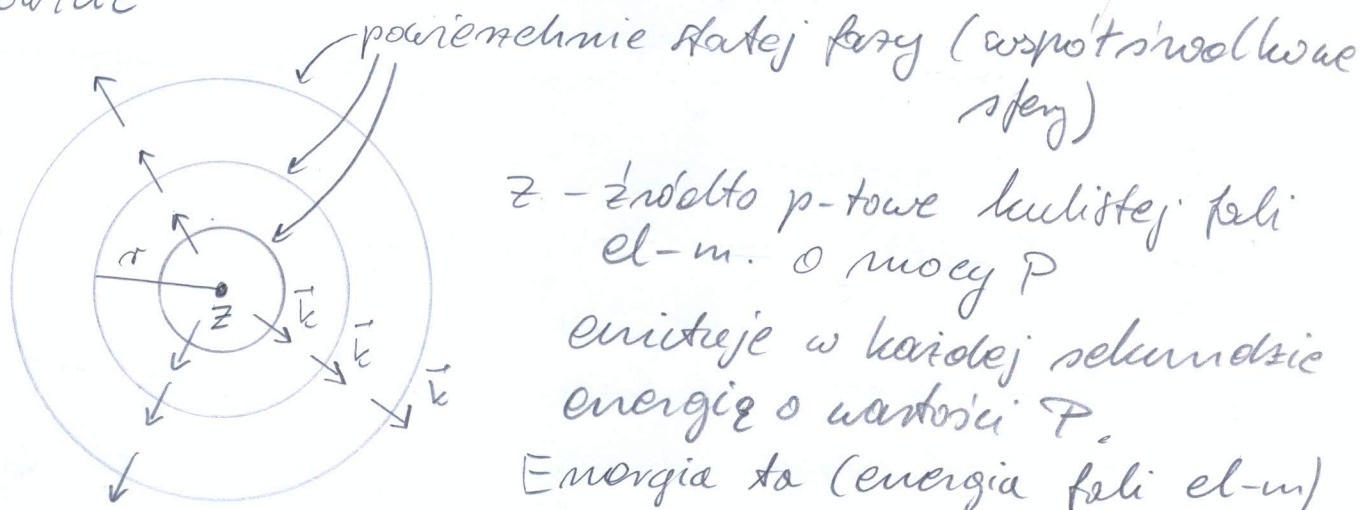


(32)

Gdy fala el-m. jest kulista (tzn. powierzchnie stałej fazy  $\phi(r, t) = \omega t - kr + \phi$  w danej chwili to są sferami) to wtedy na pola  $\vec{E}(\vec{r}, t)$  i  $\vec{B}(\vec{r}, t)$  są b. skomplikowane. Nie przytaczam ich.

Jednak, można łatwo pokazać, że natężenie takiej fali  $I_{\text{kulista}} = \frac{P}{4\pi r^2}$ , gdzie  $P$  - moc źródła punkтового, które emituje kulistą falę el-m.

Mianowicie



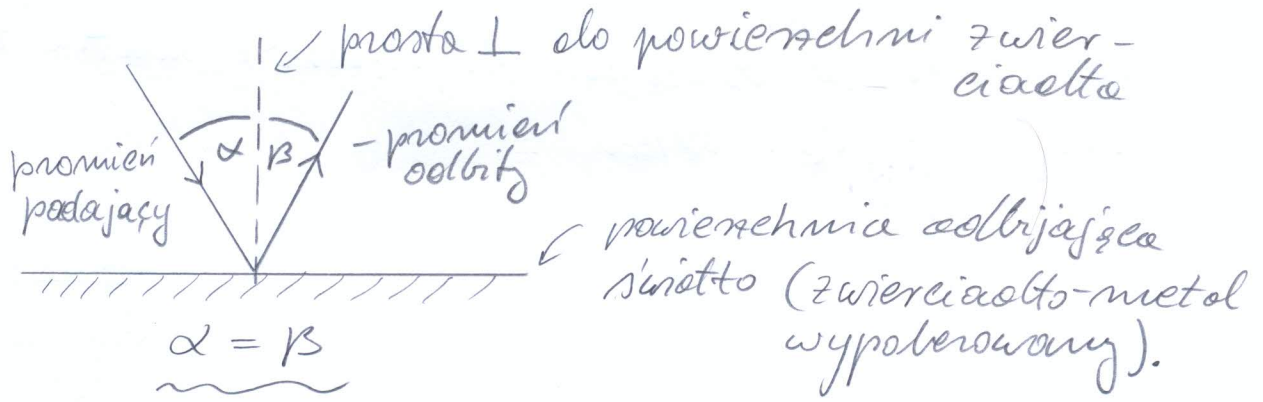
rozprzestrzenia się izotropowo (jednolicie w każdym kierunku) i po drodze nie ginie. Zatem, przez sferę o promieniu  $r$  w każdej sekundzie przechodzi energia o wartości  $P$ .

Energia przechodząca <sup>(w 1 sek.)</sup> przez jednostkę powierzchni sfery o promieniu  $r$ , czyli  $I$ , ma postać:

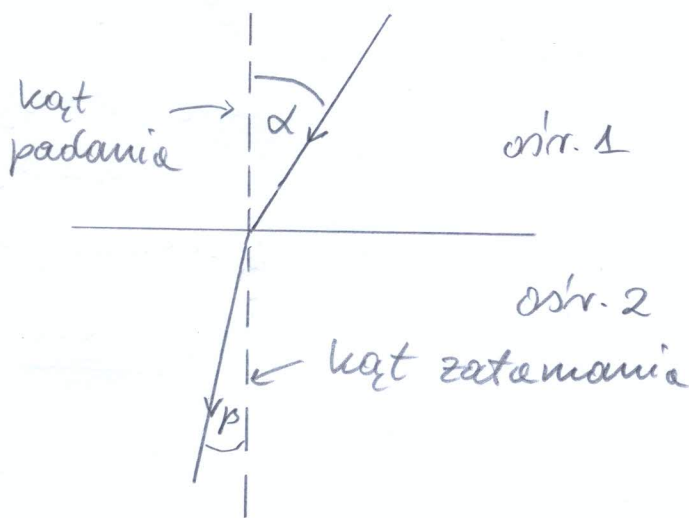
$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Czyli  $I$  maleje z odległością jak  $\frac{1}{r^2}$ .

Wąską wiązkę światła nazywamy promieniem świetlnym. Doświadczenie pokazuje, że promień świetlny padając na odbijającą go powierzchnię wypolerowanego metalu odbija się tak, że kąt padania  $\alpha$  = kątowi odbicia  $\beta$  ( $\alpha = \beta$ )



Rozważmy teraz ośrodek przezroczyste dla światła i płaską powierzchnię która je rozdziela



prawdziwa jest relacja

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta (*)$$

gdzie  $n_1$  i  $n_2$  to tzw. współczynniki załamania ośrodków 1. i ośrodek 2.

Aktualnie skoro  $\alpha > \beta$  to  $n_1 < n_2$ . Gdy jednym z ośrodków jest próżnia, to wtedy  $n = 1$ . Widac zatem, że  $n_1$  i  $n_2$  to współczynniki załamania światła ośrodków 1 i 2 względem próżni.

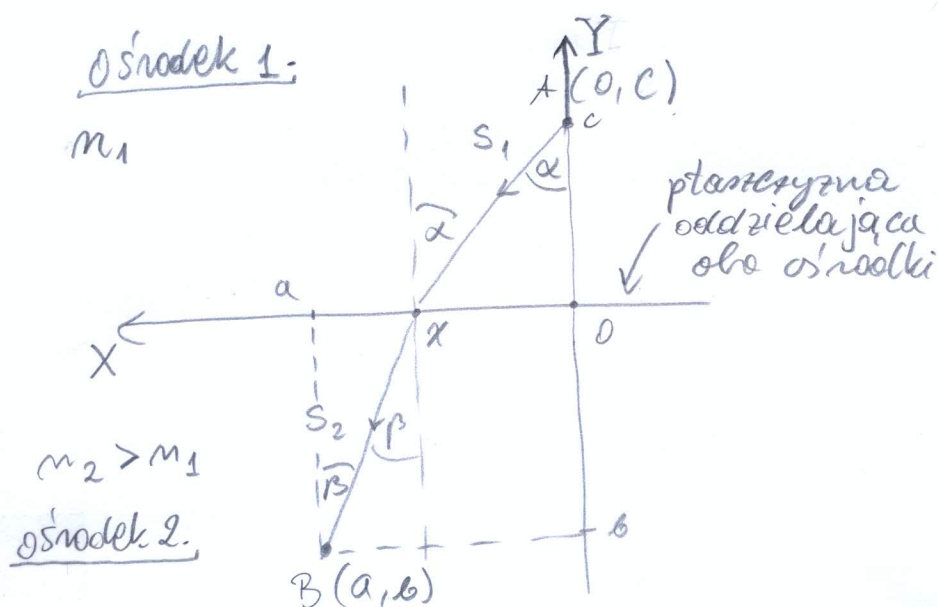
(r. \*) przyjmuje postać  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$  - prawo załamania światła

Okażuje się, że prawo załamania można wyprowadzić z warunku, że

(34)

Promień świetlny wybierze taką drogę, aby czas dotarcia z p-tu A w ośrodku 1. do punktu B w ośrodku 2. był najkrótszy.

Załóżmy, że w ośrodku 1. prędkość światła to  $v_1$ , w drugim -  $v_2$ . Wtedy



Uwaga:

Gdy ośrodek 1 to próżnia ( $n_1 = 1$ )

wtedy  $v_1 = c$ .

Stąd

$$\frac{c}{v} = \frac{n}{1} \Rightarrow \underline{\underline{v = \frac{c}{n}}}$$

gdzie  $v = v_2$  i

$n = n_2$ .

Ponieważ  $n > 1$

to  $v < c$ .

$$t = t_1 + t_2 = \frac{S_1}{v_1} + \frac{S_2}{v_2}$$

$$S_1 = \sqrt{x^2 + c^2} \quad S_2 = \sqrt{(a-x)^2 + b^2}$$

$$t(x) = \frac{1}{v_1} \sqrt{x^2 + c^2} + \frac{1}{v_2} \sqrt{(a-x)^2 + b^2}$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{S_1} - \frac{1}{v_2} \frac{a-x}{S_2} = 0$$

$\underbrace{\frac{x}{S_1}}_{\sin \alpha} \quad \underbrace{\frac{a-x}{S_2}}_{\sin \beta}$

Stąd

$$\frac{\sin \alpha}{v_1} = \frac{\sin \beta}{v_2}$$

lecz

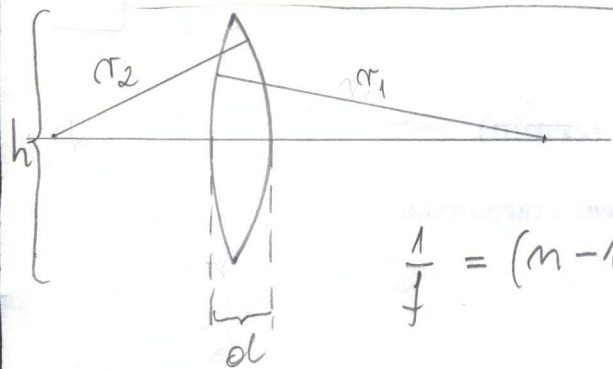
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}}}$$



# Soczewki cienkie ( $d \ll h$ )

(2)

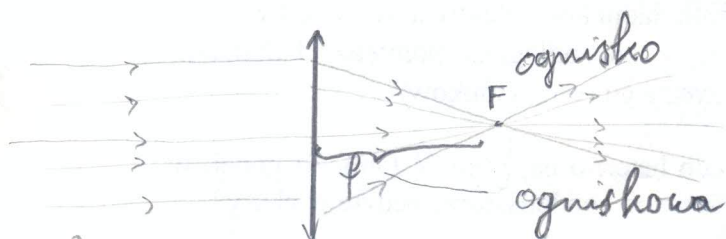


dwie powierzchnie zaokrąglone o promieniach  $r_1$  i  $r_2$

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

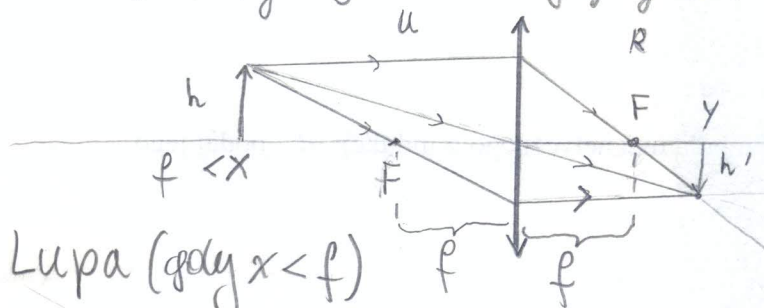
soczewka może być skupiająca ( $f > 0$ ) lub rozpraszająca ( $f < 0$ )

## socz. skupiająca



promienie równoległe (fala płaska)

Obraz rzeczywisty odwrócony gdy  $x > f$

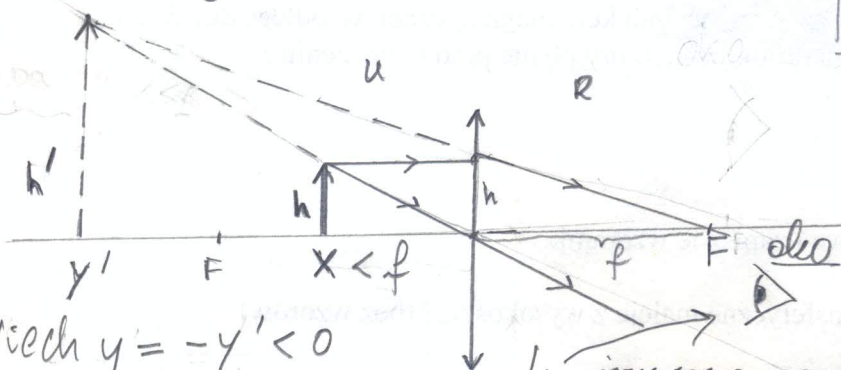


$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{x} &= \frac{h'}{y} \\ \frac{h}{f} &= \frac{h'}{y-f} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}}$$

< obraz rzeczywisty, odwrócony

$$p = \frac{h'}{h} = \frac{y}{x}$$

Lupa (gdy  $x < f$ )



$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{x} &= \frac{h'}{y} \\ \frac{h}{f} &= \frac{h'}{y+f} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{f}{x} = \frac{y+f}{y} = 1 + \frac{f}{y}$$

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{y'} = \frac{1}{f}$$

Stąd  $y' > 0$

Niech  $y = -y' < 0$

$$\text{wtedy } \frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$$

oko przy soczewce widzi obraz na przedłużeniu promieni świetlnych.

## Konwencja:

$y > 0$  gdy obraz po stronie R

$y < 0$  — " — — " — u

powiększenie lupy:

$$\text{Zatem dla lupy } (y < 0) \text{ także } \boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}}$$

lecz  $-y = D$  - odległość dobrego widzenia  $\approx 25 \text{ cm}$

(3)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} - \frac{1}{D} \quad p = \left| \frac{y}{x} \right| = \frac{D}{x} \Rightarrow x = \frac{D}{p}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{p}{D} - \frac{1}{D} = \frac{p-1}{D}, \quad \frac{1}{f} = d \text{ - zdolność skupiająca soczewki, mierzony w dioptriach (dpt)}$$

$$d = \frac{p-1}{D} \rightarrow \boxed{p = dD + 1}$$

$$1 \text{ dpt} = \frac{1}{\text{m}}$$

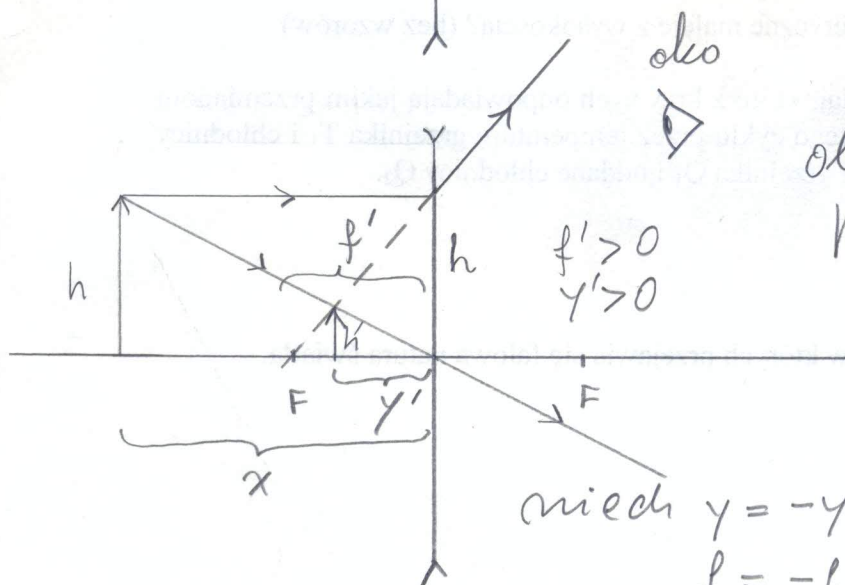
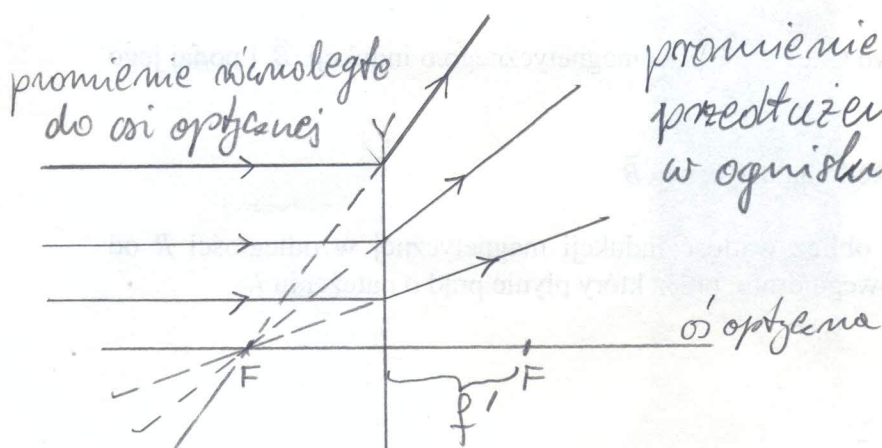
Przykład:

gdy soczewka skupiająca ma ogniskową  $f = 10 \text{ cm}$

$$\text{to } d = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.1 \text{ m}} = 10 \text{ m}^{-1} = 10 \text{ dpt.}$$

(10 dioptrii)

## Soczewka rozpraszająca



obraz pozorny, pomniejszony, prosty

$$\frac{h}{h'} = \frac{x}{x'} = \frac{f'}{f' - x'}$$

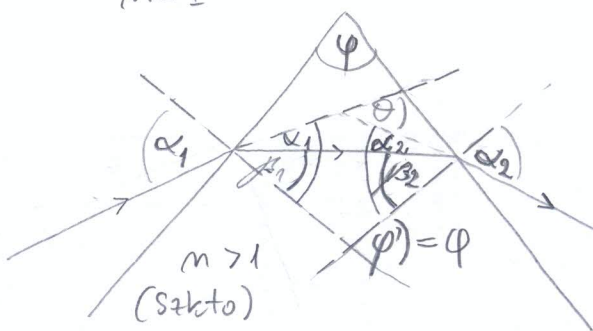
$$\frac{1}{x} - \frac{1}{x'} = -\frac{1}{f'}$$

niech  $y = -y' < 0$   
 $f = -f' < 0$  wtedy  $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$

# Przegląd

proste  
 $n=1$

$$\varphi = \beta_1 + \beta_2$$



$$\theta = (\alpha_1 - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2) =$$

$$= \alpha_1 + \alpha_2 - (\beta_1 + \beta_2) =$$

$$\Rightarrow \theta = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi \quad (*)$$

! Wykaż, że  $\varphi' = \varphi$

$$n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1}$$

$$n = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2}$$

$$\sin \alpha_2 = n \sin \beta_2 = n \sin (\varphi - \beta_1) = n (\sin \varphi \cos \beta_1 - \cos \varphi \sin \beta_1) =$$

$$\sin \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{n}$$

$$\cos \beta_1 = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha_1}{n^2}} = \frac{1}{n} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1}$$

$$\sin \alpha_2 = n \left( \sin \varphi \frac{1}{n} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1} - \cos \varphi \cdot \frac{\sin \alpha_1}{n} \right) =$$

$$= \sin \varphi \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1} - \cos \varphi \sin \alpha_1 \Rightarrow \underline{\alpha_2 = \alpha_2(\alpha_1, \varphi)}$$

przyjmijmy szkiełko szkiełko  $n = n(\lambda)$

Wtedy mamy  $\alpha_1$  i  $\varphi$ :

$$\alpha_2 = \varphi n - \alpha_1 \quad \text{bo } \sin^2 \alpha_1 \approx 0$$

stad

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \varphi n \quad \text{oraz } (*)$$

$$\underline{\theta = \varphi n - \varphi = \varphi(n-1)}$$