

Brýlová optika



stručná osnova

jarní semestr

- základy geometrické optiky pro brýlovou optiku
- Gullstrandovo schématické oko, další modely,
- fotoreceptory oka, vizus, optotypy
- myopie, hypermetropie, afakie a jejich korekce
- povaha axiální refrakce, velikost obrazu na sítnici

podzimní semestr

- akomodace oka
- presbyopie a její korekce
- brýlové čočky: výpočty, korekce vad, bodově zobrazující čočky
- prizmatický účinek
- bifokální, trifokální a multifokální čočky
- oční astigmatismus a jeho korekce

kontrola a hodnocení studia

jarní semestr

2 kontrolní práce (50 + 50 bodů)

zápočet (podmínka udělení: > 49 bodů)

podzimní semestr

2 kontrolní práce (50 + 50 bodů)

zápočet (podmínka udělení: > 49 bodů)

zkouška (ústní, asi 1/2 hodnocení za body z KP,
asi 1/2 za 2 otázky u zkoušky)

literatura

1. J. Polášek a kol.: **Technický sborník oční optiky**, 2. vyd. SNTL, Praha 1975.
2. R. Baštecký: **Praktická brýlová optika**. R+H optik, Praha 1997.
3. M. Rutrle: **Brýlová optika**. IDVPZ, Brno 1993.
4. A. H. Tunnacliffe: **Introduction to Visual Optics**. ABDO College, Canterbury 2004.
5. E. Keprt: **Teorie optických přístrojů III. Oko a jeho korekce**. SPN, Praha 1966.
6. J. Schwiegerling: **Field Guide to Visual and Ophthalmic Optics**. SPIE, Bellingham 2004.
7. B. Havelka: **Geometrická optika, I. a II. díl**. NČAV, Praha 1955.
Též na www.opto.cz

další informační zdroje



Focused on optics

22nd International Fair
for Eye Optics, Optometry
and Ophthalmology

18th – 20th March 2016
BRNO – EXHIBITION CENTRE
CZECH REPUBLIC

18. - 20. 3. 2016

www.bvv.cz/opta

Česká oční optika

časopis Společenstva českých optiků a optometristů



SČOO SPOLEČENSTVO ČESKÝCH
OPTIKŮ A OPTOMETRISTŮ

www.4oci.cz

kontakt

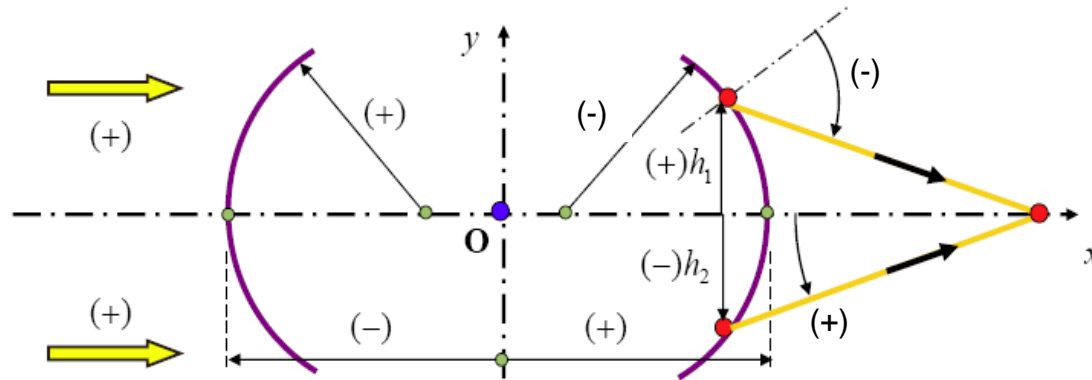
prof. RNDr. Radim Chmelík, Ph.D.
Ústav fyzikálního inženýrství
FSI VUT v Brně
e-mail: chmelik@fme.vutbr.cz
tel. 541 14 2795

požadované vstupní znalosti

1. zákony geometrické optiky, index lomu
2. disperze, Abbeovo číslo, katalogy optických materiálů
3. hranol, optický klín
4. zobrazení kulovou plochou obecně a v paraxiálním prostoru
5. základní body jedné kulové plochy
6. zobrazení soustavou kulových ploch, polohy základních bodů soustavy, ohniskové vzdálenosti
7. zobrazovací rovnice (pro paraxiální prostor)
8. zobrazení tenkou čočkou, zobrazení tlustou čočkou
9. zobrazení soustavou čoček, trasování paprsků
10. omezení paprskových svazků v optické soustavě
11. zvětšení příčné, podélné, úhlové

(Geometrická optika – 1. semestr)

znaménková konvence a symboly



$X, X', (Y, Y')$... osový (mimoosový) předmětový a obrazový bod
s, s'	... sečné vzdálenosti předmětového, obrazového bodu
$s_X, s(X), x$... sečná vzdálenost bodu X
a, a'	... vzdálenost od předmětové, obrazové hlavní roviny
f, f'	... předmětová, obrazová ohnisková vzdálenost
h	... výška paprsku (vzdálenost od optické osy)
y, y'	... příčná souřadnice mimoosového bodu
n, n'	... index lomu (před a za lámavou plochou, zrcadlo: $n' = -n$)
φ', S'	... optická mohutnost, vrcholová lámavost

vergence vzdáleností se označují příslušnými velkými písmeny (A, S, X)
pořadí lámavé plochy se značí číselným indexem

redukovávaná vzdálenost, vergence

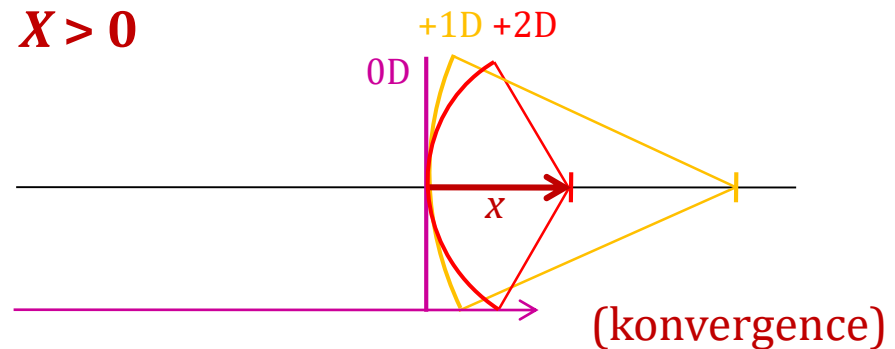
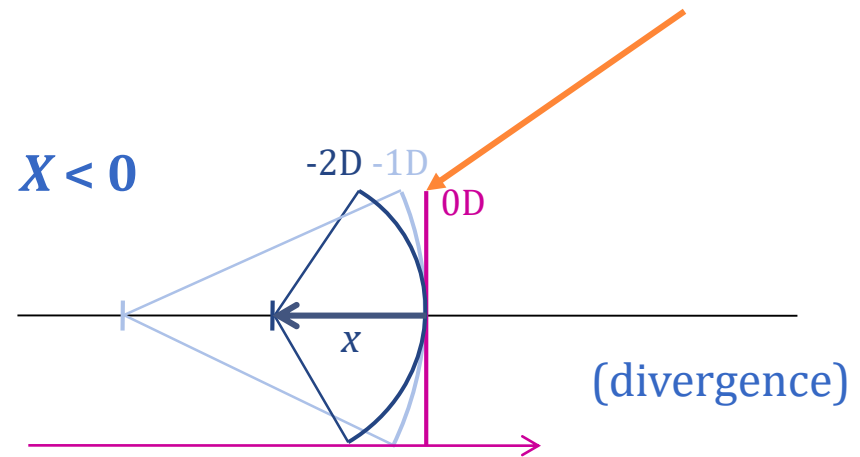
redukovávaná vzdálenost:

$$\bar{x} = x/n$$

vergence*:

$$X = n/x$$

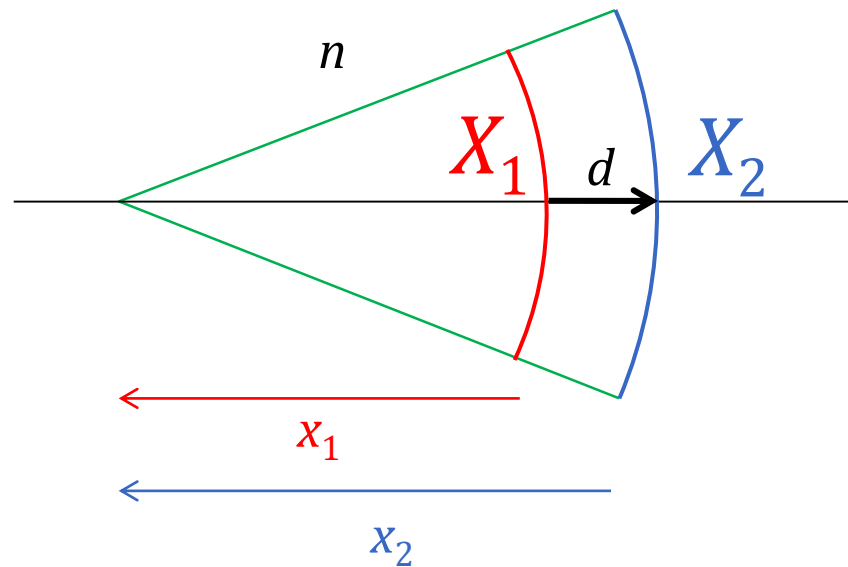
x (m)	X (m ⁻¹ , D)
-0,1	-10
-0,2	-5
-0,25	-4
-0,33	-3
-0,5	-2
-1	-1
∞	0
+1	+1
+0,5	+2
+0,1	+10



*chápeme také jako parametr svazku se středem ve vzdálenosti x v určité rovině

vergence svazku se mění při šíření

$$X_2 = \frac{X_1}{1 - d\bar{n}X_1} \quad (x_2 = x_1 - d)$$



lom kulovou plochou

Snellův zákon

$$n' \sin \sigma' = n \sin \sigma$$

$x, \alpha \rightarrow$

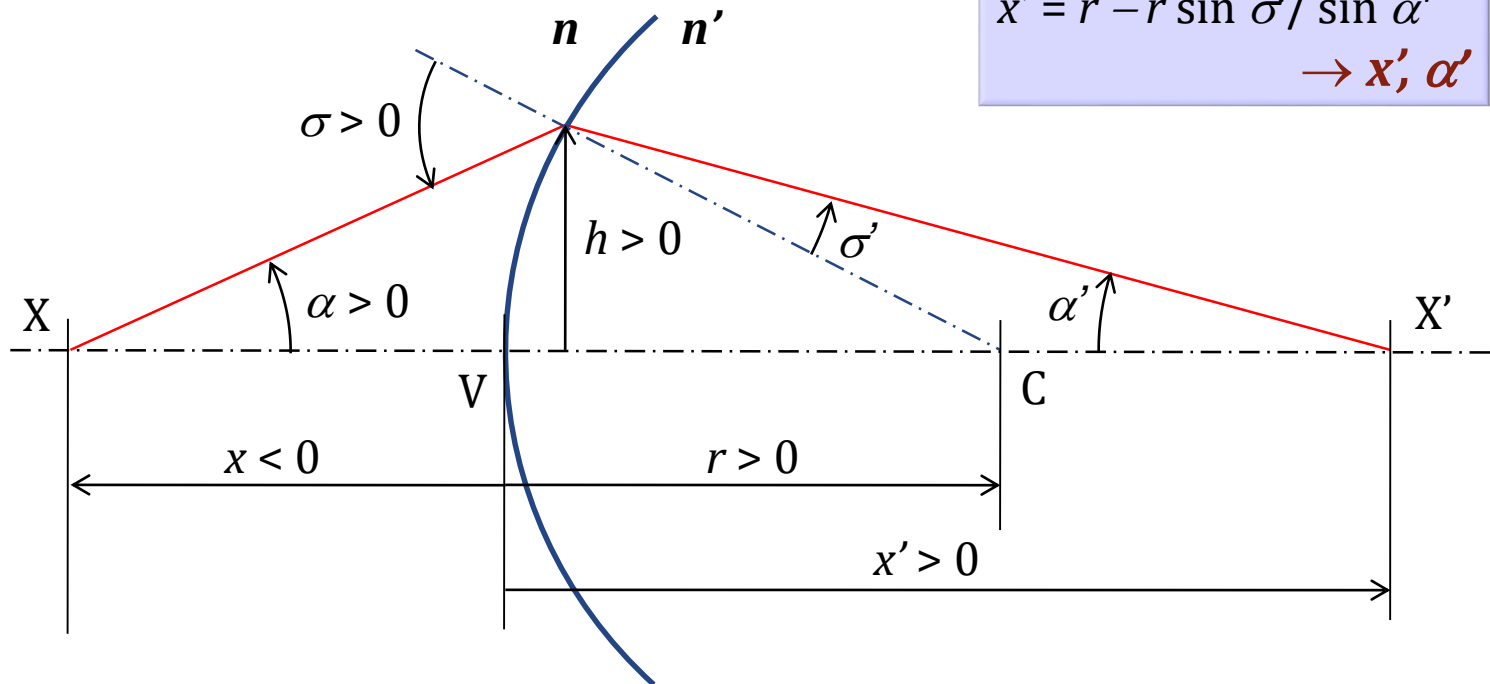
$$\sin \sigma = (r - x) / r \sin \alpha$$

$$\sin \sigma' = n / n' \sin \sigma$$

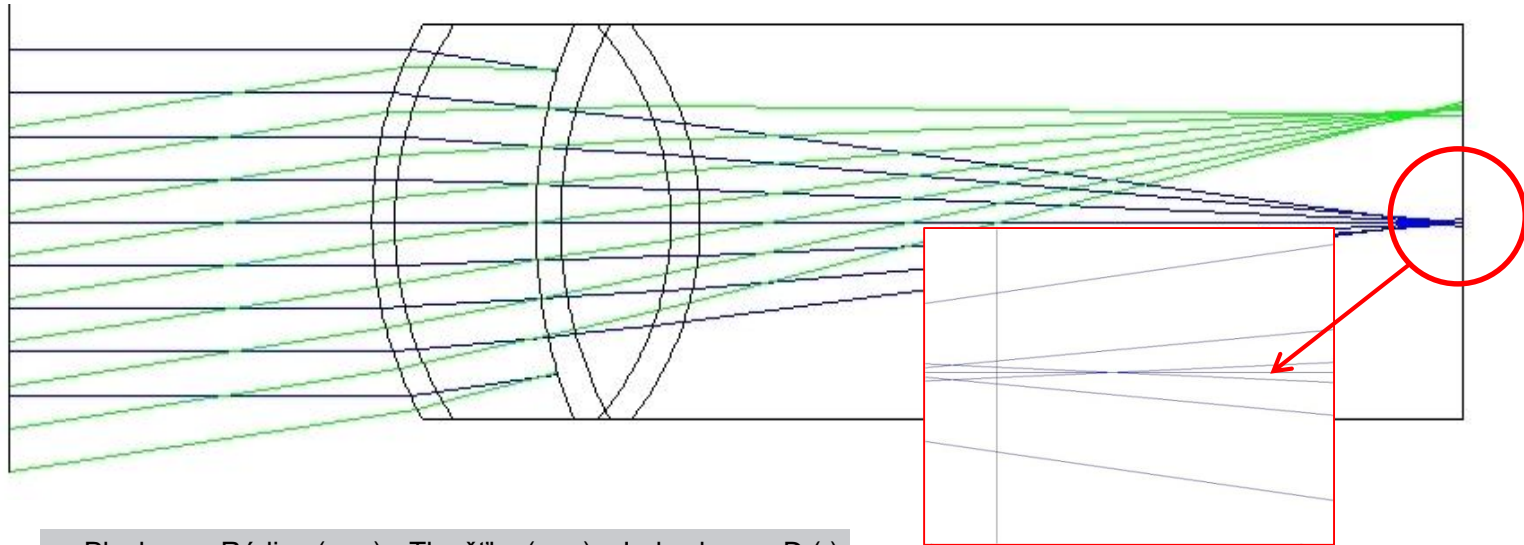
$$\alpha' = \alpha - \sigma + \sigma'$$

$$x' = r - r \sin \sigma' / \sin \alpha'$$

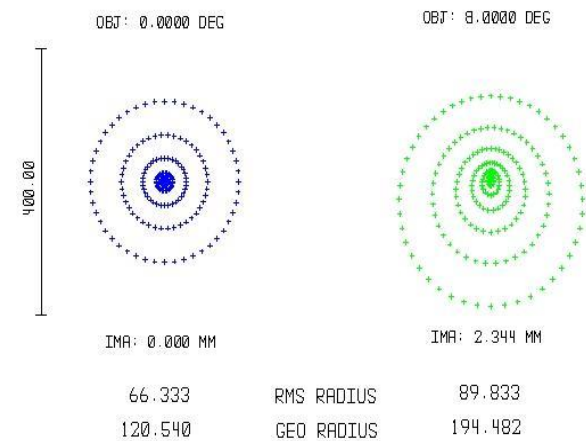
$\rightarrow x', \alpha'$



trasování paprsků (ray tracing)

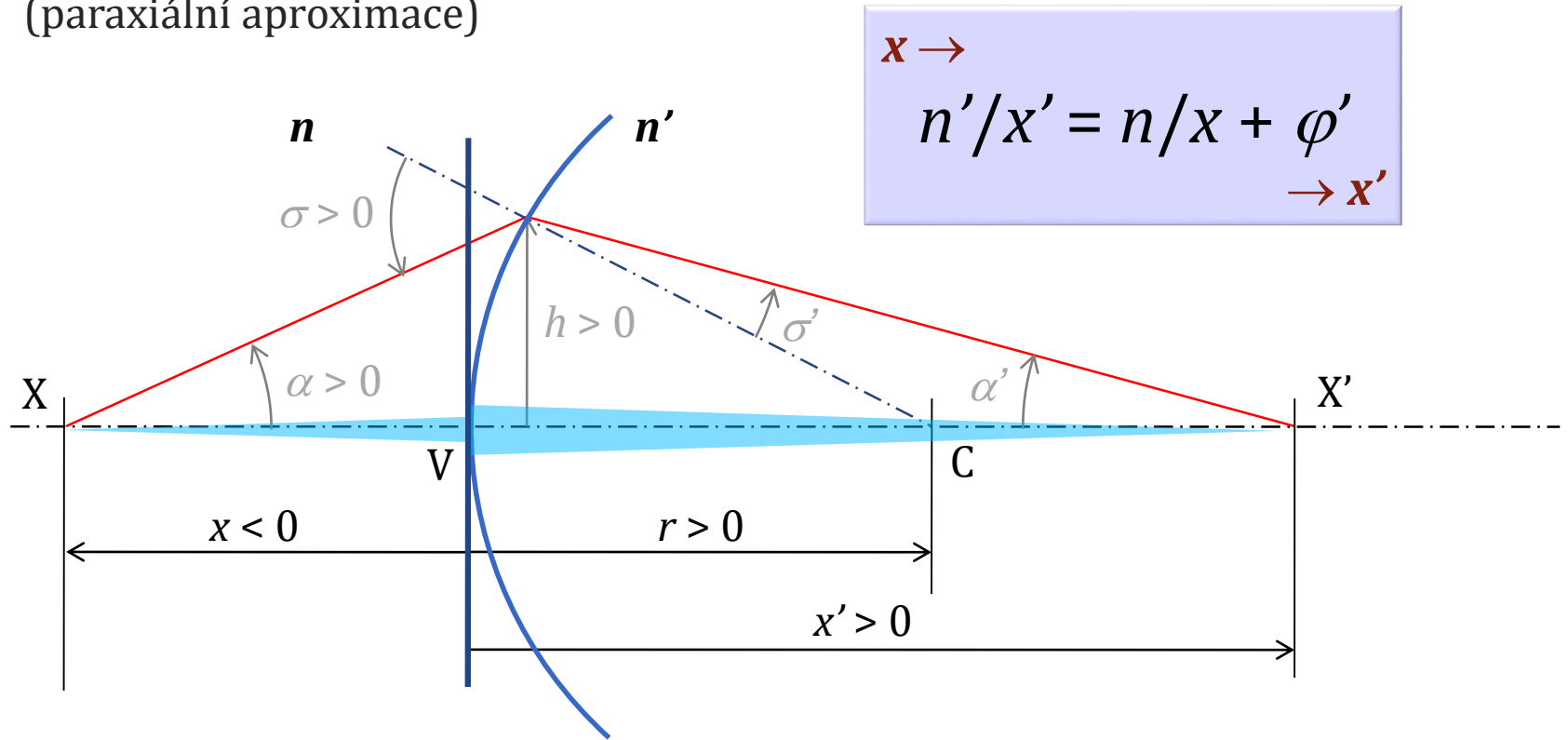


Plocha	Rádus (mm)	Tloušťka (mm)	Index lomu nD (-)
Objekt	nekonečno	nekonečno	1,0000
2	7,70	0,50	1,3771
3	6,80	3,10	1,3374
STO	10,00	0,55	1,3860
5	7,91	2,42	1,4060
6	-5,76	0,64	1,3860
7	-6,00	16,79	1,3360



Gaussova zobrazovací rovnice

(paraxiální aproximace)



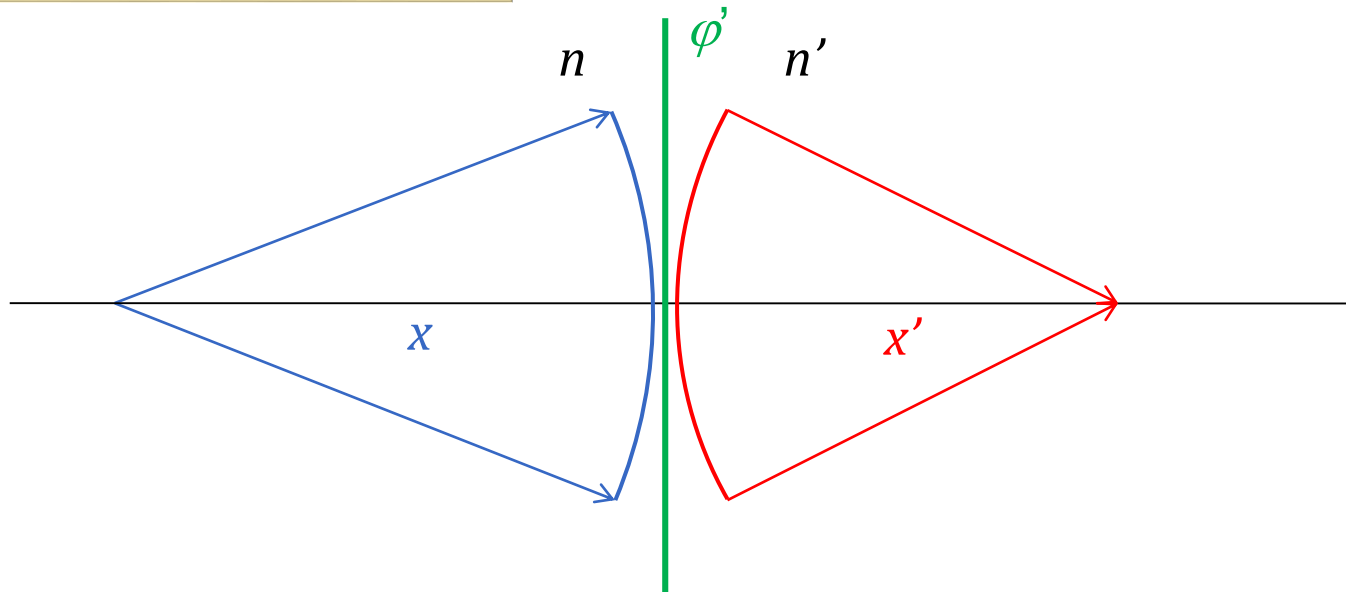
optická mohutnost plochy

$$\varphi' = (n' - n)/r$$

lámavá plocha mění vergenci

Gaussova zobrazovací rovnice:

$$X + \varphi' = X'$$

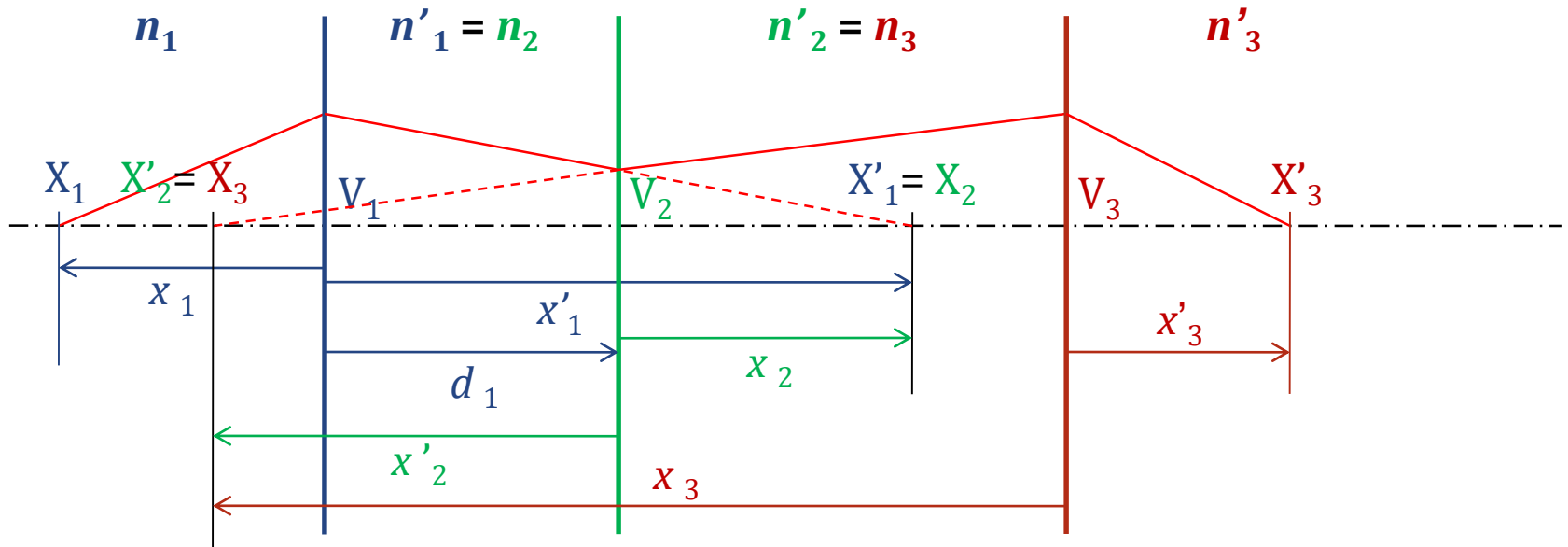


optická mohutnost je vergencí (obrazové) ohniskové vzdálenosti (též: vergencí svazku konvergujícího do ohniska těsně za lámavou plochou):

$$0 + \varphi' = n'/f'$$

soustava lámavých ploch

(paraxiální aproximace)



$$\varphi'_i = (n'_i - n_i)/r_i$$

$$n'_i/x'_i = n_i/x_i + \varphi'_i$$

$$x_{i+1} = x'_i - d_i$$

soustava lámavých ploch

(tabelární výpočet v paraxiální aproximaci)

plocha č.	1	2	3	
n	1,000	1,525	1,603	... index lomu před lám. plochou
n'	1,525	1,603	1,000	... index lomu za lám. plochou
r	9,000	-1,000	-11,000	... rádius lám. plochy
d	30	45	--	... vzdálenost lám. plochy od předch.
x	- 30,00			... poloha předmětového bodu
$X = n/x$... vergence předmětového svazku
$\varphi' = (n' - n)/r$... optická mohutnost plochy
$X' = X + \varphi'$... vergence obrazového svazku
$x' = n'/X'$... poloha obrazového bodu
$x' - d$			--	... pomocný údaj
$x'/(x' - d)$			--	... pomocný údaj

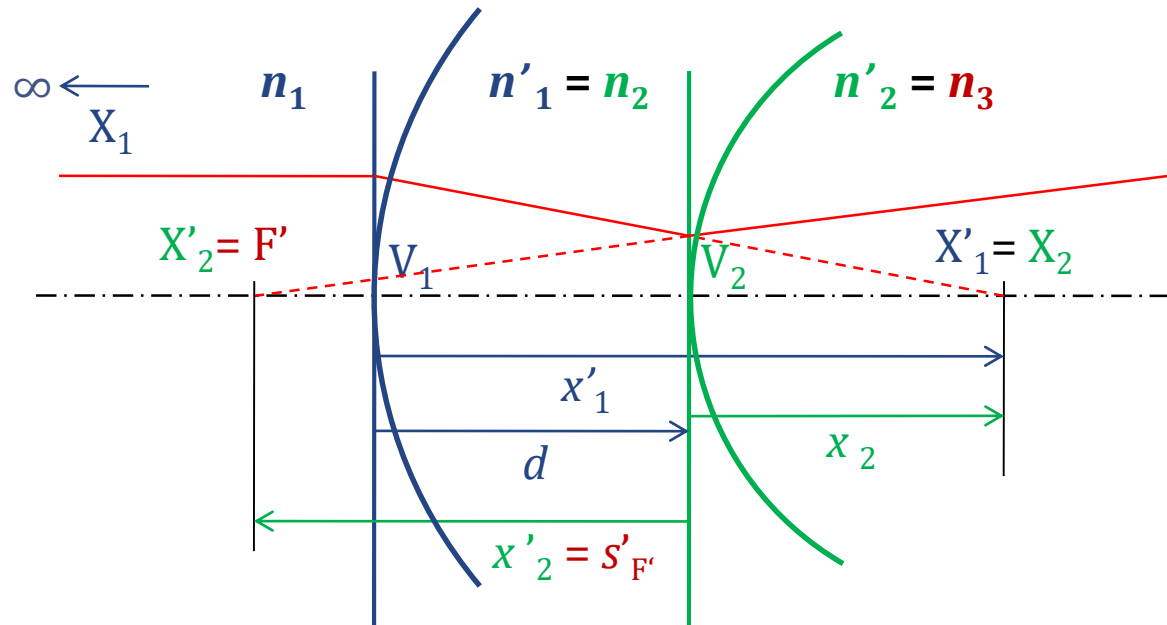
$$\varphi'_i = (n'_i - n_i)/r_i$$

$$X'_i = X_i + \varphi'_i$$

$$x_{i+1} = x'_i - d_i$$

$$X_{i+1} = \frac{X'_i}{1 - \bar{d}_i X'_i}$$

příklad: ohnisko rozptylky



$$\varphi'_i = (n'_i - n_i)/r_i$$

$$X'_i = X_i + \varphi'_i$$

$$x_{i+1} = x'_i - d_i$$

$$X_{i+1} = \frac{X'_i}{1 - \bar{d}_i X'_i}$$

příklad: ohnisko rozptylky

(tabelární výpočet pro paraxiální aproximaci)



plocha č.	1	2
n	1,000	1,525
n'	1,525	1,000
r	+30	+20
d	5	-
x	∞	
$X = n/x$	0	
$\varphi' = (n' - n)/r$		
$X' = X + \varphi'$		
$x' = n'/X'$		$S'F'$
$x' - d$		
$x'/(x' - d)$		

leží-li
předmětový bod
v nekonečnu

$$\varphi'_i = (n'_i - n_i)/r_i$$

$$X'_i = X_i + \varphi'_i$$

$$x_{i+1} = x'_i - d_i$$

$$X_{i+1} = \frac{X'_i}{1 - \bar{d}_i X'_i}$$

pak zde vychází sečná
obrazová ohnisková
vzdálenost

příklad: ohnisko rozptylky

(tabelární výpočet polohy předmětového ohniska)



plocha č.	1	2
n	1,000	1,525
n'	1,525	1,000
r	-20	-30
d	5	-
x	∞	
$X = n/x$	0	-0,024
$\varphi' = (n' - n)/r$	-0,0262	0,0175
$X' = X + \varphi'$	-0,0262	-0,0067
$x' = n'/X'$		$S'_{F'}$
$x' - d$		
$x'/(x' - d)$		

leží-li
předmětový bod
v nekonečnu

$$\varphi'_i = (n'_i - n_i)/r_i$$

$$X'_i = X_i + \varphi'_i$$

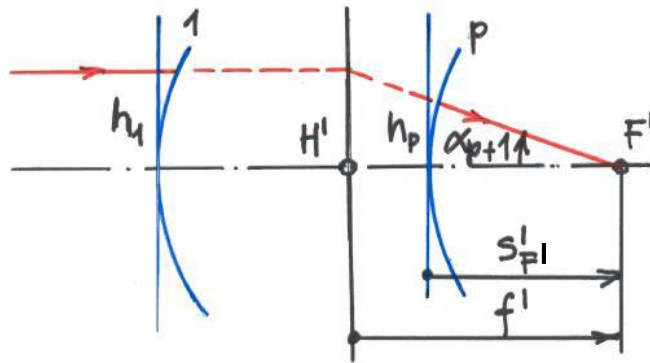
$$x_{i+1} = x'_i - d_i$$

$$X_{i+1} = \frac{X'_i}{1 - \bar{d}_i X'_i}$$

pak zde vychází sečná
obrazová ohnisková
vzdálenost

ohnisková vzdálenost tabelárně

(p ploch)



Obrazová ohnisková vzdálenost:

$$f' = \frac{h_1}{\alpha_{p+1}}$$

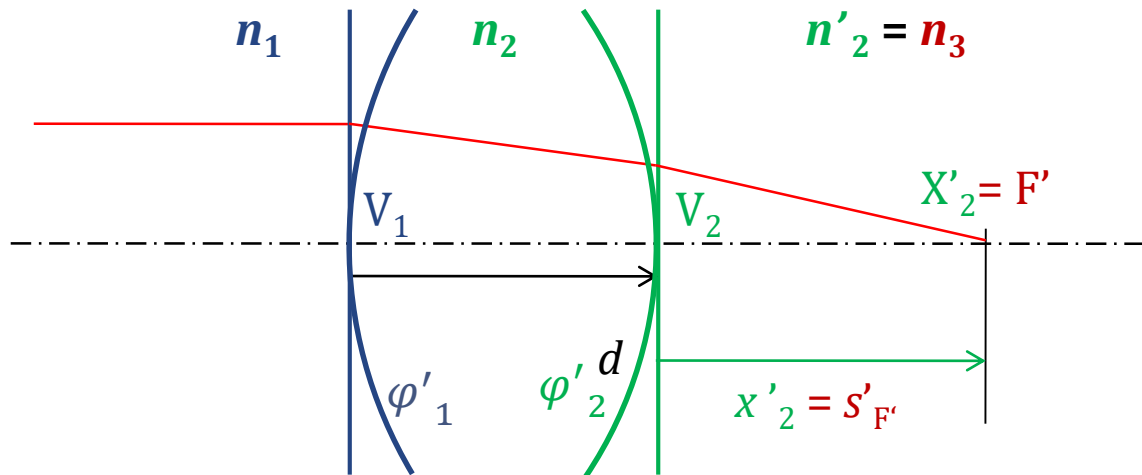
Sečná vzdálenost obrazového ohniska

$$s'_{F'} = \frac{h_p}{\alpha_{p+1}}$$

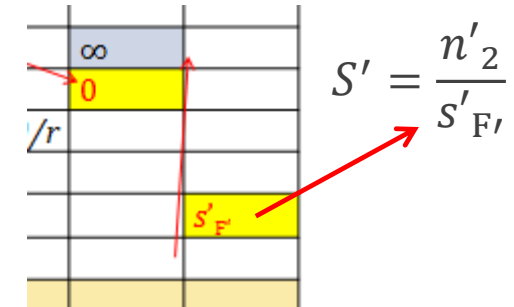
$$f' = \frac{h_1}{h_p} s'_{F'} = \frac{x'_1 x'_2 \dots x'_{p-1}}{x_2 x_3 \dots x_p} s'_{F'} = \frac{x'_1}{x'_1 - d_1} \frac{x'_2}{x'_2 - d_2} \dots \frac{x'_{p-1}}{x'_{p-1} - d_{p-1}} s'_{F'}$$

x'				$s'_{F'}$
$x'-d$				\times
$x'/(x'-d)$	$x'_1/(x'_1-d_1)$	\times	$x'_2/(x'_2-d_2)$	\times

vrcholová lámavost (2 plochy i p ploch)



tabelární výpočet S' :



vrcholová lámavost

je vergencí **sečné** (obrazové) ohniskové vzdálenosti (též: vergencí svazku konvergujícího do obrazového ohniska těsně za poslední plochou soustavy):

$$S' = \frac{n'_2}{s'_{F'}} = \frac{n'_2}{s'_{2}(F')} = \frac{\varphi'_1}{1 - \frac{d}{n_2} \varphi'_1} + \varphi'_2 = \frac{\varphi'_c}{1 - \frac{d}{n_2} \varphi'_1} = \Gamma' \varphi'_c$$

vlastní
zvětšení

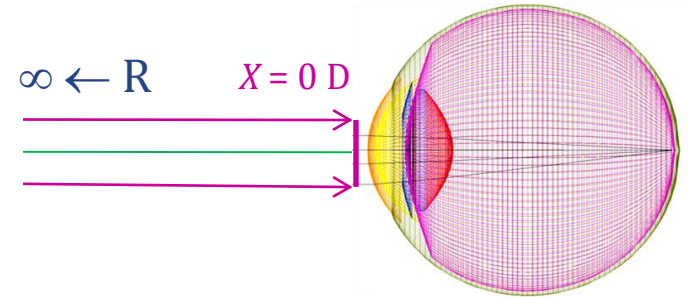


celková
optická
mohutnost

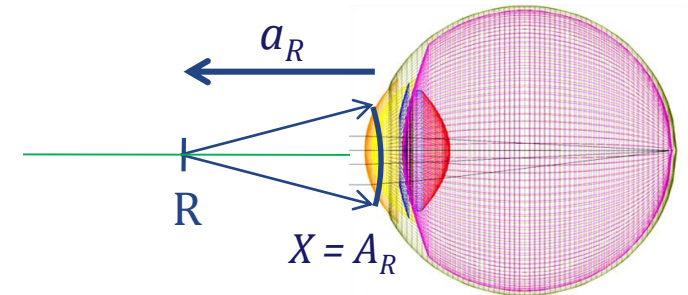
Gullstrandova rovnice: $\varphi'_c = \varphi'_1 + \varphi'_2 - \frac{d}{n_2} \varphi'_1 \varphi'_2$

vergence a korekce vady oka

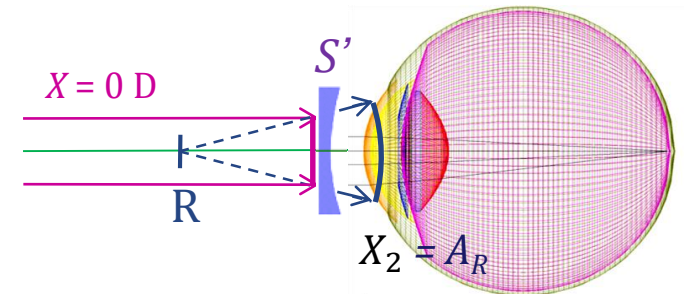
emetropické oko (bez vady)
vidí ostře bod R v nekonečnu
(svazek s vergencí $X = 0$ D)



ametropické oko (s refrakční vadou)
vidí ostře bod R ve vzdálenosti a_R
tj. do oka musí vstupovat svazek s
vergencí $X = A_R = 1/a_R$



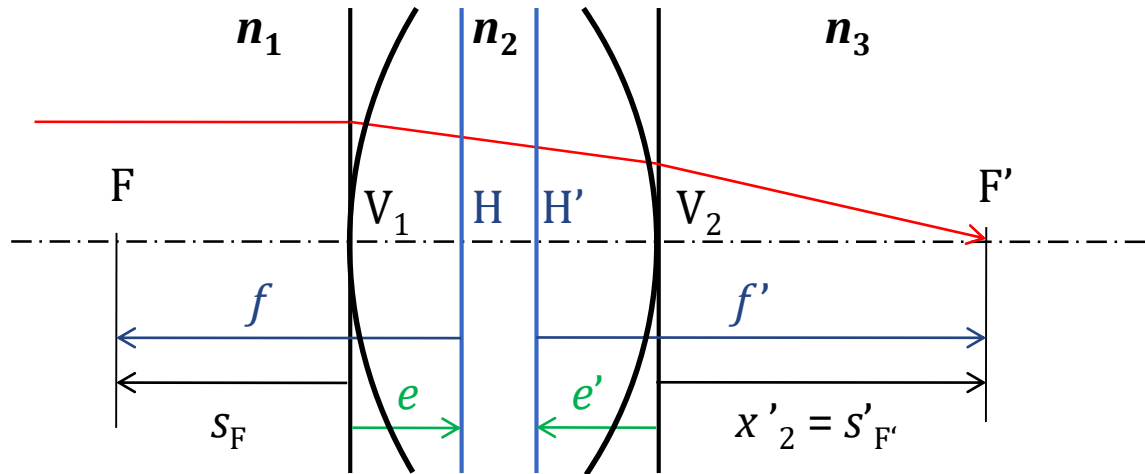
korekční čočka převádí svazek s
vergencí $X = 0$ na svazek vstupující do
oka s vergencí A_R



$$X_2 = \frac{X_1}{1 - \bar{d}X_1}$$

$$A_R = \frac{S'}{1 - \bar{d}S'}$$

hlavní body a roviny (2 plochy)



obecně:

$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'_p}{n_1}$$

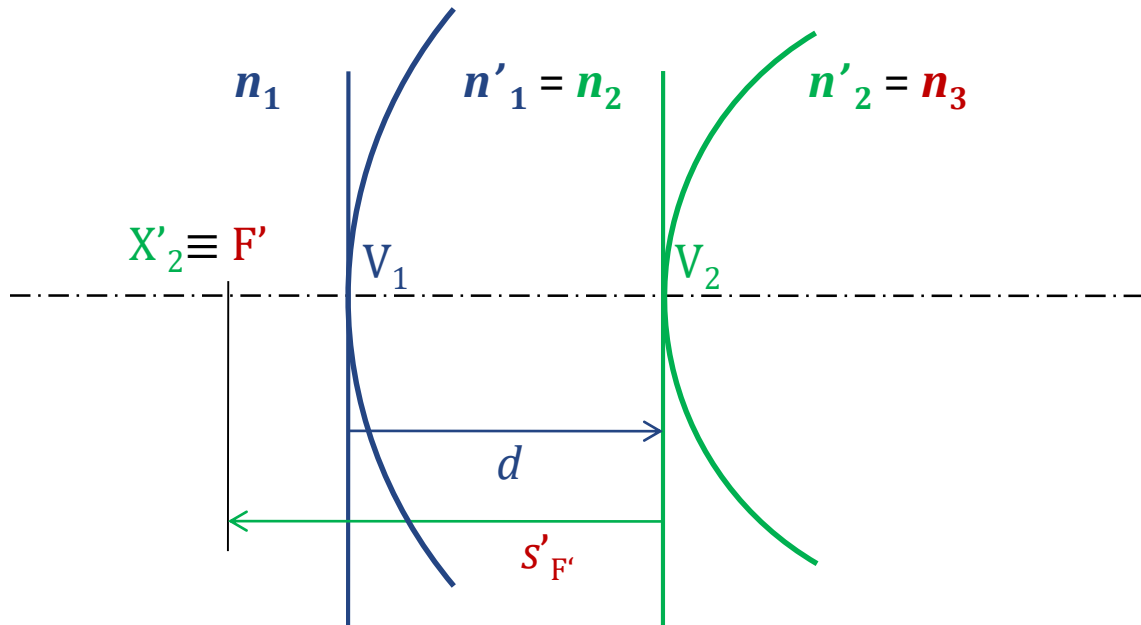
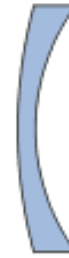
$$s_1(H) = s_1(F) - f = s_F - f = e$$

$$s'_2(H') = s'_2(F') - f' = s'_{F'} - f' = e'$$

$$e = + \frac{d}{n_2} \frac{\varphi'_2}{\varphi'_c} n_1$$

$$e' = - \frac{d}{n_2} \frac{\varphi'_1}{\varphi'_c} n_3$$

příklad: rozptylka

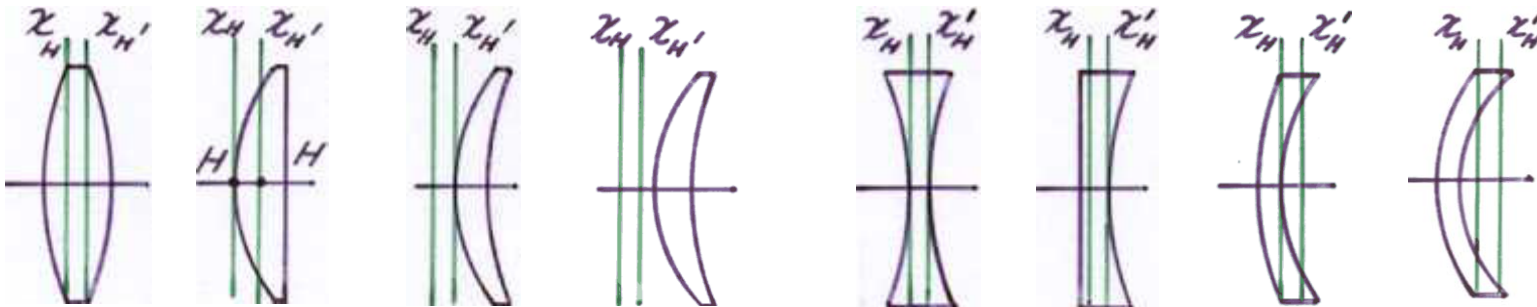


$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'_p}{n_1}$$

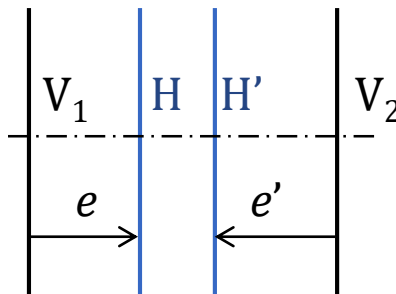
$$e = +\frac{d}{n_2} \frac{\varphi_2'}{\varphi_c'} n_1$$

$$e' = -\frac{d}{n_2} \frac{\varphi_1'}{\varphi_c'} n_3$$

polohy hlavních rovin u čoček

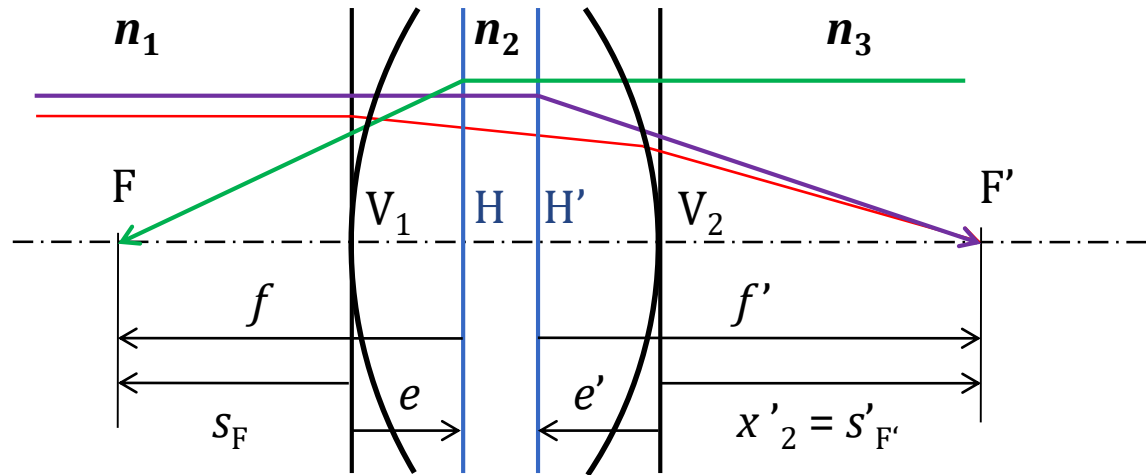


$$e = + \frac{d}{n_2} \frac{\varphi_2'}{\varphi_c'} n_1$$



$$e' = - \frac{d}{n_2} \frac{\varphi_1'}{\varphi_c'} n_3$$

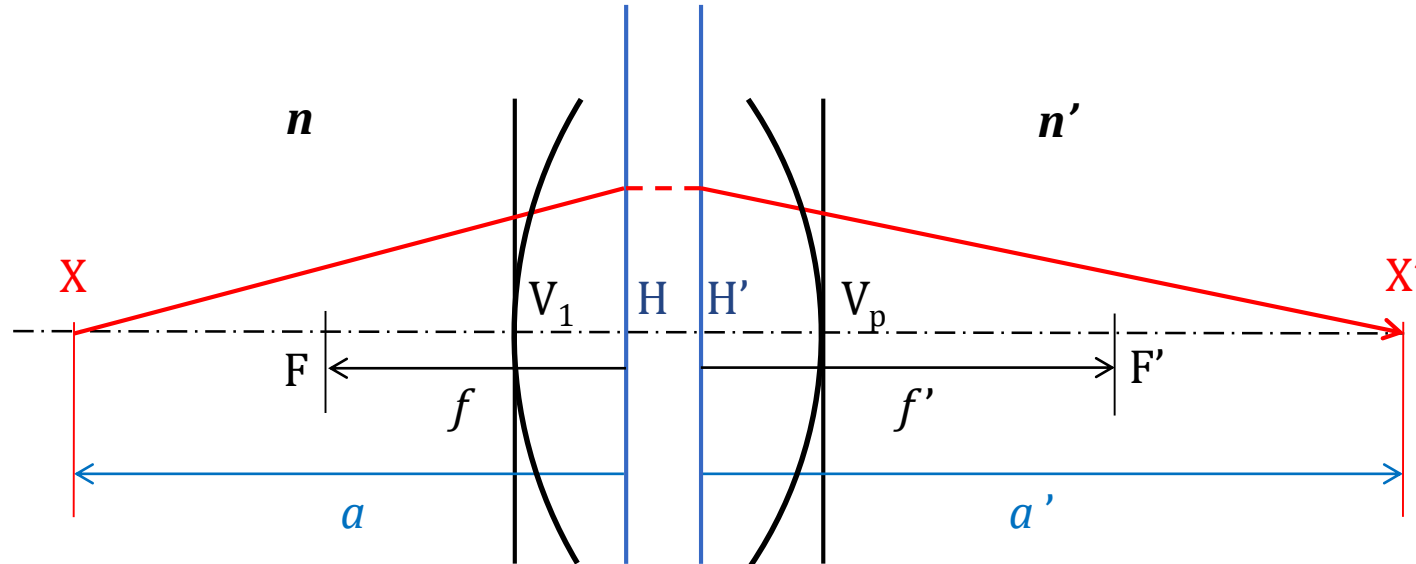
hlavní body a roviny (p ploch)



Účinek všech ploch optické soustavy lze nahradit **obrazovou hlavní rovinou**.
Při opačném chodu paprsků **předmětovou hlavní rovinou**.

Gaussova zobrazovací rovnice

(p ploch)



$a \rightarrow$

$$n'/a' = n/a + \varphi_c' \rightarrow a'$$

vztah optické mohutnosti a ohniskové vzdálenosti:

$$n'/f' = F' = 0 + \varphi_c' \rightarrow \varphi_c' = n'/f'$$

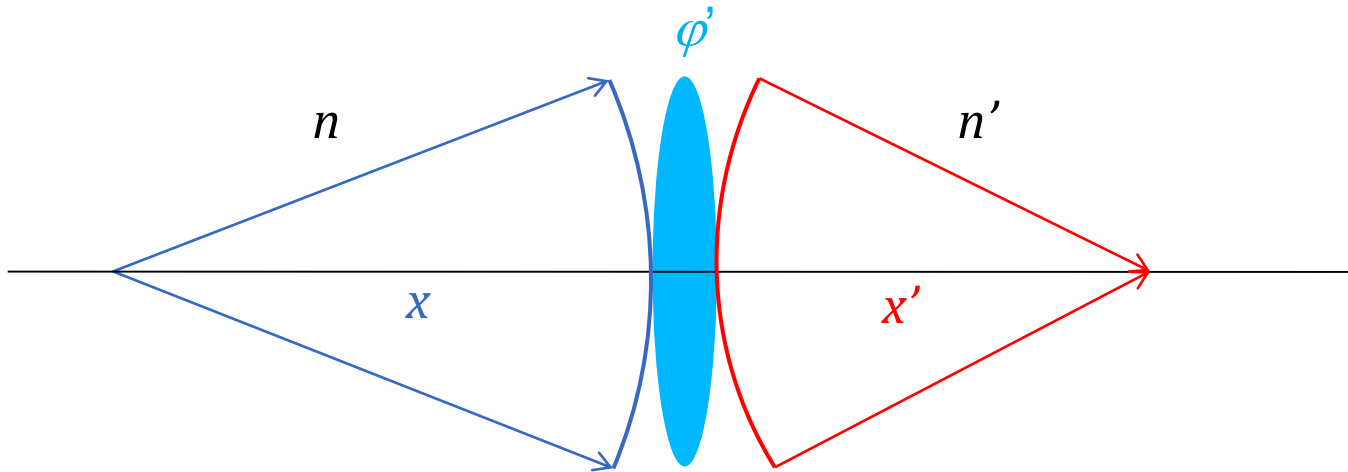
$$0 = n/f + \varphi_c' \rightarrow \varphi_c' = -n/f$$

optická mohutnost je tedy vergencí svazku konvergujícího do obrazového ohniska v obrazové hlavní rovině

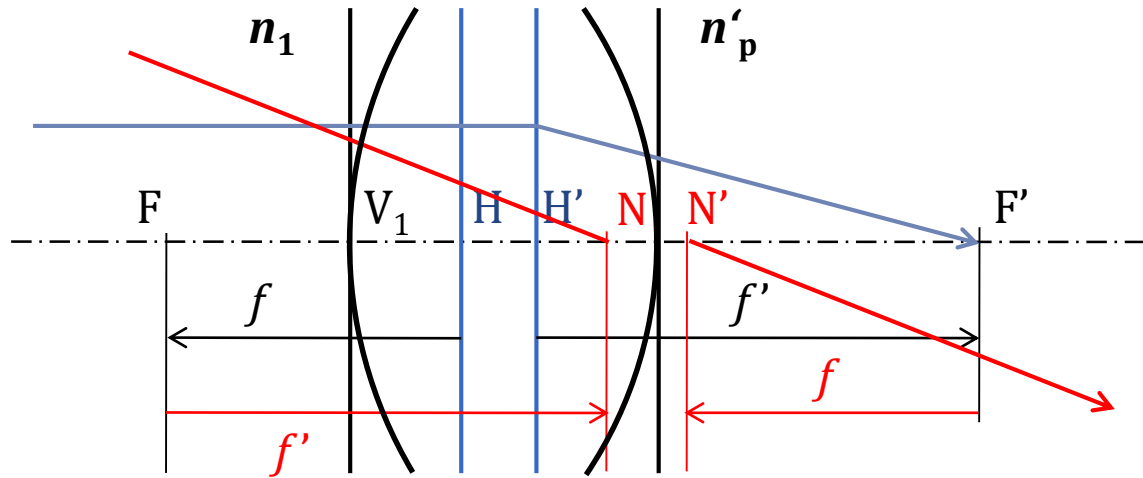
čočka transformuje vergenci

Gaussova zobrazovací rovnice:

$$X + \phi' = X'$$



uzlové body (p ploch)



$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'_p}{n_1}$$

sečné vzdálenosti od 1. plochy

$$s(N) = s(F) + f'$$

$$s(H) = s(F) - f$$

$$\begin{aligned} s(N) &= s(H) + f' + f \\ &= s(H) + f' \left(1 - \frac{n_1}{n_p}\right) \end{aligned}$$

sečné vzdálenosti od plochy p

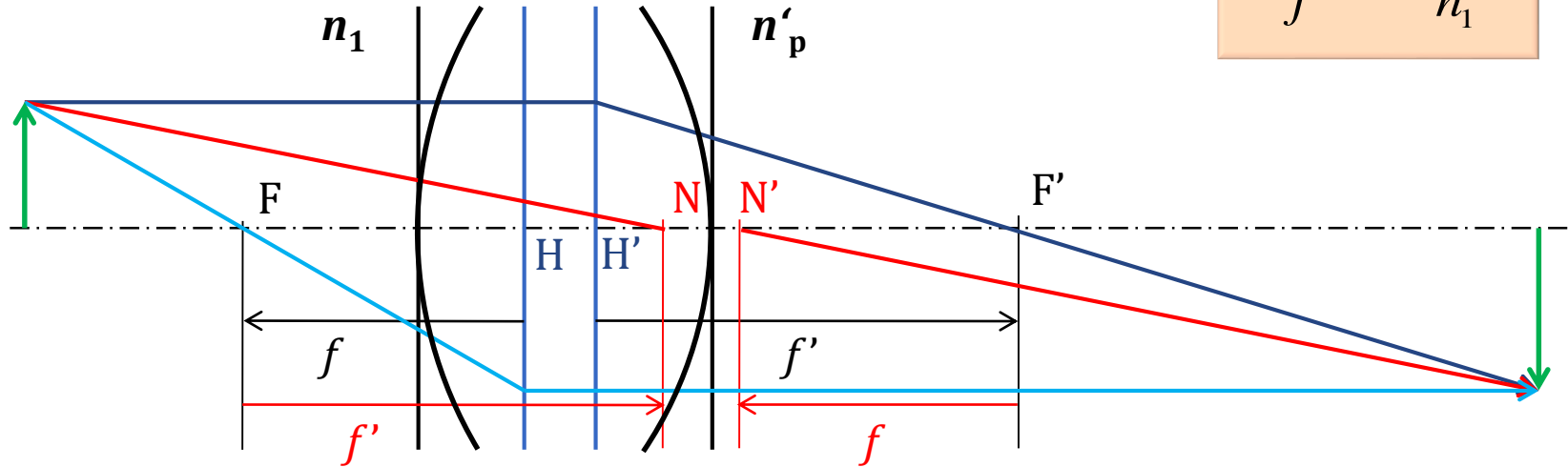
$$s'(N') = s'(F') + f$$

$$s'(H') = s'(F') - f'$$

$$\begin{aligned} s'(N') &= s'(H') + f' + f \\ &= s'(H') + f' \left(1 - \frac{n_1}{n_p}\right) \end{aligned}$$

konstrukce zobrazení (p ploch)

$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'_p}{n_1}$$



$$s(N) = s(H) + f' \left(1 - \frac{n_1}{n_p}\right)$$

$$s'(N') = s'(H') + f' \left(1 - \frac{n_1}{n_p}\right)$$