

OPTYKA GEOMETRYCZNA

Optyka – dział fizyki, zajmujący się badaniem natury światła, prawami opisującymi jego emisję, rozchodzenie się, oddziaływanie z materią oraz pochłanianie przez materię.

Optyka falowa:

- światło jest falą elektromagnetyczną
- fundamentem optyki falowej są równania Maxwella opisujące zjawiska elektromagnetyczne
- falowa natura światła ujawnia się w interferencji, dyfrakcji i polaryzacji

Optyka geometryczna:

- nie wnika naturę w falową światła
- rozchodzenie się światła opisywane jest jako bieg promieni świetlnych (nieskończenie cienka wiązka światła)
- światło rozchodzi się w ośrodkach jednorodnych po liniach prostych
- na granicy ośrodków występuje odbicie lub załamanie światła

Prawa optyki geometrycznej są prawdziwe tylko dla odległości znacznie większych od długości fali!

Optyka kwantowa:

- uwzględnia korpuskularną naturę światła (światło opisywane jako foton – cząstka)

OPTYKA GEOMETRYCZNA

WSPÓŁCZYNNIK ZAŁAMANIA ŚWIATŁA

W próżni światło rozchodzi się z prędkością $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.

W ośrodku materialnym prędkość światła jest mniejsza!

Bezwzględny współczynnik załamania światła:

$$n = \frac{c}{V}$$

Gdzie:

c – prędkość światła w próżni $\left[\frac{m}{s}\right]$,

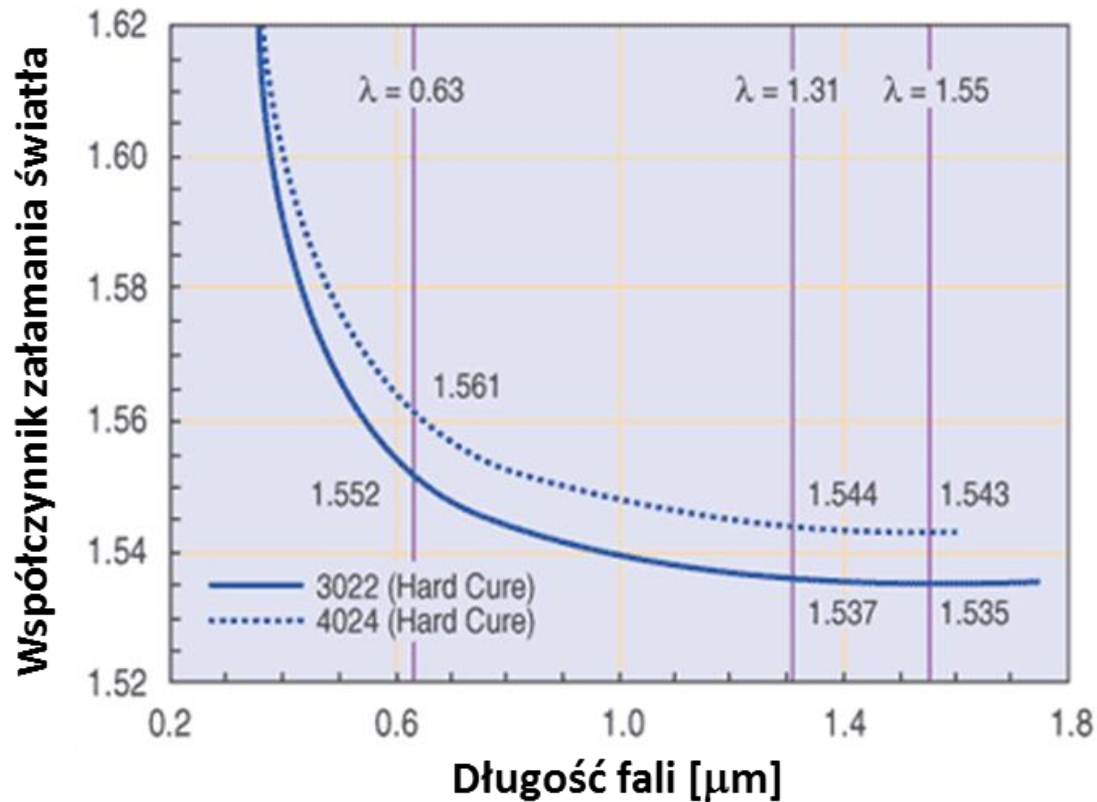
V – prędkość światła w ośrodku $\left[\frac{m}{s}\right]$.

OPTYKA GEOMETRYCZNA

Współczynniki załamania dla światła o długości fali 580 nm

<i>Ośrodek</i>	<i>Współczynnik załamania</i>
<i>próżnia</i>	1
<i>powietrze</i>	1,0003
<i>woda</i>	1,33
<i>szkło crown</i>	1,52
<i>szkło flint</i>	1,66
<i>diament</i>	2,417
<i>plexiglas</i>	1,489

OPTYKA GEOMETRYCZNA

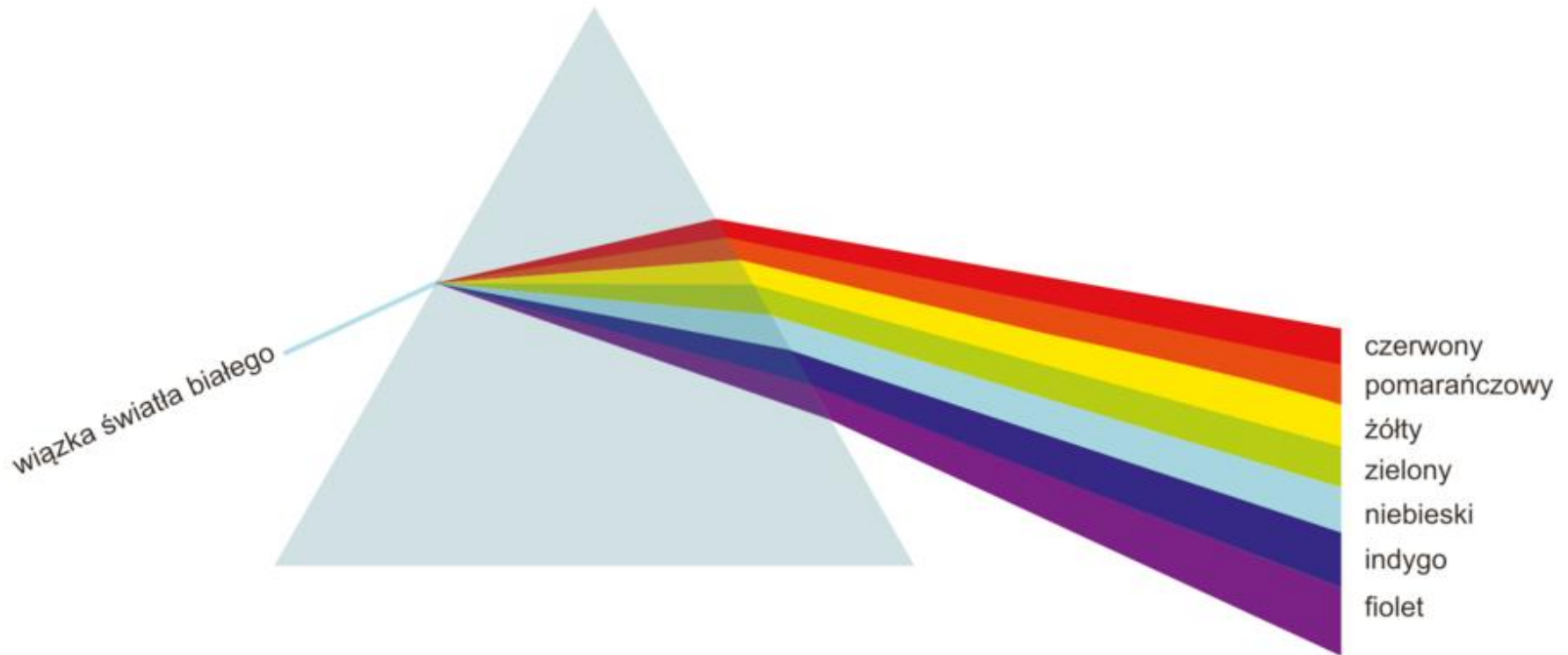


Współczynnik załamania światła i prędkość fali przechodzącej przez ośrodek zależy od długości fali (częstotliwości) światła!

Zwykle ze wzrostem długości (spadkiem częstotliwości) fali świetlnej maleje współczynnik załamania czyli rośnie jej prędkość!

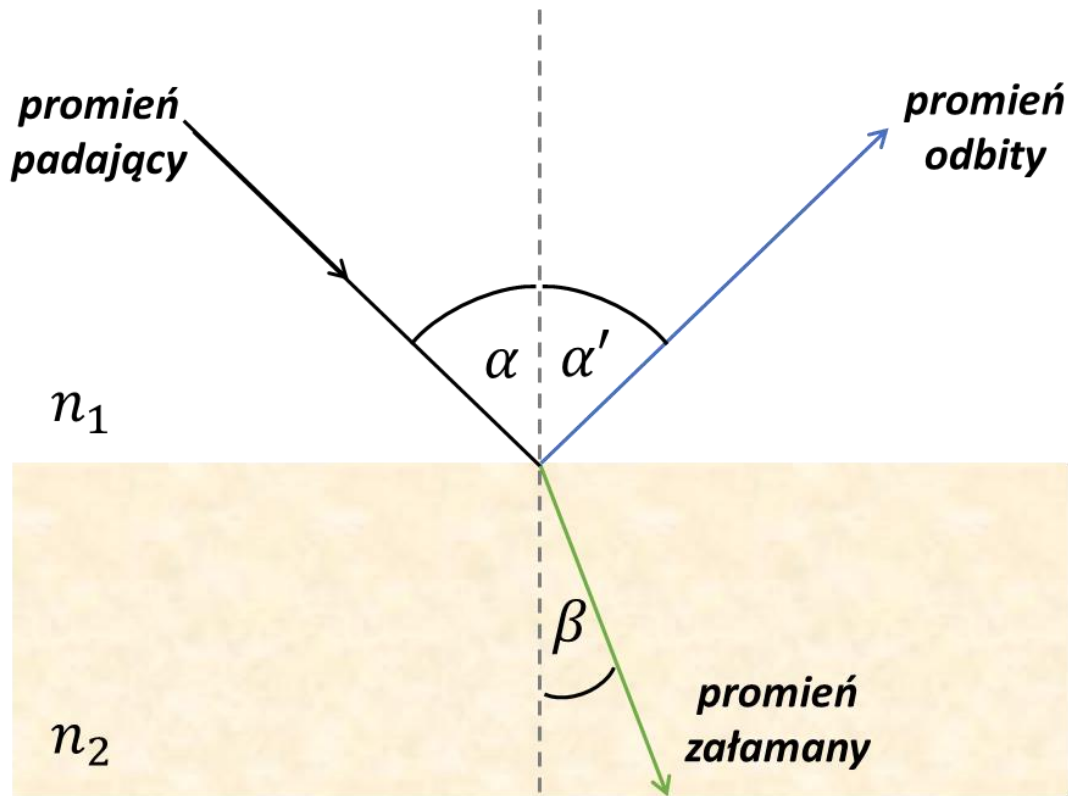
OPTYKA GEOMETRYCZNA

Dyspersja światła – zależność współczynnika załamania ośrodka od częstotliwości fali świetlnej. Dyspersja powoduje, że wiązki światła o różnych długościach fali (barwach), padające na granicę ośrodków pod kątem różnym od zera, załamują się pod różnymi kątami.



OPTYKA GEOMETRYCZNA

ZJAWISKA ZACHODZĄCE NA GRANICY OŚRODKÓW



Gdzie:

α – kąt padania,

α' – kąt odbicia,

β – kąt załamania,

n_1, n_2 – współczynniki załamania ośrodka 1 i 2.

OPTYKA GEOMETRYCZNA

Padając na granicę dwóch ośrodków światło ulega zarówno odbiciu od tej granicy, jak i załamaniu przy przejściu do drugiego ośrodka!

Prawo odbicia:

Promień padający, promień odbity i normalna do granicy ośrodków (w punkcie padania) leżą w jednej płaszczyźnie, a kąt padania jest równy kątowi odbicia.

$$\alpha = \alpha'$$

Prawo załamania:

Stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest równy stosunkowi bezwzględnego współczynnika załamania ośrodka drugiego n_2 do bezwzględnego współczynnika załamania ośrodka pierwszego n_1 .

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$$

**Względny współczynnik
załamania światła**

OPTYKA GEOMETRYCZNA

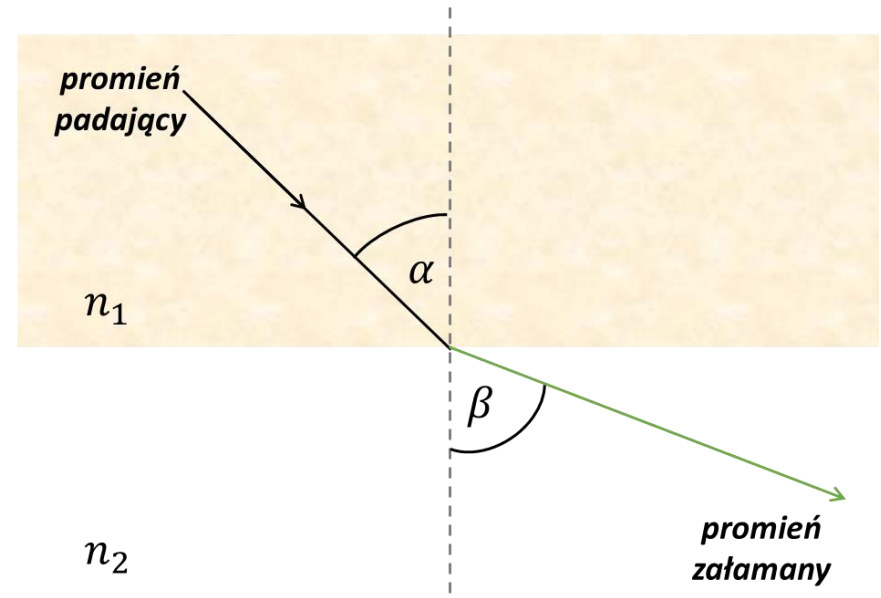
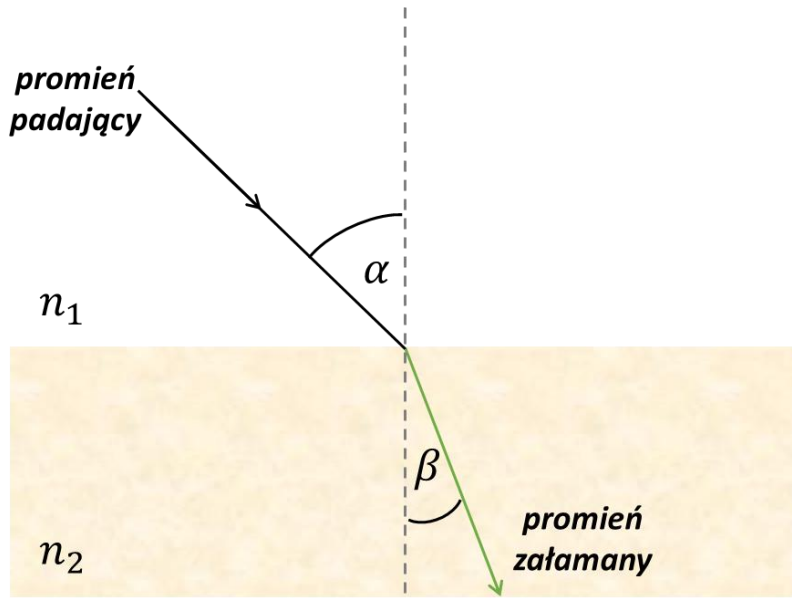
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 = \frac{c}{V_1} \quad n_2 = \frac{c}{V_2}$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

Stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest równy stosunkowi prędkości światła w ośrodku pierwszym V_1 do prędkości światła w ośrodku drugim V_2 !

OPTYKA GEOMETRYCZNA



Jeśli światło przechodzi z ośrodka optycznie rzadszego do gęstszego, to kąt załamania jest mniejszy niż kąt padania!

Jeśli światło przechodzi z ośrodka optycznie gęstszego do rzadszego, to kąt załamania jest większy niż kąt padania!

OPTYKA GEOMETRYCZNA

ZASADA FERMATA

Zasada Fermata – promień świetlny biegnie zawsze po takiej drodze, żeby czas potrzebny na jej pokonanie był najkrótszy.

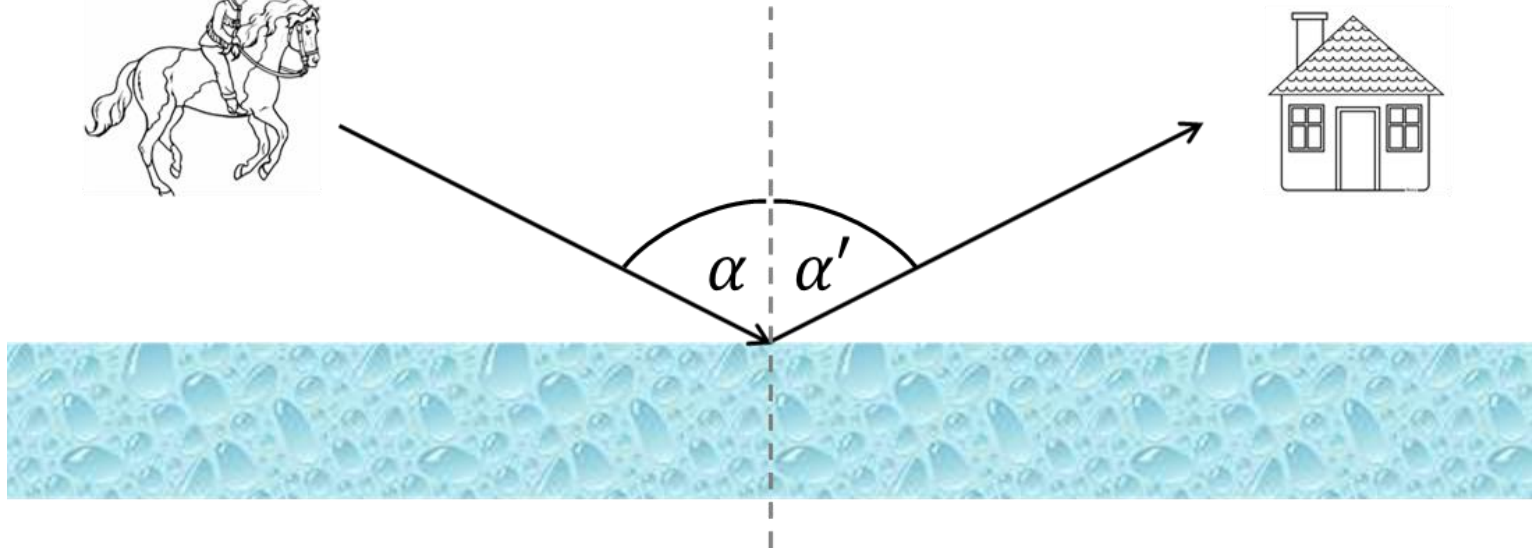
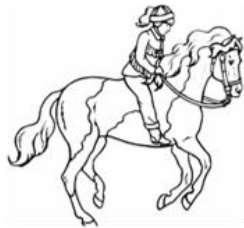
Zgodnie z zasadą Fermata światło w określonym ośrodku będzie poruszało się po linii prostej!

Wykorzystując zasadę Fermata można wyprowadzić prawo odbicia i załamania światła!

OPTYKA GEOMETRYCZNA

Przykład 1.

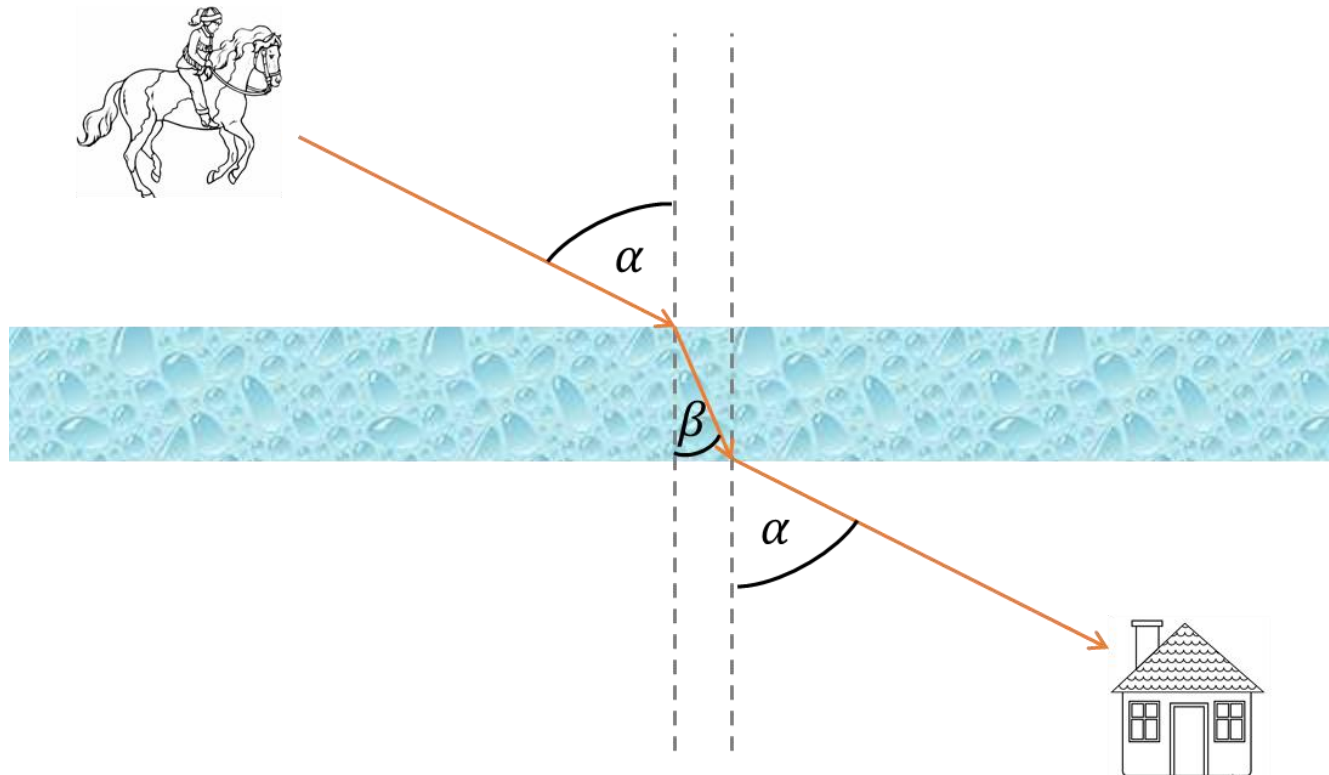
Po jakiej drodze powinien wracać jeździec do domu, aby drogę pokonać w najkrótszym czasie? Warunek: musi wcześniej napoić konia!



OPTYKA GEOMETRYCZNA

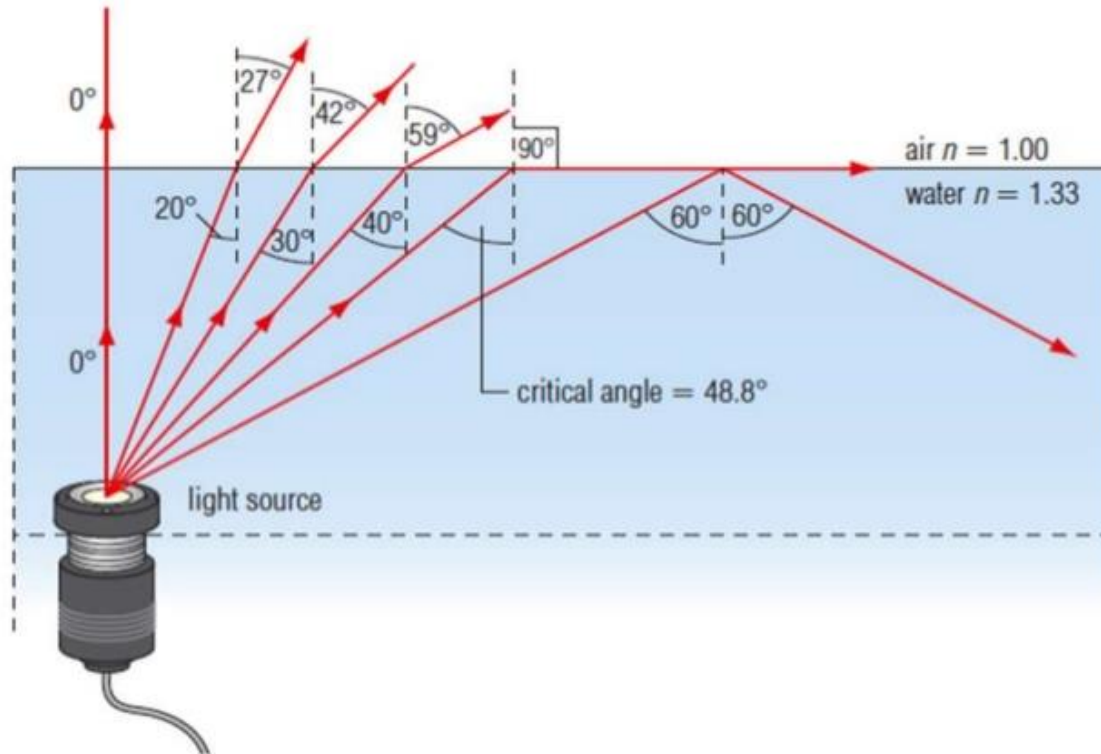
Przykład 2.

A po jakiej drodze teraz (dom znajduje się po drugiej stronie rzeki) powinien wracać jeździec do domu, aby drogę pokonać w najkrótszym czasie?



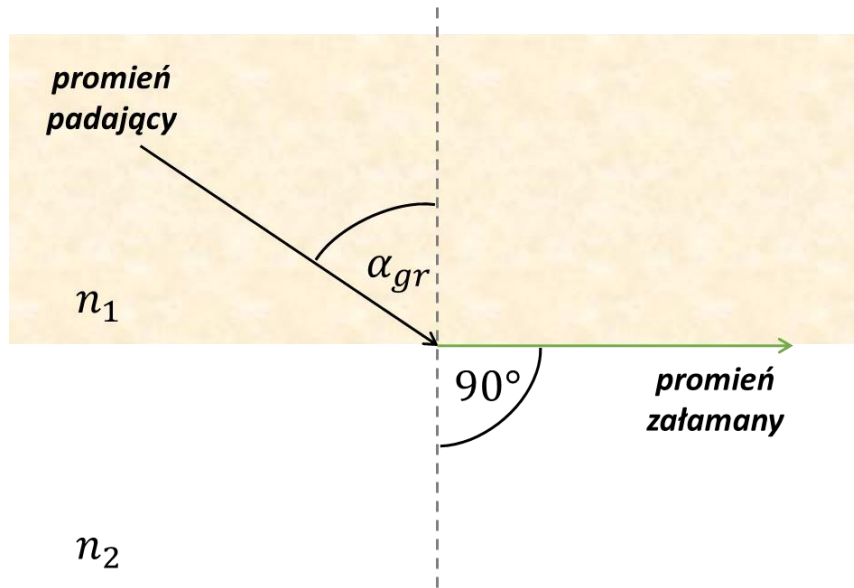
W każdej sytuacji jeździec powinien przemieszczać się tak, jak zgodnie z zasadą Fermata, zachowywało by się światło!

ZJAWISKO CAŁKOWITEGO WEWNĘTRZNEGO ODBICIA



1. Zjawisko może zajść, jeśli promień świetlny przechodzi z ośrodka gęstszego optycznie do ośrodka rzadszego.
2. Dla pewnej wartości kąta padania (kąt graniczny), kąt załamania wynosi 90° i promień załamany biegnie wzdłuż granicy ośrodków.
3. Dla kątów padania większych niż kąt graniczny promień nie ulega załamaniu, tylko odbija się od granicy ośrodków.

KĄT GRANICZNY



$$\frac{\sin \alpha_{gr}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin \alpha_{gr}}{1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \alpha_{gr} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$$

OPTYKA GEOMETRYCZNA

Przykład 3. Promień świetlny pada na kwadratową płytkę szklaną jak na rysunku poniżej. Jaki musi być jej współczynnik załamania, ażeby na prostopadłej ścianie mogło zajść całkowite, wewnętrzne odbicie?

Z prawa załamania:

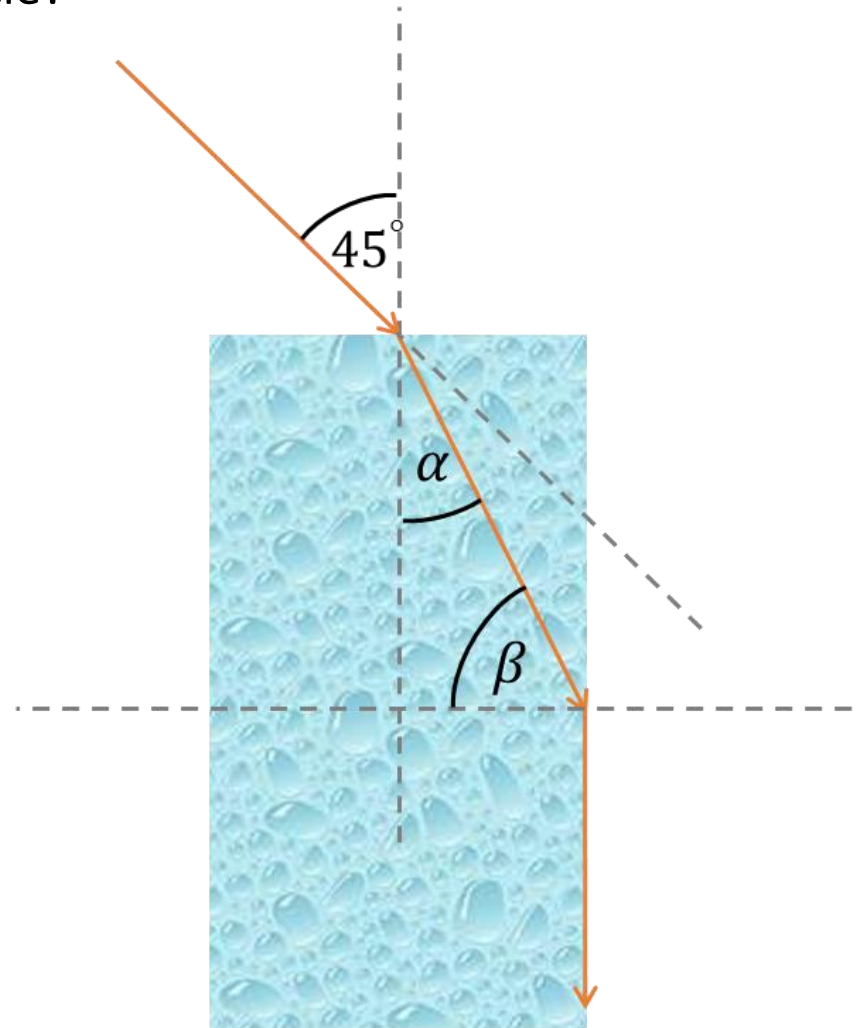
$$\frac{\sin 45^\circ}{\sin \alpha} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin \beta}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\sin \beta = \sin(90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$$

$$\frac{\cos \alpha}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{\sin 45^\circ}{\sin \alpha} = \frac{\sin 90^\circ}{\cos \alpha}$$



OPTYKA GEOMETRYCZNA

$$\frac{\sin 45^\circ}{\sin \alpha} = \frac{\sin 90^\circ}{\cos \alpha}$$

$$\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sin \alpha} = \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,7$$

$$\alpha = \operatorname{arctg}(0,7) \approx 35^\circ$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin \alpha} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 35^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{0,57} \approx 1,23$$

OPTYKA GEOMETRYCZNA

$$\frac{n_2}{n_1} \approx 1,23$$

Dla powietrza:

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 1,23$$

OPTYKA GEOMETRYCZNA

ZWIERCIADŁA

Zwierciadło – powierzchnia, która (niemal) całkowicie odbija padające na nią światło w jednym kierunku, nie rozpraszając go ani nie absorbując.

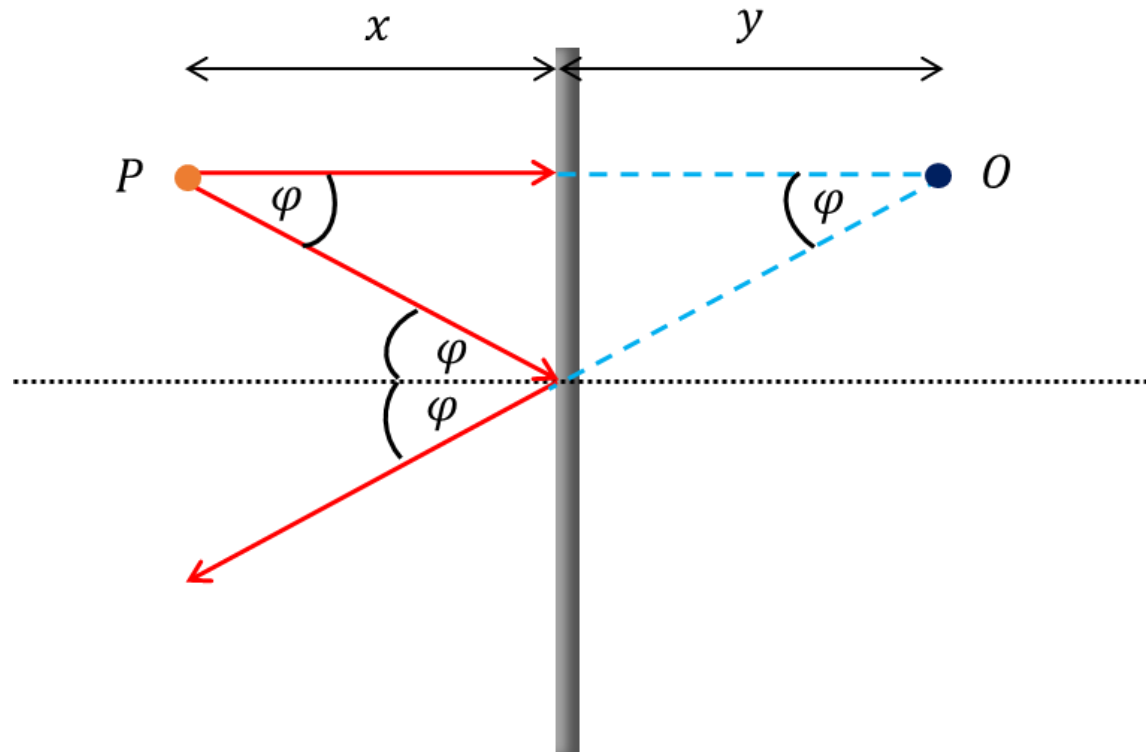
Obraz rzeczywisty – obraz, który otrzymamy, gdy przetną się promienie świetlne po przejściu przez układ optyczny.

Obraz pozorny – obraz, który otrzymamy, gdy przetną się przedłużenia promieni świetlnych po wyjściu z układu optycznego.

OPTYKA GEOMETRYCZNA

ZWIERCIADŁO PŁASKIE

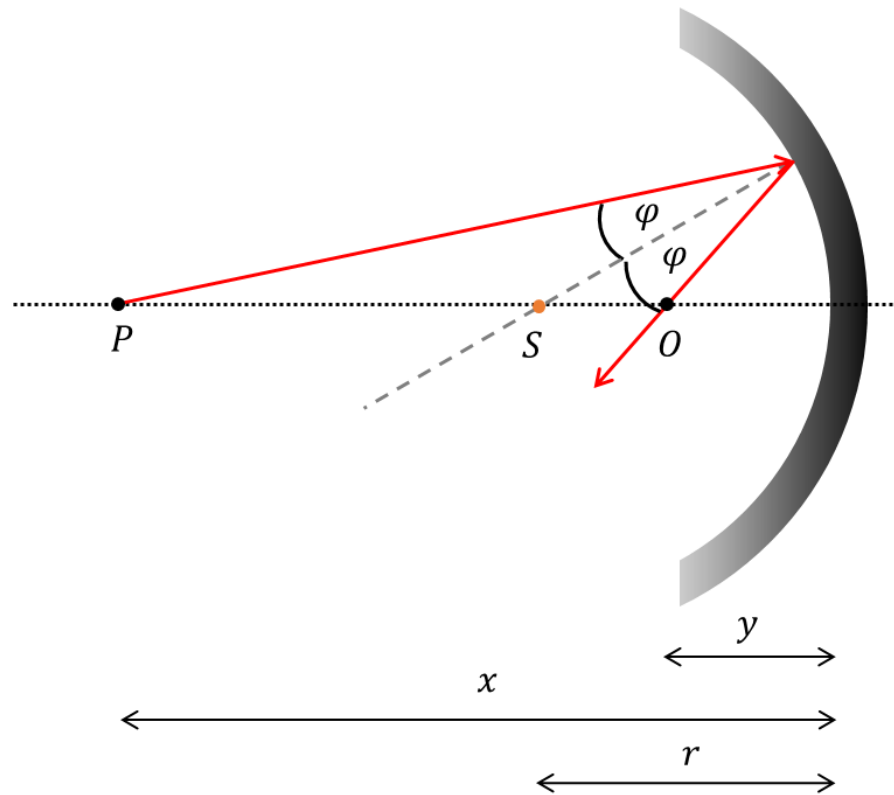
Zwierciadło – odbijająca płaska powierzchnia (np. metalu, szkła), daje obraz pozorny, położony symetrycznie do przedmiotu względem zwierciadła.



OPTYKA GEOMETRYCZNA

ZWIERCIADŁO SFERYCZNE WKŁĘSŁE

Zwierciadło sferyczne (kuliste) wklęsłe – odbijająca wewnętrzna powierzchnia czaszy kulistej.

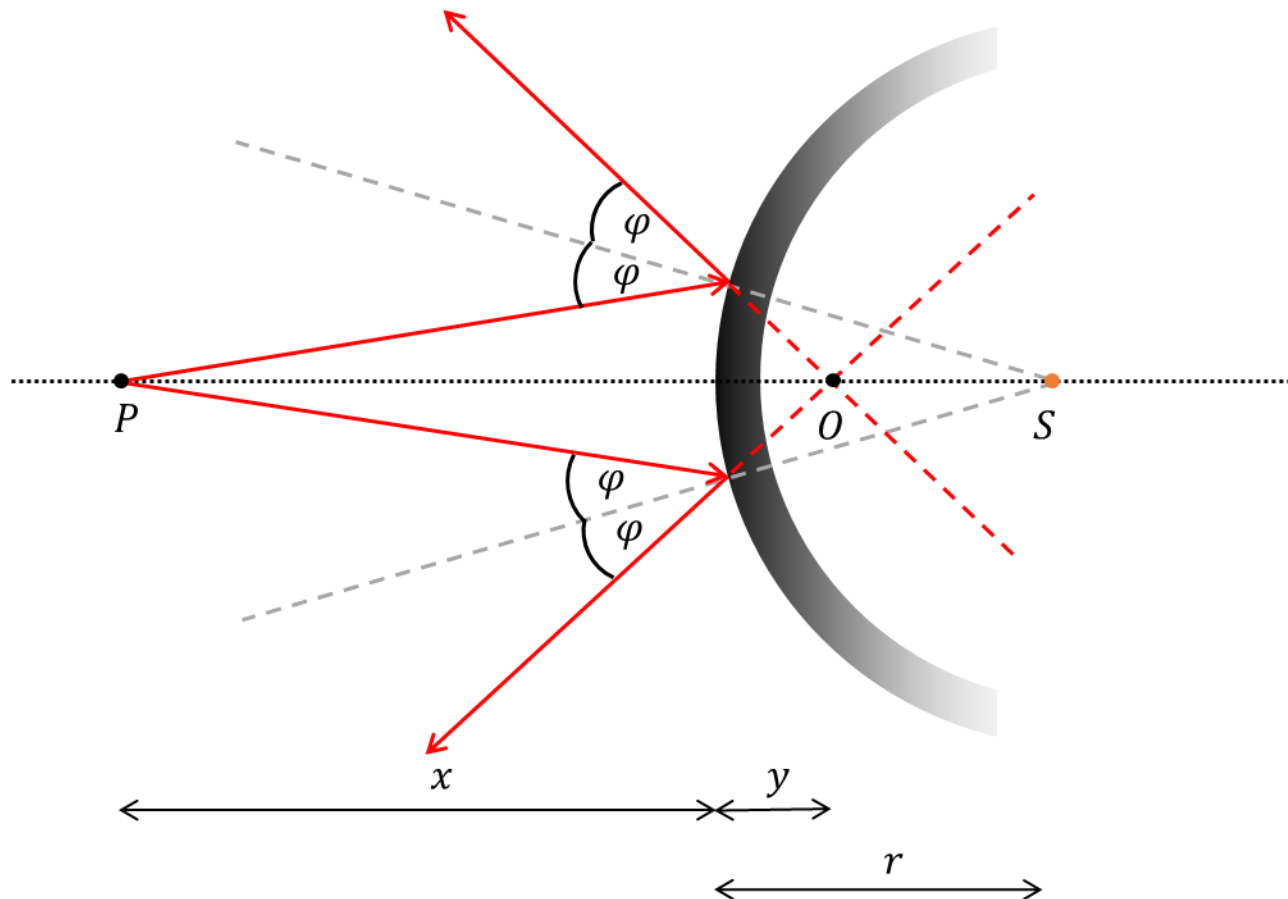


Ognisko – punkt skupienia promieni równoległych padających na zwierciadło.

OPTYKA GEOMETRYCZNA

ZWIERCIADŁO SFERYCZNE WYPUKŁE

Zwierciadło sferyczne (kuliste) wypukłe – odbijająca zewnętrzna powierzchnia czaszy kulistej.



OPTYKA GEOMETRYCZNA

RÓWNANIE ZWIERCIADŁA

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}$$

Gdzie:

x – odległość przedmiotu,

y – odległość obrazu,

R – promień krzywizny,

f – ognisko zwierciadła.

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

$$R = 2f$$

OPTYKA GEOMETRYCZNA

SOCZEWKI

Soczewka – ciało przezroczyste ograniczone dwoma powierzchniami o promieniach krzywizny R_1 i R_2 .

Założenia:

1. Soczewka jest cienka = grubość soczewki jest znacznie mniejsza od promieni krzywizn R_1 i R_2 ograniczających soczewkę.
2. Promienie świetlne padające na soczewkę tworzą małe kąty z osią soczewki (prosta przechodząca przez środki krzywizn obu powierzchni).
3. Każdy promień przechodzący przez soczewkę ulega dwukrotnemu załamaniu na obu powierzchniach soczewki (wyjątek: promienia biegnący wzdłuż osi soczewki).

Soczewka skupiająca – promienie biegnące równoległe do osi soczewki odchylane są w kierunku tej osi.

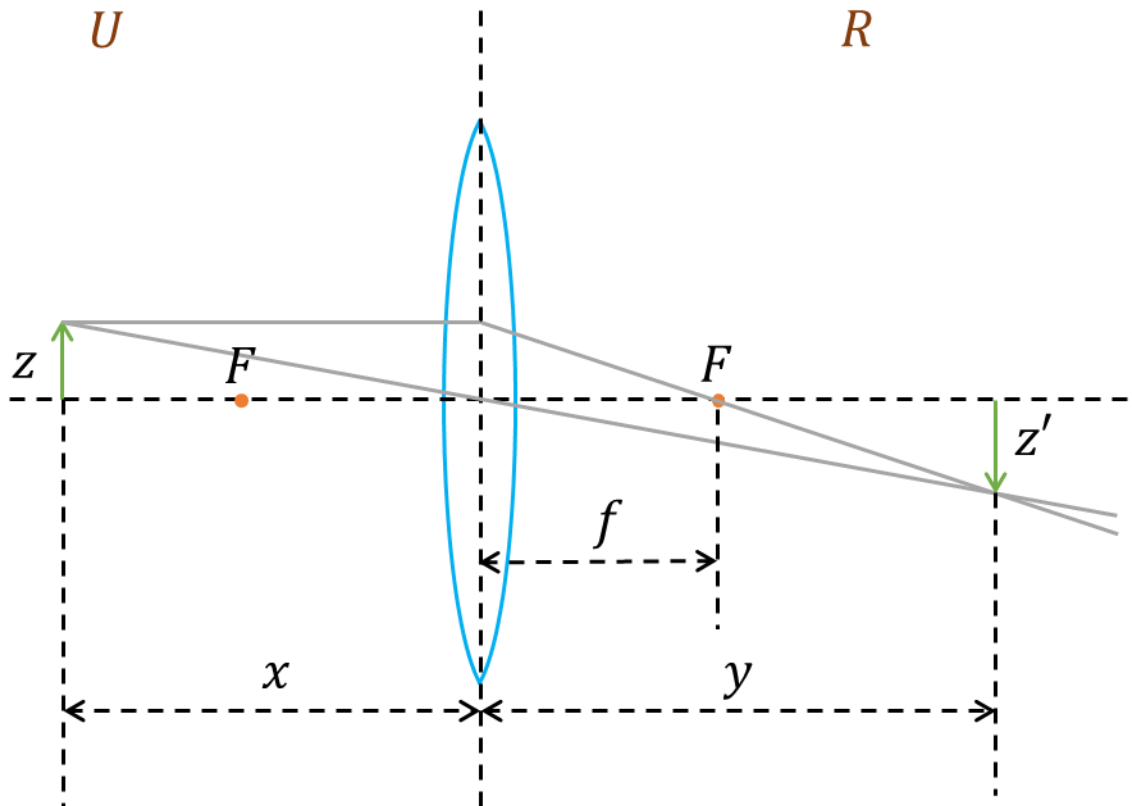
Soczewka rozpraszająca – promienie biegnące równoległe do osi soczewki odchylane są od osi.

OPTYKA GEOMETRYCZNA

Ognisko soczewki (F) – miejsce, gdzie skupiają się promienie biegnące równoległe do osi soczewki po przejściu przez soczewkę skupiającą.

Ogniskowa soczewki (f) – odległość ogniska od soczewki.

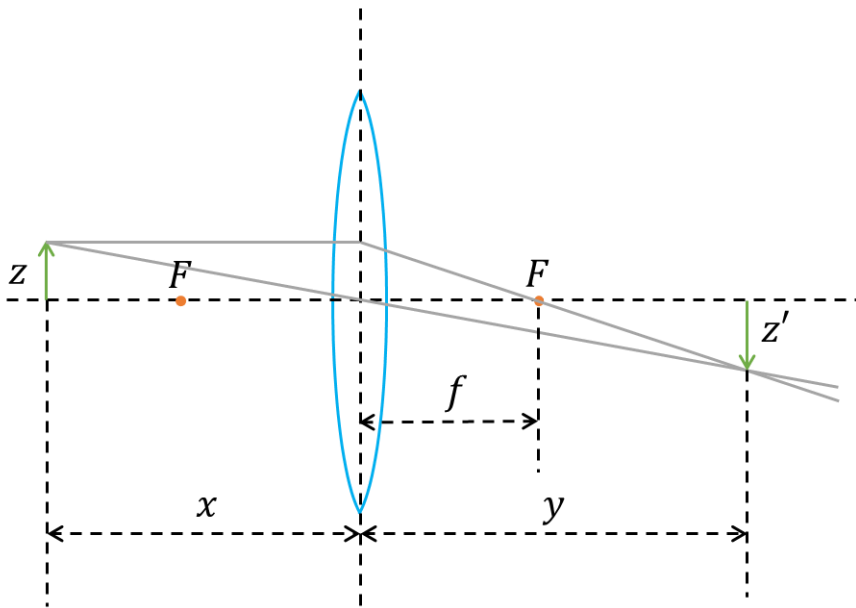
KONSTRUKCJA OBRAZÓW DLA SOCZEWEK



OPTYKA GEOMETRYCZNA

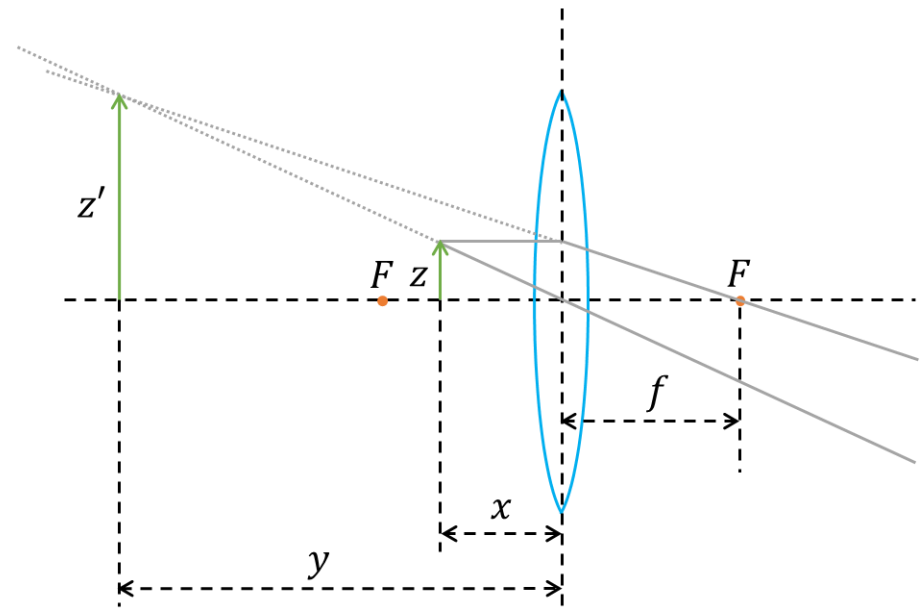
1. Promień równoległy do osi soczewki przechodzi przez ognisko.
2. Promień przechodzący przez środek soczewki nie zmienia swojego kierunku.

$$x > f$$



Obraz rzeczywisty, odwrócony

$$0 < x < f$$



Obraz pozorny, prosty

3. Obraz rzeczywisty powstaje w wyniku przecięcia promieni.
4. Obraz pozorny powstaje, gdy promienie po przejściu przez soczewkę są rozbieżne. Obraz otrzymujemy wówczas z przecięcia przedłużeń promieni.

RÓWNANIE SOCZEWKI

Bieg promienia świetlnego w soczewce zależy od:

- promieni R_1 i R_2 krzywizn ograniczających soczewkę (kształtu soczewki),
- współczynnika załamania n materiału z jakiego wykonano soczewkę,
- współczynnika załamania n_0 ośrodka, w którym znajduje się soczewka.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Gdzie:

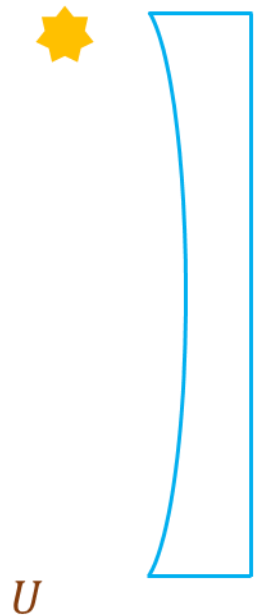
R_1 – promień pierwszej powierzchni, na którą pada światło,

R_2 – promień drugiej powierzchni, na którą pada światło.

OPTYKA GEOMETRYCZNA

Konwencja znaków dla równania soczewki cienkiej:

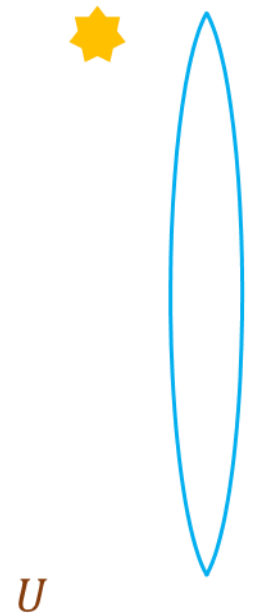
Promienie pierwszej i drugiej powierzchni, na które pada światło (R_1 i R_2) są dodatnie, jeśli ich środek krzywizny znajduje się po stronie R soczewki. W przeciwnym wypadku są ujemne.



$R_1 < 0$
 $R_2 = \infty$
 $\frac{n}{n_0} > 1$
 $\frac{1}{f} < 0$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

soczewka rozpraszająca



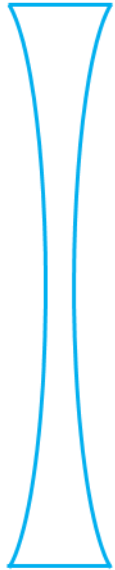
$R_1 > 0$
 $R_2 < 0$
 $\frac{n}{n_0} > 1$
 $\frac{1}{f} > 0$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

soczewka skupiająca

Jeśli ogniskowa f jest dodatnia, to soczewka jest skupiająca, a jeśli ujemna to rozpraszająca!

OPTYKA GEOMETRYCZNA



$$\begin{aligned} R_1 &< 0 \\ R_2 &> 0 \\ \frac{n}{n_0} &> 1 \\ \frac{1}{f} &= \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \\ \frac{1}{f} &< 0 \end{aligned}$$

soczewka rozpraszająca

U

R



$$\begin{aligned} R_1 &> 0 \\ R_2 &< 0 \\ \frac{n}{n_0} &> 1 \\ \frac{1}{f} &= \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \\ \frac{1}{f} &> 0 \end{aligned}$$

soczewka skupiająca

U

R

Zależność między ogniskową, a odległością przedmiotu (*x*) i obrazu (*y*):

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

OPTYKA GEOMETRYCZNA

Powiększenie liniowe obrazu:

$$P = \frac{z'}{z} = \left| \frac{y}{x} \right|$$

Gdzie:

z' – wielkość obrazu,

z – wielkość przedmiotu,

y, x – odległości obrazu i przedmiotu od soczewki.

ZDOLNOŚĆ SKUPIAJĄCA SOCZEWKI

Zdolność skupiająca soczewki – odwrotność ogniskowej soczewki

$$D = \frac{1}{f}$$

Jednostką zdolności skupiającej soczewki jest dioptria $[D] = \left[\frac{1}{m} \right]$.

Zdolność skupiająca układu blisko położonych soczewek:

$$D = D_1 + D_2$$

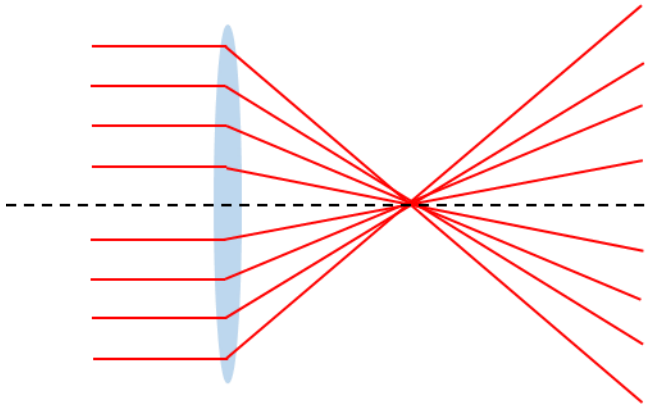
OPTYKA GEOMETRYCZNA

WADY SOCZEWEK

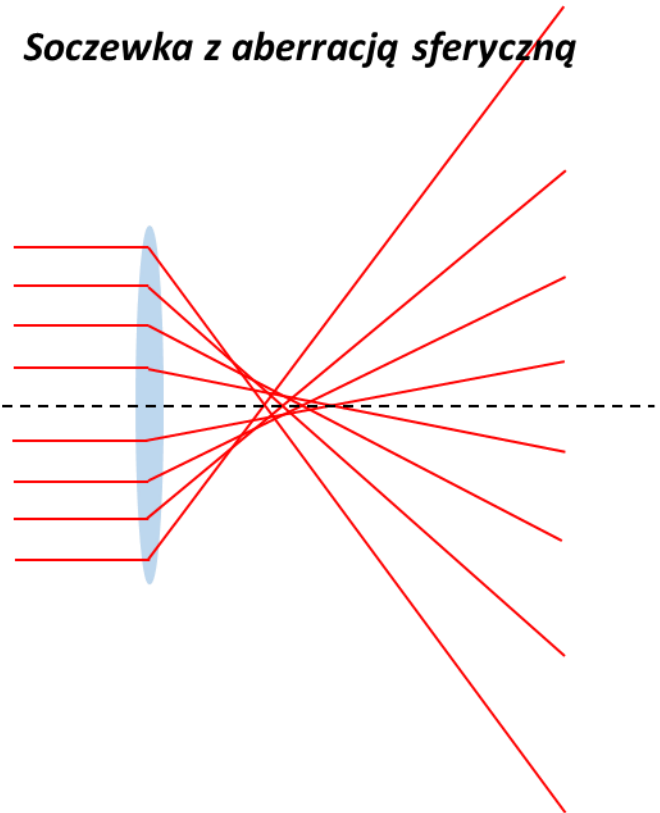
Aberracje – zjawiska zniekształcające obrazy i pogarszające ich ostrość w soczewkach rzeczywistych.

Aberracja sferyczna – promienie biegnące dalej od osi optycznej załamują się bardziej niż biegnące przyosiowo. W efekcie ich ognisko znajduje się bliżej soczewki.

Soczewka idealna

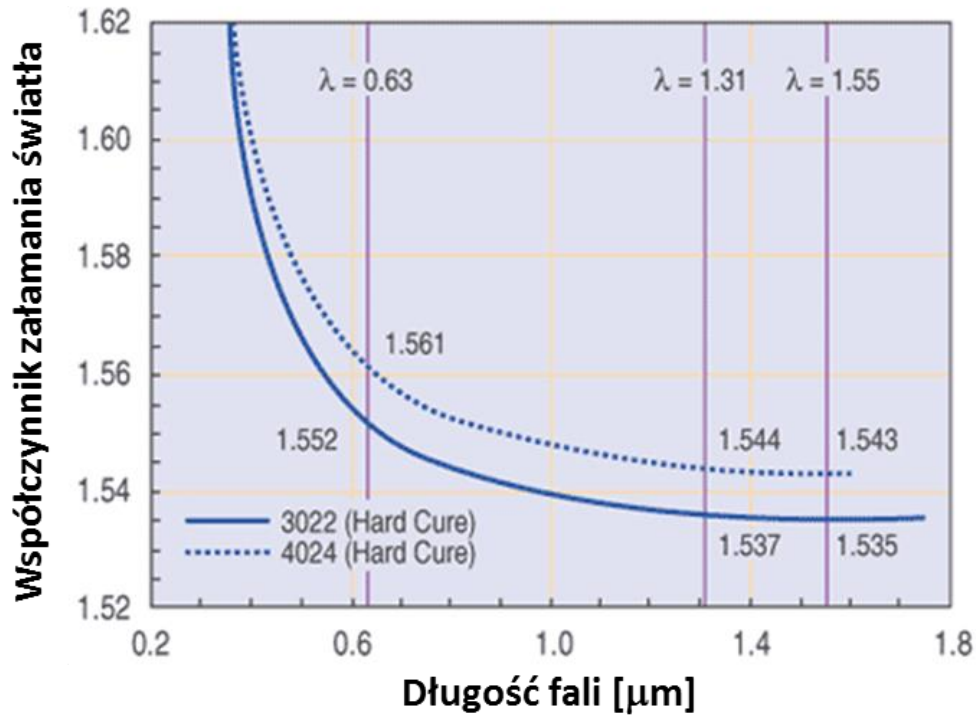


Soczewka z aberracją sferyczną



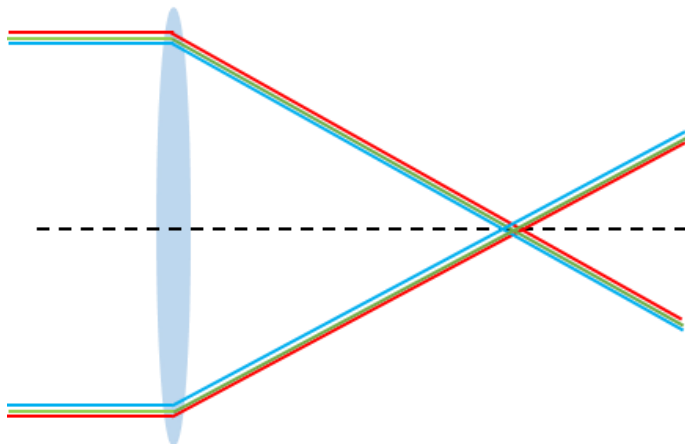
OPTYKA GEOMETRYCZNA

Aberracja chromatyczna – światło o różnych barwach (różnych częstotliwościach) ma różne współczynniki załamania w ośrodku. Współczynnik załamania maleje z długością fali, a rośnie z częstotliwością fali, dlatego światło niebieskie będzie załamane w soczewce silniej niż światło czerwone.

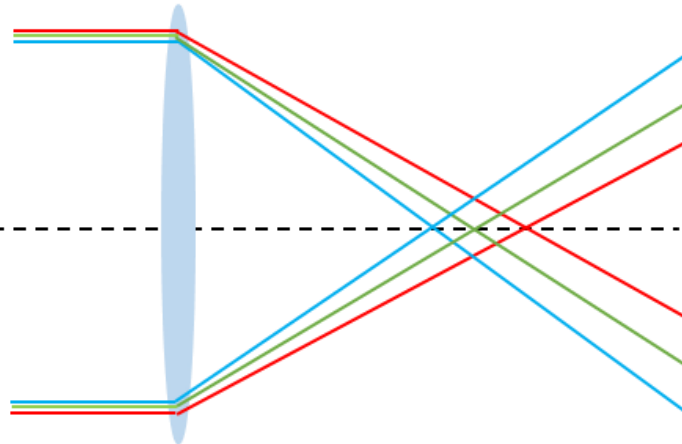


OPTYKA GEOMETRYCZNA

Soczewka idealna



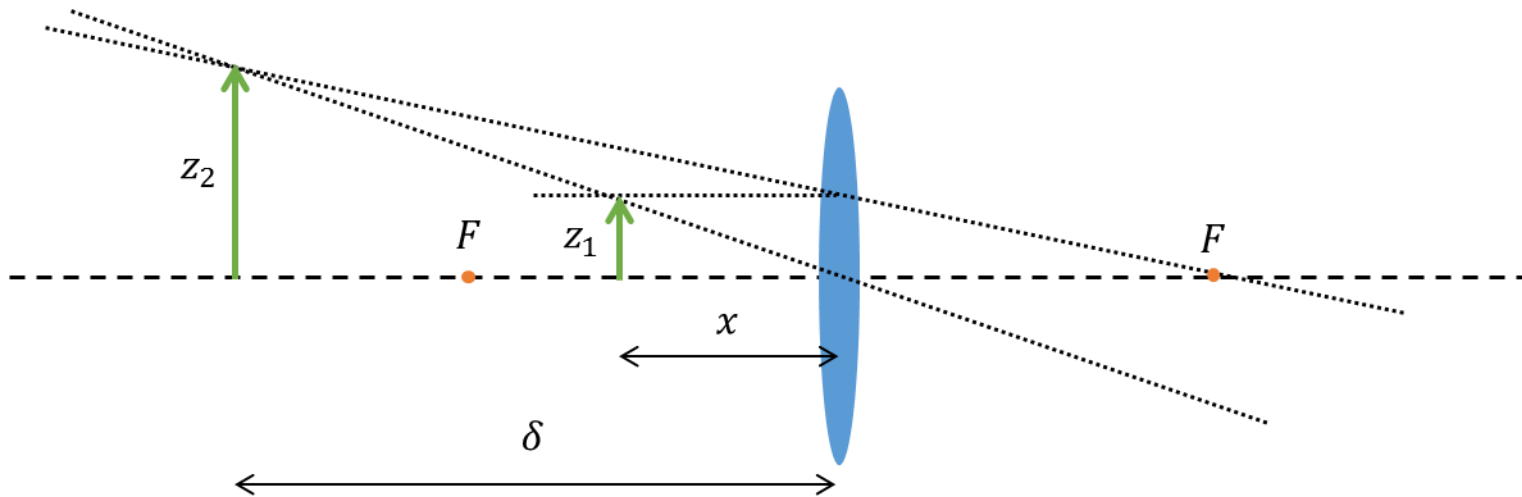
Soczewka z aberracją chromatyczną



OPTYKA GEOMETRYCZNA

LUPA

Lupa – soczewka (zespół blisko siebie położonych soczewek) skupiająca dająca co najmniej trzykrotne powiększenie. Tworzy obraz prosty, pozorny i powiększony.



Powiększenie lupy:

$$P = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\delta}{x}$$

Zwykle $\delta \approx 25 \text{ cm}$, ale większą wartość osiąga u dalekowidzów.

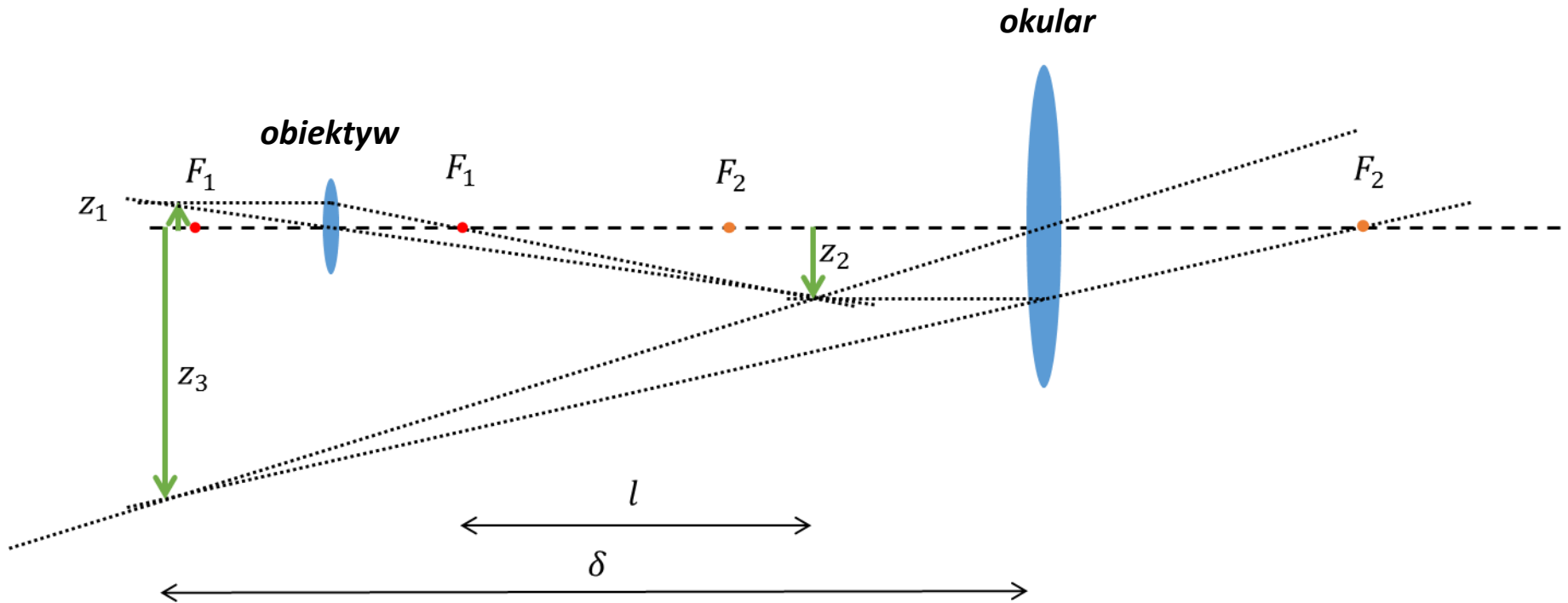
Z powiększenia lupy bardziej korzysta dalekowidz!

OPTYKA GEOMETRYCZNA

MIKROSKOP

Elementy mikroskopu:

1. Kondensator – soczewka skupiająca światło na obserwowanym przedmiocie
2. Obiektyw – soczewka skupiająca, dająca rzeczywisty, odwrócony i powiększony obraz przedmiotu
3. Okular – lupa, przez którą oglądamy obraz



OPTYKA GEOMETRYCZNA

Powiększenie mikroskopu:

$$P = P_1 \cdot P_2$$

Gdzie:

P_1 – powiększenie obiektywu,

P_2 – powiększenie okularu.

$$P_1 \approx \frac{l}{f_1}$$

$$P_2 \approx \frac{\delta}{f_2}$$

$$P = \frac{l}{f_1} \cdot \frac{\delta}{f_2}$$

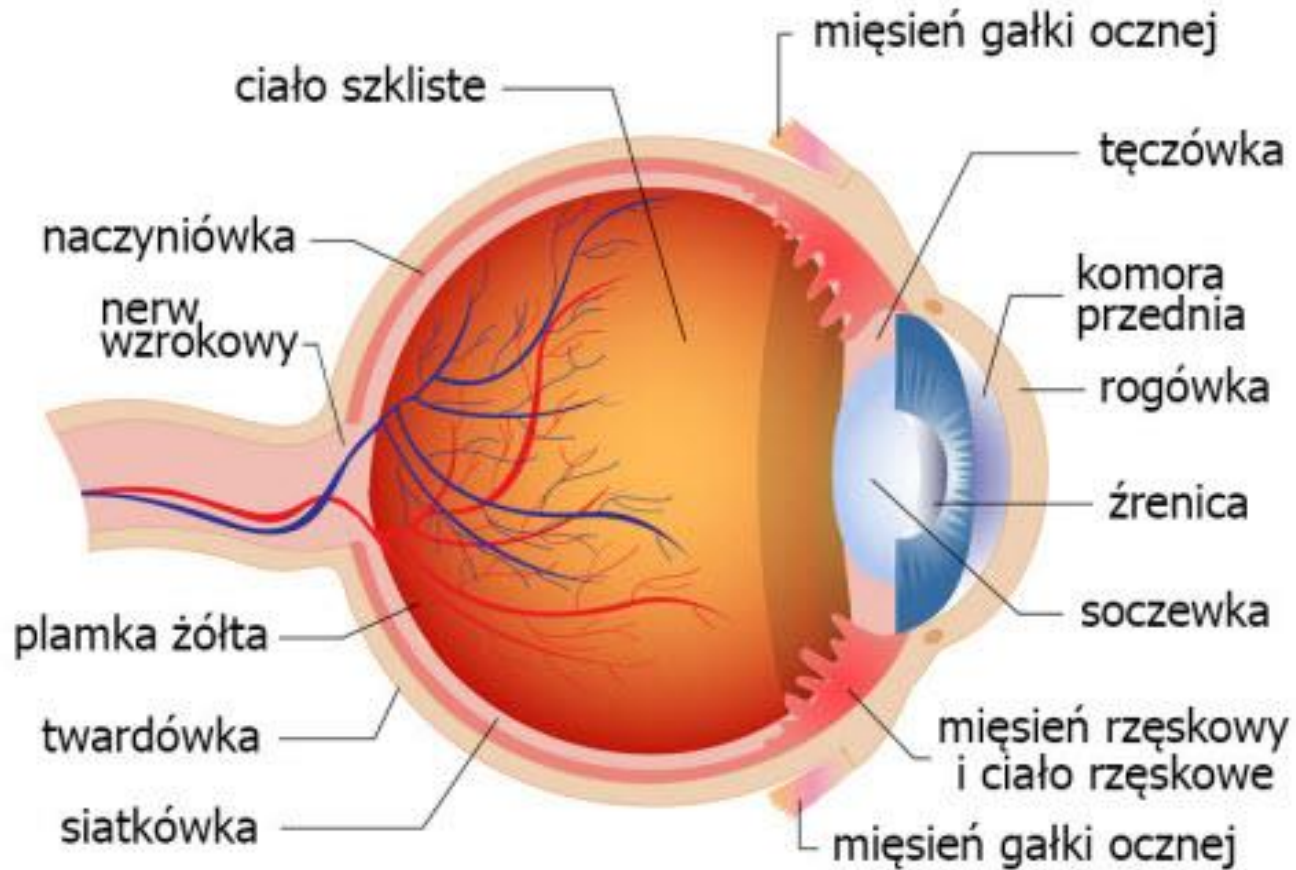
Dla typowego mikroskopu:

$\delta \approx 250 \text{ mm}$, $l \approx 160 - 180 \text{ mm}$, $f_1 \approx 2 - 15 \text{ mm}$, $f_2 \approx 15 - 50 \text{ mm}$.

Zatem powiększenia mikroskopów optycznych mieszczą się w zakresie $P \approx 50 - 1500$.

OPTYKA GEOMETRYCZNA

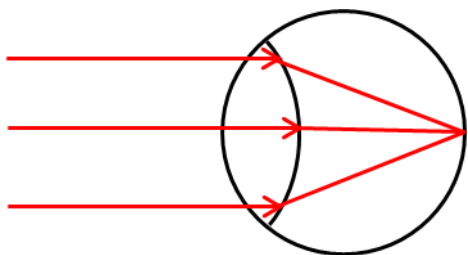
BUDOWA OKA



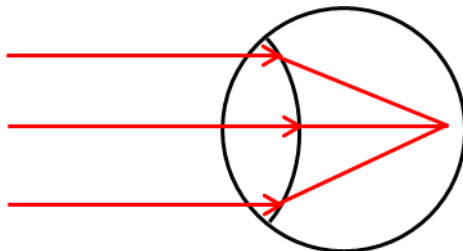
OPTYKA GEOMETRYCZNA

WADY WZROKU

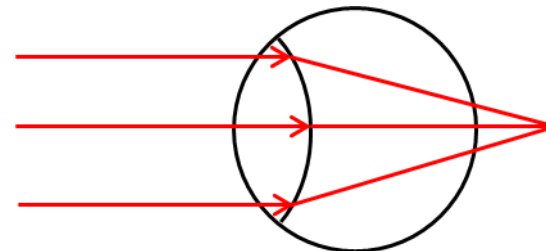
Widzenie prawidłowe



Krótkowzroczność

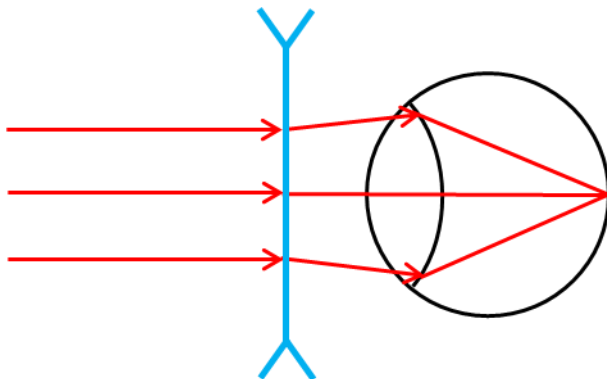


Dalekowzroczność



KOREKTY WAD WZROKU

*Soczewki rozpraszające -
krótkowzroczność*



*Soczewki skupiające -
dalekowzroczność*

