

# 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

## podzimní semestr

- akomodace oka,
- presbyopie a její korekce
- brýlové čočky: výpočty, 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 (> 49 bodů)

## podzimní semestr

2 kontrolní práce (50 + 50 bodů)  
zápočet (> 49 bodů)  
zkouška (ústní, 1/3 hodnocení za body z KP,  
2/3 za 2 otázky u zkoušky)

# literatura

1. R. Baštecký: **Praktická brýlová optika**. R+H optik 1997.
2. **Technický sborník oční optiky**. 2. vyd. (J. Polášek, ed.) SNTL, Praha 1975.
3. E. Keprt: **Teorie optických přístrojů III. Oko a jeho korekce**. SPN, Praha 1966.
4. M. Rutrle: **Brýlová optika**. IDVPZ, Brno 1993.
5. S. H. Schwartz: **Geometrical and Visual Optics: A Clinical Introduction**. McGraw-Hill, New York 2002.
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](http://www.opto.cz)

# další informační zdroje



Letos: Otto Wichterle, kontaktní čočky, brýle pro seniory, ...

[www.bvv.cz/opta](http://www.bvv.cz/opta)

## Česká oční optika

časopis Společenstva českých optiků a optometristů



[www.4oci.cz](http://www.4oci.cz)

# kontakt

prof. RNDr. Radim Chmelík, Ph.D.

Ústav fyzikálního inženýrství

FSI VUT v Brně

e-mail: [chmelik@fme.vutbr.cz](mailto:chmelik@fme.vutbr.cz)

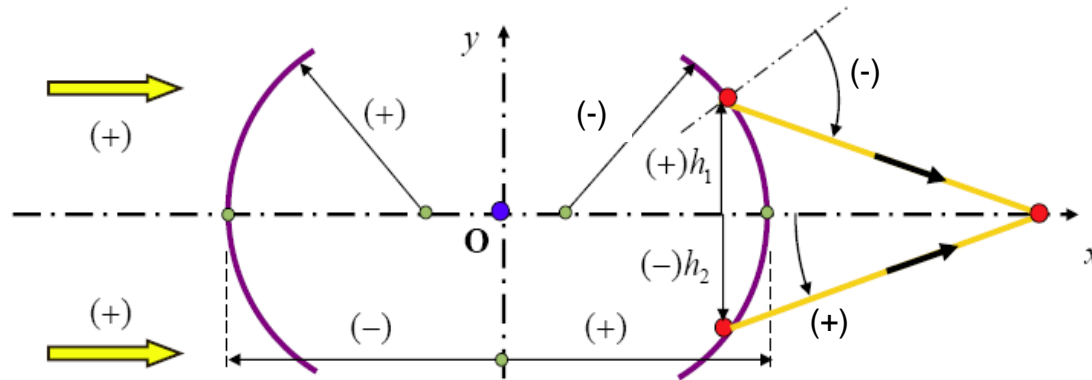
tel. 541 14 2795

# požadované vstupní znalosti

1. zákony geometrické optiky, index lomu prostředí, index lomu vzduchu, vzájemné vztahy
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, reálné 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 hlavních roviny  
 $f, f'$  ... předmětová, obrazová ohnisková vzdálenost  
 $h$  ... výška paprsku (od optické osy)  
 $y, y'$  ... příčná souřadnice mimoosového bodu  
 $n, n'$  ... index lomu (před a za lámavou plochou)  
 $\varphi, S'$  ... optická mohutnost, vrcholová lámavost  
 vergence vzdáleností se označují příslušnými velkými písmeny ( $A, S, X$ )  
 pořadí lámavé plochy se značí číselným indexem



# lom kulovou plochou

## Snellův zákon

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

$x, \alpha \rightarrow$

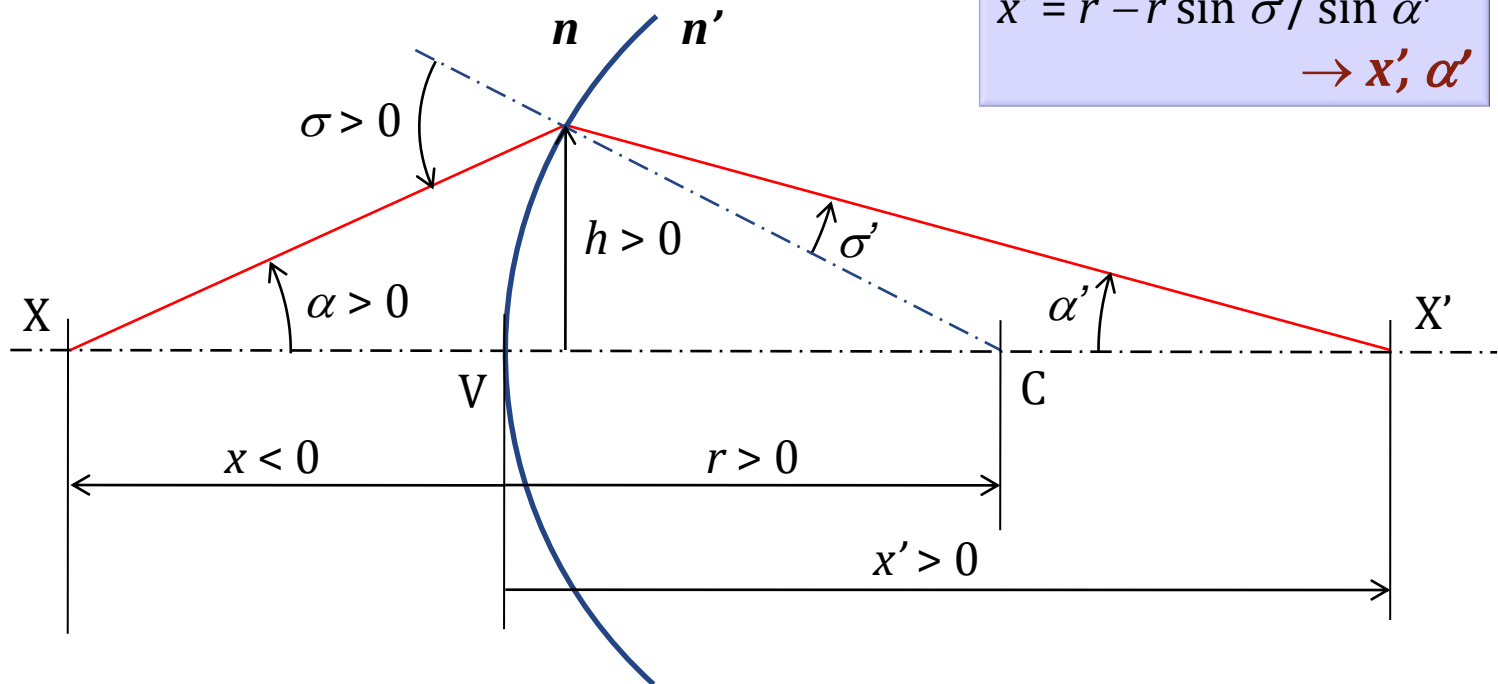
$$\sin \sigma = (r - x)/r \sin \alpha$$

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

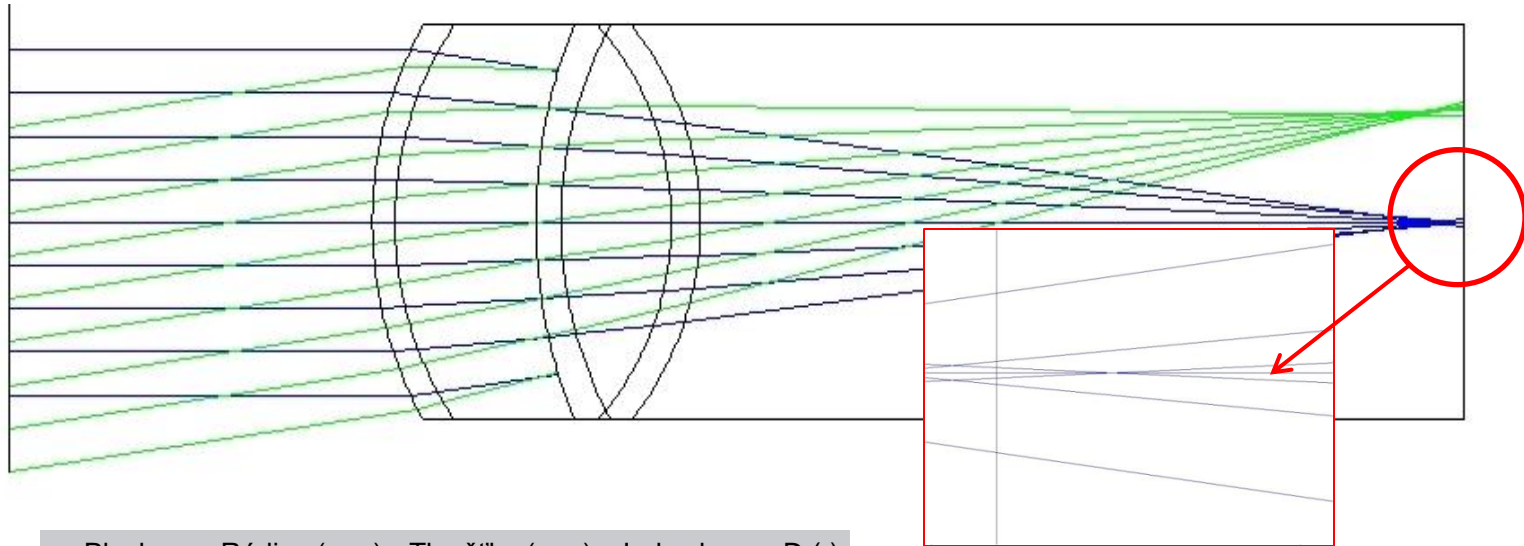
$$\alpha' = \alpha - \sigma + \sigma'$$

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

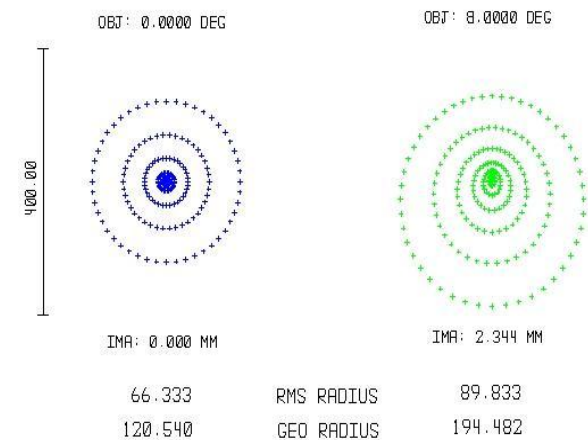
$\rightarrow x', \alpha'$



# trasování paprsků (ray tracing)

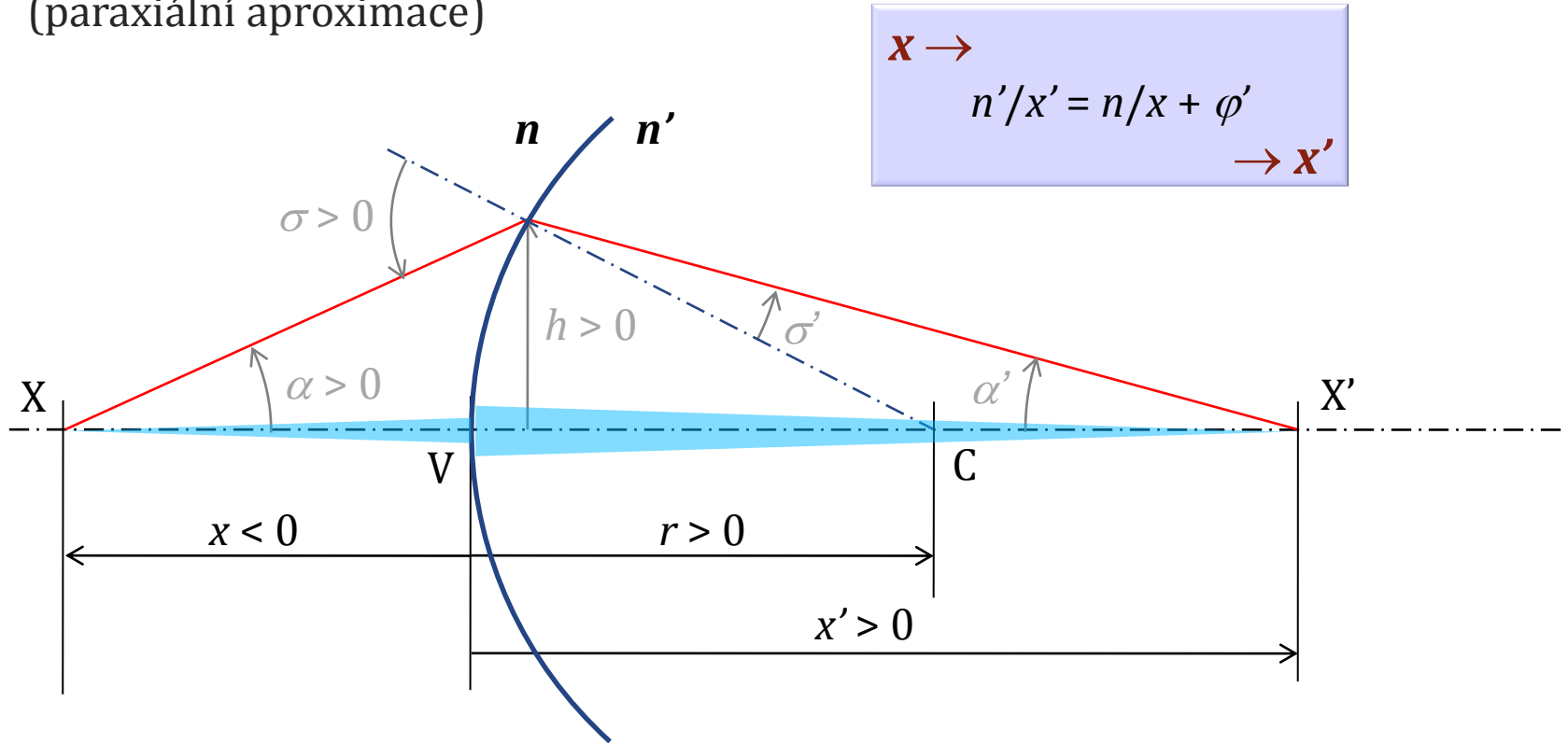


Plocha	Rádus (mm)	Tloušťka (mm)	Index lomu nD (-)
Objekt	nekonečno	nekonečno	1,0000
2	7,70	0,50	1,3771
3	6,80	3,10	1,3374
STO	10,00	0,55	1,3860
5	7,91	2,42	1,4060
6	-5,76	0,64	1,3860
7	-6,00	16,79	1,3360



# Gaussova zobrazovací rovnice

(paraxiální aproximace)



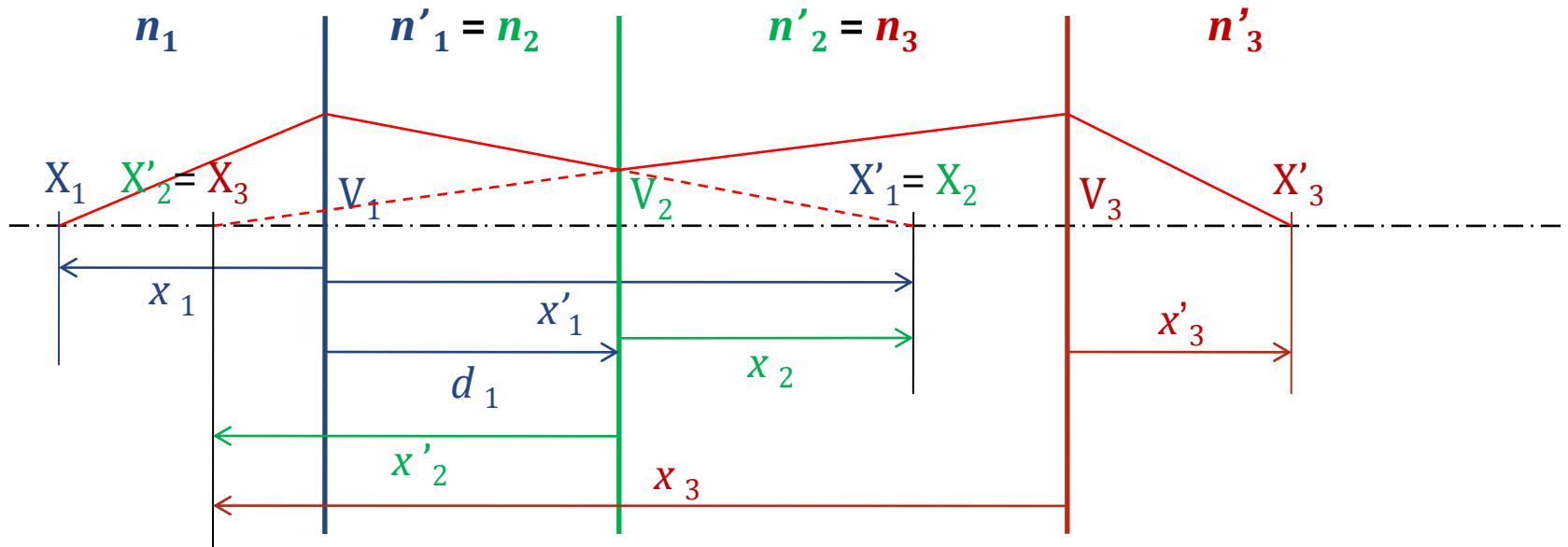
$$x \rightarrow$$
$$n'/x' = n/x + \varphi'$$
$$\rightarrow x'$$

**optická mohutnost plochy**

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

# 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 pro paraxiální aproximaci)

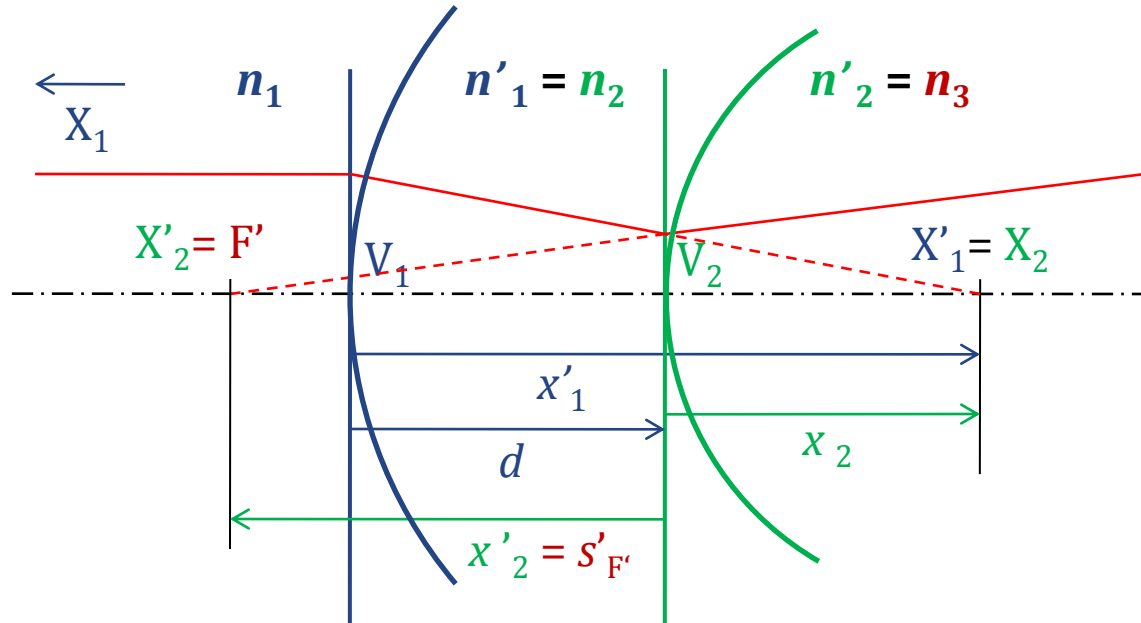
plocha č.	1	2	3
$n$	1,000	1,525	1,603
$n'$	1,525	1,603	1,000
$r$	9,000	-1,000	-11,000
$d$	30	45	--
$x$	- 30,00		
$X = n/x$			
$j' = (n' - n)/r$			
$X' = n'/x'$			
$x'$			
$x' - d$			--
$x'/(x' - d)$			--

$$\varphi_i' = (n_i' - n_i)/r_i$$

$$n_i'/x_i' = n_i/x_i + \varphi_i'$$

$$x_{i+1} = x_i' - d_i$$

# příklad: ohnisko rozptylky



$$\varphi_i' = (n_i' - n_i)/r_i$$

$$n_i'/x_i' = n_i/x_i + \varphi_i'$$

$$x_{i+1} = x_i' - d_i$$

# 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	-
$x$	$\infty$	
$X = n/x$	0	
$\varphi' = (n' - n)/r$		
$X' = n'/x'$		
$x'$		$S'F'$
$x' - d$		
$x'/(x' - d)$		

leží-li  
předmětový bod  
v nekonečnu

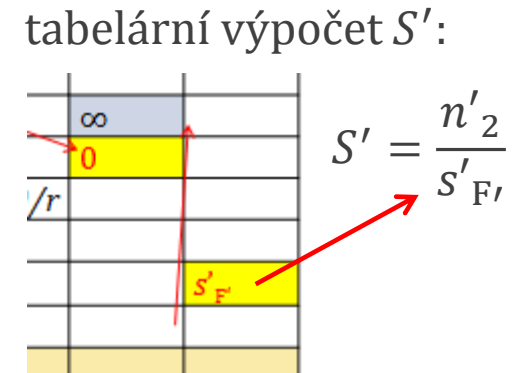
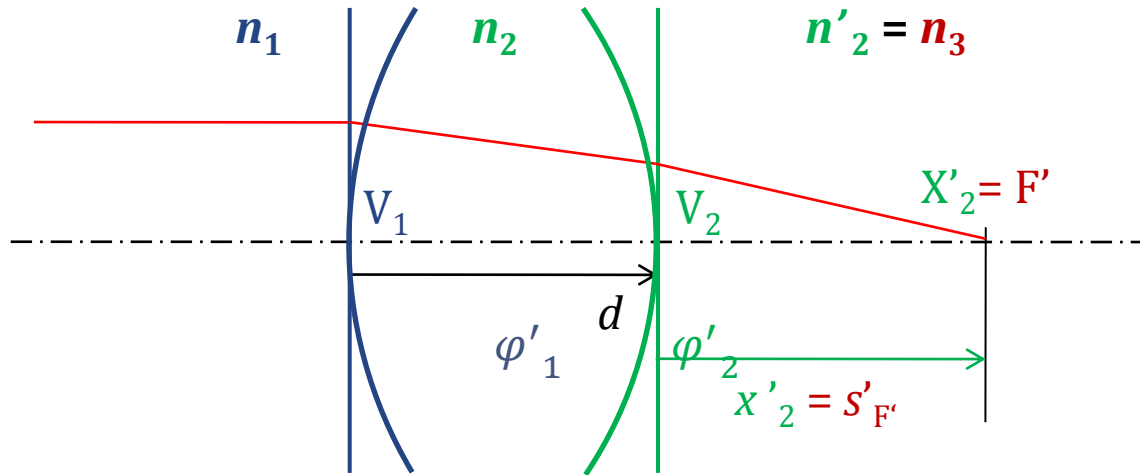
$$\varphi'_i = (n'_i - n_i)/r_i$$

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

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

pak zde vychází sečná  
obrazová ohnisková  
vzdálenost

# vrcholová lámavost (2 plochy)



**vrcholová lámavost:**

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

vlastní  
zvětšení

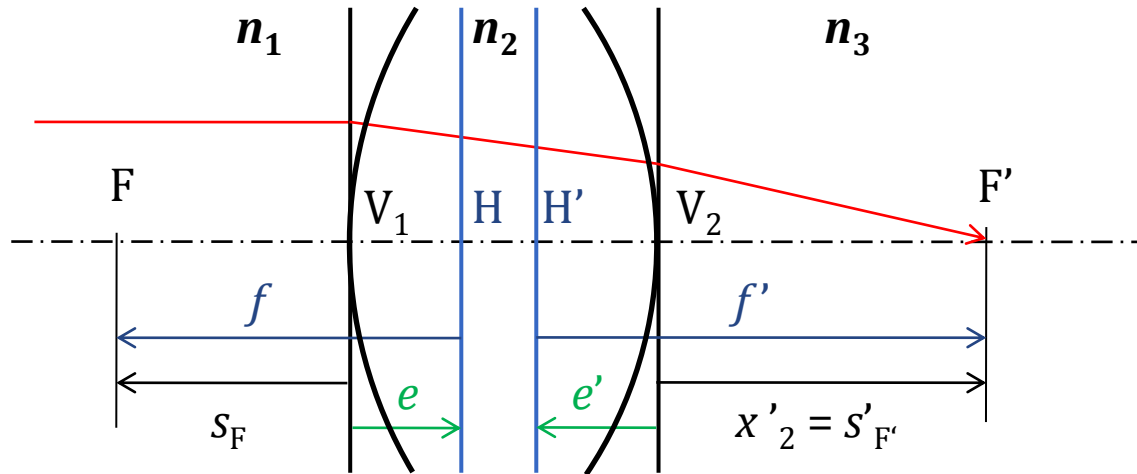


celková  
optická  
mohutnost

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



# hlavní body a roviny (2 plochy)



obecně:

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

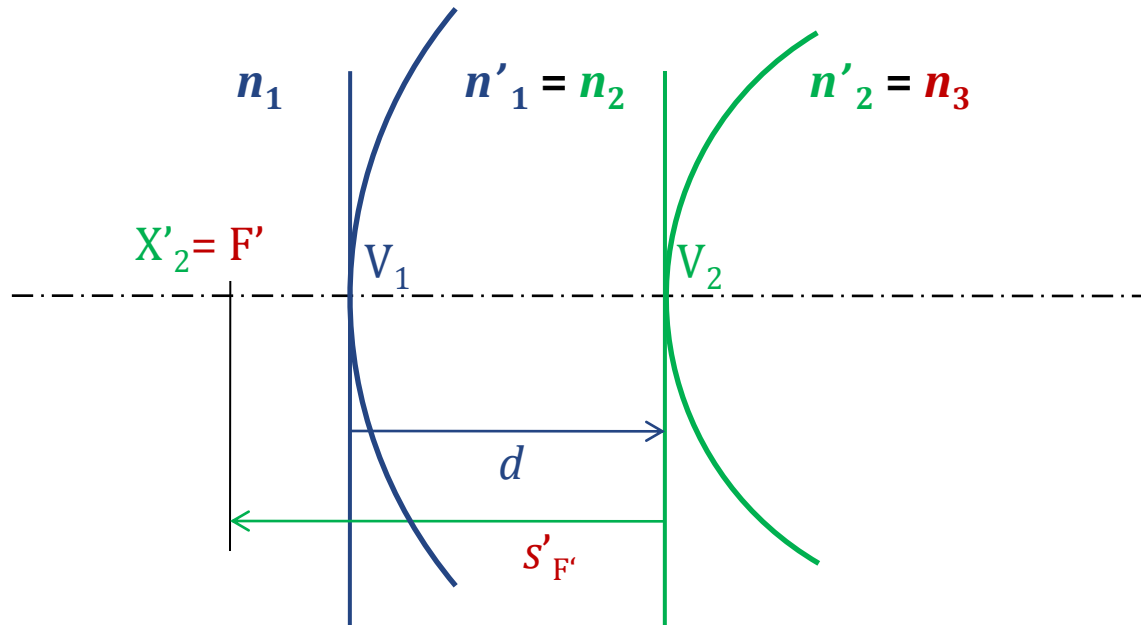
$$s_1(H) = s_1(F) - f = s_F - f = e$$

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

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

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

# příklad: rozptylka

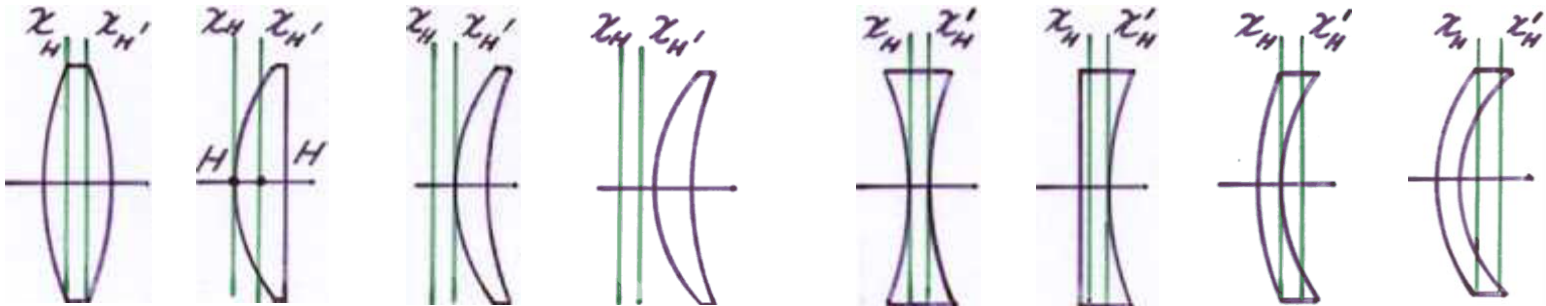


$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'_p}{n_1}$$

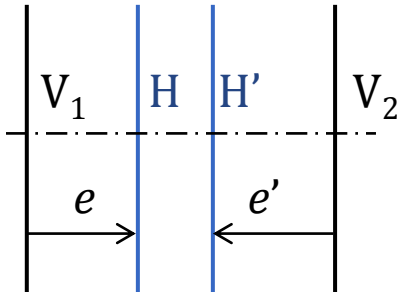
$$e = +\frac{d}{n_2} \frac{\varphi_2'}{\varphi_c'} n_1$$

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

# polohy hlavních rovin u čoček



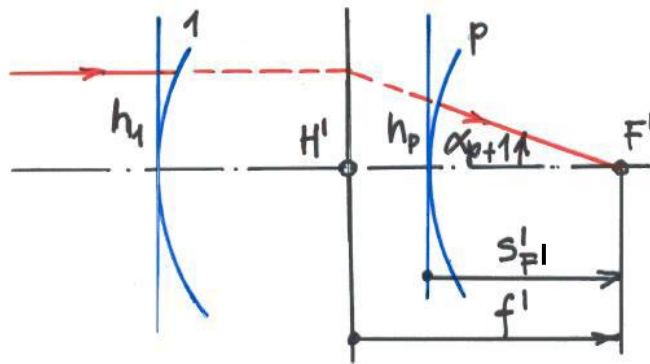
$$e = + \frac{d}{n_2} \frac{\varphi_2'}{\varphi_c'} n_1$$



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

# polohy hlavních rovin tabelárně

( $p$  ploch)



Obrazová ohnisková vzdálenost:

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

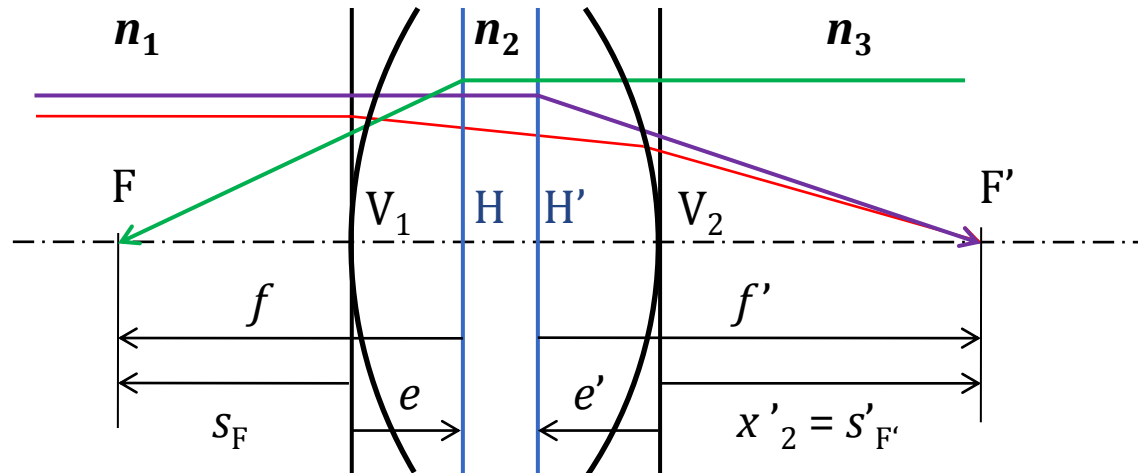
Sečná vzdálenost obrazového ohniska

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

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

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

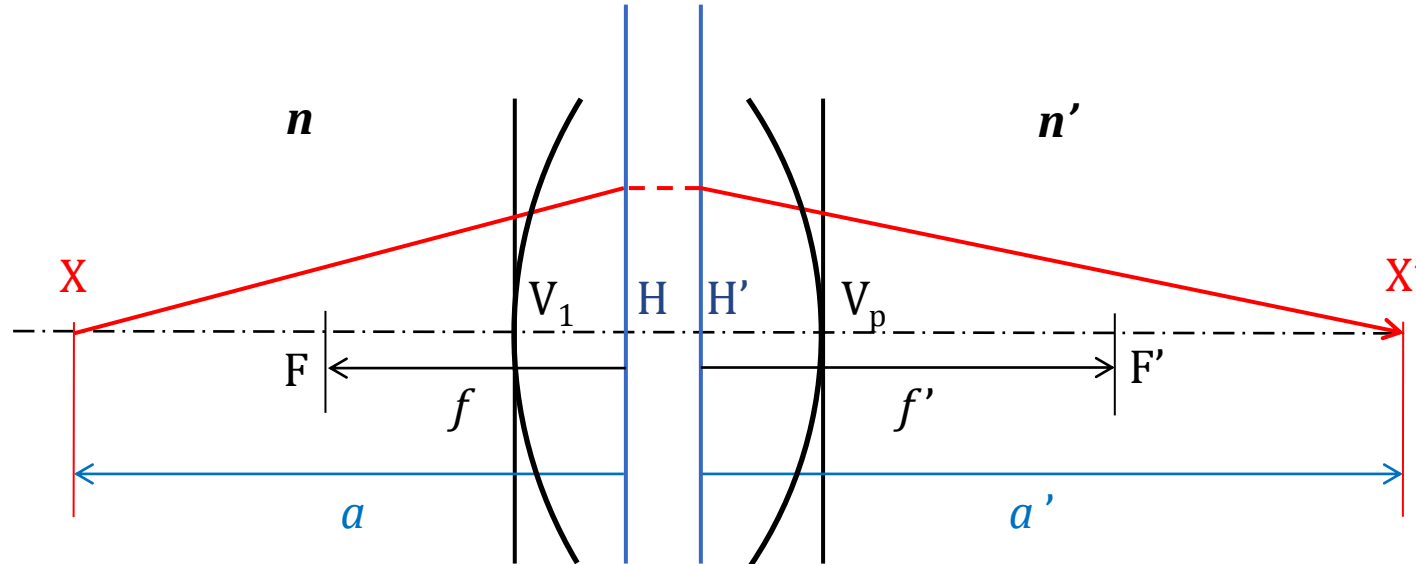
# hlavní body a roviny ( $p$ ploch)



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

# Gaussova zobrazovací rovnice

( $p$  ploch)



$a \rightarrow$

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

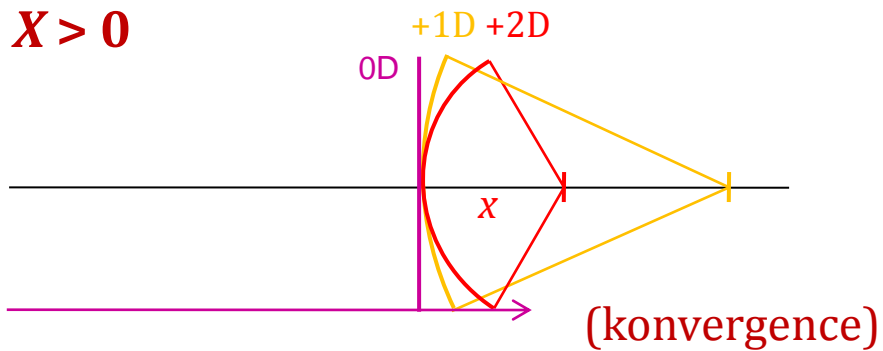
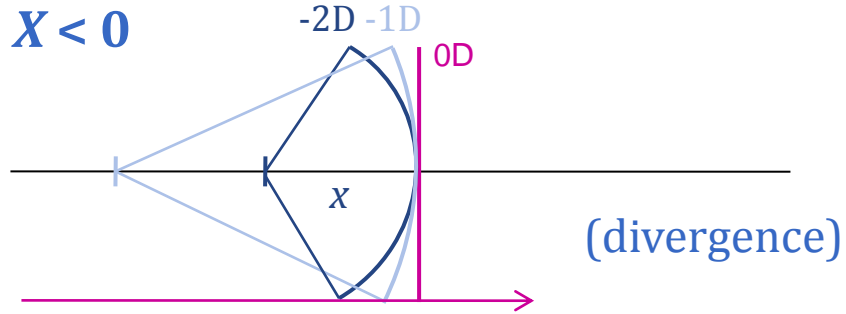
$\rightarrow a'$

vztah optické mohutnosti a  
ohniskové vzdálenosti

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

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

# vergence

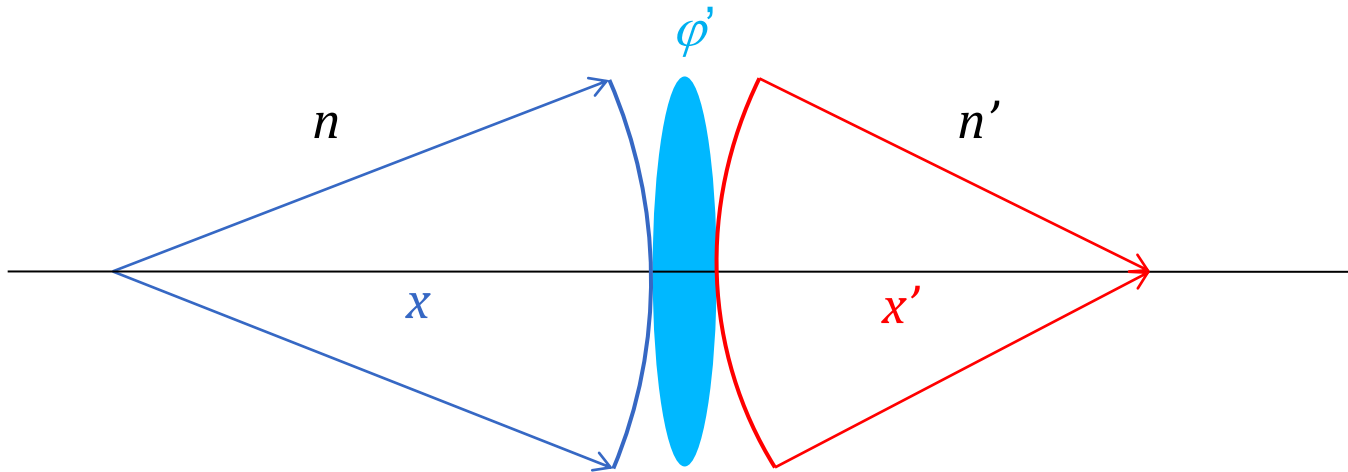


$x$ (m)	$X$ ( $m^{-1}$ , D)
-0.1	-10
-0.2	-5
-0.25	-4
-0.33	-3
-0.5	-2
-1	-1
$\infty$	<b>0</b>
+1	+1
+0.5	+2
+0.1	+10

# čočka transformuje vergenci

Gaussova zobrazovací rovnice:

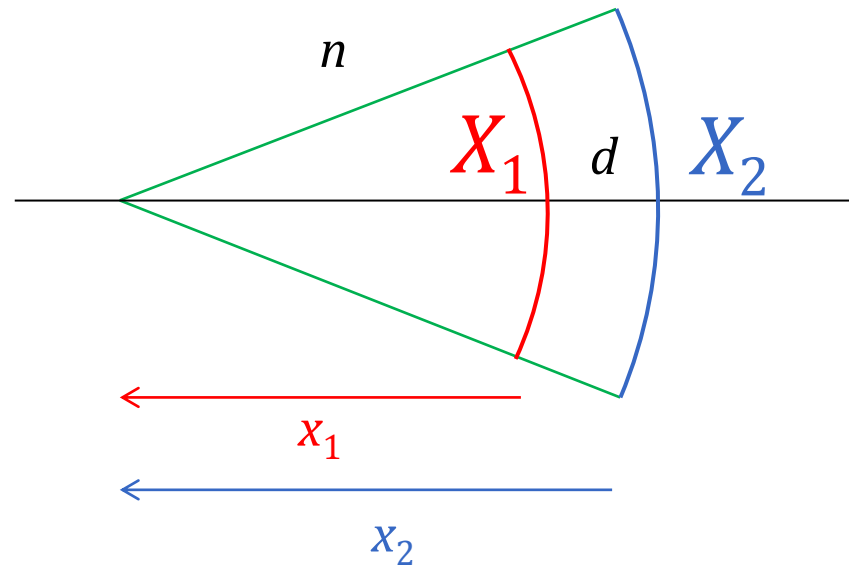
$$X + \phi' = X'$$





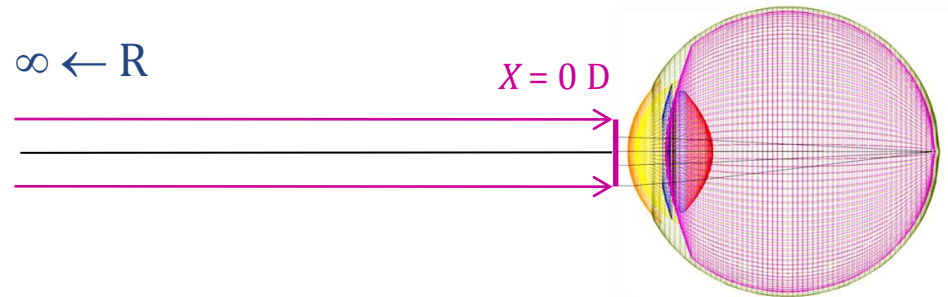
# vergence svazku se mění při šíření

$$X_2 \approx X_1(1 - X_1 d/n)$$

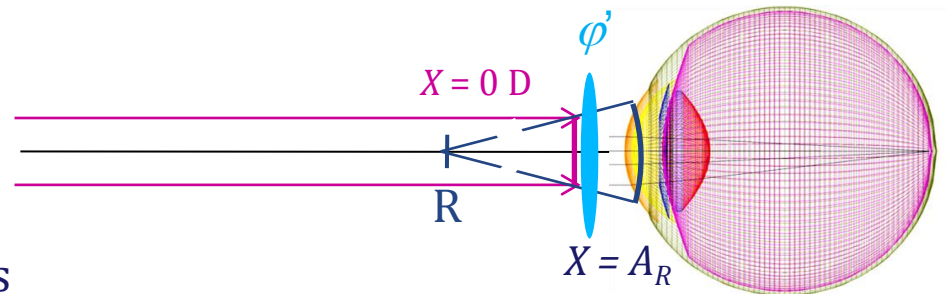


# vergence a korekce vady oka

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



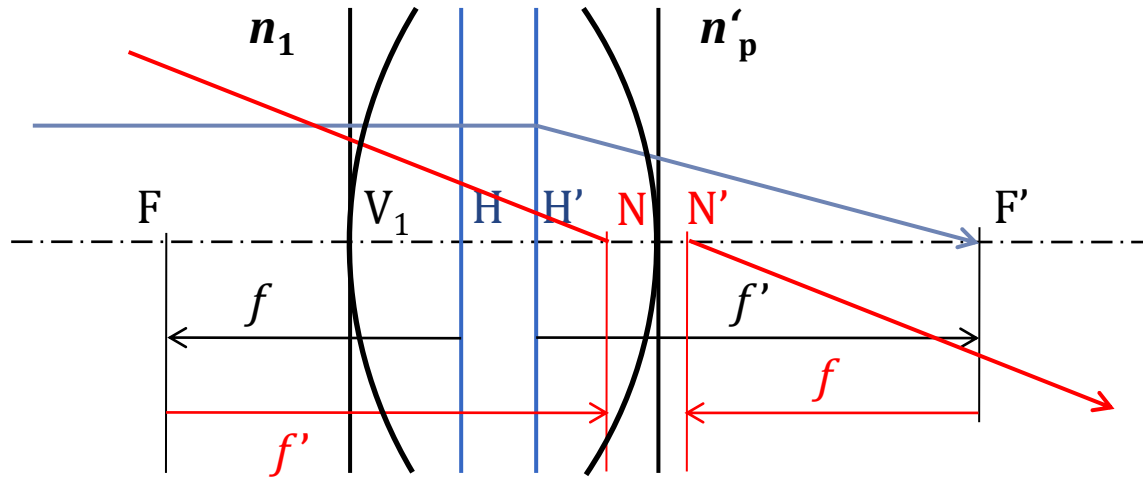
**ametropické oko** (s vadou)  
vidí ostře bod R ve vzdálenosti  $a_R$   
(svazek s vergencí  $X = A_R = 1/a_R$ )



**korekční čočka**, která převádí  
svazek s vergencí  $X = 0$  na svazek s  
vergencí  $A_R$ , musí mít mohutnost  
 $\varphi' = A_R$ .

$$0 \text{ D} + \varphi' = A_R$$

# 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  $p$

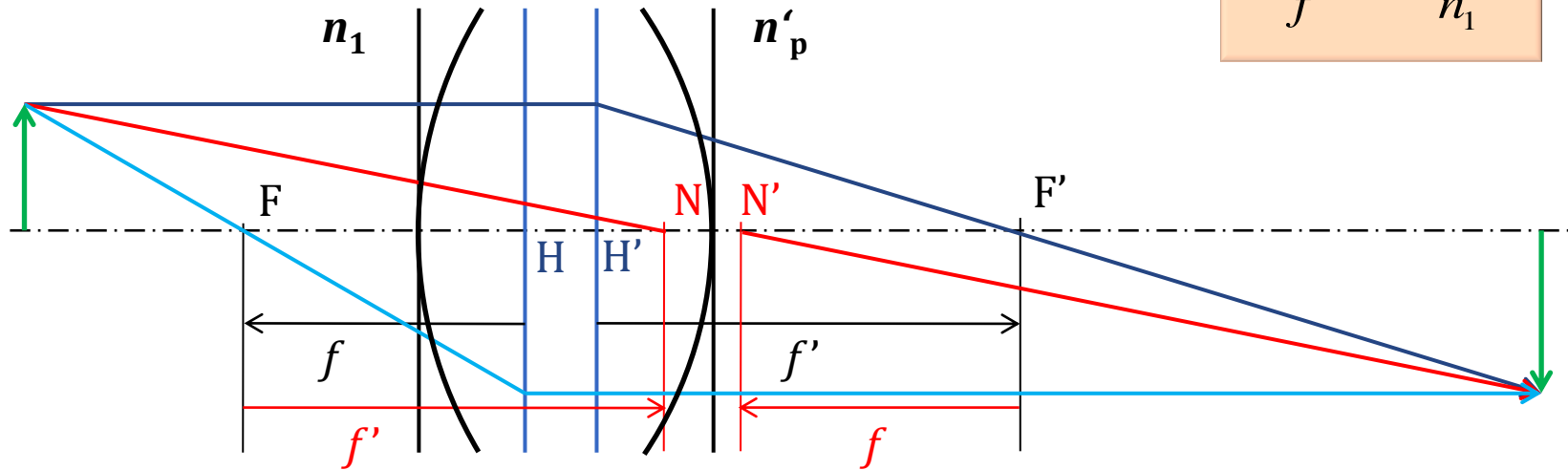
$$s'(N') = s'(F') + f$$

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

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

# konstrukce zobrazení ( $p$ ploch)

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



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

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