

brýlové čočky



Historické brýle



1690: brýle Norimberského stylu se zelenými čočkami



1780: stříbrné brýle

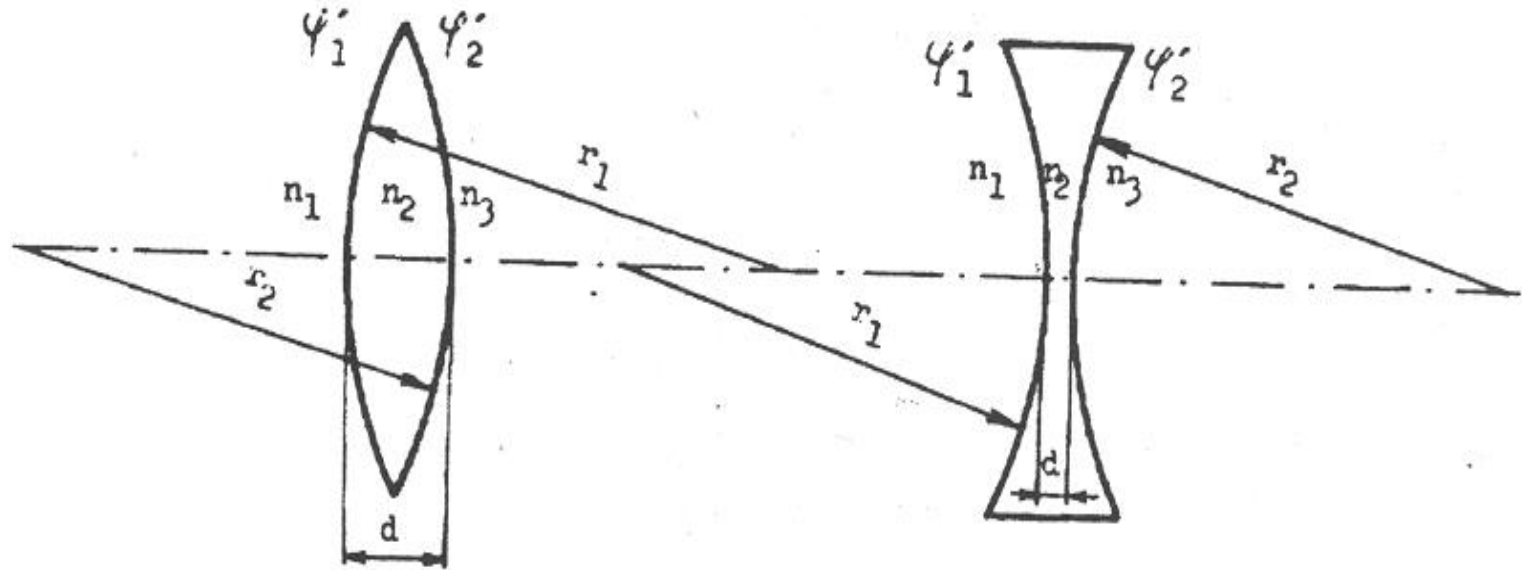


konec 18. století: mosazné obruby, kruhové čočky

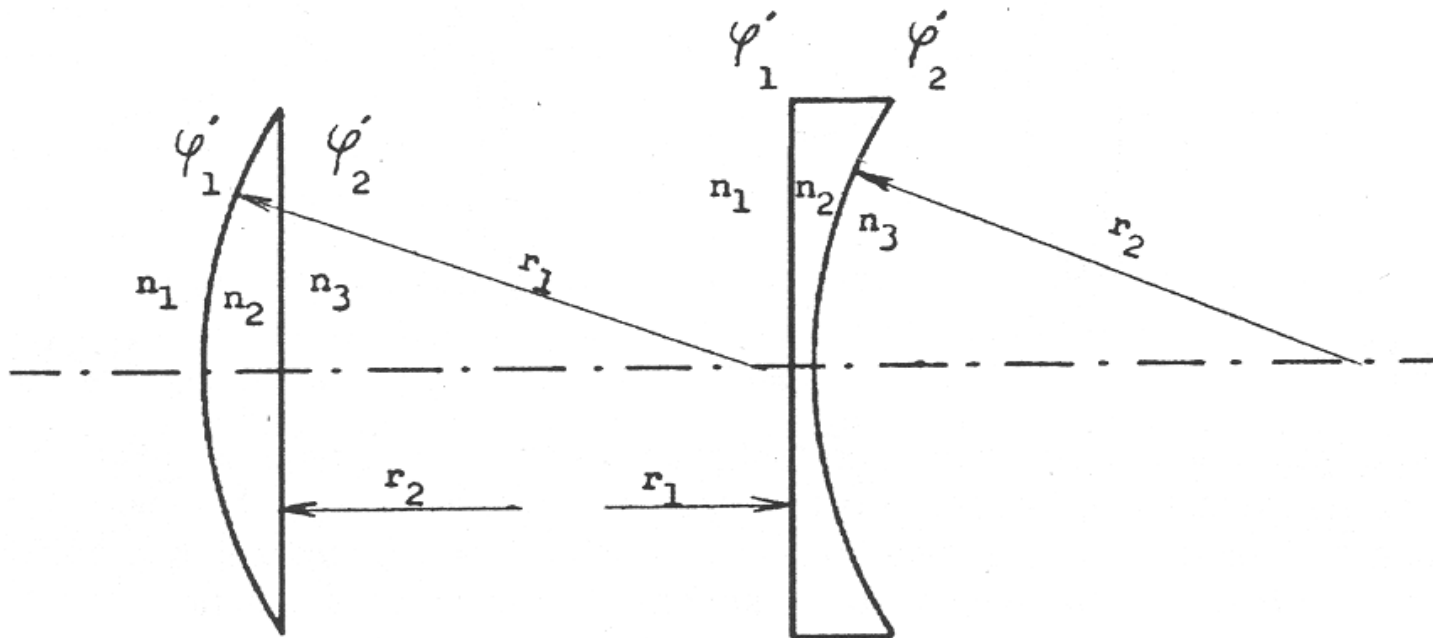


středověký čtecí kámen

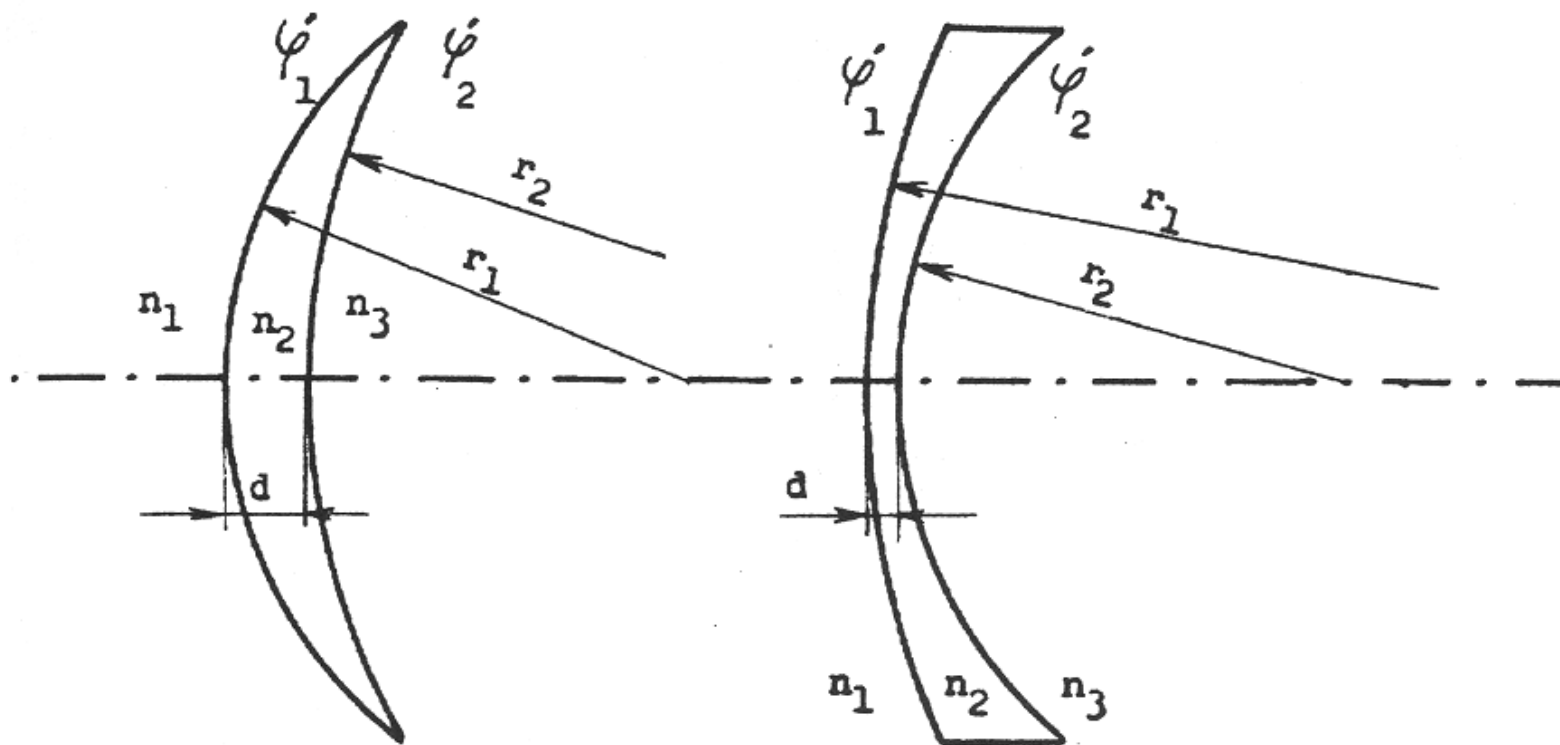
Bikonvexní a bikonkávní čočky



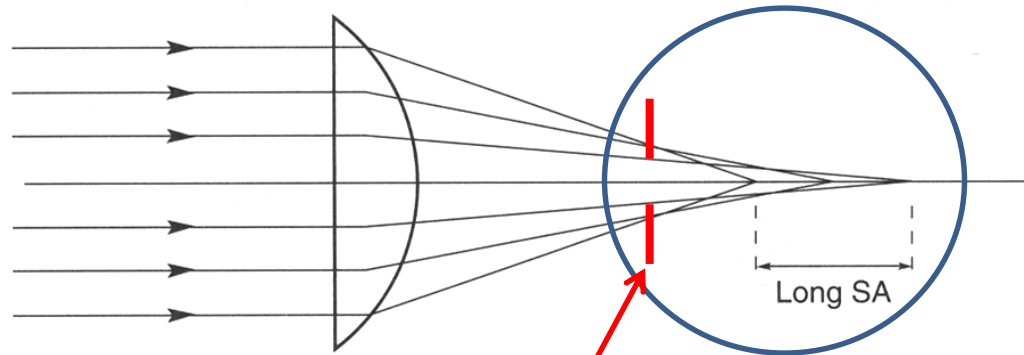
Plankonvexní a plankonkávní čočky



Meniskové čočky



Otvorová vada



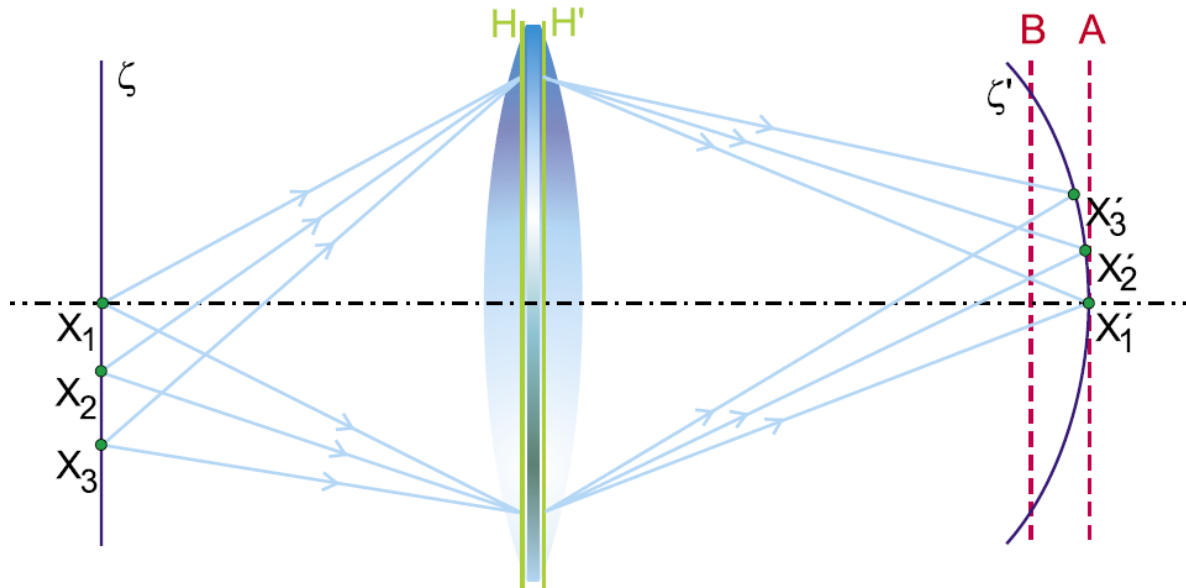
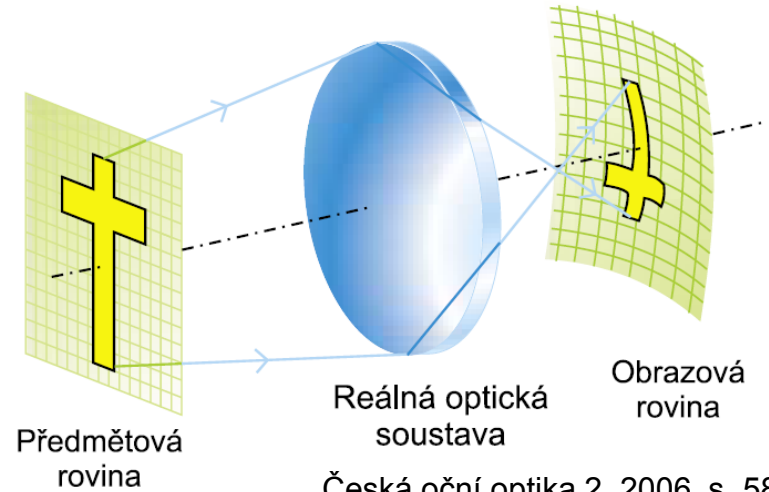
Otvorová vada a koma brýlové čočky nemusí být uvažována
vzhledem k tomu, že svazek prochází skrze relativně malou oční pupilu

Sklenutí pole

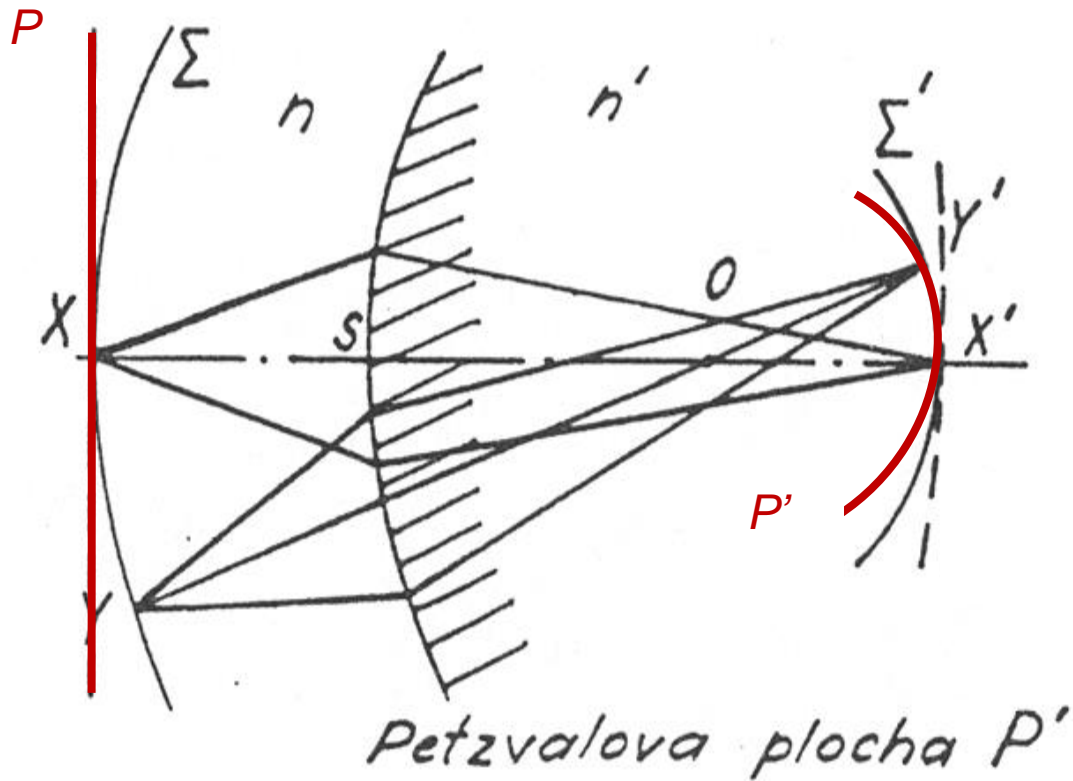


Joseph Petzval

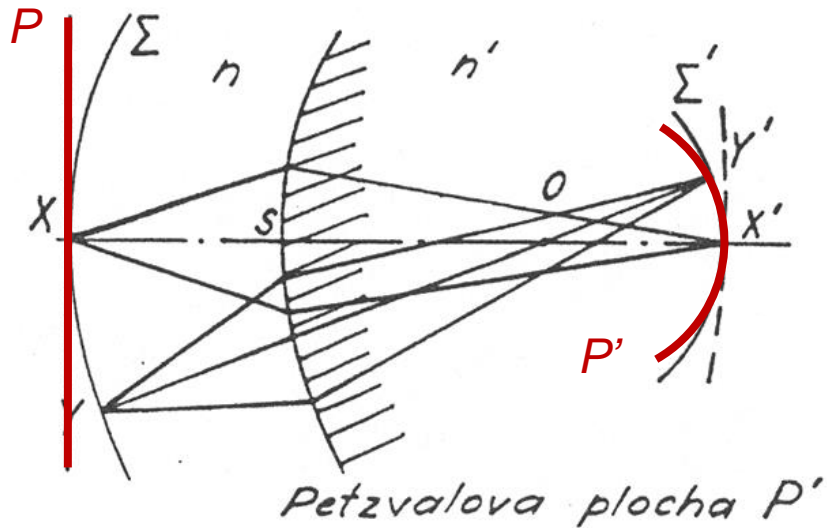
1807 - 1891



Sklenutí pole



Petzvalova plocha



jedna lámavá plocha: tenká čočka:

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

$$R_P = -nf'$$

system tenkých čoček:

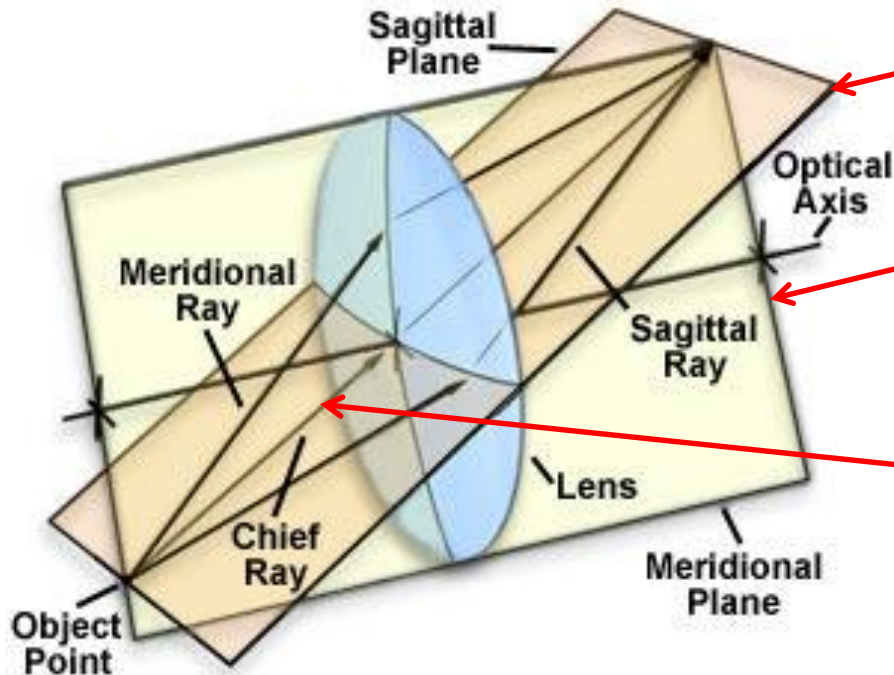
$$\frac{1}{R_P} = -\sum \frac{1}{n_i f_i'} = -\sum \frac{\varphi_i'}{n_i}$$

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.

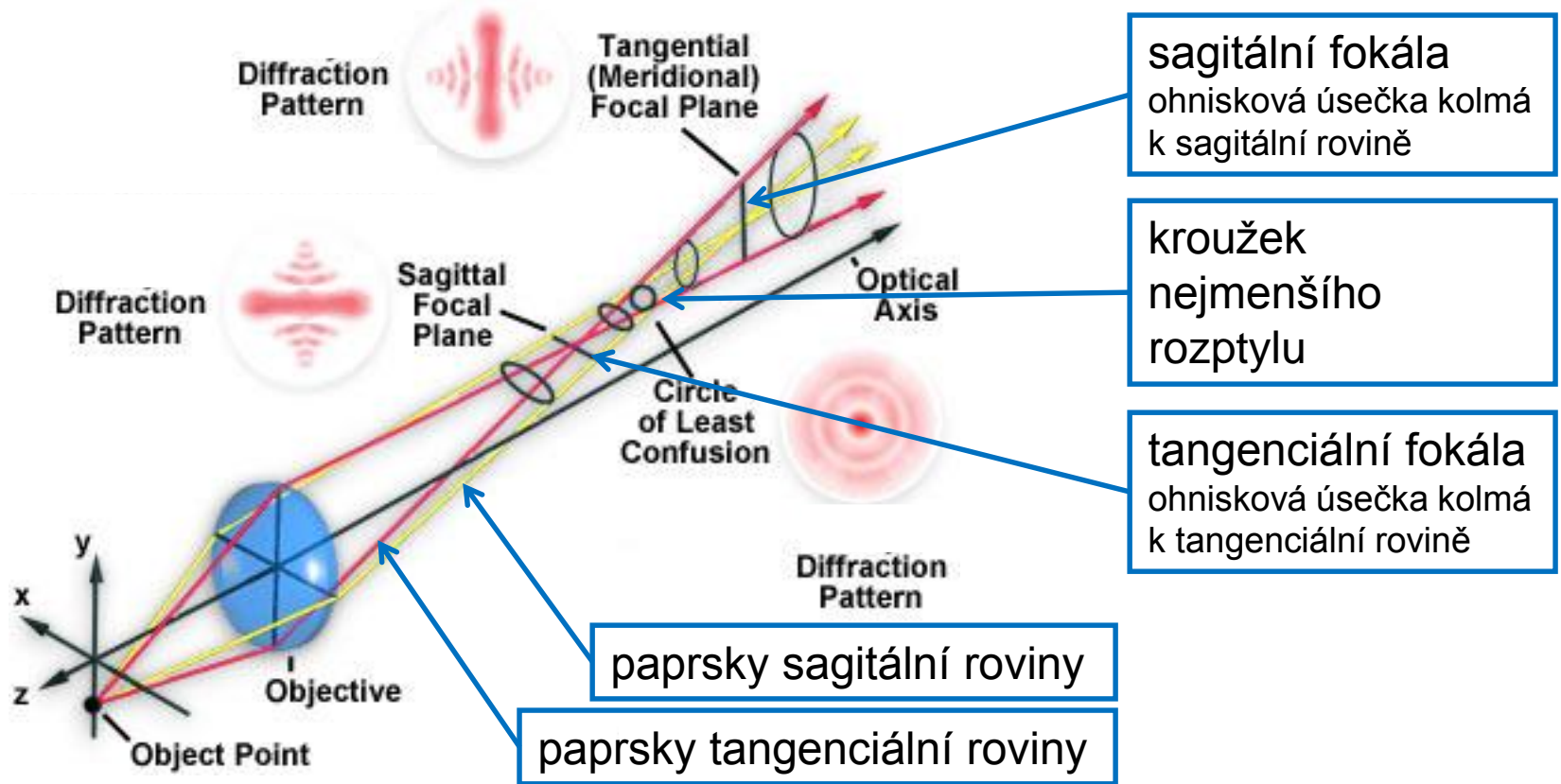
tangenciální (meridionální) rovina

obsahuje hlavní paprsek a optickou osu

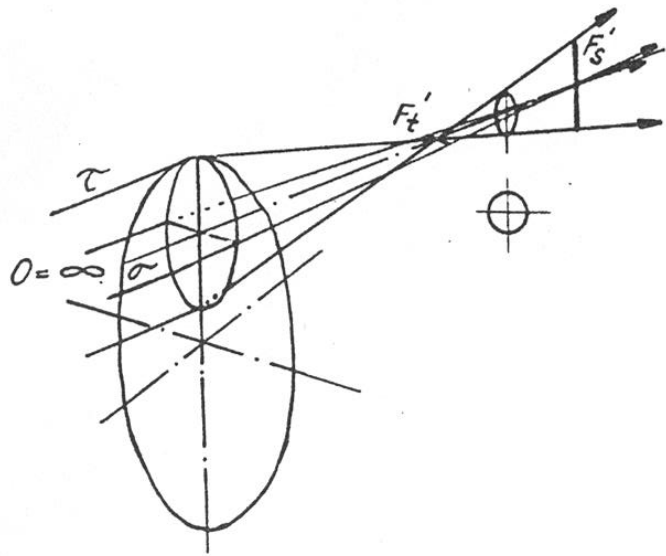
hlavní paprsek

prochází předměťovým bodem a středem pupily

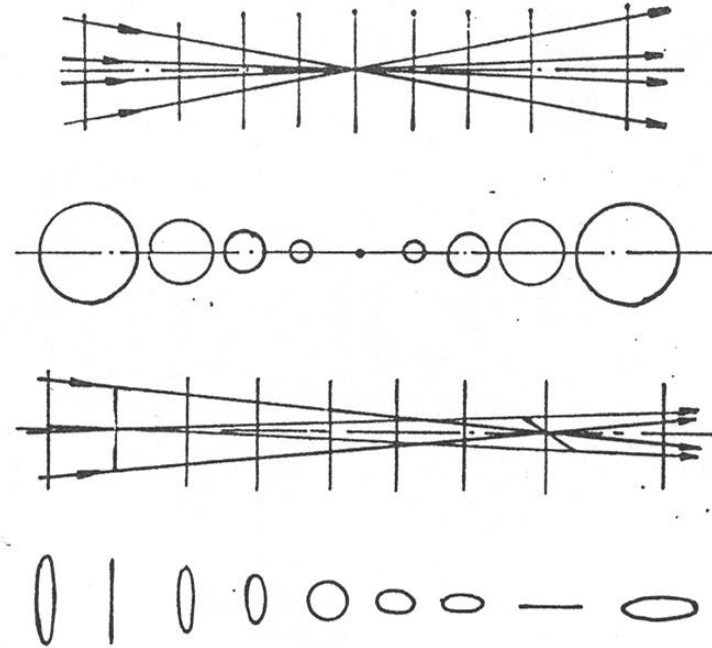
Astigmatismus



Astigmatismus



Fokály astigmatického svazku



Ideální svazek paprsků

Astigmatický svazek paprsků

Astigmatismus

Original

aio

Compromise

aio

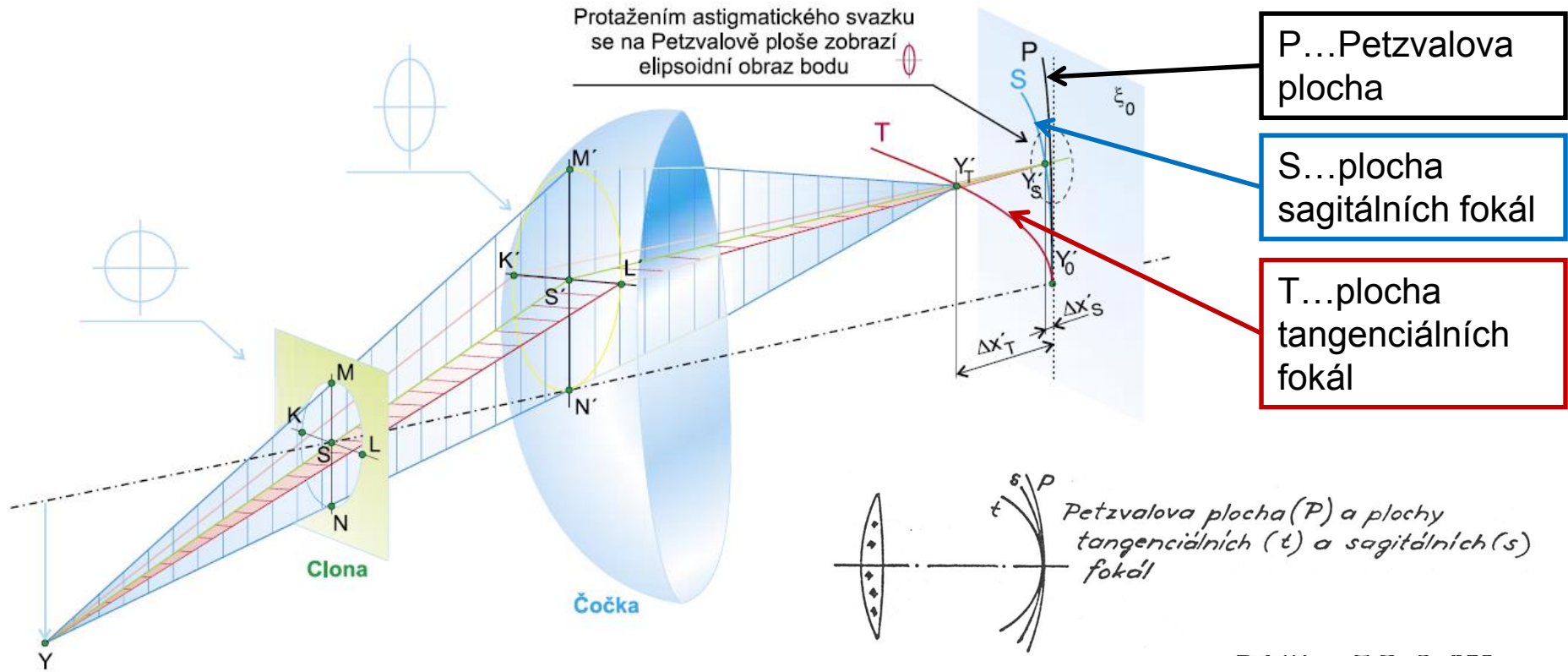
Horizontal Focus

aio

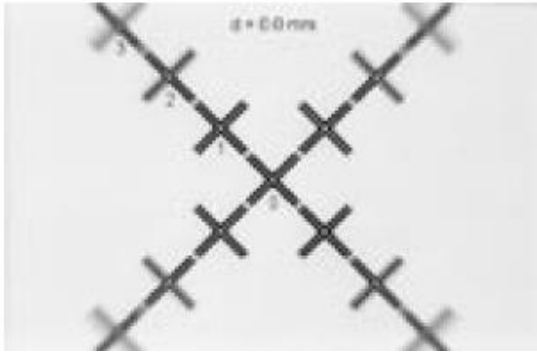
Vertical Focus

aio

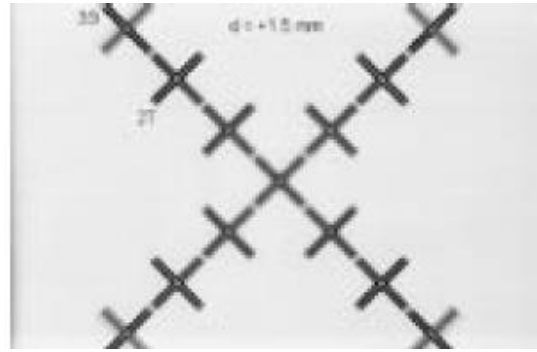
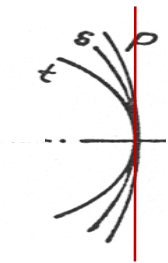
Astigmatismus tenké čočky



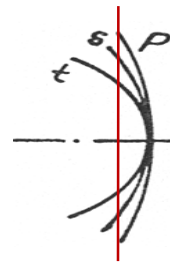
Zobrazení s astigmatismem



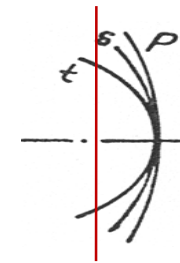
$d = 0$ mm (od ohniska)
zaostřena centrální část a
2S čáry



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



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



Korekce astigmatismu šikmých svazků



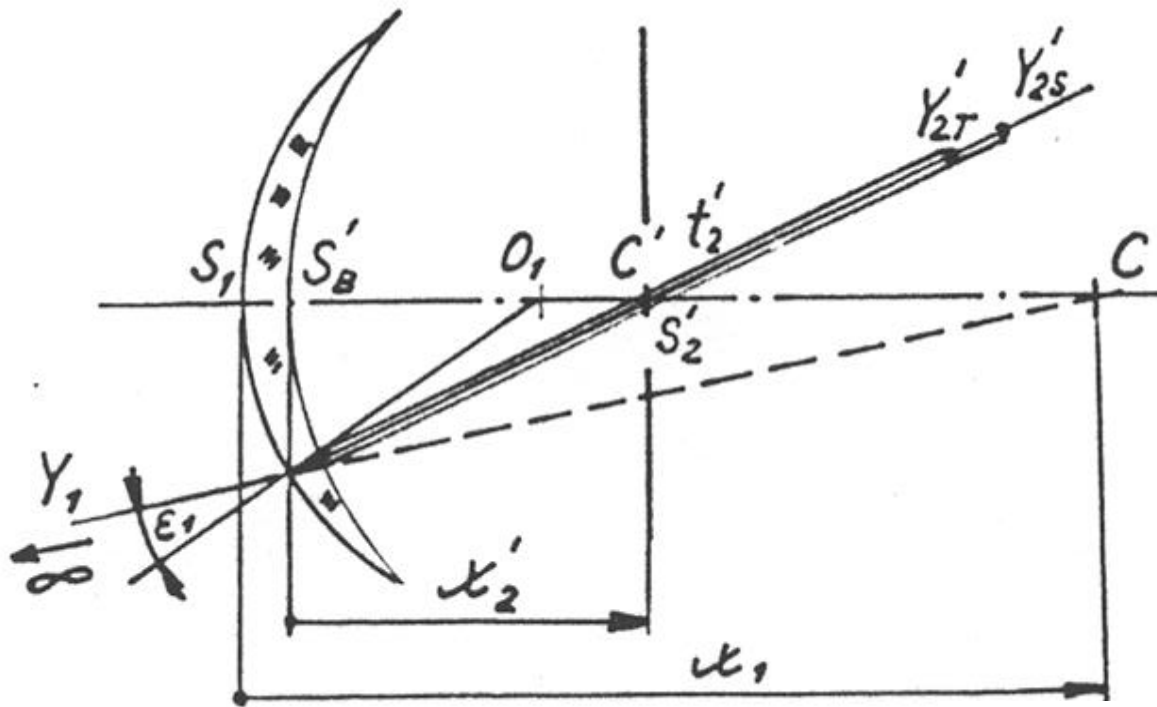
William Hyde Wollaston (1766-1828)

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

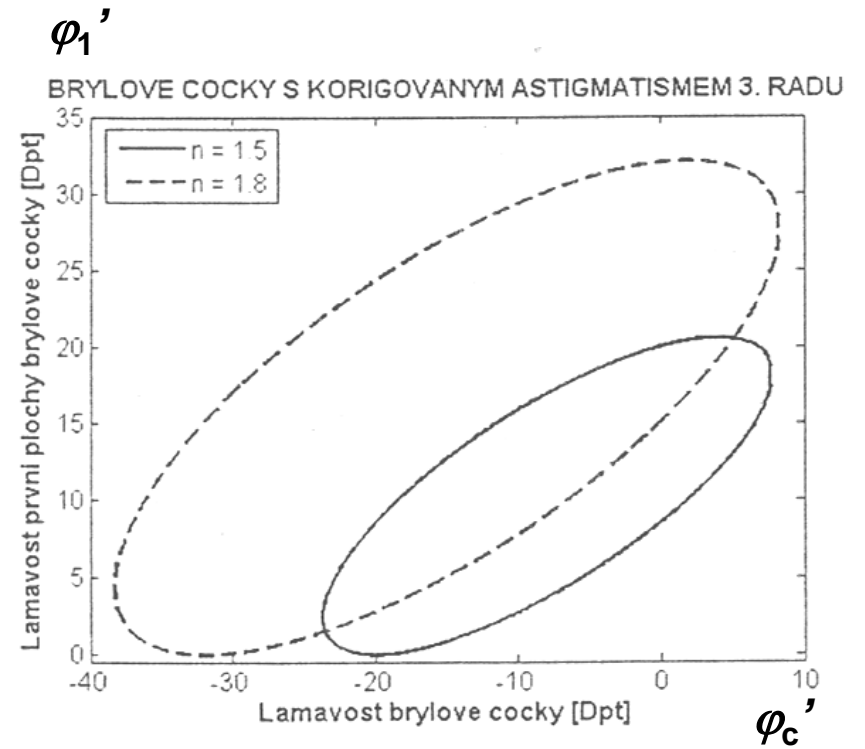
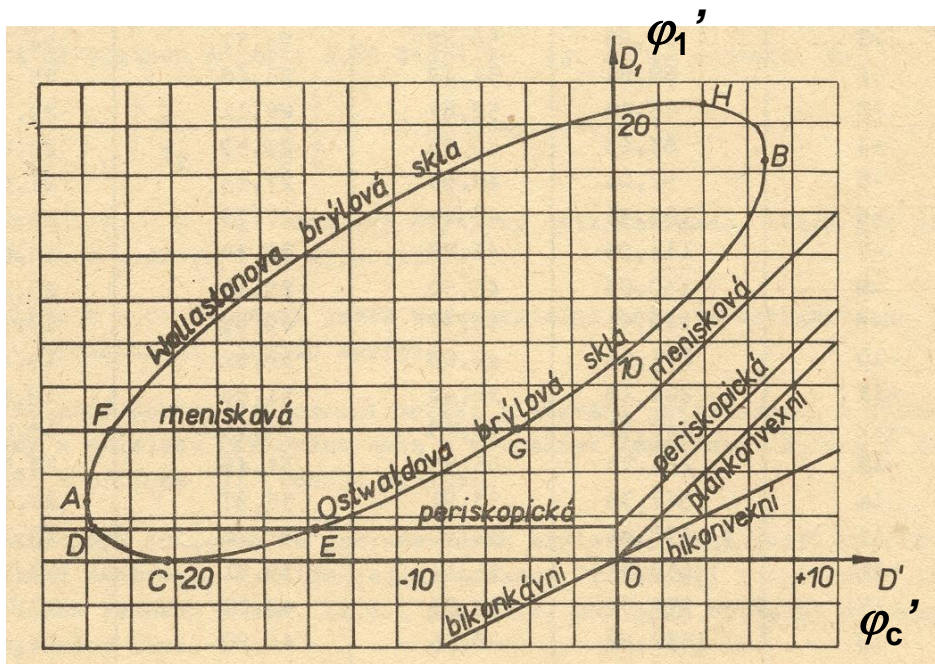
Současně zaznamenal, že skla ve tvaru menisku poskytují vyšší kvalitu vidění.

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.

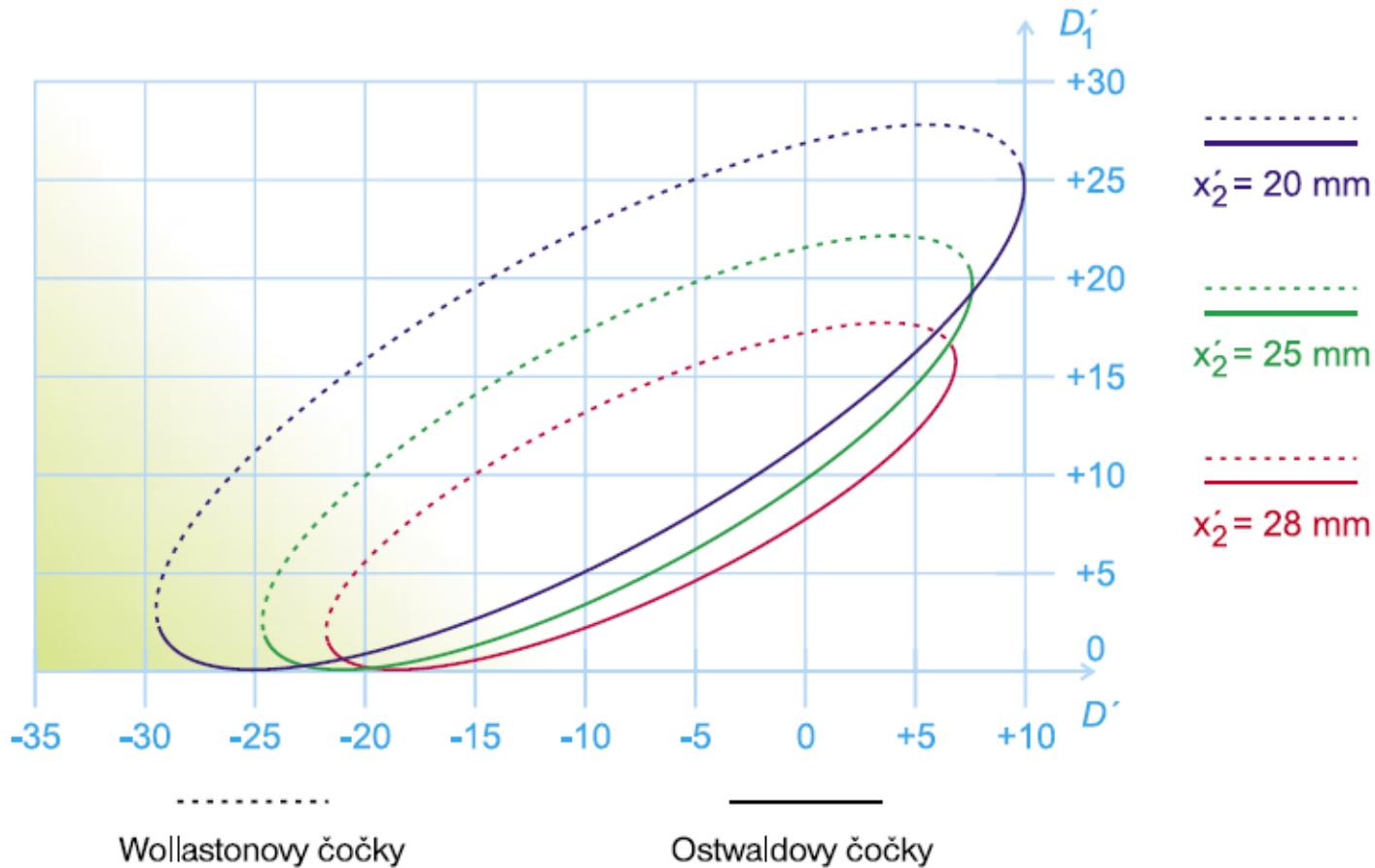
Korekce astigmatismu šikmých svazků



Tscherningova elipsa

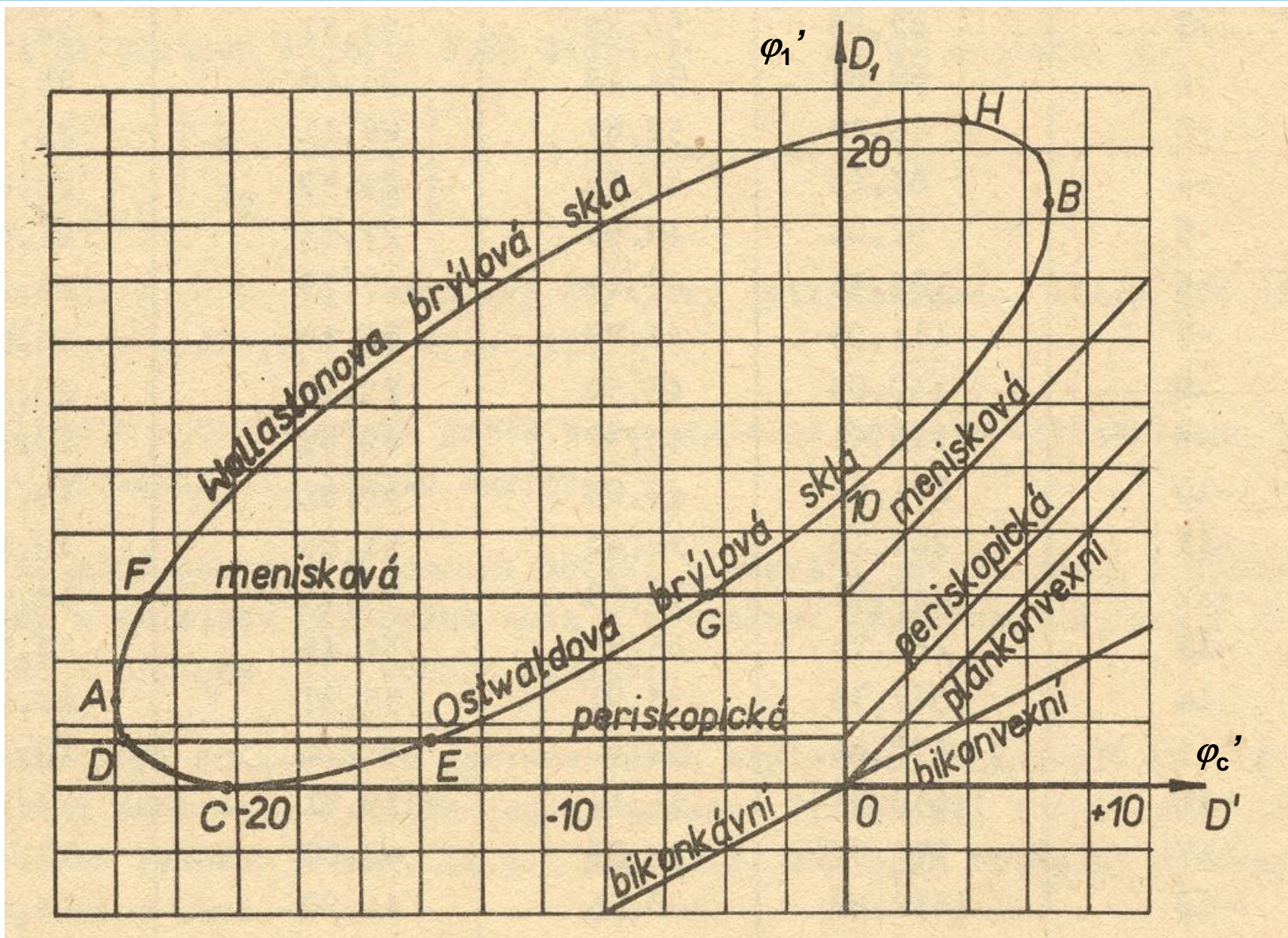


Tscherningova elipsa



vzdálenost BČ od
středu otáčení oka

Oblasti řešení



Tabulka poloměrů křivostí ploch

φ_c' [D]	Oswalt		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 brylové čočky vzdálené 25mm od bodu otáčení oka při pozorování značně vzdálených předmětů a pro malé úhly

Bodově zobrazující čočky



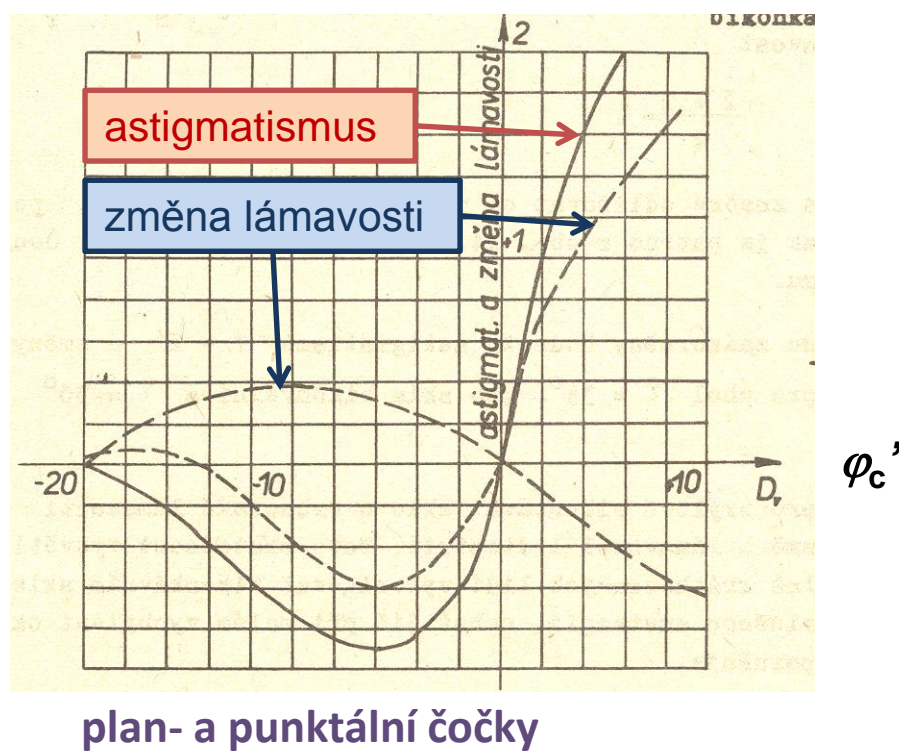
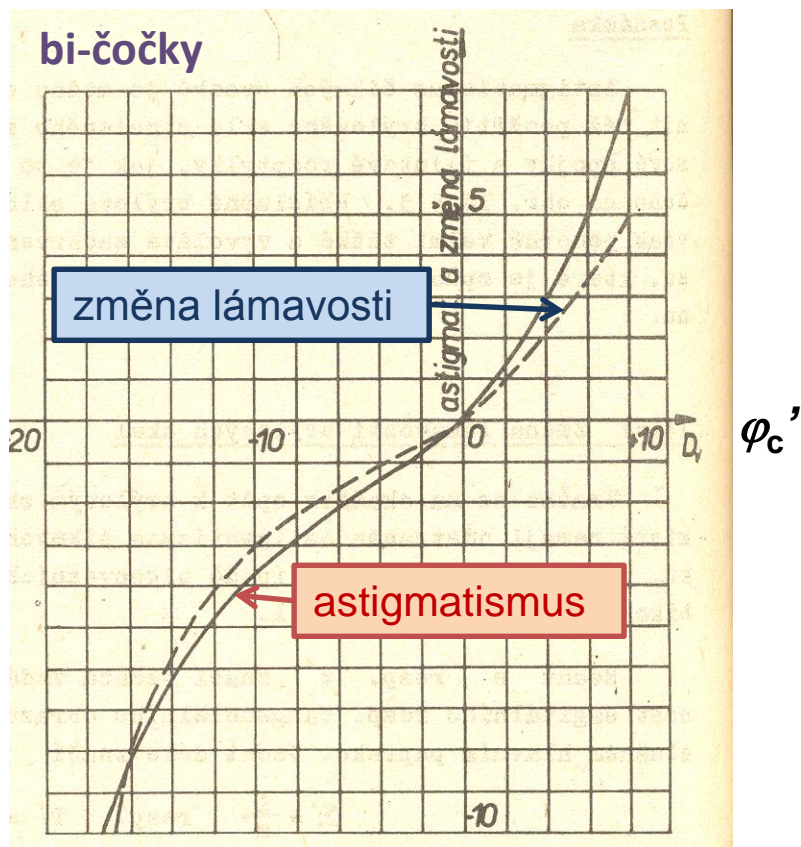
Moritz von Rohr (1868-1940)

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

Byly vyráběny čočky „Punktal“.



Změna optické mohutnosti brýlové čočky



Příklady českých čoček – „skupinová skla“

Charakteristické parametry skupinových skel čs. výroby

Vrcholová lámavost A' [dpt]	Optická mohutnost základní plochy D ₂ resp. D ₁ [dpt]	Optická mohutnost doplňkové (tvořící) plochy [dpt]	Středová tloušťka d [mm]
S _B 0,00	φ ₂ D ₁ = -6,00 dpt	φ ₁ +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 ₁ = -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 ₁ = -3,00 dpt	+16,38	8,3
+15,50		+16,72	8,8
+16,00		+17,05	9,1
+16,50		+17,37	9,4
+17,00	D ₁ = -2,00 dpt	+17,72	9,8
+17,50		+18,05	10,1
+18,00	D ₁ = -1,00 dpt	+18,40	10,4
+18,50		+18,72	10,7
+19,00	D ₂ = -1,00 dpt	+17,55	10,6
+20,00		+18,18	11,2

(pokračování)

Vrcholová lámavost A' [dpt]	Optická mohutnost základní plochy D ₂ resp. D ₁ [dpt]	Optická mohutnost doplňkové (tvořící) plochy [dpt]	Středová tloušťka d [mm]
S _B -0,25	φ ₁ D ₁ = +6,00 dpt	φ ₂ -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 ₁ = +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 ₁ = +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 ₁ = +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	D ₁ = +1,00 dpt	-12,51	0,5
-12,00		-13,02	0,5
-12,50		-13,51	0,5
-13,00		-14,01	0,5
-13,50		-14,50	0,5
-14,00		-15,00	0,5
-14,50		-15,50	0,5
-15,00		-16,00	0,5
-15,50	-16,50	0,5	
-16,00	D ₁ = 0,00 dpt	-16,00	0,5
-17,00		-17,00	0,5
-18,00		-18,00	0,5
-19,00		-19,00	0,5
-20,00		-20,00	0,5

Příklady českých čoček – DIOSFER, PUNKTUR

autoři využili počítačacích 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 (∞) dospěli k brýlovým sklům s minimálním astigmatismem. Tato skla vyrábí n. p. Dioptra – Turnov pod názvem DIOSFER (tabulka I.13).

Skutečnost, že jde o bodově 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 K' [dpt]	Optická mohutnost vypuklé plochy D_1 [dpt]	Optická mohutnost duté plochy D_2 [dpt]	Středová tloušťka d [mm]
S_1^+ S_2^+ 0,00	φ_1^+ +5,95	φ_2^+	d 2,0
+0,25	+6,20	-6,00	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. bodově zobrazujících skel PUNKTUR

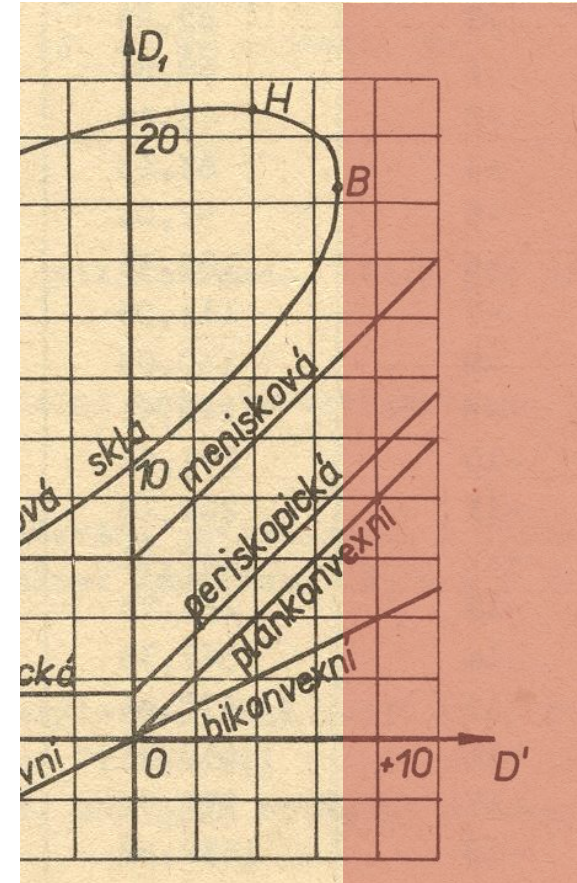
Vrcholová lámavost K' [dpt]	Optická mohutnost vypuklé plochy D_1 [dpt]	Optická mohutnost duté plochy D_2 [dpt]	Středová tloušťka d [mm]	
S_1^+ S_2^+ +0,25	φ_1^+ +6,355	φ_2^+	d 1,8	
+0,50	+6,601	-6,153	1,8	
+0,75	+6,844		1,9	
+1,00	+7,077		2,0	
+1,25	+7,327		2,1	
+1,50	+7,569		2,2	
+1,75	+7,809		2,3	
+2,00	+8,759		-6,882	2,4
+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	4,1	
+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	0,8
-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


ZEISS
KATRALGLÄSER
 — für Star-Operierte —

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

Schriftproben, gesehen durch
 ein gleichseitiges Starglas ein Katralglas
 von + 13 dptr von + 13 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	$\rho(\%)$
Glasses							
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
Plastics							
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

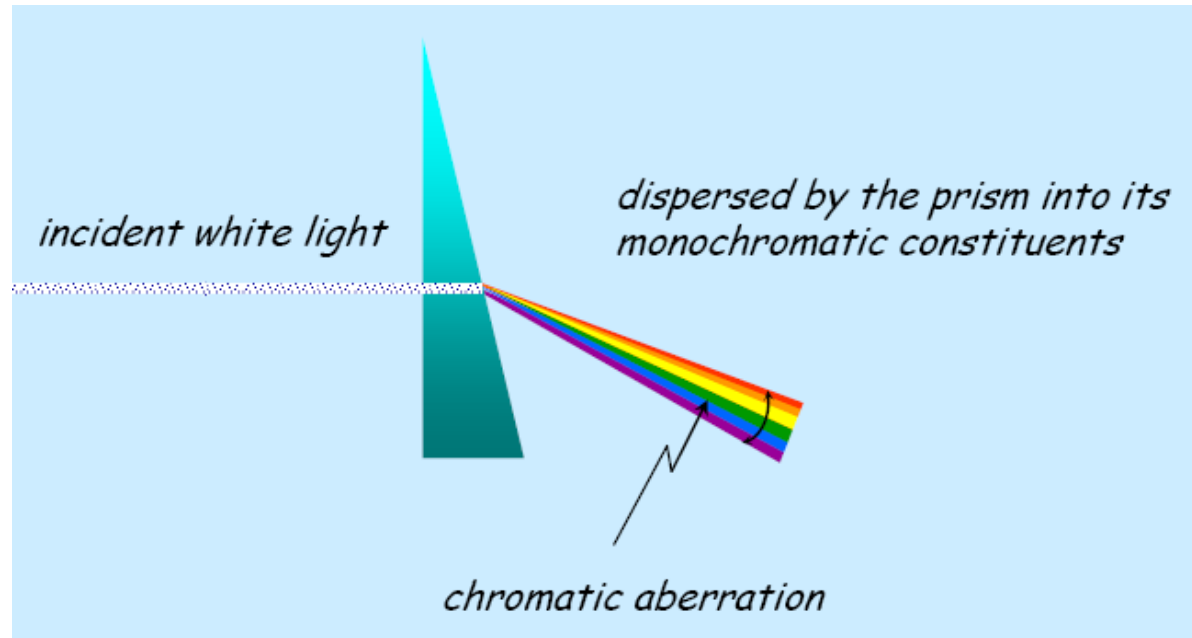
normal index	$n \geq 1.48$	but < 1.54
mid index	$n \geq 1.54$	but < 1.64
high index	$n \geq 1.64$	but < 1.74
very high index	$n \geq 1.74$	

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

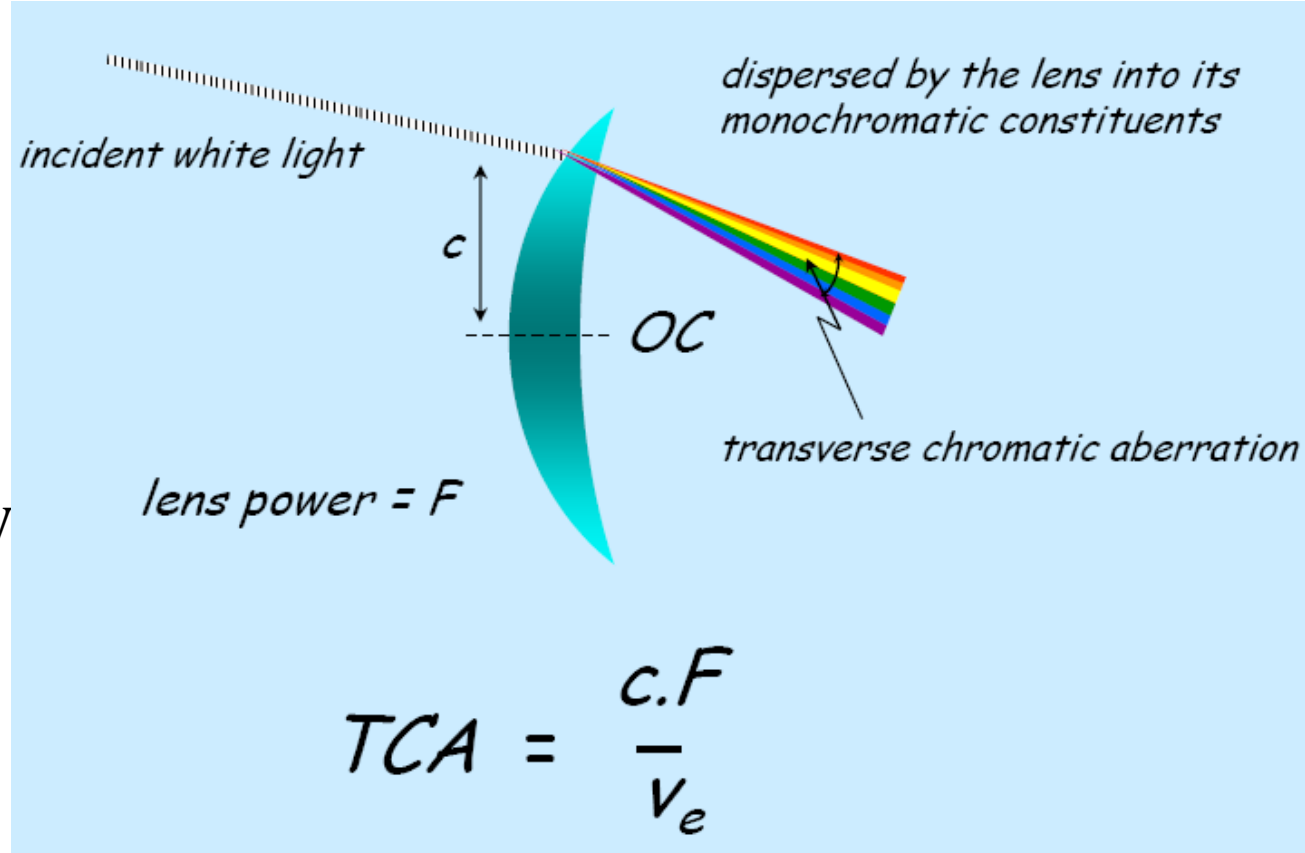
Designation	Element	Wavelength (nm)	Designation	Element	Wavelength (nm)
y	O ₂	898.765	c	Fe	495.761
Z	O ₂	822.696	F	H β	486.134
A	O ₂	759.370	d	Fe	466.814
B	O ₂	686.719	e	Fe	438.355
C	H α	656.281	G'	H γ	434.047
a	O ₂	627.661	G	Fe	430.790
D ₁	Na	589.592	G	Ca	430.774
D ₂	Na	588.995	h	H δ	410.175
D₃ or d	He	587.5618	H	Ca ⁺	396.847
e	Hg	546.073	K	Ca ⁺	393.368
E ₂	Fe	527.039	L	Fe	382.044
b ₁	Mg	518.362	N	Fe	358.121
b ₂	Mg	517.270	P	Ti ⁺	336.112
b ₃	Fe	516.891	T	Fe	302.108
b ₄	Fe	516.891	t	Ni	299.444
b ₄	Mg	516.733			

Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

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

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



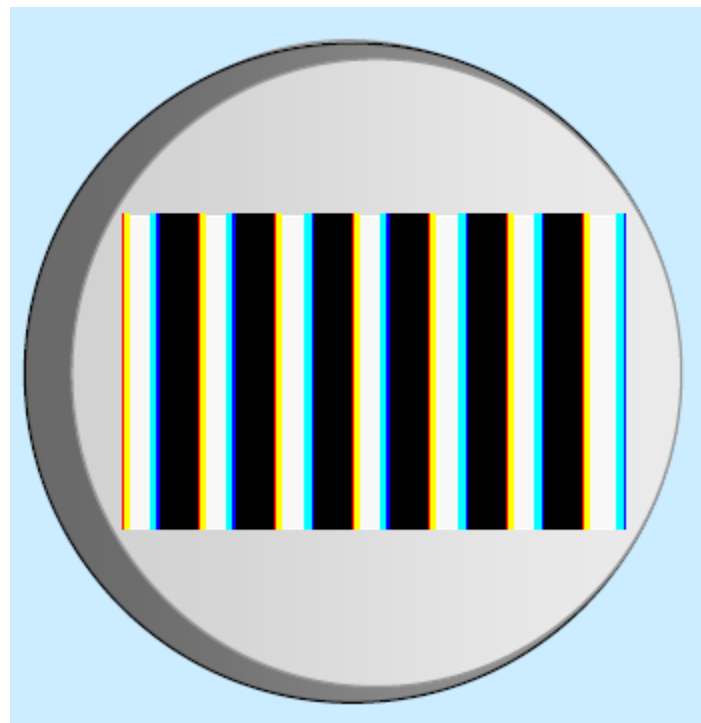
Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

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

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

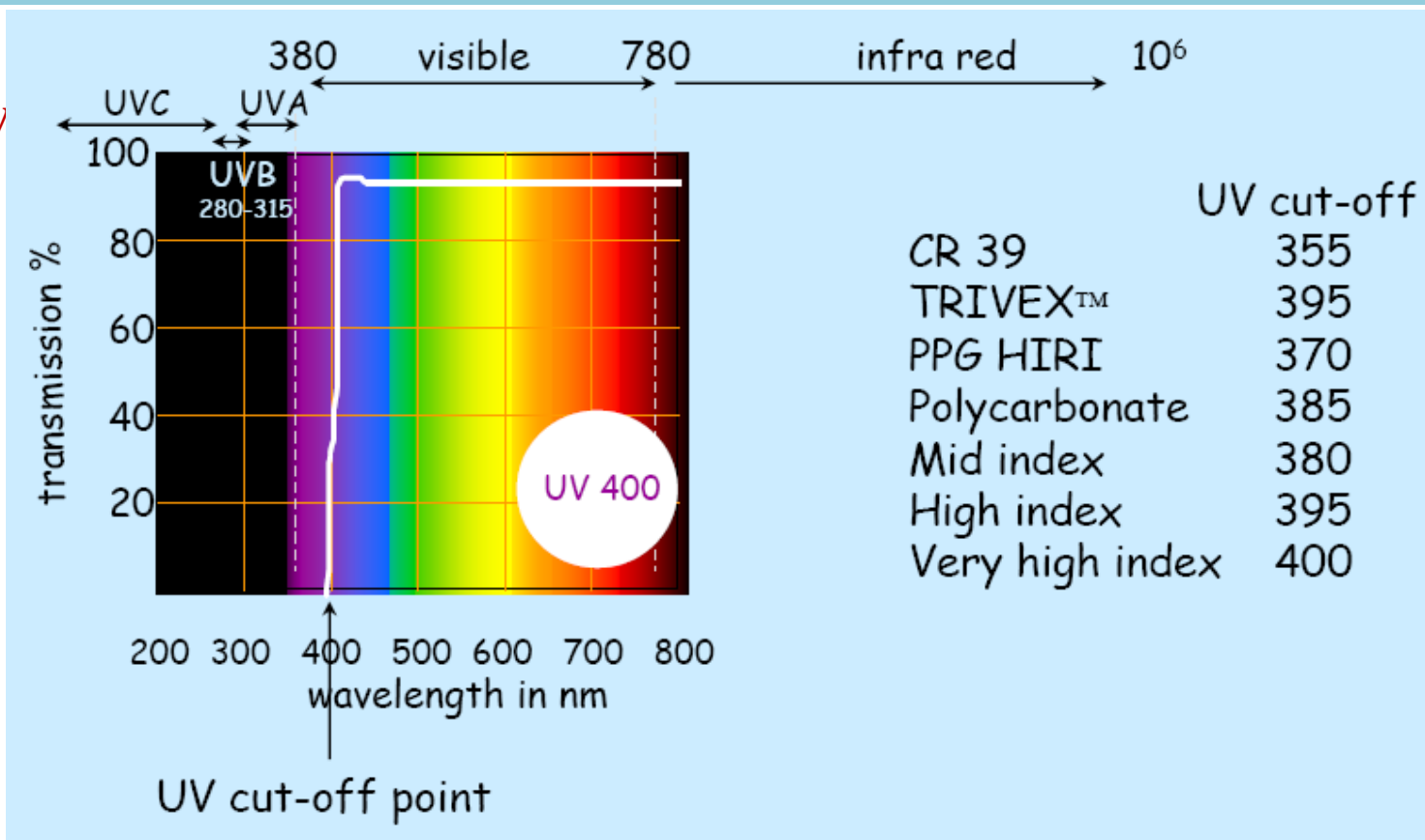
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost



Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry

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



Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

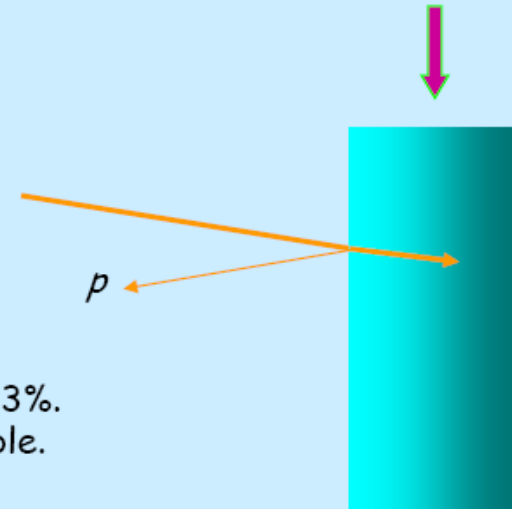
- index lomu
- hustota
- Abbeovo číslo
- UV mezní bod
- CVF
- **odrazivost**
(kolmý dopad)

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:

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

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

n_{base} is the refractive index of the base material

n_{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