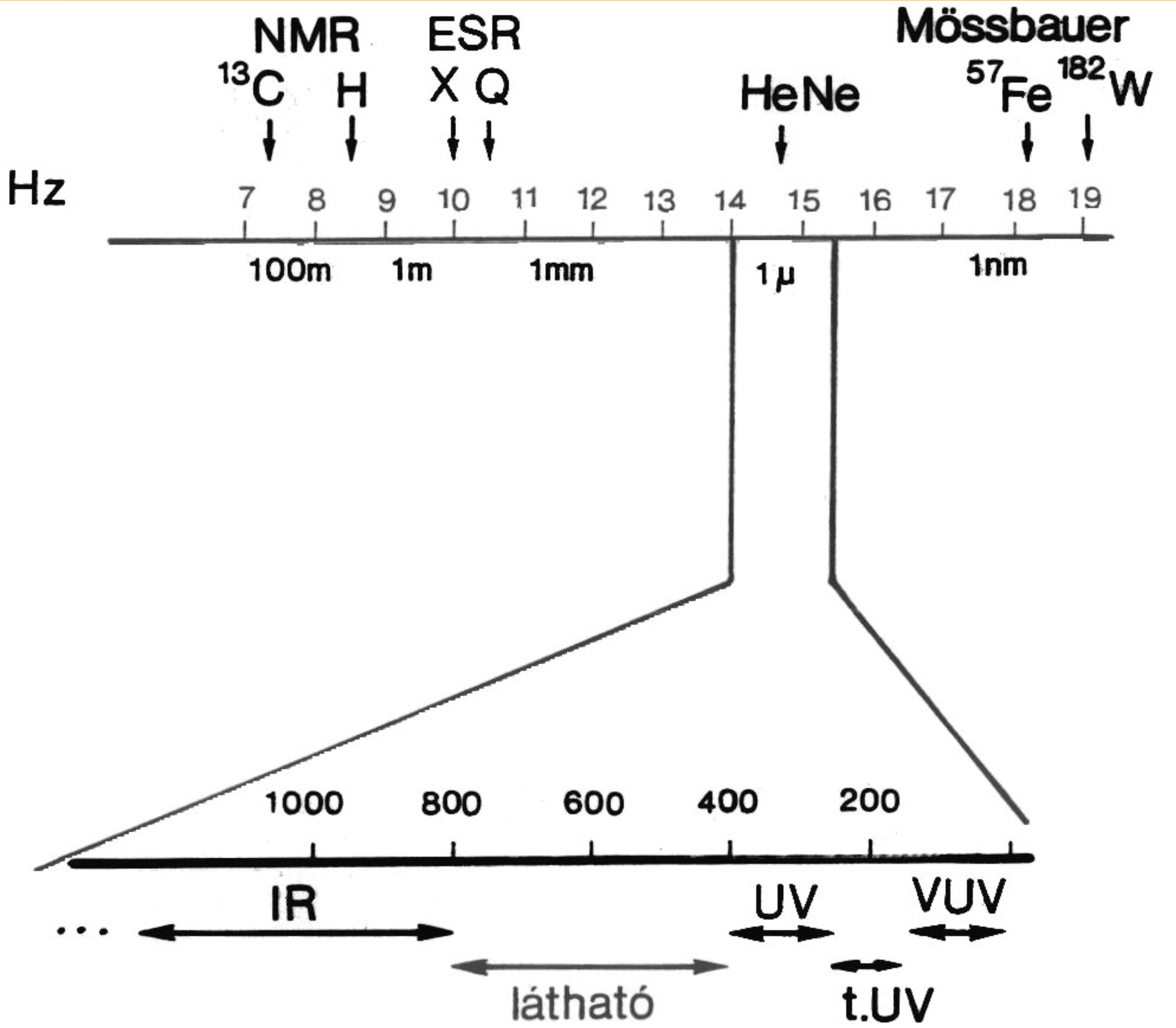
Spektroszkópia I.

Szabó Gábor, egyetemi tanár
SZTE Optikai Tanszék

A spektroszkópia tárgya

A spektroszkópia olyan vizsgálati módszerek összességét jelenti, melyek során elektromágneses térrel történő köl-csönhatás vizsgálatával próbálunk következtetni az anyag tulajdonságaira.

Jellemző spektroszkópiai tartományok



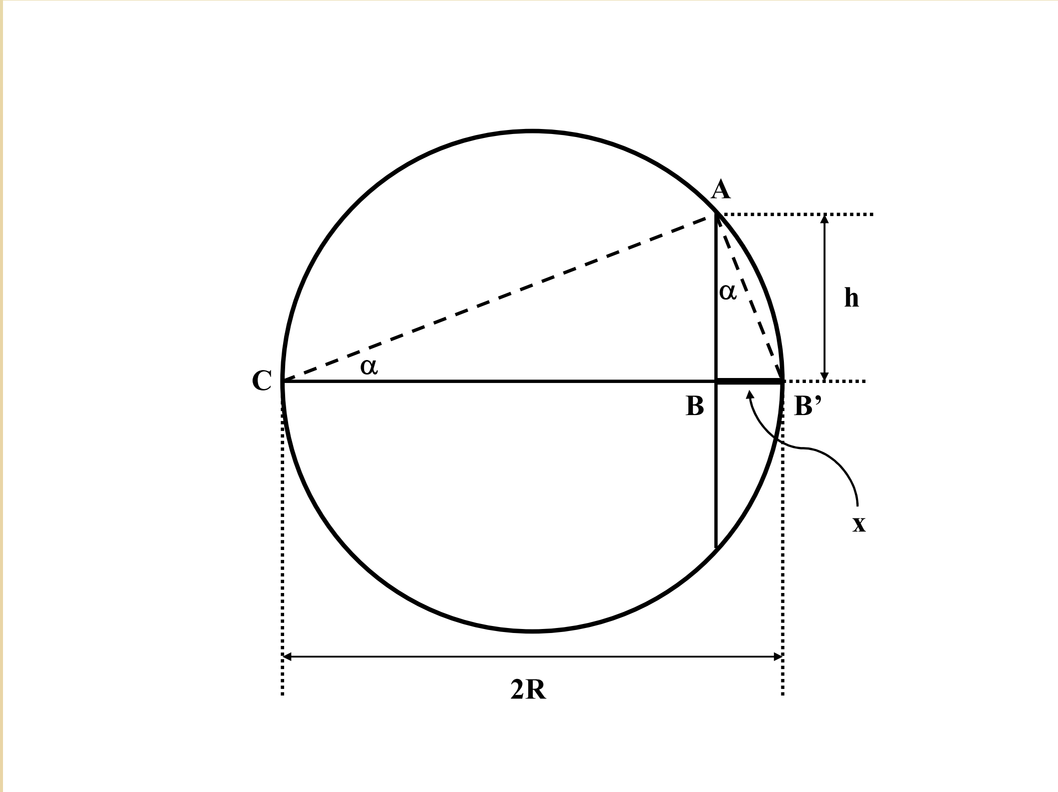
Optikai alapok

Paraxiális közelítés

$1° = 0{,}01745329$ rad $\sin(1°) = 0{,}017452406$ $$\frac{\varphi - \sin(\varphi)}{\varphi} = 0{,}0051\%$$

$5° = 0{,}087266$ rad $\sin(5°) = 0{,}087155$ $$\frac{\varphi - \sin(\varphi)}{\varphi} = 0{,}12\%$$

Paraxiális közelítés



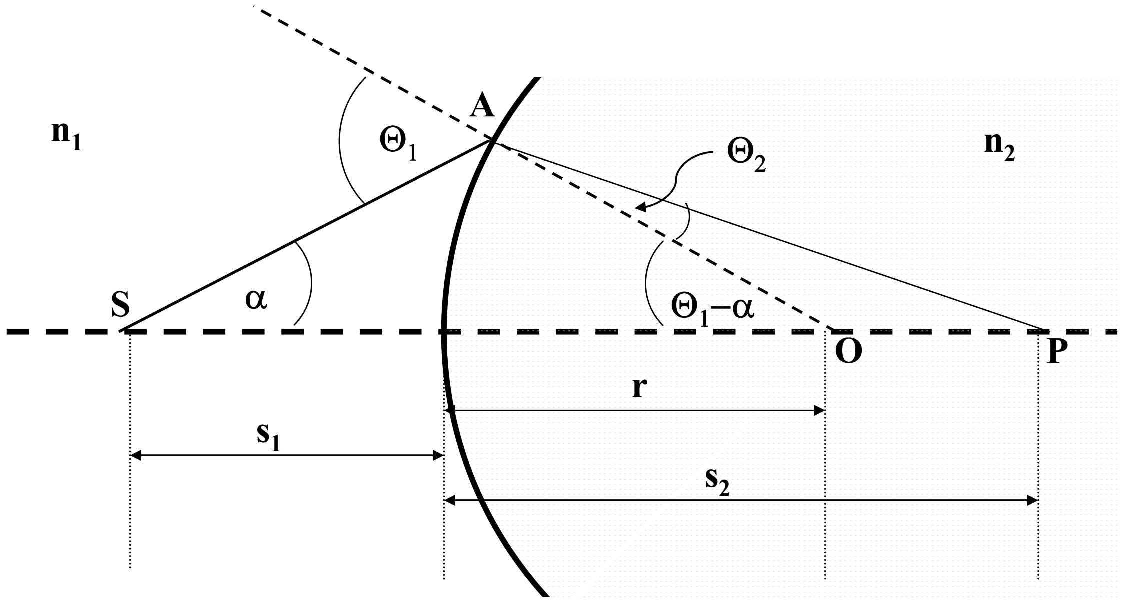
$$\frac{h}{2R - x} = \frac{x}{h}$$

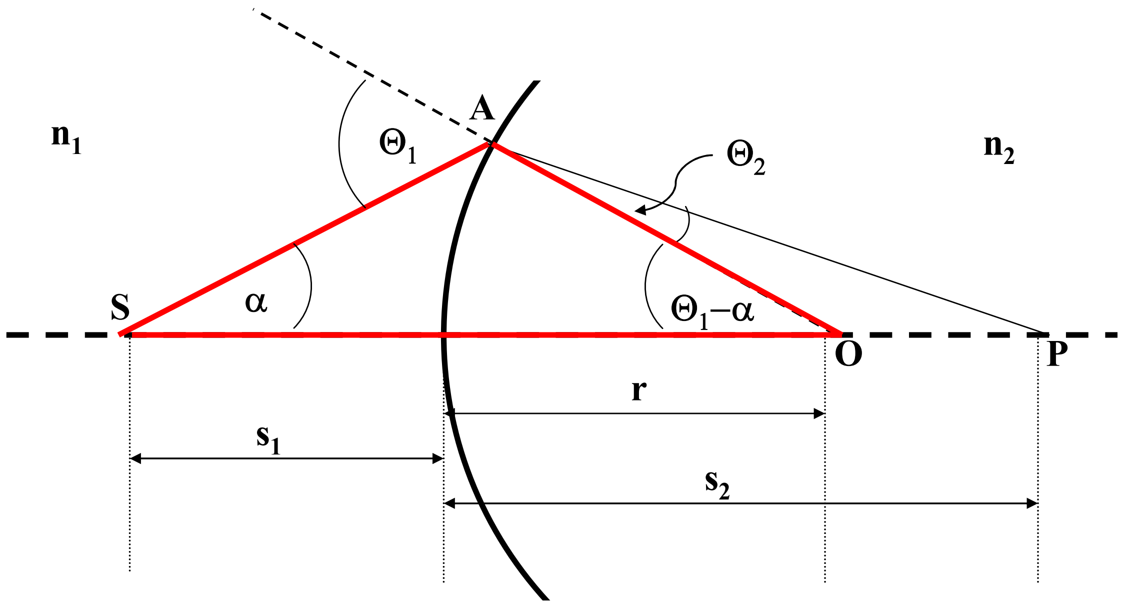
$$h^2 = (2R - x)x$$

2R>>h>>x

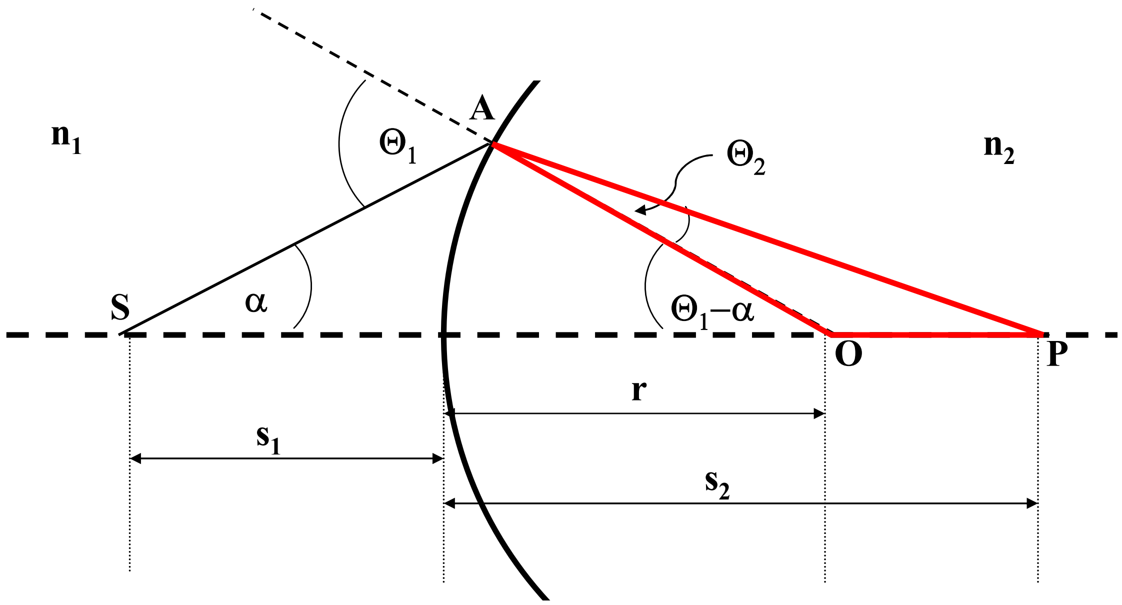
$$\boxed{\mathbf{x = \frac{h^2}{2R}}}$$

Fénytörés gömbfelületen





$$\frac{s_1 + r}{\sin(180 - \theta_1)} = \frac{r}{\sin \alpha}$$



$$\frac{s_2 - r}{\sin\theta_2} = \frac{r}{\sin(\theta_1 - \theta_2 - \alpha)}$$

Alkalmazzuk a paraxiális közelítést!

$$\frac{s_1 + r}{\theta_1} = \frac{r}{\alpha}$$

$$\frac{s_2 - r}{\theta_2} = \frac{r}{\theta_1 - \theta_2 - \alpha}$$

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = n$$

A megoldás:

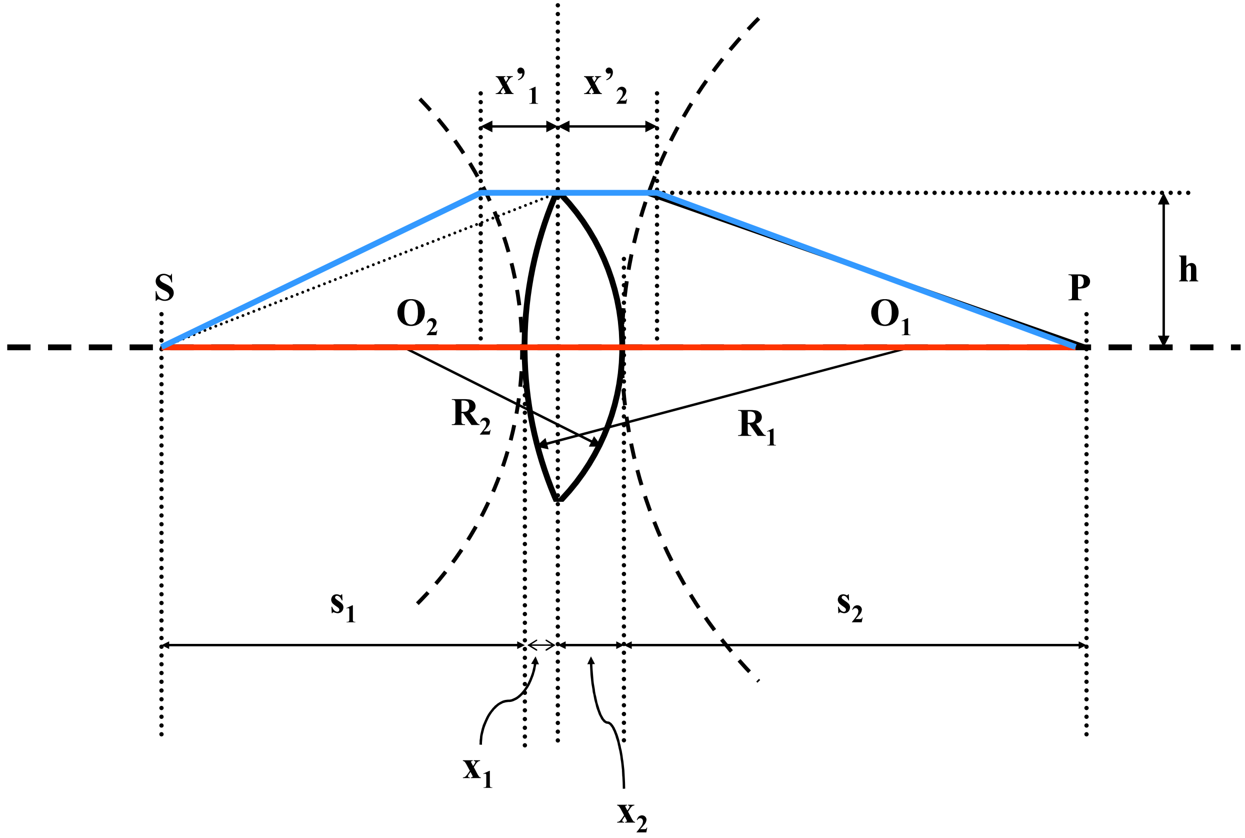
$$\frac{s_2 - r}{\frac{\cancel{\alpha}}{n\,r}(s_1 + r)} = \frac{r}{\left(\frac{\cancel{\alpha}}{r} - \frac{\cancel{\alpha}}{r\,n}\right)(s_1 + r) - \cancel{\alpha}}$$

Nem függ α-tól!

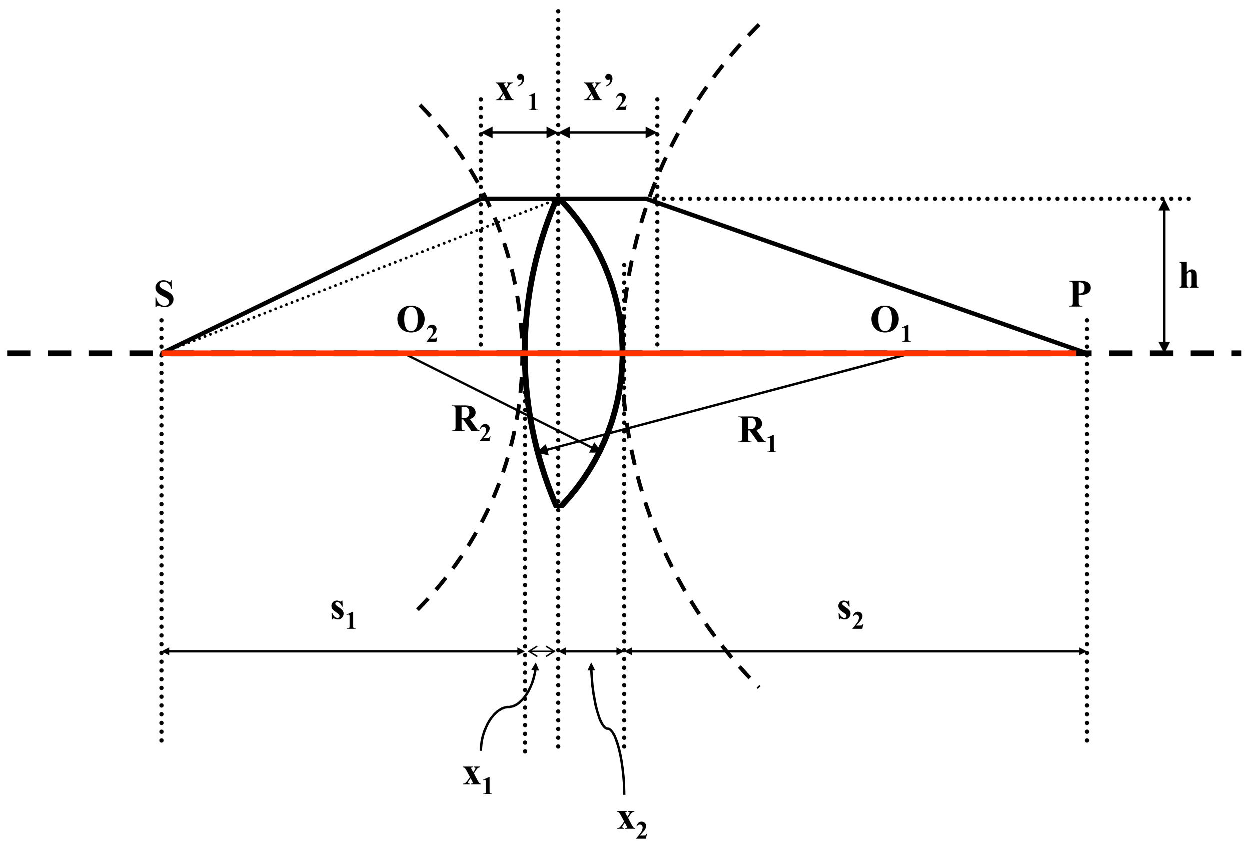
Leképezésről beszélünk akkor, ha a rendszer rendelkezik azzal a tulajdonsággal, hogy egy adott (tárgy)pontból kiinduló összes fénysugár ugyanabban a (kép)pontban metszi egymást.

$$s_2 = r + \frac{(s_1 + r)r}{(n-1)(s_1 + r) - r\,n}$$

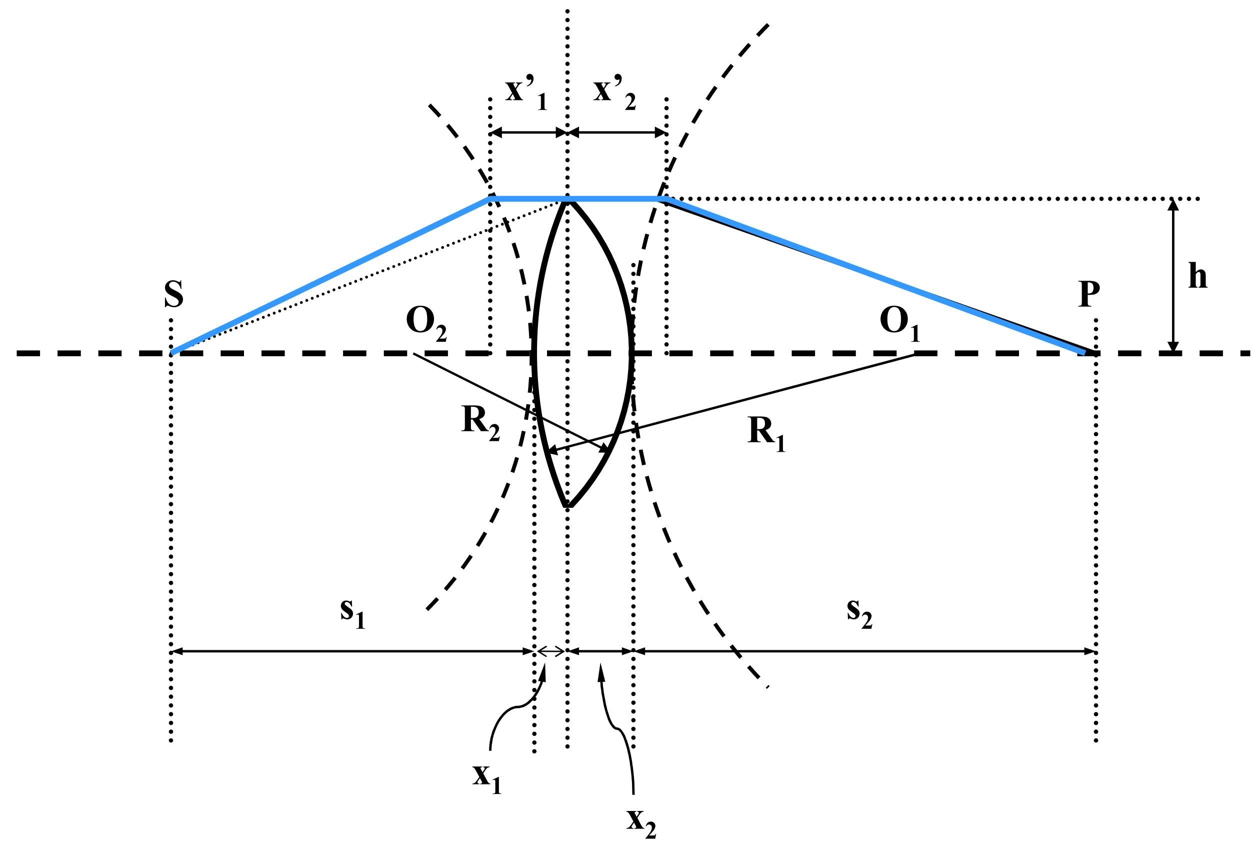
Lencsék tárgyalása a legrövidebb idő elve alapján



x'1
x'2
h
S
P
O2
O1
R2
R1
s1
s2
x1
x2



$$T_1 = \frac{s_1}{c} + \frac{x_1 + x_2}{\frac{c}{n}} + \frac{s_2}{c}$$



$$T_2 = \frac{s_1 + x'_1 + x'_2 + s_2}{c}$$

$$T_1 = T_2$$

$$\frac{s_1}{c} + \frac{x_1 + x_2}{\frac{c}{n}} + \frac{s_2}{c} = \frac{s_1 + x_1' + x_2' + s_2}{c}$$

$$x'_1 + x'_2 = n\, x_1 + n\, x_2$$

$$x_1 = \frac{h^2}{2R_1} \qquad x_2 = \frac{h^2}{2R_2} \qquad x'_1 = \frac{h^2}{2s_1} + \frac{h^2}{2R_1} \qquad x'_2 = \frac{h^2}{2s_2} + \frac{h^2}{2R_2}$$

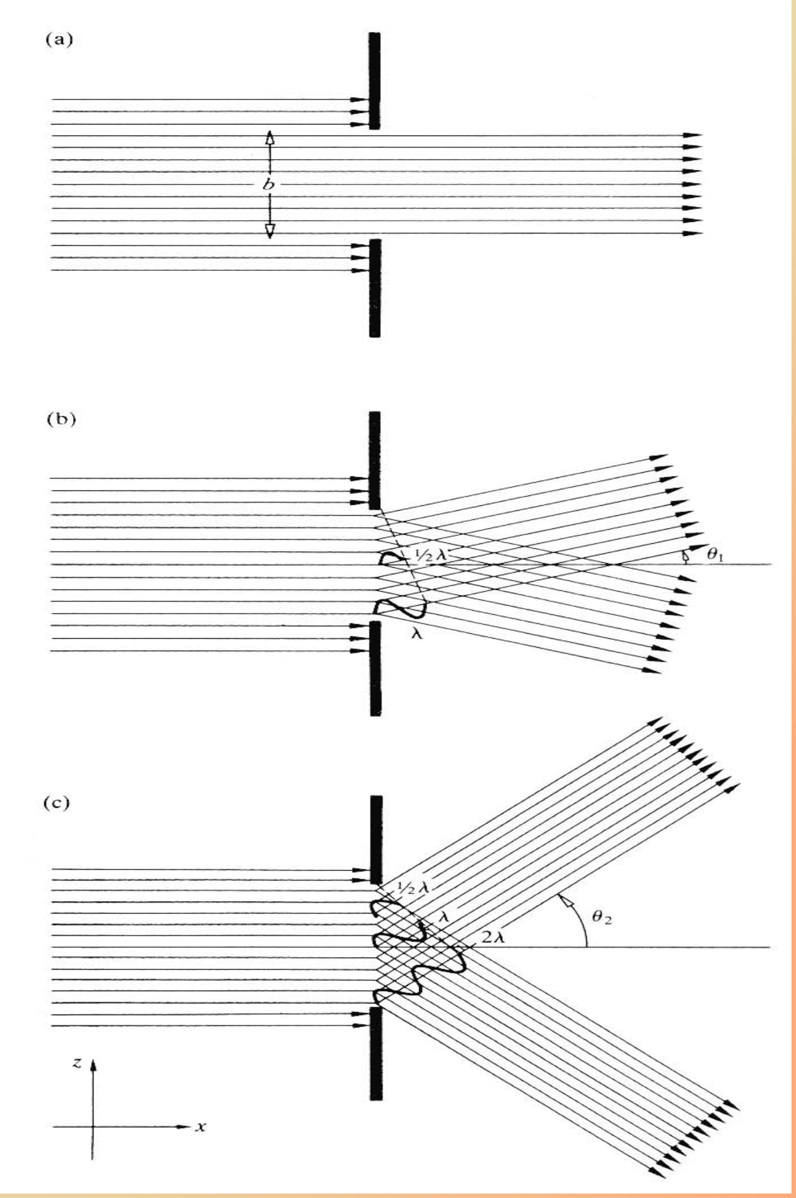
$$\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_2}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

$$s_1 \to \infty \quad \Rightarrow \quad s_2 \to f$$

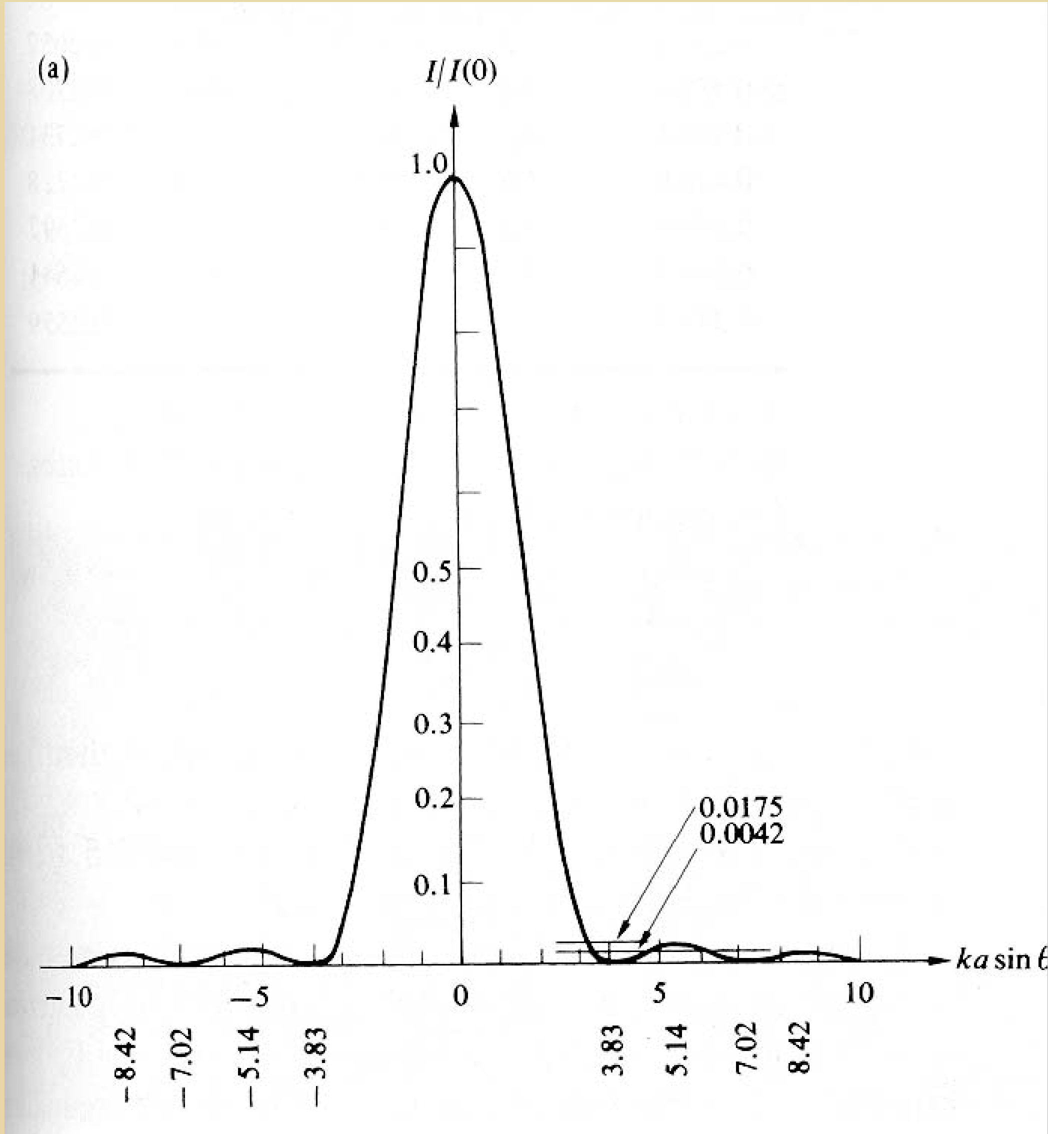
$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_2}=\frac{1}{f} \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\frac{1}{t}+\frac{1}{k}=\frac{1}{f}}$$

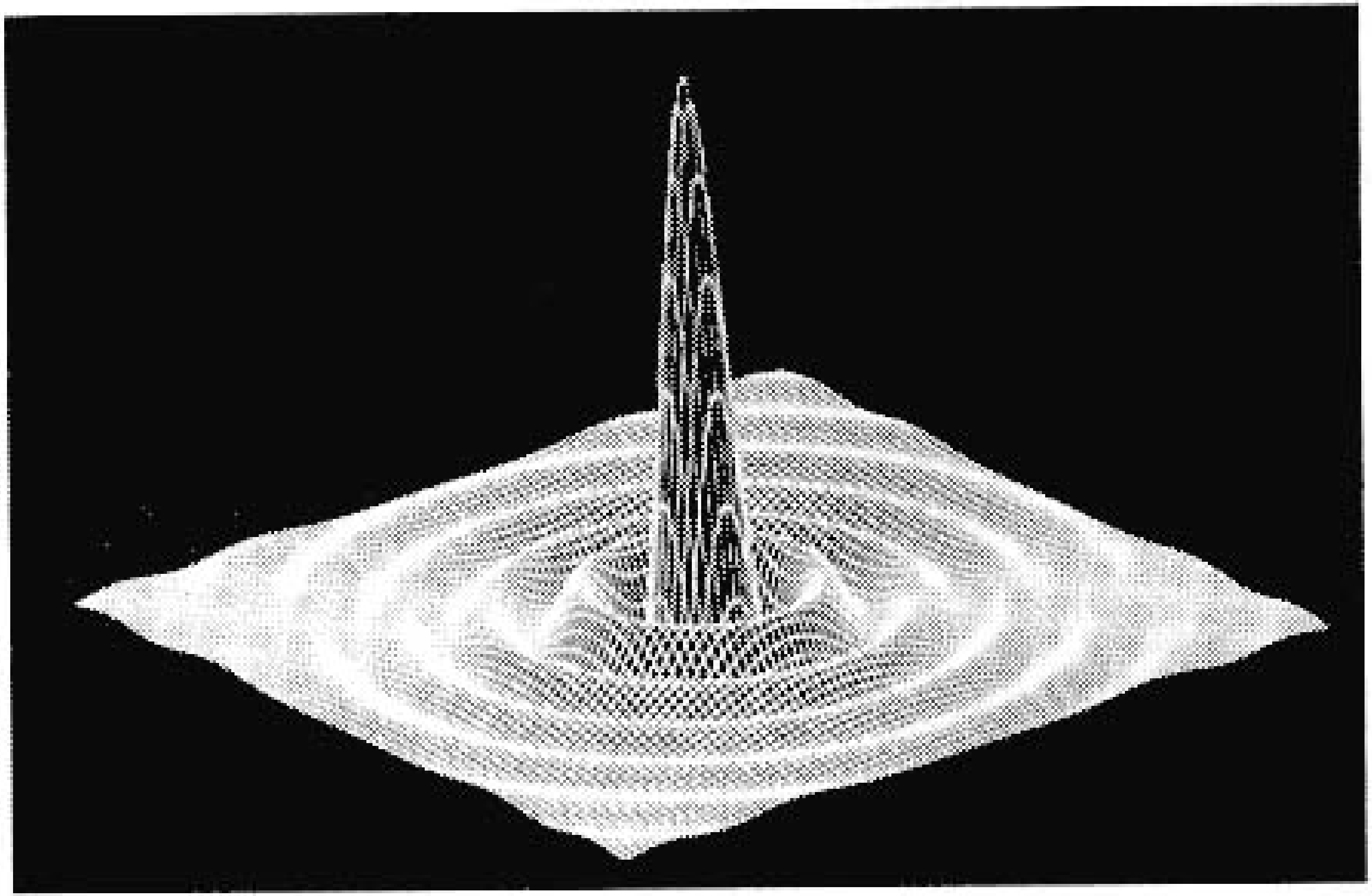
Fraunhofer elhajlás résen



Fraunhofer elhajlás résen



Fraunhofer elhajlás kör alakú nyíláson



(b)

Optikai eszközök feloldóképessége

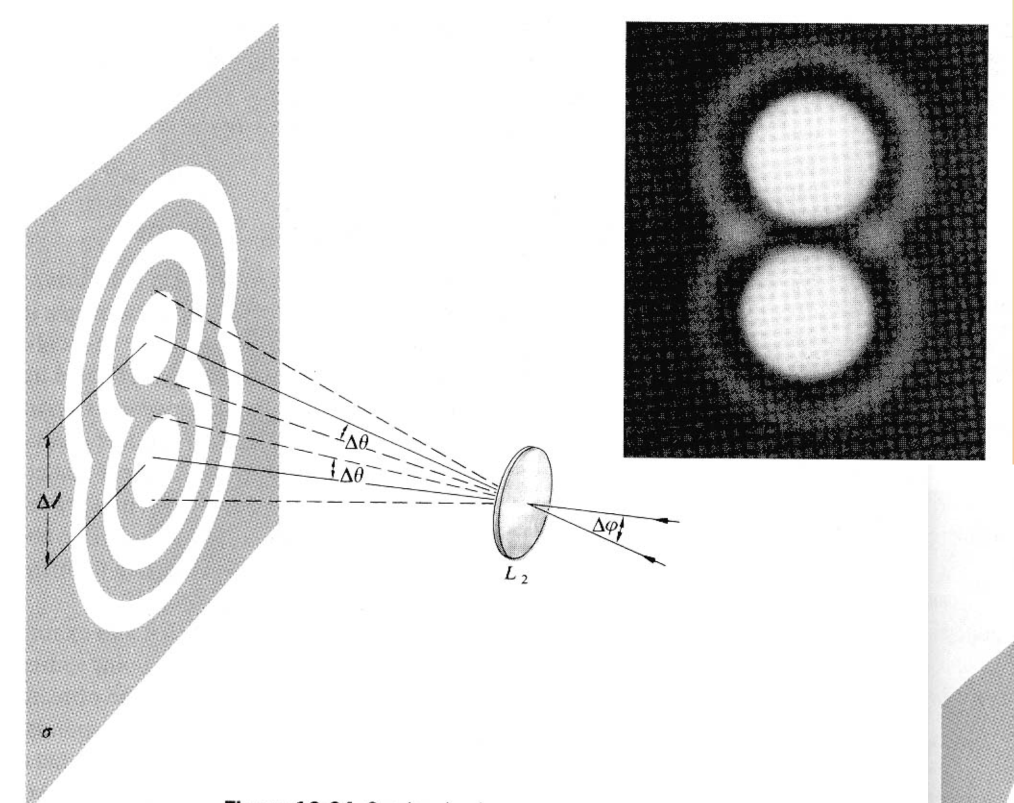


Figure 10.24 Overlapping images.

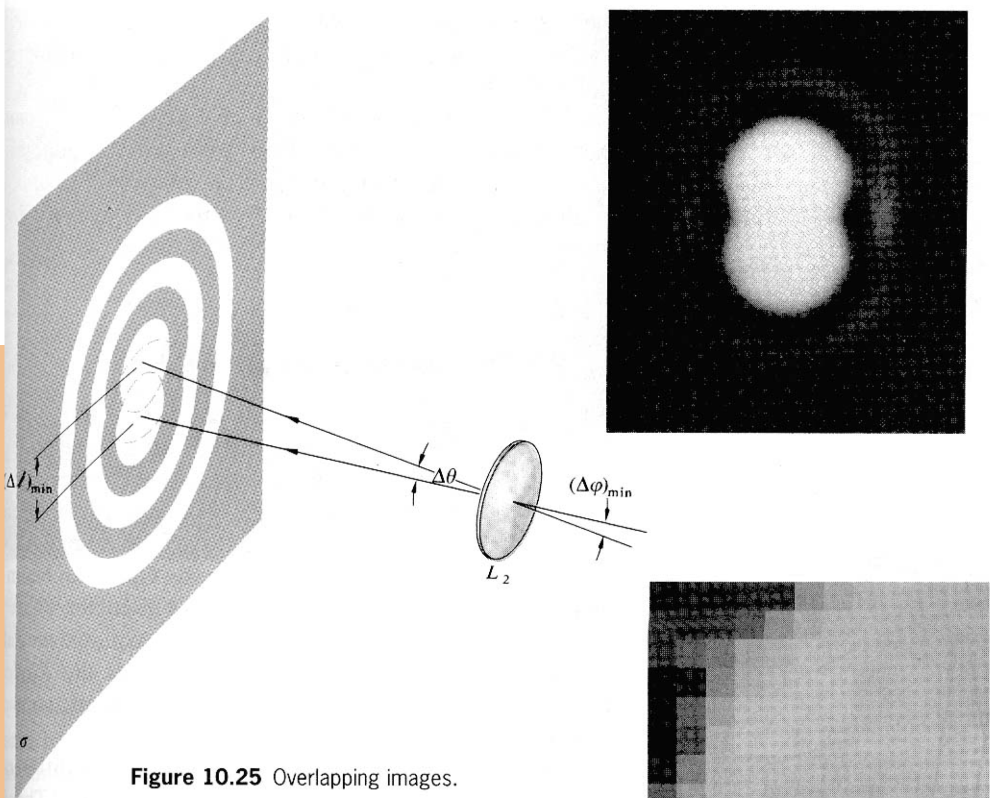
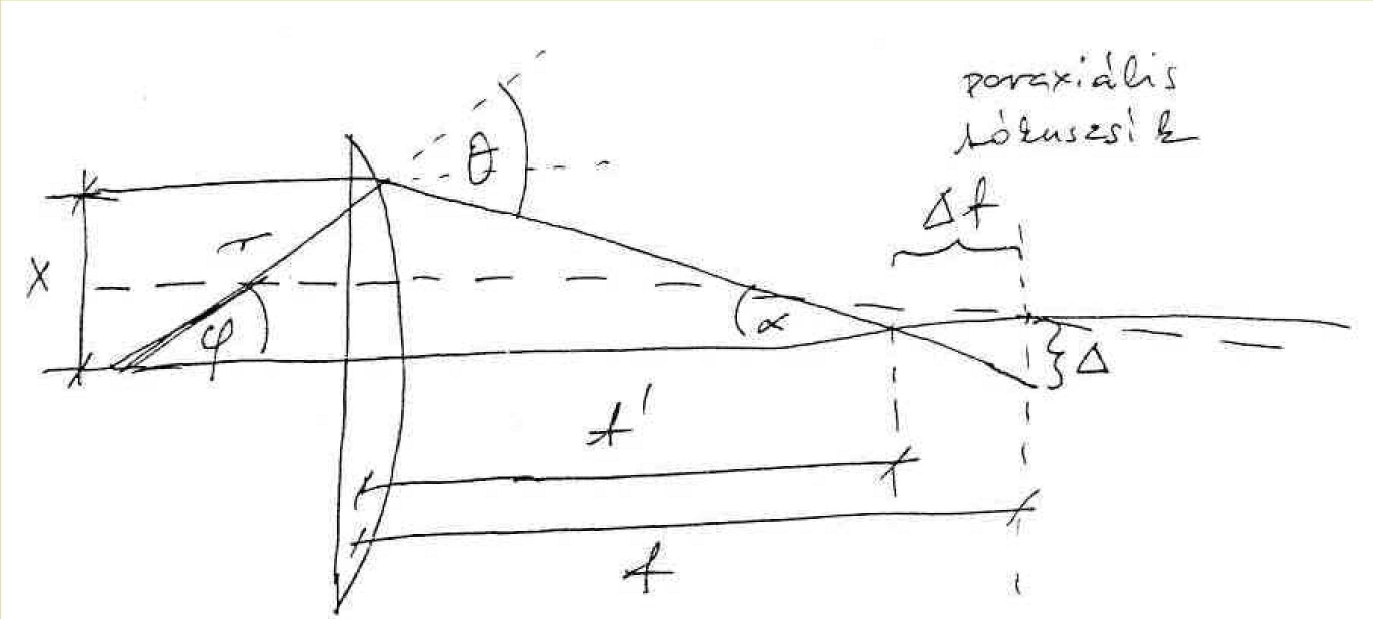


Figure 10.25 Overlapping images.

Leképezési hibák

Kvalitatív bevezetés

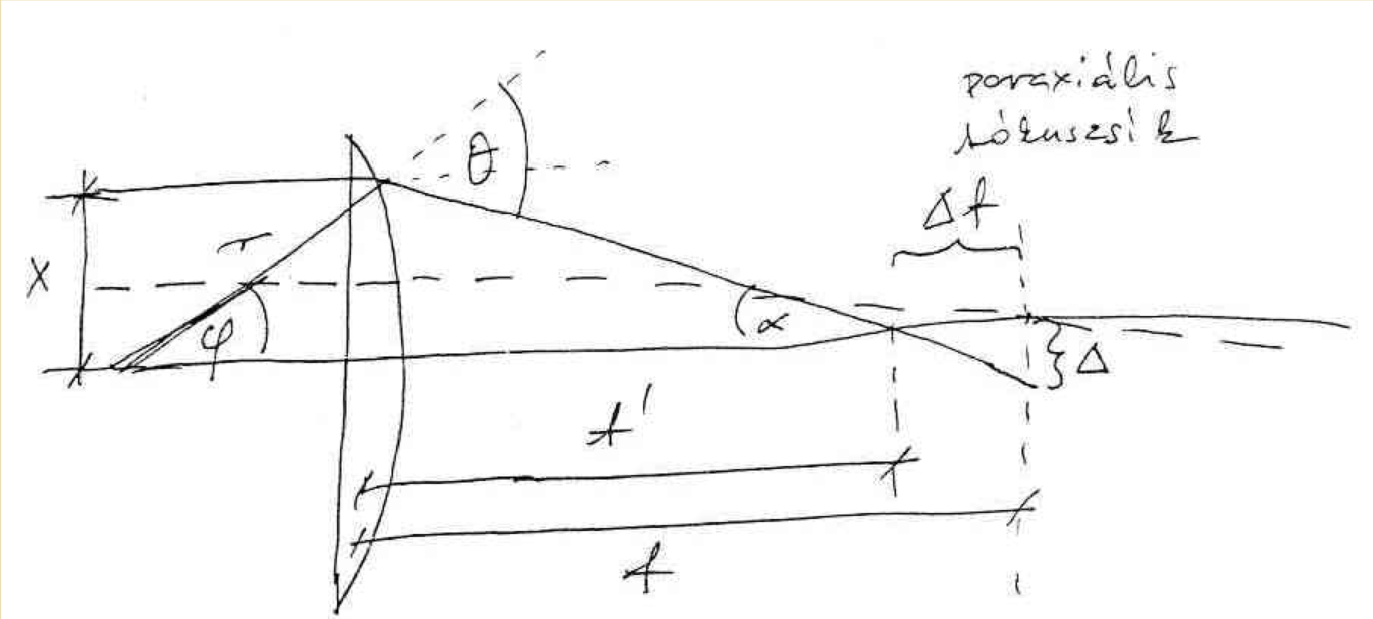


Paraxiális közelítésben:

$$\frac{x}{r} = \varphi \qquad \varphi \cdot n = \Theta n_{lev} = \Theta, \qquad \alpha = \Theta - \varphi, \qquad \alpha = \frac{x}{f} \qquad (n_{lev} = 1)$$

$$\frac{x}{f} = (n-1)\frac{x}{r} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{(n-1)}{r}$$

Kvalitatív bevezetés



Ejtsük α-ra a paraxiális közelítést:

$$\frac{x}{f'} = tg\alpha$$

$$\Delta = \Delta f tg\alpha = (f - f')tg\alpha, \qquad f' = \frac{x}{tg\alpha}$$

Kvalitatív bevezetés

$$\Delta = f tg\alpha - x$$

Fejtsük *tgα*-t hatványsorba $(\alpha = \frac{x}{f})$ **:**

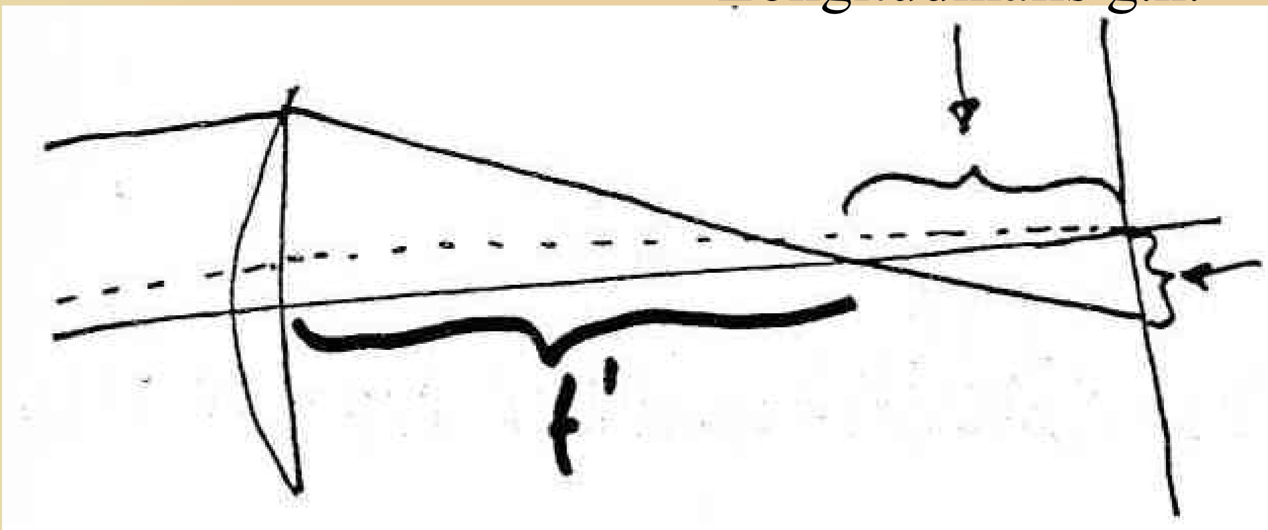
$$\Delta = f\left(\frac{x}{f} + \frac{1}{3}\left(\frac{x}{f}\right)^3 + \ldots\right) - x$$

$$\boxed{\Delta \approx f\,\frac{1}{2}\left(\frac{x}{f}\right)^3}$$

Seidel aberrációk

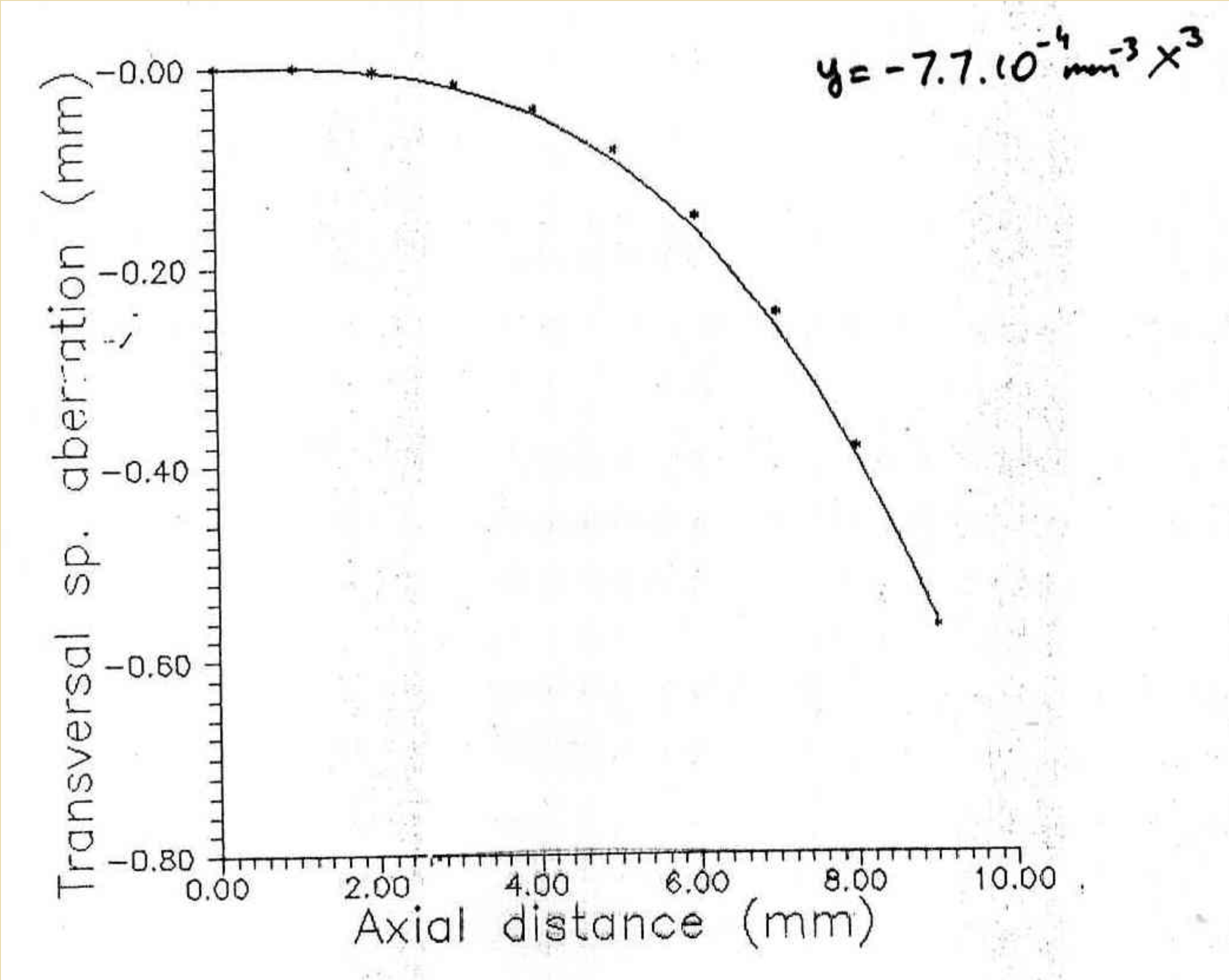
Gömbi hiba (szferikus aberráció)

Longitudinális g.h.

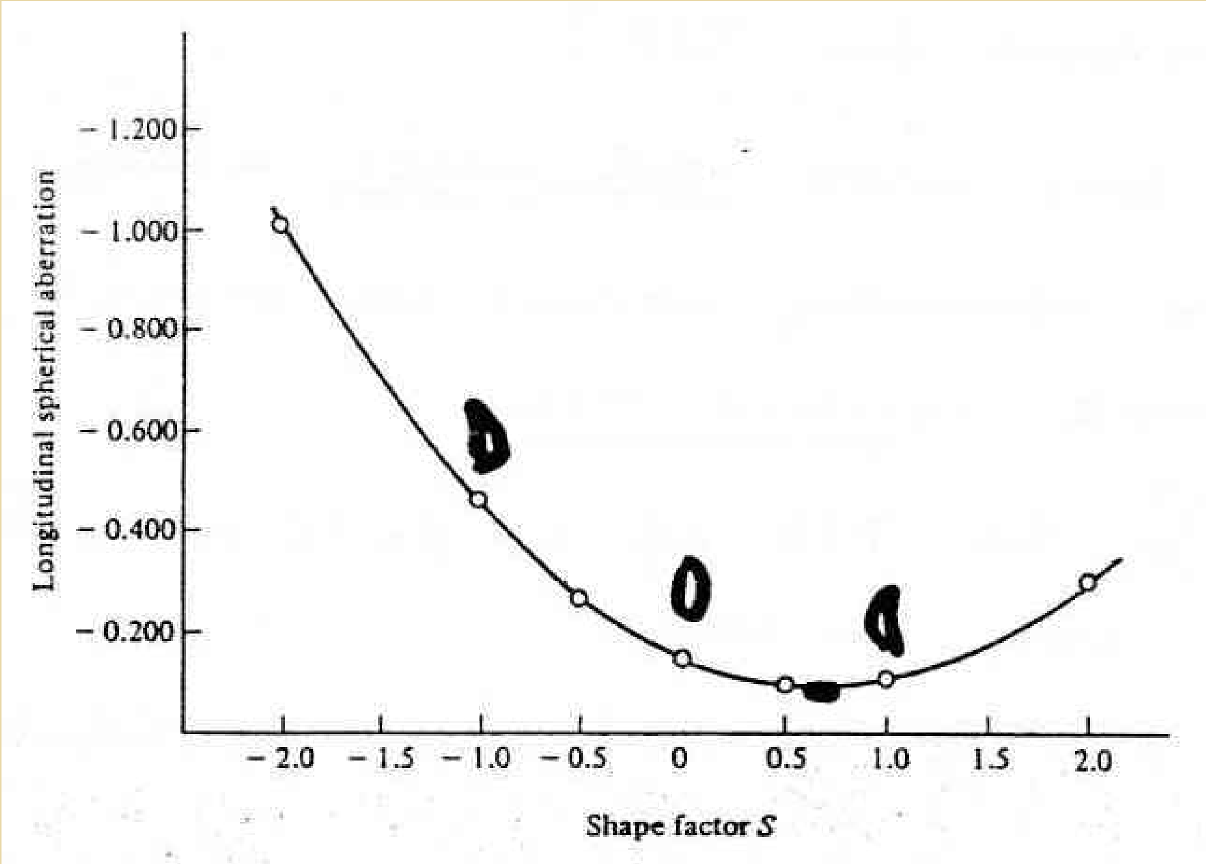


Transzver-
zális g.h.

Gömbi hiba (szferikus aberráció)

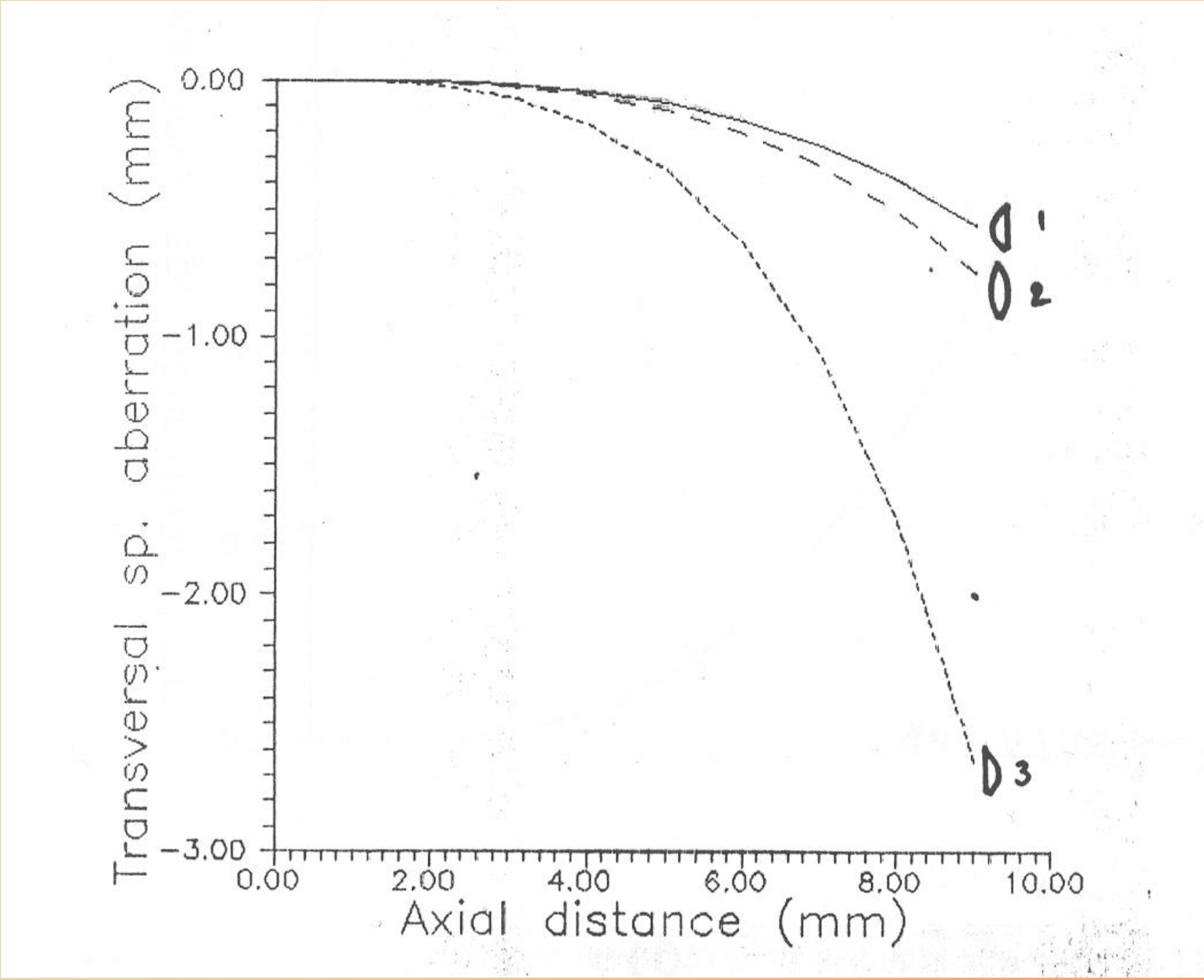


Gömbi hiba (szferikus aberráció)



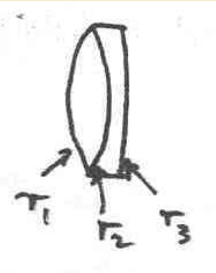
Alaktényező

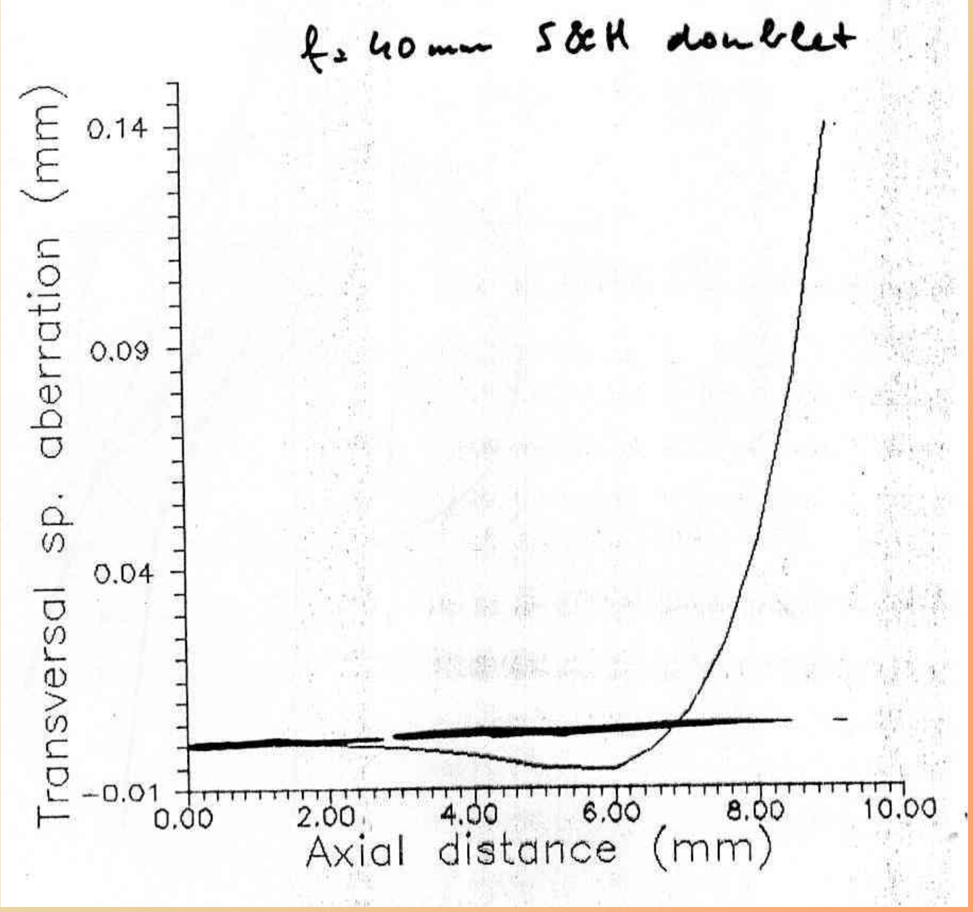
Gömbi hiba (szferikus aberráció)



Gömbi hiba (szferikus aberráció)

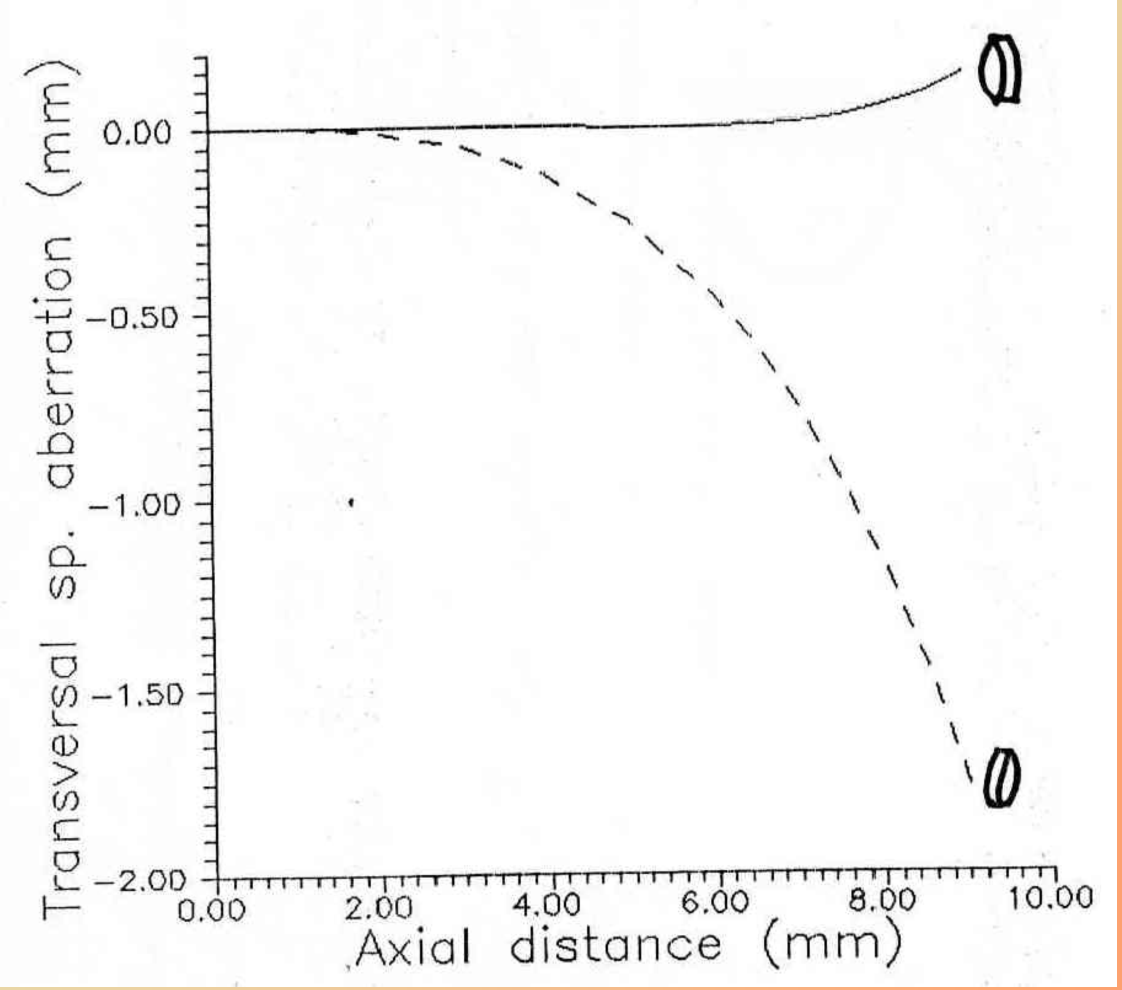
Kompenzálás akromáttal





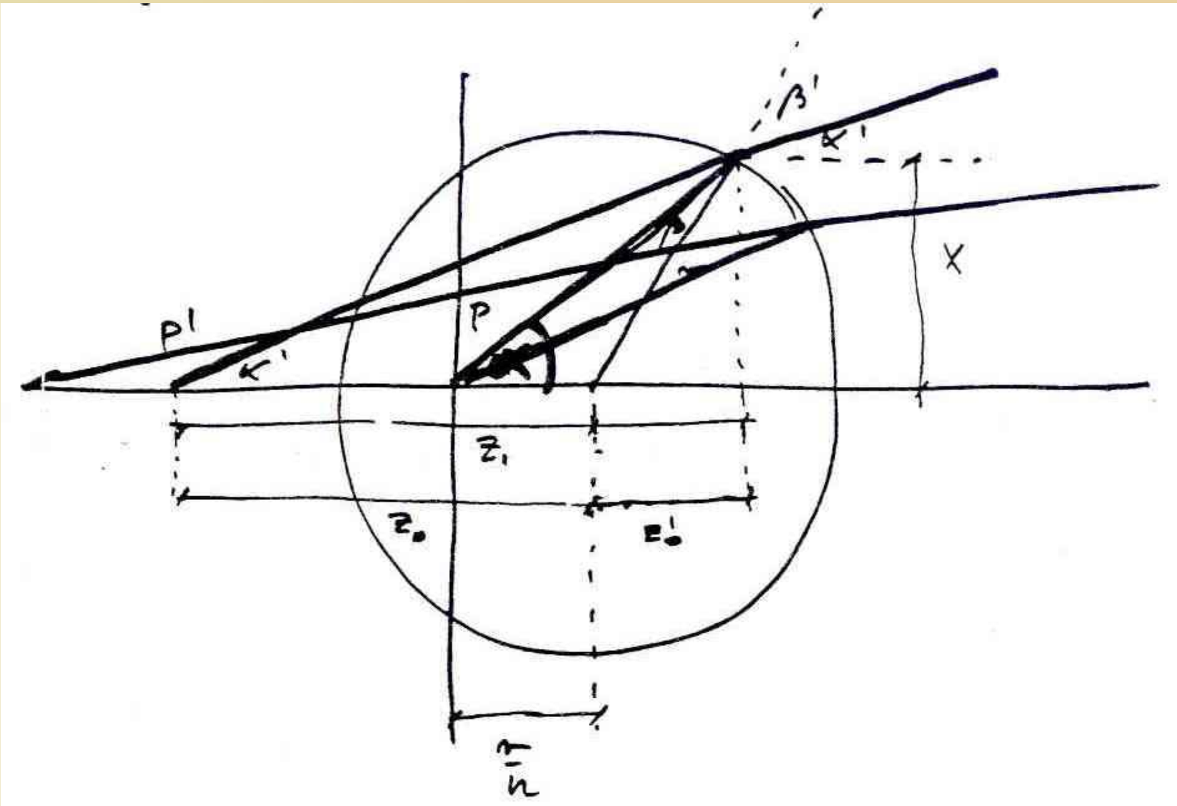
Gömbi hiba (szferikus aberráció)

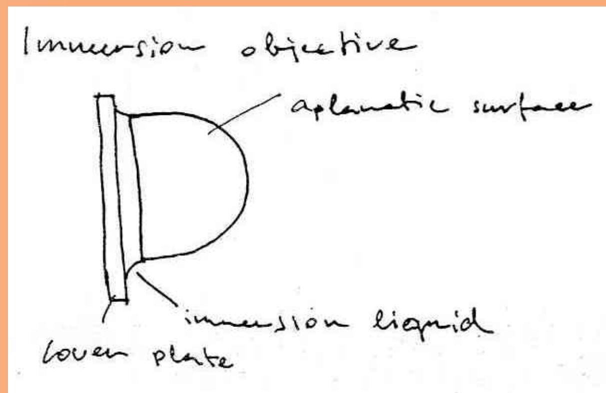
Kompenzálás akromáttal



Gömbi hiba (szferikus aberráció)

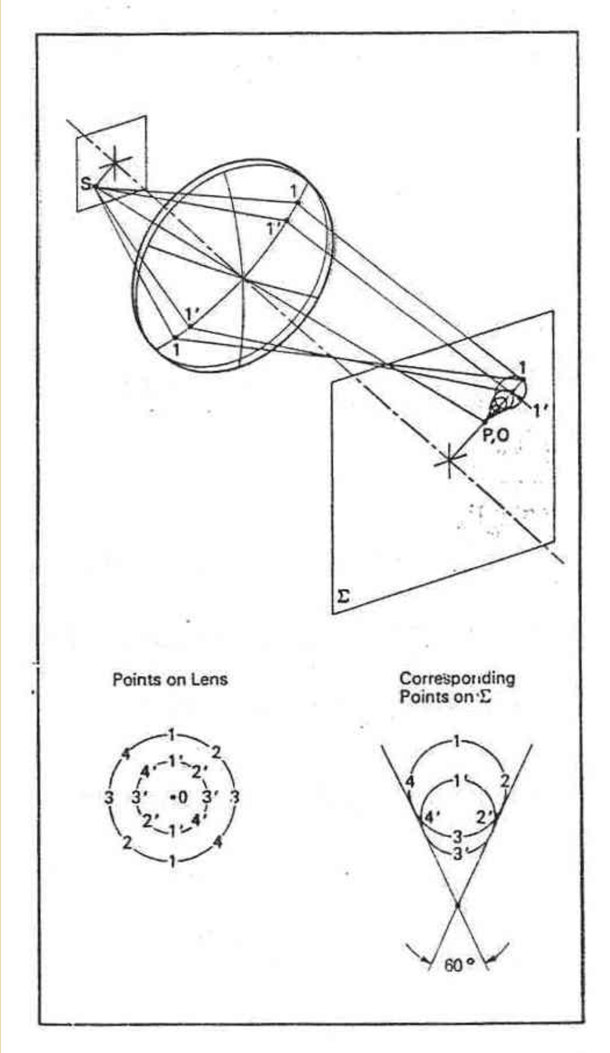
Kompenzálás virtuális kép esetén

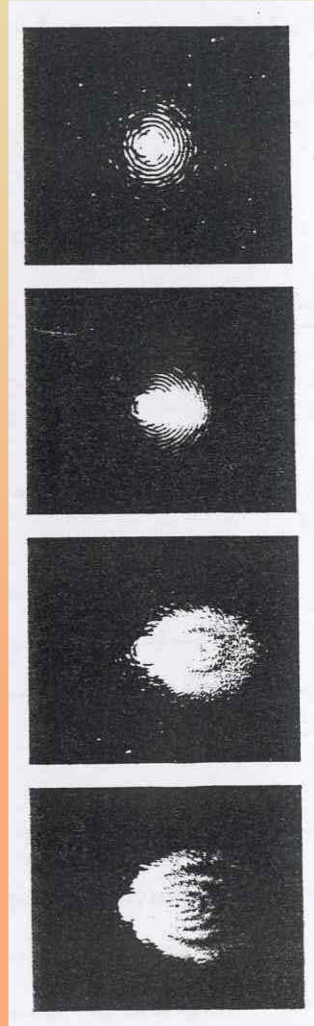




Leképezési hibák tengelyen kívüli pontokra

Kóma





Leképezési hibák tengelyen kívüli pontokra

Asztigmatizmus

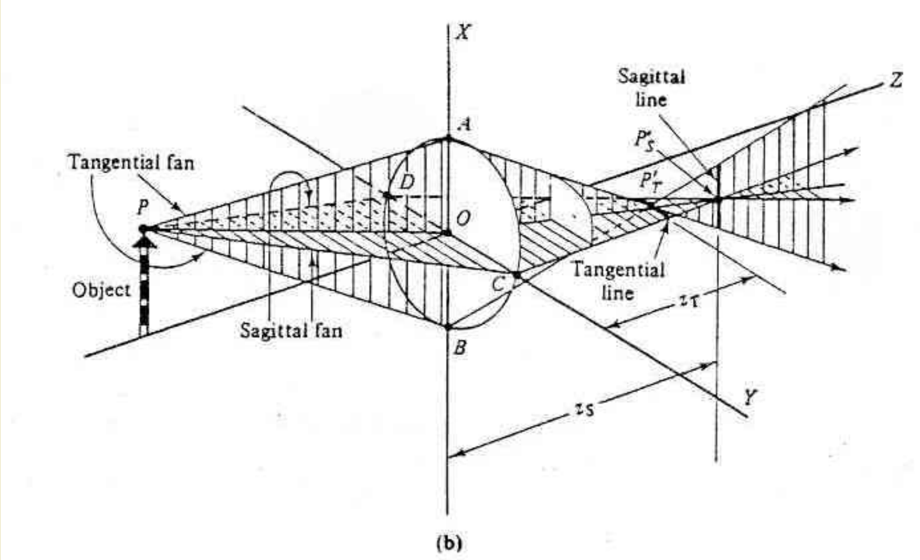
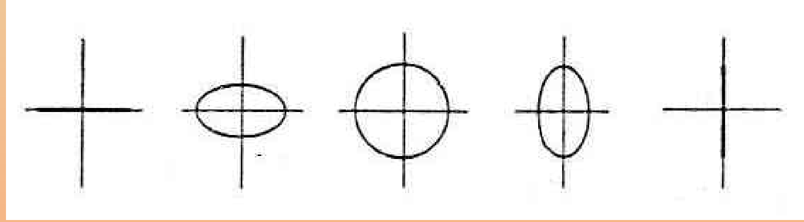
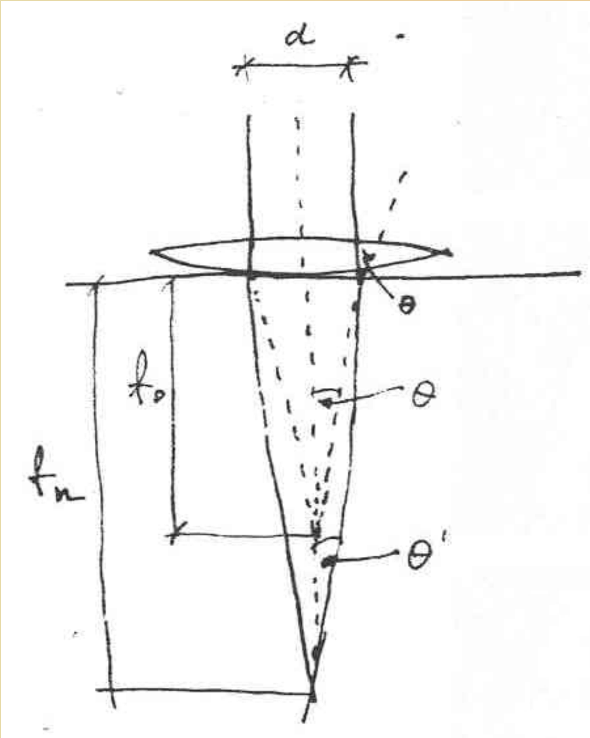


Figure 3-11



Leképezési hibák tengelyen kívüli pontokra

Asztigmatizmus



$$\frac{d}{2} = \Theta f_0$$

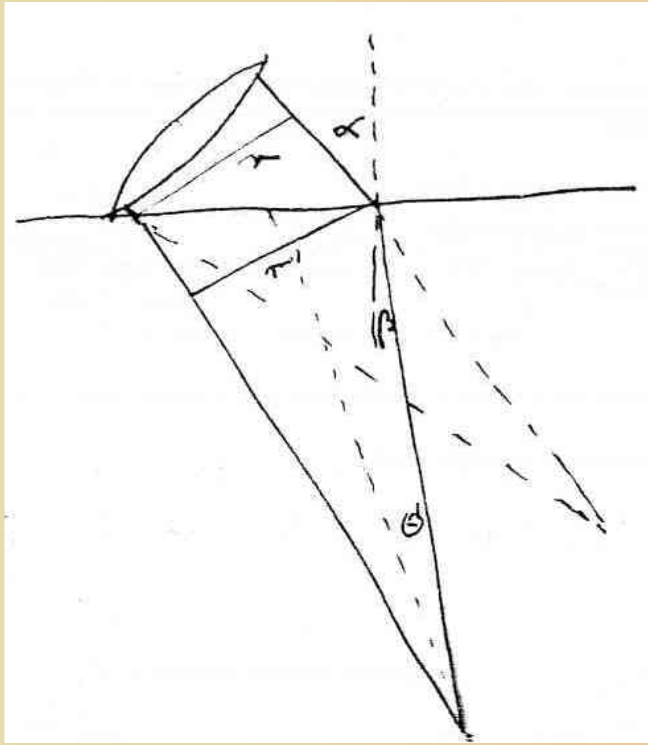
$$\Theta' = \frac{\Theta}{n}$$

$$f_n = \frac{r}{\Theta'} = n\frac{r}{\Theta}$$

$$f_n = nf_0$$

Leképezési hibák tengelyen kívüli pontokra

Asztigmatizmus



Ejtsük a parax. közelítést α-ra

$$\Theta' \neq \frac{\Theta}{n} \qquad\qquad r \neq r'$$

Törési törvény

$$\sin(\alpha + \Delta\alpha) = n\sin(\beta + \Delta\beta)$$

$$\sin\alpha \underbrace{\cos\Delta\alpha}_{\approx 1} + \cos\alpha \underbrace{\sin\Delta\alpha}_{\approx \Delta\alpha} =$$

$$n(\sin\beta \underbrace{\cos\Delta\beta}_{\approx 1} + \cos\beta \underbrace{\sin\Delta\beta}_{\approx \Delta\beta}$$

Leképezési hibák tengelyen kívüli pontokra

Asztigmatizmus

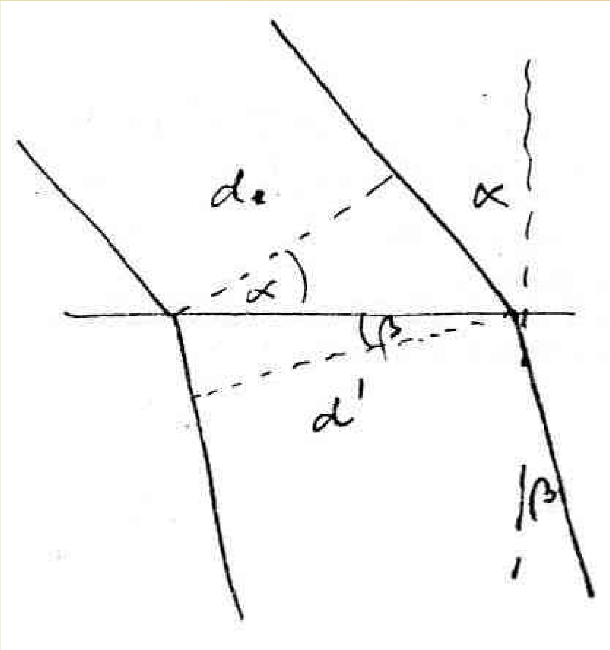
$$\sin\alpha + \Delta\alpha\cos\alpha = n\sin\beta + n\cos\beta\Delta\beta$$
$$= \sin\alpha$$

$$\Delta\beta = \Delta\alpha\frac{\cos\alpha}{n\cos\beta}$$

$$\Theta' = \Theta\frac{\cos\alpha}{n\cos\beta}$$

Leképezési hibák tengelyen kívüli pontokra

Asztigmatizmus



Másik jelenség: nyaláb szélesedés

$$\frac{d_0}{\cos\alpha} = \frac{d'}{\cos\beta}$$

$$d' = d_0 \frac{\cos\beta}{\cos\alpha}$$

Leképezési hibák tengelyen kívüli pontokra

Asztigmatizmus

Az új fókusz *z* irányban

$$f_{nz} = \frac{d'}{2}\frac{1}{\Theta'} = \frac{d_0}{2}\frac{\cos\beta}{\cos\alpha}\frac{n\cos\beta}{\cos\alpha}\frac{1}{\Theta_0} \qquad \Theta_0 = \frac{d_0}{2f_0}$$

$$f_{nz} = f_0 n \frac{\cos^2\beta}{\cos^2\alpha}$$

$$f_{ny} = fn$$ **tehát:** $$f_{nz} \neq f_{ny}$$

Leképezési hibák tengelyen kívüli pontokra

Asztigmatizmus

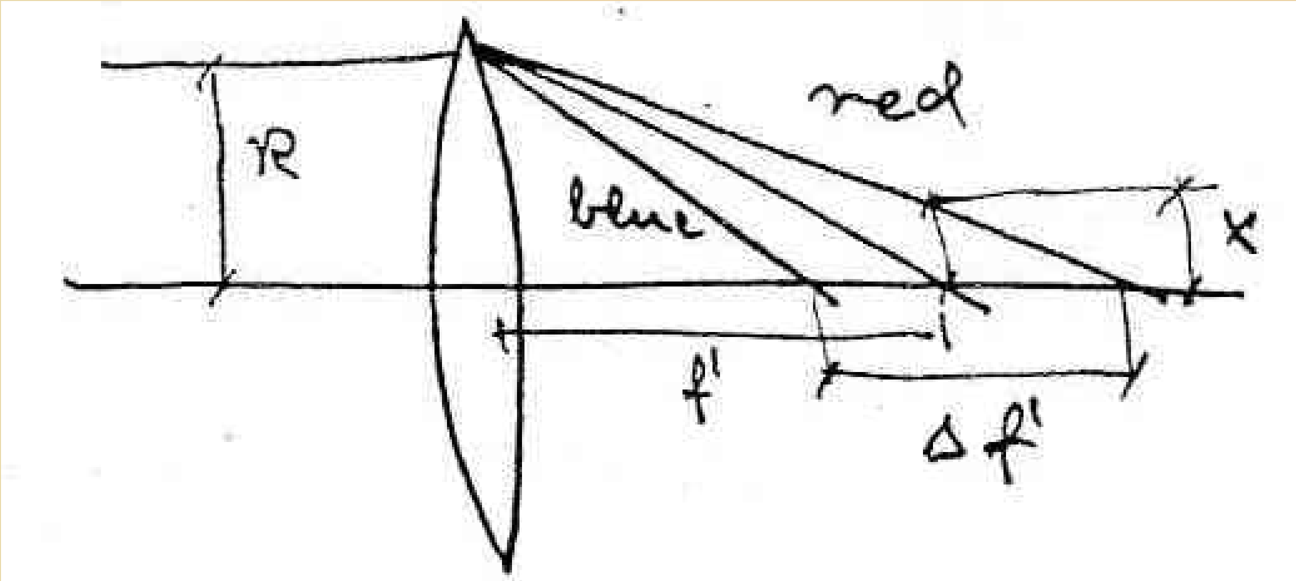
Egy példa: $f_0 = 80mm$ $\alpha = 45^0$ $n = 1{,}5$

$f_{ny} = 120mm$ $f_{nz} = 187mm$

Sugárkövetéssel a pontos eredmény:

$f_{ny} = 124{,}6mm$ $f_{nz} = 188mm$

Színi hiba



Kompenzálás akromáttal