

OPT/AO

L01

Obsah

- základy paprskové optiky
- optické aberace
- refraktory
 - achromát
- zrcadlové teleskopy
 - jednozrcadlové
 - dvouzrcadlové
 - 3 a 4 zrcadla
- katadioptrické soustavy
 - Schmidtova komora
 - Maksutova komora
 - Schmidt-Cassegrain/Maksutov-Cassegrain
- příslušenství
- moderní astrooptika
 - vlnová teorie zobrazení
 - velké astronomické teleskopy
 - kosmické teleskopy
 - adaptivní optika

Základy paprskové optiky

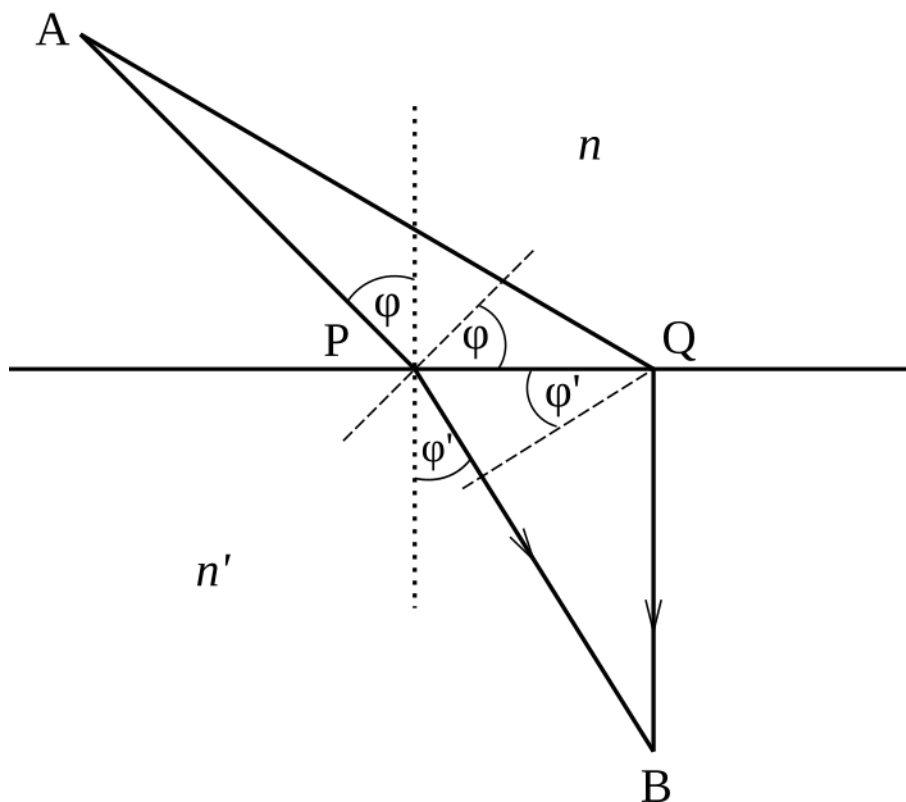
Fermatův princip

optická dráha podél paprsku je stacionární

$$\delta L = \delta \int_a^b n ds = 0$$

- nemusí jít o minimum (např. eliptické zrcadlo)

odvození zákona lomu

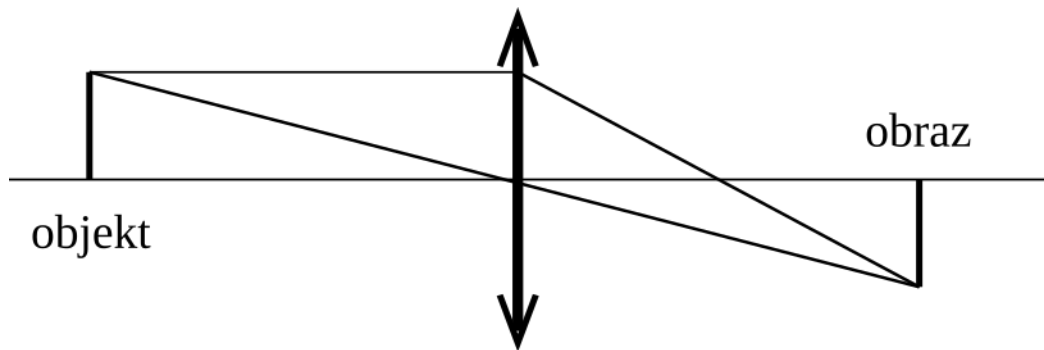


stacionarita

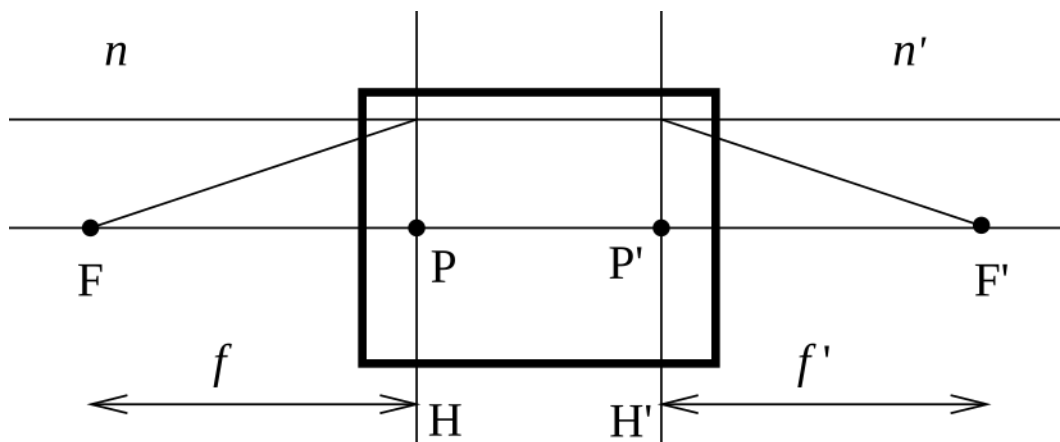
$$n \overline{AP} + n' \overline{PB} = n \overline{AQ} + n' \overline{QB} \rightarrow n \sin \varphi = n' \sin \varphi'$$

kardinální body

paraxiální optika: lineární aproximace zákona lomu



hlavní body:



H / H' – předměťová/obrazová hlavní rovina

P / P' – předměťový/obrazový hlavní bod

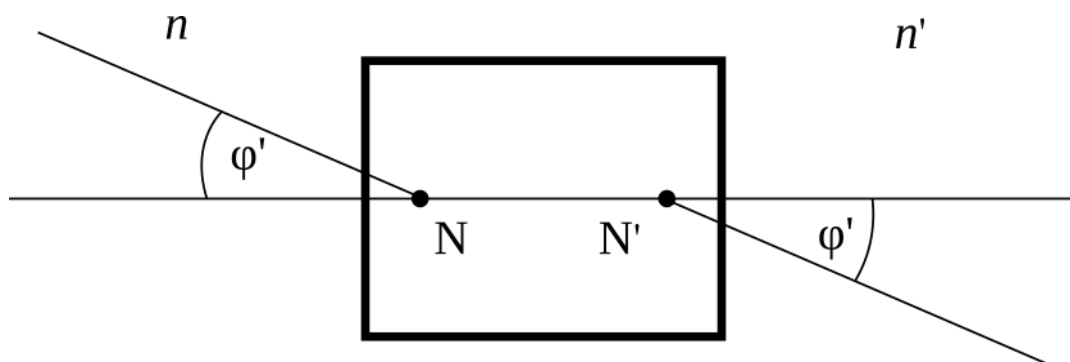
F / F' – předměťové/obrazové ohnisko

f / f' – předměťová/obrazová ohnisková vzdálenost

souvislost ohniskových vzdáleností:

$$\frac{n}{f} = \frac{n'}{f'} = \Phi \quad \text{– optická mohutnost [D]}$$

uzlové body:

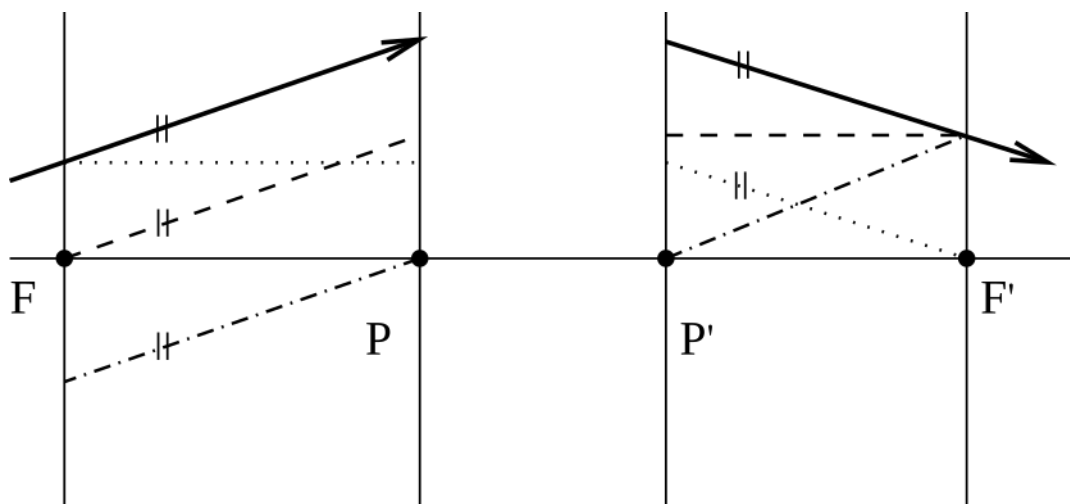


hlavní roviny – zvětšení=1

uzlové roviny – úhlové zvětšení=1

pokud $n = n'$, pak $P = N$ a $P' = N'$

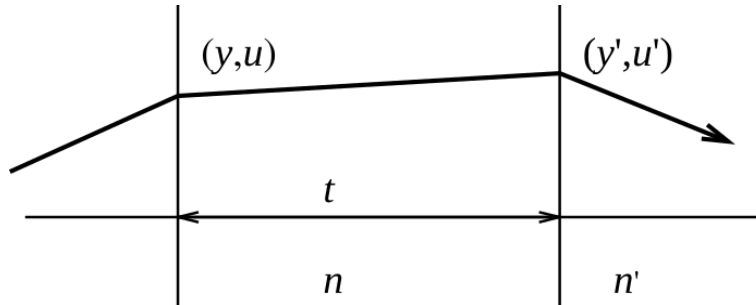
chod paprsků:



poloha hlavních a uzlových rovin určuje chod paprsků paraxiální optickou soustavou

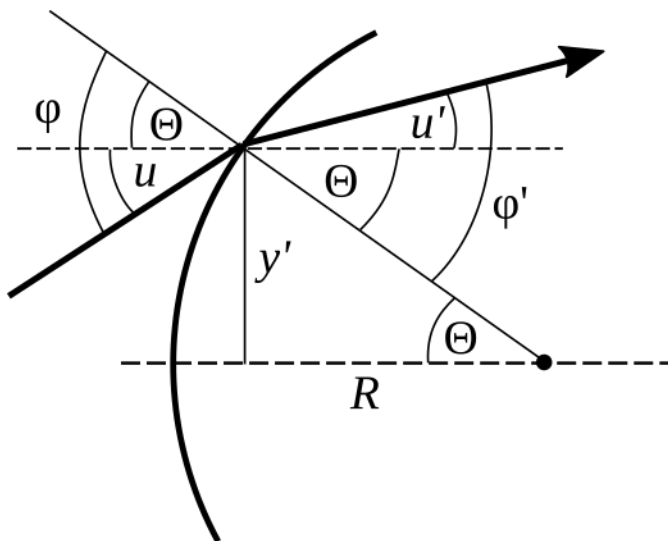
paraxiální trasování paprsků

paprsek je parametrizován výškou a sklonem



transformace paprsku šířením (translace)

$$y' = y + \frac{t}{n}(nu)$$



zákon lomu $n(u + \Theta) = n'(u' + \Theta)$

mohutnost rozhraní $\Phi \equiv \frac{n' - n}{R}$

transformace paprsku lomem (refrakce)

$$n'u' = nu - \Phi y'$$

maticová optika

paprsek na j -tém rozhraní

$$p_j = \begin{pmatrix} y_j \\ n_j u_j \end{pmatrix}, \quad p_{j+1} = R_j T_j p_j$$

translační a refrakční matice

$$T_j = \begin{pmatrix} 1 & t_j/n_j \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad R_j = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\Phi_j & 1 \end{pmatrix}$$

soustava s k plochami

$$p_{\text{out}} = M p_{\text{in}}, \quad M = R_k T_k \cdots R_2 T_2 R_1$$

$$p_{\text{out}} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} p_{\text{in}}$$

osový paprsek p_a – vychází z osového bodu předmětu

hlavní paprsek p_b – vychází z okraje předmětu

Lagrangeův zákon

veličina $L = n y_b u_a - n y_a u_b$ je invariantní: $L_{\text{out}} = \det(M) L_{\text{in}} = L_{\text{in}}$

v rovině předmětu: $y_a^{\text{in}} = 0$, $y_b^{\text{in}} = h$, $u_a^{\text{in}} = u_a \rightarrow L_{\text{in}} = n h u_a$

v rovině obrazu: $y_a^{\text{out}} = 0$, $y_b^{\text{out}} = h'$, $u_a^{\text{out}} = u_a' \rightarrow L_{\text{out}} = n' h' u_a'$

zvětšení $m = h'/h$

$$\frac{L_{\text{out}}}{L_{\text{in}}} = \frac{n' h' u_a'}{n h u_a} = 1 \rightarrow m = \frac{n u_a}{n' u_a'} \quad \text{t.j. zvětšení lze určit z } p_a$$

zobrazovací rovnice

šíření mezi konjugovanými rovinami

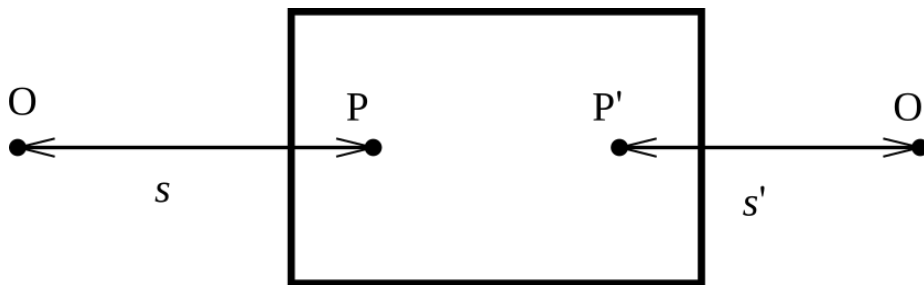
$$\begin{pmatrix} h' \\ n' u' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m & 0 \\ -\Phi & 1/m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h \\ n u \end{pmatrix}, \quad \Phi = n'/f'$$

osové paprsky: $h' = 0$ a $\frac{n u}{n' u'} = m$

okrajové paprsky: $h' = m h$

kolimované paprsky: $n' u' = -n' h/f'$

odvození zobrazovací rovnice



zobrazení $P \rightarrow P'$

$$M_{P'P} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\Phi & 1 \end{pmatrix}$$

zobrazení $O \rightarrow O'$

$$\begin{pmatrix} h' \\ n' u' \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & s'/n' \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\Phi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & s/n \\ 0 & 1 \end{pmatrix}}_{M_{O'O}} \begin{pmatrix} h \\ n u \end{pmatrix}$$

pravý horní element $M_{O'O}$

$$\frac{s}{n} + \frac{s'}{n'} - \frac{ss'}{nn'} \Phi = 0$$

po úpravě

$$\frac{n}{s} + \frac{n'}{s'} = \frac{n'}{f'}$$

stejně indexy lomu (soustava ve vzduchu)

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

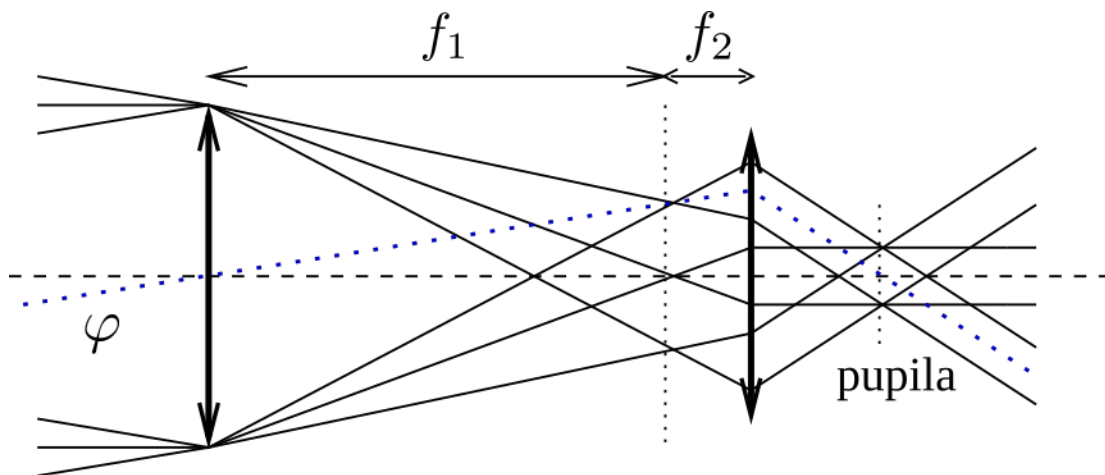
pupily

apertura (clona) – prvek nejvíce omezující osový svazek

vstupní pupila – obraz apertury v předmětovém prostoru

výstupní pupila – obraz apertury v obrazovém prostoru

příklad:



Lagrange

úhlové zvětšení teleskopu:

$$\gamma = \varphi' / \varphi = m_{\text{pup}}^{-1}$$