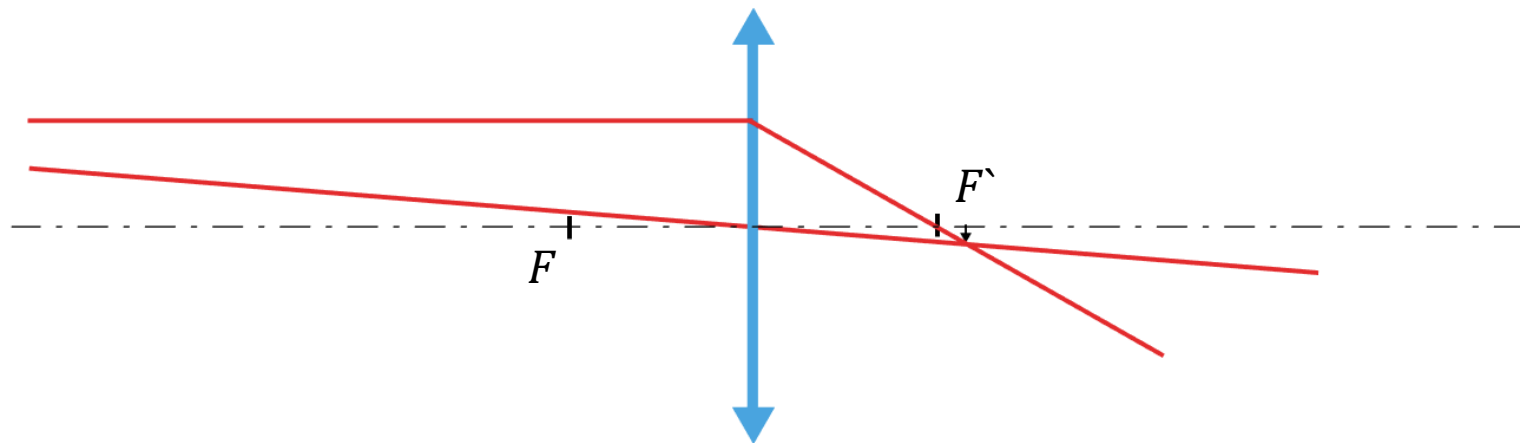
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



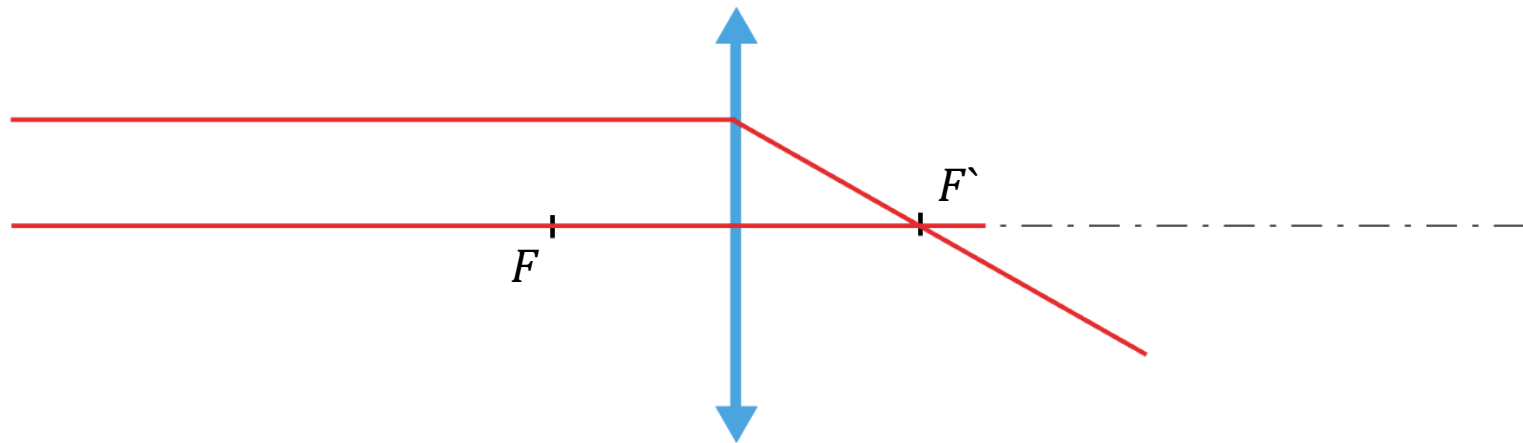
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



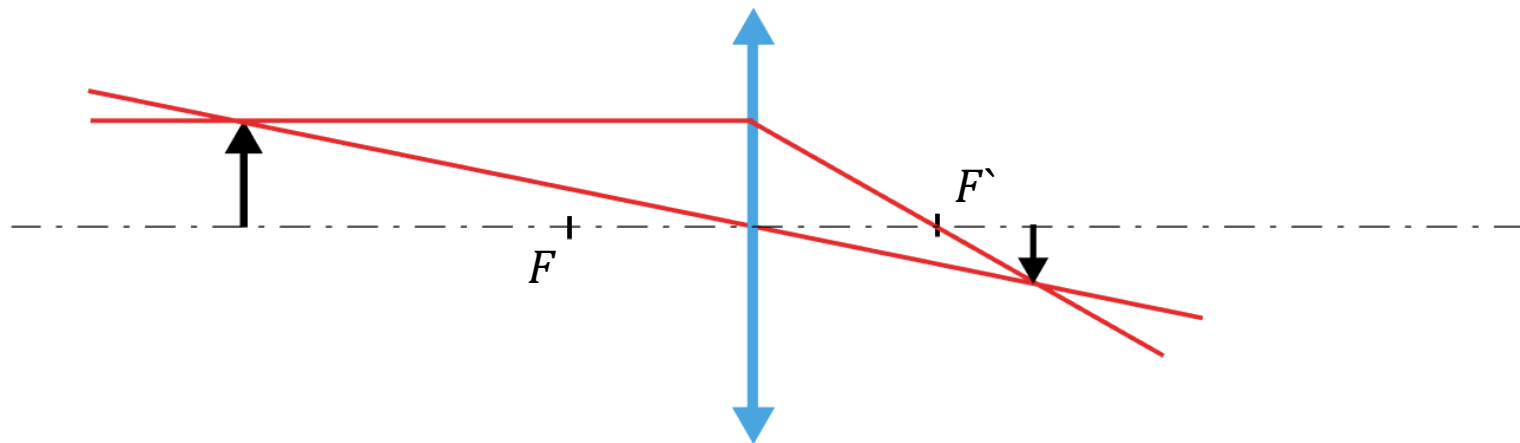
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



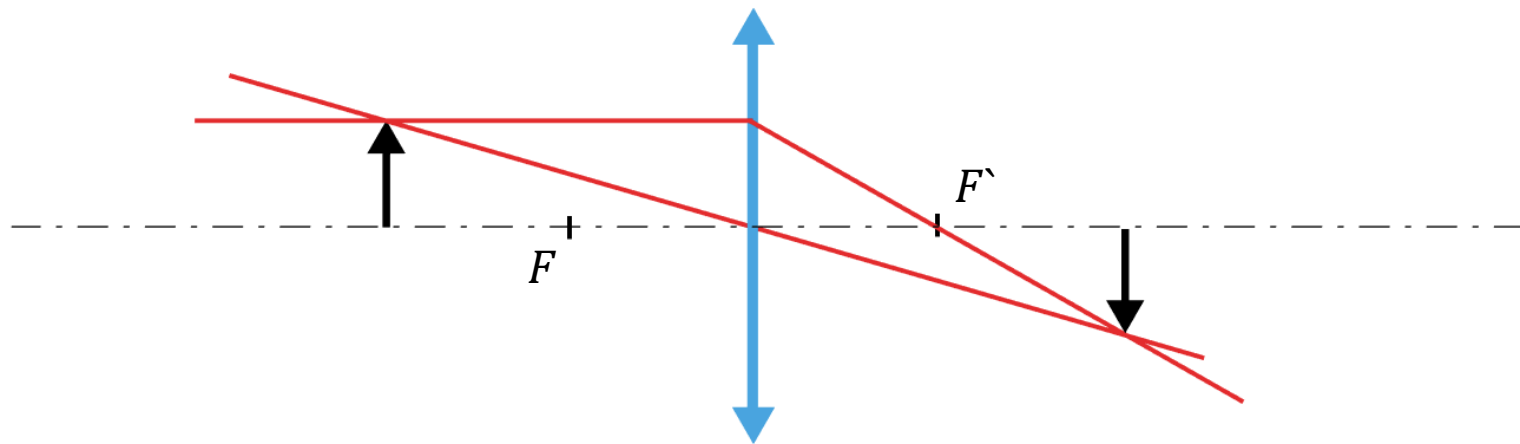
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



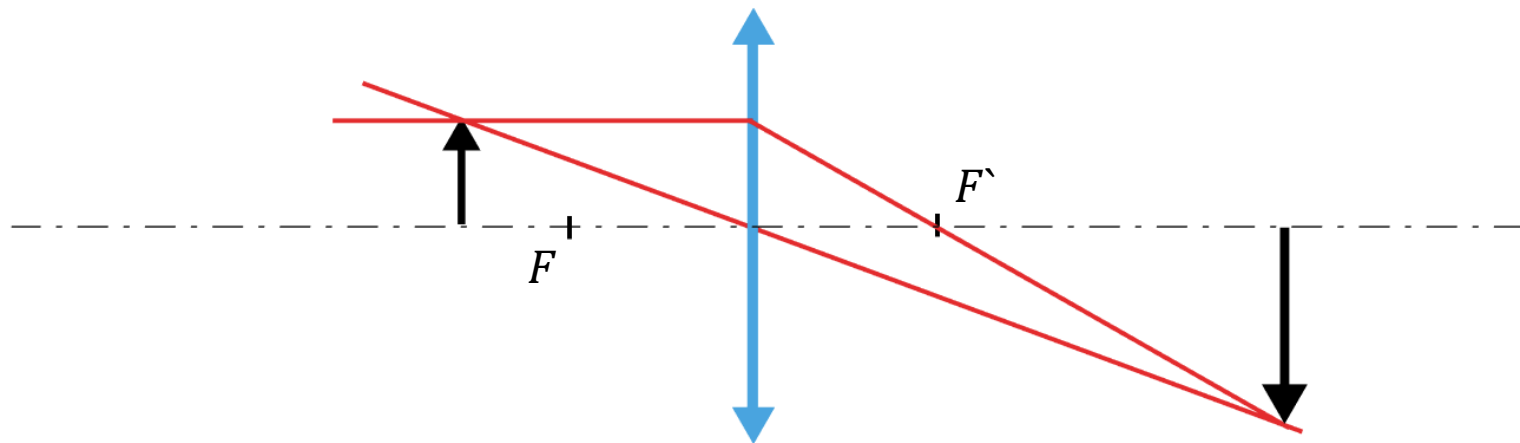
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



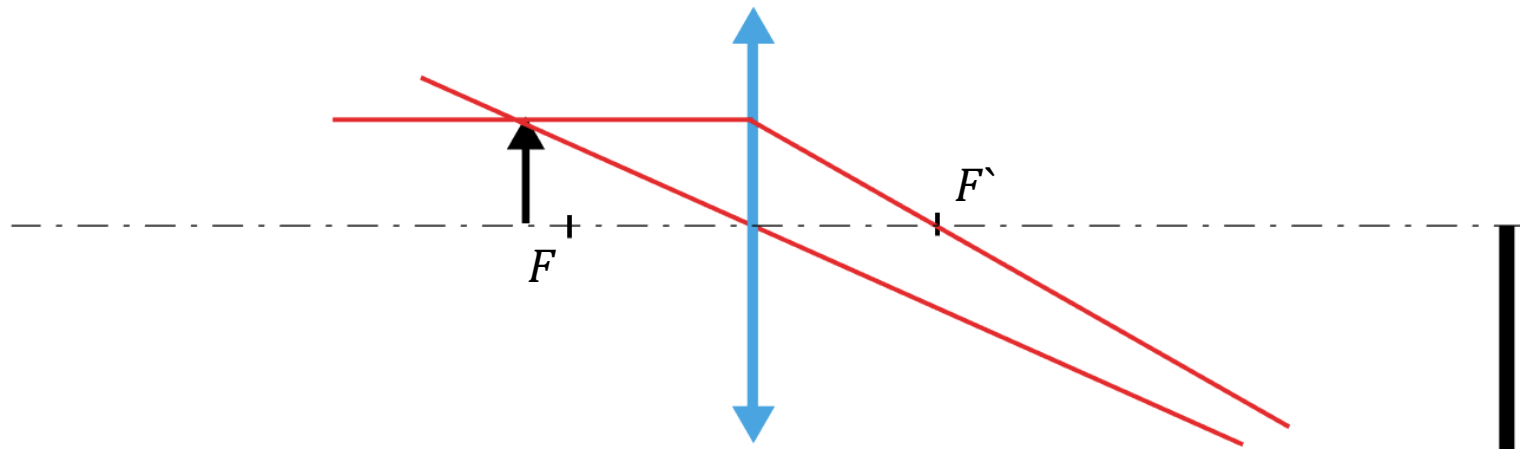
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



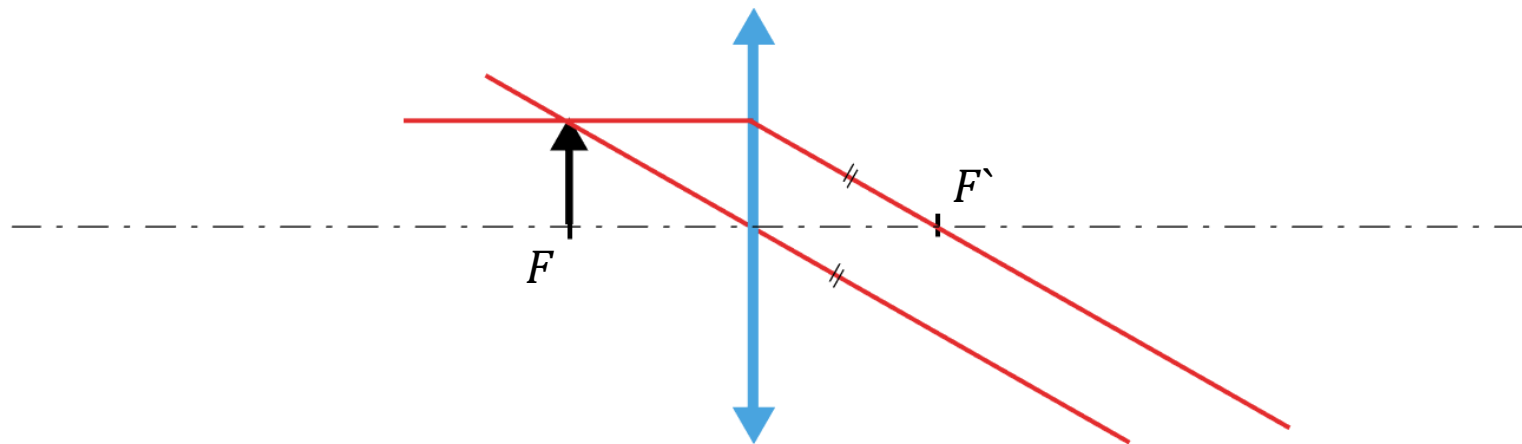
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



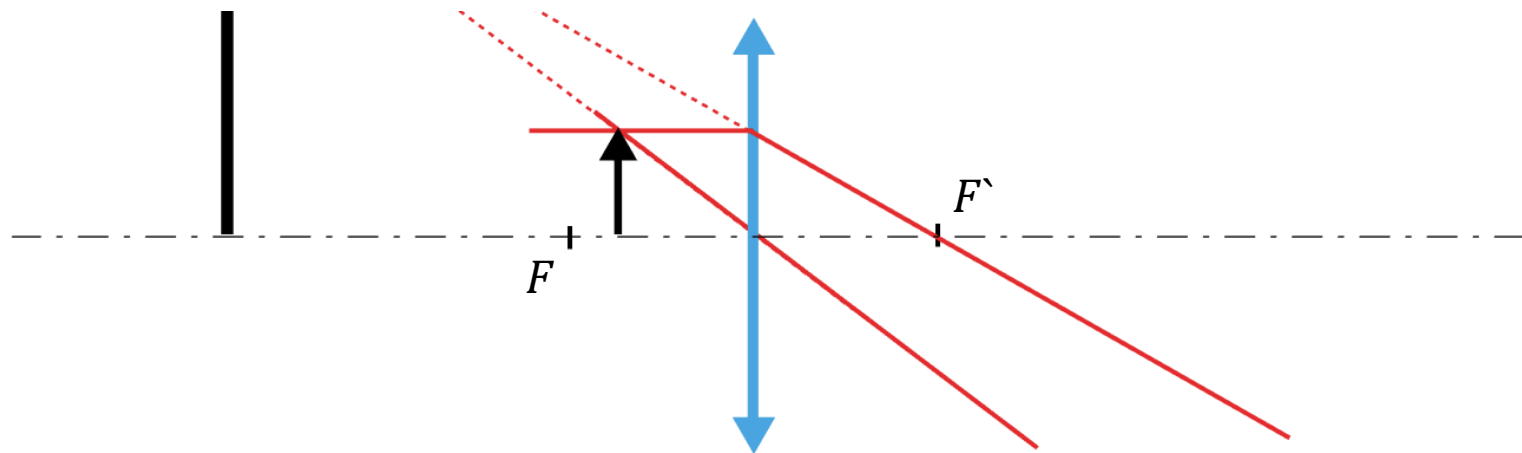
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



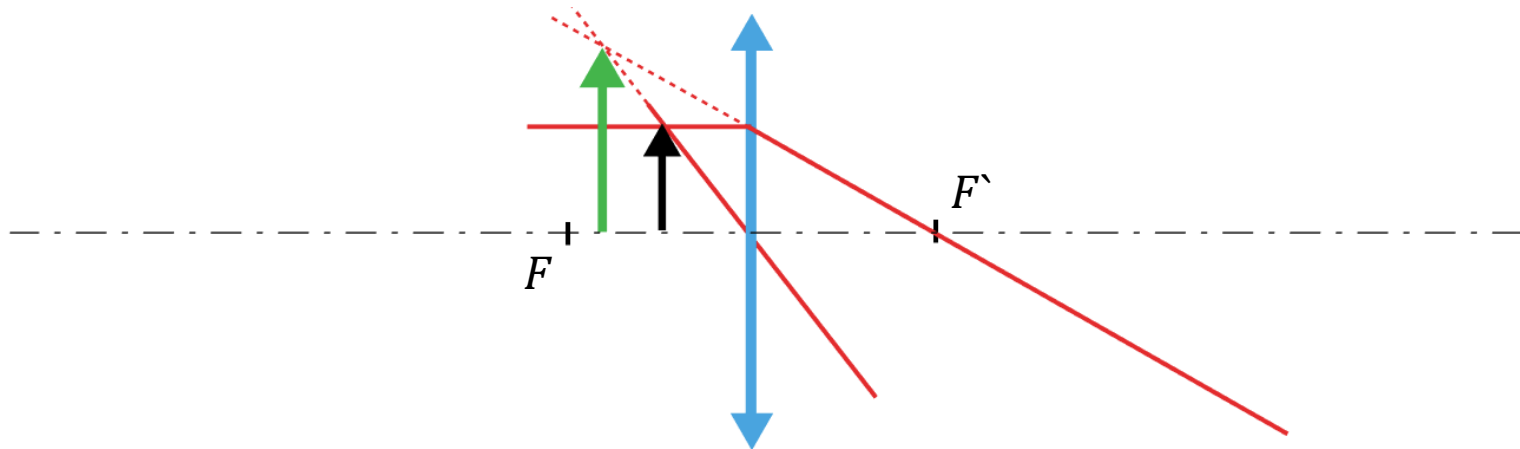
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



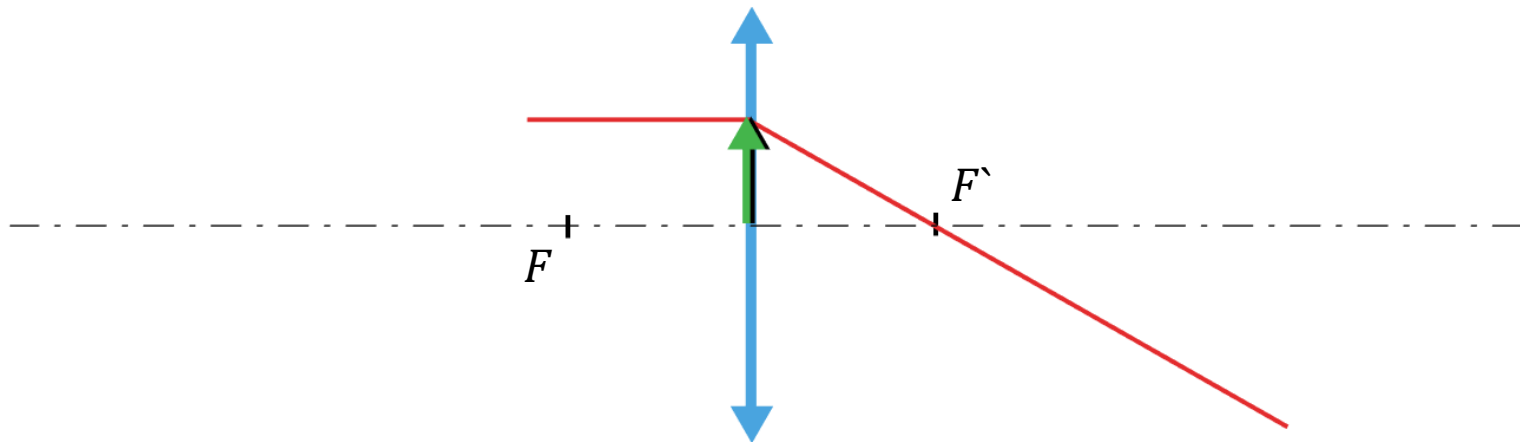
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



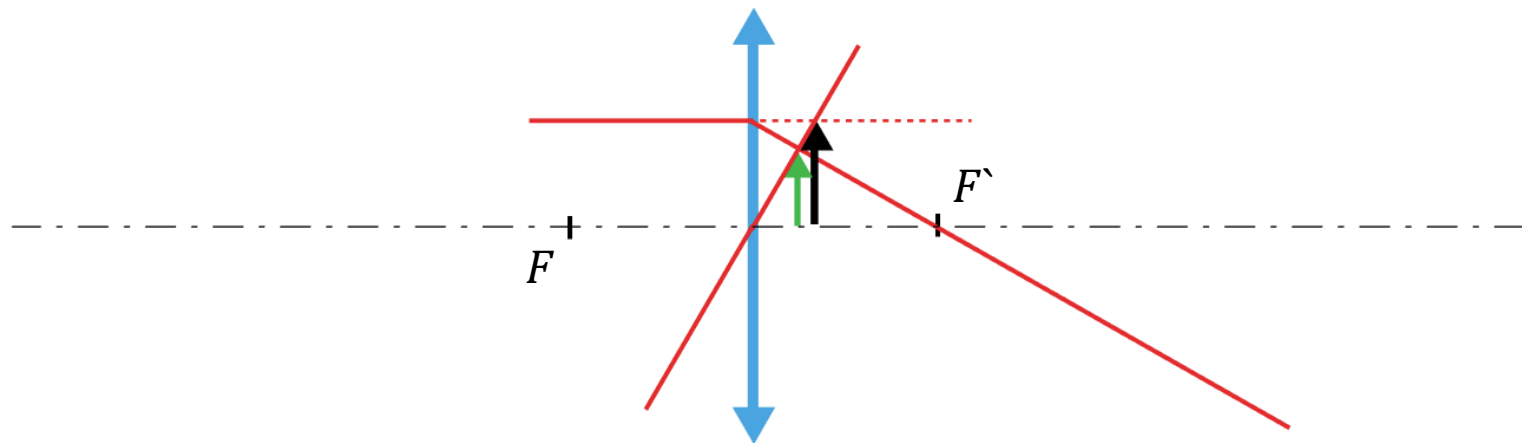
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



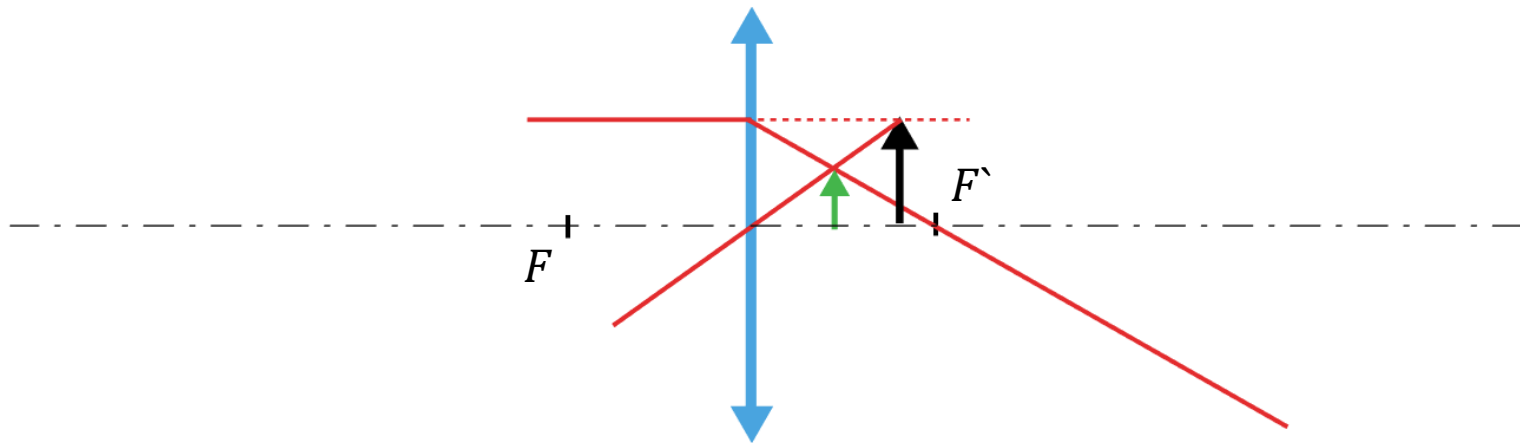
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



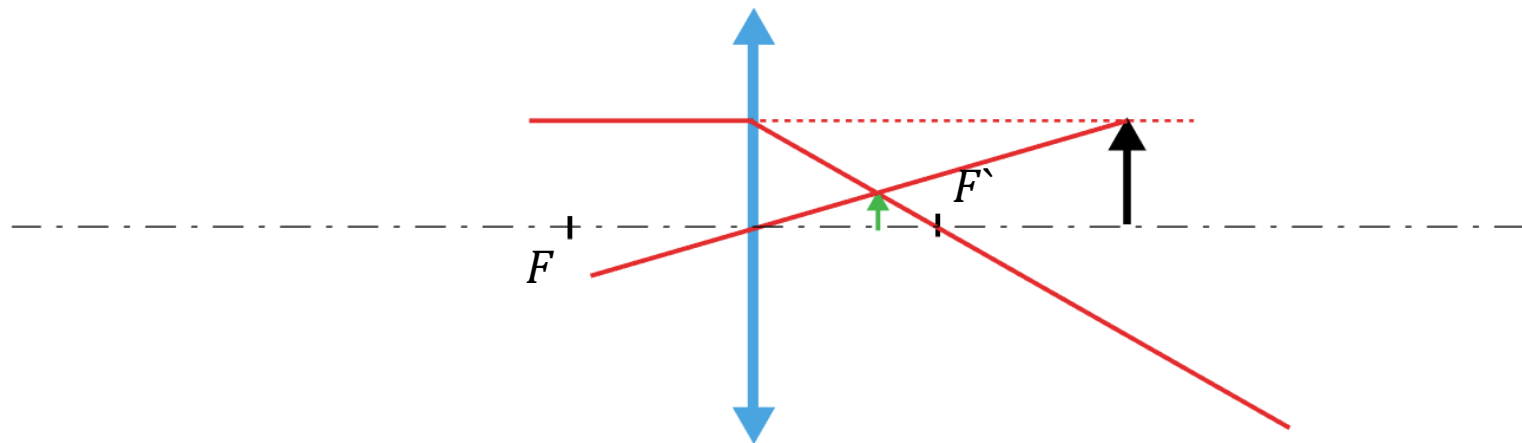
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



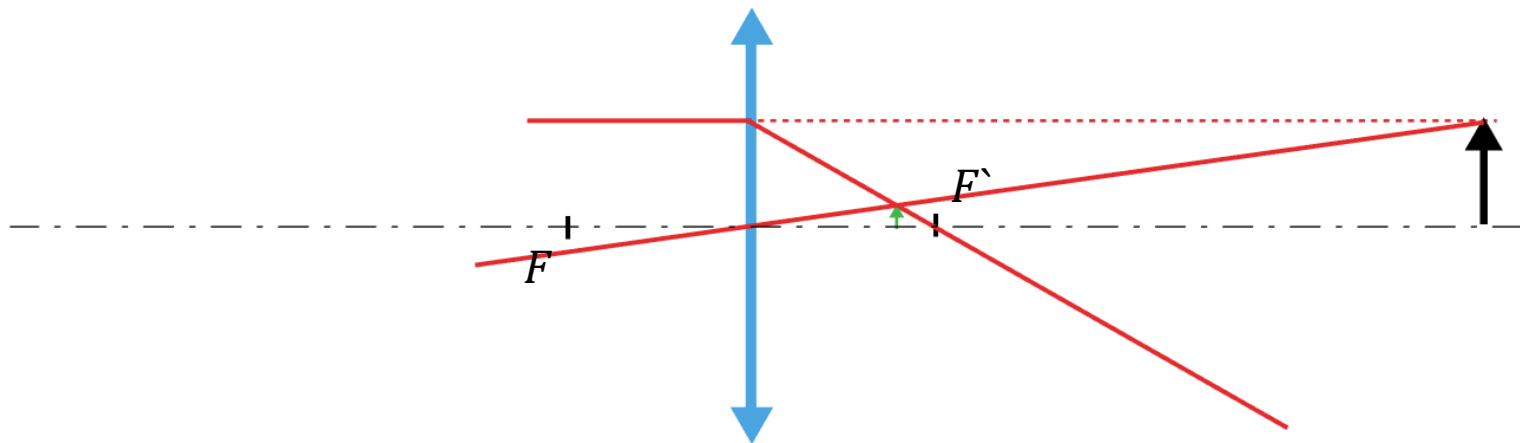
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



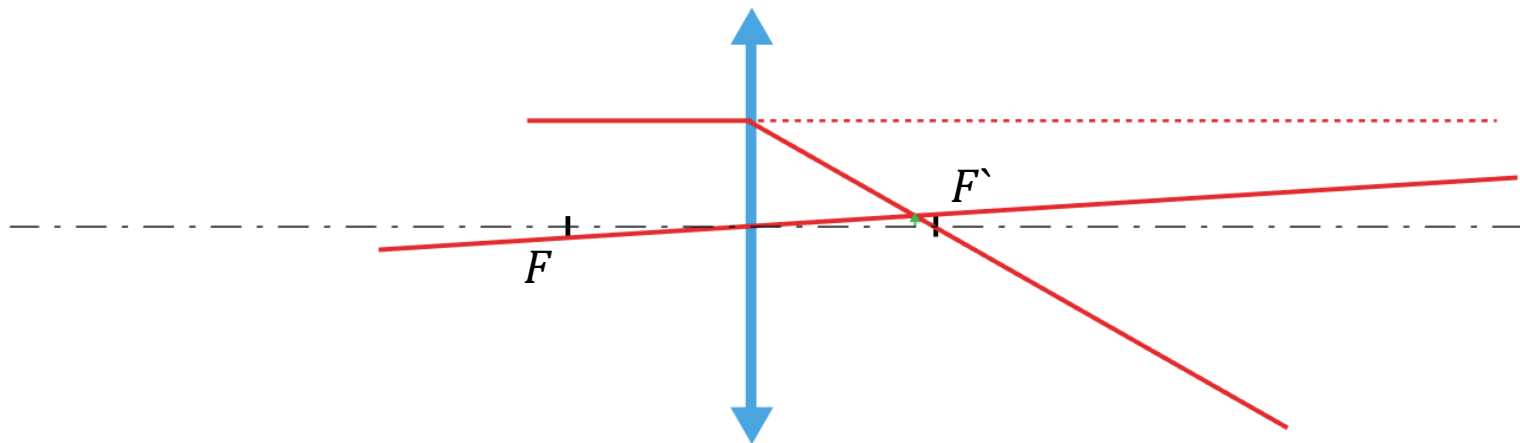
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



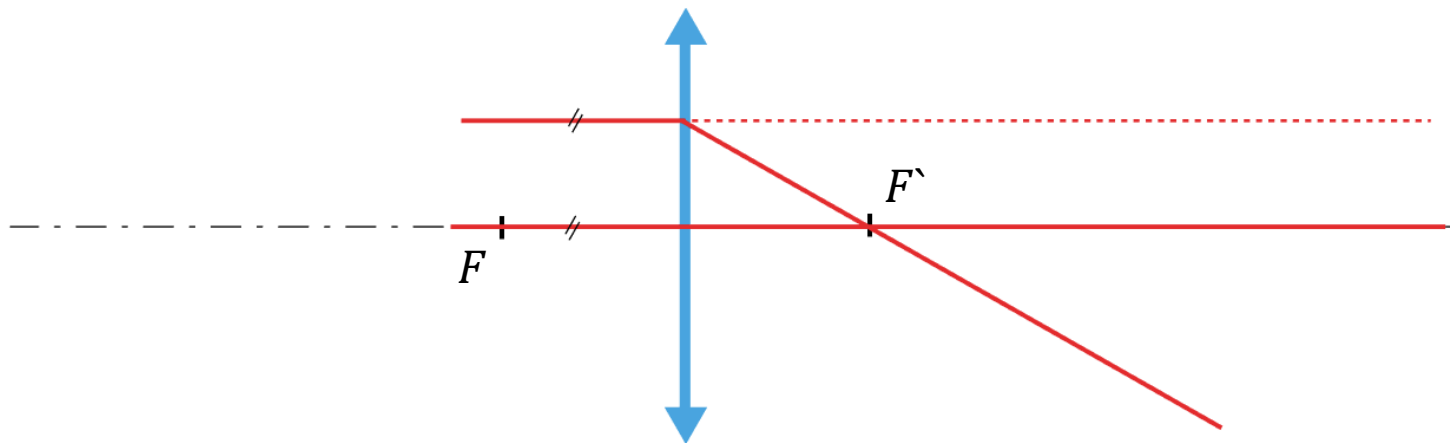
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



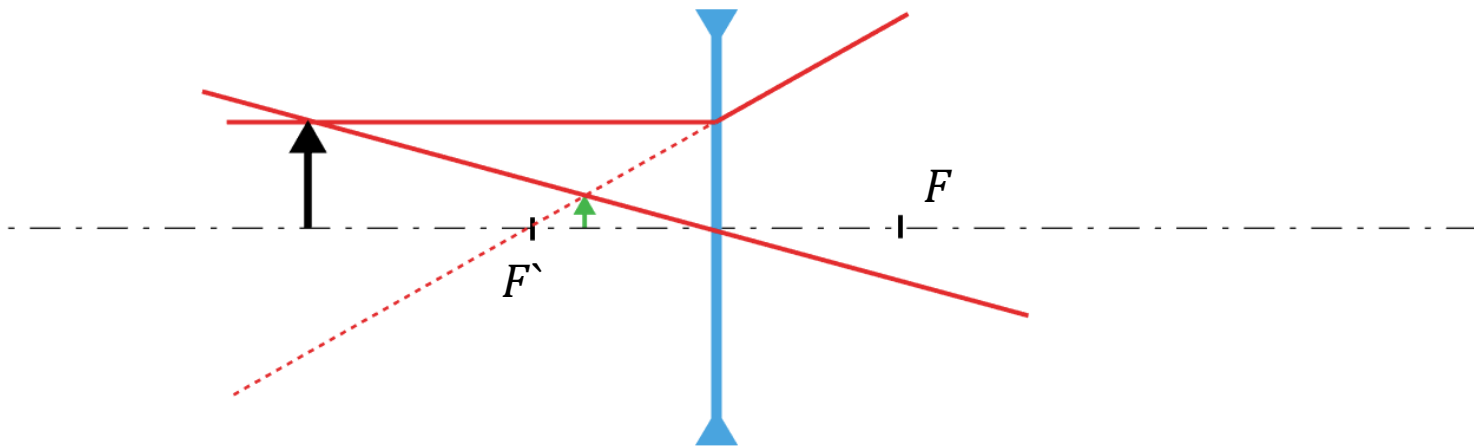
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



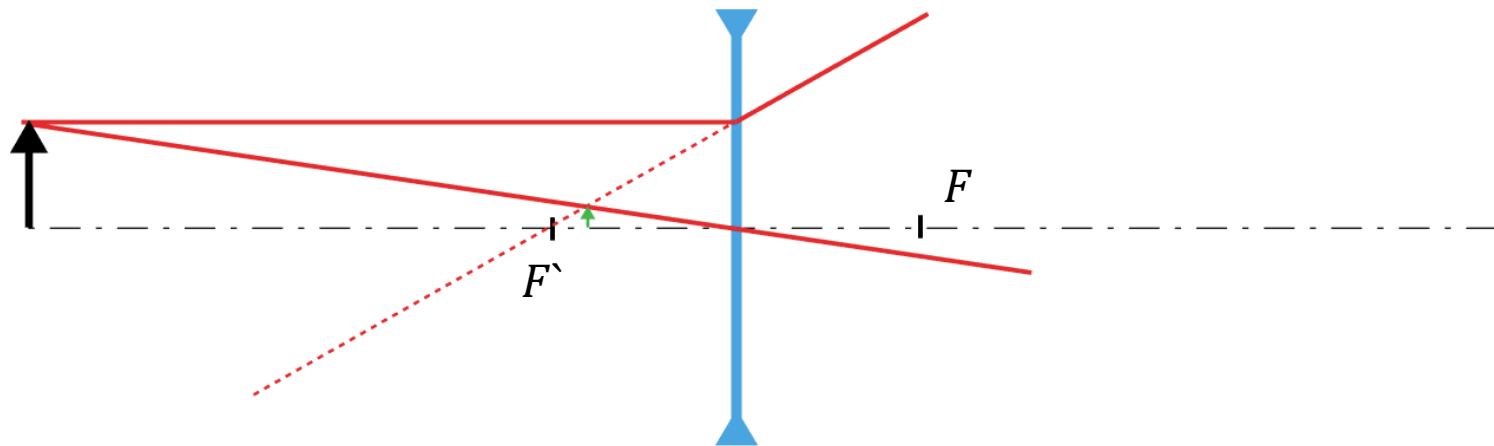
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



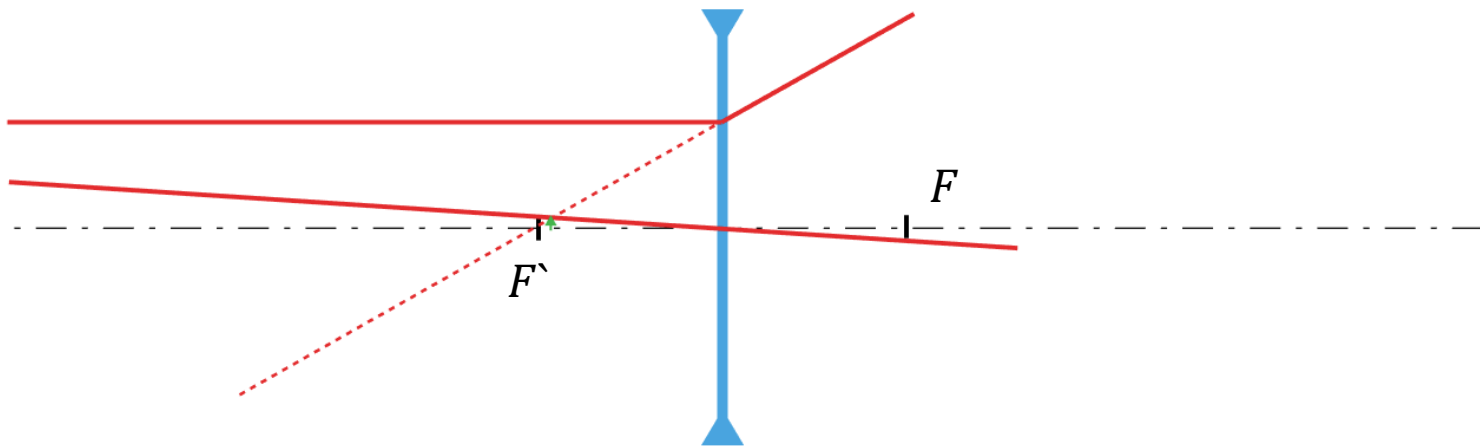
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



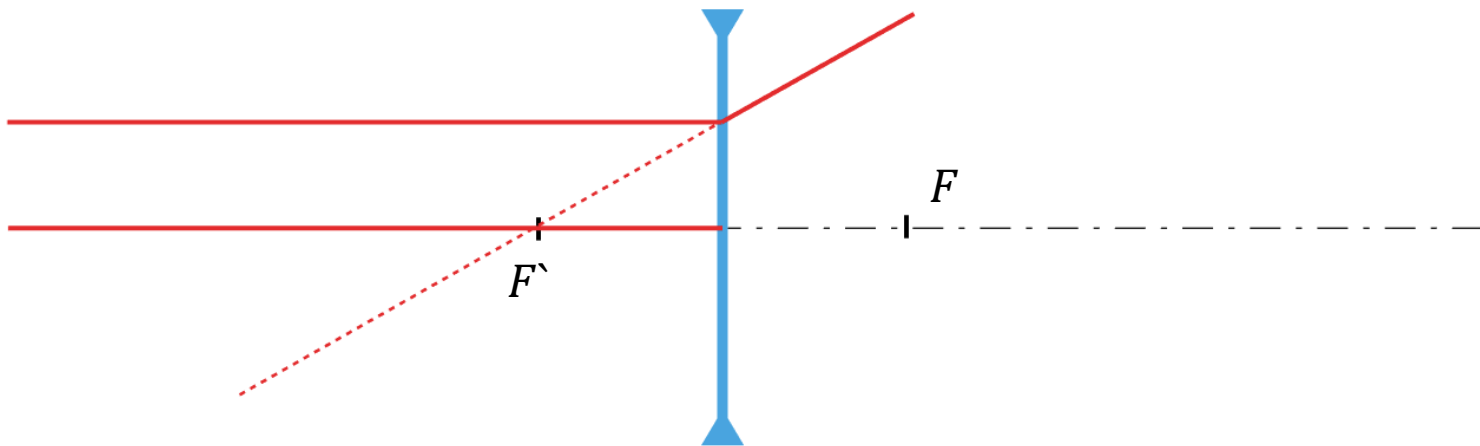
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



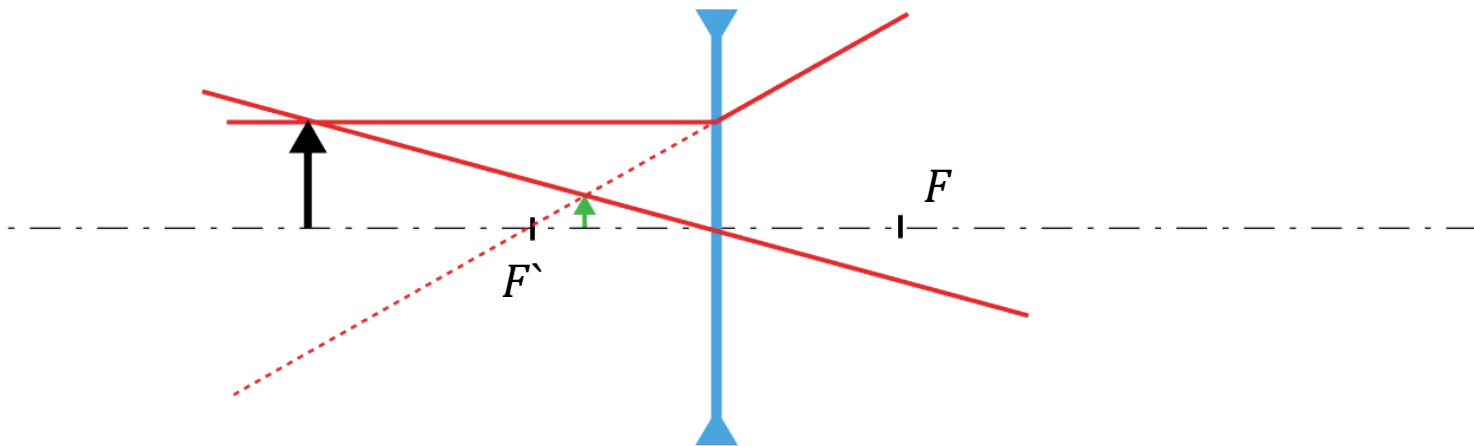
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



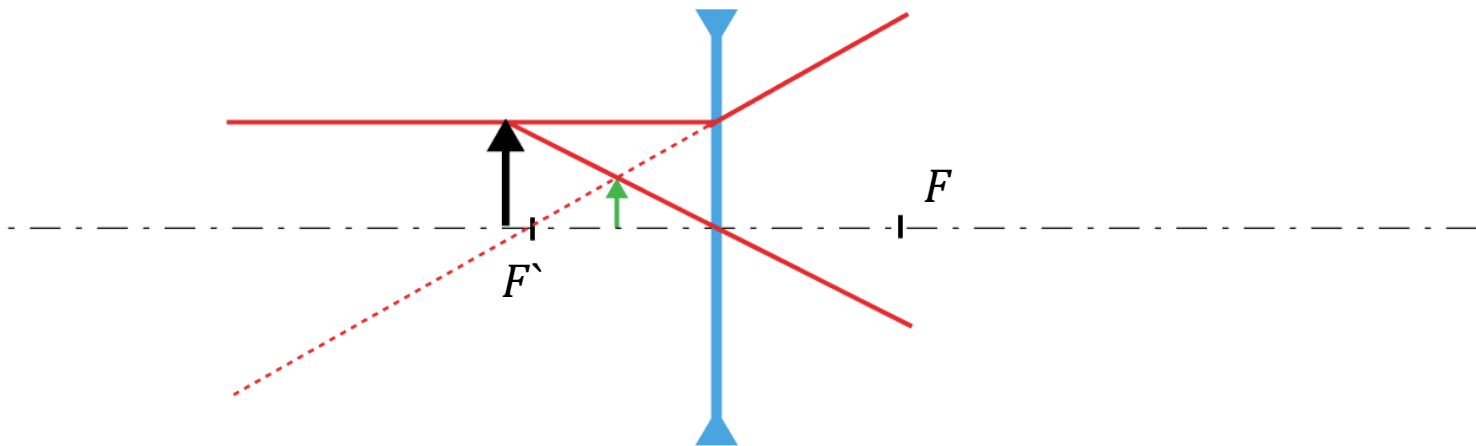
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



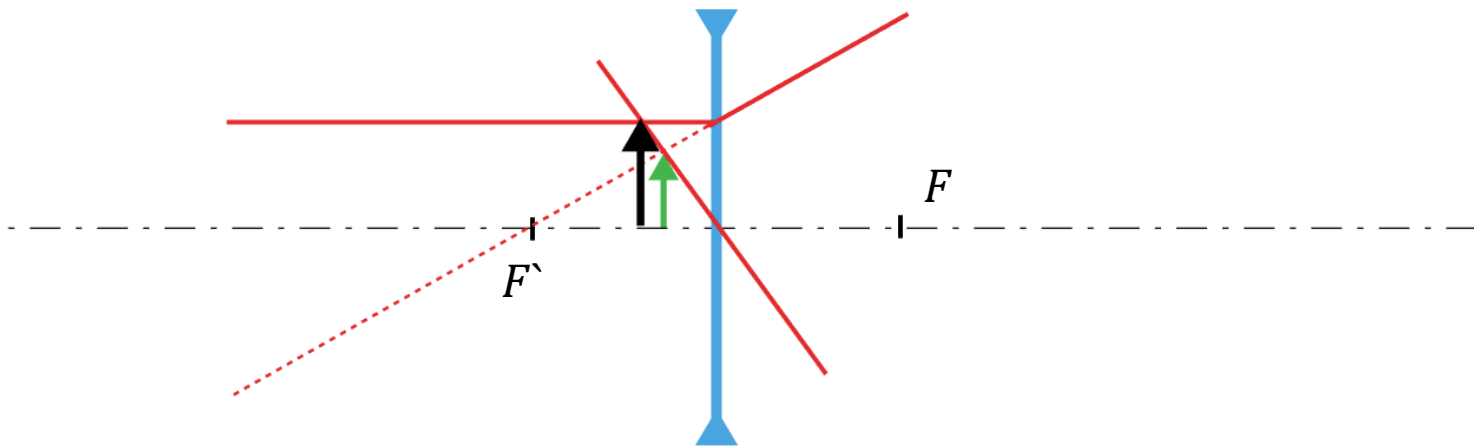
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



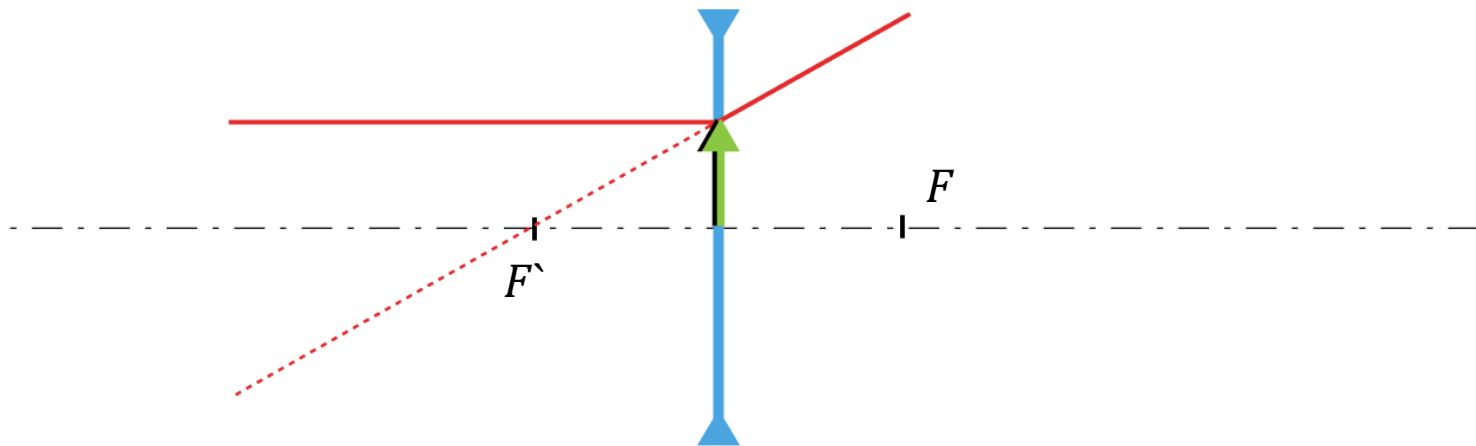
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



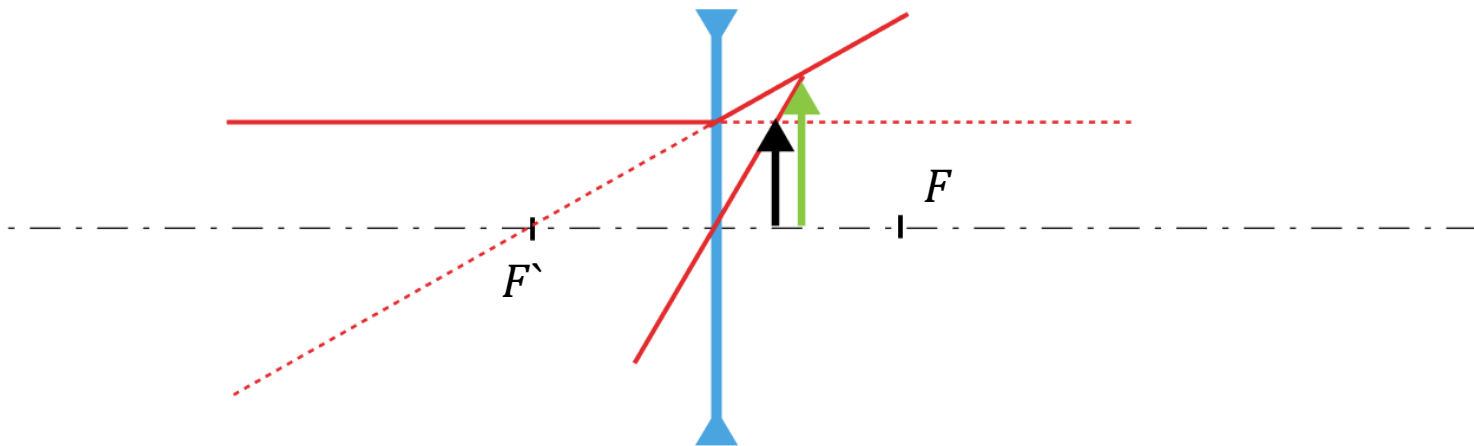
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



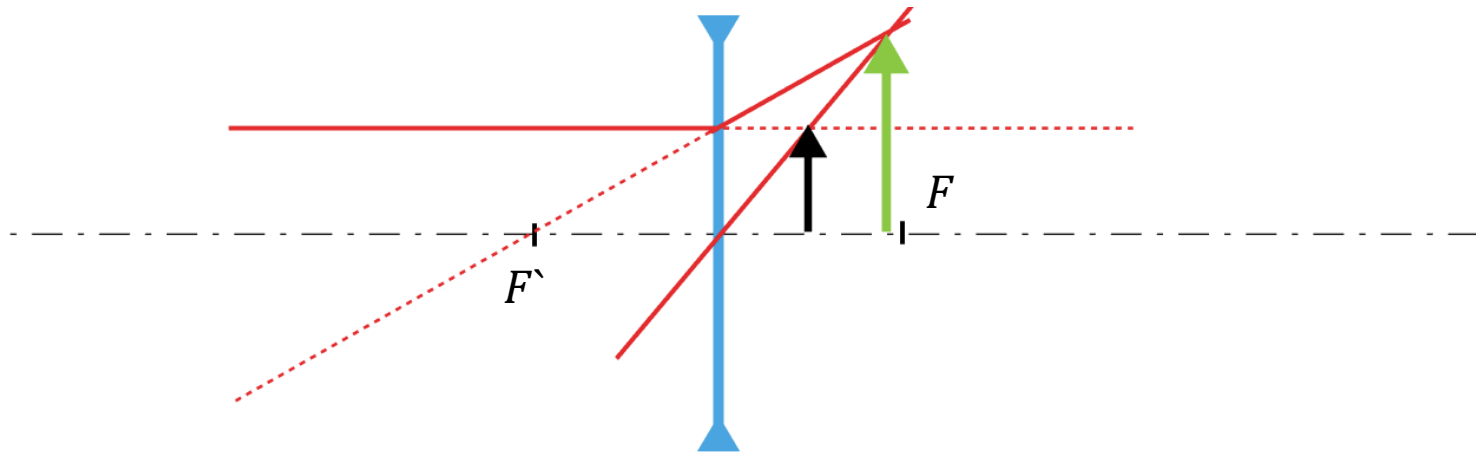
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



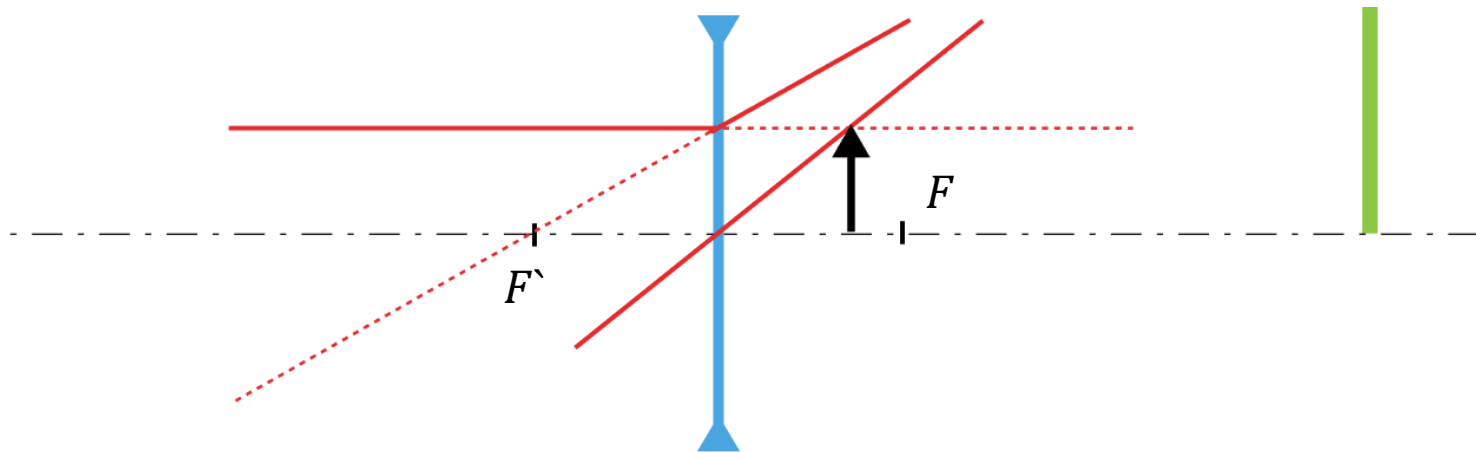
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



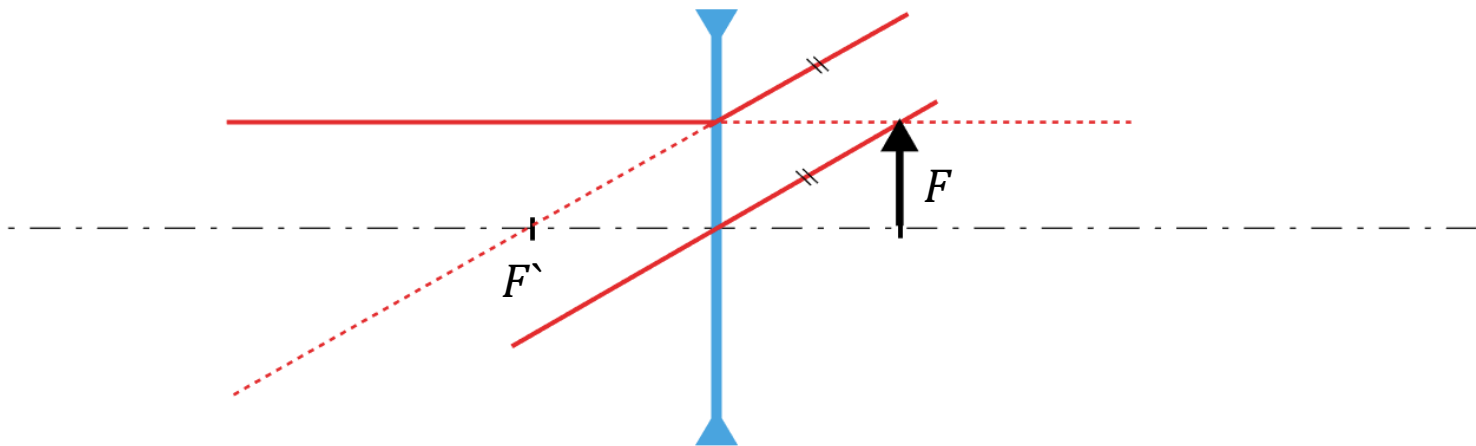
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



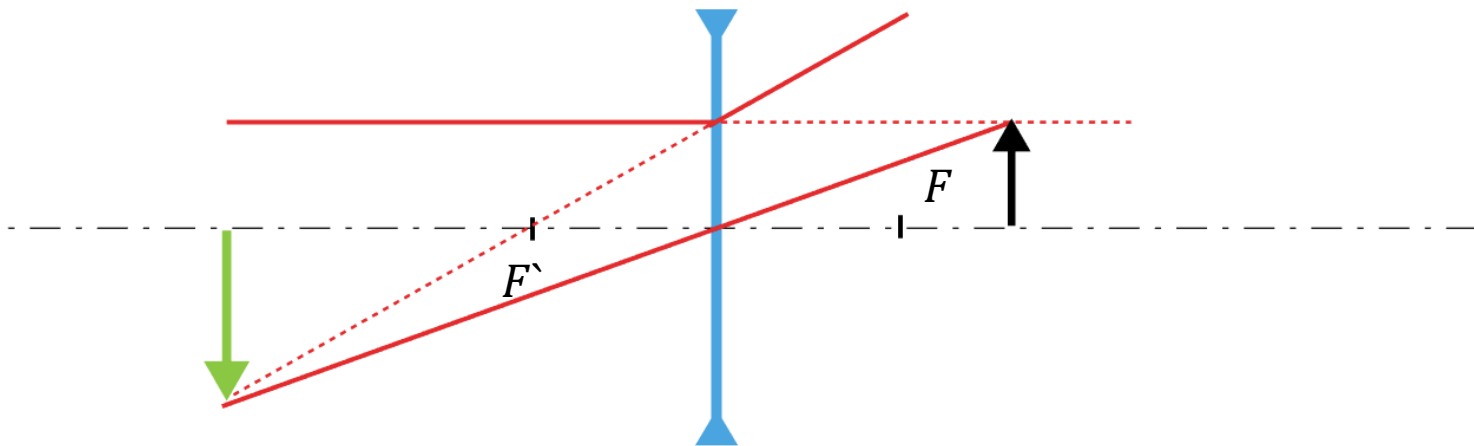
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



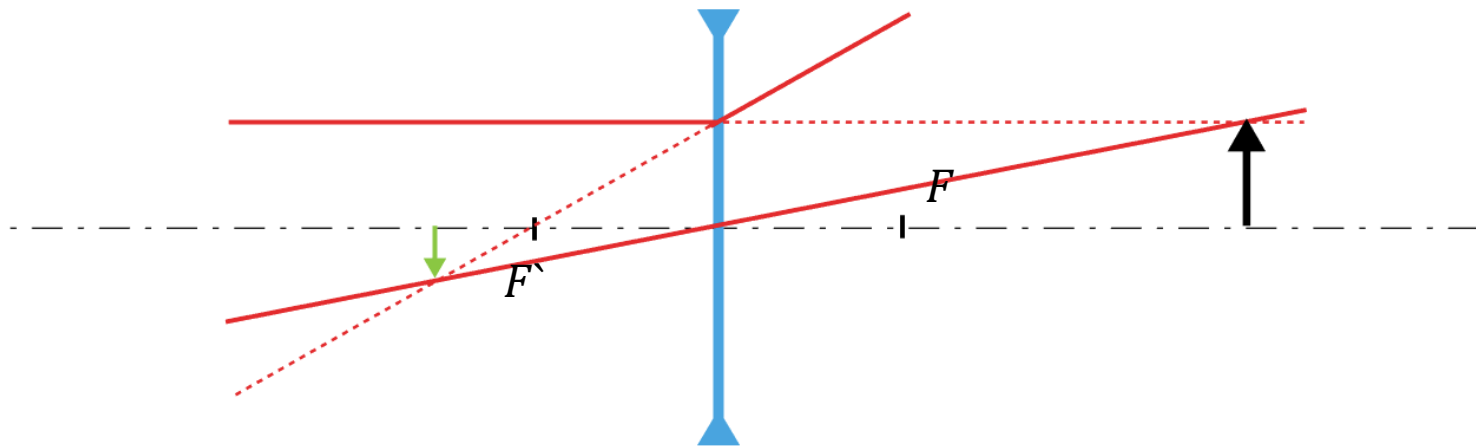
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



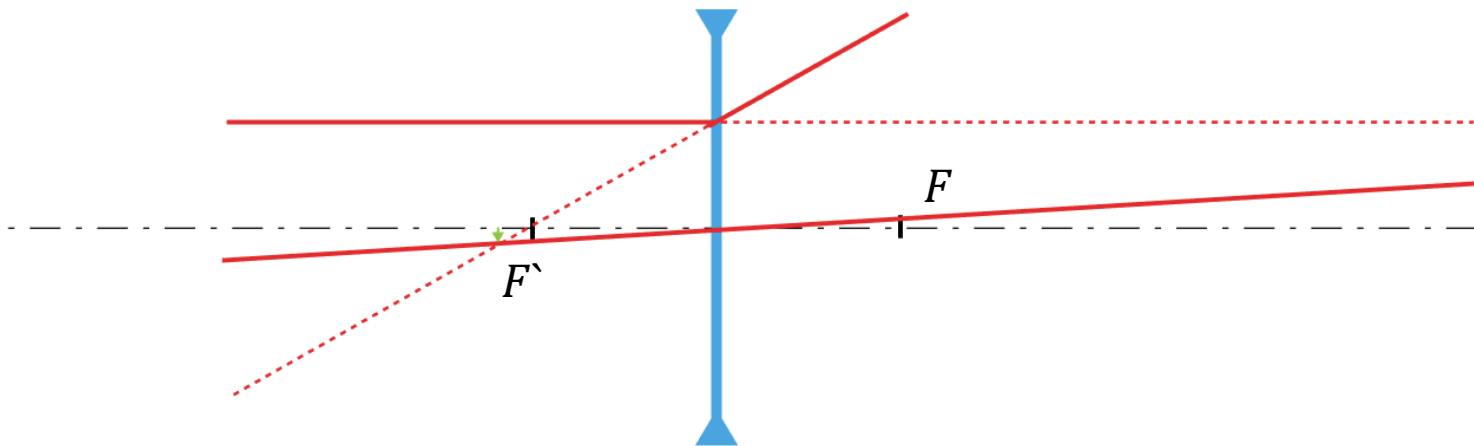
Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu



Pozice předmětu a obrazu

- Centrální paprsek (vedený uzlovými body) vypovídá o orientaci obrazu
- Ohnisková vzdálenost vypovídá o pozici obrazu

