

# BRÝLOVÉ ČOČKY

# Historické brýle



1690: brýle Norimberského stylu se zelenými čočkami



1780: stříbrné brýle

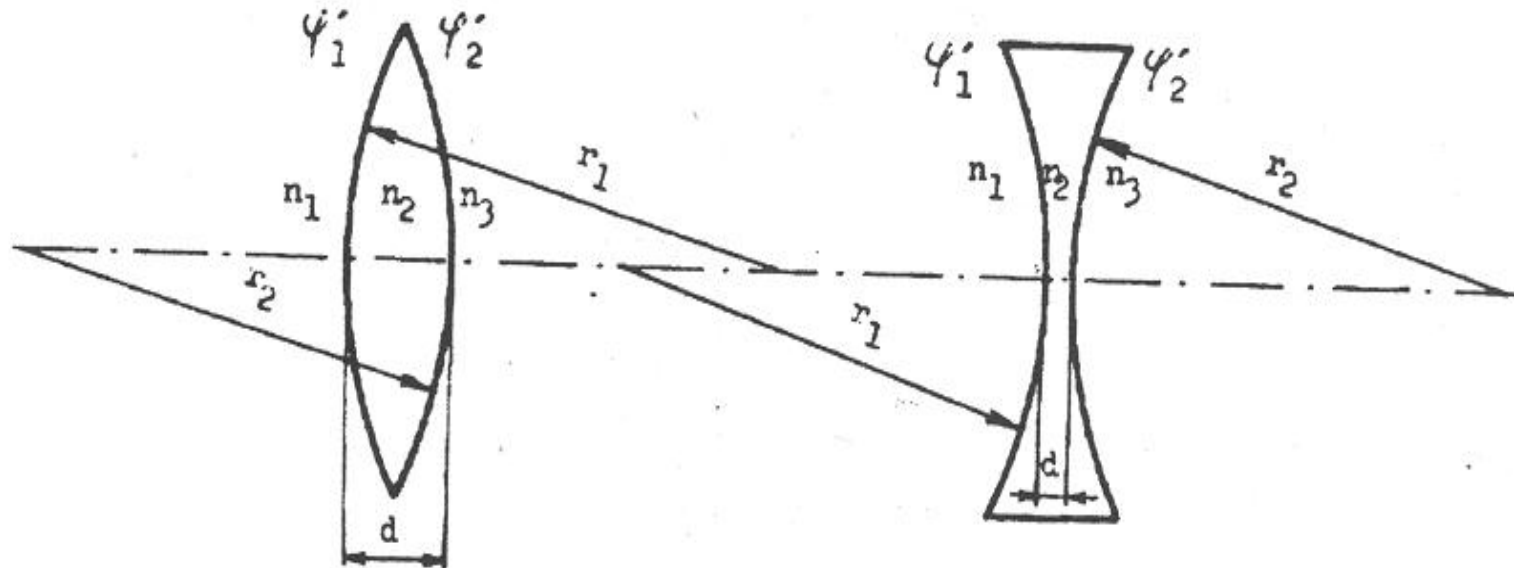


konec 18. století: mosazné obruby, kruhové čočky

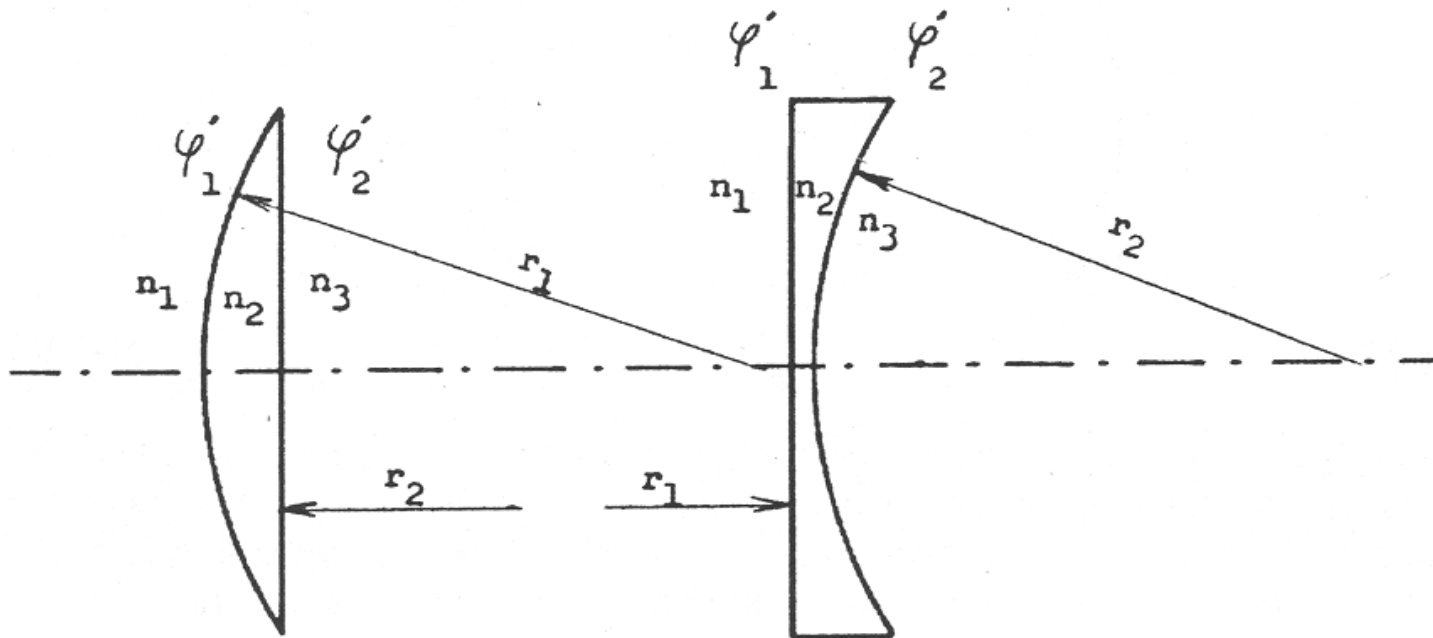


středověký čtecí kámen

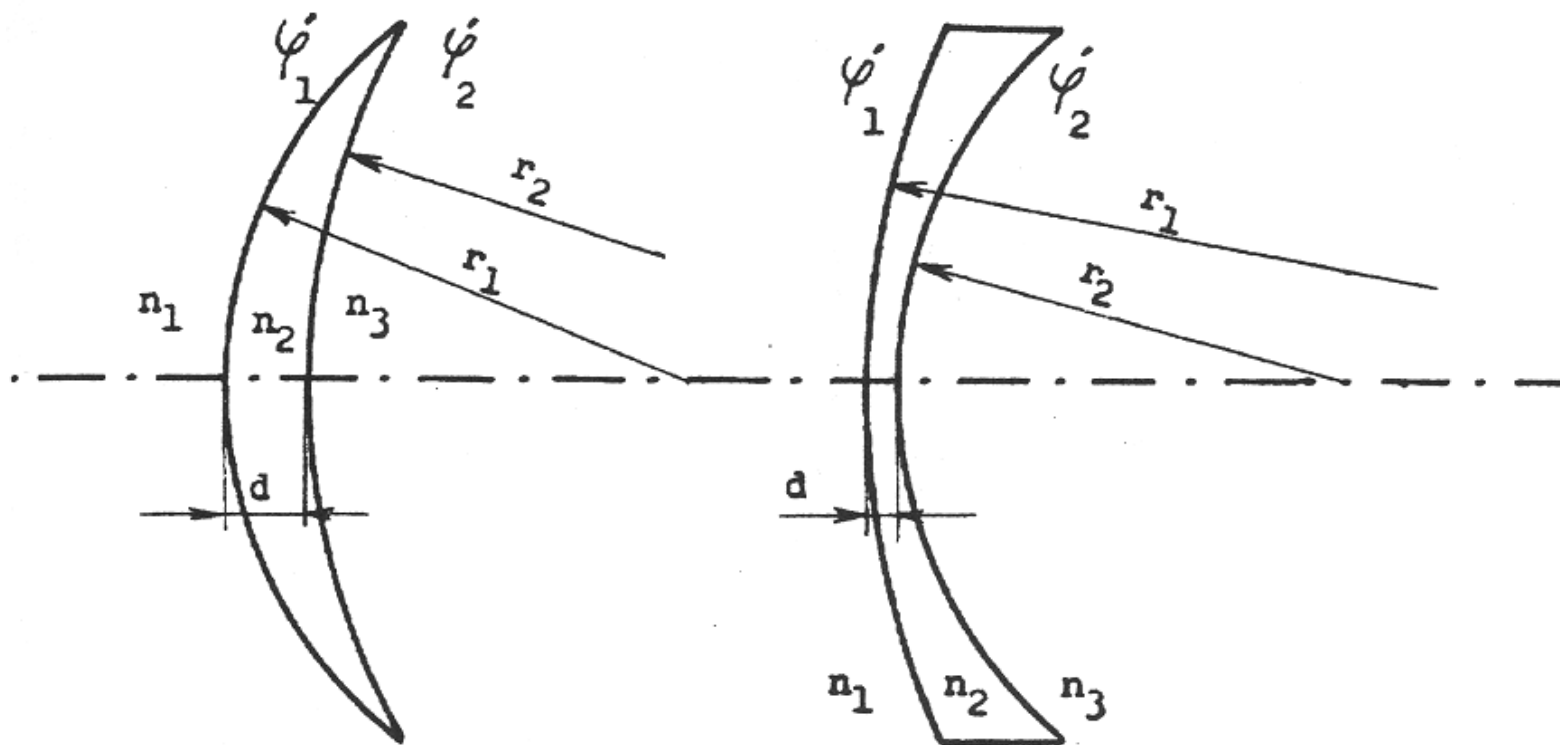
# Bikonvexní a bikonkávní čočky



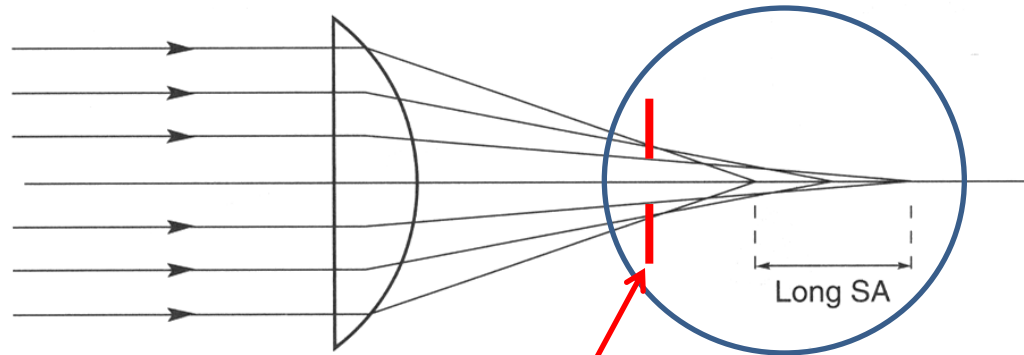
# Plankonvexní a plankonkávní čočky



# Meniskové čočky



# Otvorová vada



Otvorová vada a koma brýlové čočky nemusí být uvažována  
vzhledem k tomu, že svazek prochází skrze relativně malou oční pupilu

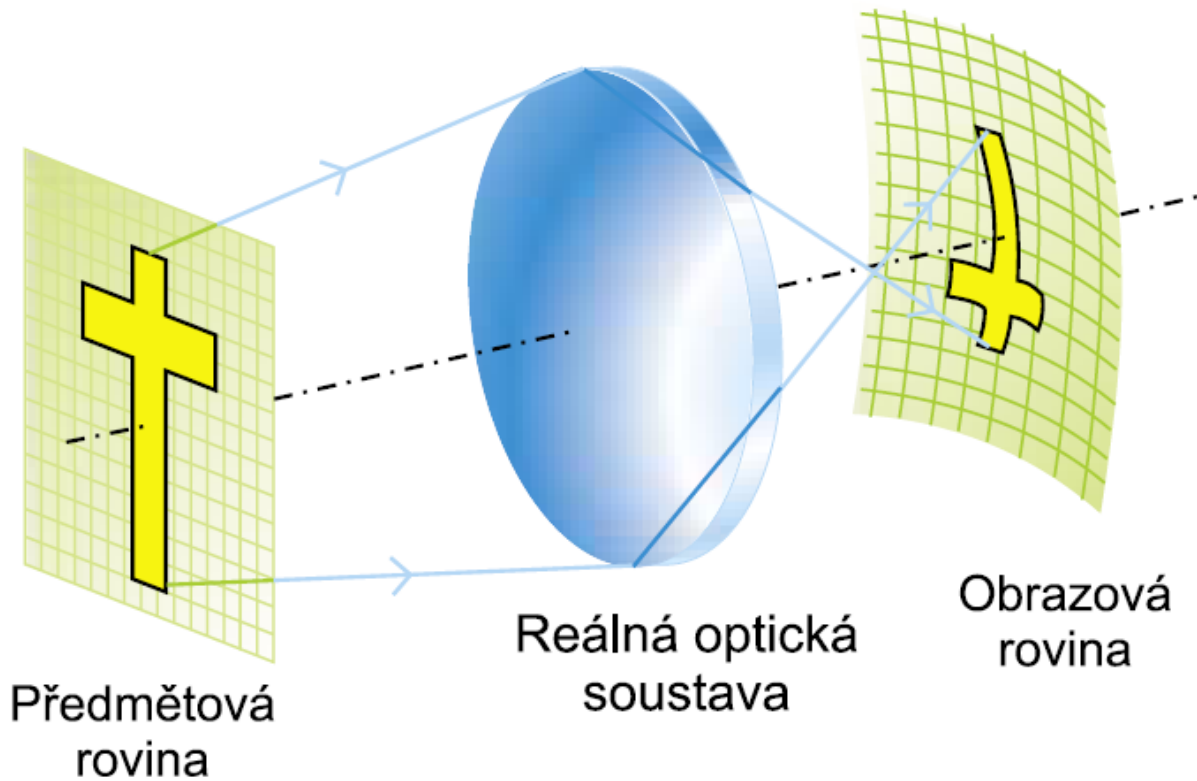
# Sklenutí pole



Lubka  
Br.

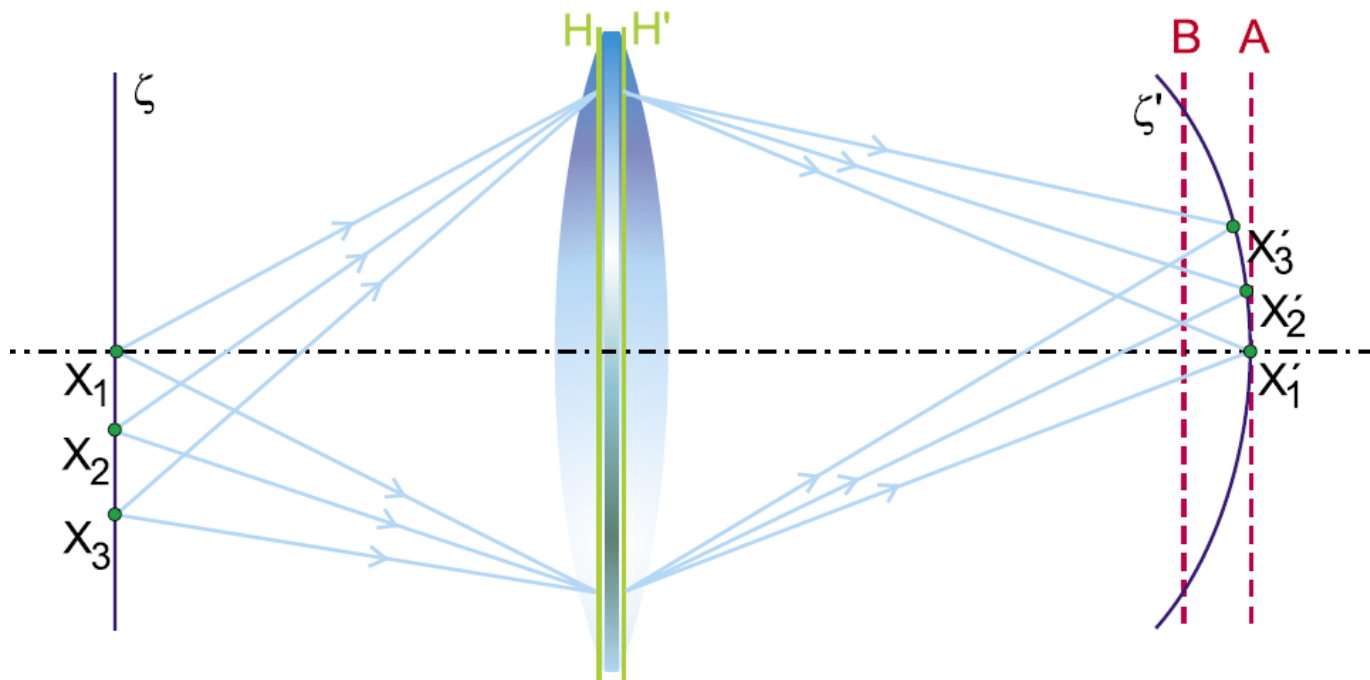
*Joseph Petráň*

1807 - 1891



Česká oční optika 2, 2006, s. 58.

# Sklenutí pole



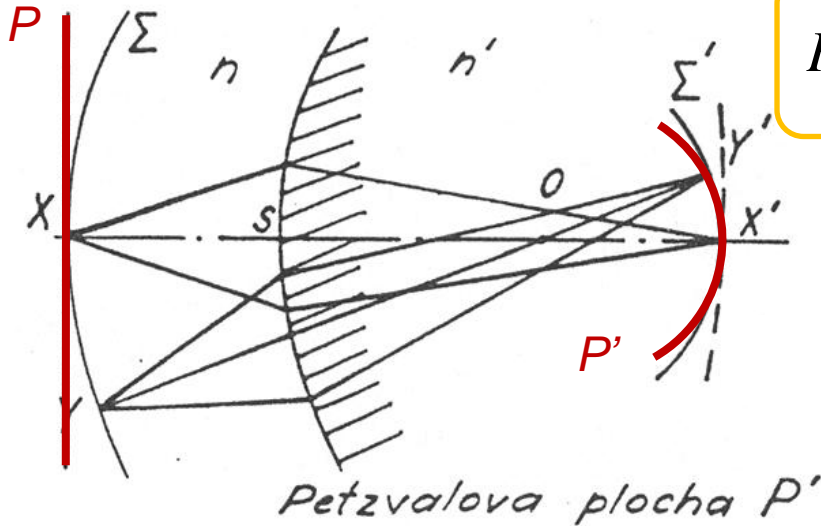


# Petzvalova plocha

jedna lámavá plocha:    tenká čočka:

$$R_P = \frac{nr}{n-n'}$$

$$R_P = -nf'$$



systém tenkých čoček:

$$\frac{1}{R_P} = -\sum \frac{1}{n_i f_i'} = -\sum \frac{\varphi_i'}{n_i}$$

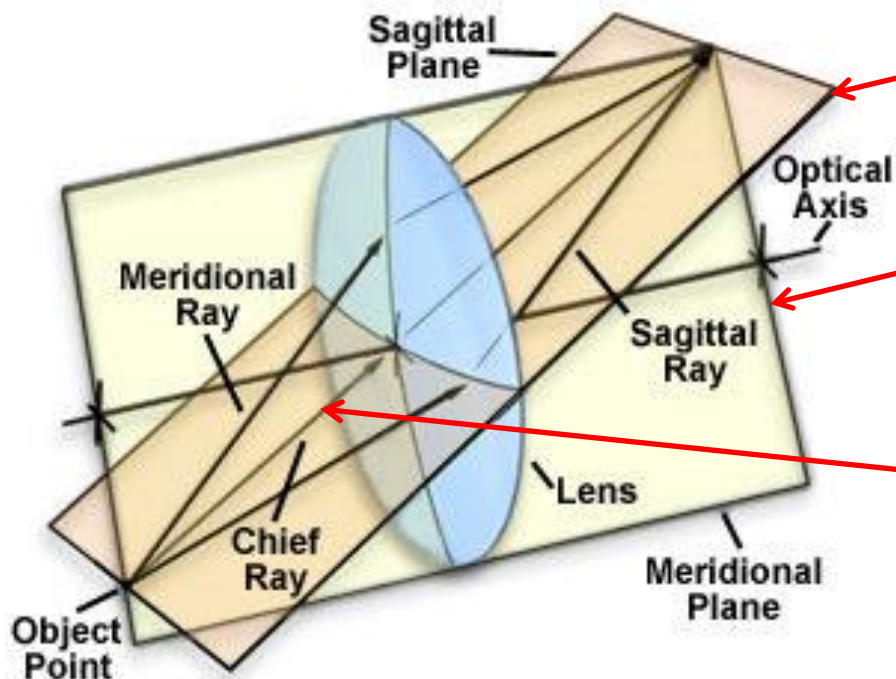
Petzvalova-Coddingtonova podmínka  
pro rovinné pole:

$$\frac{1}{R_P} = 0$$



# Sagitální a tangenciální rovina

Sagittal and Meridional Planes



sagitální rovina

obsahuje hlavní paprsek, je kolmá na tang.r.

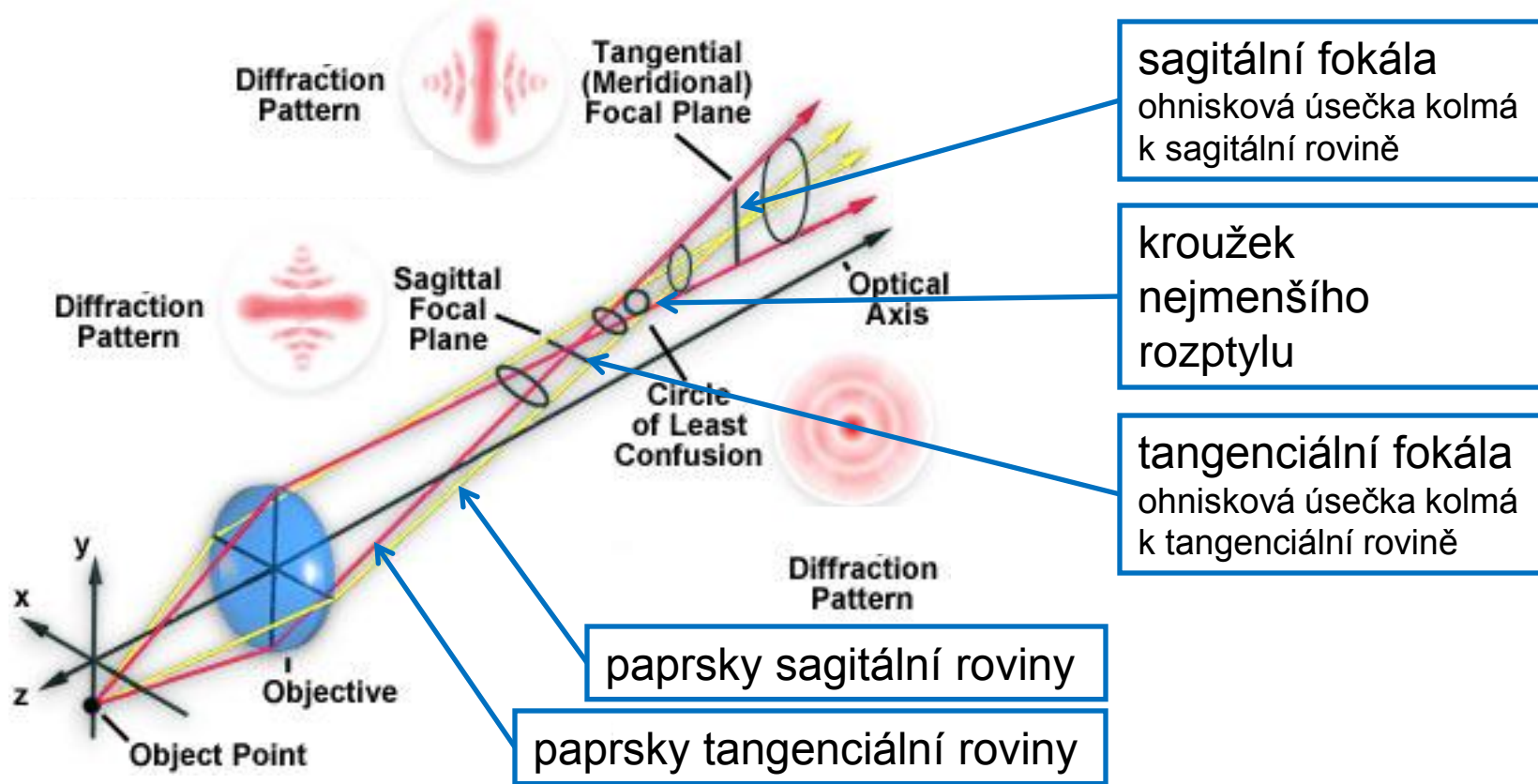
tangenciální (meridionální) rovina

obsahuje hlavní paprsek a optickou osu

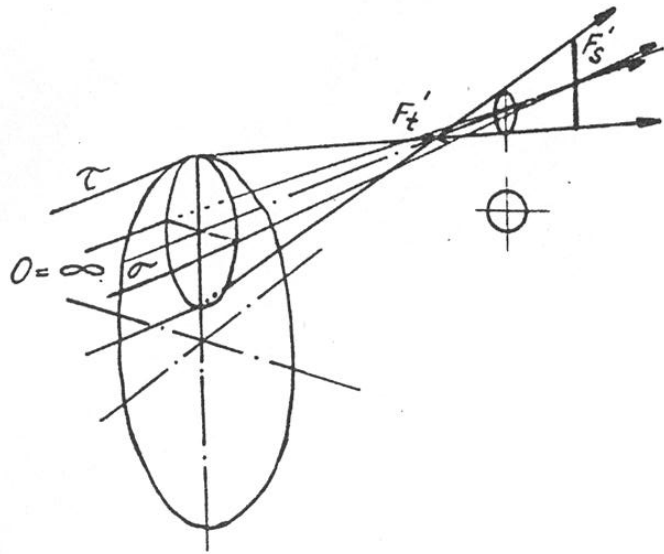
hlavní paprsek

prochází předměťovým bodem a středem pupily

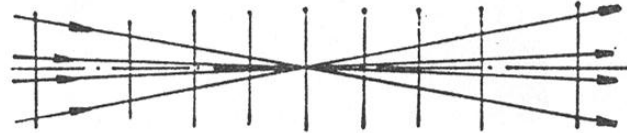
# Astigmatismus



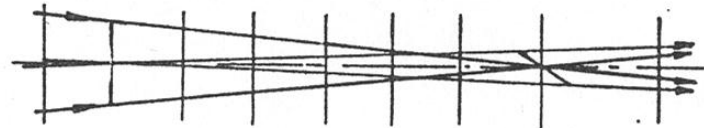
# Astigmatismus



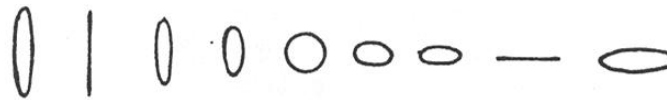
Fokály astigmatického svazku



Ideální svazek paprsků



Astigmatický svazek paprsků



# Astigmatismus

Original

aiO

Compromise

aiO

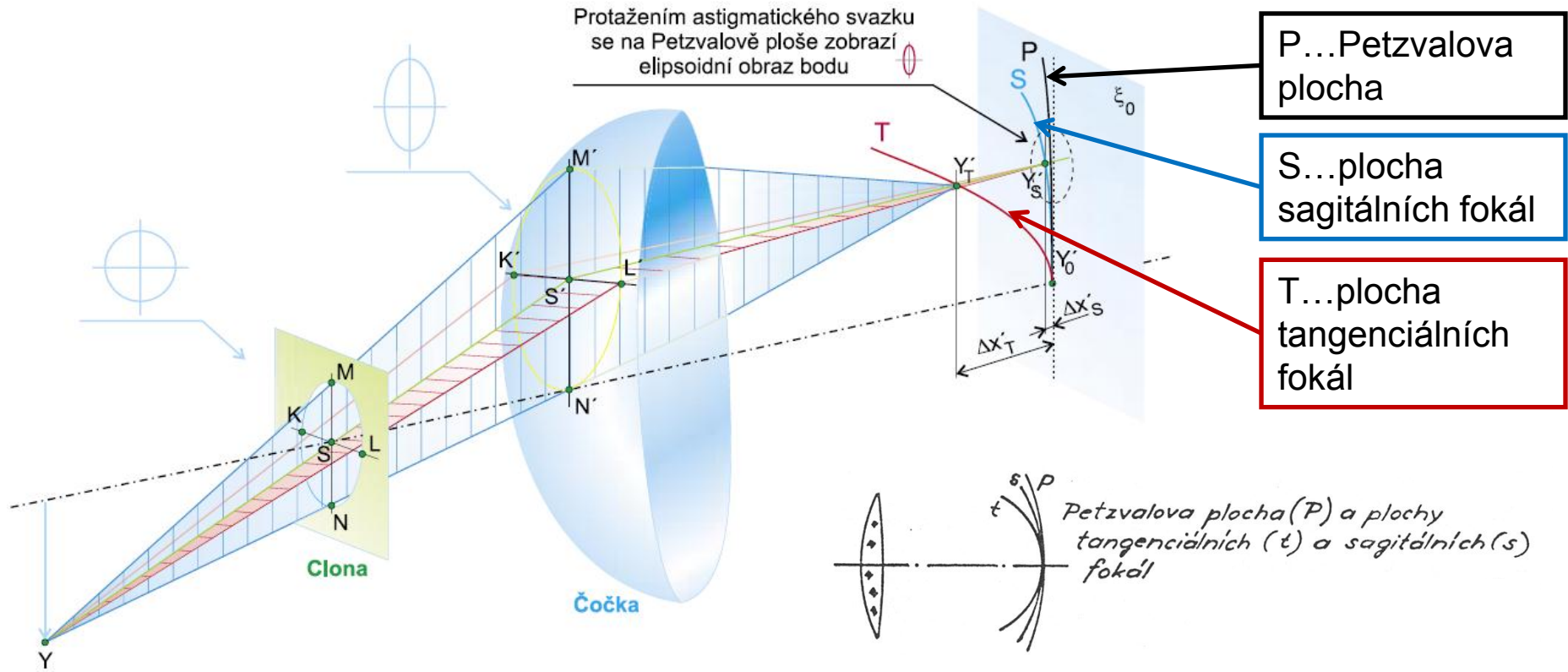
Horizontal Focus

aiO

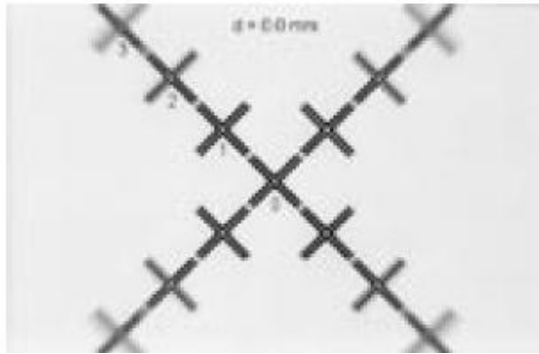
Vertical Focus

aiO

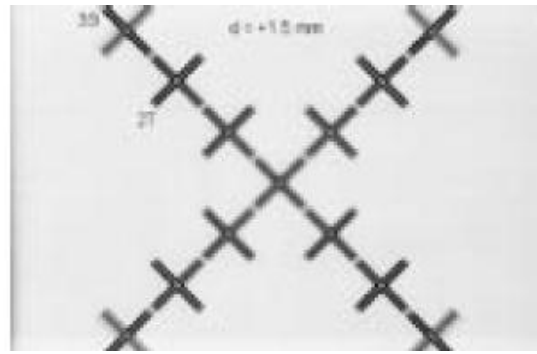
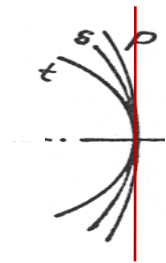
# Astigmatismus tenké čočky



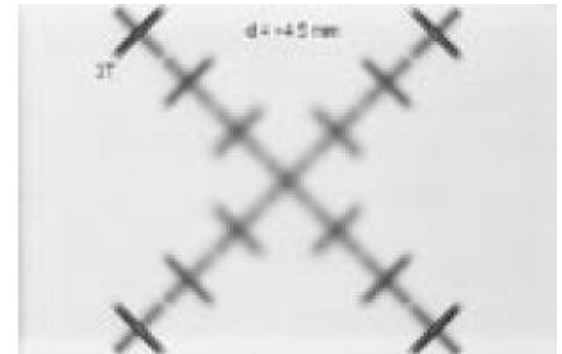
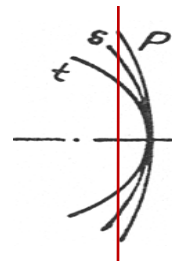
# Zobrazení s astigmatismem



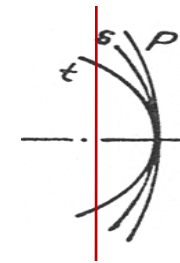
$d = 0 \text{ mm}$  (od ohniska)  
zaostřena centrální část a  
2S čáry



$d = -1,5 \text{ mm}$   
(od ohniska k čočce)  
centrální část rozostřena,  
zaostřeny 2T a 3S čáry



$d = -4,5 \text{ mm}$   
(od ohniska k čočce)  
centrální část rozostřena,  
zaostřeny 3T čáry





# Korekce astigmatismu šikmých svazků



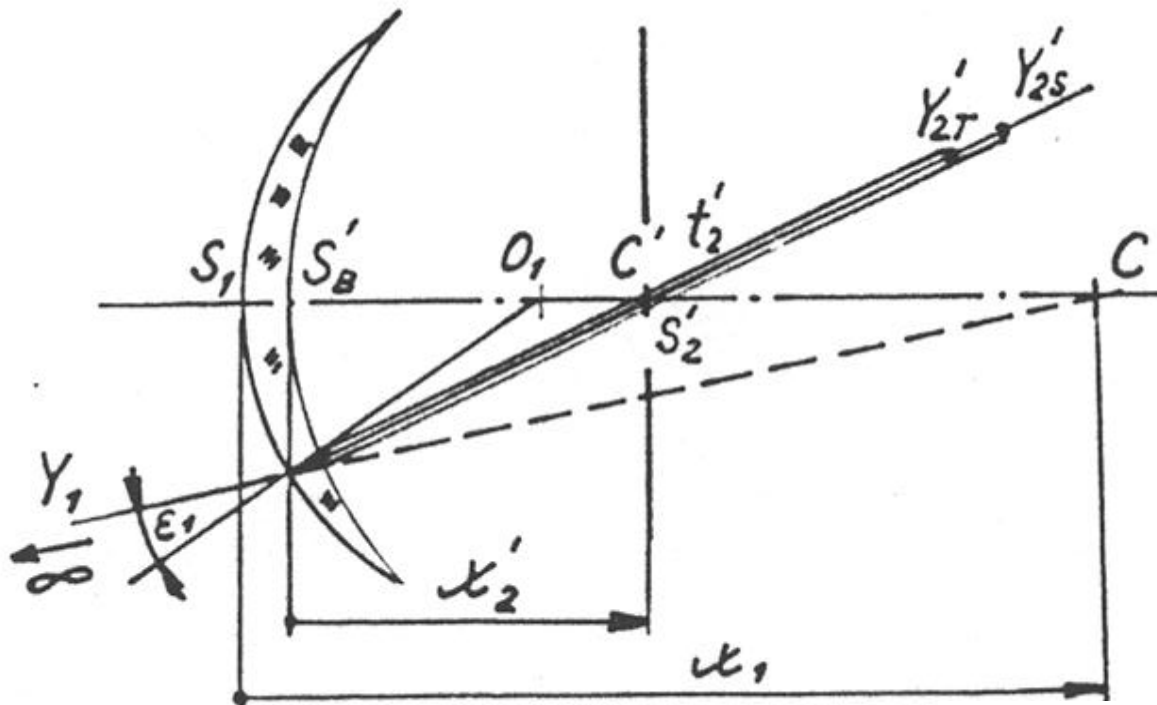
William Hyde Wollaston (1766-1828)

Kolem roku 1804 prokázal, že zraková ostrost pozorovatele klesá, když se dívá přes periferii bikonvexních brýlových čoček.

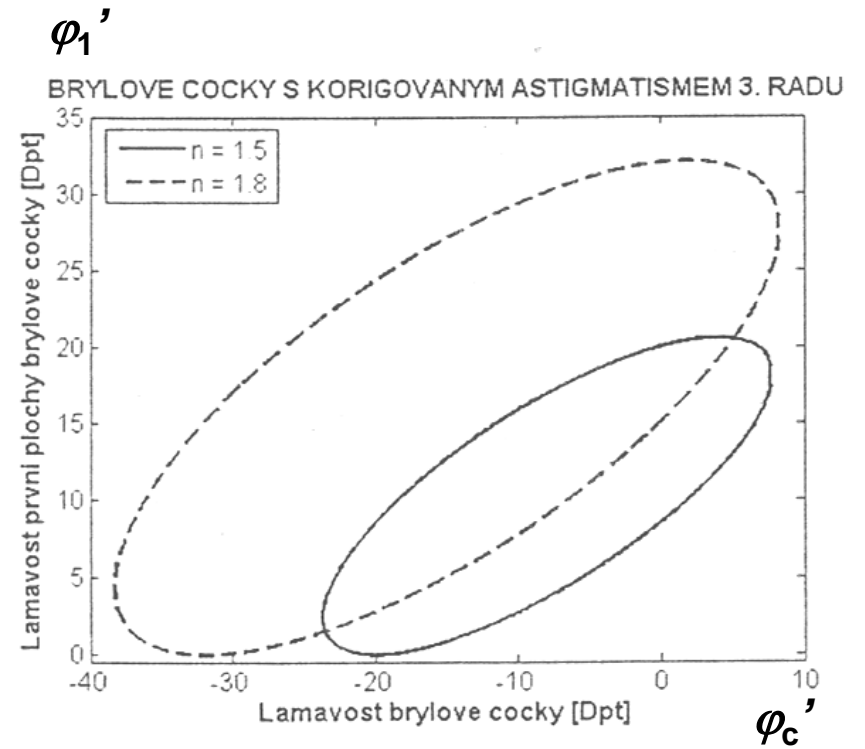
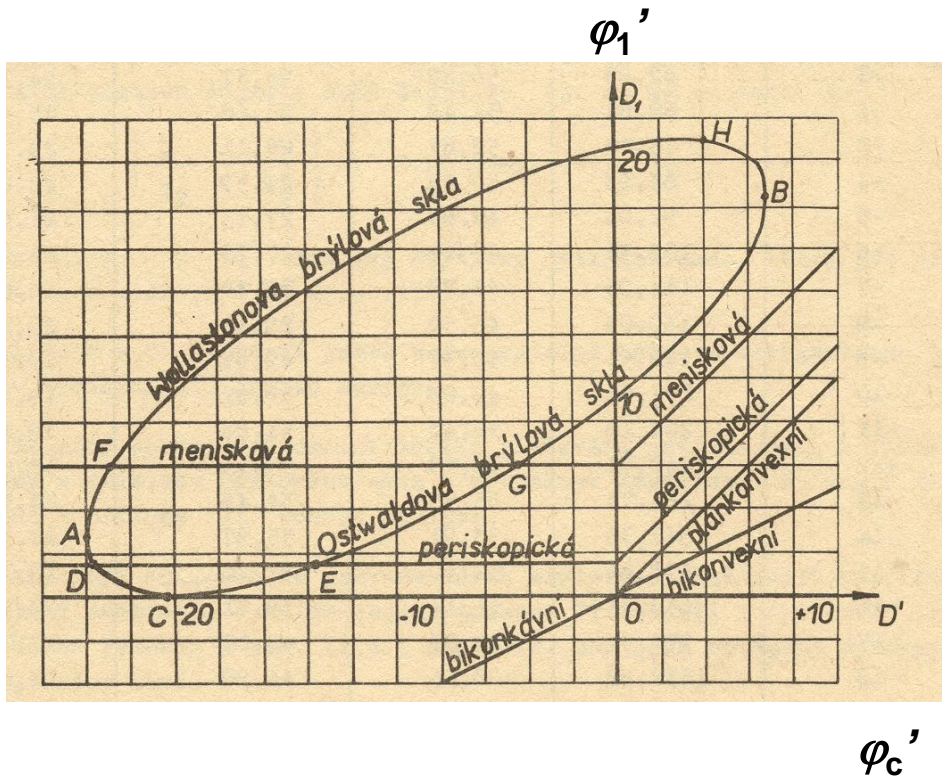
Současně zaznamenal, že skla ve tvaru menisku poskytují vyšší kvalitu vidění.

První pokusy navrhnout čočky meniskového tvaru s korigovaným periferním astigmatismem podnikli Wilhelm Ostwald a Marius Hans Erik Tscherning pro tenké čočky a malé úhly sklonu.

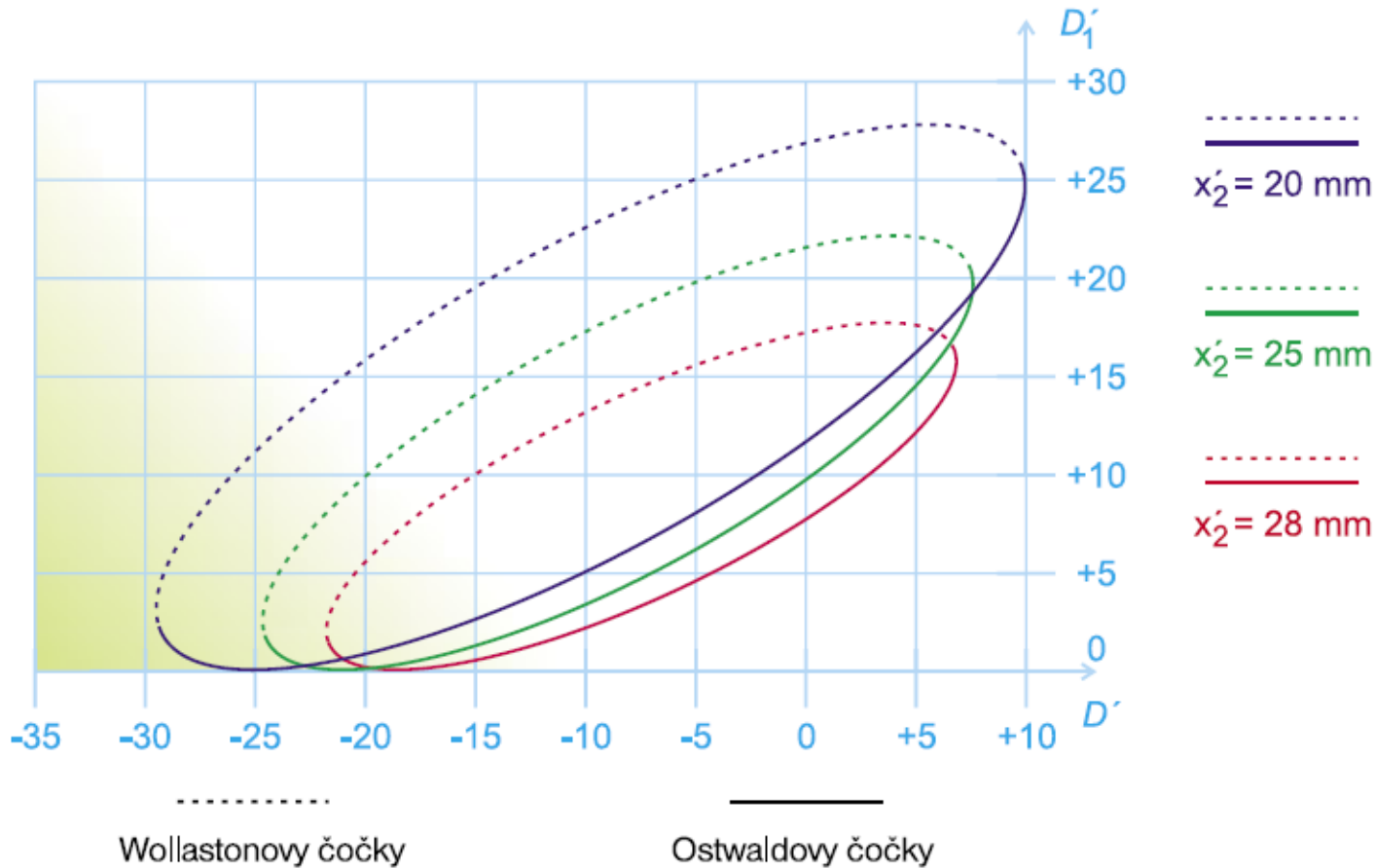
# Korekce astigmatismu šikmých svazků



# Tscherningova elipsa

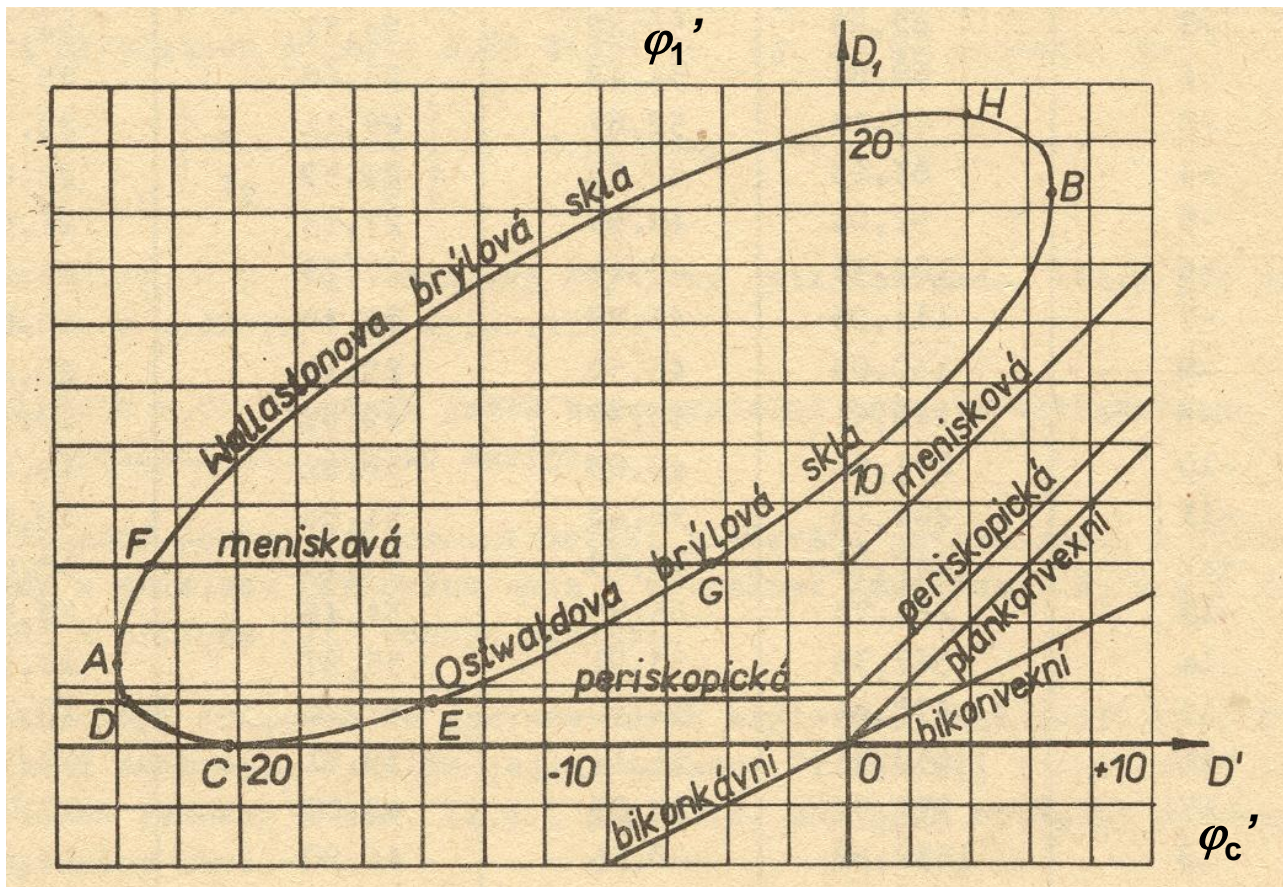


# Tscherningova elipsa



vzdálenost BČ od  
středu otáčení oka

# Oblasti řešení



# Tabulka poloměrů křivostí ploch

$\varphi_c'$ [D]	Ostwalt		Wollaston	
	1. řešení		2. řešení	
	$r_1$ mm	$r_2$ mm	$r_1$ mm	$r_2$ mm
7	32,01	55,99	25,36	38,39
6	35,32	59,37	24,72	34,61
5	38,49	60,89	24,47	31,94
4	41,78	61,29	24,39	29,98
3	45,27	61,16	24,43	28,41
2	49,06	60,39	24,52	27,09
1	53,22	59,25	24,74	25,97
0	57,83	57,83	24,99	24,99
-1	62,93	56,22	25,31	24,15
-2	68,84	54,49	25,68	23,38
-3	75,48	52,67	26,11	22,71
-4	83,13	50,82	26,59	22,09
-5	92,04	48,96	27,13	21,54
-6	102,51	47,11	27,73	21,04
-7	114,98	45,29	28,40	20,58
-8	130,03	43,50	29,15	20,17
-9	148,51	41,77	29,99	19,78
-10	171,63	40,09	30,92	19,43
-11	201,18	38,46	31,96	19,11
-12	240,01	36,89	33,13	18,82
-13	294,73	35,37	34,46	18,57
-14	367,35	33,91	35,97	18,33
-15	478,84	32,50	37,70	18,12
-16	658,21	31,14	39,71	17,93
-17	978,67	29,83	42,08	17,77
-18	1652,92	28,55	44,90	17,64
-19	3552,02	27,32	48,35	17,54
-20	14223,55	26,10	52,69	17,48
-21	261500,00	24,90	58,35	17,46
-22	8211,65	23,70	66,20	17,49
-23	1869,99	22,47	78,25	17,62
-24	664,41	21,10	86,07	17,99

Platí pro tenké brýlové čočky vzdálené 25mm od bodu otáčení oka při pozorování značně vzdálených předmětů a pro malé úhly

# Bodově zobrazující čočky



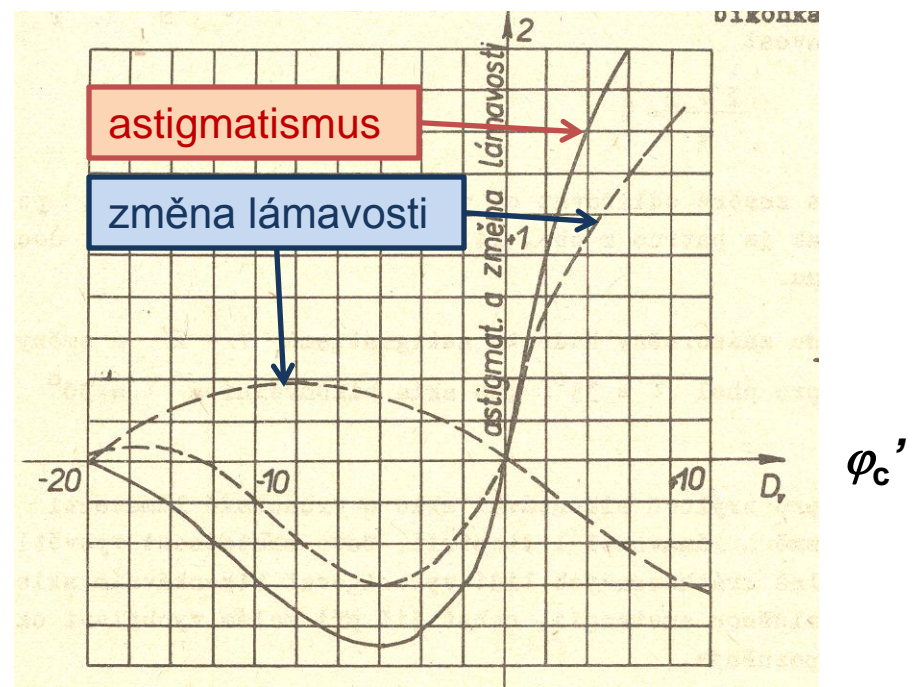
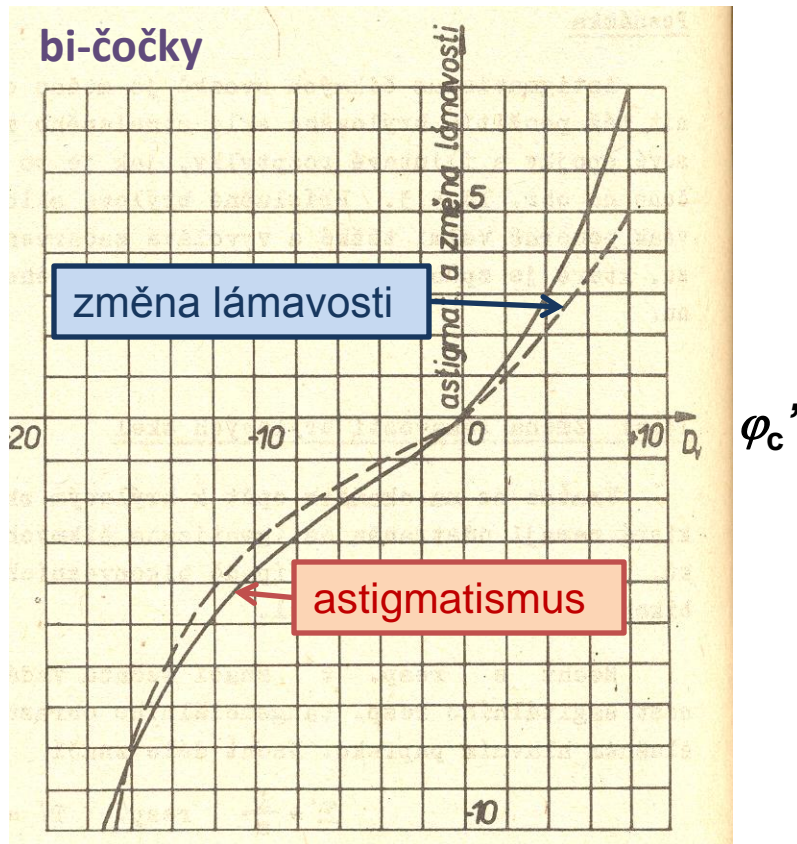
Moritz von Rohr (1868-1940)

V roce 1912 propočítal design bodově zobrazujících čoček pro Carl Zeiss (Jena).

Byly vyráběny čočky „Punktal“.



# Změna optické mohutnosti brýlové čočky



plan- a punktální čočky



# Příklady českých čoček – „skupinová skla“

Charakteristické parametry skupinových skel čs. výroby

Vrcholová lámavost A' [dpt]	Optická mohutnost základní plochy D <sub>2</sub> , resp. D <sub>1</sub> [dpt]	Optická mohutnost doplňkové (vvořici) plochy [dpt]	Středová tloušťka d [mm]
S <sub>B</sub> <sup>I</sup> 0,00	φ <sub>2</sub> D <sub>2</sub> = -6,00 dpt	φ <sub>1</sub> +5,95	d 1,8
+0,25		+6,20	1,8
+0,50		+6,44	2,0
+0,75		+6,68	2,1
+1,00		+6,93	2,2
+1,25		+7,17	2,3
+1,50		+7,41	2,4
+1,75		+7,65	2,5
+2,00		+7,89	2,6
+2,25		+8,13	2,7
+2,50		+8,36	2,8
+2,75		+8,60	2,9
+3,00		+8,84	3,0
+3,25		+9,07	3,1
+3,50		+9,20	3,3
+3,75		+9,54	3,4
+4,00		+9,67	3,6
+4,50		+10,23	3,8
+5,00	+10,69	4,0	
+5,50	+11,13	4,4	
+6,00	+11,57	4,7	
+6,50	+12,04	4,6	
+7,00	+12,46	5,0	
+7,50	+12,89	5,3	
+8,00	+13,31	5,6	
+8,50	+13,77	5,5	
+9,00	D <sub>2</sub> = -4,00 dpt	+12,40	5,6
+9,50		+12,82	5,9
+10,00		+13,24	6,2
+10,50		+13,66	6,4
+11,00		+14,15	6,3
+11,50		+14,54	6,4
+12,00		+14,92	6,8
+12,50		+15,30	7,2
+13,00		+15,60	7,6
+13,50		+16,03	8,0
+14,00	+16,38	8,3	
+14,50	+16,72	8,8	
+15,00	D <sub>1</sub> = -3,00 dpt	+16,38	8,3
+15,50		+16,72	8,8
+16,00		+17,05	9,1
+17,00		+17,72	9,8
+18,00		+18,50	9,8
+19,00	D <sub>2</sub> = -1,00 dpt	+17,55	10,6
+20,00		+18,18	11,2

[pokračování]

Vrcholová lámavost A' [dpt]	Optická mohutnost základní plochy D <sub>2</sub> , resp. D <sub>1</sub> [dpt]	Optická mohutnost doplňkové (vvořici) plochy [dpt]	Středová tloušťka d [mm]
S <sub>B</sub> <sup>I</sup> -0,25	φ <sub>1</sub> D <sub>1</sub> = +6,00 dpt	φ <sub>2</sub> -6,29	d 1,7
-0,50		-6,53	1,6
-0,75		-6,78	1,5
-1,00		-7,03	1,4
-1,25		-7,28	1,3
-1,50		-7,52	1,2
-1,75		-7,77	1,2
-2,00		-8,02	1,1
-2,25		-8,27	1,1
-2,50		-8,52	1,1
-2,75		-8,77	1,0
-3,00		-9,02	0,9
-3,25		-9,26	0,8
-3,50		-9,51	0,8
-3,75	-9,76	0,8	
-4,00	D <sub>2</sub> = +4,50 dpt	-8,51	0,8
-4,50		-9,01	0,8
-5,00		-9,51	0,8
-5,50		-10,00	0,7
-6,00		-10,50	0,7
-6,50	D <sub>1</sub> = +3,00 dpt	-9,52	0,7
-7,00		-10,02	0,7
-7,50		-10,52	0,6
-8,00		-11,02	0,6
-8,50		-11,52	0,5
-9,00	-12,02	0,5	
-9,50	D <sub>1</sub> = +2,00 dpt	-11,52	0,5
-10,00		-12,02	0,5
-10,50		-12,51	0,5
-11,00		-13,02	0,5
-11,50		-13,51	0,5
-12,00	D <sub>2</sub> = +1,00 dpt	-14,01	0,5
-12,50		-14,50	0,5
-13,00		-15,00	0,5
-13,50		-15,50	0,5
-14,00		-16,00	0,5
-14,50		-16,50	0,5
-15,00		-17,00	0,5
-15,50	-17,50	0,5	
-16,00	D <sub>1</sub> = 0,00 dpt	-18,00	0,5
-17,00		-19,00	0,5
-18,00		-20,00	0,5
-19,00		-20,00	0,5
-20,00		-20,00	0,5

# Příklady českých čoček – DIOSFER, PUNKTUR

autoři využili počítačích strojů a podrobně zhodnotili vliv tloušťky i křivosti skel s ohledem na optimální návrh při pozorování různých vzdálených předmětů. Kompromisem mezi konvenční vzdáleností do blízka (250 mm) a do dálky ( $\infty$ ) dospěli k brýlovým sklům s minimálním astigmatismem. Tato skla vyrábí n. p. Dioptra — Turnov pod názvem DIOSFER (tabulka I.13).

Skutečnost, že jde o bodové zobrazující brýlová skla, zdůrazňují někteří výrobci, v jejich názvu (C. Zeiss: PUNCTAL, Dioptra: PUNKTUR; punctum (lat.) = bod). Některé parametry skel zn. PUNKTUR jsou uvedeny v tabulce I.14.

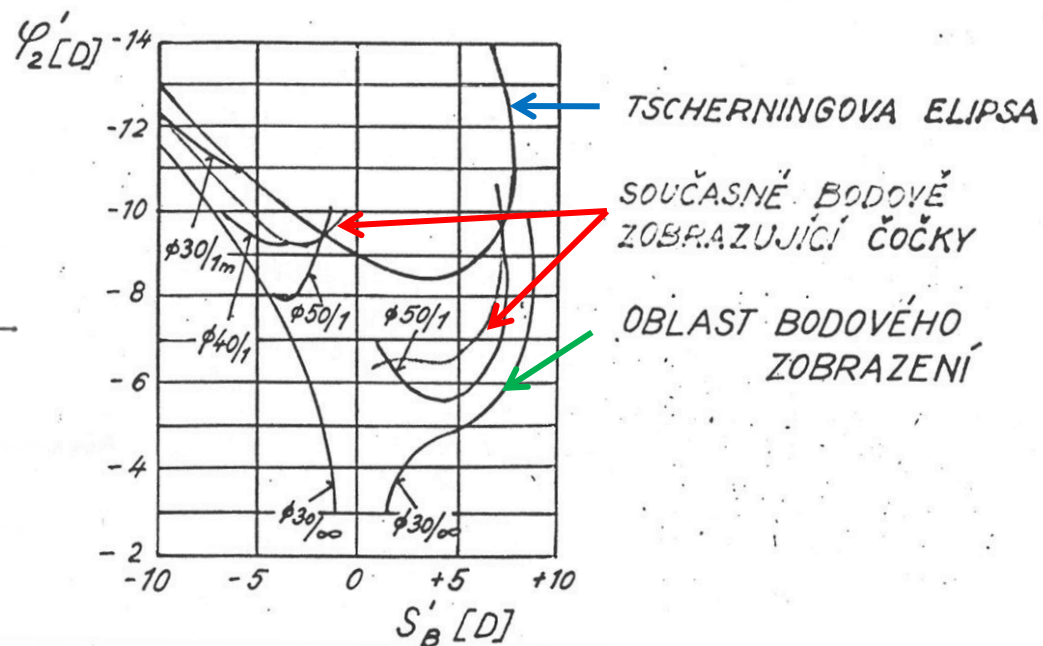
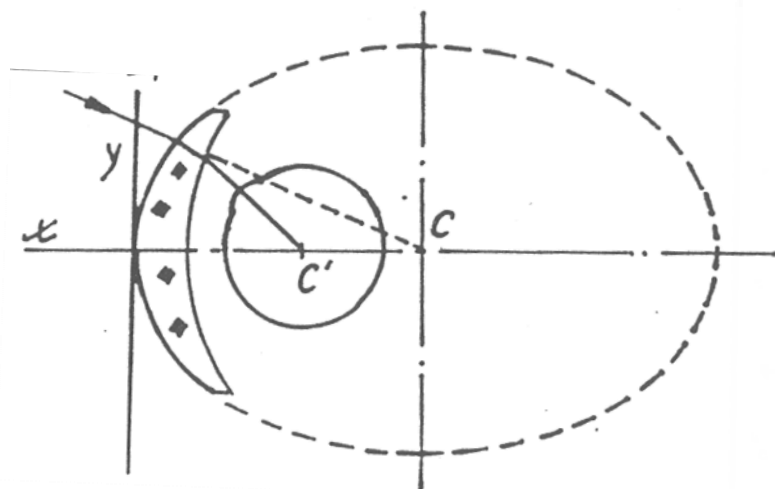
Charakteristické parametry čs. brýlových skel DIOSFER

Vrcholová lámavost A' [dpc]	Optická mohutnost vypuklé plochy D <sub>1</sub> [dpc]	Optická mohutnost duté plochy D <sub>2</sub> [dpc]	Středová tloušťka d [mm]
0,00	+5,95	-6,00	2,0
+0,25	+6,20		2,1
+0,50	+6,45		2,2
+0,75	+6,70		2,3
+1,00	+6,95		2,4
+1,25	+7,19		2,6
+1,50	+7,44		2,7
+1,75	+7,65		2,8
+2,00	+7,92		2,9
+2,25	+8,13		3,0
+2,50	+8,38		3,2
+2,75	+8,63		3,3
+3,00	+8,86		3,4
+3,25	+9,10		3,5
+3,50	+9,34		3,7
+3,75	+9,57	3,8	
+4,00	+9,81	4,0	
-0,25	+6,00	-6,30	1,7
-0,50		-6,55	1,6
-0,75		-6,80	1,5
-1,00		-7,05	1,5
-1,25	+5,50	-6,80	1,4
-1,50		-7,05	1,3
-1,75		-7,30	1,3
-2,00		-7,55	1,2
-2,25	+5,00	-7,30	1,2
-2,50		-7,55	1,1
-2,75		-7,79	1,0
-3,00		-8,04	1,0
-3,25	+4,50	-7,79	1,0
-3,50		-8,04	1,0
-3,75		-8,28	1,0
-4,00		-8,53	1,0


Charakteristické parametry čs. bodové zobrazujících skel PUNKTUR

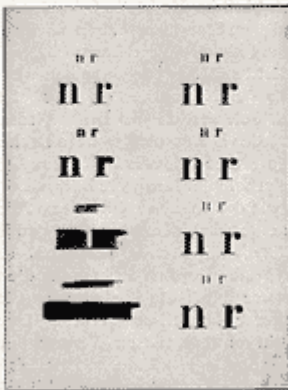
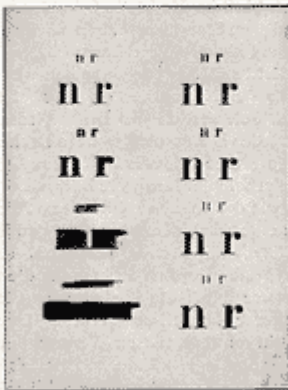
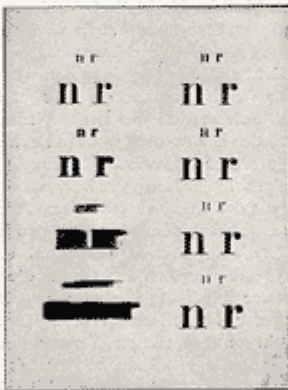
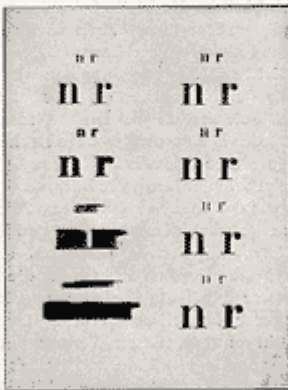
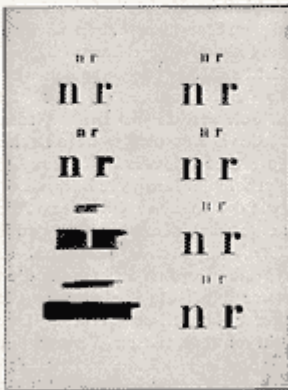
Vrcholová lámavost A' [dpc]	Optická mohutnost vypuklé plochy D <sub>1</sub> [dpc]	Optická mohutnost duté plochy D <sub>2</sub> [dpc]	Středová tloušťka d [mm]
+0,25	+6,355	-6,153	1,8
+0,50	+6,601		1,8
+0,75	+6,844		1,9
+1,00	+7,077		2,0
+1,25	+7,327		2,1
+1,50	+7,569		2,2
+1,75	+7,809		2,3
+2,00	+8,759		-6,882
+2,25	+8,997	2,5	
+2,50	+9,234	2,6	
+2,75	+9,464	2,8	
+3,00	+9,687	3,1	
+3,25	+9,926	3,1	
+3,50	+10,159	3,2	
+3,75	+10,391	3,3	
+4,00	+10,617	3,5	
+4,50	+11,308	-7,164	
+5,00	+11,472		4,5
+5,50	+12,168		4,9
+6,00	+12,599		5,2
-0,25	+6,173	-7,449	1,6
-0,50		-7,736	1,5
-0,75		-7,990	1,4
-1,00		-8,232	1,3
-1,25		-8,444	1,1
-1,50		-8,699	1,0
-1,75		-8,963	0,9
-2,00		-9,214	0,9
-2,25		-8,444	0,9
-2,50		-8,699	0,9
-2,75		-8,963	0,9
-3,00		-9,214	0,9
-3,25		-9,473	0,9
-3,50		-9,694	0,8
-3,75		+5,451	-9,214
-4,00	-9,473		0,7
-4,50	-9,966		0,7
-5,00	+4,705	-9,694	0,6
-5,50		-10,197	0,6
-6,00		-10,728	0,6

# Možnosti realizace bodově zobrazujících čoček

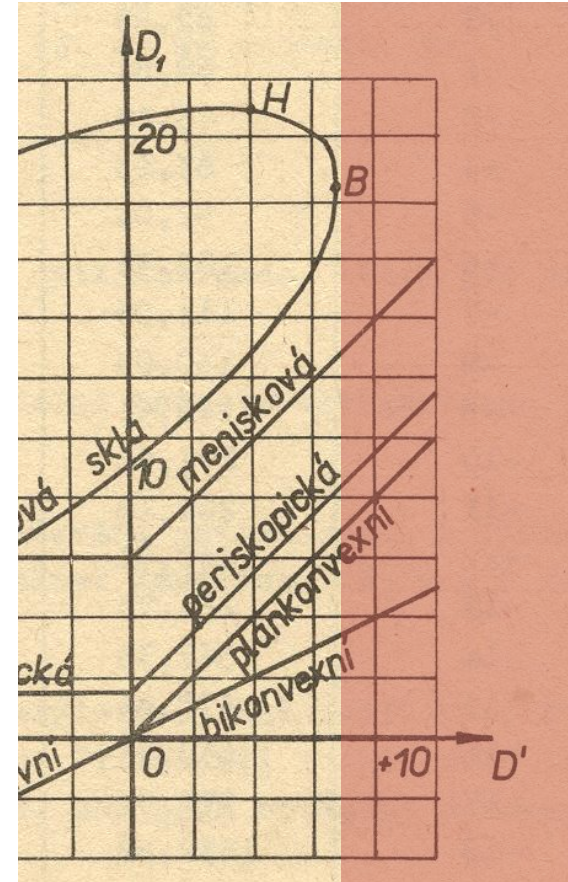


# Možnosti realizace bodově zobrazujících čoček

  
**ZEISS**  
**KATRALGLÄSER**  
 für Star-Operierte

Blick- richtung		Blick- richtung
0°		0°
10°		10°
20°		20°
30°		30°

Schriftproben, gesehen durch  
 ein gleichseitiges Starglas    ein Katralglas  
 von +15 dptr                    von +15 dptr  
 in den angegebenen Blickrichtungen zur optischen Achse  
 des Glases



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

## důležité parametry:

- index lomu
- hustota
- Abbeovo číslo
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

### index lomu

$n_d$  ... pro čáru d

$n_e$  ... pro čáru e

Medium	$n_d$	$n_e$	CVF	Density	UV cut-off	Abbe	$\rho(\%)$
<b>Glasses</b>							
White Crown	1.523	1.525	1.0	2.5	320	59	4.3
Light flint	1.600	1.604	0.87	2.6	334	42	5.3
1.7 glasses	1.700	1.705	0.75	3.2	340	35	6.7
	1.701	1.706	0.75	3.2	320	42	6.7
1.8 glasses	1.802	1.807	0.65	3.7	332	35	8.2
	1.830	1.838	0.63	3.6	340	32	8.6
1.9 glasses	1.885	1.893	0.59	4.0	340	31	9.4
<b>Plastics</b>							
CR39	1.498	1.500	1.0	1.3	355	58	4.0
INDO Superfin	1.523	1.525	0.95	1.3	350	48	4.3
Trivex®	1.532	1.535	0.94	1.1	380	46	4.4
Sola Spectralite	1.537	1.540	0.93	1.2	385	47	4.5
Corning SunSensors®	1.555	1.558	0.90	1.2	380	38	4.7
PPG HIP	1.560	1.563	0.89	1.2	370	38	4.8
AO Alphalite 16XT	1.582	1.585	0.86	1.3	380	34	5.1
Polycarbonate	1.586	1.589	0.85	1.2	385	30	5.2
Hoya Eyas 1.6	1.600	1.603	0.83	1.3	380	42	5.3
Polyurethanes	1.600	1.603	0.83	1.3	380	36	5.3
	1.609	1.612	0.82	1.4	380	32	5.4
	1.660	1.664	0.75	1.4	375	32	6.2
	1.670	1.674	0.74	1.4	395	32	6.3
Hoya Eyry 1.7	1.695	1.710	0.72	1.4	380	36	6.7
High index 1.71	1.710	1.715	0.70	1.4	380	36	6.9
Very high index	1.740	1.746	0.67	1.5	400	33	7.3

# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- **index lomu**

- hustota
- Abbeovo číslo
- UV mezní bod
  
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

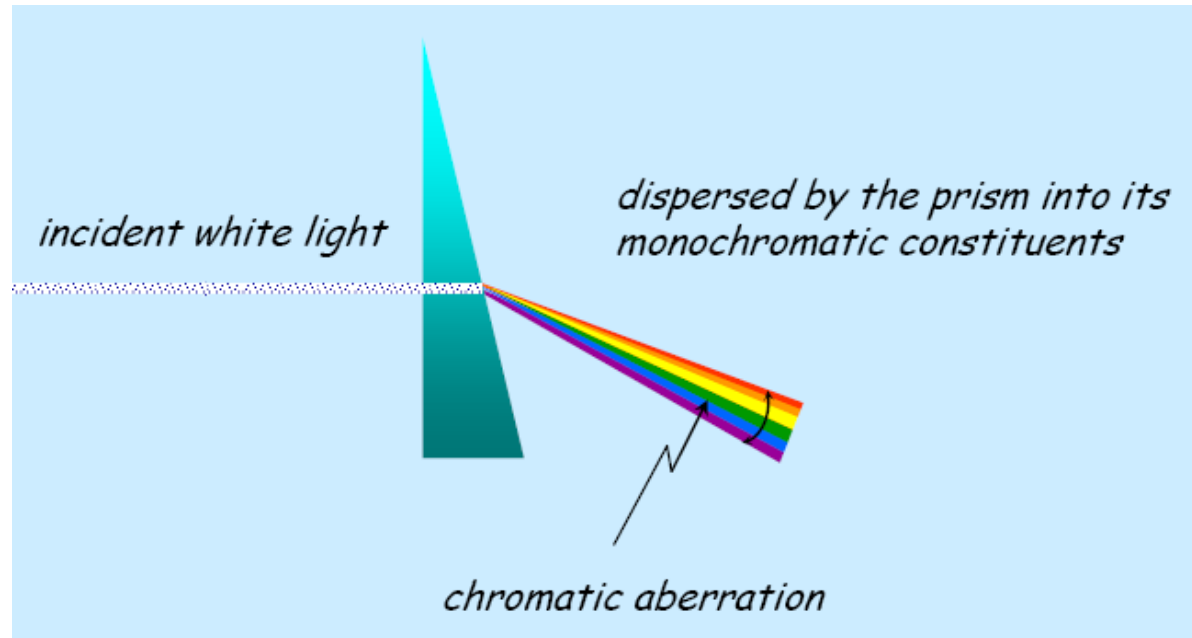
normal index	$n \geq 1.48$	but < 1.54
mid index	$n \geq 1.54$	but < 1.64
high index	$n \geq 1.64$	but < 1.74
very high index	$n \geq 1.74$	

# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- hustota
- **Abbeovo číslo**
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

$$V_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$$



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- hustota
- **Abbeovo číslo**
- UV mezní bod

$$v_e = \frac{n_e - 1}{n_F - n_C}$$

- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

Designation	Element	Wavelength (nm)	Designation	Element	Wavelength (nm)
y	O <sub>2</sub>	898.765	c	Fe	495.761
Z	O <sub>2</sub>	822.696	F	H $\beta$	486.134
A	O <sub>2</sub>	759.370	d	Fe	466.814
B	O <sub>2</sub>	686.719	e	Fe	438.355
C	H $\alpha$	656.281	G'	H $\gamma$	434.047
a	O <sub>2</sub>	627.661	G	Fe	430.790
D <sub>1</sub>	Na	589.592	G	Ca	430.774
D <sub>2</sub>	Na	588.995	h	H $\delta$	410.175
D <sub>3</sub> or d	He	587.5618	H	Ca <sup>+</sup>	396.847
e	Hg	546.073	K	Ca <sup>+</sup>	393.368
E <sub>2</sub>	Fe	527.039	L	Fe	382.044
b <sub>1</sub>	Mg	518.362	N	Fe	358.121
b <sub>2</sub>	Mg	517.270	P	Ti <sup>+</sup>	336.112
b <sub>3</sub>	Fe	516.891	T	Fe	302.108
b <sub>4</sub>	Fe	516.891	t	Ni	299.444
b <sub>4</sub>	Mg	516.733			

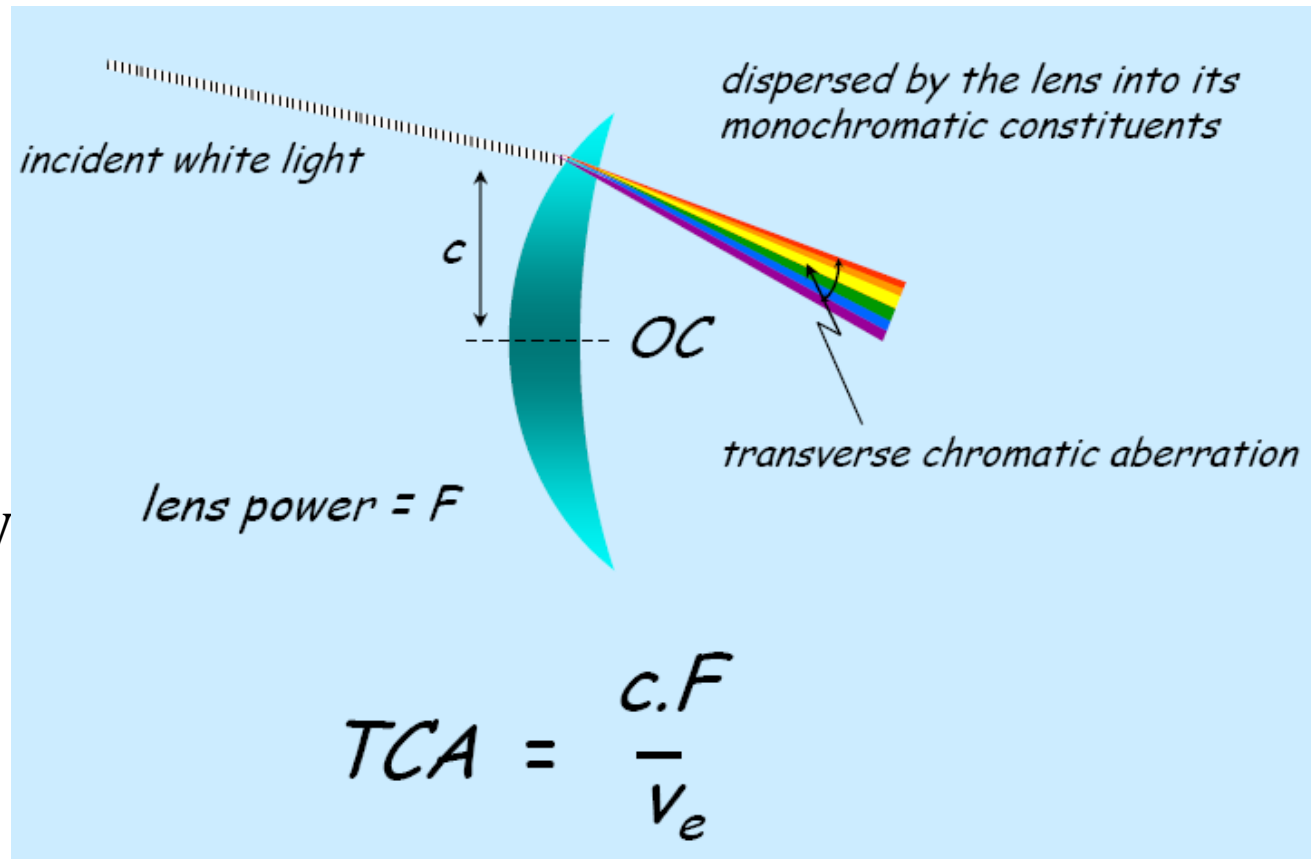


# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

## důležité parametry:

- index lomu
- hustota
- **Abbeovo číslo**
- UV mezní bod
- curve variation factor (CV)
- odrazivost

$$V_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$$



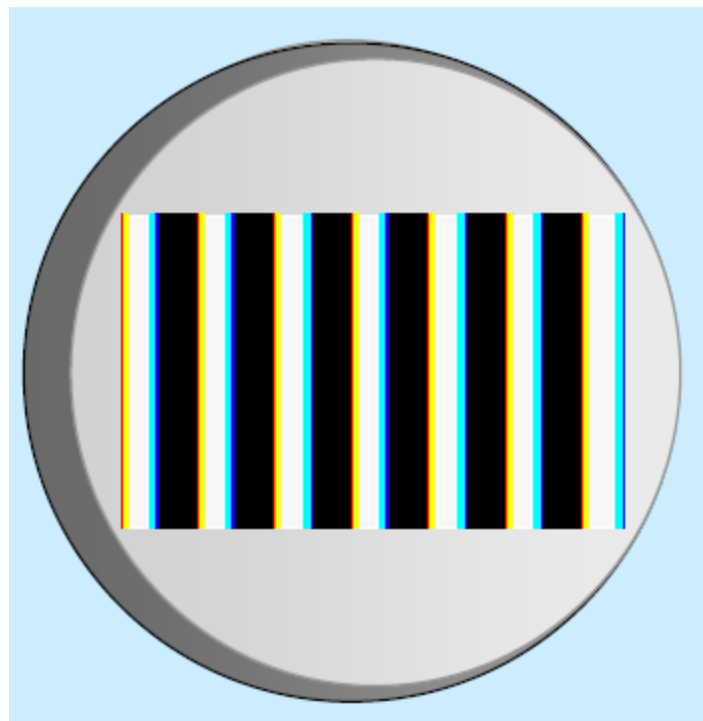
# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- hustota
- **Abbeovo číslo**
- UV mezní bod

$$V_e = \frac{n_e - 1}{n_F' - n_C'}$$

- curve variation factor (CVF)
- odrazivost



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- hustota
- **Abbeovo číslo**
- UV mezní bod
  
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

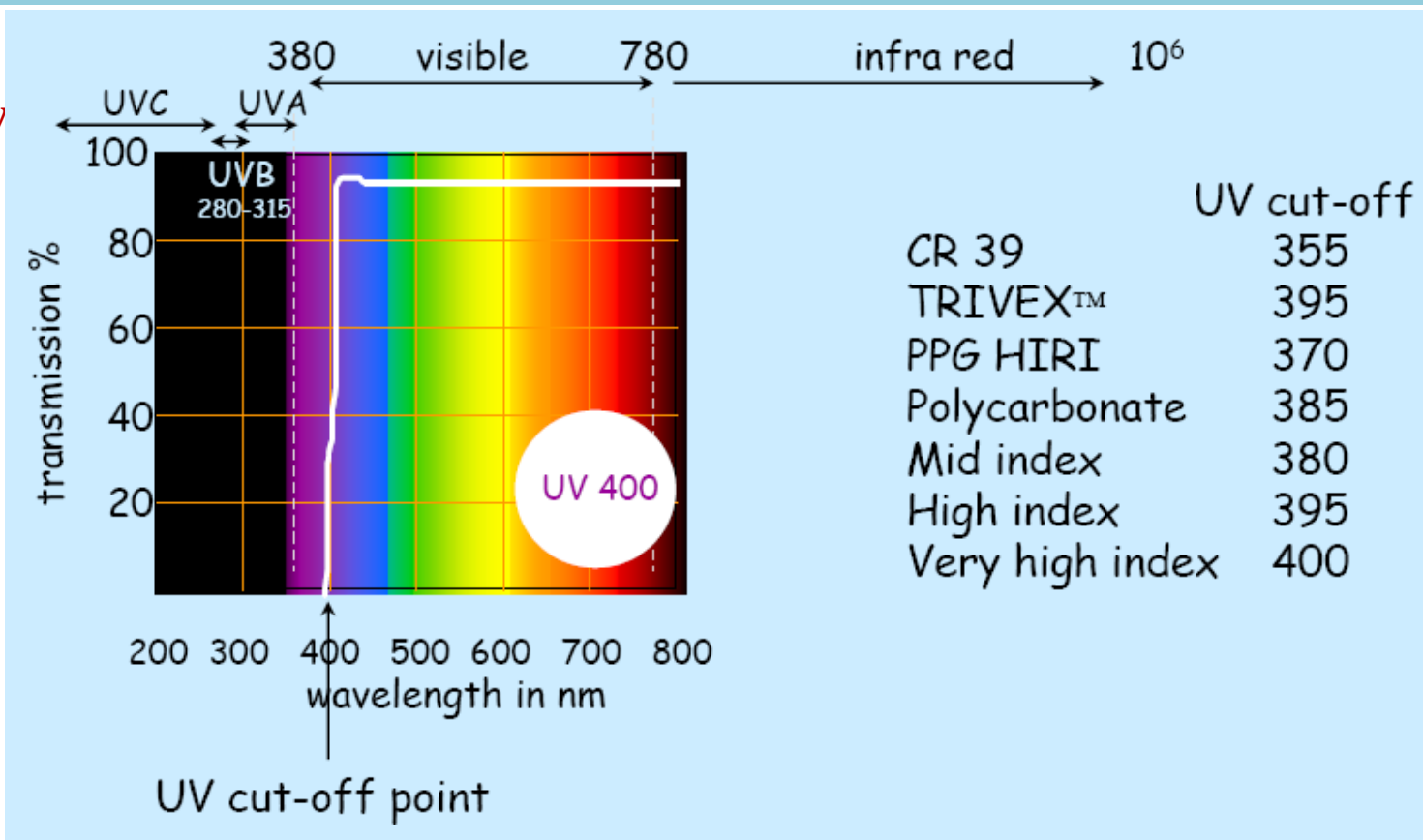
$$V_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$$

low dispersion	$v \geq 45$
medium dispersion	$v \geq 39$ but $< 45$
high dispersion	$v < 39$

# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

## důležité parametry

- index lomu
- hustota
- Abbeovo číslo
- **UV mezní bod**
- CVF
- odrazivost



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

## důležité parametry:

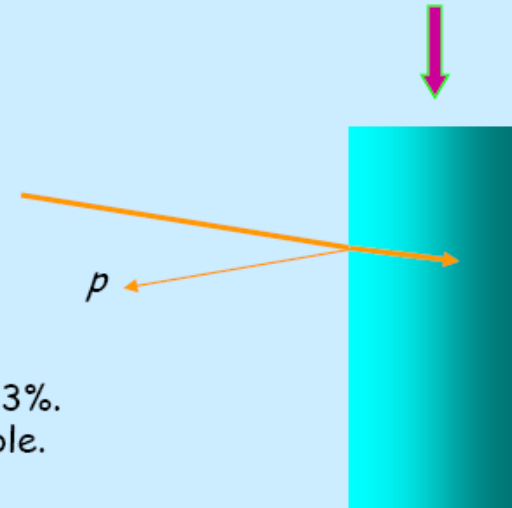
- index lomu
- hustota
- Abbeovo číslo
- UV mezní bod
- CVF
- **odrazivost**  
(kolmý dopad)

Glass type	index	CVF	Abbe No	density	reflectance	T%
crown	1.525	1.0	59	2.5	4.3%	91.6
mid-index	1.604	0.87	42	2.6	5.4%	89.5
high index	1.705	0.75	42	3.2	6.8%	86.9
very high index	1.807	0.65	35	3.7	8.3%	84.2
very high index	1.892	0.59	31	4.0	9.5%	81.9

Fresnel's fraction.

$$p = \left[ \frac{n - 1}{n + 1} \right]^2 \times 100\%$$

For  $n = 1.525$ , the fraction turns out to be 4.3%.  
Values for other indices are given in the table.



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

$$CVF = \frac{(n_{\text{base}} - 1)}{(n_{\text{mat}} - 1)}$$

- index lomu
- hustota
- Abbeovo číslo
- UV mezní bod

$n_{\text{base}}$  is the refractive index of the base material

$n_{\text{mat}}$  is the refractive index of the material being compared

- **curve variation factor (CVF)**

- odrazivost

vystihuje odchylku objemu a tloušťky ve srovnání s korunovým sklem, např.

1,0 ... plný objem

0,75 ... o 25 % menší objem