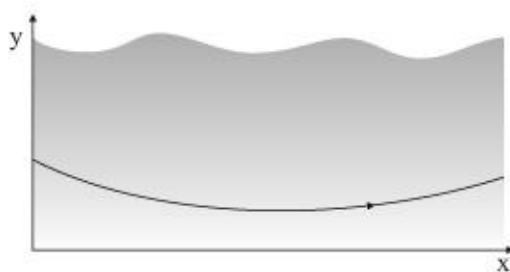
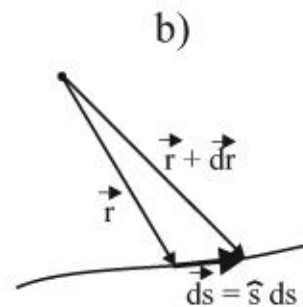
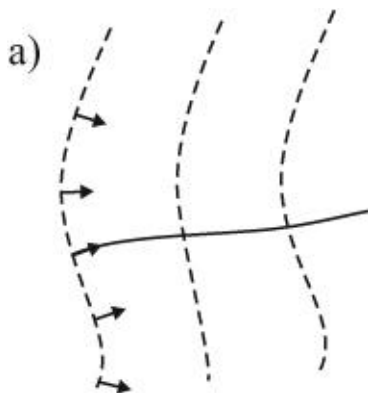
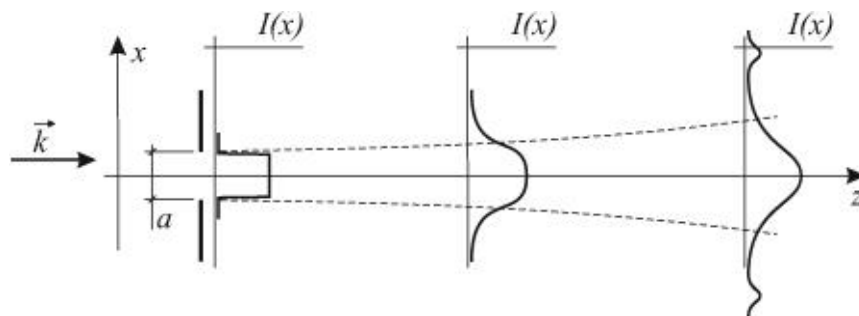




Optyka geometryczna

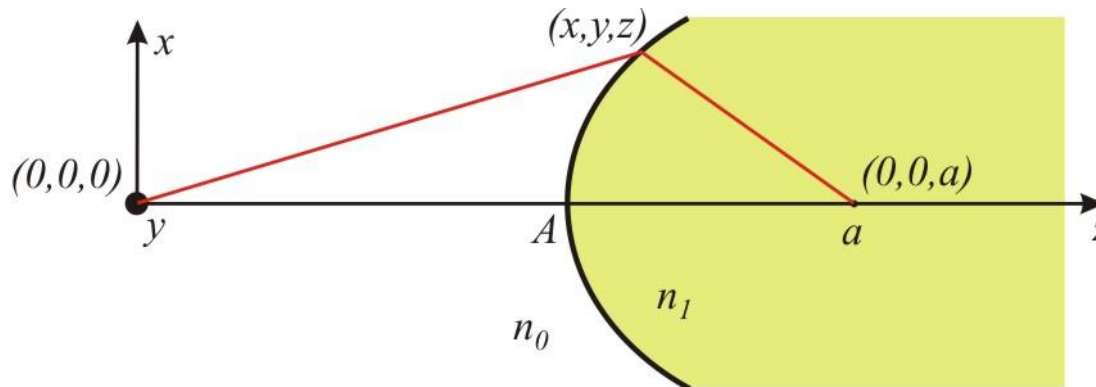
Formalizm macierzy ABCD

Promień światła i optyka geometryczna



Punkty sprzężone, owale Kartezjusza

Czy istnieje powierzchnia rozdzielająca obszary o różnych współczynnikach załamania taka, że droga optyczna między dwoma punktami położonymi po dwóch stronach jest stała?

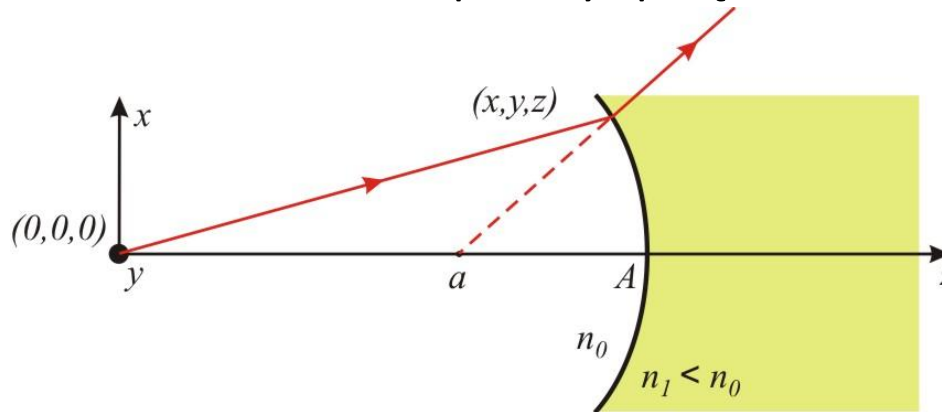


Jeśli jeden z punktów leży bardzo daleko od granicy:

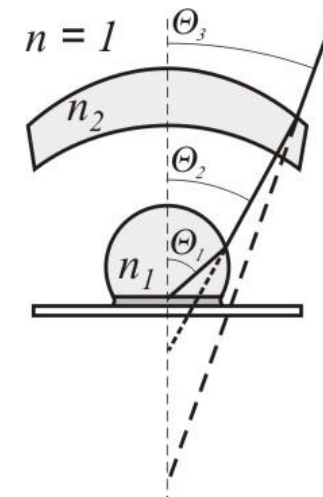
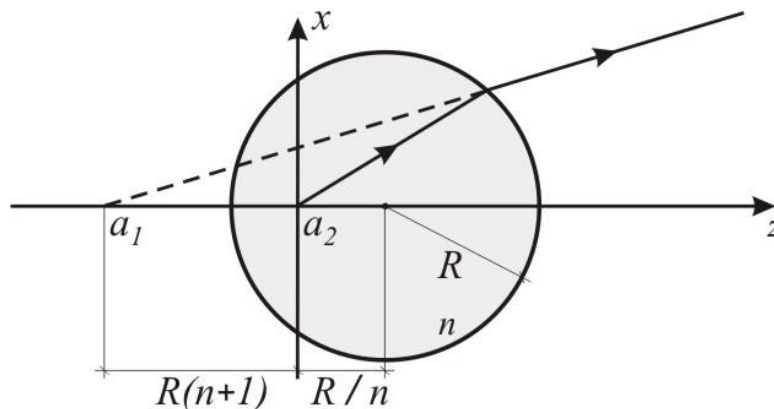
- dla $n_1 > n_0$ – elipsoida obrotowa
- dla $n_1 < n_0$ – hiperboloida obrotowa

Punkty sprzężone, owale Kartezjusza

Mogą też istnieć wirtualne punkty sprzężone

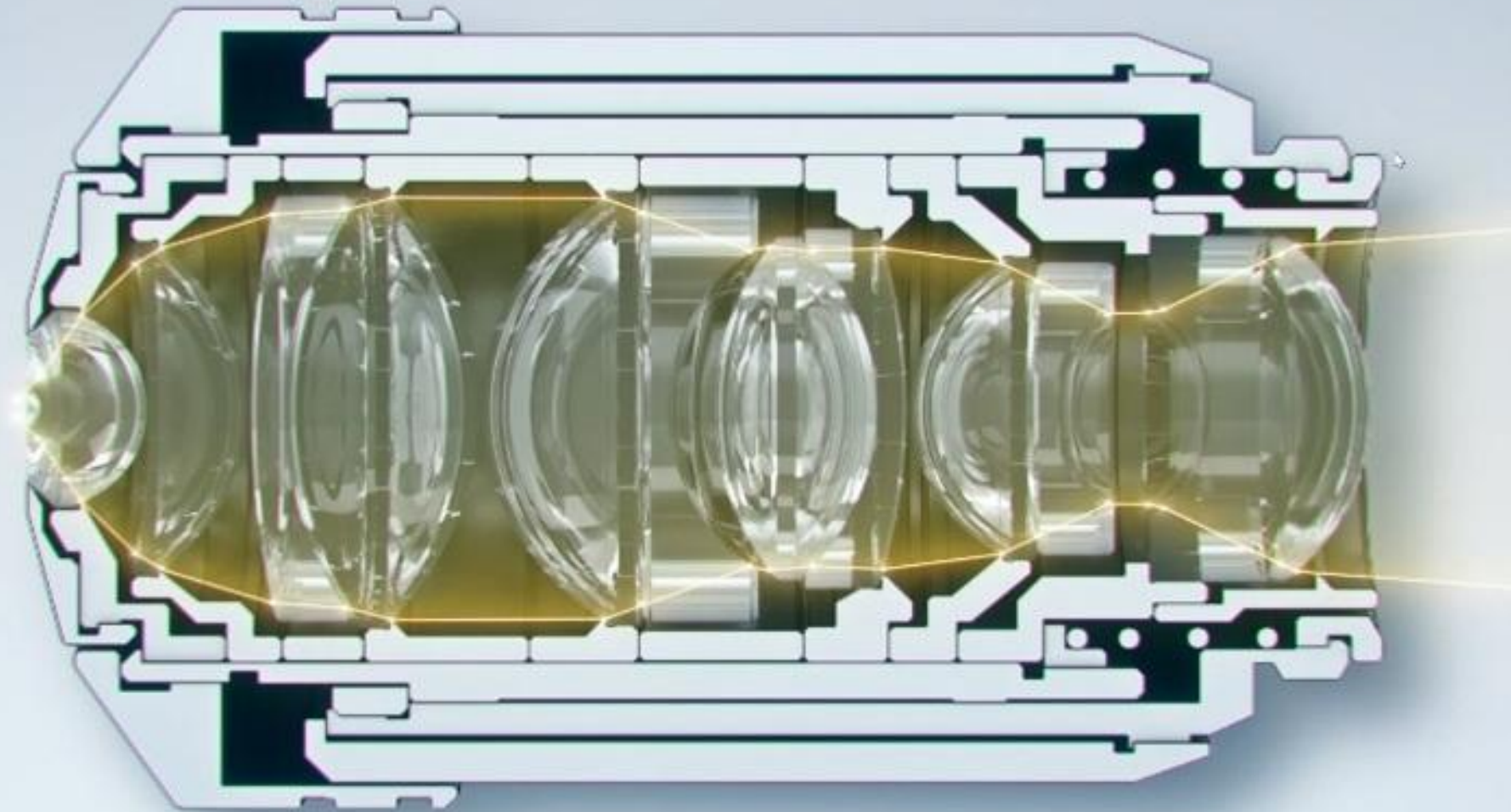


Okazuje się (ćwiczenie do domu), że w tym wypadku powierzchnią spełniającą warunek równych dróg jest **sfera**.

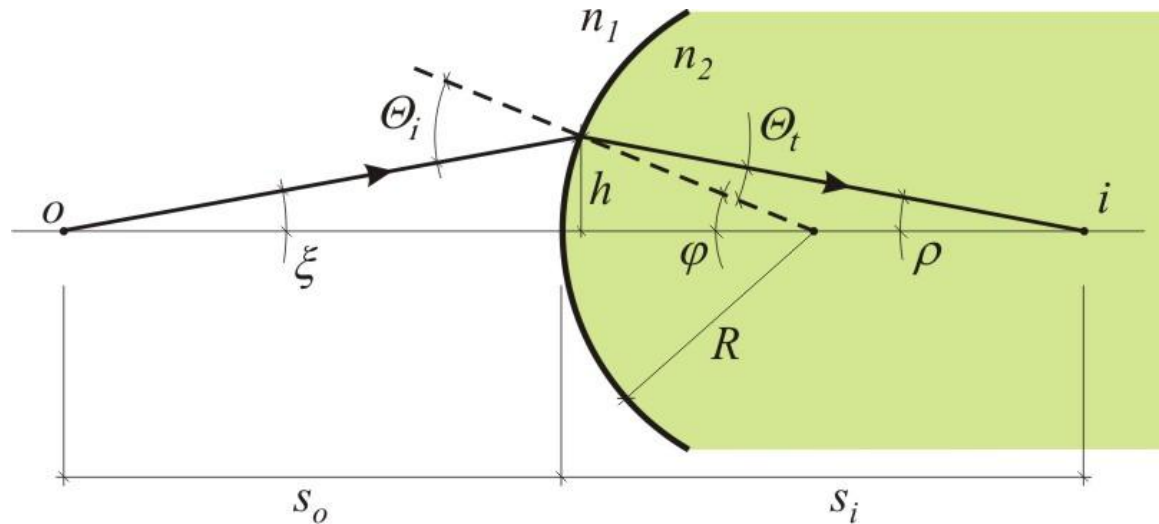


actual lens design

recent objective



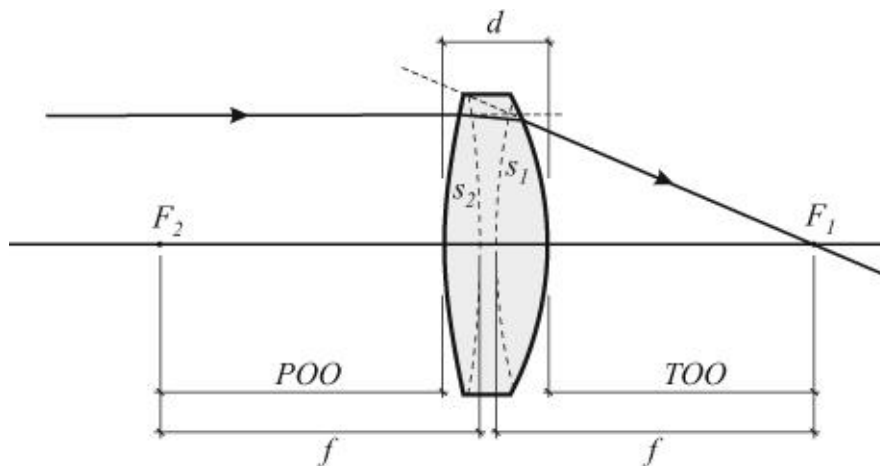
Sferyczna granica między dielektrykami



Stosujemy **przybliżenie przyosiowe** – zastępujemy sinusy i tangensy kątów padania i załamania przez wartości kątów.

$$\frac{n_1}{s_o} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

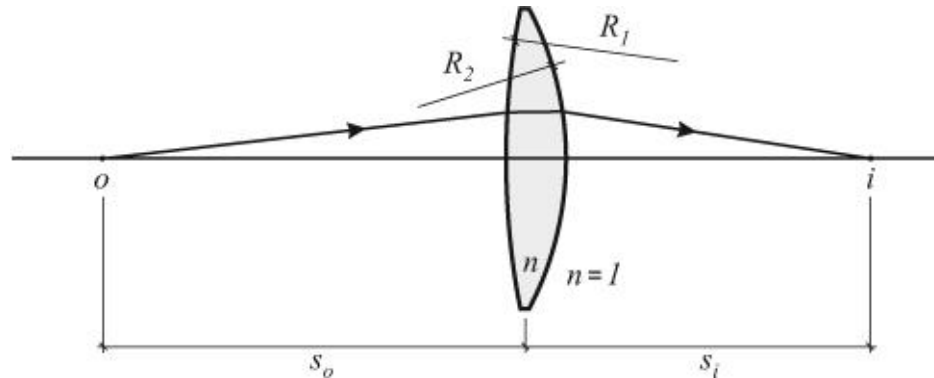
s_i nie zależy od kąta, pod jakim wychodzi promień z punktu O , mamy więc **obrazowanie (imaging)**



Nomenklatura:

$F_{1,2}$	ogniska,
d	grubość soczewki,
f	odległość ogniskowa (albo w skrócie ogniskowa),
$s_{1,2}$	powierzchnie główne,
POO	przednia odległość ogniskowa,
TOO	tylna odległość ogniskowa.

Cienka soczewka w przybliżeniu przyosiowym

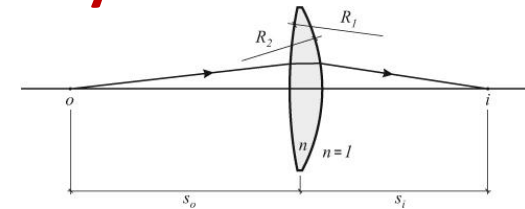


Złożenie dwóch granic między dielektrykami (uwaga na konwencje znaków $R < 0$, $R > 0$) daje

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

Lensmaker's Formula

Cienka soczewka w przybliżeniu przyosiowym



Dla s_0 dążącego do nieskończoności dostajemy ogniskową cienkiej soczewki w przybliżeniu przyosiowym

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

Co można zapisać w postaci *wzoru soczewkowego Gaussa*

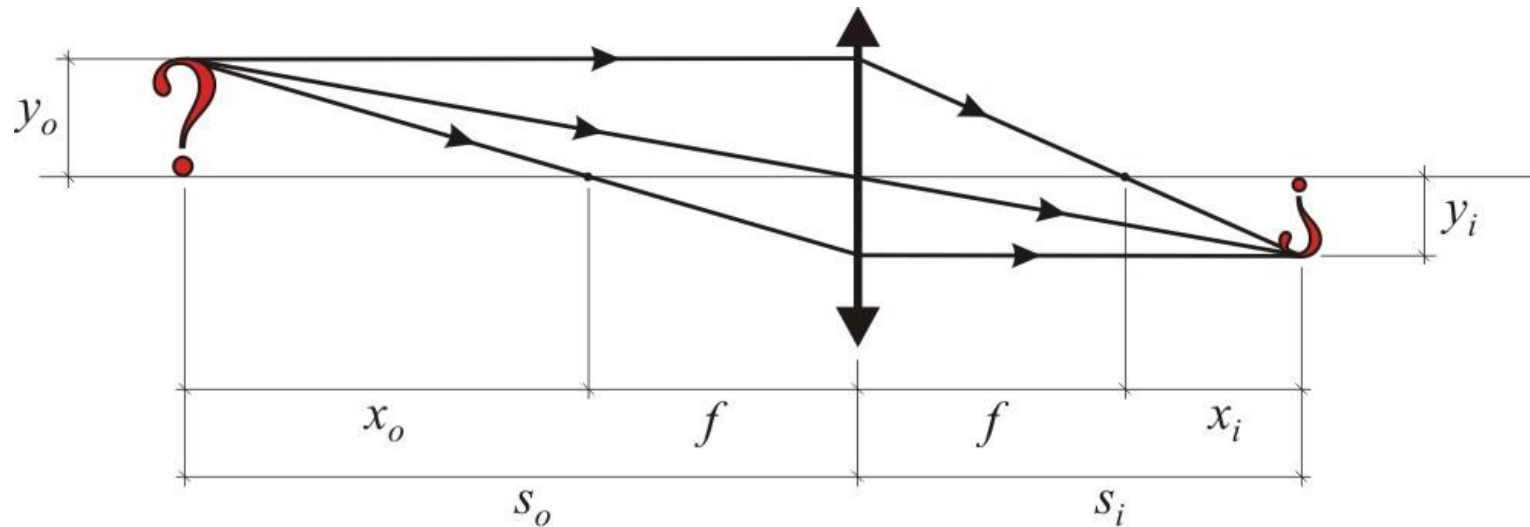
$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$$

Przy pomocy soczewki można wiązkę światła:

- ogniskować (*to focus*)
- kolimować (*to collimate*)

albo tworzyć obrazy (*to image*)

Geometryczna konstrukcja obrazów

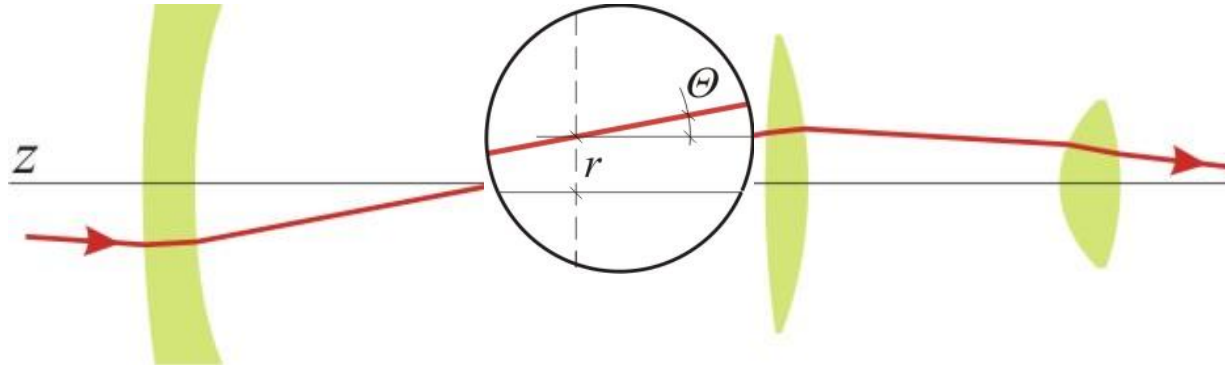


Powiększenie (*magnification*) poprzeczne przy obrazowaniu

$$m_T = \frac{y_i}{y_o} = -\frac{s_i}{s_o} = -\frac{x_i}{f} = -\frac{f}{x_o}$$

... może w ogólności być różne od powiększenie podłużnego.

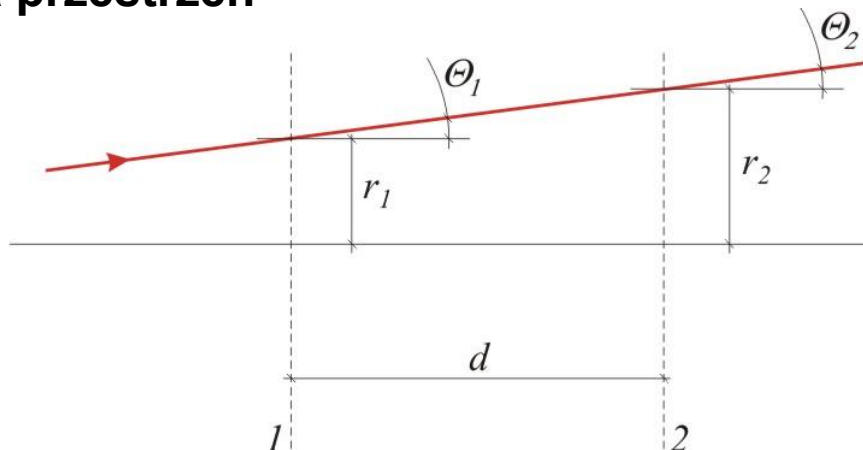
Macierze ABCD w optyce geometrycznej



Pozostajemy w przybliżeniu przyosiowym.

Na początek coś prostego:

Pusta przestrzeń



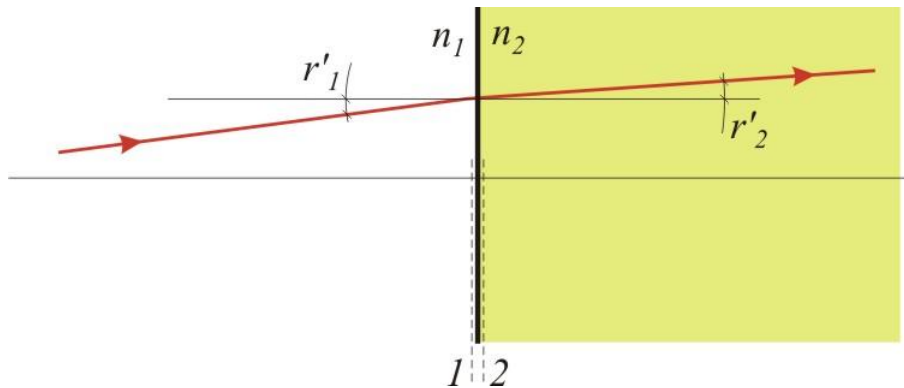
$$r_2 = 1 \cdot r_1 + d \cdot r'_1$$

$$r'_2 = 0 \cdot r_1 + 1 \cdot r'_1$$

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ r'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r'_1 \end{bmatrix}$$

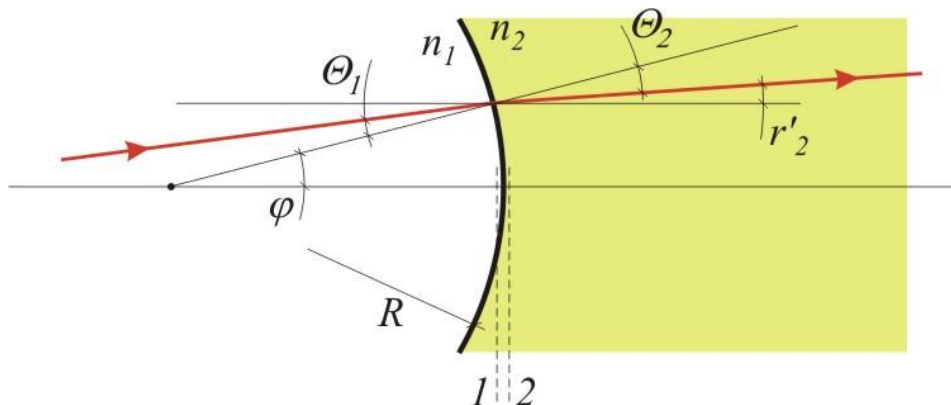
Macierze ABCD w optyce geometrycznej

Płaska granica dwóch dielektryków



$$T_{plane} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & n_1/n_2 \end{bmatrix}$$

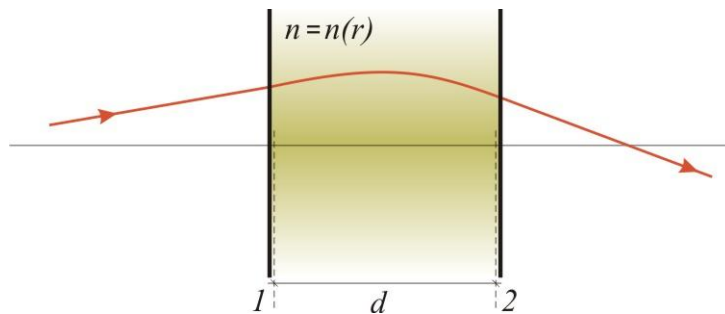
Sferyczna granica dwóch dielektryków



$$T_{sphere} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{R} \frac{n_2 - n_1}{n_2} & \frac{n_1}{n_2} \end{bmatrix}$$

Macierze ABCD w optyce geometrycznej

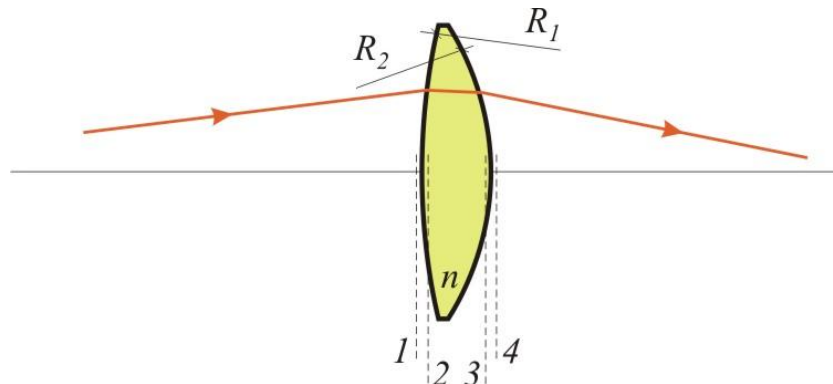
Soczewka GRIN (Graded Refractive INDEX)



$$n(r) = n_0 \left(1 - \frac{a^2 r^2}{2} \right)$$

$$T_{GRIN} = \begin{bmatrix} \cos(ad) & \frac{1}{a} \sin(ad) \\ -a \sin(ad) & \cos(ad) \end{bmatrix}$$

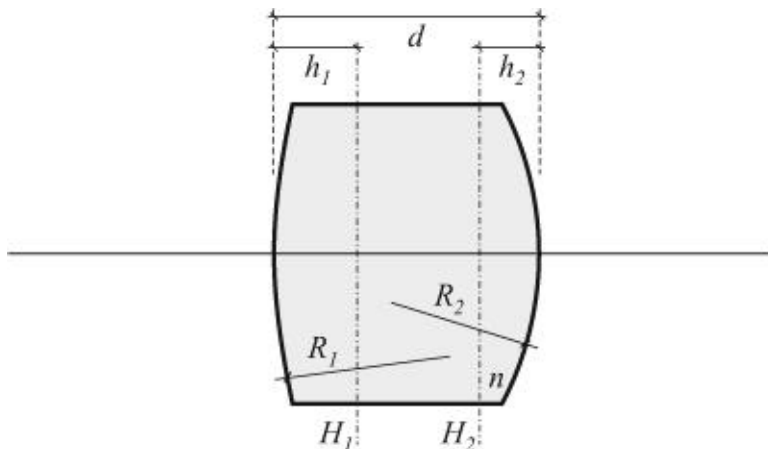
Cienka soczewka – złożenie dwóch sferycznych granic



$$T_{sphere} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{bmatrix}$$

Macierze ABCD w optyce geometrycznej

Gruba soczewka

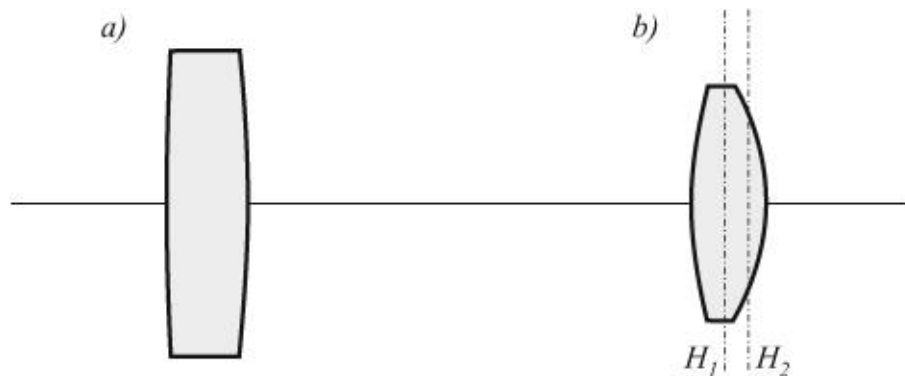


$$T_{gruba} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{n-1}{R_2} & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{n-1}{nR_1} & \frac{1}{n} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{f} = -C = (n-1) \left[\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} - \frac{(n-1)d}{nR_1R_2} \right]$$

Macierze ABCD w optyce geometrycznej

Gruba soczewka



$$f_{cienka} = 0,6667 \text{ m}$$

$$f_{cienka} = 0,08 \text{ m}$$

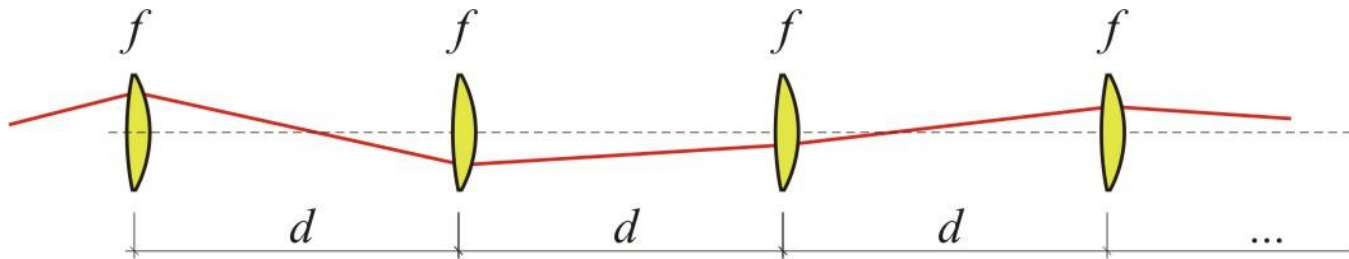
$$f_{gruba} = 0,6676 \text{ m}$$

$$f_{gruba} = 0,0815 \text{ m}$$

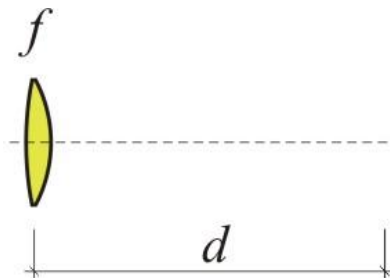
$$f_{raytracing} = 0,0813 \text{ m}$$

Macierze ABCD – analiza okresowego układu optycznego

Przykład: cienkie soczewki o ogniskowej f odległe o d



Komórka elementarna

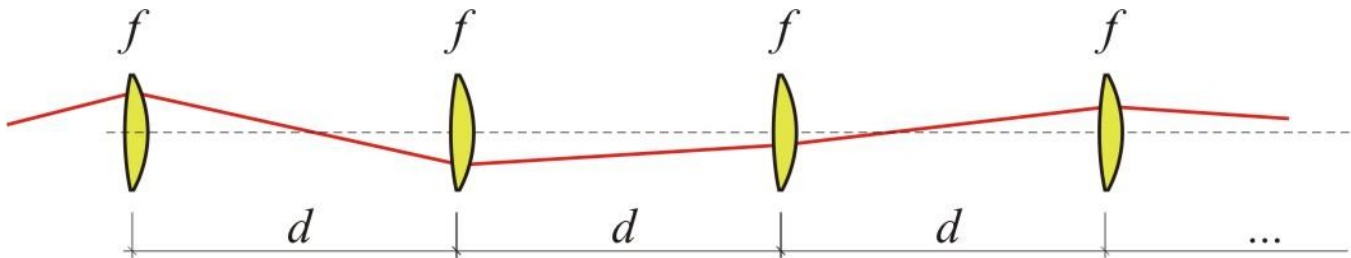


$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

Po N komórkach elementarnych

$$\begin{bmatrix} y_m \\ \theta_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}^N \begin{bmatrix} y_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix}$$

Analiza okresowego układu optycznego – stabilność



Komórka elementarna:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & d \\ -\frac{1}{f} & 1 - \frac{d}{f} \end{bmatrix}$$

Warunek stabilności:

$$-2 \leq 1 + 1 - \frac{d}{f} \leq 2$$

$$0 \leq d \leq 4f$$

actual lens design

recent objective

