

Brýlové čočky



Drobnosti z historie



středověký čtecí
kámen



1690: brýle Norimberského
stylu se zelenými čočkami



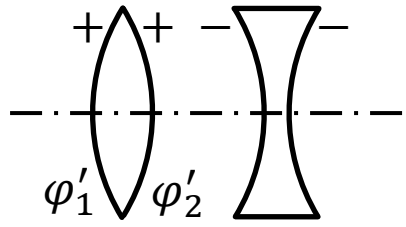
1780: stříbrné brýle



konec 18. století: mosazné obruby,
kruhové čočky

- „zvětšení“ zmíněno hieroglyfy (800 BC)
- „zvětšení pomocí skla naplněného vodou“ písemně zmíněno r. 100 (AD)
- čtecí kameny (čiré sklo ve tvaru oblázků) v 9. století
- v Evropě brýle od cca 13. století, nejprve spojné čočky
- od cca 16. století také rozptylky pro myopy
- první brýle neměly ručky
- „skrářové brýle“ (s ručkami) až od začátku 18. století

Lámavé plochy brýlových čoček I



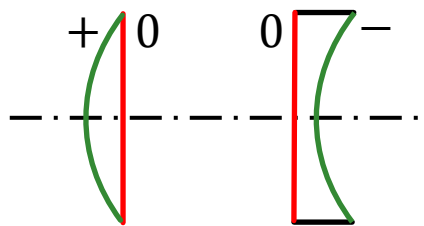
Historicky nejstarší sférické čočky (silně nepříznivý průběh optických vad):

- bikonvexní
- bikonkávní

Pro $r_{1,2} > 0$:

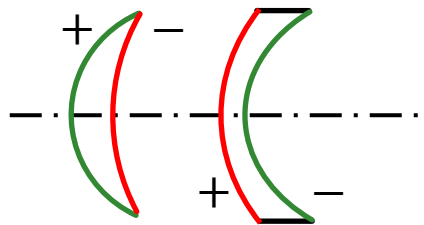
$$\varphi'_1 = \frac{n_K - 1}{r_1} > 0$$

$$\varphi'_2 = \frac{1 - n_K}{r_2} < 0$$



Později hromadně vyráběné sférické čočky: **základní plocha** (báze) se vyráběla společně pro celou skupinu vrcholových lámavostí, **doplňková plocha** se dokončovala s ohledem na konkrétní lámavost:

- rovinné (plankonvexní, plankonkávní) čočky (základní plocha 0 D)
- periskopické čočky ($\pm 1,25$ D)
- meniskové (polomušlové) čočky (± 6 D, příp. ± 3 D)
- mušlové čočky (± 8 D)



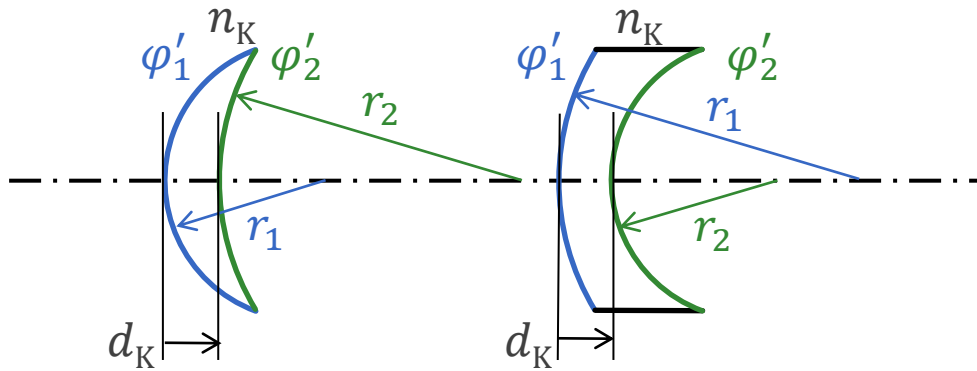
Lámavé plochy brýlových čoček II

V současnosti se dodávají odlévané skladové čočky, nebo se provádí individuální výroba z polotovarů s hotovou přední plochou. Dutá plocha čočky (base curve) se opracovává metodou freeform individuálně podle objednané hodnoty lámavosti čočky.

Optické plochy brýlových čoček lze volit následujícím způsobem:

- **sférické** (kulové) **plochy** – pro běžnou korekci refrakčních vad
- **torické plochy** – mají ve dvou na sebe kolmých meridiánech rozdílné poloměry křivosti, tedy i mohutnosti, což je nutné ke korekci očního astigmatismu
- speciální kombinace sférických ploch vede na **bodově zobrazující brýlové čočky** – mají potlačen periferního astigmatismu brýlové čočky (rozsah -23 D až $+8\text{ D}$)
- **asférické** (rotační) **plochy** – mají ve všech meridiánech čočky též poloměr křivosti plynule se měnící od středu k okraji čočky; umožňují bodové zobrazení při plošším provedení než se sférickými plochami
- **atorické plochy** – mají ve dvou na sebe kolmých meridiánech rozdílné poloměry křivosti, tedy i mohutnosti, což je nutné pro korekci očního astigmatismu; navíc však místo rozdílných kružnic mají v meridiánech rozdílné kuželosečky, jejichž poloměr křivosti se také plynule mění jako u asférických ploch – výsledkem je korekce astigmatismu plošší a tenčí čočkou

Vztah vrcholové lámavosti a mohutností ploch



Pro $r_{1,2} > 0$:

$$\varphi'_1 = \frac{n_K - 1}{r_1} > 0$$

$$\varphi'_2 = \frac{1 - n_K}{r_2} < 0$$

vrcholová lámavost brýlové čočky:

$$S' = \Gamma' \varphi' = \frac{\varphi'_1}{1 - \delta \varphi'_1} + \varphi'_2 = \varphi'_{1,tč} + \varphi'_2$$

$$\delta = \frac{d_K}{n_K}$$

→ známe-li S' , φ'_1 :

$$\varphi'_{1,tč} = \frac{\varphi'_1}{1 - \delta \varphi'_1}$$

$$\varphi'_2 = S' - \varphi'_{1,tč}$$

→ známe-li S' , φ'_2 :

$$\varphi'_{1,tč} = S' - \varphi'_2$$

$$\varphi'_1 = \frac{\varphi'_{1,tč}}{1 + \delta \varphi'_{1,tč}}$$

Parametry a vady brýlové čočky

Základní údaje v katalogích brýlových čoček:

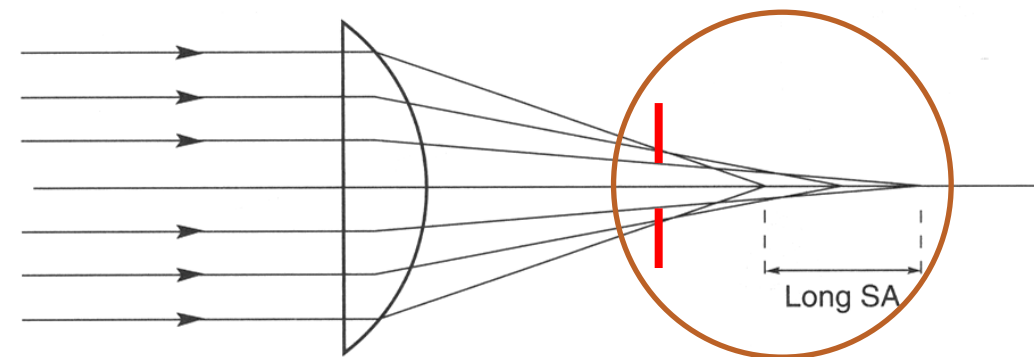
- vrcholová lámavost, průměr čočky, index lomu, Abbeovo číslo, hustota materiálu

Optický systém brýlové čočky a oka má specifické vlastnosti:

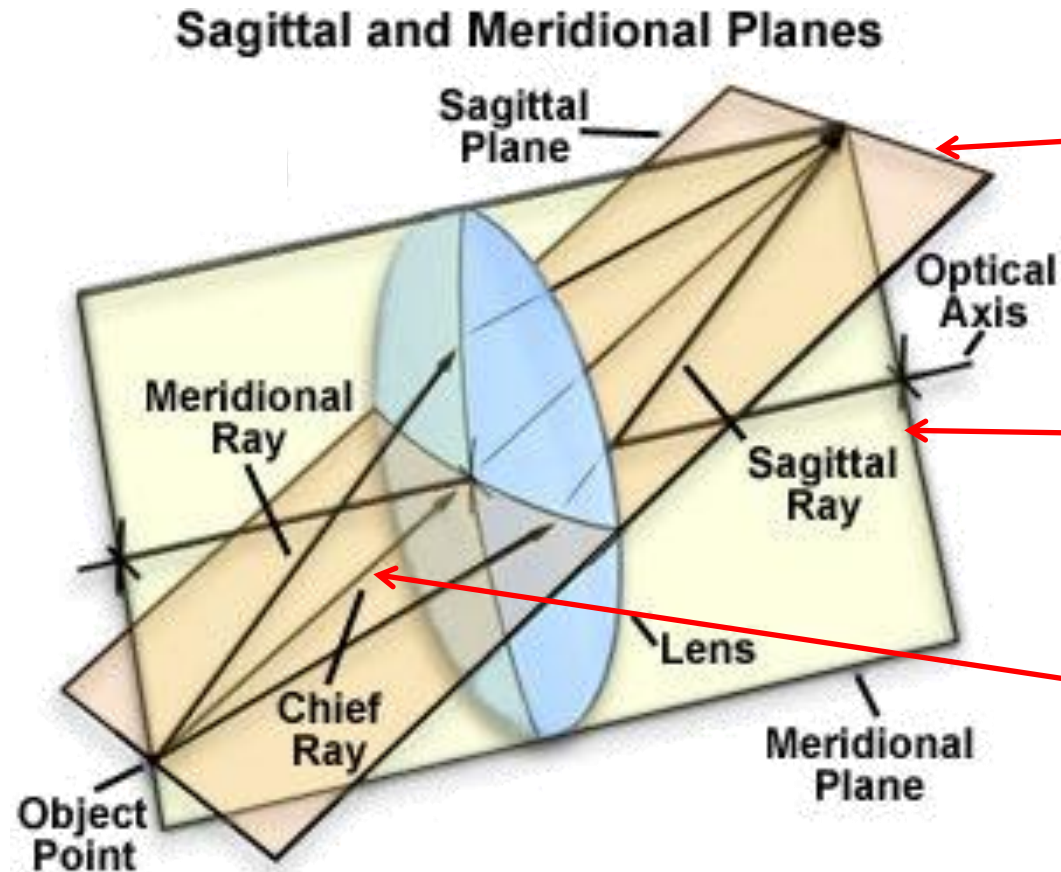
- brýlová čočka je optická komponenta s pouze dvěma lámavými plochami
- zornice vycloňuje poměrně úzký svazek vzhledem k průměru brýlové čočky
- soustava oka a brýlové čočky nemá jedinou pevnou optickou osu – poloha oka vůči brýlové čočce se mění

Z toho vyplývají charakteristiky optických vad:

- **Otvorová vada a koma** se projevují málo, svazek je omezen relativně malou zornicí.
- **Zkreslení** je dobře korigováno mozkiem.
- **Barevná vada velikosti** závisí na vhodném výběru materiálu čočky.
- **Periferní astigmatismus a sklenutí pole** jsou **podstatné**, jejich správná korekce zaručuje bodové (stigmatické) zobrazování.



Tangenciální a sagitální rovina



sagitální rovina

obsahuje hlavní paprsek, je kolmá na tangenciální rovinu

tangenciální (meridionální) rovina

obsahuje hlavní paprsek (tj. také předmětový bod) a optickou osu

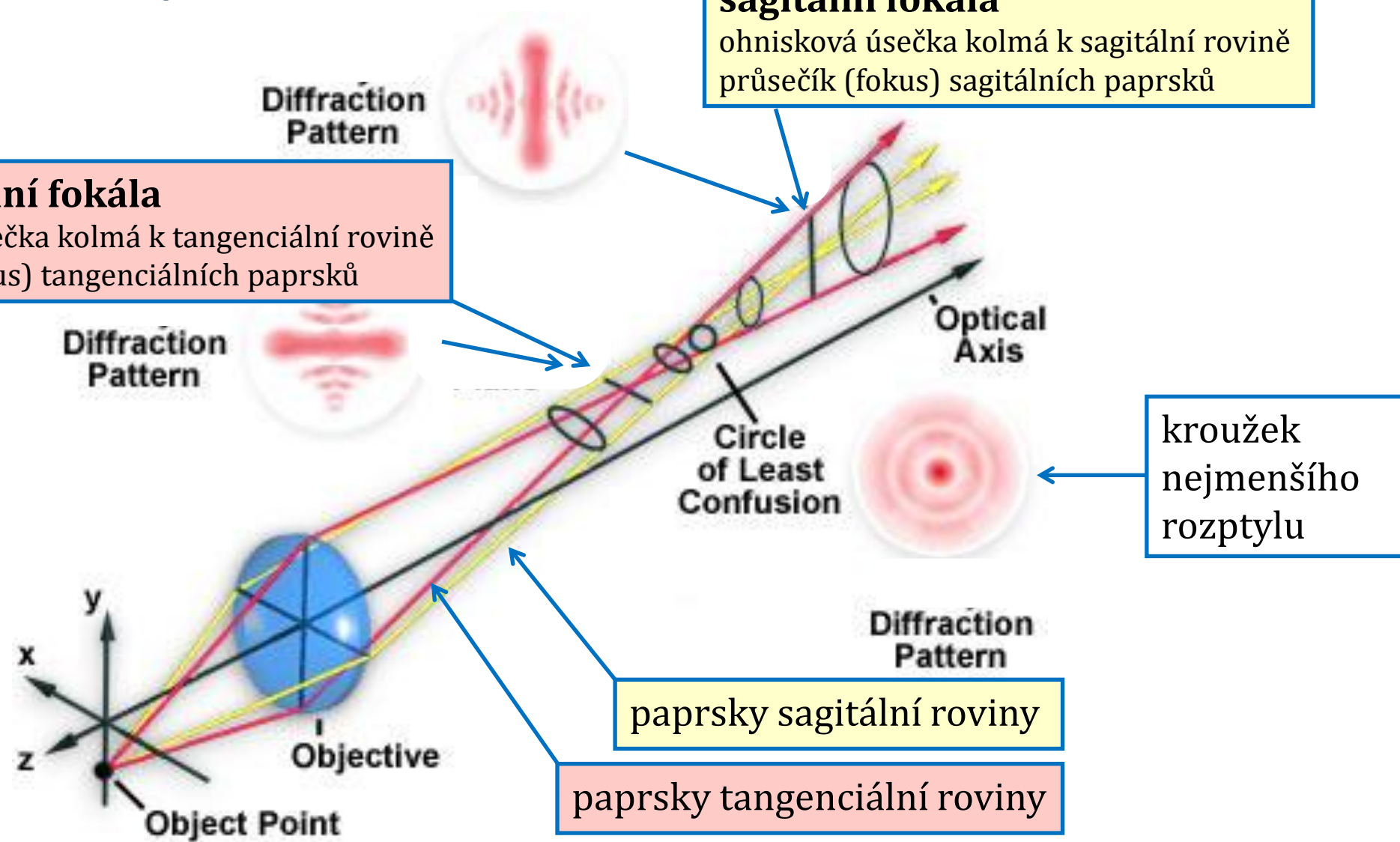
hlavní paprsek

prochází předmětovým bodem a středem pupily

Astigmatický svazek

tangenciální fokála
ohnisková úsečka kolmá k tangenciální rovině
průsečík (fokus) tangenciálních paprsků

sagitální fokála
ohnisková úsečka kolmá k sagitální rovině
průsečík (fokus) sagitálních paprsků

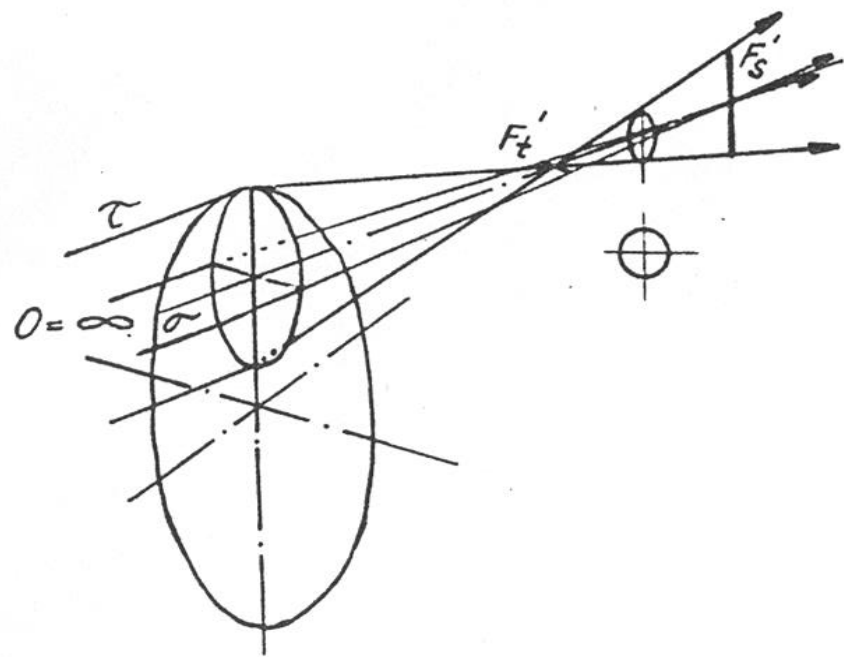


kroužek
nejmenšího
rozptylu

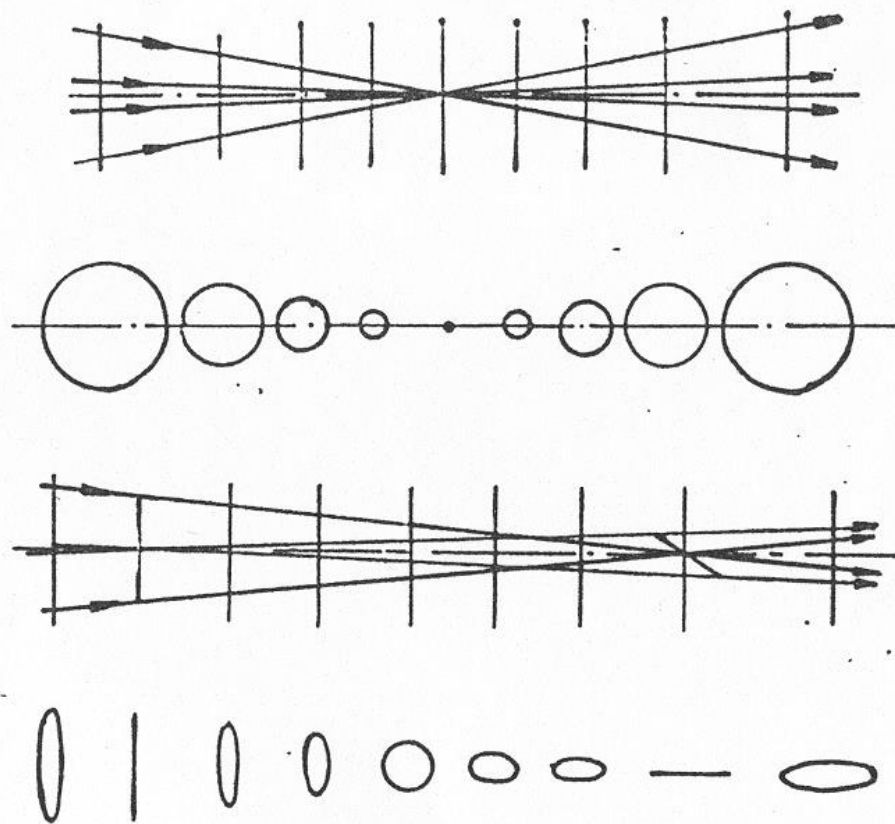
paprsky sagitální roviny

paprsky tangenciální roviny

Astigmatický svazek



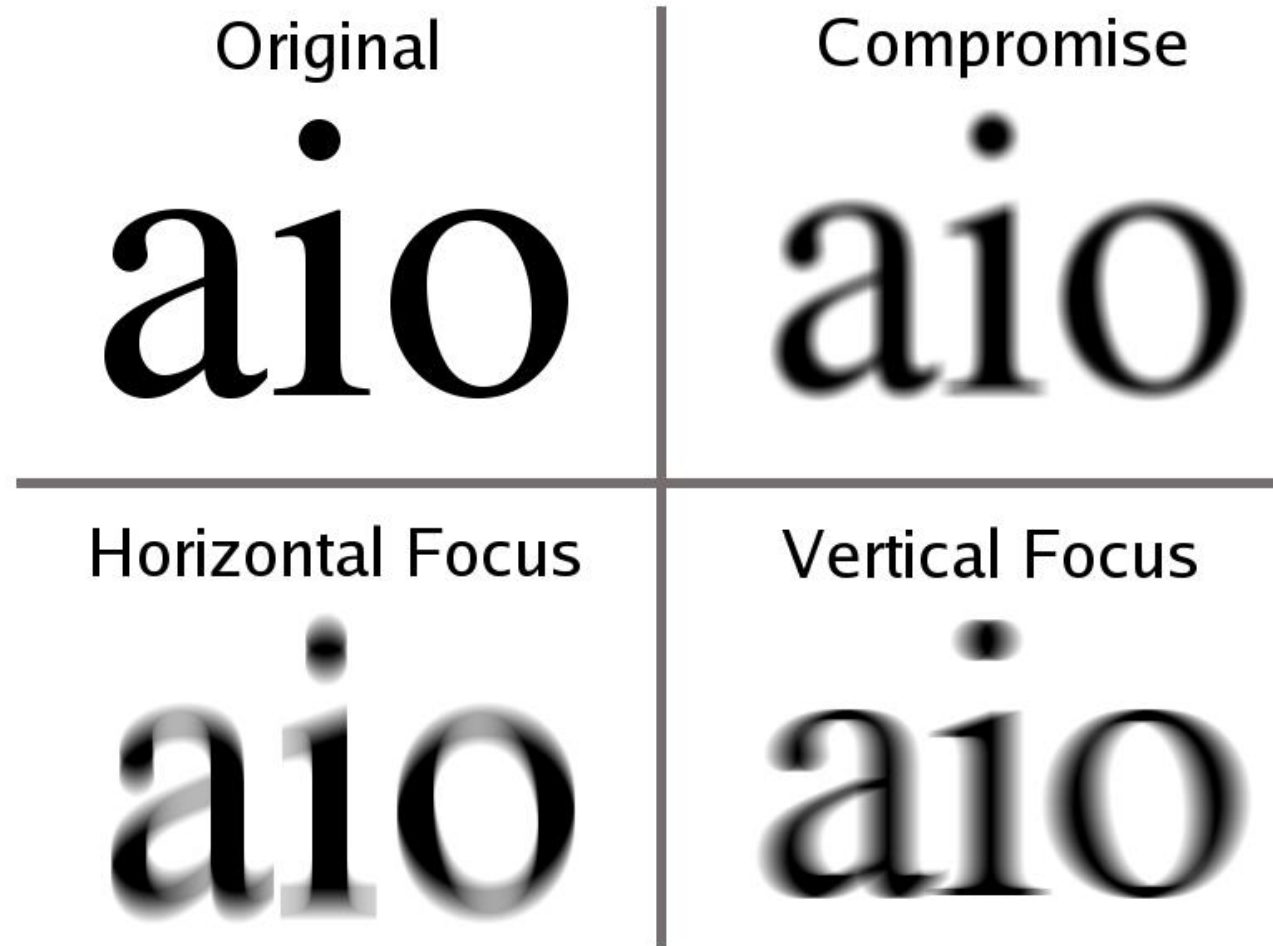
Fokály astigmatického svazku



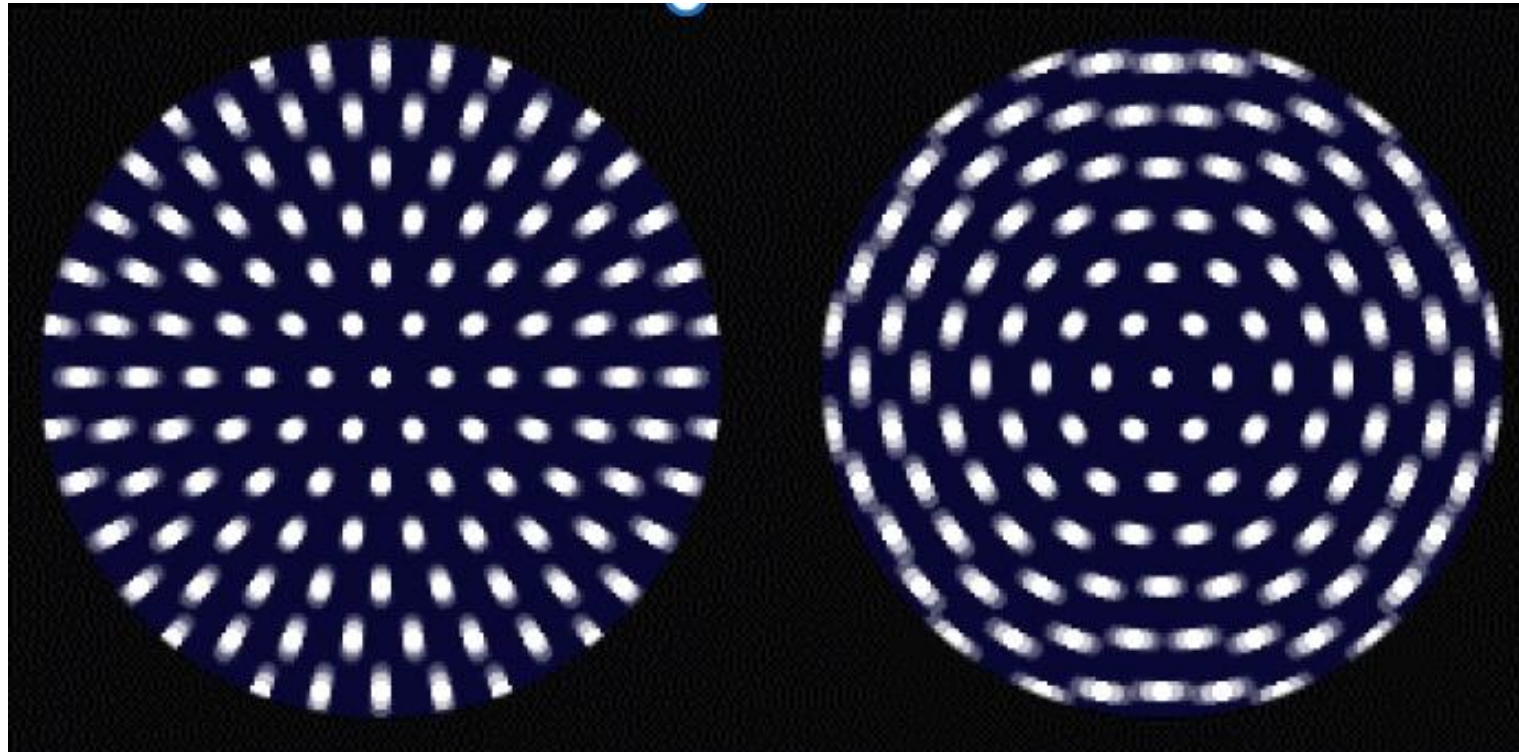
Ideální svazek paprsků

Astigmatický svazek paprsků

Zobrazení astigmatickým svazkem



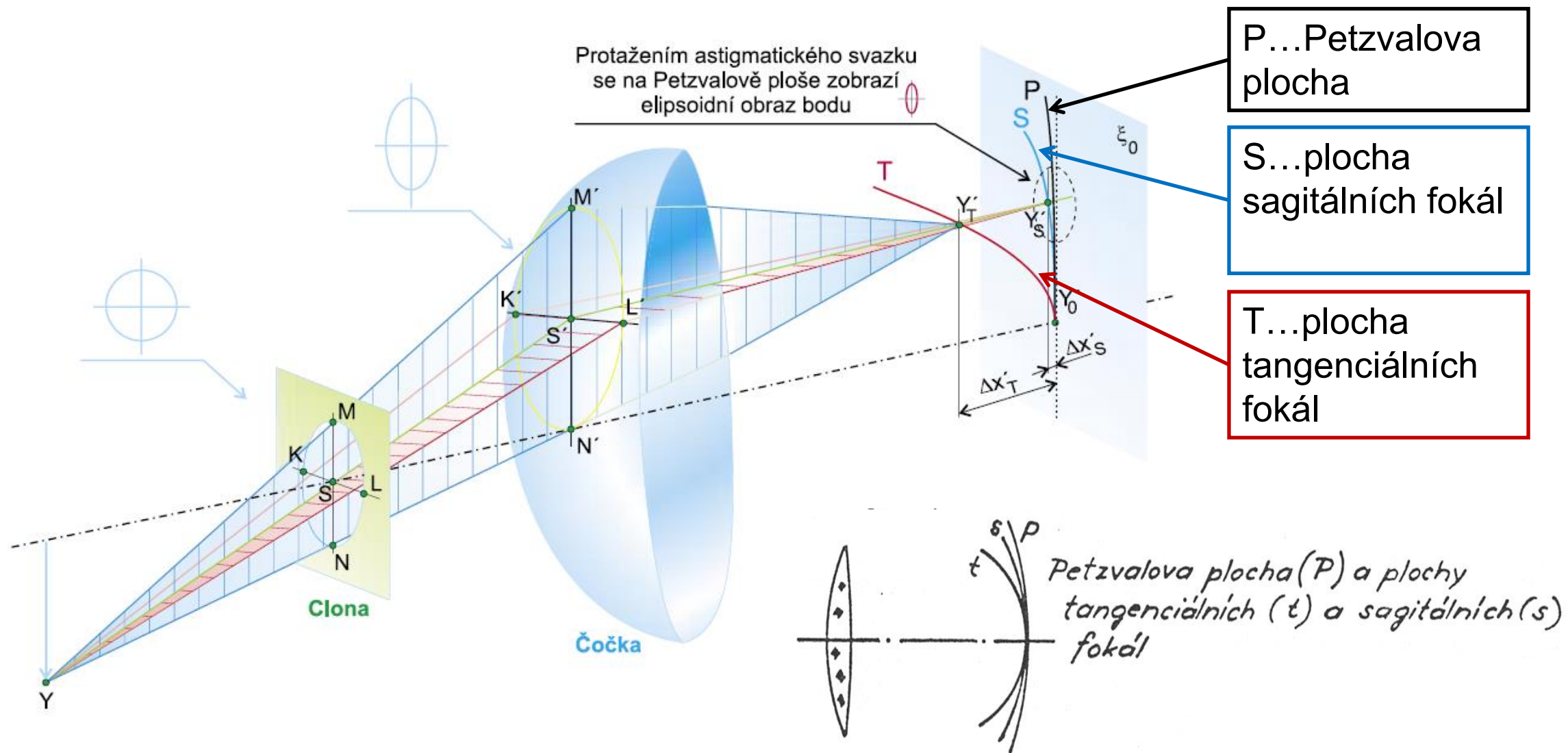
Zobrazení astigmatickým svazkem



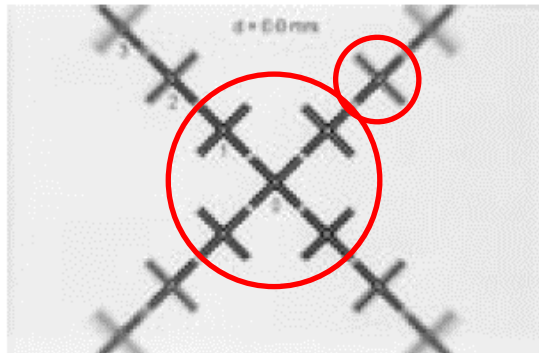
zobrazení bodů sagitální
fokálou

zobrazení bodů tangenciální
fokálou

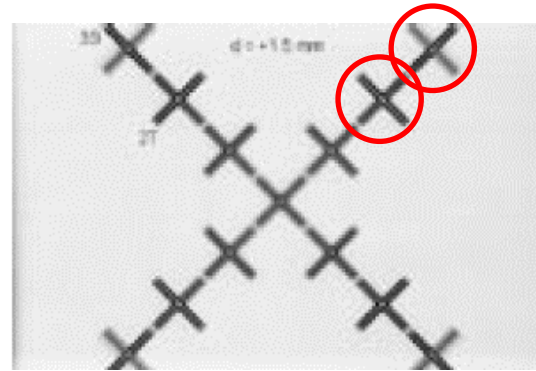
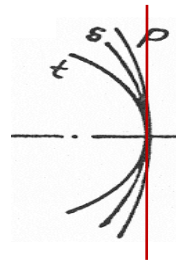
Periferní astigmatismus čočky



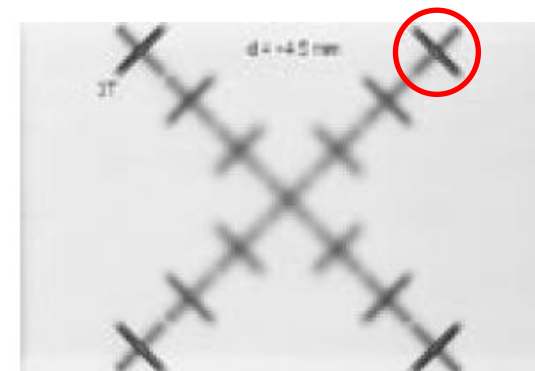
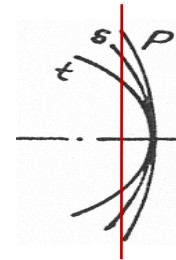
Zobrazení astigmatickým svazkem



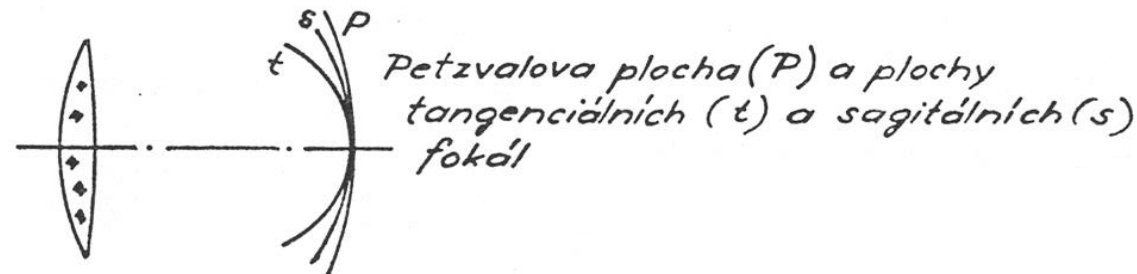
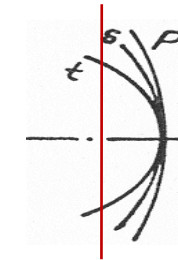
$d = 0 \text{ mm}$
(od ohniska k čočce)
zaostřena centrální
část a 2S čáry



$d = -1,5 \text{ mm}$
(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 periferního astigmatismu



William Hyde Wollaston (1766-1828 ←) v roce 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 a navrhl sérii čoček s velkou křivostí, které zlepšovaly periferní vidění díky korekci periferního astigmatismu.

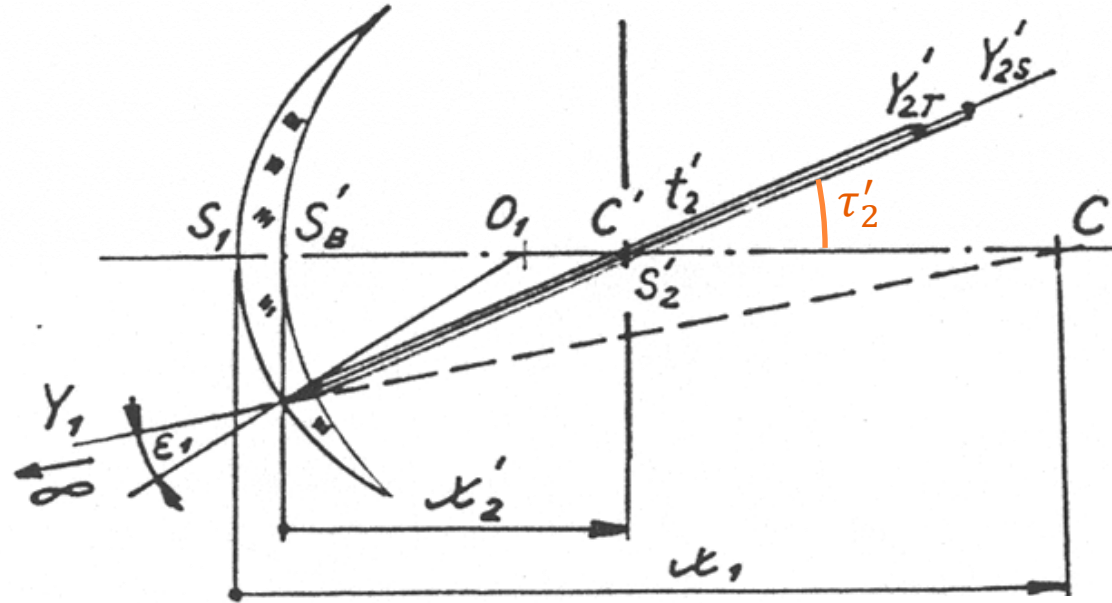
Franz Ostwalt* (1862-1937) v roce 1898 navrhl sadu meniskových čoček s menšími křivostmi, které rovněž zmenšovaly periferní astigmatismus.

Návrhem čoček meniskového tvaru s korigovaným periferním astigmatismem se významně zabýval také **Marius Hans Erik Tscherning** (1854-1939, dánský oftalmologista →).

*Bývá zaměňován s Friedrichem Wilhelmem Ostwaldem, 1853-1932, slavným fyzikálním chemikem.



Výpočet poloh fokál (situace)



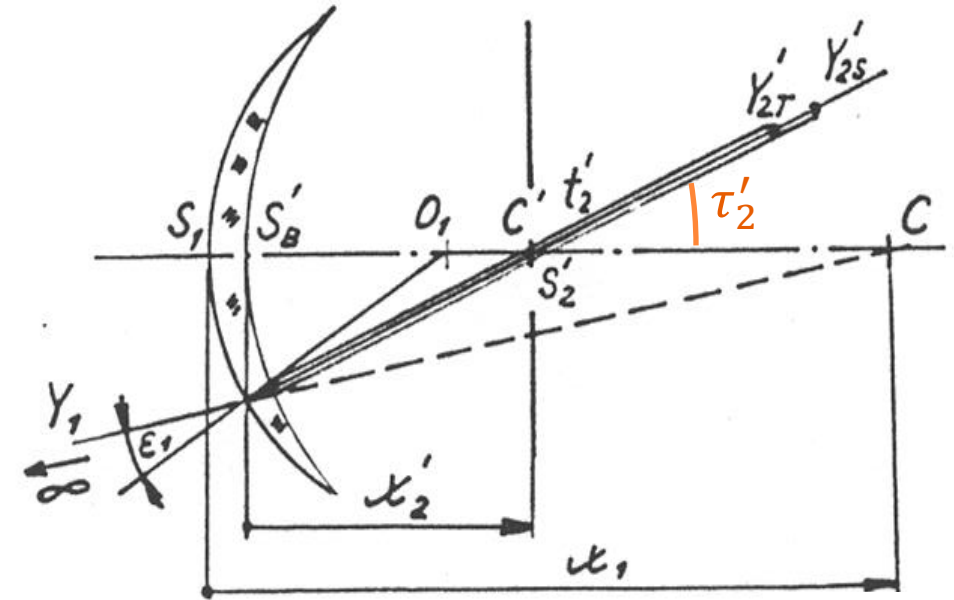
- C' ... střed otáčení oka s myšlenou clonou, jejímž středem prochází hlavní paprsek
- x_2' ... vzdálenost C' od vrcholu zadní plochy brýlové čočky
- τ_2' ... úhel otočení oka
- Y_1 ... mimoosový předmětový bod v nekonečnu
- $Y'_{2T,S}$... jeho zobrazení tangenciálními, sagitálními paprsky (**fokály**)
- t_2', s_2' ... vzdálenosti fokál

Výpočet poloh fokál (postup)

1. svazek omezen zornicí, která je nahrazena myšlenou pevnou clonou ve středu C' otáčení oka
2. hlavní paprsek prochází bodem C' ; průběh paprsku odvodíme zpětným trasováním
3. podmínka nulového periferního astigmatismu:

$$Ast = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} = 0$$

4. vzdálenosti fokál vypočteme **Coddingtonovými rovnicemi** pro první a druhou plochy čočky



Coddingtonovy rovnice jsou obdobou Gaussovy zobrazovací rovnice. Platí pro úzký svazek v okolí hlavního paprsku a mají odlišný tvar pro tangenciální a sagitální rovinu. Pro jednu plochu mají tvar:

$$\frac{n' \cos^2 \varepsilon'}{t'} = \frac{n \cos^2 \varepsilon}{t} + \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{r}$$

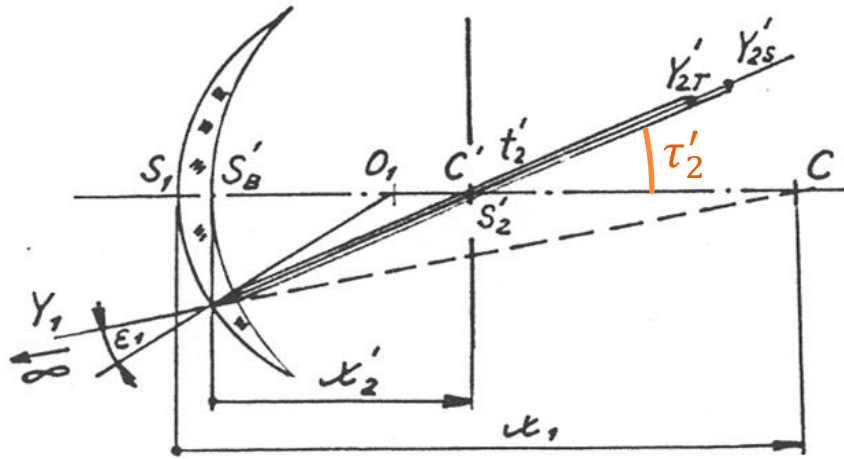
$$\frac{n'}{s'} = \frac{n}{s} + \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{r}$$

Gaussova zobrazovací rovnice (pro srovnání):

$$\frac{n'}{x'} = \frac{n}{x} + \frac{n' - n}{r}$$

($\varepsilon, \varepsilon'$... úhel dopadu, resp. lomu hlavního paprsku)

Podmínka nulového astigmatismu



- C' ... střed otáčení oka
- τ'_2 ... úhel otočení oka
- Y_1 ... mimoosový předmětový bod v ∞
- $Y'_{2T,S}$... fokály
- t'_2, s'_2 ... vzdálenosti fokál

1. podmínka $Ast = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} = 0$ je splněna, právě když platí (aproximace tenké čočky):

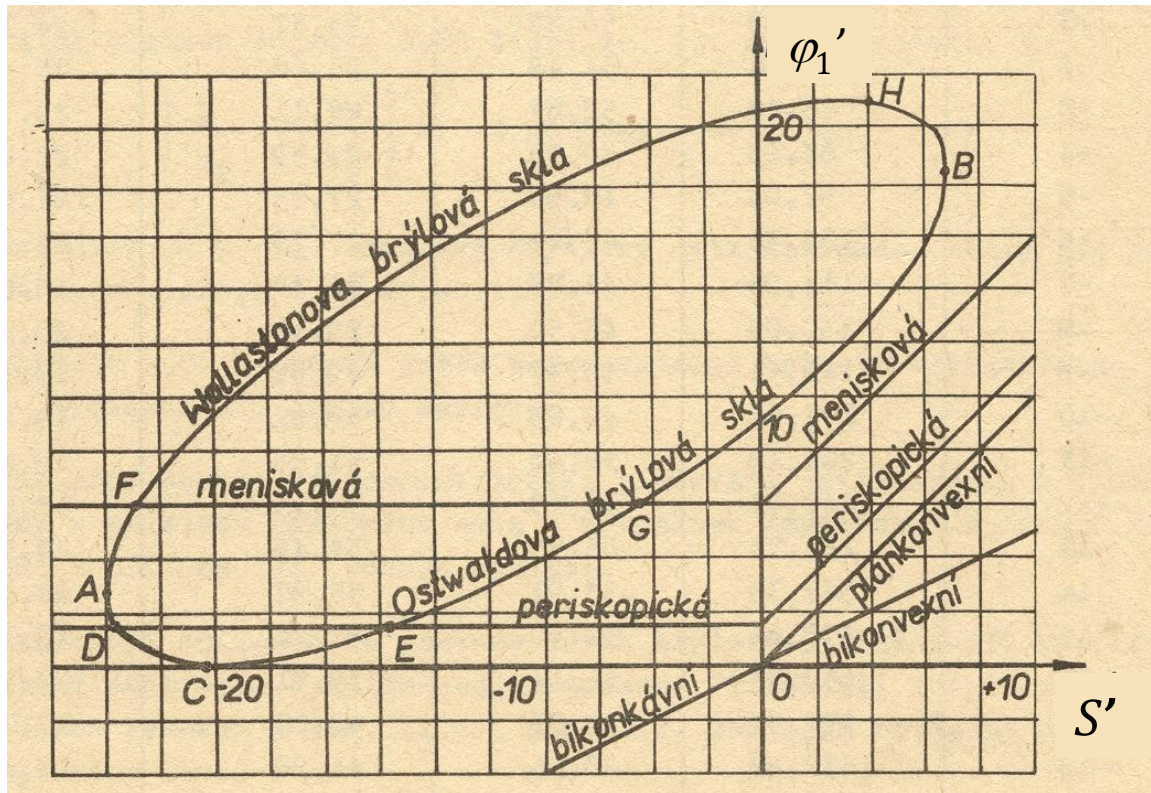
$$\varphi_1'^2(n+2) - \varphi_1' \left[\varphi_C'(n+2) + \frac{2}{x_2'}(n^2-1) \right] + n \left(\varphi_C' + \frac{n-1}{x_2'} \right)^2 = 0$$

2. řešení této kvadratické rovnice pro $n = 1,523$, $x_2' = 25$ mm má tvar:

$$\varphi_1' = \frac{\varphi_C' + 29,78}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varphi_C' + 29,78}{2} \right)^2 - 0,4318\varphi_C'^2 - 17,96\varphi_C' - 186,8}$$

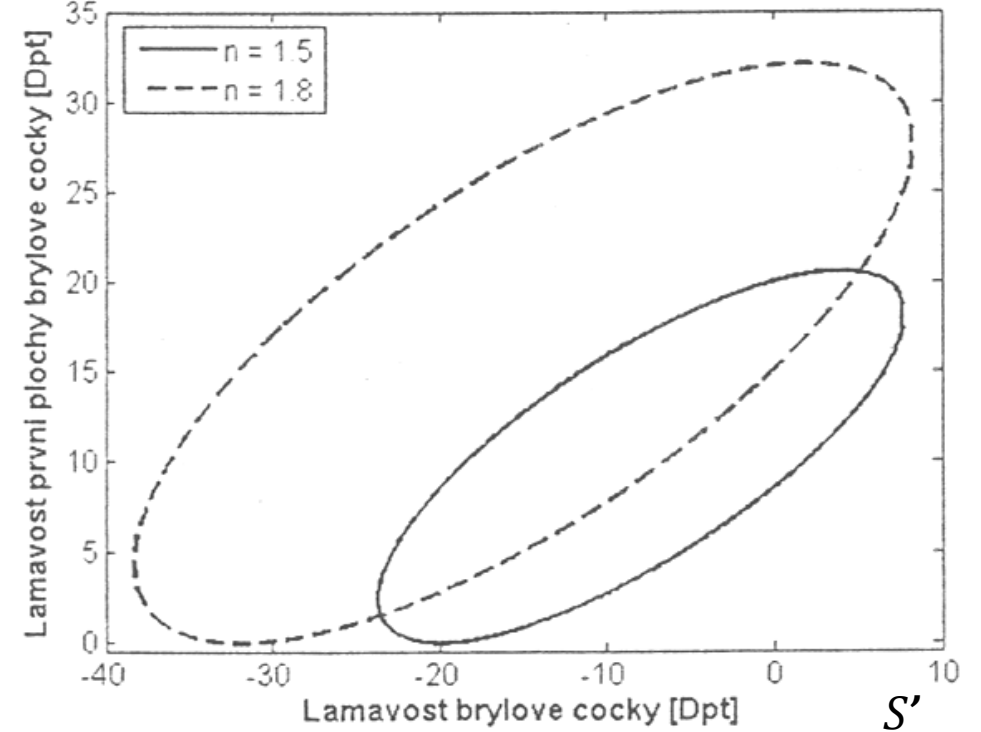
3. Graficky je výsledek vyjádřen pomocí tzv. Tscherningovy elipsy \rightarrow

Tscherningova elipsa



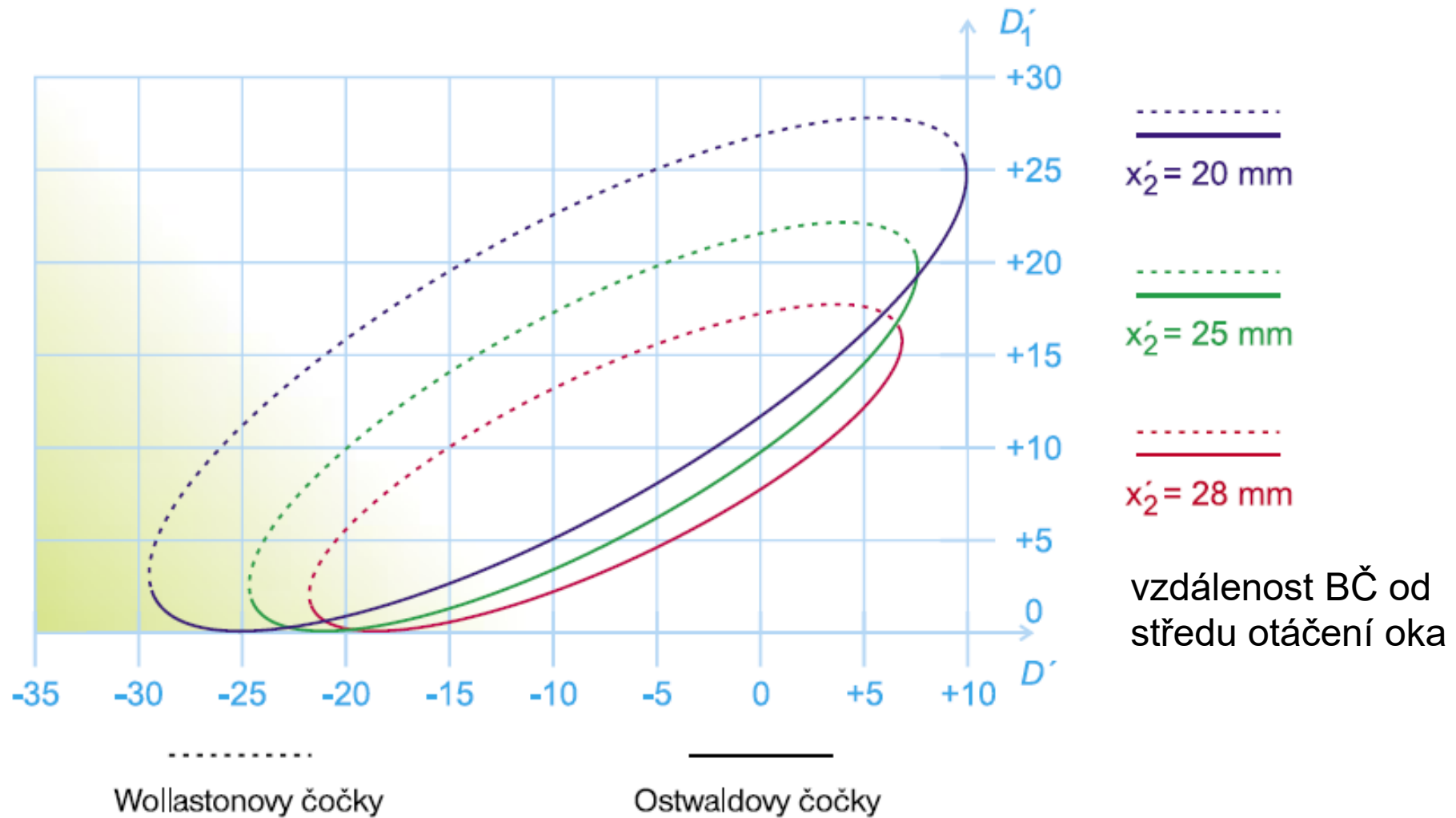
$$n = 1,523, x'_2 = 25 \text{ mm}$$

φ_1' BRYLOVE COCKY S KORIGOVANÝM ASTIGMATISEM 3. RADU



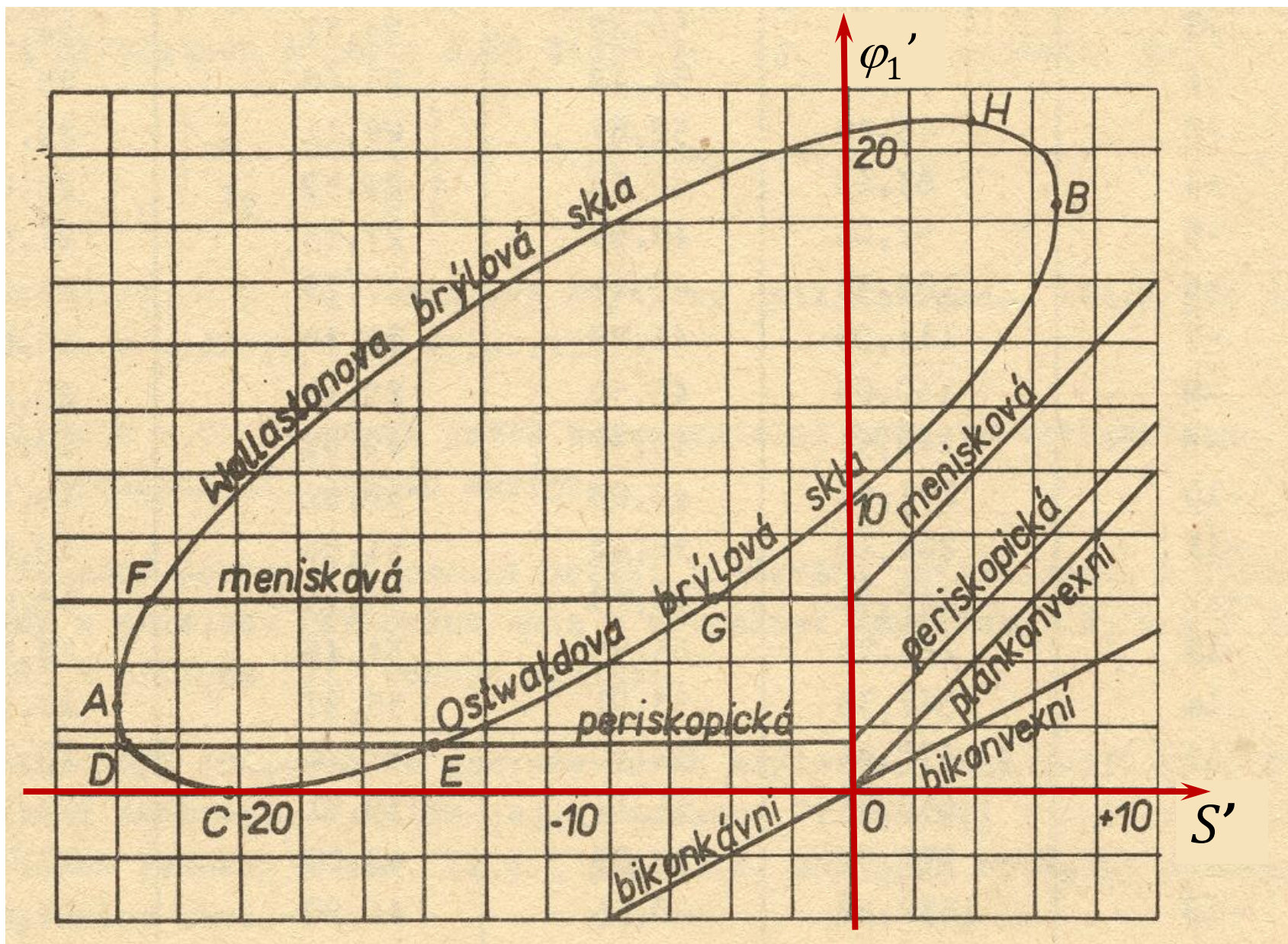
$$n = 1,5 / n = 1,8, x'_2 = 25 \text{ mm}$$

Tscherningova elipsa



Oblasti řešení

$$n = 1,523, x_2' = 25 \text{ mm}$$



Poloměry křivosti ploch

S' [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 brýlové čočky vzdálené 25 mm od bodu otáčení oka při pozorování vzdálených předmětů a pro malé úhly.

Bodově zobrazující čočky (Carl Zeiss 1912)



Moritz von Rohr (1868-1940)

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

Tak začala výroba čoček (skel) „Punktal“.

ZEISS PUNKTAL-GLÄSER

Durch das alte bikonvexe Brillenglas sieht man von der Mitte nach dem Rande zunehmend schlechter

Durch das ZEISS-Punktalglas sieht man von der Mitte bis zum Rande gleich gut

Druckschrift „Opto 55“ kostenlos

BERLIN HAMBURG **CARL ZEISS JENA** WIEN Buenos Aires

ZEISS PUNKTAL-GLÄSER

Punktuell abbildende Brillengläser für Kurz- u. Weitsichtigkeit u. Astigmatismus.

Altes bikonvexes Brillenglas Neues Punktalglas von CARL ZEISS, Jena

0° 10° 20° 30°

Diese Bilder werden wahrgenommen bei einer Ablenkung der Blickrichtung um 10°, 20°, 30° von der Achse

Deutliche Abbildung bei jeder Blickrichtung von der Mitte bis zum Rande des Glases.

Ausnutzung der natürlichen Beweglichkeit des Auges.

Brillen mit Zeiss-Punktalgläsern sind ohne Mechanismus als Schiessbrillen verwendbar.

Nur durch Optiker zu beziehen.

CARL ZEISS JENA

Prospekt Opto 17 kostenfrei.

BERLIN · HAMBURG · WIEN · BUENOS AIRES

Korekce astigmatismu pro tlusté brýlové čočky

Podmínka pro korekci periferního astigmatismu vyjádřená Tscherningovou elipsou byla odvozena pro:

- tenkou čočku
- předmět v nekonečnu
- malé úhly

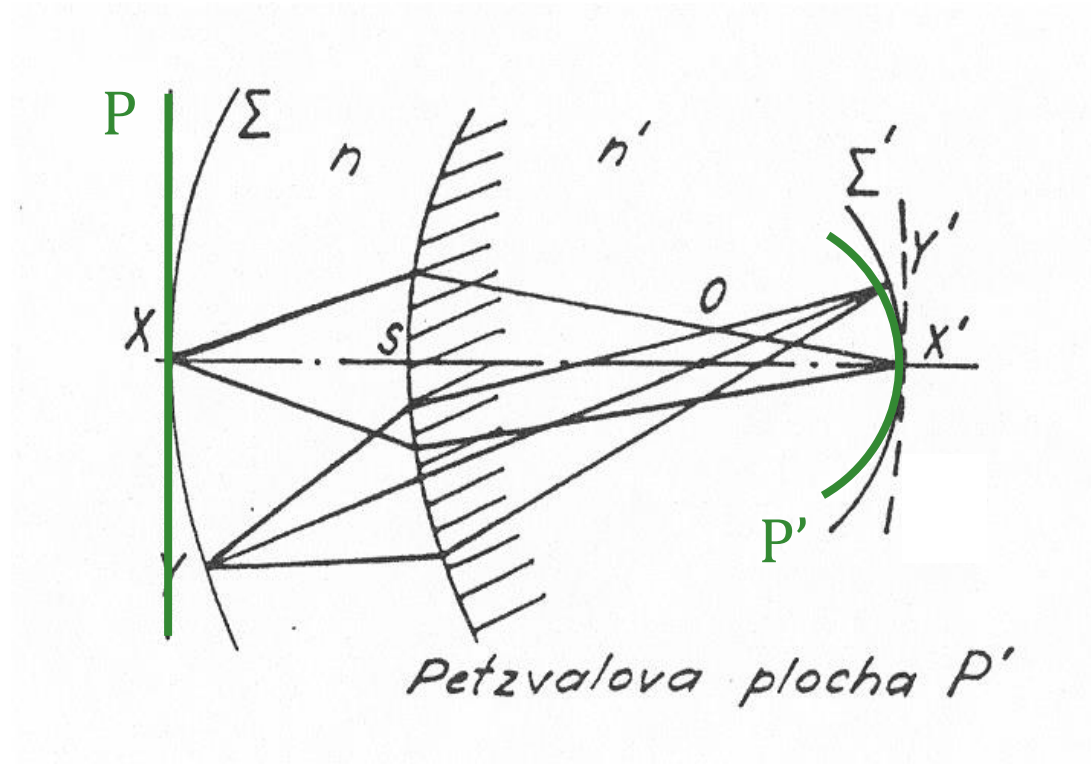
$$Ast = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} = 0$$

Postup návrhu **tlustých bodově zobrazujících čoček**:

1. výchozí poloměry křivosti r_1, r_2 se vypočtou pro tenkou čočku
2. numerickým trasováním paprsků se sleduje astigmatismus šikmých svazků pro navrhovanou tlustou čočku, požadovaný úhel τ'_2 natočení oka (například 30°) a požadovanou polohu předmětu
3. poloměry křivosti se mírně upravují s cílem dosáhnout hodnoty astigmatismu

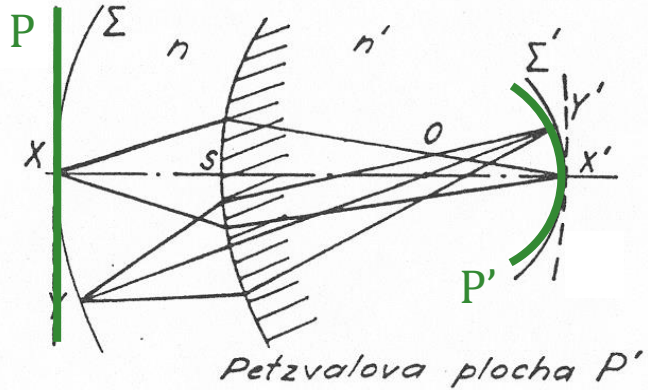
$|Ast| = \left| \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} \right| \leq 0,05 D$ – pro tuto hodnotu má rozptylová elipsa na sítnici úhlovou velikost pod $1'$, tj. vidíme ji jako bod

Petzvalovo sklenutí pole



Při sklenutí pole jsou body rovinné předmětové plochy P ostře zobrazeny na sférickou (kulovou) plochu P' , což je tzv. **Petzvalova plocha**.

Poloměr Petzvalovy plochy



jedna lámavá plocha:

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

tenká čočka:

$$R_P = -nf'$$

soustava tenkých čoček (Petzvalova suma):

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

Petzvalova-Coddingtonova podmínka pro rovinné pole soustavy čoček:

$$\frac{1}{R_P} = - \sum \frac{1}{n_i f_i'} = - \sum \frac{\varphi_i'}{n_i} = 0$$

Petzvalova sféra korekční čočky

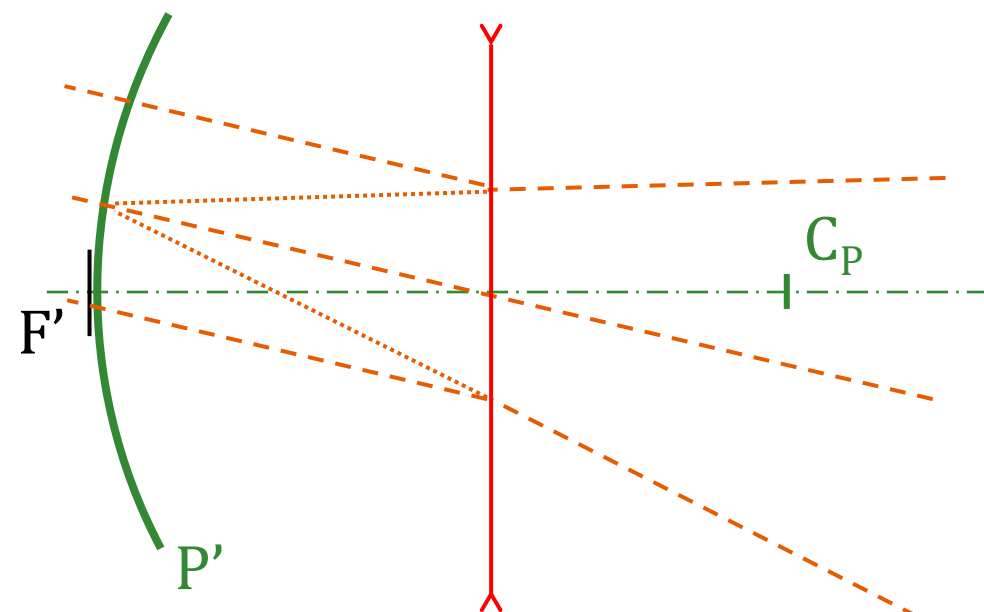
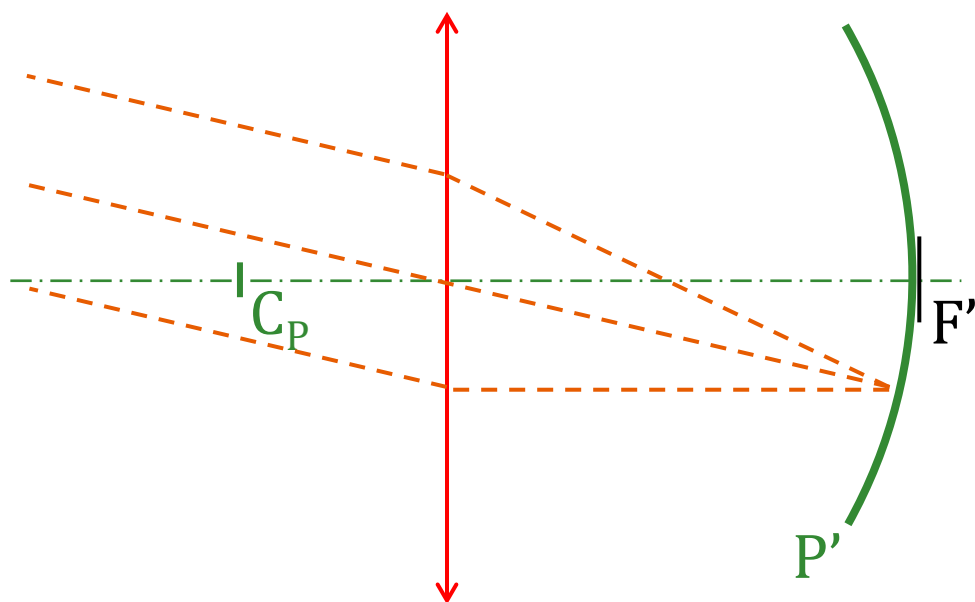


Joseph Petzval

1807 - 1891

tenká čočka:

$$R_P = -nf'$$

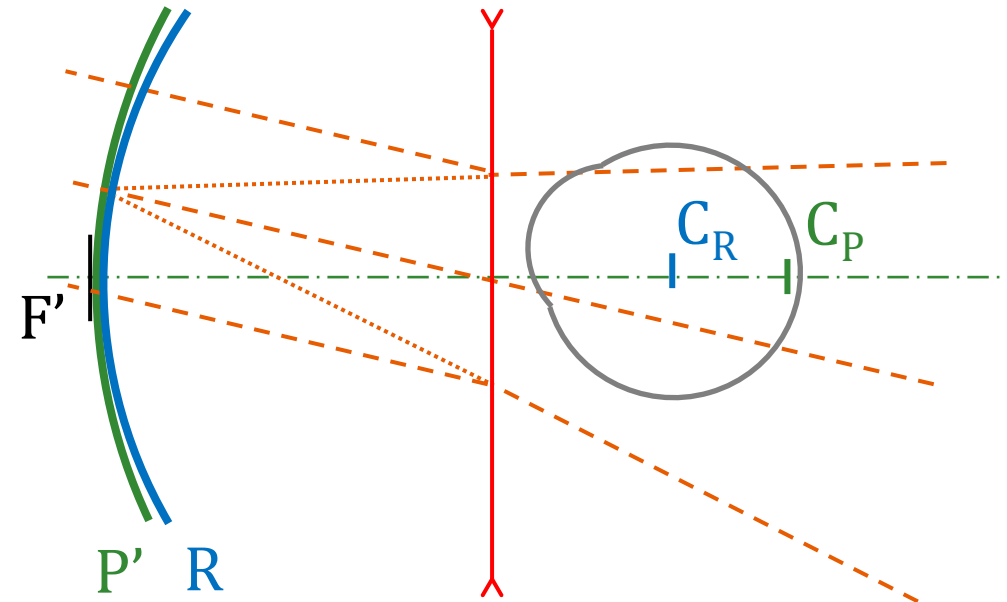
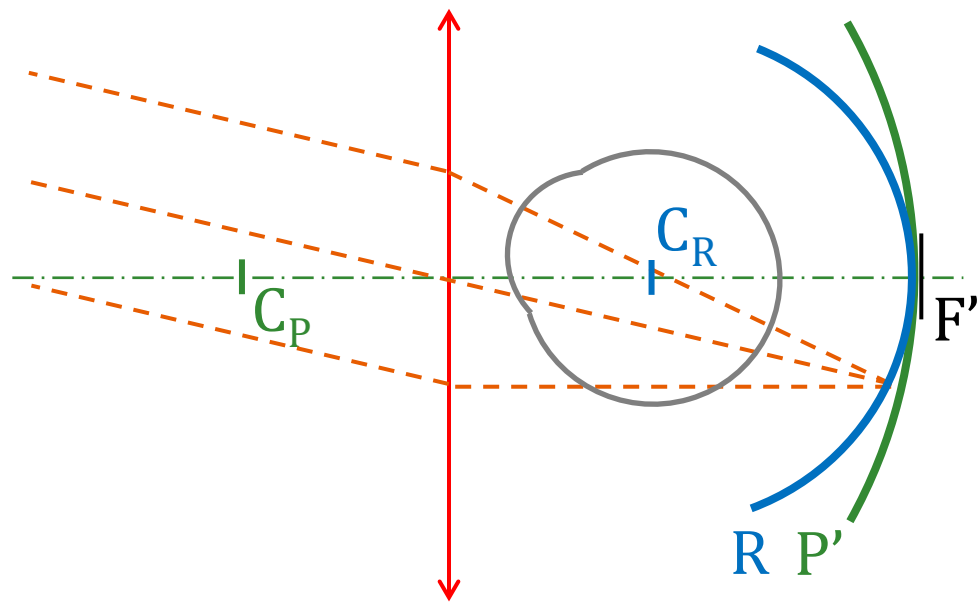


Sféra dalekého bodu a Petzvalova sféra

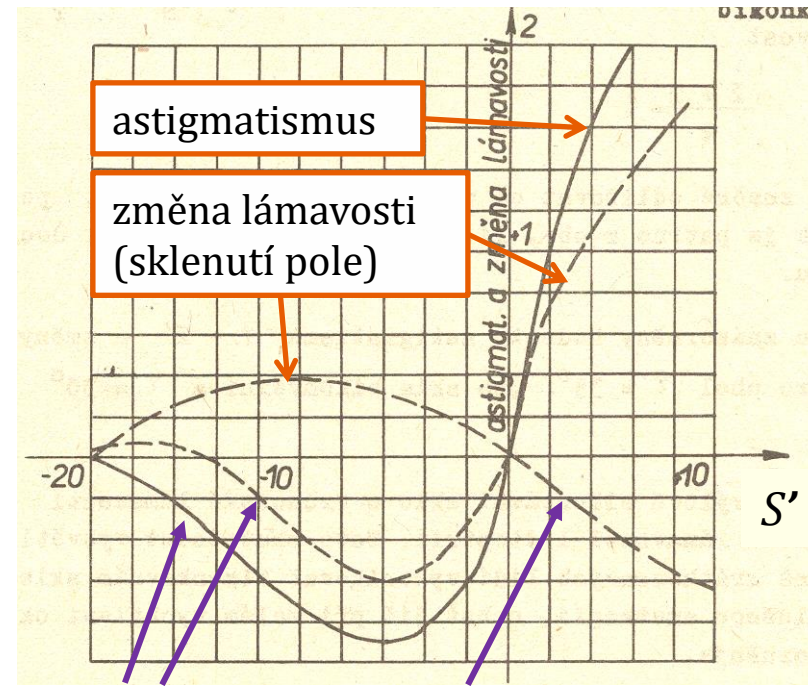
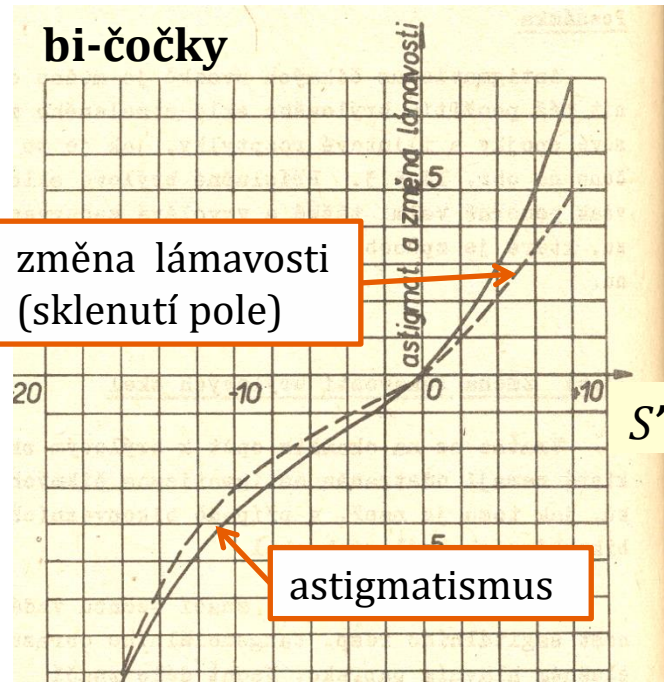


Joseph Petzval

1807 - 1891



Astigmatismus a sklenutí pole



plan- a punktální čočky

$Ast = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} \dots$ **astigmatismus** (rozdíl vergencí vzdáleností tangenciální a sagitální fokály)

$PE = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{t'_2} + \frac{1}{s'_2} \right) - S'$ **změna (odchylka) lámavosti** (power error, rozdíl vergence vzdálenosti kroužku nejmenšího rozptylu a vrcholové lámavosti)

uvažován úhel otočení oka 35° pro spojné čočky, 30° pro rozptylné čočky

Další přístupy k designu brýlových čoček

Percivalovo řešení

Archibald Stanley Percival (anglický ophthalmolog) navrhl roku 1901 jiné řešení pro periferní vady brýlové čočky – nekorigoval periferní astigmatismus, ale navrhl čočky, které **vytvářely kroužek nejmenšího rozptylu (KNR) na sféře dalekého bodu oka.**

- vznikly čočky s periferním astigmatismem, ale bez odchylky lámavosti
- nevýhody:
 - nerovnoměrné osvětlení KNR
 - Percivalova podmínka je podstatně přísnější na dodržení konstrukčních parametrů (vzdálenost plochy od oka, předměťová vergence)
 - akomodace oka vede ke ztrátě rotační symetrie stopy
- proto ve 20. století navrhovány zejména punktální čočky

Čočky s minimální tangenciální vadou

Čočka, jejíž plocha tangenciálních fokál koinciduje se sférou dalekého bodu:

- poměrně malý astigmatismus
- stabilní vzhledem k předměťové vergenci a ke vzdálenosti brýlové čočky od oka (při vzdalování se chová jako bodově zobrazující, při přibližování jako Percivalova)

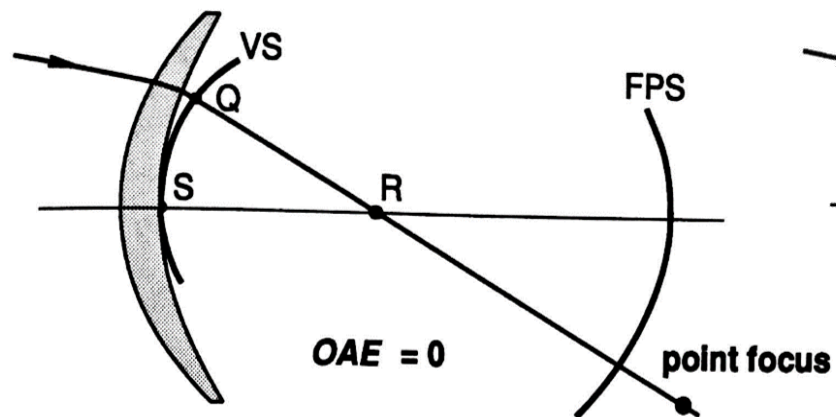
Moderní design

Moderní čočky jsou navrhovány jako kompromis z hlediska:

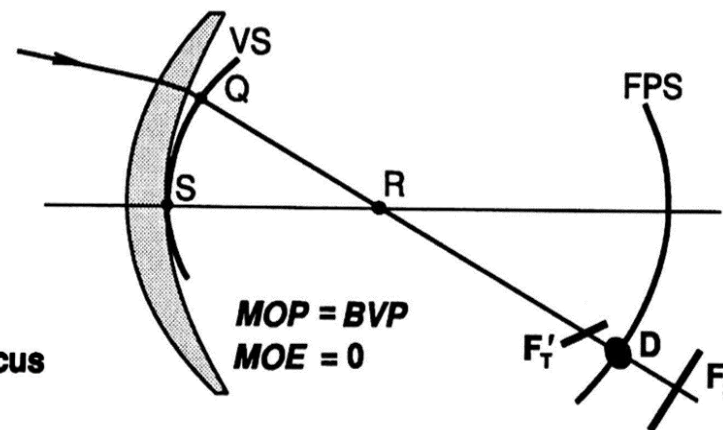
- korekce astigmatismu a sklenutí
- vidění do dálky a do blízka
- rozsahu korigovaného pole
- výrobní tolerance indexu lomu
- váhy a vzhledu čoček

Požaduje se rovněž korekce **zkreslení** a **příčné barevné vady**.

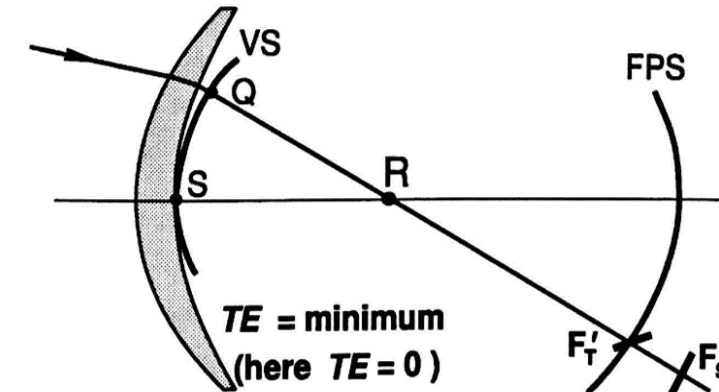
Point Focal Form



Perival Form



Minimum Tangential Error Form



A . H. Tunnacliffe: Introduction to Visual Optics, ABDO College, Canterbury 2004.

Znázornění pomocí polního (field) diagramu

Field diagram znázorňuje vergenci svazku na Vertex sphere v sagitálním a tangenciálním řezu. Svazek vychází z nekonečně vzdáleného mimoosového bodu a prochází korekční čočkou.

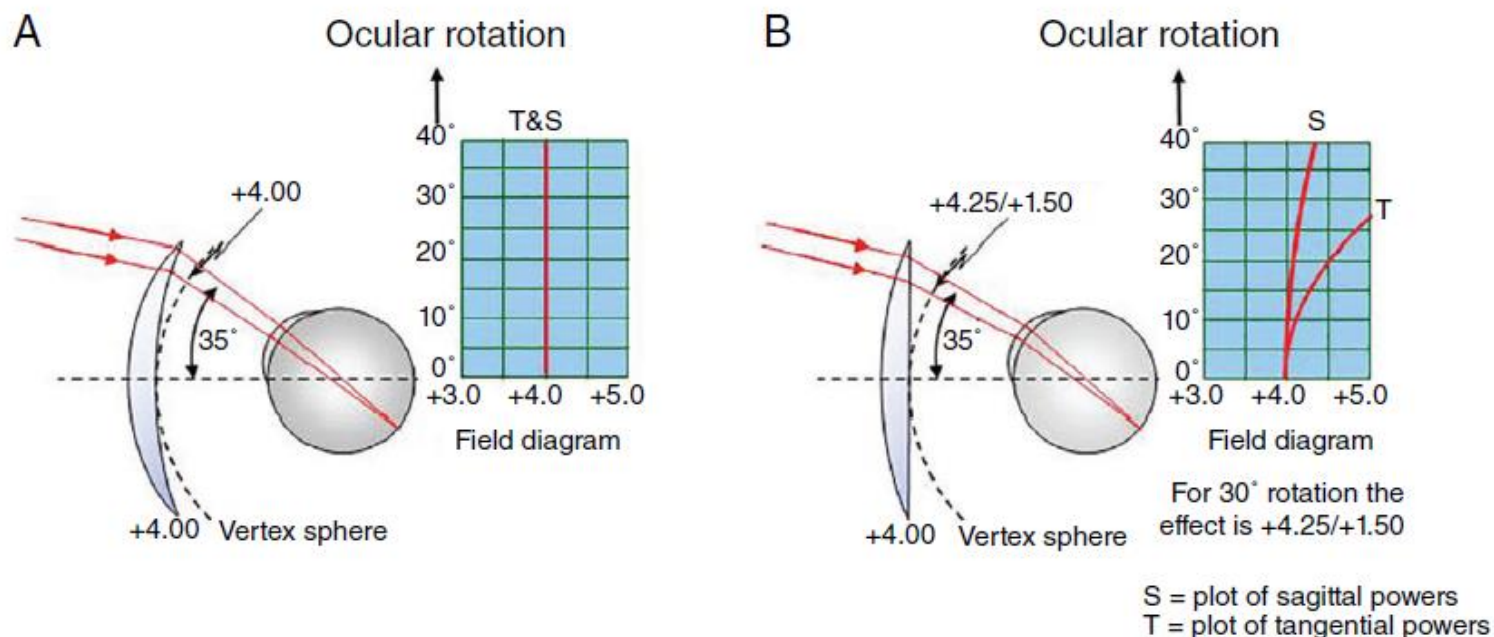
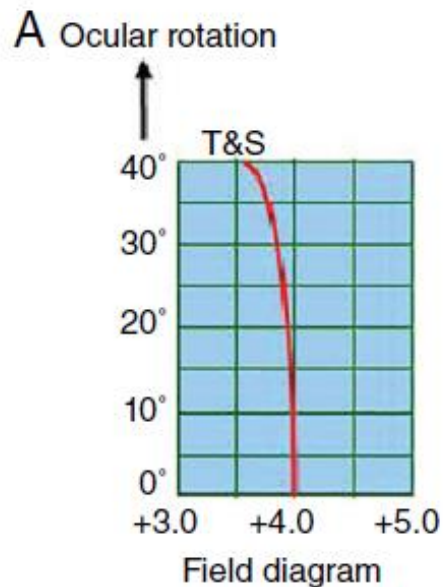


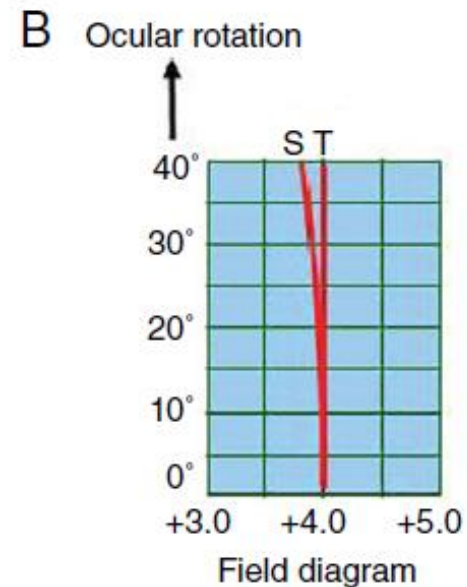
Figure 1. A: Field diagram for an ideal +4.00 D lens. The graph indicates that the tangential (T) and sagittal (S) oblique vertex sphere powers remain +4.00 D for all directions of gaze. B: Field diagram for +4.00 D lens made in plano-convex form. The graph shows that the lens is afflicted with aberrational astigmatism which increases as the eye rotates away from the optical axis of the lens.

Optimální tvar brýlových čoček

bodově
zobrazující čočka
 $\varphi'_1 = +9,62 \text{ D}$



minimální
tangenciální vada
 $\varphi'_1 = +8,12 \text{ D}$



Percivalovo
řešení
 $\varphi'_1 = +7,62 \text{ D}$

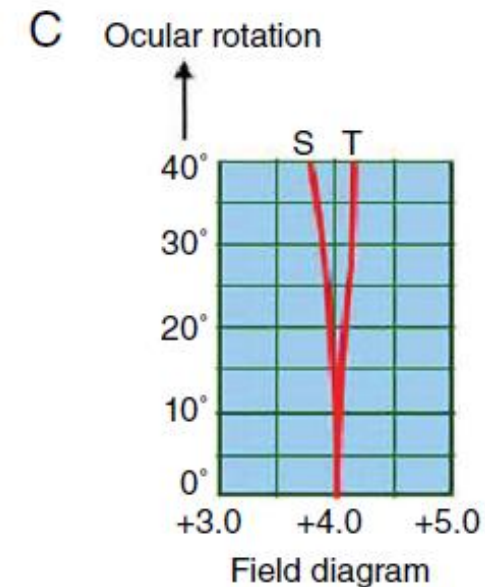


Figure 2. Field diagrams for +4.00 D lens designs made in various best forms. A: Point-focal form, where oblique astigmatic error = 0. B: Minimum tangential error form, where $F'_T = F'_V$. C: Percival-form, where mean oblique power = F'_V and hence mean oblique error = 0.

Asférické plochy

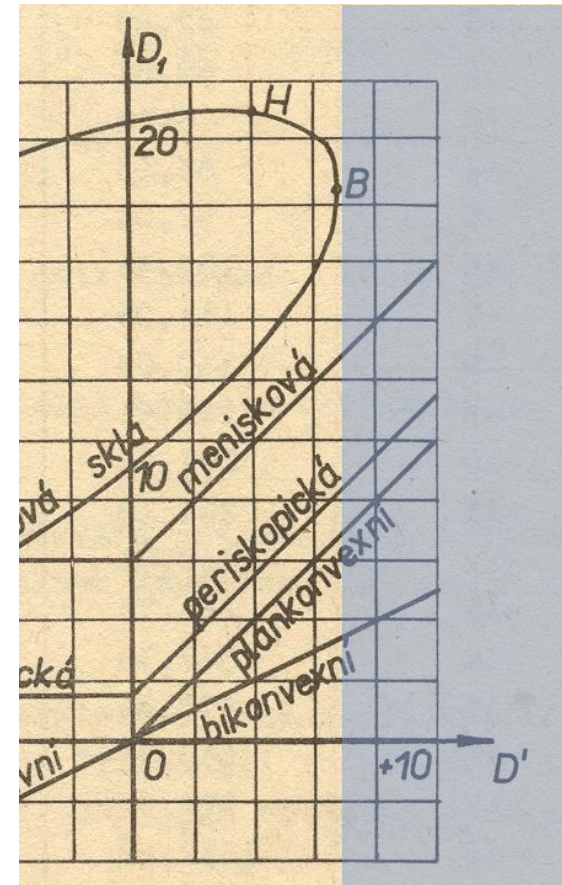
CARL ZEISS
JENA

ZEISS KATRALGLÄSER

für Star-Operierte

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

Schriftproben, gesehen durch
ein gleichseitiges Starglas von + 13 dptr ein Katalglas von + 13 dptr
in den angegebenen Blickrichtungen zur optischen Achse
des Glases



Asférické plochy

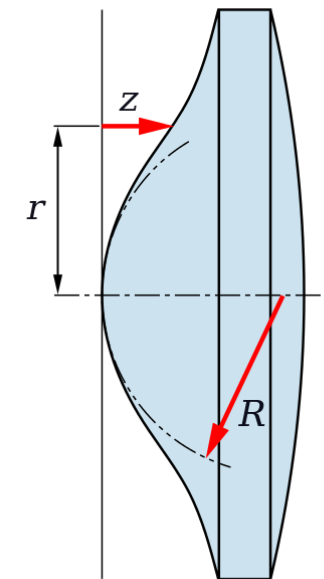
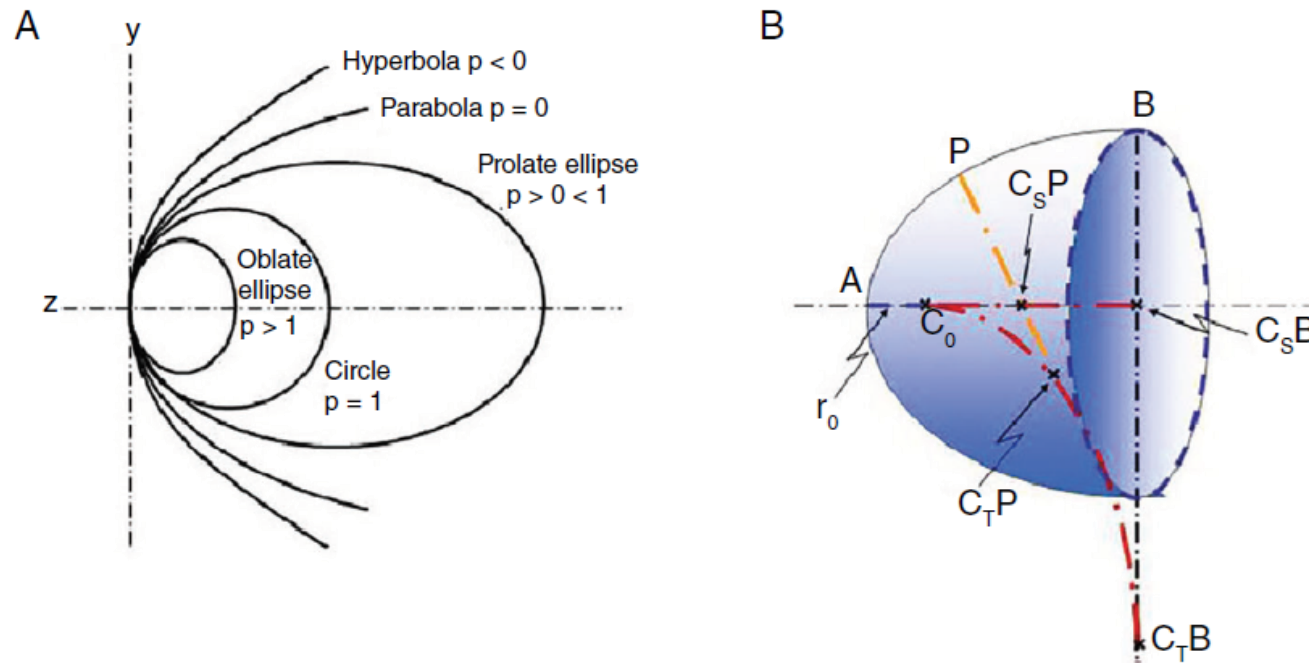


Figure 3. A: The conic sections. B: How an ellipsoidal surface corrects aberrational astigmatism. A is the vertex of the curve. C_0 is the centre of curvature of the surface at the vertex. AC_0 is the radius of curvature of the surface at the vertex, r_0 . P is a point on the curve. $PC_T P$ is the radius of curvature of the surface at point P in the tangential meridian, which is the plane of the diagram. $C_T P$ lies on the evolute, $C_0 C_T B$, which is the locus of the tangential centres of curvature of the surface between points A and B. $PC_S P$ is the radius of curvature of the surface at point P in the sagittal meridian, which lies at right angles to the plane of the diagram. $C_S P$ lies on the evolute, $C_0 C_S B$, which is the locus of the sagittal centres of curvature of the surface between points A and B.

Asférické plochy

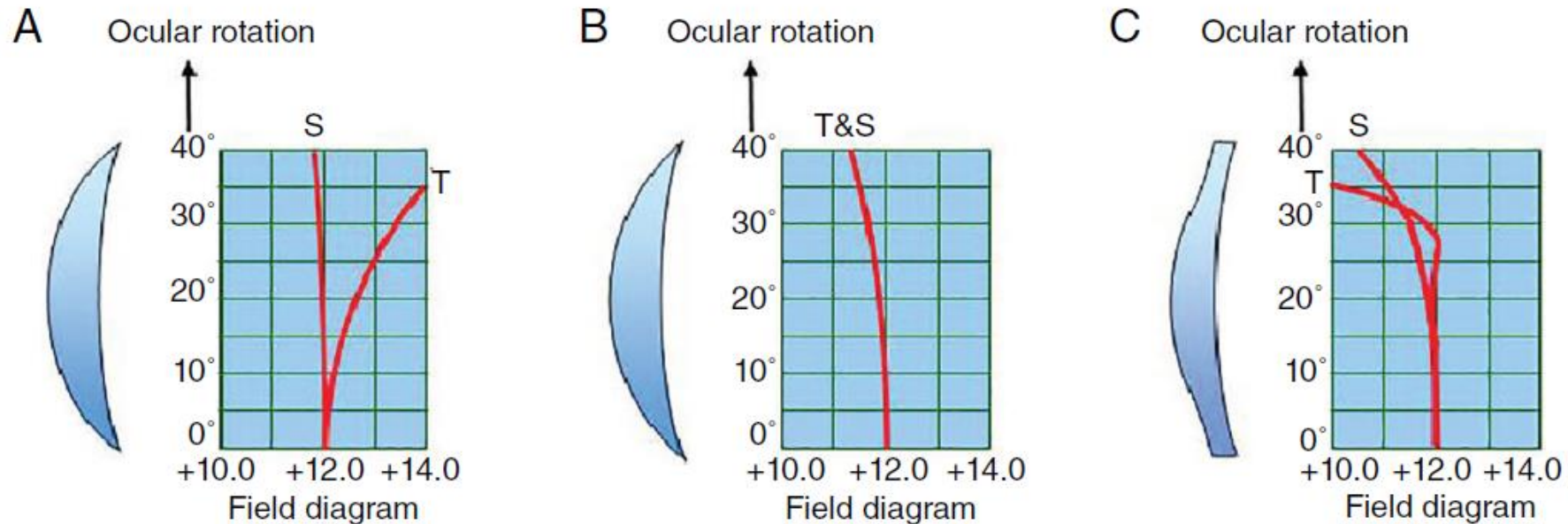


Figure 4. Field diagrams for +12.00 D lenses made in various forms. A: +12.00 D lens made with spherical surfaces. Note that for a 20° rotation of the eye, the effective prescription is +12.00/+0.56 and at 30°, the effective prescription is +11.93/+1.37. B: +12.00 D lens made with convex prolate ellipsoidal surface. At 30° the effective prescription is +11.33 DS. C: +12.00 D lens made with convex polynomial surface. At 30° the effective prescription is +11.55/+0.09.

Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

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

index lomu

n_d ... pro čáru d (588 nm), UK & US

n_e ... pro čáru e (546 nm), Europe

Medium	n_d	n_e	CVF	Density	UV cut-off	Abbe	ρ (%)
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

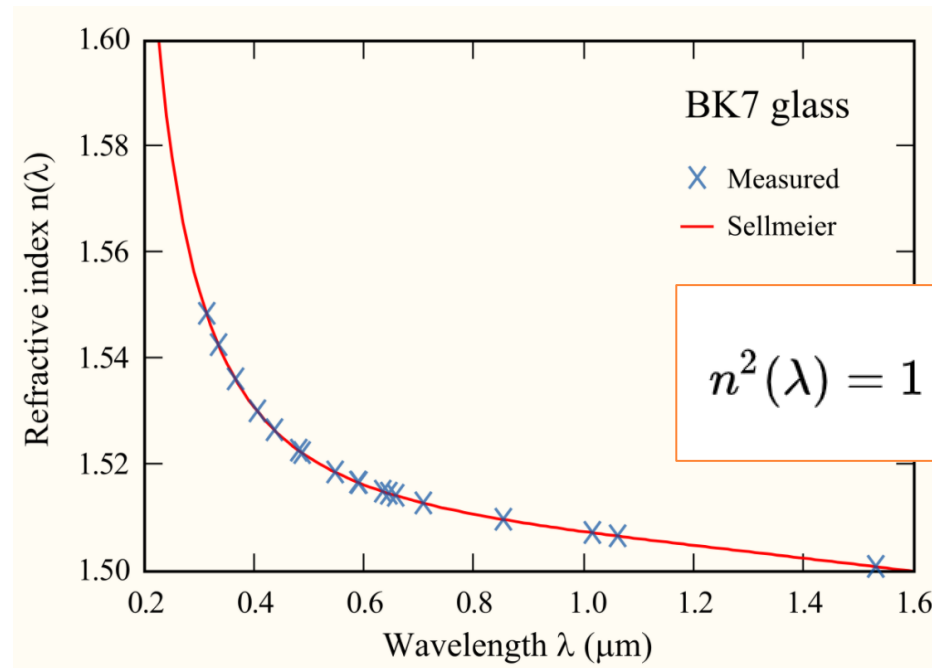
Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- Abbeovo číslo
- hustota
- 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	$n \geq 1.74$

příklad závislosti indexu lomu na vlnové délce pro BK7

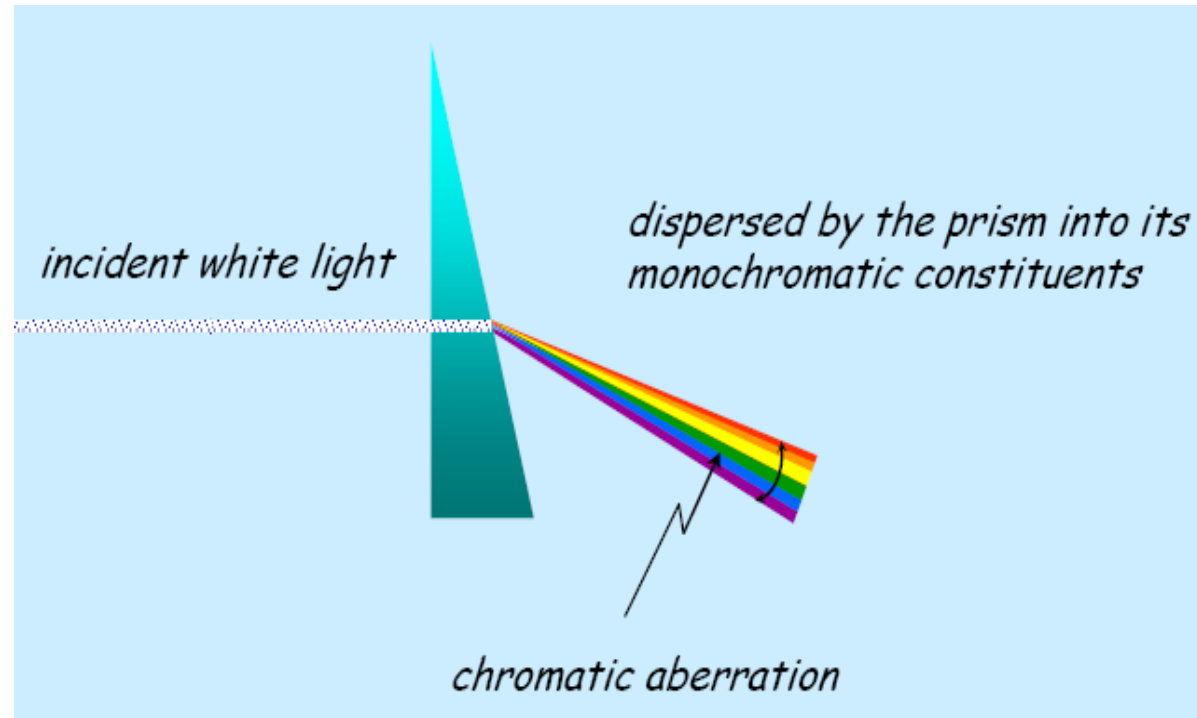


$$n^2(\lambda) = 1 + \frac{B_1 \lambda^2}{\lambda^2 - C_1} + \frac{B_2 \lambda^2}{\lambda^2 - C_2} + \frac{B_3 \lambda^2}{\lambda^2 - C_3}$$

Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

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



$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

... kde n_D , n_F a n_C je index lomu příslušného materiálu na vlnových délkách odpovídajících Fraunhoferovým čárám D, F a C (tj. 589,2 nm, 486,1 nm a 656,3 nm).

Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

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

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

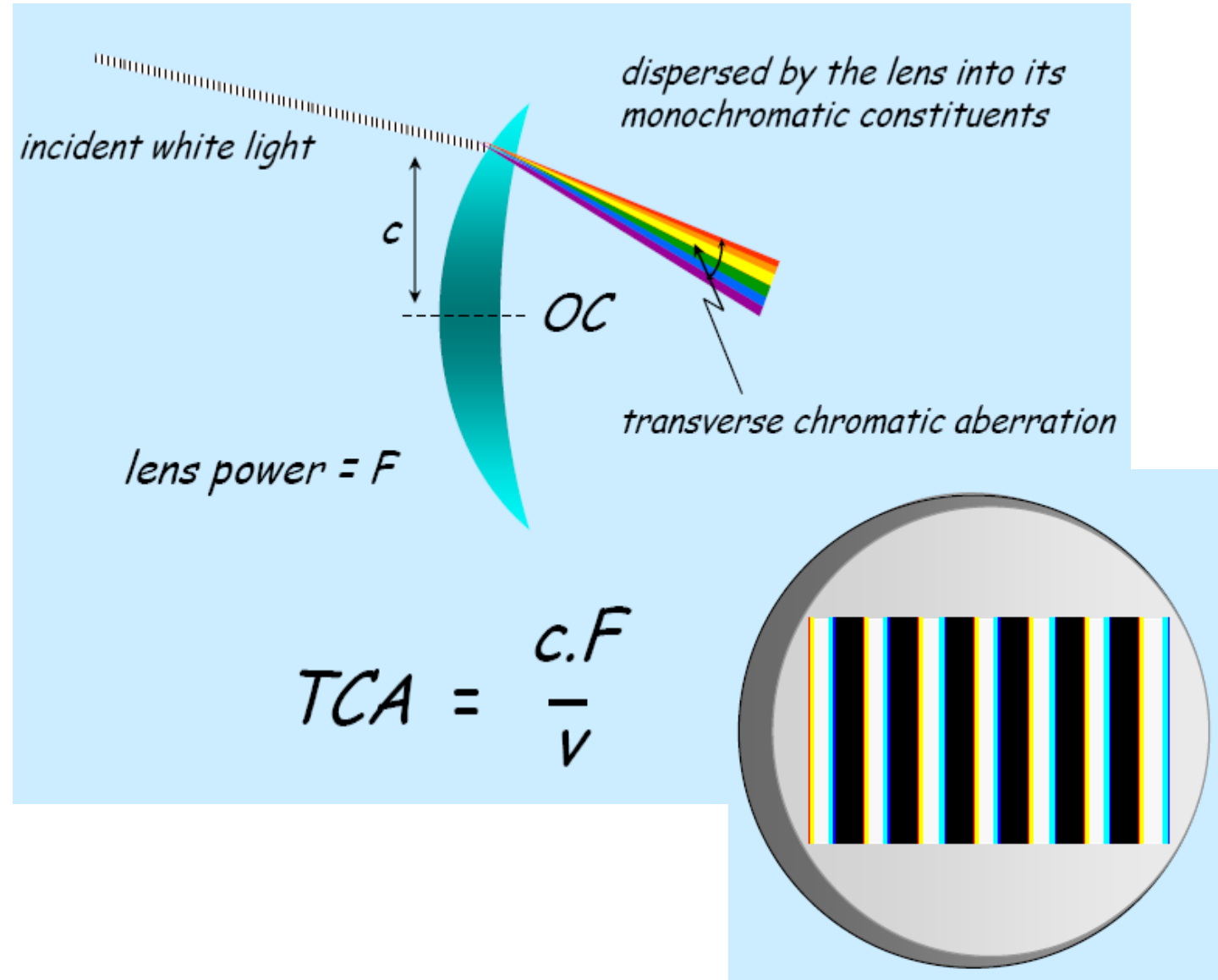
Designation	Element	Wavelength (nm)	Designation	Element	Wavelength (nm)
y	O ₂	898.765	c	Fe	495.761
Z	O ₂	822.696	F	H β	486.134
A	O ₂	759.370	d	Fe	466.814
B	O ₂	686.719	e	Fe	438.355
C	H α	656.281	G'	H γ	434.047
a	O ₂	627.661	G	Fe	430.790
D ₁	Na	589.592	G	Ca	430.774
D ₂	Na	588.995	h	H δ	410.175
D ₃ or 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
- **Abbeovo číslo**
- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

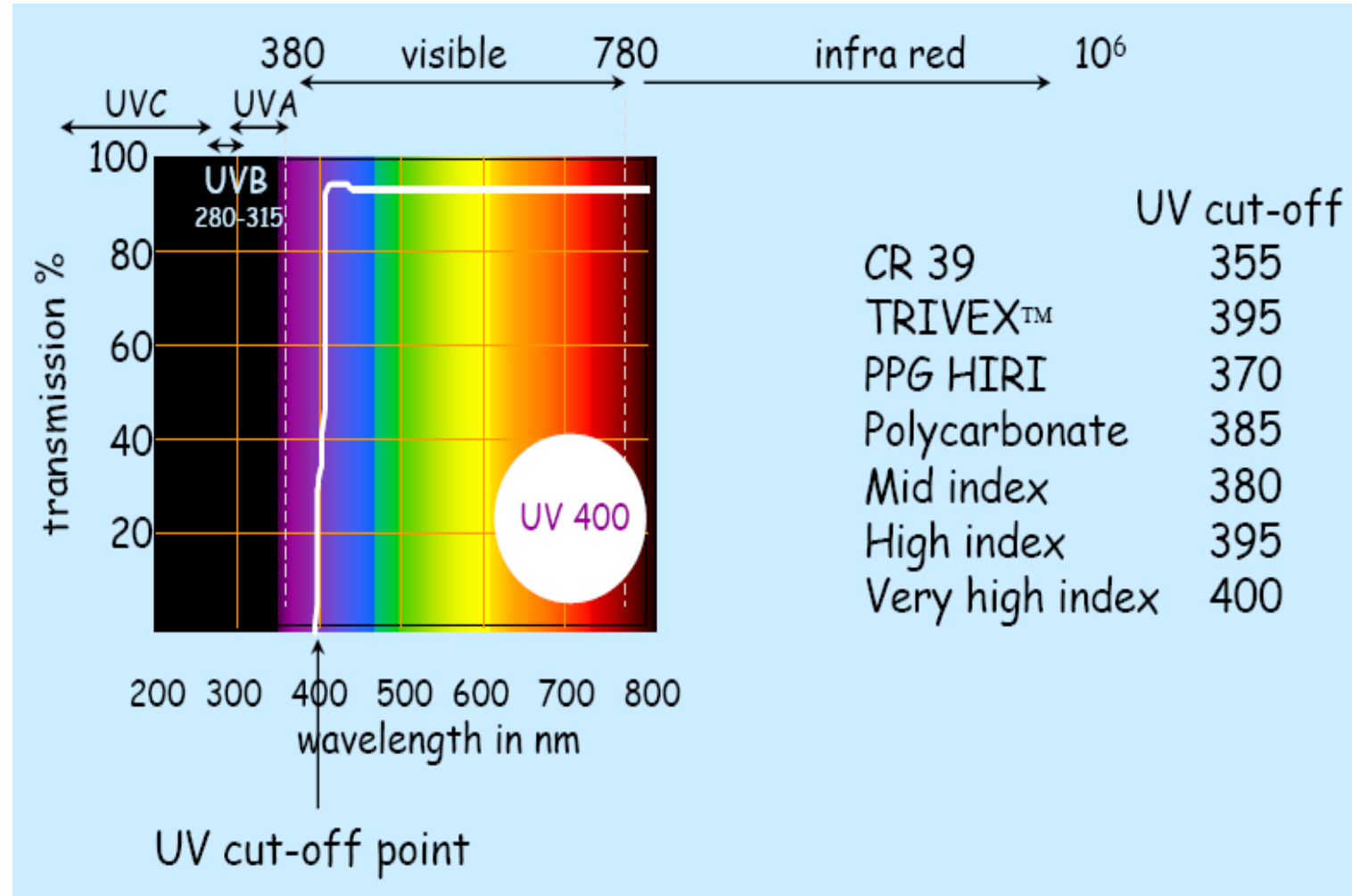
$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$



Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

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



Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

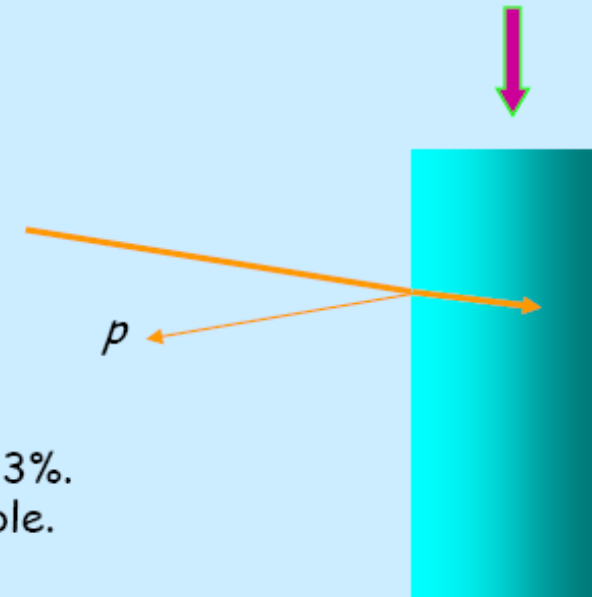
- index lomu
- Abbeovo číslo
- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- **odrazivost**

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

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

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

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

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

1,0 ... plný objem

0,75 ... o 25 % menší objem

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