



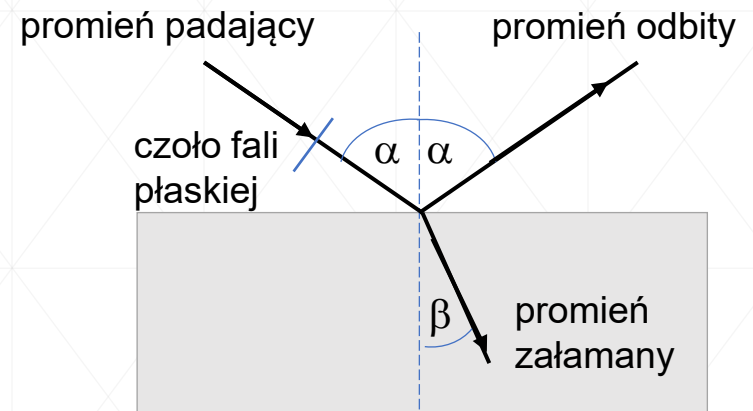
Proszę o uwagę

25. Optyka geometryczna

- optyka geometryczna jako graniczny przypadek optyki falowej,
- zasada najmniejszego działania,
- prawo odbicia i załamania światła,
- elementy optyczne:
 - soczewki,
 - zwierciadła,
 - pryzmat,
 - mikroskop,
- dyspersja światła.



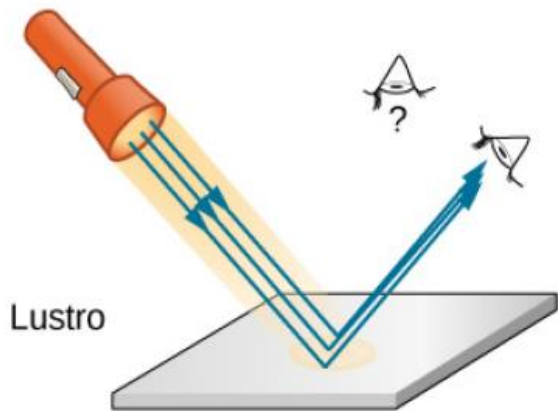
Założenia optyki geometrycznej



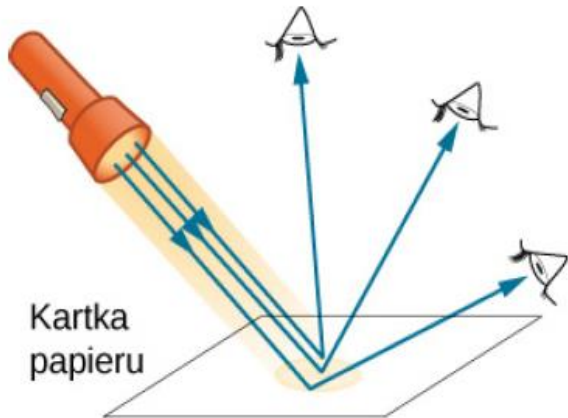
- długości fal świetlnych są małe w porównaniu z rozmiarami przyrządów optycznych ($\lambda \ll f$)
- energia rozchodzi się wzdłuż linii prostych zwanych promieniami świetlnymi
- promienie nie interferują ze sobą
- optyka geometryczna to matematyczny opis promieni świetlnych, uwzględniający zasady geometrii euklidesowej oraz **prawo odbicia i załamania**
- optyka geometryczna jest szczególnym (granicznym) przypadkiem optyki falowej
- **zasada Fermata** – światło przebiega między dwoma punktami po drodze do której przejścia potrzebny jest czas ekstremalny (minimalny)

Przykłady zastosowania optyki geometrycznej

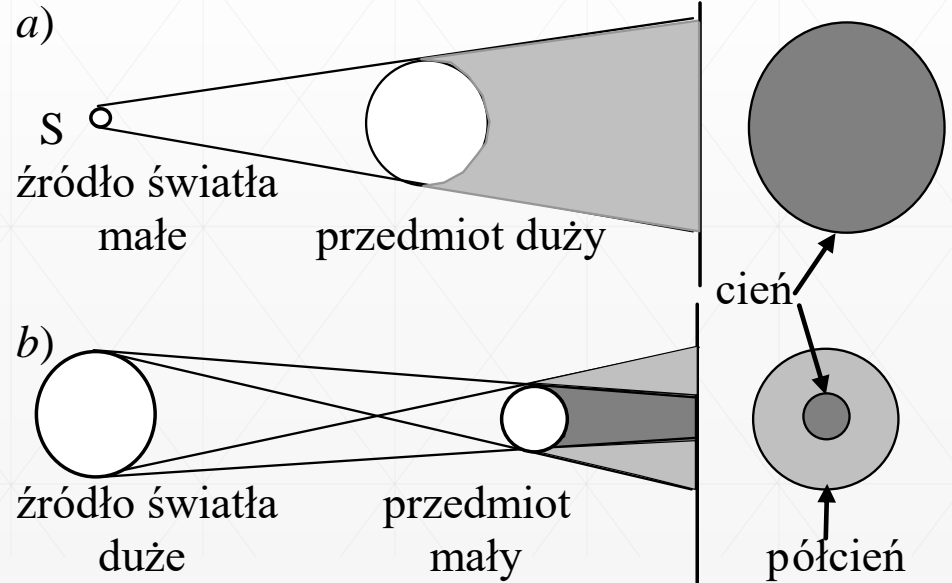
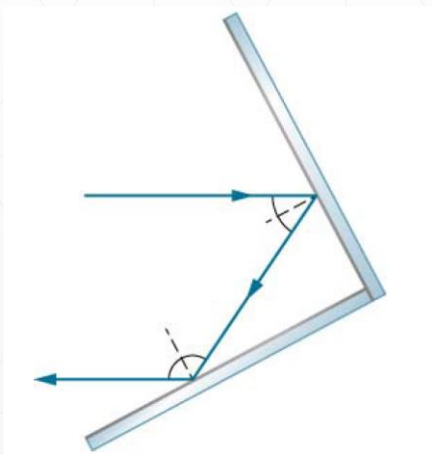
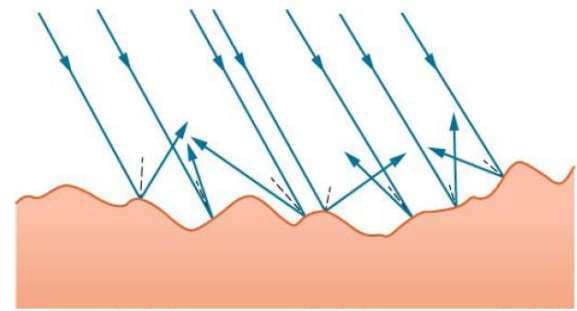
Światło odbija się od gładkiej powierzchni pod jednym kątem



Światło odbija się od chropowatej powierzchni pod wieloma kątami



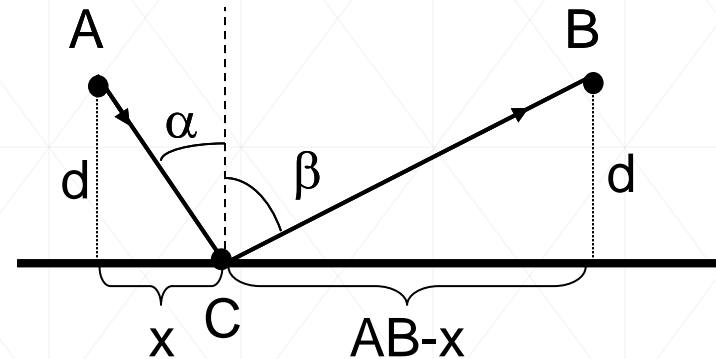
Rozpraszanie światła od chropowatej powierzchni



Zasada Fermata

Wyprowadzimy prawo odbicia z zasady Fermata

Promień świetlny AC padający pod kątem α odbija się od płaszczyzny pod kątem β . Obliczmy czas t potrzebny na przebycie drogi ACB



$$t = \frac{ACB}{c/n} = \left(\sqrt{d^2 + x^2} + \sqrt{d^2 + (AB - x)^2} \right) \frac{n}{c}$$

$$\frac{dt}{dx} = \left(\frac{2x}{2\sqrt{d^2 + x^2}} + \frac{-2(AB - x)}{2\sqrt{d^2 + (AB - x)^2}} \right) \frac{n}{c} = 0$$

$$x = \frac{1}{2}AB \Rightarrow \alpha = \beta$$

lub

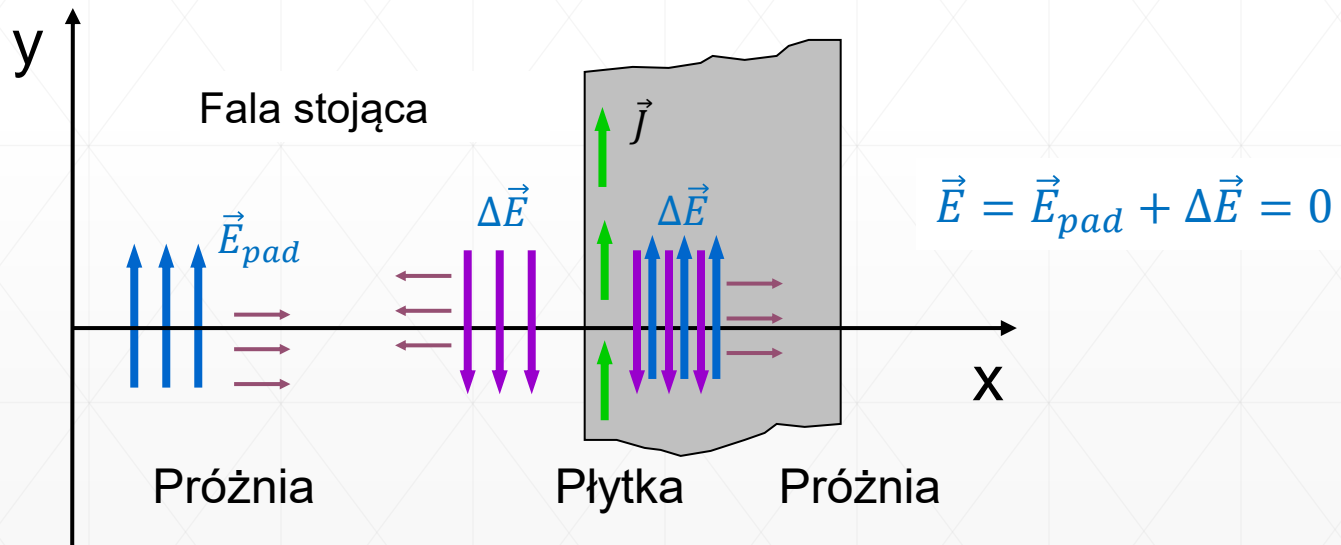
$$(\sin\alpha - \sin\beta) \frac{n}{c} = 0$$
$$\alpha = \beta$$

Promień porusza się najszybciej między punktami A i B odbijając się od płaszczyzny, gdy **kąt padania jest równy kątowi odbicia**

Dlaczego światło się odbija?

Na płytkę z idealnego przewodnika (np. nadprzewodnika) pada fala elektromagnetyczna. Indukowany prąd powierzchniowy daje pole promieniowania równe natężeniu fali padającej (bo nie ma strat).

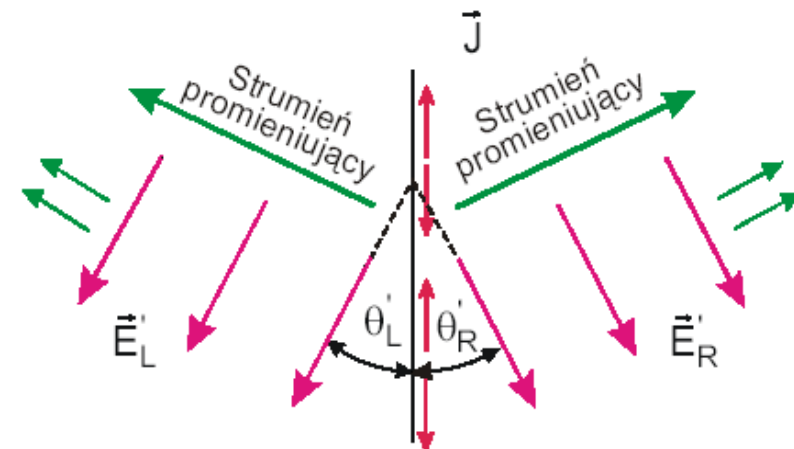
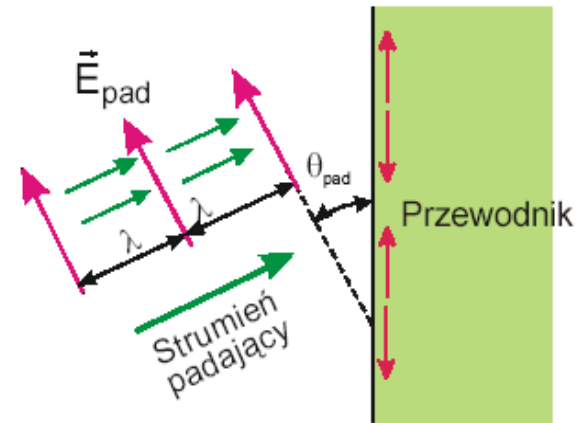
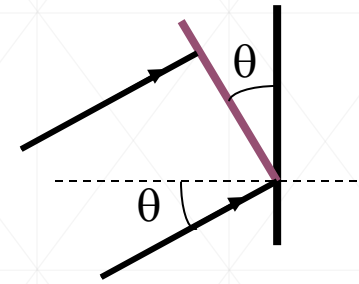
$$\Delta E = -E_{pad}$$



Fala odbita interferuje z padającą dając falę stojącą. Za płytką indukowane pole znosi się z polem fali padającej.

Prawo odbicia

- padające promieniowanie indukuje w przewodniku prąd powierzchniowy J
- promieniowane przez prąd pole na prawo powinno kompensować \vec{E}_{pad}
 $\vec{E}'_R = -\vec{E}_{\text{pad}}$ i $\theta'_R = \theta_{\text{pad}}$
- warunki symetrii wymagają
 $\vec{E}'_L = \vec{E}'_R$ i $\theta'_L = \theta'_R$
- czyli kąt odbicia jest równy kątowi padania
 $\theta'_L = \theta_{\text{pad}}$
- kąty padania i odbicia definiuje się jako kąt pomiędzy promieniem świetlnym a normalną do powierzchni odbijającej – równy kątowi pomiędzy czołem fali a powierzchnią odbijającą
- **Prawo odbicia mówi, że kąt padania jest równy kątowi odbicia, przy czym promień padający, promień odbity i prosta prostopadła do płaszczyzny padania leżą w tej samej płaszczyźnie**



Zwierciadło

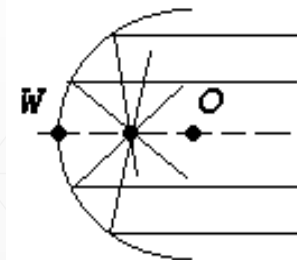
Zwierciadło - idealnie gładka powierzchnia odbijająca promienie świetlne

Zwierciadła płaskie odbijają promienie selektywnie (dwa różne promienie równoległe po odbiciu nadal są równoległe), wszystkie inne się rozpraszają

Przy odbiciach prawo odbicia jest zachowane (**kąt odbicia = kąt padania**)

W zwierciadłach płaskich otrzymujemy obraz **pozorny, prosty, tej samej wielkości** co przedmiot.

Zwierciadła kuliste to część wypolerowanej sfery. Jeżeli jest to część wewnętrzna, to zwierciadło nazywamy **wklęsłe**, a jak zewnętrzna - to **wypukłe**



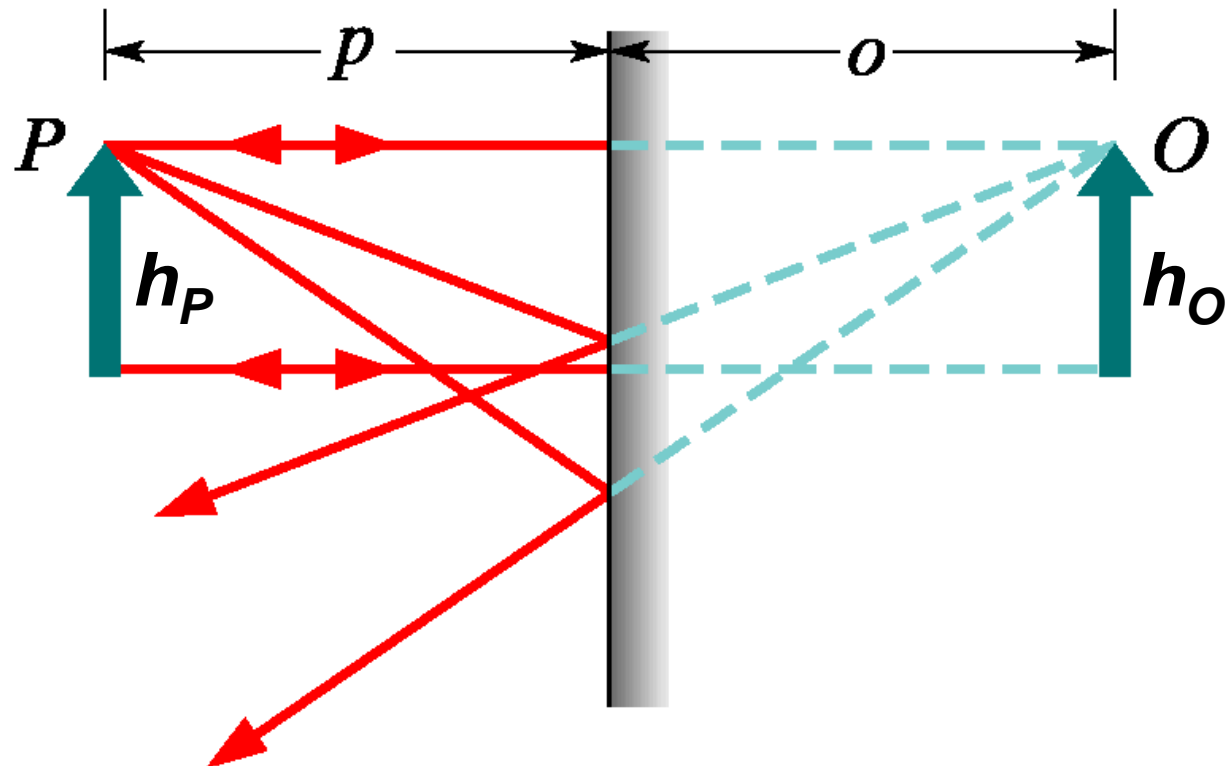
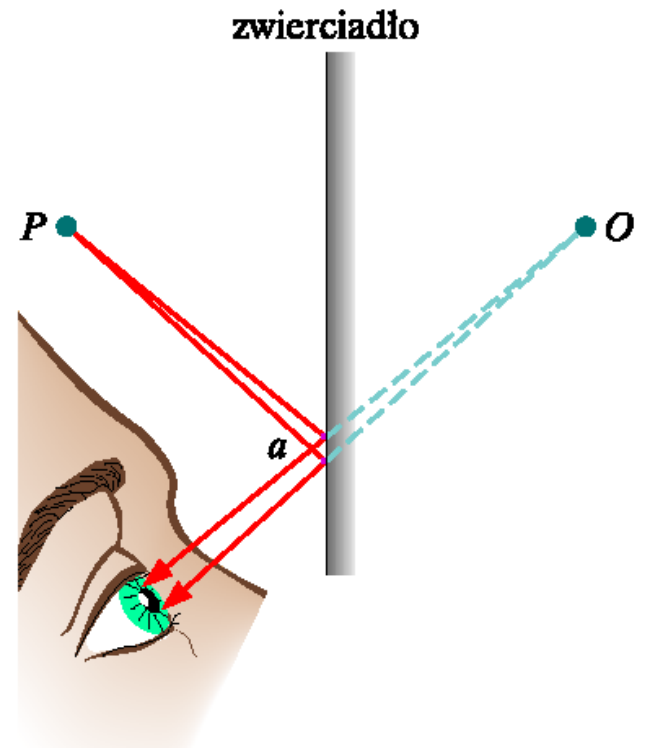
O – środek krzywizny
(sfery)

W – wierzchołek



W połowie drogi pomiędzy wierzchołkiem a środkiem krzywizny znajduje się **ognisko** zwierciadła (F). Odległość między ogniskiem a wierzchołkiem to **ogniskowa** (f)

Obraz pozorny w zwierciadle płaskim

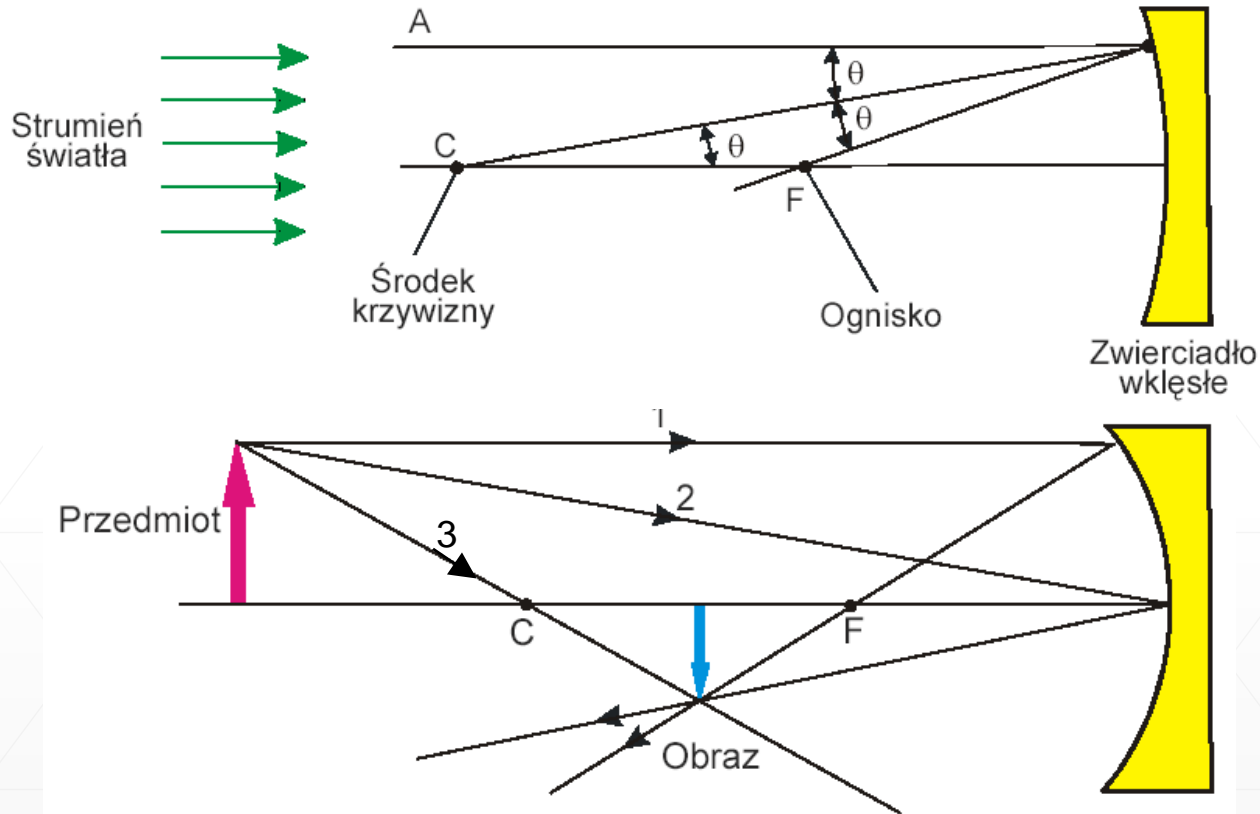


$$o = -p, \quad h_P = h_O$$

dla obrazów pozornych odległość obrazu „o” od zwierciadła jest wielkością ujemną

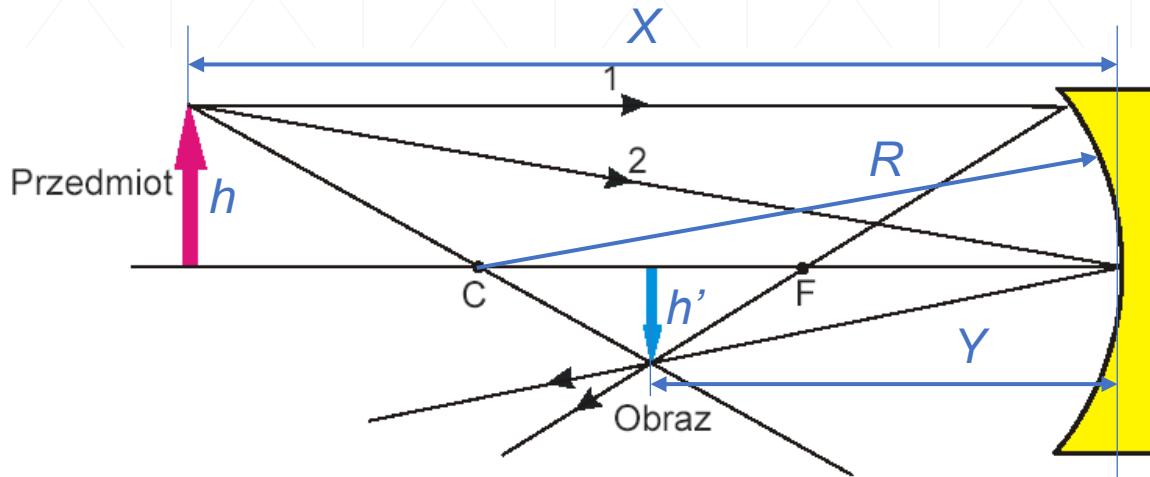
Zwierciadło wklęsłe

ogniskowa równa połowie promienia krzywizny – z prawa załamania



- promień 1 padający równoległy do głównej osi optycznej a po odbiciu przechodzący przez ognisko zwierciadła;
- promień 2 padający na środek zwierciadła odbija się symetrycznie do głównej osi optycznej zwierciadła;
- Promień 3 przechodzący przez środek krzywizny zwierciadła odbija się wzdłuż tej samej prostej.

Równanie zwierciadła



Powiększenie zwierciadła – jest to stosunek wysokości obrazu do wysokości przedmiotu

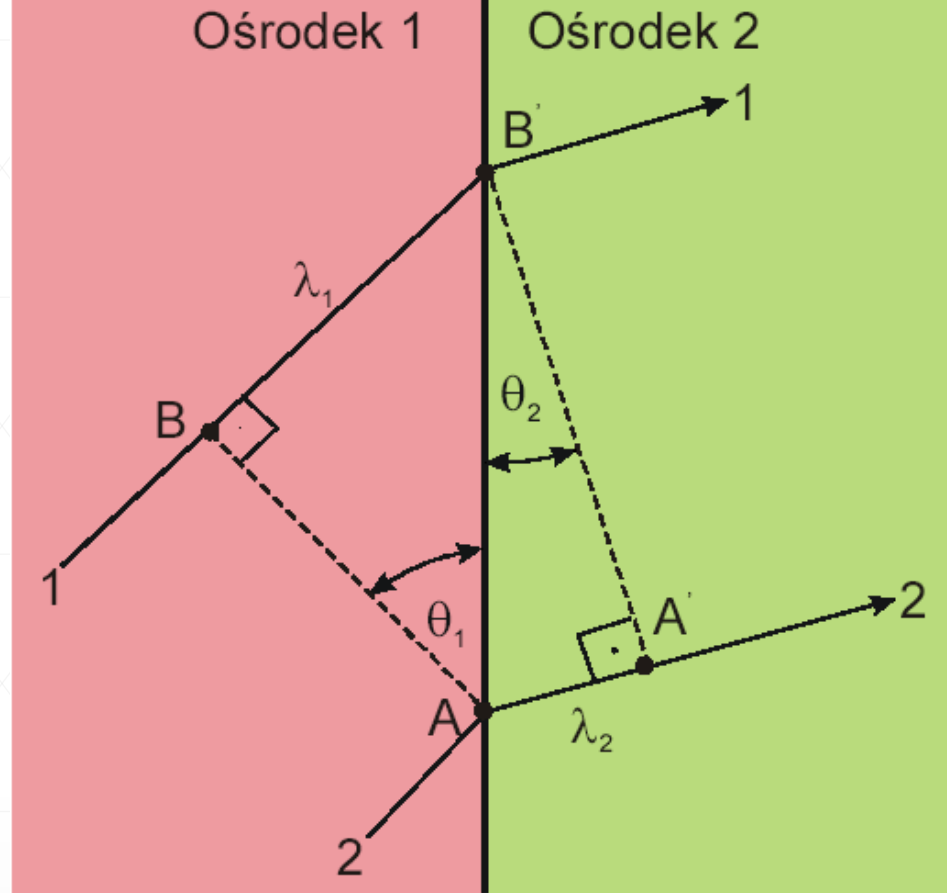
$$p = \frac{h'}{h} = \frac{Y}{X}$$

Równanie zwierciadła

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{f} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y}$$

p - powiększenie; h' - wysokość obrazu; h - wysokość przedmiotu; Y - odległość obrazu od wierzchołka zwierciadła; X - odległość przedmiotu od wierzchołka zwierciadła; R - promień krzywizny zwierciadła (odległość wierzchołek-środek zwierciadła C), f - ogniskowa zwierciadła

Prawo załamania



$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{u_1}{u_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2}$$

est

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Prawo załamania z zasady Fermata

Wyprowadzimy prawo załamania z zasady Fermata

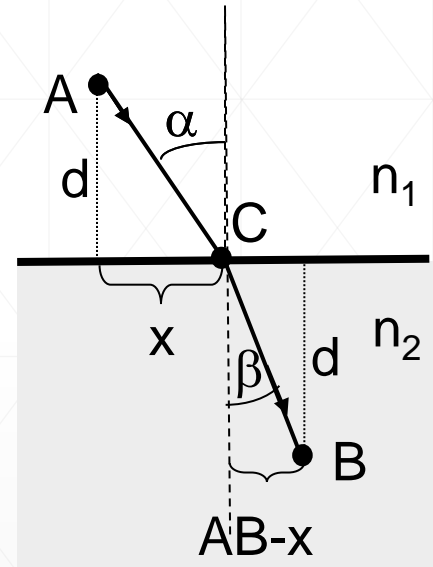
Promień świetlny AC padający pod kątem α załamuje się na granicy ośrodków pod kątem β . Obliczmy czas t potrzebny na przebycie drogi ACB

$$t = \frac{AC}{c/n_1} + \frac{CB}{c/n_2} = \frac{n_1}{c} \sqrt{d^2 + x^2} + \frac{n_2}{c} \sqrt{d^2 + (AB - x)^2}$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{2x}{2\sqrt{d^2 + x^2}} \frac{n_1}{c} + \frac{-2(AB - x)}{2\sqrt{d^2 + (AB - x)^2}} \frac{n_2}{c} = 0$$

$$\frac{n_1}{c} \sin \alpha - \frac{n_2}{c} \sin \beta = 0$$

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



Promień porusza się najszybciej między punktami A i B załamując się pod kątem określonym prawem Snella.

Elementy optyczne - soczewki

Soczewki skupiające



Dwuwypukła



Płasko-wypukła



Wklęsło-wypukła

Soczewki rozpraszające



Dwuwkłesła

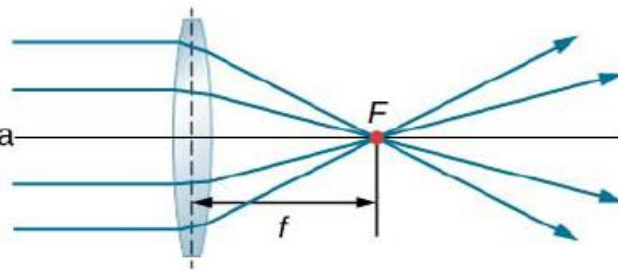


Płasko-wklęsła



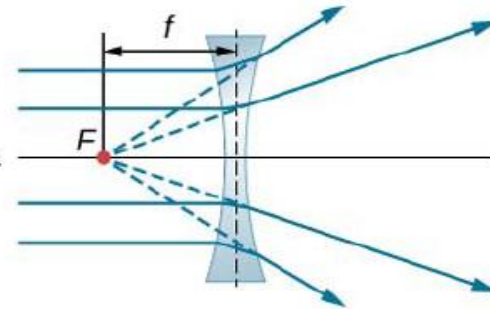
Wypukło-wklęsła

Oś optyczna



Soczewka skupiająca

Oś optyczna

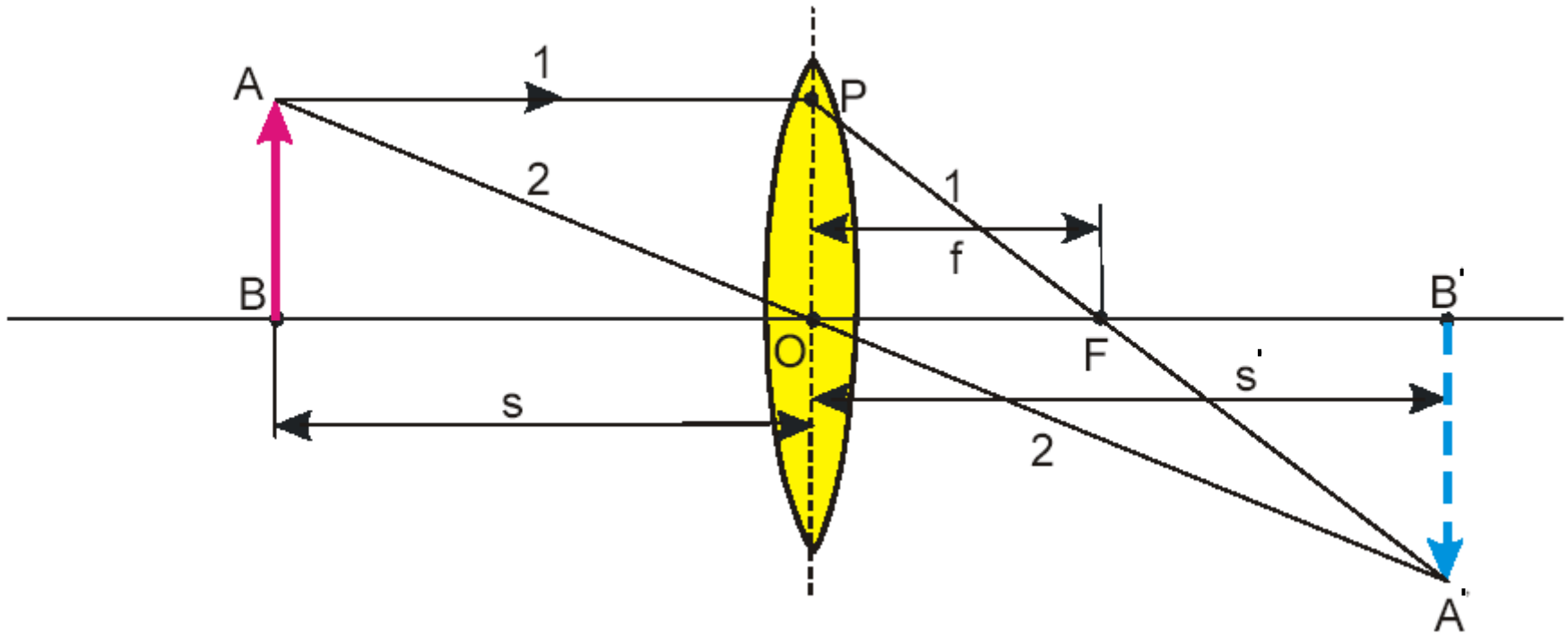


Soczewka rozpraszająca

[„Fizyka dla szkół wyższych – tom 3”, www.openstax.pl]

Równoległe do osi optycznej promienie padające na soczewkę **skupiającą** skupiane są w ognisku F , zaś padające na soczewkę **rozpraszającą** są rozbieżne – ich przedłużenia przecinają się w punkcie będącym ogniskiem pozornym soczewki. f – to odległość ogniskowa soczewki.

Cienkie soczewki



$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{s'}{s}$$

$$\frac{A'B'}{PO} = \frac{s' - f}{f}$$

$$PO = AB$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

wzór soczewki
cienkiej

obraz pozorny – $s' < 0$
soczewka rozpraszająca – $f < 0$

Zdolność skupiająca soczewki

W przypadku soczewki grubej o różnych promieniach krzywizny jej ogniskowa zależy od tych promieni i współczynników załamania soczewki i otoczenia

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

Zdolność skupiająca soczewki jest to odwrotność ogniskowej

$$D = \frac{1}{f} \quad [1/m = \text{dioptria}]$$

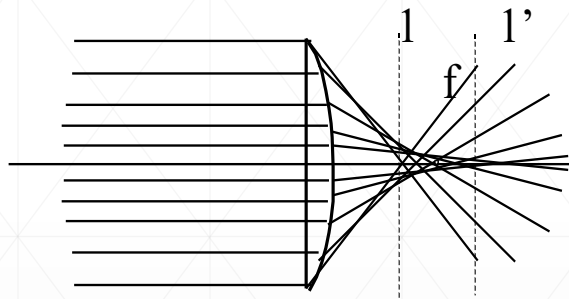
Dodatnie liczby określają soczewki skupiające, a ujemne – soczewki rozpraszające

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n$$

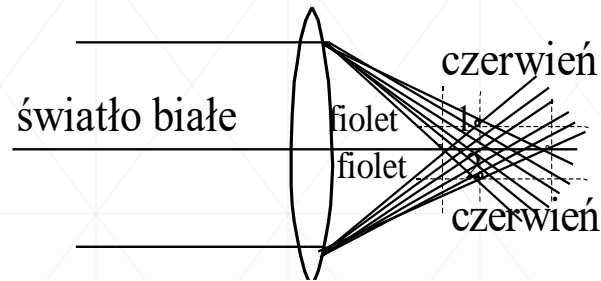
Aberracja sferyczna - rozmyte ognisko jest wadą dużych soczewek. Z tego powodu używa się zwykle układów soczewek. Soczewki muszą być połączone klejem o bezwzględnym współczynniku załamania soczewki. Zdolność skupiającą układu wyznacza się przez sumowanie dioptrii.

Wady odwzorowania soczewek

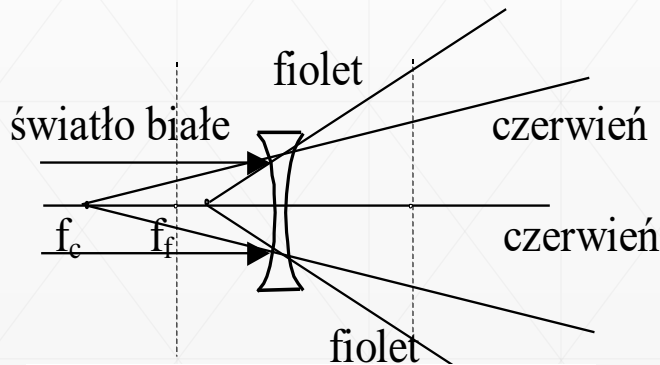
- **Aberracja sferyczna** – wiązka promieni wychodząca z jednego punktu po przejściu przez soczewkę nie schodzi się dokładnie w jednym punkcie wskutek czego obraz punktu jest rozmyty do plamki w kształcie koła.
- **Aberracja chromatyczna** – wynika z rozszczepienia światła białego przez soczewkę co również psuje ostrość obrazów.
- **Astygmatyzm** – jeśli wiązka promieni pada ukośnie na soczewkę to promienie te po przejściu przez soczewkę nie spotykają się w jednym punkcie lecz spotykają się na dwóch oddalonych od siebie, wzajemnie prostopadłych odcinkach prostej.



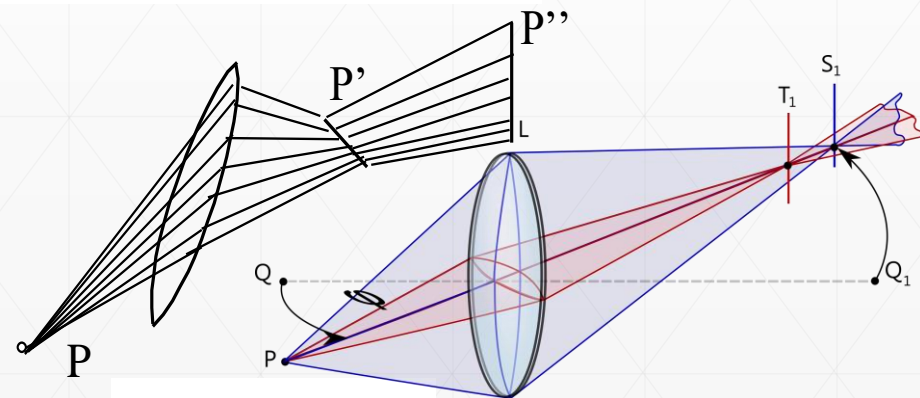
aberracja sferyczna



aberracja chromatyczna



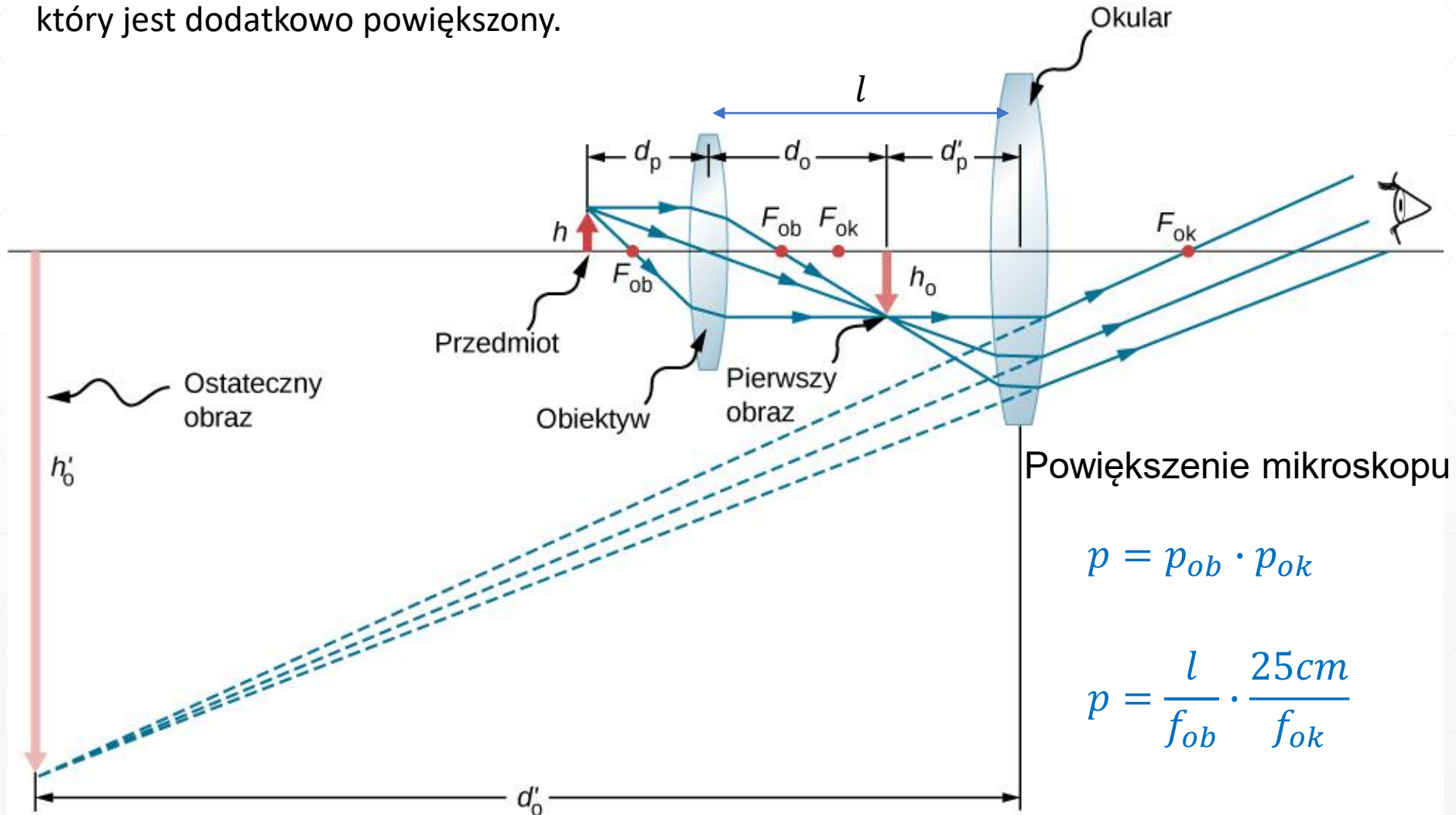
aberracja chromatyczna



astygmatyzm

Mikroskop

Mikroskop optyczny składa się z dwóch soczewek: obiektywu i okularu. Obiektyw tworzy pierwszy obraz, który jest większy niż przedmiot. Ten pierwszy obraz znajduje się w zasięgu ogniskowej okularu i jest przedmiotem dla jego soczewki. Okular tworzy ostateczny obraz, który jest dodatkowo powiększony.



Powiększenie mikroskopu

$$p = p_{ob} \cdot p_{ok}$$

$$p = \frac{l}{f_{ob}} \cdot \frac{25cm}{f_{ok}}$$

Całkowite wewnętrzne odbicie

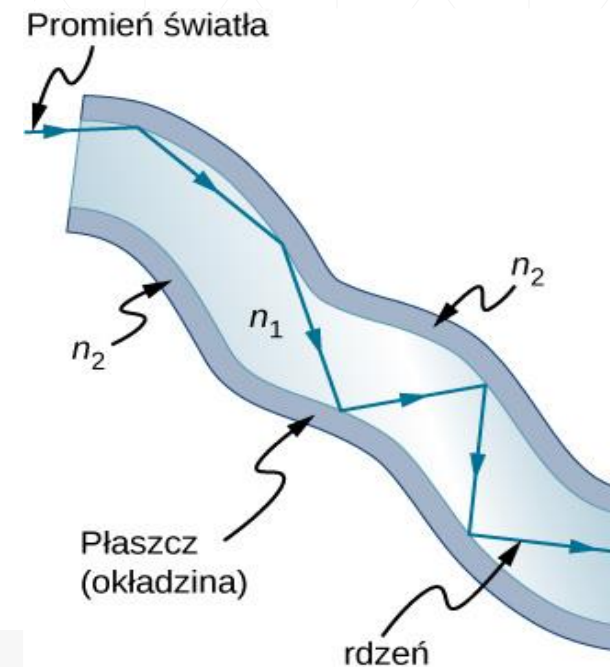
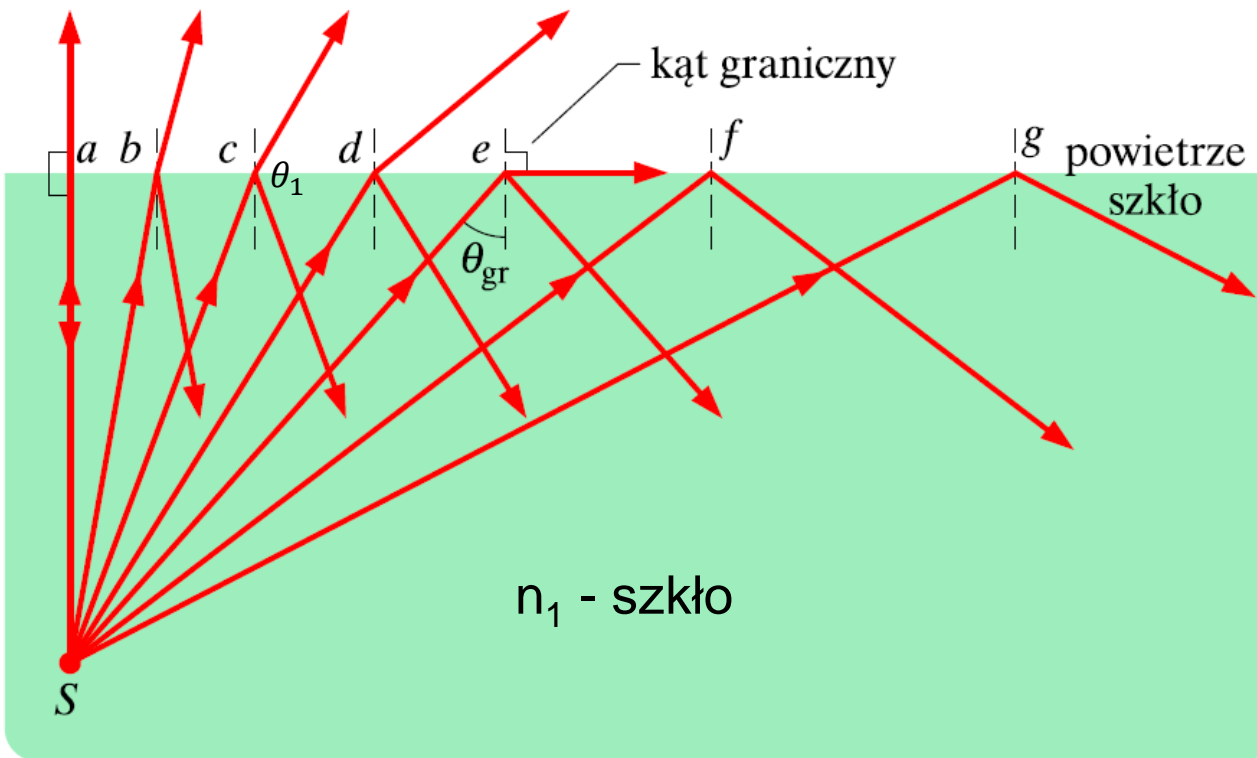
Przy przechodzeniu wiązki światła z ośrodka o większym n_1 do ośrodka o mniejszym n_2 kąt załamania jest większy od kąta padania. Dla $\theta_1 = \theta_{gr}$ kąt załamania $\theta_2 = 90^\circ$

θ_2
 n_2 - powietrze

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

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

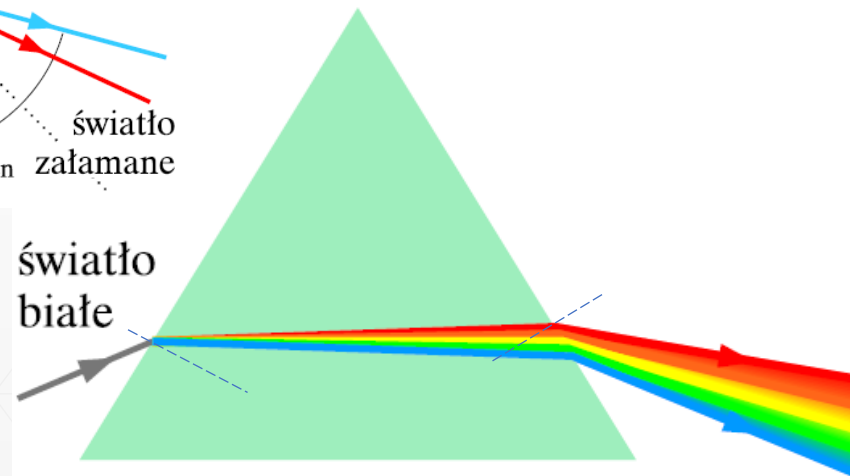
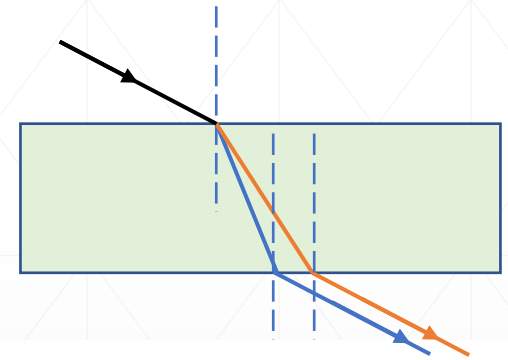
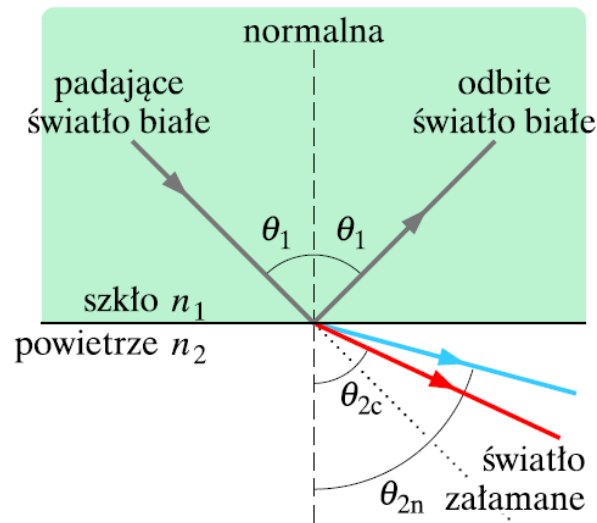
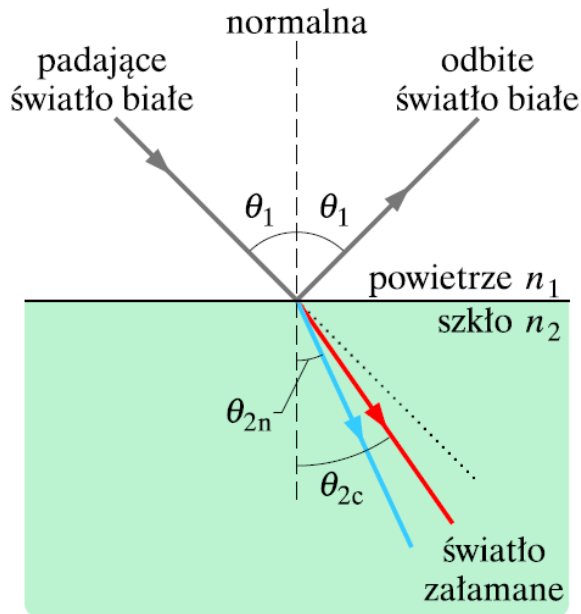
$$\theta_{gr} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$



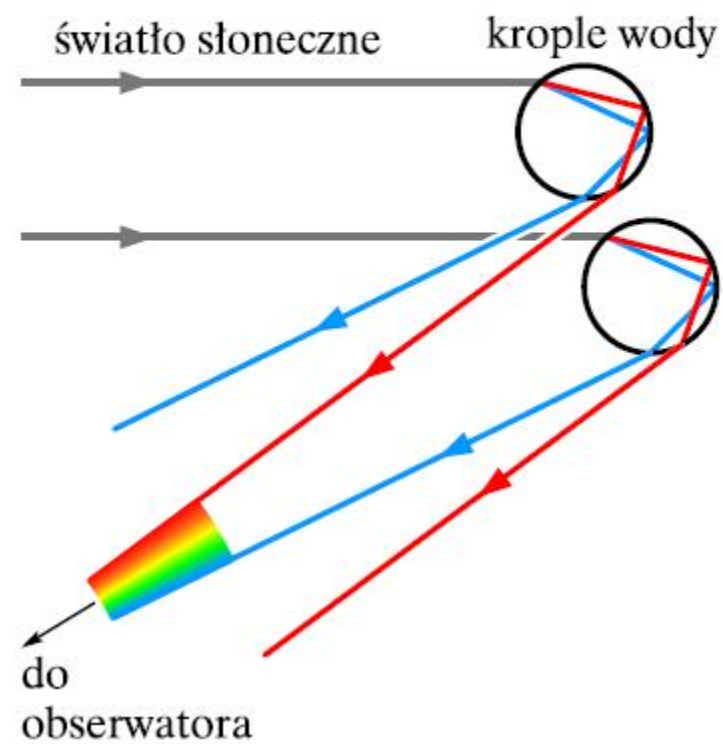
wykorzystywane w światłowodach do prowadzenia wiązki światła

Rozszczepienie światła (dyspersja chromatyczna)

Zarówno przy wejściu wiązki światła jak i przy wychodzeniu ze szkła światło niebieskie jest silniej odchylane od kierunku prostoliniowego niż czerwone. Dla płytki płasko równoległej rozszczepienia światła nie zachodzi bo promienie są równoległe.



Tęcza

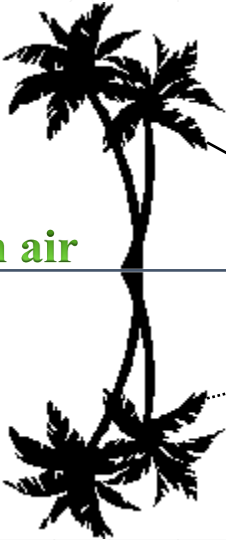




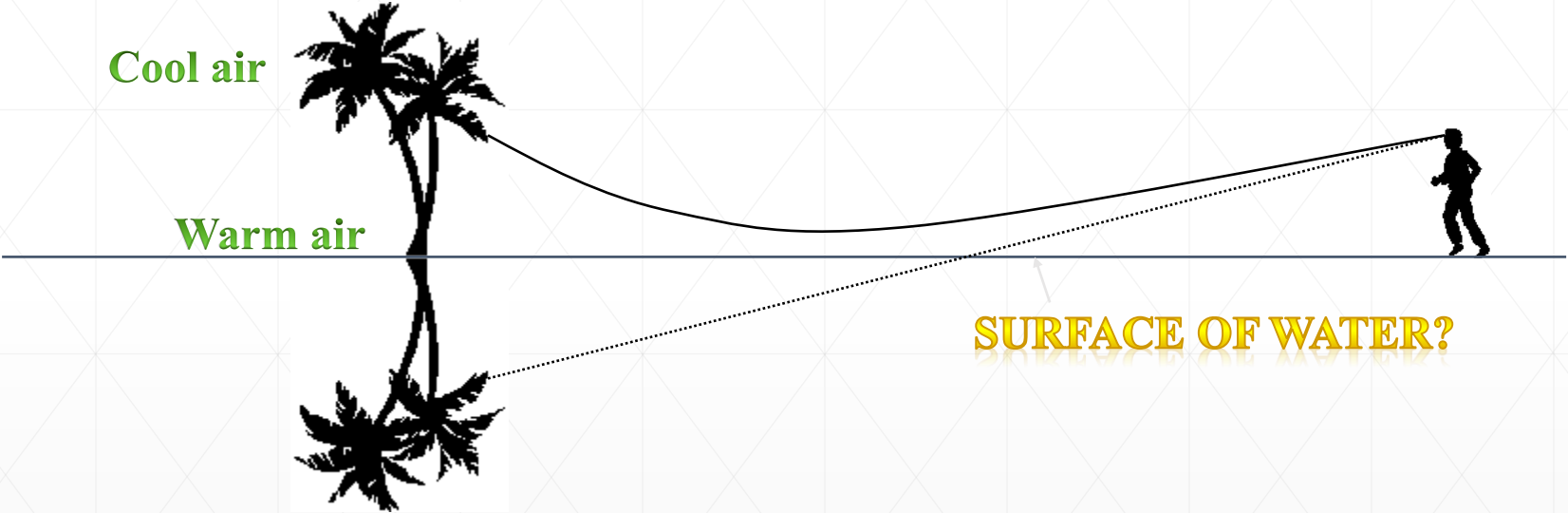
Mirage

Cool air

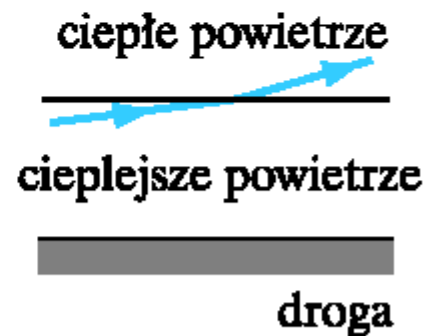
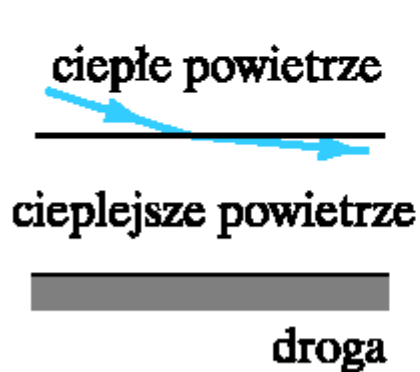
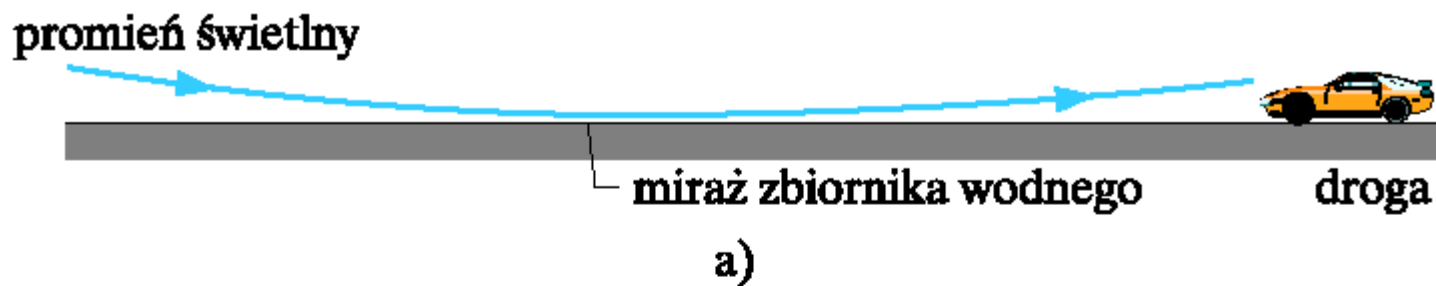
Warm air



SURFACE OF WATER?



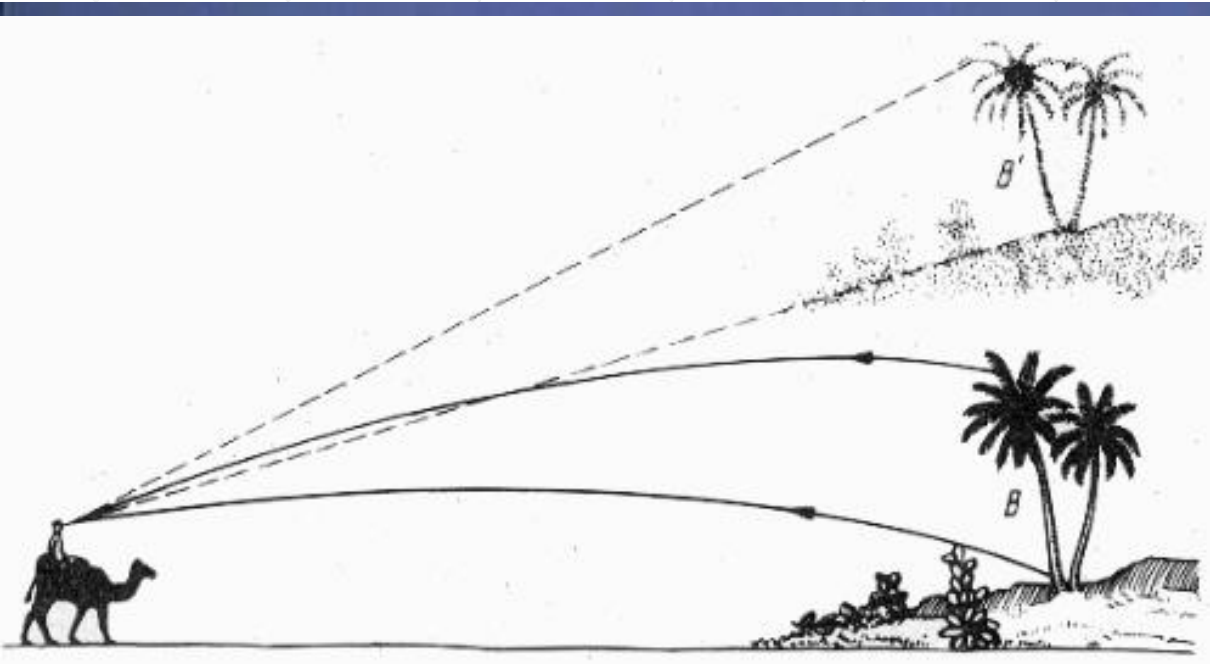
Miraże – fatamorgany



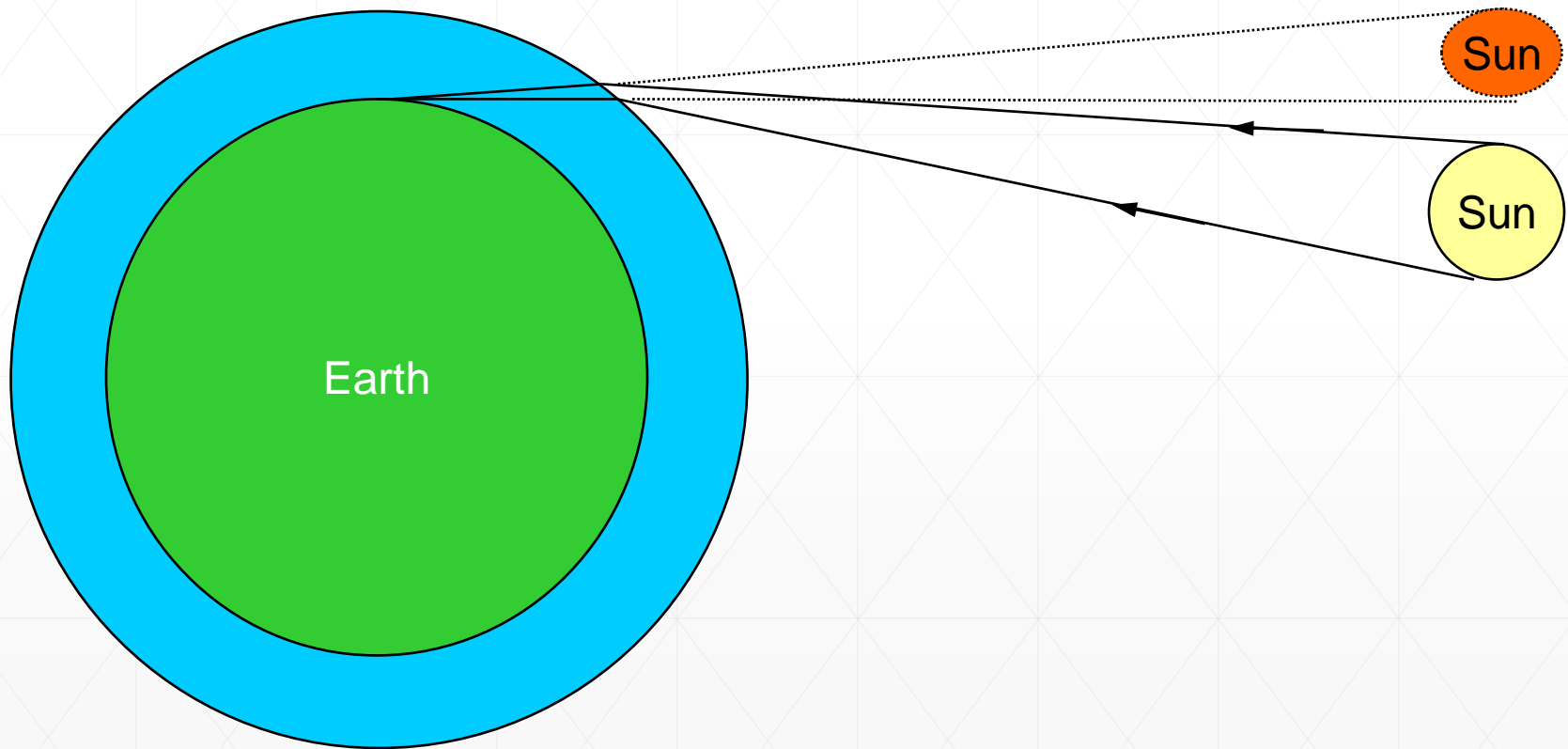
Promień świetlny biegnący z dolnego obszaru nieba ulega załamaniu przy przechodzeniu przez warstwy powietrza ogrzane przez powierzchnię drogi. Obserwator widzi niebieską barwę nieba, która nadchodzi jakby z powierzchni drogi i migocze (turbulencje).







Załamanie światła w warstwach atmosfery
powoduje eliptyczne zniekształcenie słońca





Podsumowanie

- Zasada Fermata – światło porusza się po najszybszej drodze
- Prawo odbicia – kąt padania równy kątowi odbicia
- Prawo załamania – związek między kątem padania a kątem załamania określa prawo Snella $\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_2 / n_1$
- Zasady powstawania obrazów w układach optycznych: soczewka, zwierciadło, mikroskop
- Dyspersja światła – rozczepienie przez pryzmat



Dziękuję za uwagę