

Wykłady z Fizyki 09



Zbigniew Osiak

Optyka

ORCID

Linki do moich publikacji naukowych i popularnonaukowych, e-booków oraz audycji telewizyjnych i radiowych są dostępne w bazie ORCID pod adresem internetowym:

<http://orcid.org/0000-0002-5007-306X>

OZNACZENIA

B – notka biograficzna

C – ciekawostka

D – propozycja wykonania doświadczenia

H – informacja dotycząca historii fizyki

I – adres strony internetowej

K – komentarz

P – przykład

U – uwaga

Zbigniew Osiak (Tekst)

WYKŁADY Z FIZYKI
Optyka

Małgorzata Osiak (Ilustracje)

© Copyright 2013 by
Zbigniew Osiak (text) and Małgorzata Osiak (illustrations)

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji
zabronione bez pisemnej zgody autora tekstu i autorki ilustracji.

Portret autora zamieszczony na okładkach przedniej i tylnej
Rafał Pudło

Wydawnictwo: Self Publishing

ISBN: 978-83-272-3932-7

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

“*Wykłady z Fizyki – Optyka*” są dziewiątym z piętnastu tomów pomocniczych materiałów do jednorocznego kursu fizyki prowadzonego przeze mnie na różnych kierunkach inżynierskich. Zainteresowani studiowaniem fizyki znajdą tu podstawowe pojęcia, prawa, jednostki, wzory, wykresy i przykłady.

Uzupełnieniem dziewiątego tomu są eBooki:

Z. Osiak: *Encyklopedia Fizyki*. Self Publishing (2012).

Z. Osiak: *Zadania Problemowe z Fizyki*. Self Publishing (2011).

Z. Osiak: *Angielsko-polski i polsko-angielski słownik terminów fizycznych*. Self Publishing (2011).

Zapis wszystkich trzydziestu wykładów zgrupowanych w piętnastu tomach zostanie zamieszczony w internecie w postaci eBooków.

-
- Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Mechanika.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Akustyka.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Hydromechanika.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Grawitacja.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Termodynamika.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Elektryczność.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Magnetyzm.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Elektromagnetyzm.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Optyka.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Kwanty.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Ciało Stałe.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Jądra.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Cząstki Elementarne.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Teoria Względności.*
 - Z. Osiak: *Wykłady z Fizyki – Stałe Uniwersalne i Jednostki.*

Optyka geometryczna

dr Zbigniew Osiak

Rysunki wykonała

Małgorzata Osiak

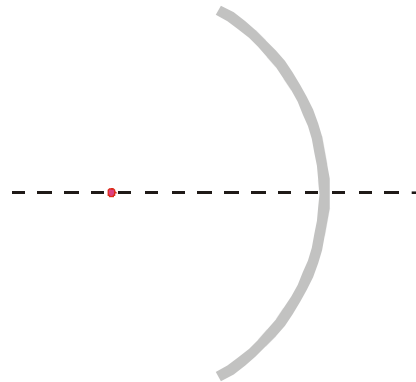
-
- Podstawowe pojęcia 09
 - Zasada Fermata 24
 - Podstawowe zjawiska 26
 - Pryzmaty 41
 - Zwierciadła 47
 - Soczewki 60
 - Sprzęt optyczny 73
 - Wady odwzorowań optycznych 100
 - Układ optyczny oka 109

- Optyka 10
- Promień światła 11
- Oś optyczna 12
- Kąt widzenia 13
- Obraz rzeczywisty 14
- Obraz pozorny 15
- Obraz prosty 16
- Obraz odwrócony 17
- Obraz powiększony 18
- Obraz pomniejszony 19
- Powiększenie kątowe 20
- Powiększenie liniowe 21
- Współczynnik załamania 22
- Droga optyczna 23

-
- Optyka \Leftrightarrow dział fizyki zajmujący się badaniem światła.

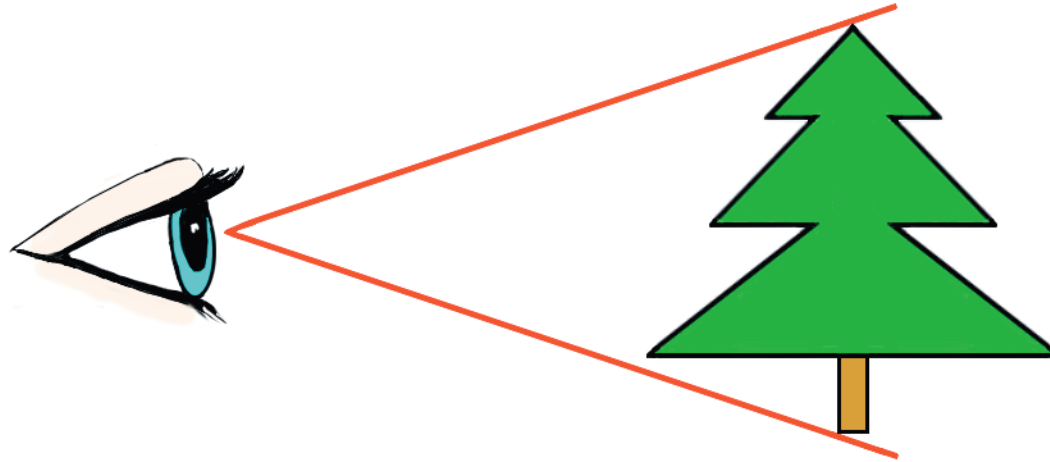
-
- Promień światła \Leftrightarrow wiązka światła o znikomo małym kołowym przekroju poprzecznym.

- Oś optyczna \Leftrightarrow prosta przechodząca przez środek lub środki krzywizn powierzchni sferycznych elementów optycznych, takich jak soczewki i zwierciadła.



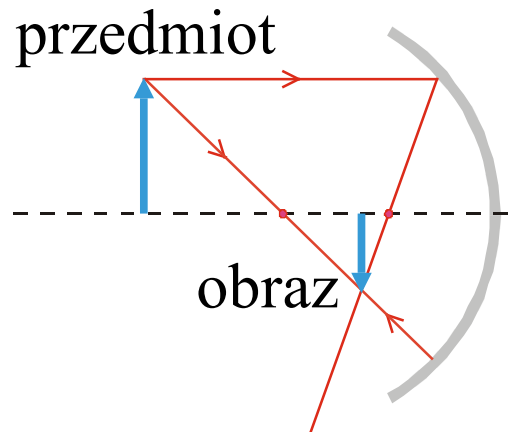
• Oś optyczna

- Kąt widzenia \Leftrightarrow kąt zawarty między dwoma prostymi łączącymi oko ze skrajnymi punktami przedmiotu.



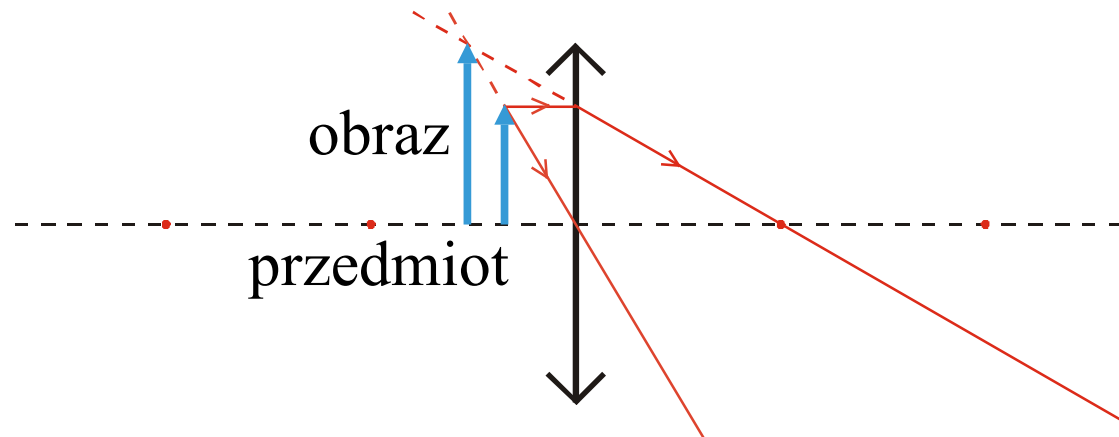
• Kąt widzenia

- Obraz rzeczywisty \Leftrightarrow obraz utworzony z punktów, w których przecinają się promienie załamane przez soczewkę lub odbite od zwierciadła.
- W soczewkach obraz rzeczywisty powstaje po przeciwnej stronie soczewki niż ta, po której znajduje się przedmiot.
- W zwierciadłach obraz rzeczywisty powstaje po tej samej stronie zwierciadła co ta, po której znajduje się przedmiot.



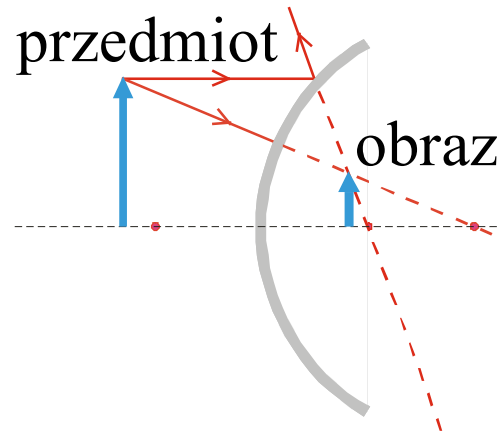
- Obraz rzeczywisty dawany przez zwierciadło wklęsłe

- Obraz pozorny \Leftrightarrow obraz utworzony z punktów, w których przecinają się przedłużenia promieni załamanych przez soczewkę lub odbitych od zwierciadła.
- W soczewkach obraz pozorny powstaje po tej samej stronie soczewki co ta, po której znajduje się przedmiot.
- W zwierciadłach obraz pozorny powstaje po przeciwnej stronie zwierciadła niż ta, po której znajduje się przedmiot.



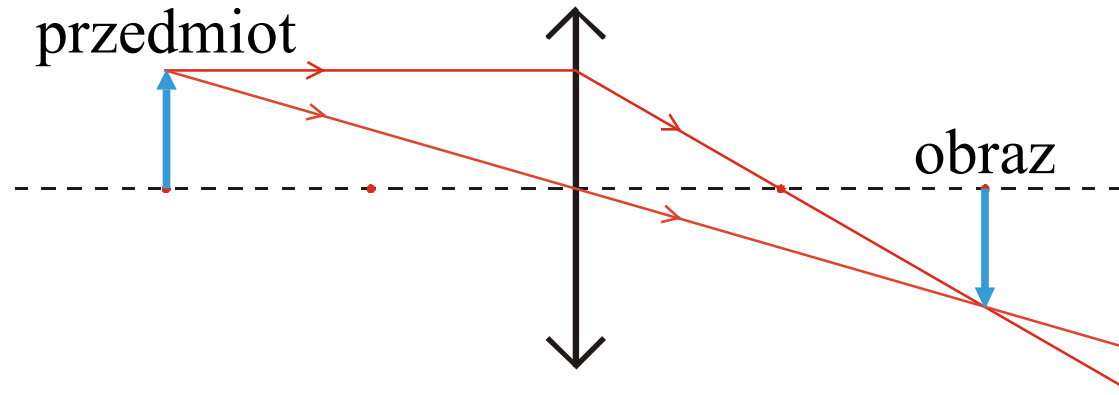
- Obraz pozorny dawany przez soczewkę skupiającą

- Obraz prosty \Leftrightarrow obraz, którego punkty dolne są punktami dolnymi przedmiotu, a górne – górnymi.



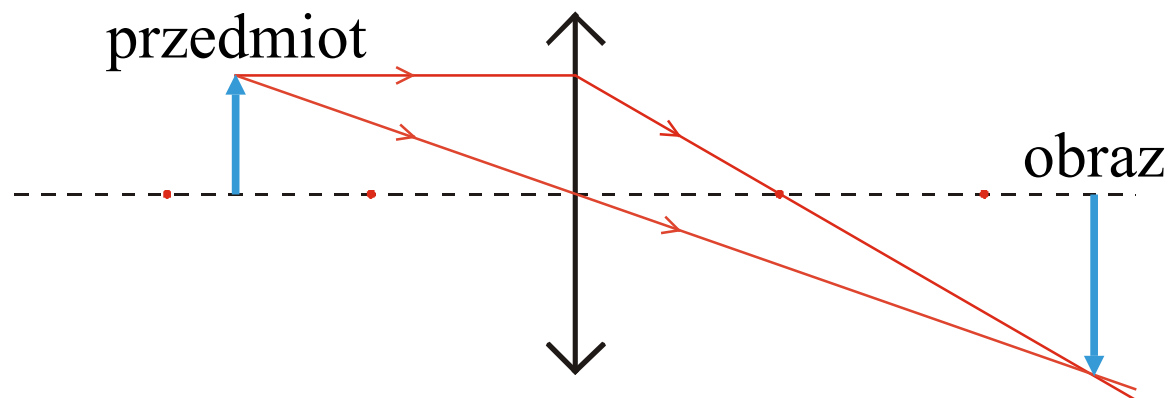
- Obraz prosty dawany przez zwierciadło wypukłe

- Obraz odwrócony \Leftrightarrow obraz, którego punkty dolne są punktami górnymi przedmiotu, a górne – dolnymi.



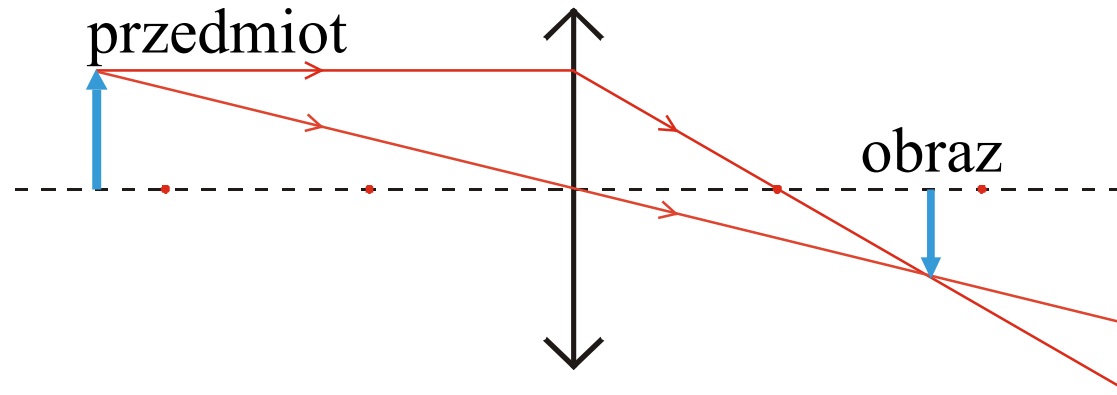
- Obraz odwrócony dawany przez soczewkę skupiającą

- Obraz powiększony \Leftrightarrow obraz, którego rozmiary liniowe są większe niż analogiczne rozmiary liniowe przedmiotu.



- Obraz powiększony dawany przez soczewkę skupiającą

- Obraz pomniejszony \Leftrightarrow obraz, którego rozmiary liniowe są mniejsze niż analogiczne rozmiary liniowe przedmiotu.



- Obraz pomniejszony dawany przez soczewkę skupiającą

- Powiększenie kątowe (p_k) \Leftrightarrow bezwymiarowa wielkość skalarna będąca stosunkiem tangensa kąta widzenia obrazu z odległości dobrego widzenia do tangensa kąta widzenia przedmiotu obserwowanego z tego samego punktu, z którego obserwowany jest obraz.

- Powiększenie liniowe (p) \Leftrightarrow bezwymiarowa wielkość skalarna będąca stosunkiem wysokości obrazu do wysokości przedmiotu. W przypadku soczewek i zwierciadeł powiększenie liniowe spełnia relację

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

- x – odległość przedmiotu od soczewki (zwierciadła)
- y – odległość obrazu od soczewki (zwierciadła)

P $p = 1/2$: obraz jest rzeczywisty, dwukrotnie pomniejszony. $p = -5$: obraz jest pozorny, pięciokrotnie powiększony.

- Współczynnik załamania (n) \Leftrightarrow bezwymiarowa wielkość skalarna charakteryzująca dany ośrodek, będąca stosunkiem wartości prędkości światła (c) w próżni do wartości prędkości światła (v) w tym ośrodku.

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

-
- Droga optyczna \Leftrightarrow wielkość skalarna będąca w danym jednorodnym ośrodku iloczynem drogi przebytej przez światło i współczynnika załamania tego ośrodka.

- Zasada Fermata 25

• Zasada Fermata \Leftrightarrow zasada sformułowana przez Fermata w 1662, głosząca, że światło w ośrodku niejednorodnym porusza się między dwoma danymi punktami po torze, który pokonuje w jak najkrótszym czasie. Torowi temu odpowiada najmniejsza wartość drogi optycznej. Z zasady Fermata, nazywanej też zasadą najkrótszego czasu, wynika między innymi prawo załamania światła.

B Pierre de Fermat (1601-1665), francuski matematyk i fizyk.

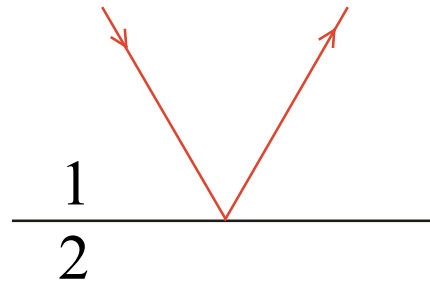
- Odbicie światła (refleksja) 27
- Kąt padania 29
- Kąt odbicia 30
- Załamanie światła (refrakcja) 31
- Kąt załamania 33
- Prawo Sneliusa 34
- Całkowite wewnętrzne odbicie 36
- Kąt graniczny 37
- Aberracja 38
- Cień 40

- Odbicie światła (refleksja) \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że na granicy dwóch ośrodków o różnych współczynnikach załamania fala świetlna zmienia kierunek propagacji wskutek odbicia się od powierzchni granicznej. Prawo odbicia stanowi, że kąt padania (α_{pad}) jest równy kątowi odbicia (α_{odb})

$$\alpha_{\text{pad}} = \alpha_{\text{odb}}$$

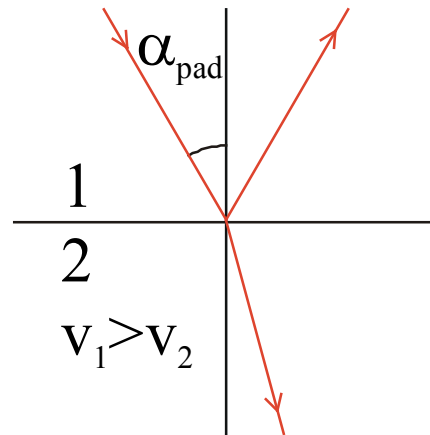
- Przy czym kąty padania i odbicia oraz normalna do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie.
- Odbicie światła nazywane jest też refleksją.

C Fala padająca na granicę dwóch ośrodków o takich samych współczynnikach załamania nie odbija się.



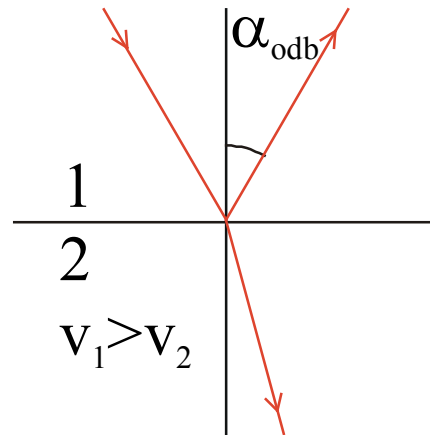
- Odbicie światła od granicy ośrodków

- Kąt padania (α_{pad}) \Leftrightarrow kąt zawarty między normalną do powierzchni granicznej a promieniem światła padającym na tę powierzchnię.



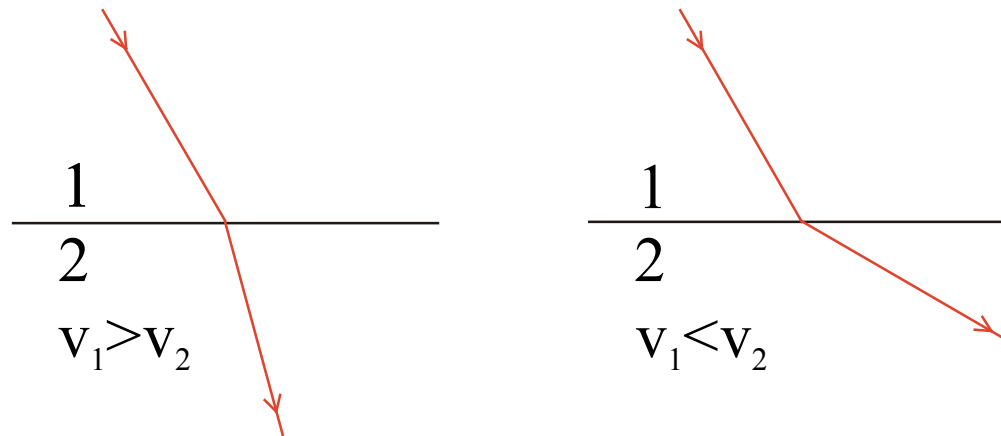
- Kąt padania (α_{pad})

- Kąt odbicia (α_{odb}) \Leftrightarrow kąt zawarty między normalną do powierzchni granicznej a promieniem światła odbitym od tej powierzchni.



- Kąt odbicia (α_{odb})

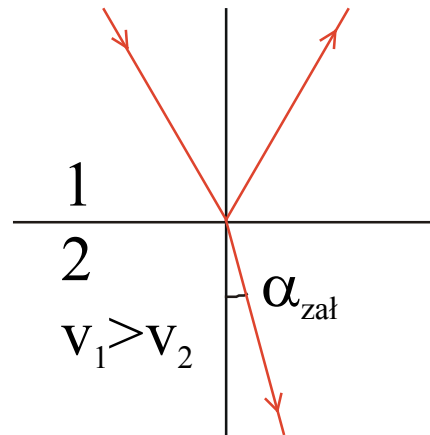
-
- Załamanie światła (refrakcja) \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że na granicy dwóch ośrodków o różnych współczynnikach załamania światło zmienia kierunek propagacji, wchodząc do sąsiedniego ośrodka.
 - Załamanie światła nazywane jest też refrakcją.



- Załamanie światła w przypadku, gdy wartość prędkości światła (v_1) w ośrodku pierwszym jest większa od wartości prędkości światła (v_2) w ośrodku drugim

- Załamanie światła w przypadku, gdy wartość prędkości światła (v_1) w ośrodku pierwszym jest mniejsza od wartości prędkości światła (v_2) w ośrodku drugim

- Kąt załamania ($\alpha_{\text{zał}}$) \Leftrightarrow kąt zawarty między normalną do powierzchni granicznej a promieniem światła, który uległ załamaniu.



- Kąt załamania ($\alpha_{\text{zał}}$)

- Prawo Snelliusa \Leftrightarrow prawo głoszące, że kąt padania (α_1), kąt załamania (α_2) oraz normalna do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie. Ponadto spełniony jest związek

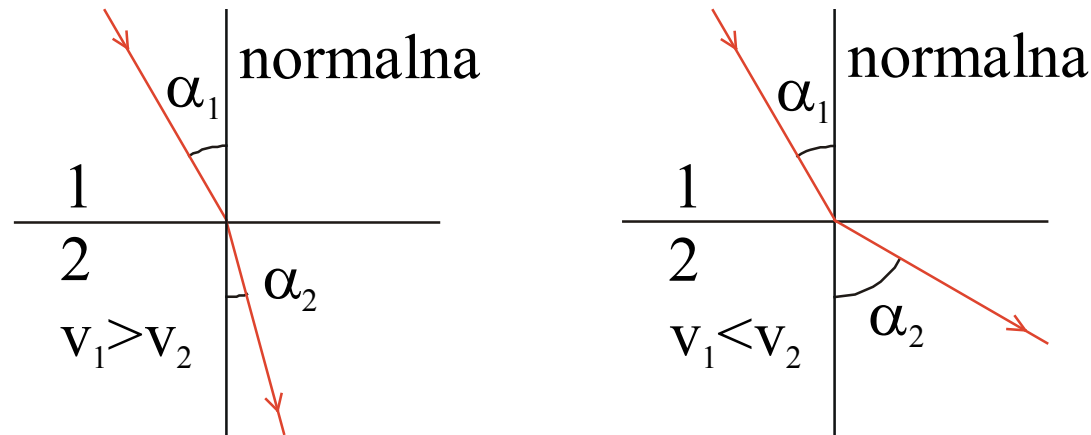
$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

- v – wartość prędkości światła w ośrodku
- λ – długość fali
- n – współczynnik załamania
- indeksy (1) i (2) numerują ośrodki

H Prawo to odkrył w 1621 Snellius, który swoich wyników nie opublikował, oraz niezależnie Kartezjusz w 1637.

B Willebrord Snellius (Snell) (1580-1626), holenderski matematyk i fizyk.

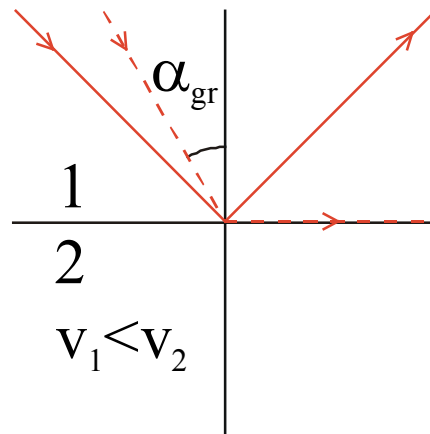
B René du Perron Descartes (Kartezjusz) (1596-1650), francuski filozof, fizyk, matematyk i fizjolog.



- Załamanie światła w przypadku, gdy wartość prędkości światła (v_1) w ośrodku pierwszym jest większa od wartości prędkości światła (v_2) w ośrodku drugim.

- Załamanie światła w przypadku, gdy wartość prędkości (v_1) w ośrodku pierwszym jest mniejsza od wartości prędkości światła (v_2) w ośrodku drugim.

- Całkowite wewnętrzne odbicie \Leftrightarrow zjawisko zachodzące na granicy dwóch ośrodków o różnych współczynnikach załamania, polegające na tym, że światło jedynie odbija się (bez załamania) od granicy z ośrodkiem, w którym wartość prędkości światła jest większa. Przy czym kąt padania musi być większy od kąta granicznego.

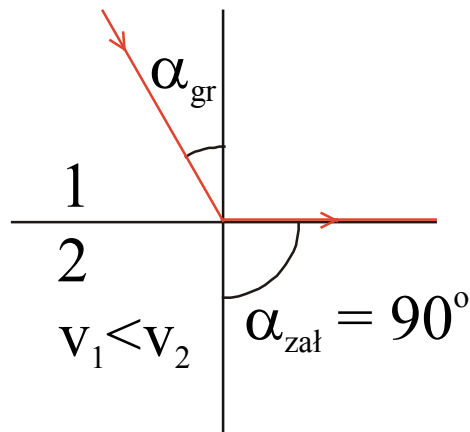


- Promień światła padający na granicę dwóch ośrodków pod kątem większym od kąta granicznego (α_{gr}) jedynie odbija się od tej granicy.

- Kąt graniczny (α_{gr}) \Leftrightarrow kąt padania, któremu odpowiada kąt załamania wynoszący 90° . Sytuacja taka jest możliwa, gdy światło przechodzi z ośrodka o większym współczynniku załamania (n_1) do ośrodka o mniejszym współczynniku załamania (n_2).

$$\sin \alpha_{gr} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad v_1 < v_2, \quad n_1 > n_2$$

- v_1, v_2 – wartości prędkości światła w ośrodkach pierwszym i drugim



- Kąt graniczny (α_{gr})

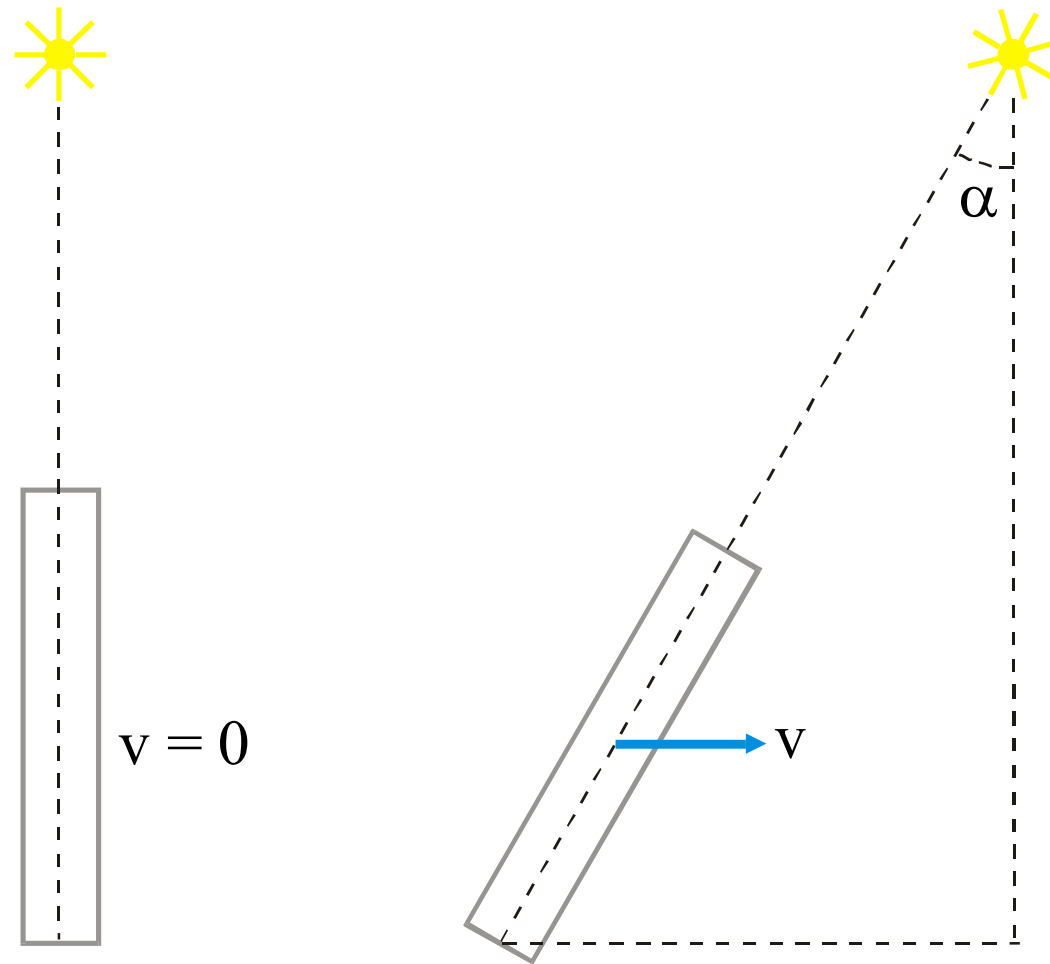
• Aberracja \Leftrightarrow zjawisko odkryte przez Bradleya w 1728, polegające na tym, że obserwowane przez teleskop położenie gwiazdy jest inne od jej położenia rzeczywistego. Podczas przelotu światła od obiektywu do okularu teleskop zmienia swoje położenie wskutek ruchu Ziemi dookoła Słońca z prędkością o wartości $v \approx 3 \cdot 10^4$ m/s. Aby zobaczyć gwiazdę, należy teleskop odchylić od kierunku prostej łączącej gwiazdę z okiem obserwatora o kąt (α), zwany kątem aberracji.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{c}$$

• $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s – wartość prędkości światła w próżni

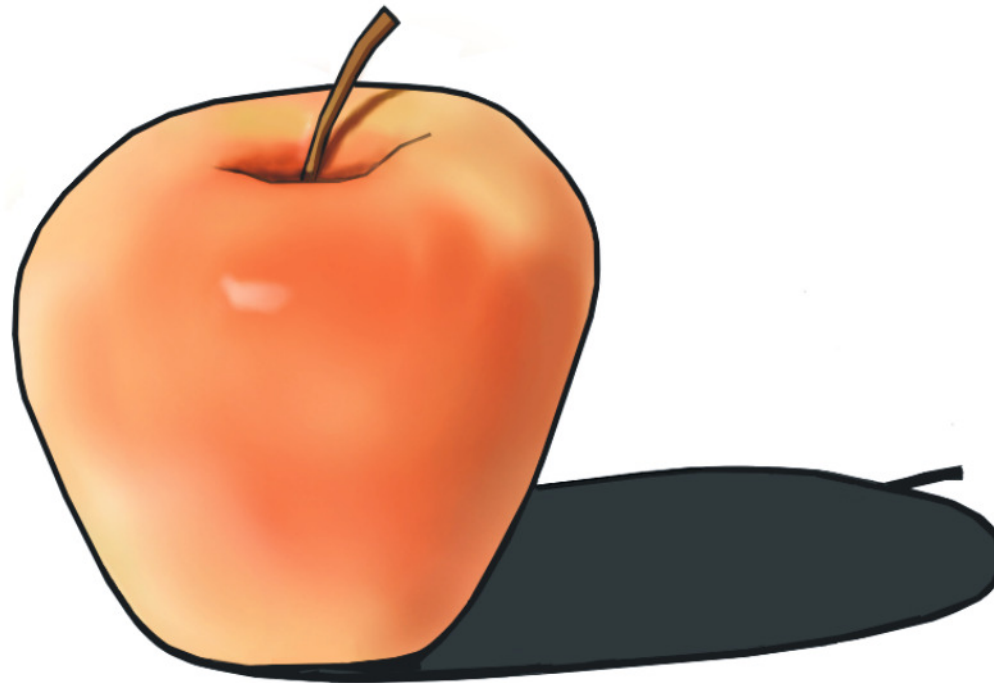
C Bradley obliczył wartość prędkości światła z pomiaru kąta aberracji.

B James Bradley (1693-1762), angielski astronom.



• Aberracja

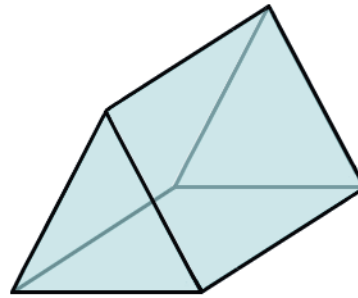
- Cień \Leftrightarrow obszar całkowicie nieoświetlony lub oświetlony tylko częściowo z powodu nieprzezroczystego ciała zasłaniającego źródło światła.



• Cień

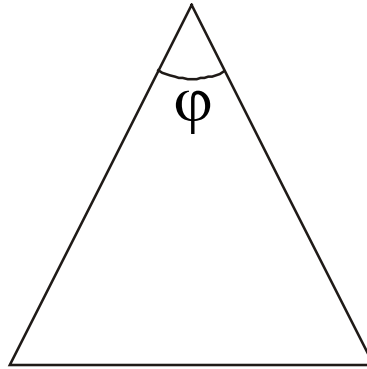
- Pryzmat 42
- Kąt łamiący pryzmatu 43
- Kąt odchylenia 44
- Kąt najmniejszego odchylenia 45
- Pryzmat achromatyczny 46

- Pryzmat \Leftrightarrow bryła z jednorodnego, przezroczystego materiału ograniczona dwoma przecinającymi się płaszczyznami. Pryzmat jest wykorzystywany między innymi do rozszczepiania światła białego.



• Pryzmat

- Kąt łamiący pryzmatu (φ) \Leftrightarrow kąt zawarty między płaszczyznami ograniczającymi bryłę pryzmatu.

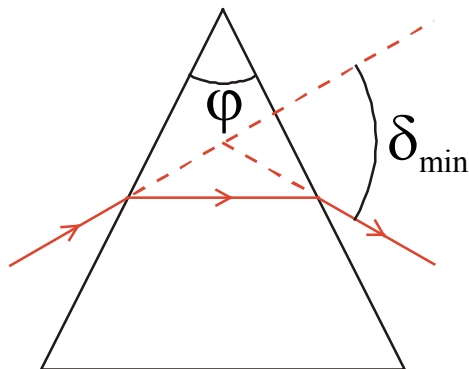


- Kąt łamiący pryzmatu (φ)

-
- Kąt odchylenia (δ) \Leftrightarrow kąt zawarty między kierunkiem promienia wchodzącego do pryzmatu a kierunkiem promienia wychodzącego z pryzmatu.

- Kąt najmniejszego odchylenia (δ_{\min}) \Leftrightarrow najmniejsza wartość kąta zawartego między kierunkiem promienia wchodzącego do pryzmatu i kierunkiem promienia wychodzącego z pryzmatu. Kąt najmniejszego odchylenia (δ_{\min}), kąt łamiący pryzmatu (φ) oraz współczynnik załamania pryzmatu (n) spełniają poniższą relację.

$$n = \frac{\sin \frac{\varphi + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$



- Kąt najmniejszego odchylenia (δ_{\min})

-
- Pryzmat achromatyczny \Leftrightarrow pryzmat, utworzony najczęściej z dwóch pryzmatów o różnych kątach łamiących i współczynnikach załamania, niewykazujący aberracji chromatycznej.

- Zwierciadło 48
- Zwierciadło płaskie 49
- Zwierciadło sferyczne 50
- Zwierciadło (sferyczne) wklęsłe 51
- Zwierciadło (sferyczne) wypukłe 52
- Ognisko zwierciadła sferycznego 53
- Ogniskowa zwierciadła sferycznego 55
- Konstrukcja obrazu danego przez zwierciadło płaskie 56
- Konstrukcja obrazu danego przez zwierciadło sferyczne 57
- Równanie zwierciadła 59

- Zwierciadło \Leftrightarrow gładka powierzchnia wykonana z nieprzezroczystego materiału, odbijająca znaczną część padającego na nią światła. Ze względu na kształt zwierciadła dzieli się na płaskie, wklęsłe i wypukłe, z kolei te dwa ostatnie dzieli się na sferyczne, paraboliczne, hiperboliczne i cylindryczne.

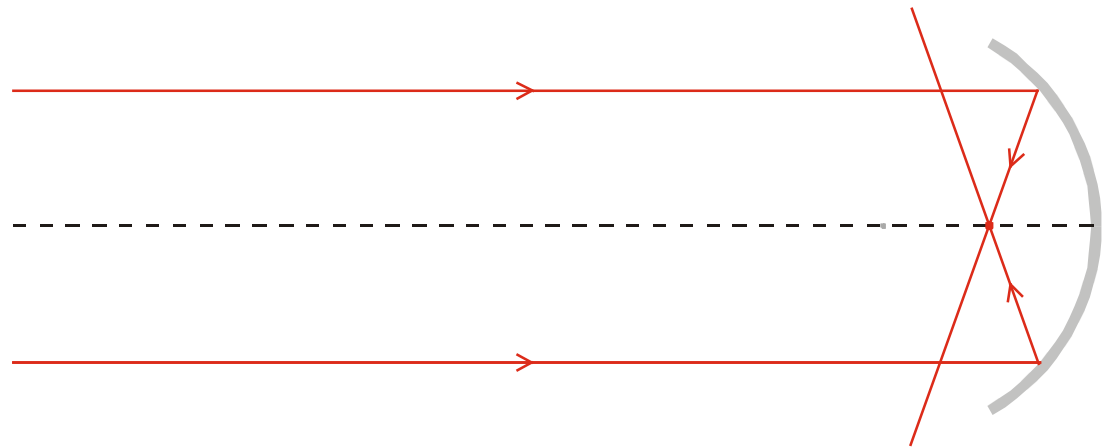
-
- Zwierciadło płaskie \Leftrightarrow zwierciadło, którego powierzchnia odbijająca jest płaska.

- Zwierciadło sferyczne \Leftrightarrow zwierciadło, którego powierzchnia odbijająca jest wewnętrzną lub zewnętrzną powierzchnią wycinka sfery.

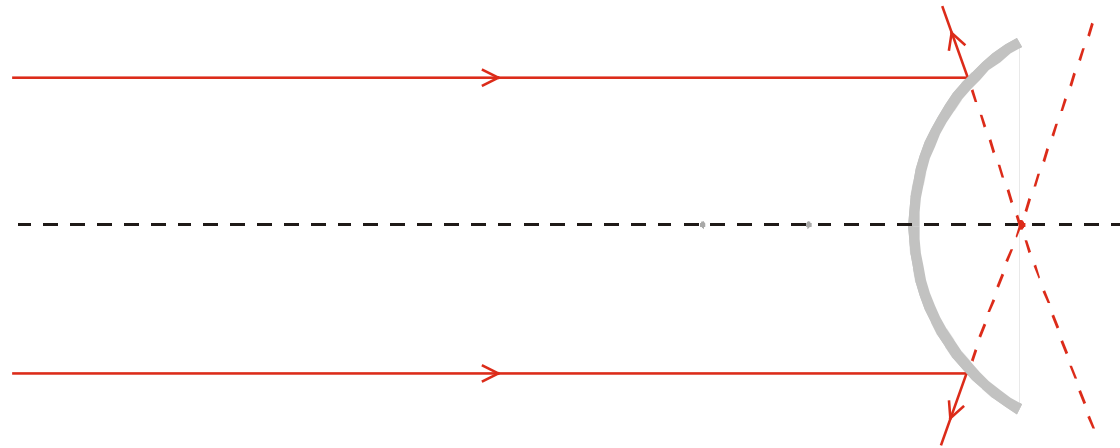
- Zwierciadło (sferyczne) wklęsłe \Leftrightarrow zwierciadło sferyczne, w którym powierzchnia odbijająca jest wewnętrzną (wklęsłą) powierzchnią wycinka sfery.

- Zwierciadło (sferyczne) wypukłe \Leftrightarrow zwierciadło sferyczne, w którym powierzchnia odbijająca jest zewnętrzną (wypukłą) powierzchnią wycinka sfery.

- Ognisko zwierciadła sferycznego \Leftrightarrow punkt, w którym przecinają się promienie odbite od zwierciadła wklęsłego (skupiającego), lub punkt, w którym przecinają się przedłużenia promieni odbitych od zwierciadła wypukłego (rozpraszającego). W obu przypadkach promienie przed odbiciem od każdego z tych zwierciadeł biegną równoległe do ich osi optycznych.



- Ognisko zwierciadła sferycznego wklęsłego



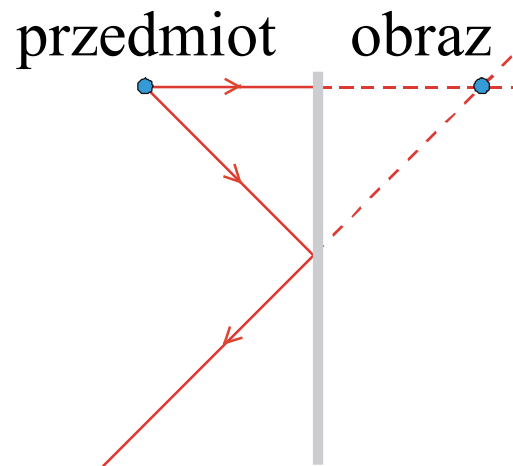
- Ognisko zwierciadła sferycznego wypukłego

- Ogniskowa zwierciadła sferycznego (f) \Leftrightarrow odległość między ogniskiem a zwierciadłem sferycznym, mierzona wzdłuż osi optycznej, opatrzona znakiem plus dla zwierciadeł wklęsłych (skupiających) i znakiem minus dla zwierciadeł wypukłych (rozpraszających).

$$f = \frac{r}{2}$$

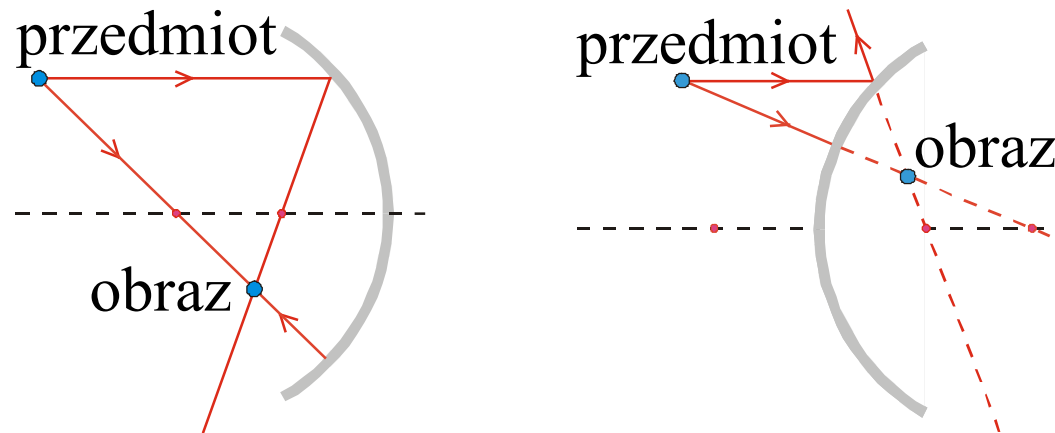
- r – promień krzywizny zwierciadła

- Konstrukcja obrazu danego przez zwierciadło płaskie \Leftrightarrow metoda odwzorowania punktów przedmiotu w punkty obrazu powstającego po odbiciu się światła od zwierciadła płaskiego. W tym celu należy narysować co najmniej dwa promienie wychodzące z każdego punktu przedmiotu i znaleźć punkt, w którym przedłużenia tych promieni się przecinają.



- Konstrukcja obrazu danego przez zwierciadło płaskie

- Konstrukcja obrazu danego przez zwierciadło sferyczne \Leftrightarrow metoda odwzorowania punktów przedmiotu w punkty obrazu powstającego po odbiciu się światła od zwierciadła sferycznego. W tym celu należy narysować co najmniej dwa promienie wychodzące z każdego punktu przedmiotu i znaleźć punkt, w którym te promienie lub ich przedłużenia się przecinają. Najczęściej wykorzystywany jest promień biegnący ku zwierciadłu równoległe do osi optycznej oraz promień biegnący w kierunku środka krzywizny zwierciadła.



- Konstrukcja obrazu danego przez zwierciadło sferyczne wklęsłe

- Konstrukcja obrazu danego przez zwierciadło sferyczne wypukłe

- Równanie zwierciadła \Leftrightarrow równanie przedstawiające zależność między ogniskową (f), odległością (x) przedmiotu od zwierciadła oraz odległością (y) obrazu od zwierciadła.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}, \quad f = \frac{r}{2}$$

- r – promień krzywizny zwierciadła sferycznego
- Konwencja znakowa:
Zwierciadło płaskie: $f = 0$, $r = \infty$.
Zwierciadło wklęsłe (skupiające): $f > 0$, $r > 0$.
Zwierciadło wypukłe (rozpraszające): $f < 0$, $r < 0$.
Przedmiot: $x > 0$.
Obraz rzeczywisty: $y > 0$.
Obraz pozorny: $y < 0$.

- Soczewka optyczna (sferyczna) 61
- Soczewka skupiająca 62
- Soczewka rozpraszająca 63
- Ognisko soczewki 64
- Ogniskowa soczewki 66
- Zdolność skupiająca soczewki 67
- Soczewka cienka 68
- Równania soczewki cienkiej 69
- Konstrukcja obrazu danego przez soczewkę 71

- Soczewka optyczna (sferyczna) \Leftrightarrow bryła z jednorodnego, przezroczystego materiału ograniczona co najmniej jedną powierzchnią sferyczną. Druga powierzchnia ograniczająca może być płaszczyzną. Ze względu na załamywanie światła przez soczewki dzielimy je na skupiające i rozpraszające. Ze względu na kształt soczewki dzielimy na dwuwypukłe, płasko-wypukłe, wypukło-wklęsłe, meniskowate ($r_1 = -r_2$), płasko-wklęsłe oraz dwuwklęsłe.

- Soczewka skupiająca \Leftrightarrow soczewka, która padające na nią światło załamuje do osi optycznej.



- Symbol soczewki skupiającej

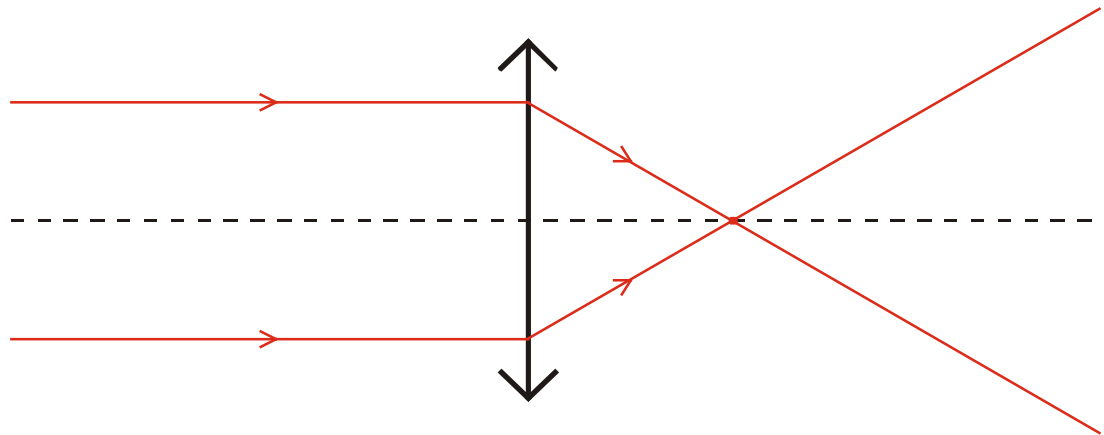
- Soczewka rozpraszająca \Leftrightarrow soczewka, która padające na nią światło załamuje od osi optycznej.



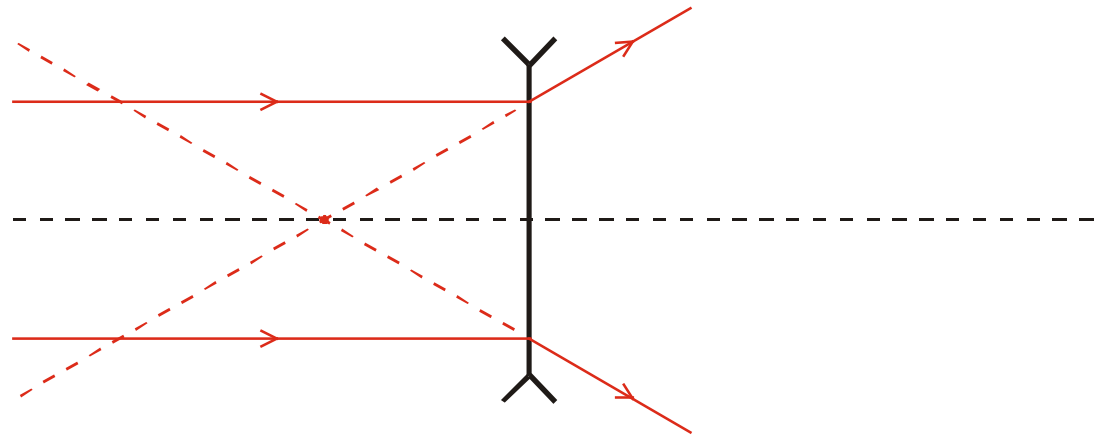
- Symbol soczewki rozpraszającej

- Ognisko soczewki \Leftrightarrow punkt, w którym przecinają się promienie wychodzące z soczewki skupiającej, lub punkt, w którym przecinają się przedłużenia promieni wychodzących z soczewki rozpraszającej. W obu przypadkach promienie przed wejściem do każdej z tych soczewek biegły równoległe do ich osi optycznych.

U Podana definicja ogniska dotyczy soczewek idealnych (cienkich) i światła monochromatycznego.



- Ognisko soczewki skupiającej



- Ognisko soczewki rozpraszającej

- Ogniskowa soczewki (f) \Leftrightarrow odległość między ogniskiem a środkiem soczewki, opatrzona znakiem plus dla soczewek skupiających i znakiem minus dla soczewek rozpraszających.
- Ogniskowa (f_u) układu soczewek o ogniskowych (f_1) i (f_2) dana jest poniższym wzorem.

$$\frac{1}{f_u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

- Zdolność skupiająca soczewki (φ) \Leftrightarrow odwrotność ogniskowej soczewki (f) mierzona w dioptriach [D].

$$\varphi = \frac{1}{f}, \quad [\varphi] = \frac{1}{\text{m}} = \text{D}$$

- Zdolność skupiająca soczewek skupiających jest dodatnia, a rozpraszających – ujemna.

- Soczewka cienka \Leftrightarrow soczewka, której grubość mierzona wzdłuż osi optycznej jest mała w stosunku do promieni krzywizn powierzchni soczewki.



• Soczewka cienka

- Równania soczewki cienkiej \Leftrightarrow równania opisujące soczewkę cienką. Pierwsze równanie podaje związek między ogniskową (f), współczynnikiem załamania soczewki (n_s), współczynnikiem załamania ośrodka (n_o) oraz promieniami krzywizn (r_1, r_2) powierzchni ograniczających bryłę soczewki.

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

- Drugie równanie przedstawia zależność między ogniskową (f), odległością (x) przedmiotu od soczewki oraz odległością (y) obrazu od soczewki.

- Drugie równanie przedstawia zależność między ogniskową (f), odległością (x) przedmiotu od soczewki oraz odległością (y) obrazu od soczewki.

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

- Konwencja znakowa:

Soczewka skupiająca: $f > 0$.

Soczewka rozpraszająca: $f < 0$.

Powierzchnia płaska: $r = \infty$.

Powierzchnia wypukła: $r > 0$.

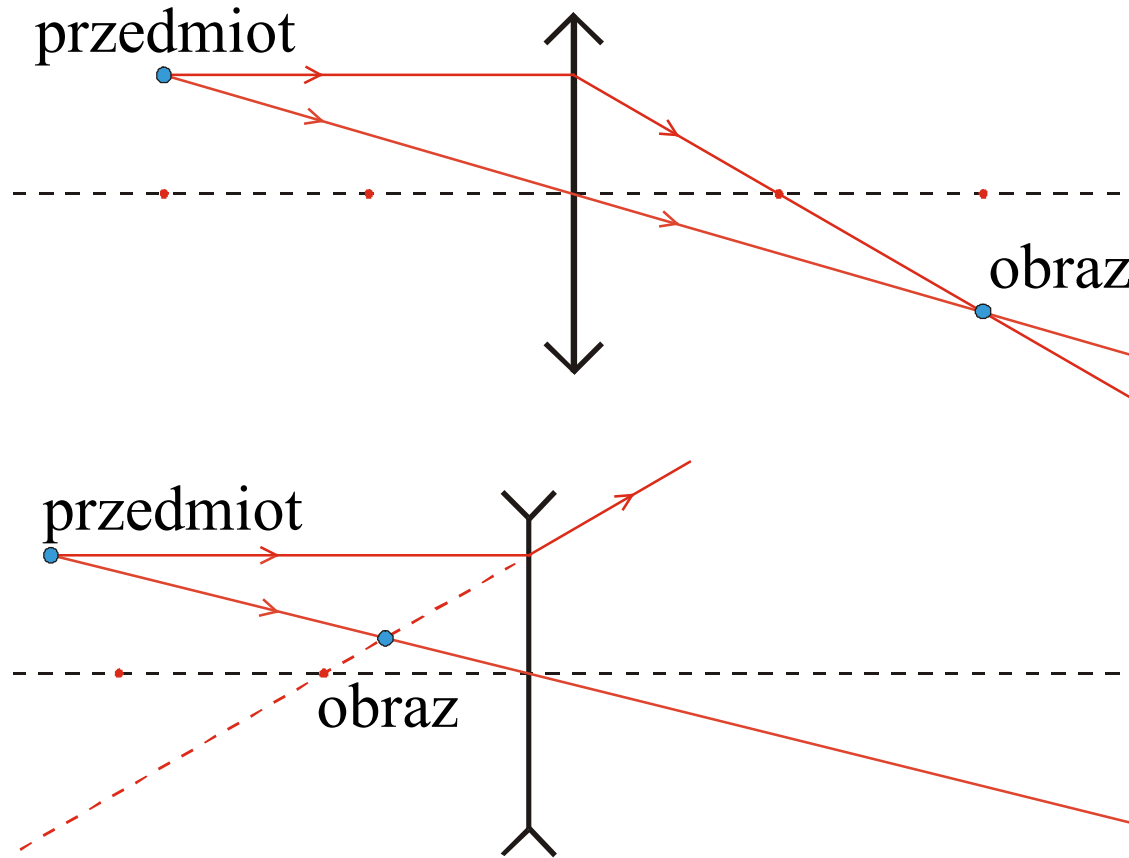
Powierzchnia wklęsła: $r < 0$.

Przedmiot: $x > 0$.

Obraz rzeczywisty: $y > 0$.

Obraz pozorny: $y < 0$.

- Konstrukcja obrazu danego przez soczewkę \Leftrightarrow metoda odwzorowania punktów przedmiotu w punkty obrazu powstającego po przejściu światła przez soczewkę. W tym celu należy narysować co najmniej dwa promienie wychodzące z każdego punktu przedmiotu i znaleźć punkt, w którym te promienie lub ich przedłużenia się przecinają. Najczęściej wykorzystywany jest promień przechodzący bez załamania przez środek soczewki oraz promień biegnący ku soczewce równolegle do osi optycznej.



- Konstrukcja obrazu danego przez soczewkę skupiającą

- Konstrukcja obrazu danego przez soczewkę rozpraszającą

- Lupa 75
- Okulary 77
- Camera obscura 78
- Aparat fotograficzny 79
- Przysłona (diafragma) 80
- Obiektyw 81
- Głębina ostrości 82
- Mikroskop optyczny 83
- Okular 85
- Tubus 86
- Zdolność rozdzielcza mikroskopu 87
- Diaskop 88
- Episkop 89
- Epidiaskop 90
- Luneta 91
- Lornetka 92
- Peryskop 93

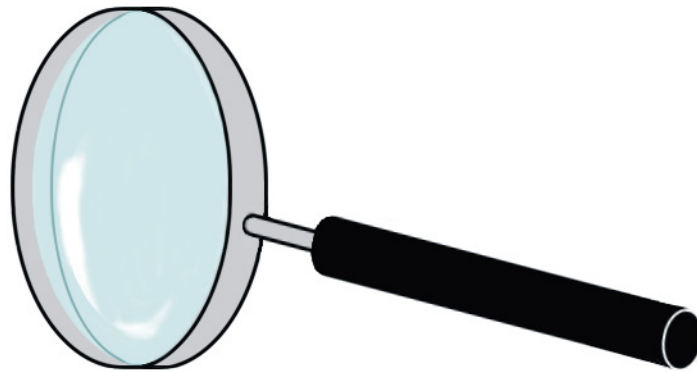
- Płytko płasko równoległa 94
- Światłowód 95
- Ława optyczna 96
- Kolimator 97
- Kondensator 98
- Refraktometr 99

- Lupa \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do uzyskiwania powiększeń liniowych do 20 razy, jest nim soczewka skupiająca lub skupiający układ soczewek o krótkiej ogniskowej. Umieszczając przedmiot w odległości (od lupy) mniejszej niż ogniskowa, otrzymujemy obraz prosty, pozorny i powiększony w odległości dobrego widzenia. Powiększenie liniowe (p) lupy wynosi:

$$p = \frac{d}{f} + 1$$

- d – odległość dobrego widzenia • f – ogniskowa lupy

U W przypadku lupy powiększenie liniowe jest równe stosunkowi tangensa kąta widzenia obrazu do tangensa kąta widzenia przedmiotu. Przedmiot i obraz powinny być obserwowane z odległości dobrego widzenia.



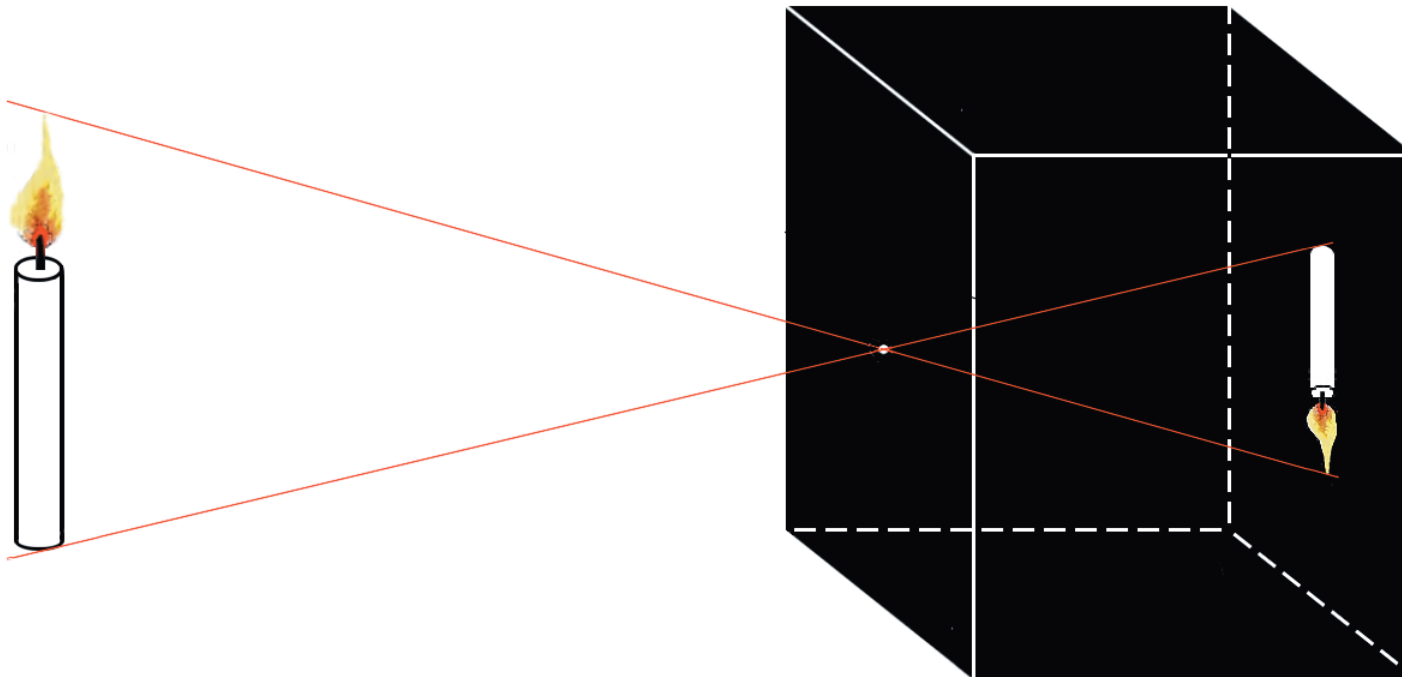
•Lupa

- Okulary \Leftrightarrow dwie sferyczne soczewki skupiające lub rozpraszające, a także soczewki cylindryczne, umieszczone w odpowiednich oprawkach, stosowane w celu korekcji wad wzroku.



• Okulary

- Camera obscura \Leftrightarrow prostopadłościenna skrzynka pomalowana wewnątrz czarną, matową farbą. W centrum jednej ze ścianek wywiercony jest mały otwór, przeciwległą ściankę stanowi matowa płytką szklana lub kalka techniczna. Na matówce powstaje obraz pomniejszony i odwrócony, o dużej głębi ostrości. Camera obscura stanowi pierwowzór aparatu fotograficznego.

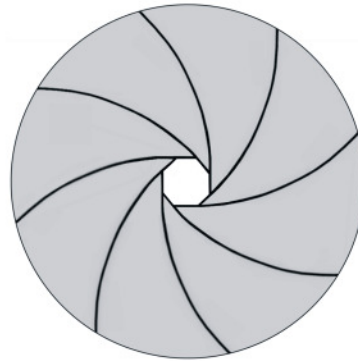


- Aparat fotograficzny \Leftrightarrow przyrząd optyczny, którego podstawowymi elementami są obiektyw, przysłona i migawka, umożliwiający utrwalanie obrazu fotografowanego przedmiotu na światłoczułej błonie lub innym nośniku.



- Aparat fotograficzny

- Przysłona (diafragma) \Leftrightarrow nieprzezroczysty krążek z okrągłym otworem o regulowanej średnicy. Przysłona umożliwia sterowanie strumieniem światła wchodzącego do układu optycznego, eliminowanie aberracji sferycznej oraz dobranie żądanej głębi ostrości.



•Przysłona

• Obiektyw \Leftrightarrow przyrząd optyczny składający się ze skupiającego układu soczewek (i niekiedy zwierciadeł) oraz przysłony. Obraz rzeczywisty i odwrócony, powstający w obiektywie, jest poddawany dalszej “obróbce”, może być zarejestrowany na odpowiednim nośniku (aparat fotograficzny) lub powiększony przez okular (luneta, mikroskop).

H Obiektyw soczewkowy wynalazł Cardan w 1550.

B Jerome Cardan [Girolamo Cardano] (1501-1576), włoski uczony.

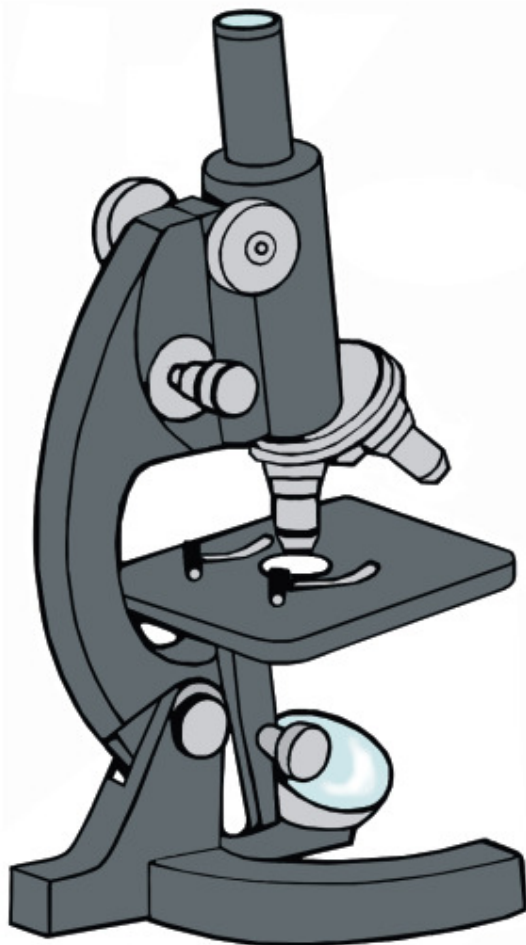
-
- Głębia ostrości \Leftrightarrow zakres odległości od aparatu fotograficznego, w którym przedmioty odwzorowane są przez obiektyw w odpowiadające im wyraźne (ostre) obrazy. Przy ustalonej ogniskowej obiektywu i ustalonej odległości aparatu od planu nastawionego na ostro, głębia ostrości jest tym większa, im mniejsza jest średnica przysłony (diafragmy).

- Mikroskop optyczny \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do uzyskiwania dużych powiększeń liniowych, nawet 3500-krotnych. Podstawowymi elementami mikroskopu są obiektyw, okular i tubus. Przedmiot umieszczany jest w takiej odległości (x_1) od obiektywu, by jego rzeczywisty, odwrócony i powiększony obraz powstał w odległości (x_2) od okularu.

$$f_{ob} < x_1 < 2f_{ob}$$
$$x_2 < f_{ok}$$

- Okular powiększa ten obraz. Ostatecznie, w mikroskopie otrzymywany jest pozorny obraz odwrócony i powiększony w stosunku do przedmiotu. Powiększenie liniowe (p) mikroskopu jest iloczynem powiększenia obiektywu (p_{ob}) i powiększenia okularu (p_{ok}).

$$p = p_{ob} \cdot p_{ok}, \quad p_{ob} = \frac{l}{f_{ob}}, \quad p_{ok} = \frac{d}{f_{ok}}$$



- f_{ob} – ogniskowa obiektywu
- f_{ok} – ogniskowa okularu
- l – długość tubusu
- d – odległość dobrego widzenia

• Mikroskop optyczny

-
- Okular \Leftrightarrow układ soczewek umożliwiający obserwowanie obrazu dawanego przez obiektyw. Okular i obiektyw są podstawowymi elementami lunety i mikroskopu.

-
- Tubus \Leftrightarrow co najmniej dwie połączone ze sobą metalowe rury o różnych średnicach, na których końcach znajdują się obiektyw i okular.

- Zdolność rozdzielcza mikroskopu \Leftrightarrow wielkość skalarna będąca miarą zdolności mikroskopu do rozróżniania szczegółów, określona jako odwrotność najmniejszej odległości między dwoma punktami przedmiotu, które zostały odwzorowane jeszcze w dwa różne punkty obrazu. Przyczyną ograniczonej zdolności rozdzielczej jest głównie dyfrakcja światła na diafragmach. W przypadku diafragmy kołowej obrazem dyfrakcyjnym punktu jest tzw. plamka Airy'ego, czyli jasne koło otoczone współkoncentrycznymi pierścieniami na przemian ciemnymi i jasnymi. Zdolność rozdzielcza jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali użytego światła.

B Sir George Biddell Airy (1801-1892), brytyjski (angielski) astronom.

-
- Diaskop \Leftrightarrow urządzenie optyczne służące do wyświetlania na ekranie rysunków lub zdjęć znajdujących się na przezroczystym podłożu i oświetlonych tak, by światło przechodziło przez nie.
 - Diaskop nazywany jest też rzutnikiem przezroczy.

-
- Episkop \Leftrightarrow urządzenie optyczne służące do wyświetlania na ekranie rysunków lub zdjęć znajdujących się na nieprzezroczystym podłożu i oświetlonych tak, by światło odbijało się od nich.

-
- Epidiaskop \Leftrightarrow urządzenie optyczne służące do wyświetlania na ekranie nieruchomych obrazów, stanowiące połączenie diaskopu i episkopu.

- Luneta \Leftrightarrow przyrząd optyczny umożliwiający widzenie odległych przedmiotów. Podstawowymi elementami lunety są obiektyw, okular i tubus. Powiększenie kątowe (p_k) lunety wynosi:

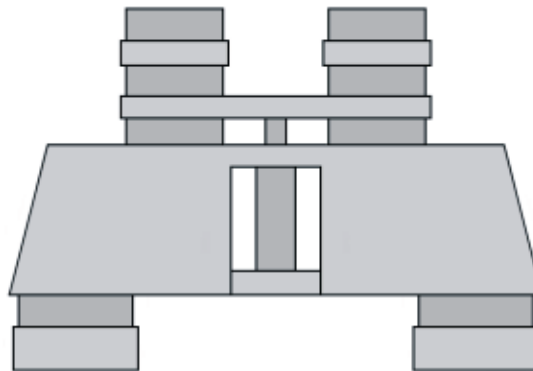
$$p_k = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

- f_{ob} – ogniskowa obiektywu • f_{ok} – ogniskowa okularu
- W lunecie Keplera otrzymujemy obraz pozorny i odwrócony, okular jest soczewką skupiającą, ogniska obiektywu i okularu pokrywają się. Luneta Galileusza daje obraz pozorny i prosty, okular jest soczewką rozpraszającą umieszczoną między obiektywem a jego ogniskiem.

B Galileo Galilei [Galileusz] (1564-1642), włoski astronom, fizyk i filozof.

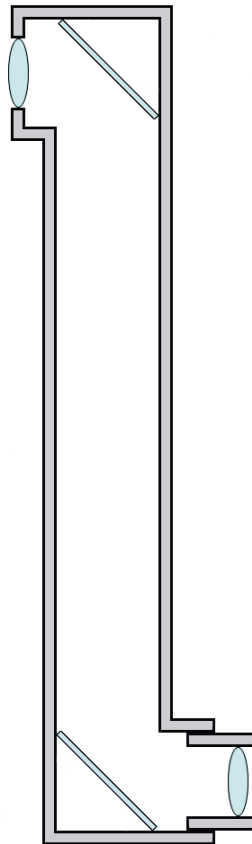
B Johannes Kepler (1571-1630), niemiecki astronom i matematyk.

- Lornetka \Leftrightarrow przyrząd optyczny składający się z dwóch równolegle połączonych lunet, umożliwiający obuoczne widzenie odległych przedmiotów. Dzięki zastosowaniu odpowiedniego układu pryzmatów obserwator widzi obraz prosty. Na lornetce umieszczana jest informacja o jej powiększeniu kątowym (pierwsza liczba) i średnicy obiektywu w milimetrach (druga liczba), na przykład 10×50.



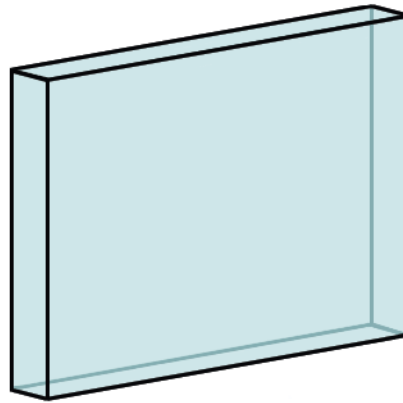
• Lornetka

- Peryskop \Leftrightarrow przyrząd optyczny, umożliwiający obserwowanie przedmiotów na różnych wysokościach lub głębokościach, używany między innymi w łodziach podwodnych i czołgach. Stanowi go rura teleskopowa z układem soczewek i luster lub pryzmatów.



• Peryskop

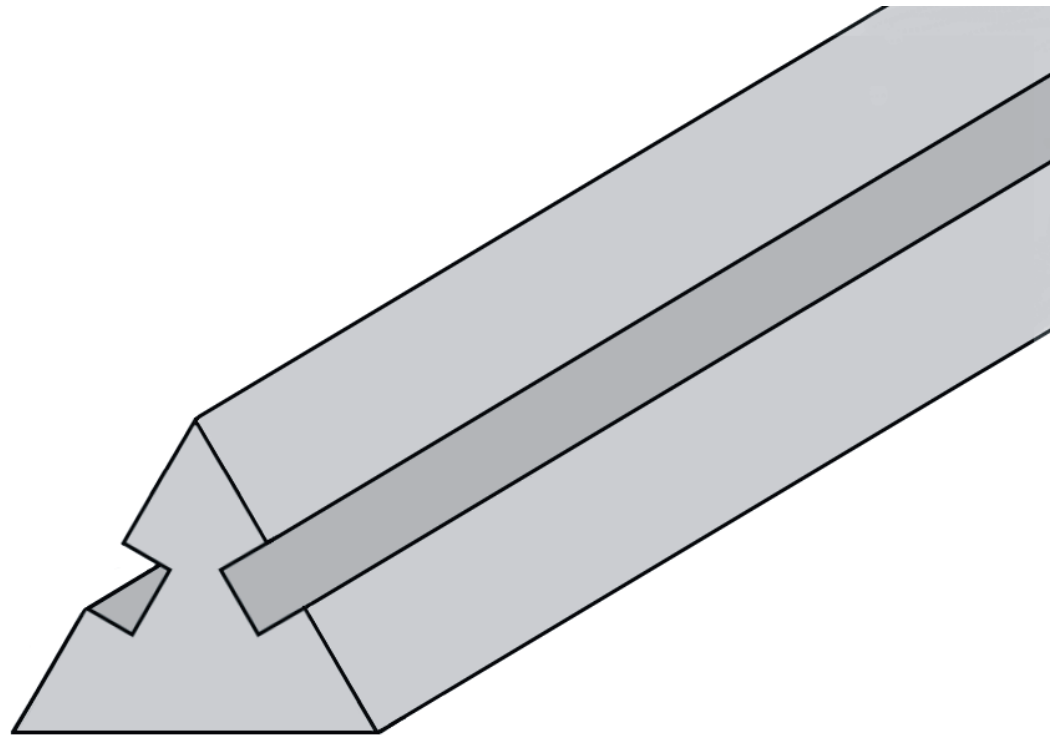
- Płytko płasko równoległa \Leftrightarrow prostopadłościenna bryła z jednorodnego, przezroczystego materiału.



- Płytko płasko równoległa

- Światłowód \Leftrightarrow pręt wykonany z przezroczystego materiału, w którym wartość prędkości światła jest mniejsza niż w otaczającym go ośrodku. Światło zostaje uwięzione wewnątrz światłowodu dzięki całkowitym wewnętrznym odbiciom od jego granic. Światłowody, wykonane z cienkich włókien szklanych, wykorzystywane są między innymi w diagnostyce medycznej.

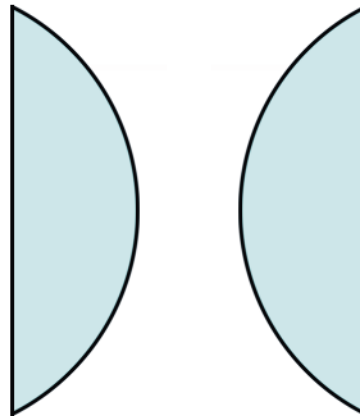
- Ława optyczna \Leftrightarrow metalowa szyna odpowiednio wyprofilowana, na której na specjalnych podstawkach ustawia się źródło światła, kolimator, przysłonę, soczewki, zwierciadła oraz ekran.



• Ława optyczna

-
- Kolimator \Leftrightarrow urządzenie optyczne służące do otrzymywania równoległych wiązek światła.

- Kondensor \Leftrightarrow układ dwóch płasko wypukłych soczewek skupiających, umieszczany między źródłem światła a oświetlanym przedmiotem, stosowany między innymi w rzutnikach przezroczy, projektorach filmowych, powiększalnikach fotograficznych oraz mikroskopach.



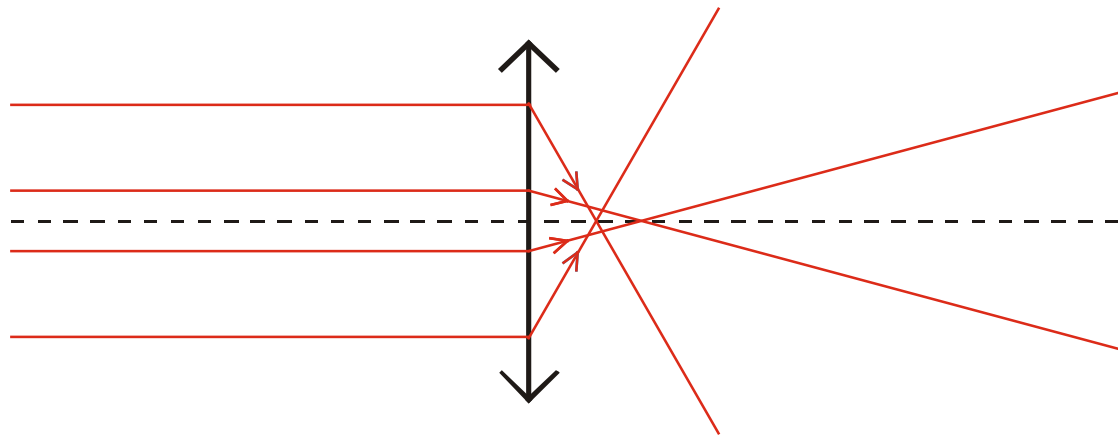
• Kondensor

-
- Refraktometr \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do pomiarów współczynników załamania.

- Wady odwzorowań optycznych 101
- Aberracja sferyczna 102
- Aberracja chromatyczna 103
- Soczewka achromatyczna 104
- Astygmatyzm 105
- Dystorsja 106
- Koma 107
- Krzywizna pola obrazu 108

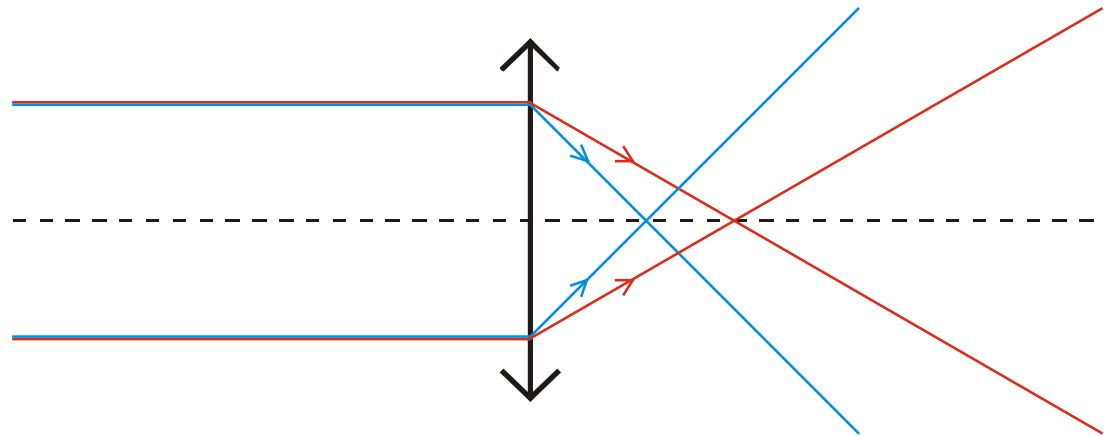
- Wady odwzorowań optycznych \Leftrightarrow deformacje obrazu spowodowane między innymi przez:
 - oświetlanie przedmiotów światłem niemonochromatycznym,
 - oświetlanie przedmiotów światłem biegnącym nie równoległe do osi optycznej,
 - grube soczewki,
 - dyfrakcję światła na przysłonie (diafragmie).
- Podstawowymi wadami są aberracja chromatyczna, aberracja sferyczna, astygmatyzm, dystorsja, koma oraz krzywizna pola obrazu.

- Aberracja sferyczna \Leftrightarrow wada soczewek polegająca na tym, że promieniom światła monochromatycznego, biegnącym w różnych odległościach od osi optycznej, odpowiadają różne ogniska. Aberracja sferyczna jest wadą soczewek grubych. W celu jej wyeliminowania stosuje się przysłony (diafragmy) ograniczające wiązkę światła do promieni przyosiowych.



- Aberracja sferyczna w grubej soczewce skupiającej

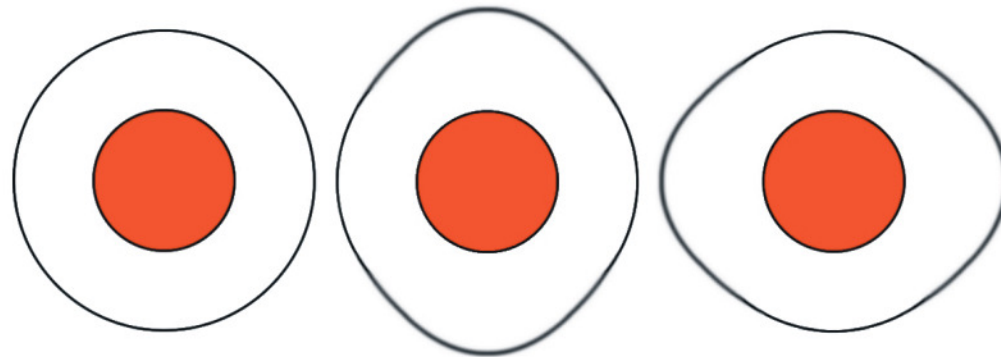
- Aberracja chromatyczna \Leftrightarrow wada soczewek polegająca na tym, że promieniom światła o różnych barwach, biegnącym w jednakowej odległości od osi optycznej, odpowiadają różne ogniska. Wadę tę można skorygować, stosując odpowiedni układ soczewek.



- Aberracja chromatyczna w soczewce skupiającej

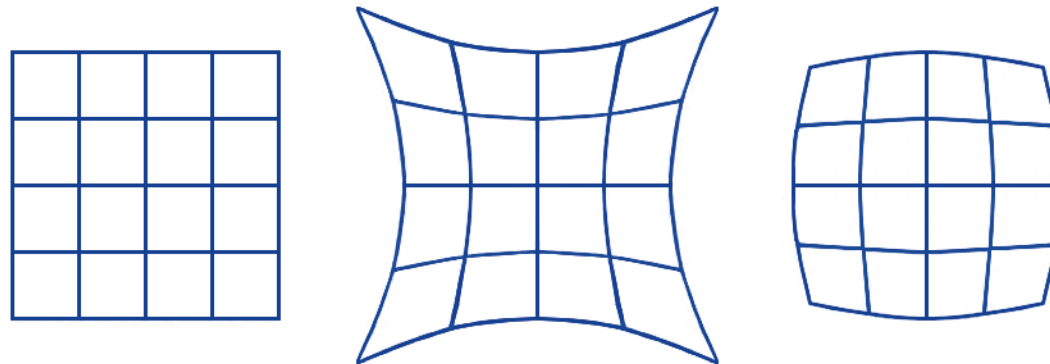
-
- Soczewka achromatyczna \Leftrightarrow układ soczewek niewykazujący aberracji chromatycznej.

- Astygzmatyzm \Leftrightarrow wada wzroku występująca wtedy, gdy powierzchnie soczewki i rogówki nie są sferyczne. Objawia się ona w postaci deformacji kształtów oglądanych przedmiotów oraz niemożności jednoczesnego widzenia wszystkich przedmiotów jako jednakowo ostrych. Astygzmatyzm można częściowo skorygować, stosując soczewki cylindryczne.



- Przedmiot i jego obrazy zdeformowane w wyniku astygzmatyzmu

- Dystorsja \Leftrightarrow wada układu optycznego polegająca na zależności wartości powiększenia liniowego od odległości od osi optycznej.



- Przedmiot i jego obrazy zdeformowane w wyniku dystorsji

-
- Koma \Leftrightarrow wada układu optycznego polegająca na aberracji sferycznej wiązki światła monochromatycznego nierównoległej do osi optycznej.

-
- Krzywizna pola obrazu \Leftrightarrow wada układu optycznego polegająca na tym, że punkty obrazu powierzchni płaskiej prostopadłej do osi optycznej nie leżą w płaszczyźnie prostopadłej do osi optycznej.

- Jaki obraz powstaje na siatkówce oka? 110
- Akomodacja 111
- Bezwładność oka 112
- Efekt stroboskopowy 113
- Odległość dobrego widzenia 115
- Punkt bliski 116
- Punkt daleki 117
- Wady wzroku 118
- Dalekowzroczność 119
- Krótkowzroczność 120
- Kryterium Rayleigha 121
- Złudzenia optyczne 122

- Jaki obraz powstaje na siatkówce oka?
- Obraz powstający na siatkówce oka jest:
 - rzeczywisty,
 - pomniejszony,
 - odwrócony.

-
- Akomodacja \Leftrightarrow zjawisko umożliwiające ostre widzenie przedmiotów odległych o $20 \div 10$ cm.
 - Na akomodację składają się trzy oddzielne procesy:
 - powiększenie się krzywizny powierzchni soczewki,
 - zmniejszenie źrenicy,
 - zezowanie zbieżne.

-
- Bezwładność oka \Leftrightarrow własność wzroku polegająca na tym, że kolejny bodziec świetlny jest rejestrowany przez oko dopiero po upływie $0,01 \div 0,1$ sekundy. Czas bezwładności wzrasta wraz z natężeniem światła docierającego do siatkówki oka.

- Efekt stroboskopowy \Leftrightarrow złudzenie optyczne będące skutkiem bezwładności oka, polegające na tym, że:
- wyświetlane na ekranie z częstotliwością 24 klatek na sekundę nieruchome obrazy poszczególnych faz ruchu sprawiają wrażenie ruchu ciągłego.
- ciało, wykonujące ruch okresowy o częstotliwości (f_C), oświetlone światłem pulsującym o częstotliwości (f_S) sprawia wrażenie:
 - 1 poruszającego się wolniej z częstotliwością (f), gdy ($f_C > f_S$).

$$f = f_C - f_S$$

2 spoczywającego, gdy ($f_C = f_S$).

3 poruszającego się w przeciwną stronę z częstotliwością (f),
gdy ($f_C < f_S$).

$$f = f_S - f_C$$

H Zjawisko stroboskopowe odkrył Plateau w 1832.

B Joseph Antoine Ferdinand Plateau (1801-1883), belgijski fizyk.

- Odległość dobrego widzenia (d) \Leftrightarrow najmniejsza odległość przedmiotu od nieakomodującego oka, przy której widziany jest on ostro. U młodych ludzi ze zdrowym wzrokiem wynosi ona ok. 25 cm, później zwiększa się wraz z wiekiem.

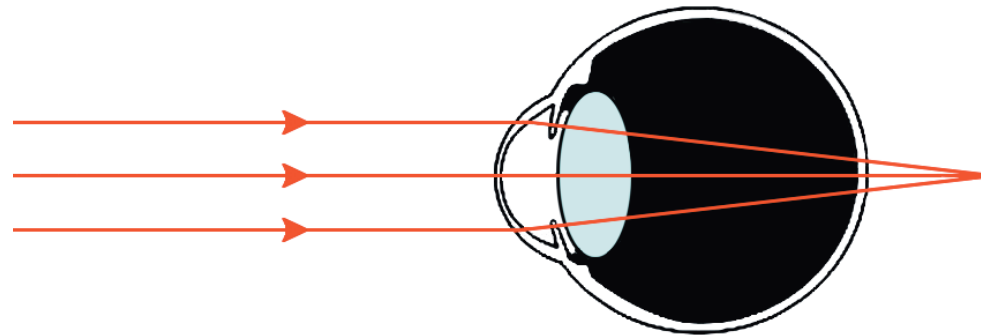
P Czytając książkę, umieszczamy ją spontanicznie w odległości dobrego widzenia.

-
- Punkt bliski \Leftrightarrow punkt widziany jeszcze ostro, położony jak najbliżej oka.

- Punkt daleki \Leftrightarrow punkt widziany jeszcze ostro, położony jak najdalej od oka.

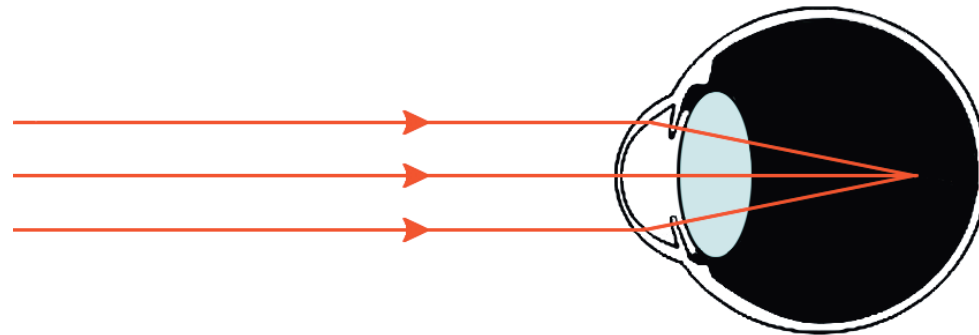
-
- Wady wzroku \Leftrightarrow deformacje obrazu powstającego na siatkówce oka, spowodowane między innymi przez:
 - niesferyczność powierzchni soczewki i rogówki,
 - zbyt dużą lub zbyt małą ogniskową układu soczewka-rogówka,
 - zbyt krótką lub zbyt długą gałkę oczną.
 - Podstawowymi wadami wzroku są astygmatyzm, dalekowzroczność i krótkowzroczność.

- Dalekowzroczność \Leftrightarrow wada wzroku występująca wtedy, gdy wzdłuż osi optycznej gałka oczna jest zbyt krótka i/lub układ optyczny oka (soczewka i rogówka) ma zbyt dużą ogniskową. Wskutek tego promienie równoległe ogniskują się za siatkówką. Omawiana wada objawia się w postaci zwiększenia się odległości dobrego widzenia. Dalekowzroczność można skorygować, stosując soczewki skupiające.



- W oku dalekowidza wiązka promieni równoległych ogniskuje się za siatkówką.

- Krótkowzroczność \Leftrightarrow wada wzroku występująca wtedy, gdy wzdłuż osi optycznej gałka oczna jest zbyt długa i/lub układ optyczny oka (soczewka i rogówka) ma zbyt małą ogniskową. Wskutek tego promienie równoległe ogniskują się przed siatkówką. Omawiana wada objawia się w postaci zmniejszenia się odległości dobrego widzenia. Krótkowzroczność można skorygować, stosując soczewki rozpraszające.



- W oku krótkowidza wiązka promieni równoległych ogniskuje się przed siatkówką.

- Kryterium Rayleigha \Leftrightarrow warunki, jakie muszą spełniać obrazy dyfrakcyjne dwóch punktów, aby były one postrzegane jeszcze jako dwa.

B John William Strutt Rayleigh (1842-1919), brytyjski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1904.

-
- Złudzenia optyczne \Leftrightarrow zjawiska, które “oszukują zmysł wzroku”, powodując, że odbiera się jako realne to, co nie istnieje i przypisuje oglądanym obiektom cechy, których nie mają.

Optyka falowa

dr Zbigniew Osiak

Rysunki wykonała

Małgorzata Osiak

-
- Światło 125
 - Barwa 133
 - Dyspersja 140
 - Dyfrakcja światła (ugięcie światła) 145
 - Siatka dyfrakcyjna 149
 - Interferencja fal świetlnych 155
 - Rozszczepienie światła 161
 - Rozpraszanie światła 166
 - Polaryzacja światła 170
 - Fotometria 200
 - Absorpcja światła 208
 - Zjawiska optyczne w przyrodzie 213
 - Holografia 218

- Światło 126
- Światło monochromatyczne 127
- Światło białe 128
- Światło widzialne 129
- Promieniowanie podczerwone (podczerwień) 130
- Promieniowanie ultrafioletowe (nadfiolet, ultrafiolet) 131
- Światło spójne 132

• Światło \Leftrightarrow energia pola elektromagnetycznego transportowana z prędkością niezależną od względnego ruchu obserwatora i źródła, nieprzekraczającą w żadnym ośrodku wartości $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Według obecnie panujących poglądów w fizyce światło ma dwoistą (dualistyczną) naturę. W zjawiskach polaryzacji, dyspersji, dyfrakcji oraz interferencji światło zachowuje się jak fale elektromagnetyczne o długościach w próżni należących umownie do przedziału $1 \text{ mm} \div 1000 \text{ nm}$. Absorpcja oraz emisja światła przez atomy i cząsteczki, zjawisko fotoelektryczne oraz zjawisko Comptona są przykładami efektów, w których światło zachowuje się jak rój fotonów o energiach należących umownie do przedziału $1,24 \cdot 10^{-3} \text{ eV} \div 124 \text{ eV}$.

U Zjawiska odbicia i załamania światła można poprawnie opisać w ramach obu teorii światła – falowej i fotonowej.

-
- Światło monochromatyczne \Leftrightarrow światło o ściśle określonej częstotliwości (barwie).

-
- Światło białe \Leftrightarrow światło o widmie optycznym zbliżonym do widma światła słonecznego. Jest to widmo ciągłe, w którym można wyróżnić siedem głównych barw (nie licząc ich pośrednich odcieni): fioletową, błękitną, niebieską, zieloną, żółtą, pomarańczową i czerwoną.

-
- Światło widzialne \Leftrightarrow fale elektromagnetyczne o częstotliwościach zawartych w przedziale $3,85 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \div 7,89 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ i o długościach w powietrzu z przedziału $780 \text{ nm} \div 380 \text{ nm}$. Odpowiadają im fotony o energiach od $1,59 \text{ eV}$ do $3,26 \text{ eV}$.

- Promieniowanie podczerwone (podczerwień) \Leftrightarrow fale elektromagnetyczne o częstotliwościach zawartych w przedziale $3 \cdot 10^{11} \text{ Hz} \div 3,85 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ i o długościach w powietrzu z przedziału $1 \text{ mm} \div 780 \text{ nm}$. Odpowiadają im fotony o energiach od $1,24 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$ do $1,59 \text{ eV}$.
- Promieniowanie podczerwone nazywane jest też podczerwienią.

C Promieniowanie podczerwone jest pochłaniane przez parę wodną, dwutlenek węgla, ozon, freony, metan oraz podtlenek azotu.

Zjawisko to powoduje między innymi wzrost średniej temperatury przy powierzchni ziemi nazywany efektem cieplarnianym.

H Promieniowanie podczerwone odkrył Herschel w 1800.

B Sir Frederick William Herschel (1738-1822), brytyjski astronom pochodzenia niemieckiego.

- Promieniowanie ultrafioletowe (nadfiolet, ultrafiolet) \Leftrightarrow fale elektromagnetyczne o częstotliwościach zawartych w przedziale $7,89 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \div 3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$ i o długościach w powietrzu z przedziału $380 \text{ nm} \div 10 \text{ nm}$. Odpowiadają im fotony o energiach od $3,26 \text{ eV}$ do 124 eV .
- Promieniowanie ultrafioletowe nazywane jest też nadfioletem oraz ultrafioletem.

- Światło spójne \Leftrightarrow światło monochromatyczne emitowane jednocześnie przez atomy lub cząsteczki źródła. Wiązki światła spójnego mają jednakowe fazy początkowe. Źródłem światła spójnego, nazywanego też światłem koherentnym, są lasery.

- Barwa 134
- Barwa podstawowa 135
- Barwa spektralna 136
- Kolorymetr 137
- Widmo optyczne 138
- Filtry optyczne 139

-
- Barwa \Leftrightarrow wrażenie spowodowane przez światło widzialne docierające do oka ludzkiego.

- Barwa podstawowa \Leftrightarrow barwa należąca do zbioru trzech barw, z których przez odpowiednie zmieszanie można uzyskać dowolną inną barwę.

P Najbardziej znanymi barwami podstawowymi są barwy czerwona, zielona i niebieska.

-
- Barwa spektralna \Leftrightarrow wrażenie spowodowane przez widzialne światło monochromatyczne docierające do oka ludzkiego. Barwa spektralna nazywana jest także barwą prostą lub widmową.

-
- Kolorymetr \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do pomiarów natężeń trzech składowych barw podstawowych badanego światła.

- Widmo optyczne \Leftrightarrow widmo światła widzialnego. Widmo optyczne można otrzymać, rozszczepiając za pomocą pryzmatu lub siatki dyfrakcyjnej wiązkę światła niemonochromatycznego na składowe wiązki monochromatyczne.

- Filtry optyczne \Leftrightarrow barwne płytki szklane lub przezroczyste folie przepuszczające głównie światło o określonej barwie (o kreślonych częstotliwościach). Stosowane są też tzw. filtry szare, które osłabiają wiązkę światła w równym stopniu dla wszystkich barw.

P Filtr czerwony przepuszcza głównie światło czerwone.

- Dyspersja 141
- Prędkość fazowa 142
- Prędkość grupowa 143

- Dyspersja \Leftrightarrow zależność wartości prędkości światła (v) w ośrodku od jego częstotliwości (f).

$$\begin{aligned} f_{\text{czer}} &< f_{\text{fiol}} \\ v_{\text{czer}} &> v_{\text{fiol}} \end{aligned}$$

- W ośrodkach materialnych wartość prędkości światła wzrasta wraz ze zmniejszaniem się częstotliwości fali.

- Prędkość fazowa (v_f) \Leftrightarrow prędkość czoła sinusoidalnej fali monochromatycznej.

$$v_f = \lambda f = \frac{\omega}{k}, \quad \omega = 2\pi f, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

- λ – długość fali
 - f – częstotliwość fali
 - ω – częstotliwość kątowna
 - k – liczba falowa
-
- Wartość prędkości fazowej światła rozchodzącego się w ośrodku zależy od częstotliwości fali.

- Prędkość grupowa (v_g) \Leftrightarrow prędkość rozchodzenia się maksimum wzmocnienia interferencyjnego fal monochromatycznych o zbliżonych częstotliwościach. W przypadku dwóch fal składowych o częstotliwościach kątowych (ω_1) i (ω_2) wartość prędkości grupowej definiowana jest jak poniżej.

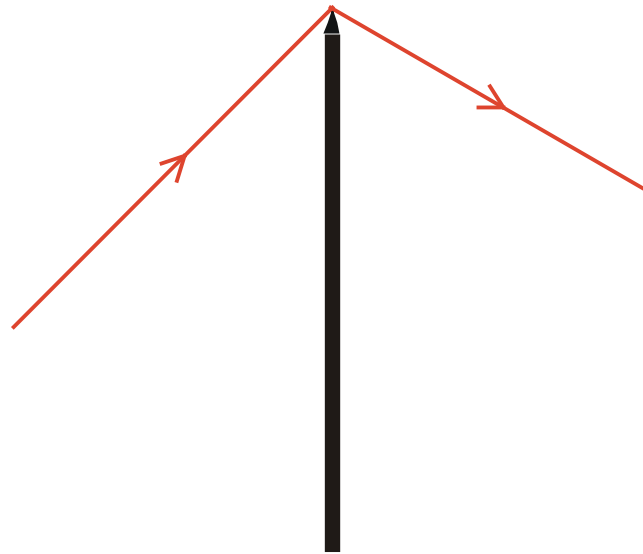
$$v_g = \frac{\omega_2 - \omega_1}{k_2 - k_1}, \quad \omega = 2\pi f, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

- ω – częstotliwość kątowa
- f – częstotliwość fali
- k – liczba falowa
- λ – długość fali

- Prędkość grupowa jest prędkością przenoszenia energii w ośrodku przez sumaryczną falę. Wartości prędkości fazowych fal składowych mogą być różne od wartości prędkości grupowej. W próżni wartości prędkości fazowych fal składowych są równe wartości prędkości grupowej.

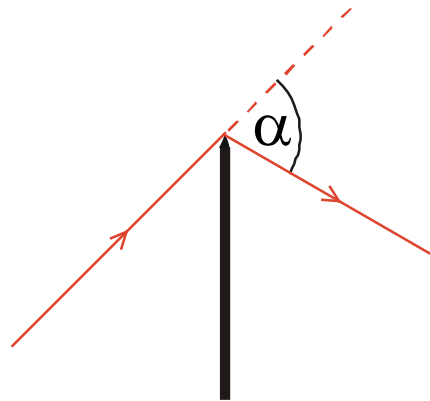
- Dyfrakcja światła (ugięcie światła) 146
- Kąt ugięcia 147
- Zasada Huygensa-Fresnela 148

- Dyfrakcja światła (ugięcie światła) \Leftrightarrow zjawisko polegające na zmianie kierunku rozchodzenia się fali świetlnej na krawędziach przeszkody, którą może być na przykład diafragma.
- Dyfrakcja światła nazywana jest też ugięciem światła.



- Ugięcie światła na krawędzi przeszkody

- Kąt ugięcia \Leftrightarrow kąt zawarty między promieniem przechodzącym w pobliżu krawędzi przeszkody a promieniem ugiętym.



• Kąt ugięcia (α)

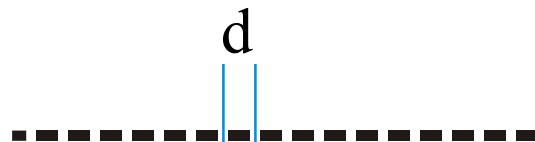
- Zasada Huygensa-Fresnela \Leftrightarrow zasada stwierdzająca, że każdy punkt, do którego dotarła fala, staje się źródłem nowej fali.

B Christiaan Huygens (1629-1695), holenderski matematyk, fizyk i astronom.

B Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), francuski fizyk i inżynier.

- Siatka dyfrakcyjna 150
- Rząd ugięcia 152
- Maksymalny rząd ugięcia 153
- Prążki dyfrakcyjne 154

- Siatka dyfrakcyjna \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do rozszczepiania światła oraz pomiaru długości fali światła monochromatycznego. Stanowi go przezroczysta płytką, na której naniesione są w równych odstępach nieprzezroczyste równoległe paski (linie) o jednakowej szerokości. Szczeliny między paskami są przezroczyste dla światła. Odległość (d) między środkami sąsiednich szczelin nazywana jest stałą siatki. Światło padające na siatkę ugina się na krawędziach szczelin. Ugięte wiązki po przejściu przez soczewkę skupiającą interferują w płaszczyźnie ogniskowej. Wskutek tego na ekranie ustawionym w tej płaszczyźnie powstaje obraz dyfrakcyjny szczeliny w postaci jasnego centralnego prążka i położonych symetrycznie względem niego prążków ciemnych i jasnych.



• Siatka dyfrakcyjna

$$d \sin \alpha_n = n\lambda$$

- n – rząd ugięcia jasnego prążka dyfrakcyjnego
- α_n – kąt ugięcia n -tego rzędu
- λ – długość fali światła monochromatycznego

C Siatka dyfrakcyjna może mieć nawet 1500 szczelin na 1 mm.

H Siatkę dyfrakcyjną wynalazł Fraunhofer w 1821.

B Joseph von Fraunhofer (1787-1826), niemiecki astronom i fizyk.

- Rząd ugięcia (n) \Leftrightarrow liczba naturalna będąca numerem jasnego prążka dyfrakcyjnego. Przy czym jasnemu prążkowi centralnemu odpowiada rząd ugięcia równy zero. Rząd ugięcia (n), stała siatki (d), kąt ugięcia n -tego rzędu (α_n) oraz długość fali (λ) światła monochromatycznego powiązane są poniższą relacją.

$$n = \left[\frac{d \sin \alpha_n}{\lambda} \right], \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

- $[(d \sin \alpha_n) / \lambda] = \text{entier } (d \sin \alpha_n) / \lambda$
- $[(d \sin \alpha_n) / \lambda] = \text{część całkowita liczby } (d \sin \alpha_n) / \lambda$

- Maksymalny rząd ugięcia (n_{\max}) \Leftrightarrow rząd ugięcia odpowiadający prostemu kątowemu ugięciu. Maksymalny rząd ugięcia (n_{\max}), stała siatki (d) oraz długość fali (λ) światła monochromatycznego powiązane są poniższą relacją.

$$n_{\max} = \left[\frac{d}{\lambda} \right]$$

- $[d/\lambda] = \text{entier } d/\lambda = \text{część całkowita liczby } d/\lambda$

-
- Prążki dyfrakcyjne \Leftrightarrow obraz dyfrakcyjny szczeliny w postaci jasnego centralnego prążka i położonych symetrycznie względem niego prążków ciemnych i jasnych.

- Interferencja fal świetlnych 156
- Warunek na maksymalne wzmocnienie interferencyjne 157
- Warunek na wygaszenie interferencyjne 158
- Pierścienie Newtona 159
- Interferometr 160

-
- Interferencja fal świetlnych \Leftrightarrow nakładanie się fal świetlnych, w wyniku którego wypadkowa fala ulega wzmocnieniu lub osłabieniu.

- Warunek na maksymalne wzmocnienie interferencyjne \Leftrightarrow warunek stanowiący, że jeżeli interferujące fale mają zgodne kierunki rozchodzenia się, jednakowe amplitudy, częstotliwości, długości, płaszczyzny polaryzacji oraz fazy początkowe, to wypadkowa fala ma dwukrotnie większą amplitudę, gdy

$$\Delta x = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

- Δx – różnica dróg optycznych przebytych przez fale

- Warunek na wygaszenie interferencyjne \Leftrightarrow warunek stanowiący, że jeżeli interferujące fale mają zgodne kierunki rozchodzenia się, jednakowe amplitudy, częstotliwości, długości, płaszczyzny polaryzacji oraz fazy początkowe, to wypadkowa fala ulega wygaszeniu, gdy

$$\Delta x = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

- Δx – różnica dróg optycznych przebytych przez fale

• Pierścienie Newtona \Leftrightarrow koncentryczne pierścienie powstające w wyniku interferencji światła w warstwie powietrza znajdującej się między płasko-równoległą płytką szklaną a stykającą się z nią soczewką płasko-wypukłą. Punkt, w którym soczewka styka się z płytką, widziany jest jako ciemny punkt otoczony pierścieniami na przemian jasnymi i ciemnymi. Między promieniem (r_n) n-tego ciemnego pierścienia, promieniem krzywizny soczewki (R), numerem (n) ciemnego pierścienia oraz długością fali (λ) światła monochromatycznego przechodzącego przez układ istnieje relacja podana poniżej.

$$r_n = \sqrt{nR\lambda}$$

B Sir Isaac Newton (1643-1727), angielski fizyk i matematyk.

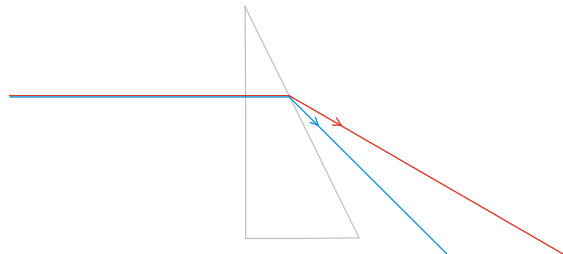
- Interferometr \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do pomiarów między innymi długości fali światła, małych odległości oraz współczynnika załamania.

- Rozszczepienie światła 162
- Spektroskop 164
- Spektroskopia 165

- Rozszczepienie światła \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że wiązka światła niemonochromatycznego rozdziela się w pryzmacie lub siatce dyfrakcyjnej na wiązki monochromatyczne.
- Rozszczepienie światła w pryzmacie jest spowodowane zależnością kąta odchylenia (δ) od długości fali światła (λ).

$$\lambda^{\text{czer}} > \lambda^{\text{fiol}}$$
$$\delta^{\text{czer}} < \delta^{\text{fiol}}$$

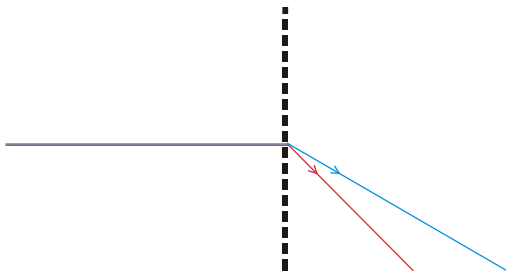
- Powyższe relacje są wynikiem dyspersji i refrakcji światła przechodzącego przez pryzmat.



- Rozszczepienie światła w pryzmacie o współczynniku załamania większym od współczynnika załamania ośrodka

- Rozszczepienie światła w siatce dyfrakcyjnej jest spowodowane zależnością kąta ugięcia (α_{ug}) od długości fali światła (λ).

$$\lambda^{\text{czer}} > \lambda^{\text{fiol}}$$
$$\alpha_{ug}^{\text{czer}} > \alpha_{ug}^{\text{fiol}}$$



- Rozszczepienie światła w siatce dyfrakcyjnej

-
- Spektroskop \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do wytwarzania i badania widm optycznych. Elementem rozszczepiającym światło w spektroskopie jest pryzmat lub siatka dyfrakcyjna.

-
- Spektroskopia \Leftrightarrow dział optyki poświęcony badaniu widm promieniowania elektromagnetycznego.

- Rozpraszanie światła 167
- Prawo Rayleigha 168
- Zjawisko Tyndalla 169

- Rozpraszanie światła \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że ośrodek, oddziałujący z rozchodzącym się w nim światłem, staje się źródłem światła emitowanego we wszystkich możliwych kierunkach. Podczas rozpraszania sprężystego nie zmienia się częstotliwość światła. Podczas rozpraszania niesprężystego zmienia się częstotliwość światła.

- Prawo Rayleigha \Leftrightarrow prawo opublikowane przez Rayleigha w 1899, stanowiące, że natężenie światła rozproszonego (I) jest odwrotnie proporcjonalne do czwartej potęgi długości fali (λ).

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

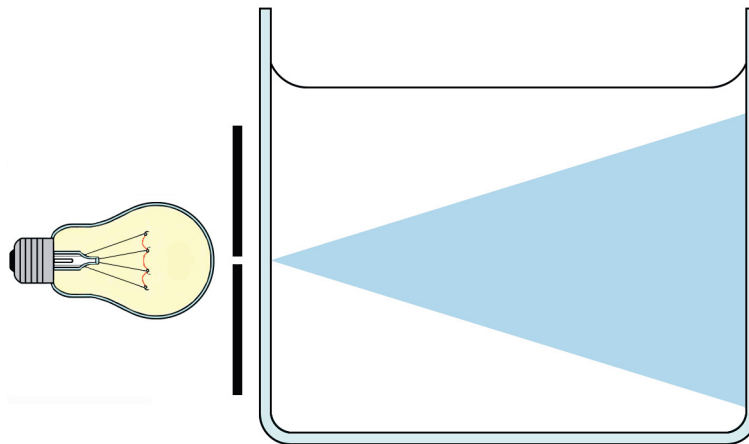
P Błękitny kolor nieba jest wynikiem rozpraszania światła słonecznego w atmosferze.

B John William Strutt Rayleigh (1842-1919), brytyjski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1904.

- Zjawisko Tyndalla \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że światło przechodzące przez zawiesinę drobnych cząstek w cieczy lub gazie ulega charakterystycznemu rozproszeniu w obszarze stożka, nazywanego stożkiem Tyndalla.

H Zjawisko to odkrył Tyndall w 1893.

B John Tyndall (1820-1893), irlandzki fizyk.



• Zjawisko Tyndalla

- Światło spolaryzowane liniowo 172
- Płaszczyzna polaryzacji 173
- Polaryzacja światła 174
- Kąt Brewstera 175
- Prawo Brewstera 177
- Polaryzacja światła przez odbicie od powierzchni dielektryka 178
- Podwójne załamanie światła 180
- Oś optyczna kryształu 182
- Promień zwyczajny 183
- Promień nadzwyczajny 184
- Polaryzacja światła przy podwójnym załamaniu 185
- Polaryzator 186
- Analizator 187
- Pryzmat Nicola 188
- Aktywność optyczna 189
- Polarymetr 190

- Zjawisko Cottona-Moutona 191
- Zjawisko Kerra 193
- Zjawisko Voigta 195
- Zjawisko Faradaya 197
- Prawo Malusa 199

-
- Światło spolaryzowane liniowo \Leftrightarrow światło, w którym drgania wektora natężenia pola elektrycznego zachodzą w jednym kierunku, prostopadłym do kierunku rozchodzenia się fali elektromagnetycznej.

- Płaszczyzna polaryzacji \Leftrightarrow płaszczyzna, w której odbywają się drgania wektora natężenia pola elektrycznego fali elektromagnetycznej spolaryzowanej liniowo.

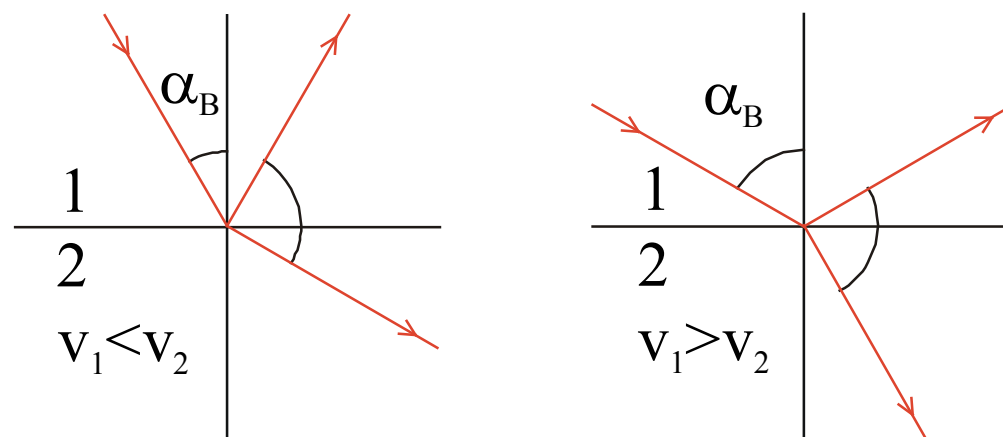
- Polaryzacja światła \Leftrightarrow wydzielanie z wiązki światła niespolaryzowanego jej części, w której światło jest spolaryzowane liniowo. W tym celu wykorzystuje się między innymi odbicie od powierzchni dielektryka oraz podwójne załamanie.

- Kąt Brewstera (α_B) \Leftrightarrow kąt padania, przy którym promienie światła odbitego i załamane tworzą kąt prosty.

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

- v_1, v_2 – wartości prędkości światła w ośrodkach pierwszym i drugim
- n_1, n_2 – współczynniki załamania ośrodków pierwszego i drugiego

B Sir David Brewster (1781-1868), szkocki fizyk.



- Kąt Brewstera (α_B) w przypadku, gdy wartość prędkości światła (v_1) w ośrodku pierwszym jest mniejsza od wartości prędkości światła (v_2) w ośrodku drugim.

- Kąt Brewstera (α_B) w przypadku, gdy wartość prędkości światła (v_1) w ośrodku pierwszym jest większa od wartości prędkości światła (v_2) w ośrodku drugim.

• Prawo Brewstera \Leftrightarrow prawo głoŝące, że jeżeli ŝwiatło niespolaryzowane pada pod kątem Brewstera na powierzchnię przezroczystego dielektryka, to promień odbity jest całkowicie spolaryzowany liniowo, a promień załamany – tylko częściowo. Przy czym płaszczyzny polaryzacji ŝwiatła odbitego i załamane go są wzajemnie prostopadłe. Płaszczyzna polaryzacji ŝwiatła odbitego jest prostopadła do płaszczyzny, w której leżą promienie padający, odbity i załamany.

H Prawo to odkrył Brewster w 1815.

B Sir David Brewster (1781-1868), szkocki fizyk.

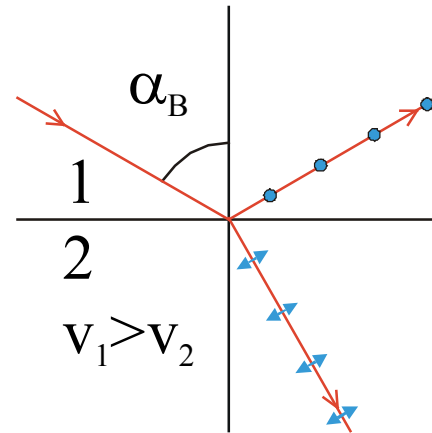
Polaryzacja światła przez odbicie od powierzchni dielektryka 178

- Polaryzacja światła przez odbicie od powierzchni dielektryka \Leftrightarrow metoda polaryzacji światła niespolaryzowanego odkryta przez Malusa w 1808, a następnie dokładnie zbadana przez Brewstera w 1815.
- Wiązkę światła niespolaryzowanego należy skierować na powierzchnię dielektryka tak, by kąt padania był równy kątowi Brewstera. Wiązka promieni odbitych zostanie wtedy spolaryzowana liniowo. Płaszczyzna polaryzacji tej wiązki będzie prostopadła do płaszczyzny, w której leżą promienie padający i odbity.

B Étienne-Louis Malus (1775-1812), francuski inżynier wojskowy i fizyk.

B Sir David Brewster (1781-1868), szkocki fizyk.

Polaryzacja światła przez odbicie od powierzchni dielektryka 179

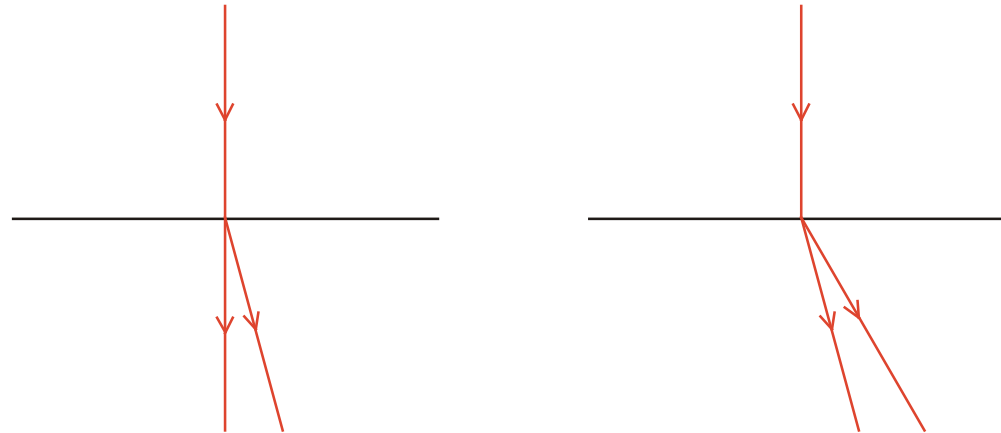


- Polaryzacja światła przez odbicie od powierzchni dielektryka; płaszczyzny polaryzacji promieni obitych i załamanych są względem siebie prostopadłe.

• Podwójne załamanie światła \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że promień światła padający na powierzchnię kryształu optycznie anizotropowego może ulec rozdzieleniu na dwa promienie załamane pod różnymi kątami. Oba promienie są spolaryzowane liniowo w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych. W kryształach jednoosiowych jeden promień załamany (promień zwyczajny) spełnia prawo Sneliusa, drugi promień załamany (promień nadzwyczajny) nie spełnia prawa Sneliusa. W kryształach dwuosiowych oba promienie nie spełniają prawa Sneliusa.

H Podwójne załamanie światła w kryształach szpatu islandzkiego odkrył Bartholin i opisał w 1669.

B Erasmus Bartholin (1625-1698), duński matematyk i lekarz.



• Podwójne załamanie światła w kryształach jednoosiowych

• Podwójne załamanie światła w kryształach dwuosiowych

-
- Oś optyczna kryształu \Leftrightarrow kierunek, wzdłuż którego światło rozchodzi się w kryształach optycznie anizotropowych bez podwójnego załamania.

-
- Promień zwyczajny \Leftrightarrow promień załamany w kryształach jednoosiowych zgodnie z prawem Snelliusa.

-
- Promień nadzwyczajny \Leftrightarrow promień załamany w kryształach jednoosiowych niezgodnie z prawem Snelliusa.

- Polaryzacja światła przy podwójnym załamaniu \Leftrightarrow metoda polaryzacji światła niespolaryzowanego wykorzystująca fakt, że oba promienie załamane w kryształach jednoosiowych i dwuosiowych są spolaryzowane liniowo w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych.

- Polaryzator \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do otrzymywania światła spolaryzowanego liniowo. Płaszczyzna polaryzacji światła wychodzącego z polaryzatora nazywana jest płaszczyzną polaryzatora.

- Analizator \Leftrightarrow urządzenie optyczne służące do badania światła spolaryzowanego. Płaszczyzna polaryzacji światła wychodzącego z analizatora nazywana jest płaszczyzną analizatora.

•Pryzmat Nicola \Leftrightarrow polaryzator, skonstruowany przez Nicola w 1828, służący do otrzymywania pojedynczej wiązki światła spolaryzowanego liniowo. Stanowi go równoległościenny kawałek kryształu szpatu islandzkiego (kalcytu CaCO_3) odpowiednio przecięty na dwie części, sklejone następnie balsamem kanadyjskim. Kalcyt jest kryształem jednoosiowym. Wiązka światła niespolaryzowanego, padająca na ściankę kryształu równoległą do jego osi optycznej, ulega podwójnemu załamaniu. Promień zwyczajny zostaje całkowicie odbity na granicy z warstwą balsamu kanadyjskiego. Promień nadzwyczajny biegnie dalej, na wyjściu z pryzmatu jego kierunek jest równoległy do kierunku promienia wchodzącego. Pryzmat Nicola nazywany jest również nikolem.

B William Nicol (1770-1851), szkocki fizyk i geolog.

- Aktywność optyczna \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że pewne substancje w roztworach lub stanie ciekłym albo gazowym skręcają płaszczyznę polaryzacji przechodzącego przez nie światła spolaryzowanego liniowo. Substancje takie nazywane są substancjami optycznie aktywnymi (czynnymi). Kąt (φ), o jaki skręca się płaszczyzna polaryzacji, w przypadku roztworów zależy od stężenia (c) substancji optycznie aktywnej i grubości (l) warstwy.

$$\varphi = [\alpha] \cdot c \cdot l$$

- $[\alpha]$ – skręcalność właściwa
- Skręcalność właściwa zależy od rodzaju substancji optycznie aktywnej oraz rozpuszczalnika, częstotliwości światła i temperatury bezwzględnej.

- Polarymetr \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do mierzenia kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła spolaryzowanego liniowo, które przeszło przez badany roztwór substancji aktywnej optycznie. Polarymetr umożliwia wyznaczenie stężenia takiego roztworu, ponieważ kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji jest wprost proporcjonalny do stężenia roztworu i drogi przebytej przez światło w roztworze.

- Zjawisko Cottona-Moutona \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że światło spolaryzowane liniowo, padające na optycznie izotropową ciecz prostopadle do wektora indukcji zewnętrznego pola magnetycznego (\mathbf{B}), załamuje się podwójnie. Różnica współczynników załamania dla promieni nadzwyczajnego (n_e) i zwyczajnego (n_o) wynosi

$$n_e - n_o = C \cdot \lambda \cdot B^2$$

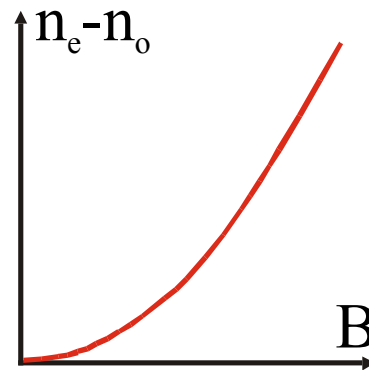
- C – stała Cottona-Moutona
- λ – długość fali światła w próżni

U Płaszczyzna polaryzacji światła padającego na próbkę powinna tworzyć z wektorem indukcji zewnętrznego pola magnetycznego kąt 45° .

H Zjawisko to zostało odkryte przez Cottona i Moutona w 1910.

B Aimé Auguste Cotton (1869-1951), francuski fizyk.

B Henri Mouton (1869-1935), francuski uczonec.



- Wykres zależności różnicy współczynników załamania dla promieni nadzwyczajnego i zwyczajnego ($n_e - n_o$) od wartości indukcji magnetycznej (B)

- Zjawisko Kerra \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że światło spolaryzowane liniowo, padające na optycznie izotropowy ośrodek prostopadle do wektora natężenia zewnętrznego pola elektrycznego (\mathbf{E}), ulega podwójnemu załamaniu. Różnica współczynników załamania dla promieni nadzwyczajnego (n_e) i zwyczajnego (n_o) wynosi

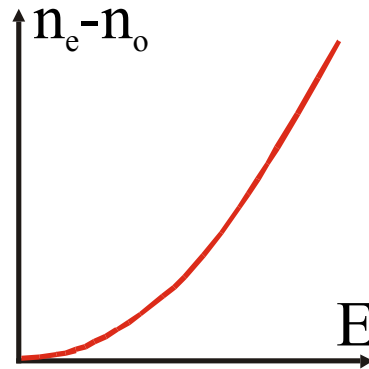
$$n_e - n_o = B \cdot \lambda \cdot E^2$$

- B – stała Kerra
- λ – długość fali światła w próżni

U Płaszczyzna polaryzacji światła padającego na próbkę powinna tworzyć z wektorem natężenia zewnętrznego pola elektrycznego kąt 45° .

H Zjawisko to odkrył Kerr w 1875.

B John Kerr (1824-1907), szkocki fizyk.



- Wykres zależności różnicy współczynników załamania dla promieni nadzwyczajnego i zwyczajnego ($n_e - n_o$) od wartości natężenia pola elektrycznego (E)

- Zjawisko Voigta \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że światło spolaryzowane liniowo, padające na optycznie izotropowy kryształ prostopadle do wektora indukcji zewnętrznego pola magnetycznego (\mathbf{B}), załamuje się podwójnie. Różnica współczynników załamania dla promieni nadzwyczajnego (n_e) i zwyczajnego (n_o) wynosi

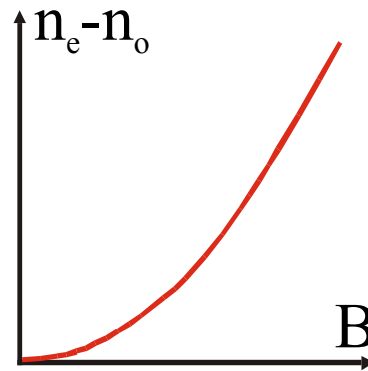
$$n_e - n_o = C \cdot \lambda \cdot B^2$$

- C – stała wyznaczona doświadczalnie
- λ – długość fali światła w próżni

U Płaszczyzna polaryzacji światła padającego na próbkę powinna tworzyć z wektorem indukcji zewnętrznego pola magnetycznego kąt 45° .

H Zjawisko to odkrył Voigt w 1898.

B Woldemar Voigt (1850-1919), niemiecki fizyk teoretyk.



- Wykres zależności różnicy współczynników załamania dla promieni nadzwyczajnego i zwyczajnego ($n_e - n_o$) od wartości indukcji magnetycznej (B)

- Zjawisko Faradaya \Leftrightarrow zjawisko polegające na tym, że płaszczyzna polaryzacji światła spolaryzowanego liniowo, przechodzącego przez ośrodek optycznie izotropowy równoległe do wektora indukcji zewnętrznego pola magnetycznego (\mathbf{B}), ulega skręceniu o kąt (φ).

$$\varphi = V \cdot B \cdot l$$

- V – stała Verdet zależna od częstotliwości światła, rodzaju ośrodka i jego temperatury
- l – droga przebyta przez światło w ośrodku
- Jeżeli stała (V) jest dodatnia, to, patrząc w kierunku rozchodzenia się światła zgodnym z kierunkiem wektora (\mathbf{B}), obserwujemy skręcenie płaszczyzny polaryzacji w kierunku ruchu wskazówek zegara.

H Zjawisko Faradaya, nazywane też magnetycznym skręceniem płaszczyzny polaryzacji, odkrył Faraday w 1845.

B Michael Faraday (1791-1867), brytyjski fizyk i chemik.

B Marcel Émile Verdet (1824-1866), francuski fizyk.

- Prawo Malusa \Leftrightarrow prawo opisujące związek między natężeniem (I) światła spolaryzowanego liniowo wychodzącego z polaryzatora (analizatora) i natężeniem (I_0) światła spolaryzowanego liniowo wchodzącego do polaryzatora (analizatora).

$$I = k \cdot I_0 \cdot \cos^2 \alpha$$

- α – kąt zawarty między płaszczyznami polaryzacji światła wchodzącego i wychodzącego
- k – współczynnik pochłaniania światła przez polaryzator (analizator)

H Prawo to sformułował Malus w 1810.

B Étienne-Louis Malus (1775-1812), francuski inżynier wojskowy i fizyk.

- Fotometria 201
- Natężenie światła 202
- Światłość 203
- Strumień świetlny 204
- Oświetlenie, natężenie oświetlenia 205
- Fotometr 206
- Światłomierz (luksomierz) 207

-
- Fotometria \Leftrightarrow dział optyki zajmujący się pomiarami wielkości charakteryzujących światło (widzialne i niewidzialne) jako przepływ energii. Podstawowymi wielkościami w fotometrii są światłość, strumień świetlny oraz natężenie oświetlenia (oświetlenie).

- Natężenie światła (I) \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w watach na metr kwadratowy [W/m^2], określona jako

$$I = \frac{E}{St}, \quad [I] = \frac{W}{\text{m}^2}$$

- E – energia przenoszona przez falę świetlną, przechodzącą w czasie (t) przez powierzchnię (S) ustawioną prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali

- Światłość \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w kandelach [cd], będąca stosunkiem energii (W) wysłanej przez źródło światła w czasie (t) w obszar kąta bryłowego (Ω) do czasu emisji i wartości tego kąta.

$$I = \frac{W}{\Omega \cdot t}, \quad [I] = \text{cd}$$

- Światłość nazywana jest także natężeniem źródła światła.

- Strumień świetlny (Φ) \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w lumenach [lm], będąca iloczynem światłości (I) i kąta bryłowego (Ω), w który wysyłane jest światło.

$$\Phi = I \cdot \Omega, \quad [\Phi] = \text{lm}$$

- Natężenie oświetlenia (oświetlenie) (E) \Leftrightarrow wielkość skalarna mierzona w luksach [lx], będąca stosunkiem strumienia świetlnego (Φ) do pola oświetlanej powierzchni (S).

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad [E] = \text{lx}$$

- Natężenie oświetlenia nazywane jest też oświetleniem.

-
- Fotometr \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do pomiarów wielkości takich, jak strumień świetlny, natężenie oświetlenia (oświetlenie) oraz światłość.

-
- Światłomierz (luksomierz) \Leftrightarrow przyrząd optyczny służący do pomiaru natężenia oświetlenia.

- Absorpcja światła 209
- Absorbancja (ekstynkcja) 210
- Prawo Beera-Lamberta-Bouguera 211

• Absorpcja światła \Leftrightarrow zjawisko polegające na pochłanianiu światła przez ośrodki przezroczyste. W przypadku ośrodków jednorodnych absorpcja opisywana jest przez prawo Beera-Lamberta-Bouguera.

B August Beer (1825-1863), niemiecki matematyk, chemik i fizyk.

B Johann Heinrich Lambert (1728-1777), niemiecki matematyk, fizyk, astronom i filozof.

B Pierre Bouguer (1698-1758), francuski fizyk i matematyk.

- Absorbancja (ekstynkcja) \Leftrightarrow bezwymiarowa wielkość skalarna używana przy badaniu pochłaniania światła przez ośrodek.

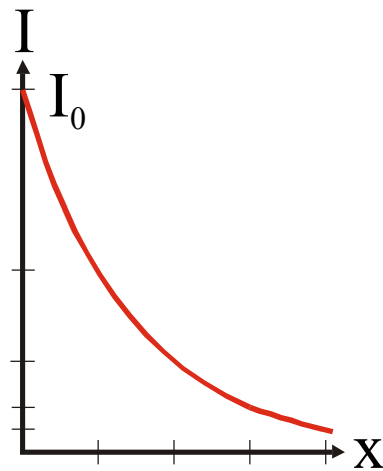
$$A = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

- I_0 – natężenie światła wchodzącego do ośrodka
- I – natężenie światła wychodzącego z ośrodka
- Absorbancja nazywana jest też ekstynkcją.

- Prawo Beera-Lamberta-Bouguera \Leftrightarrow prawo opisujące pochłanianie światła przez przezroczysty ośrodek jednorodny.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

- I – natężenie światła wychodzącego z ośrodka o grubości (x)
- I_0 – natężenie światła wchodzącego do ośrodka
- μ – współczynnik pochłaniania (absorpcji)



- Wykres zależności natężenia światła (I), wychodzącego z ośrodka, od grubości (x) tego ośrodka

- W przypadku roztworów współczynnik pochłaniania jest wprost proporcjonalny do stężenia (c).

$$\mu = kc$$

- k – współczynnik doświadczalny

H Do sformułowania tych praw przyczynili się Bouguer (1729), Lambert (1760) oraz Beer (1852).

B August Beer (1825-1863), niemiecki matematyk, chemik i fizyk.

B Johann Heinrich Lambert (1728-1777), niemiecki matematyk, fizyk, astronom i filozof.

B Pierre Bouguer (1698-1758), francuski fizyk i matematyk.

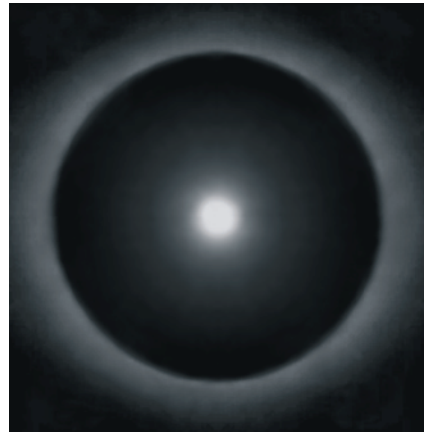
- Tęcza 214
- Halo 216
- Zorza polarna 217

• Tęcza \Leftrightarrow zjawisko optyczne polegające na pojawianiu się na niebie dwóch barwnych wstęg w postaci łuków. Dolna tęcza nazywana jest tęczą główną, a górna – tęczą wtórną. Poczynając od góry, można wyróżnić w tęczy głównej siedem barw (nie licząc ich pośrednich odcieni): czerwoną, pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską, błękitną i fioletową. W tęczy wtórnej barwy rozmieszczone są w odwrotnej kolejności. Tęcza główna spowodowana jest załamaniem oraz całkowitym wewnętrznym odbiciem światła słonecznego w kroplach deszczu. Przy czym Słońce musi znajdować się za obserwatorem. W przypadku tęczy wtórnej światło ulega w kropli dwukrotnie całkowitemu wewnętrznemu odbiciu.



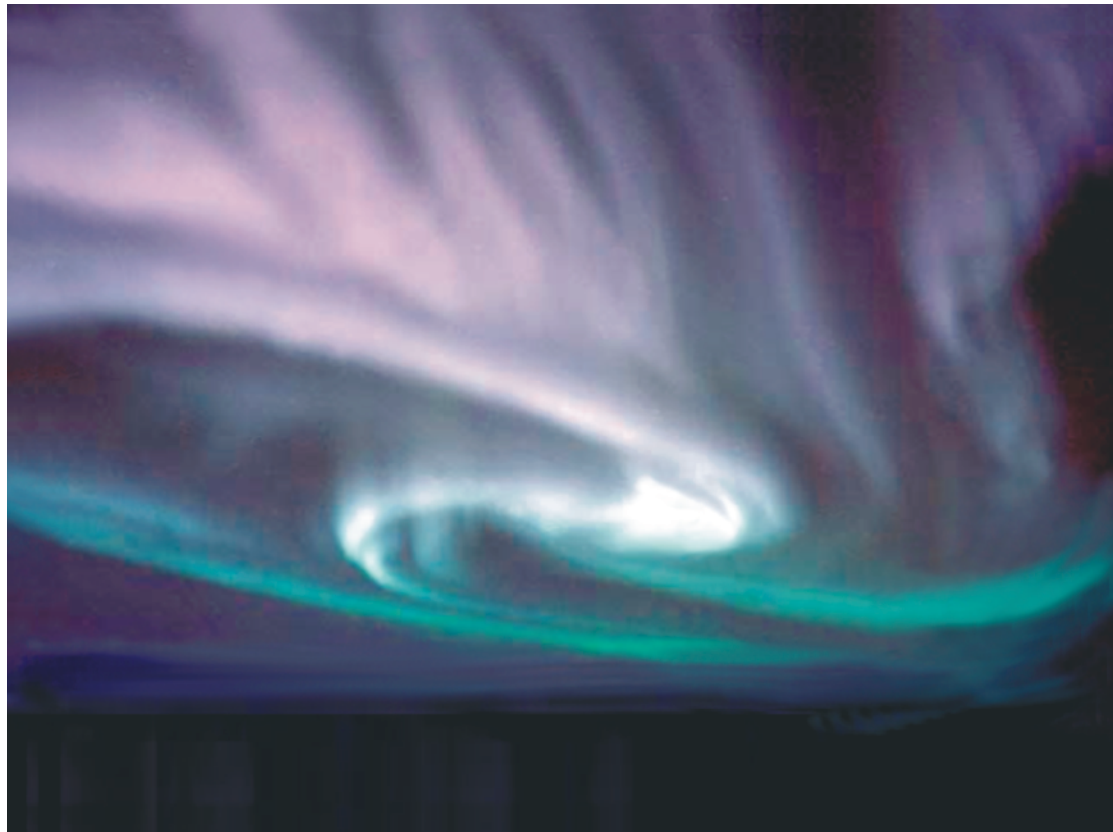
- Tęcza podwójna, Wrocław 18 października 2007 (fot. Krystyna Maciąg)

- Halo \Leftrightarrow zjawisko optyczne polegające na powstawaniu białych lub tęczowych pierścieni wokół Księżyca i Słońca. Halo spowodowane jest odbiciem i załamaniem światła pochodzącego z Księżyca lub Słońca na kryształkach lodu znajdujących się w chmurach Cirrostratus.



•Halo

- Zorza polarna \Leftrightarrow zjawisko optyczne występujące głównie za kołem podbiegunowym, polegające na świeceniu górnych warstw atmosfery. Zorza powstaje w wyniku oddziaływania wiatru słonecznego z jonosferą.



• Zorza polarna

- Holografia 219

• Holografia \Leftrightarrow metoda rejestrowania obrazów trójwymiarowych na kliszy fotograficznej. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu zjawiska interferencji i własności spójnego światła laserowego. Klisza fotograficzna, z zapisanymi na niej obrazami interferencyjnymi przedmiotów, nazywana jest hologramem. Aby otrzymać hologram, należy jedną część wiązki światła laserowego skierować na przedmiot, a drugą – bezpośrednio na kliszę fotograficzną. Wiązka pierwsza nosi nazwę wiązki przedmiotowej, a druga – wiązki odniesienia. Wiązka przedmiotowa po odbiciu od przedmiotu interferuje z wiązką odniesienia, na kliszy powstaje obraz interferencyjny przedmiotu. Patrząc na hologram, oświetlony spójnym światłem, widzimy trójwymiarowy obraz przedmiotu.

H Teoretyczne podstawy holografii opracowali niezależnie Wolfke w 1920 i Gabor w 1948.

B Mieczysław Władysław Wolfke (1883-1947), polski fizyk i wynalazca.

B Dennis Gabor (1900-1979), węgiersko-brytyjski fizyk, laureat Nagrody Nobla z fizyki w 1971.

Wykłady z Fizyki 09



Zbigniew Osiak

Optyka