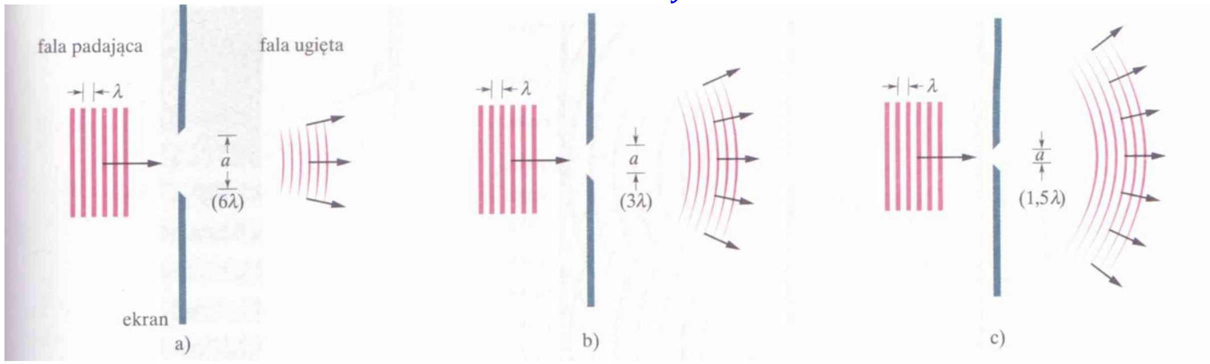
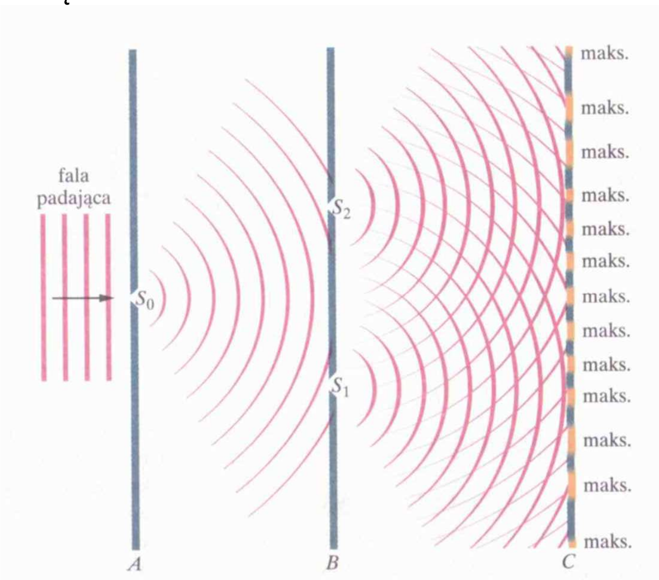
DYFRAKCJA



Schematyczne zobrazowanie zjawiska dyfrakcji. Dla danej długości fali λ dyfrakcja jest tym wyraźniejsza, im mniejsza jest szerokość a szczeliny. Na kolejnych rysunkach szczelina ma szerokość: a) a=6λ; b) a=3λ; c) a=1,5λ. We wszystkich trzech przypadkach ekran przesłaniający i długość szczeliny rozciągają się nad i pod powierzchnią kartki, prostopadle do niej.

DOŚWIADCZENIE YOUNGA

W roku 1801 Thomas Young wykazał doświadczalnie, że światło jest falą, co było sprzeczne z poglądami większości ówczesnych uczonych. Dowód Younga polegał na wykazaniu, że światło może interferować, tak jak interferują fale wodne, fale dźwiękowe i wszystkie fale innych rodzajów. Ponadto był on w stanie zmierzyć średnią długość fali światła słonecznego: wyznaczona przez niego λ= 570 nm jest imponująco zgodna ze współcześnie akceptowaną wartością λ= 555 nm.



W doświadczeniu interferencyjnym Younga padające światło monochromatyczne jest uginane na szczelinie S_0, która działa następnie jak punktowe źródło wysyłające półkoliste czoła fali. Światło docierające do ekranu B jest uginane na dwóch szczelinach S_1 i S_2, które działają jak punktowe źródła światła. Fale świetlne rozchodzące się ze szczelin S_1 i S_2 nakładają się i interferują ze sobą, tworząc na ekranie obserwacyjnym C obraz interferencyjny, złożony z minimów i maksimów. Ta ilustracja to przekrój przez ekrany, szczeliny i obraz interferencyjny (które ciągną się nad i pod powierzchnię kartki). W obszarze pomiędzy ekranami B i C półkoliste czoła fali współśrodkowe ze szczeliną S_1 (lub S_2) obrazują fale, które rozchodziłyby się w tym obszarze wtedy, gdyby któraś z dwóch szczelin (odpowiednio S_2 lub S_1) była przysłonięta.

FALA ELEKTROMAGNETYCZNA

FALA ELEKTROMAGNETYCZNA w próżni

- Zakładamy, że j=0, ρ=0
- Równania Maxwella mają postać:

$$\mathrm{div}\,\vec{\mathbf{E}} = 0 \Longrightarrow \nabla \circ \vec{\mathbf{E}} = 0$$

$$\mathrm{div}\,\vec{\mathbf{B}} = 0 \Longrightarrow \nabla \circ \vec{\mathbf{B}} = 0$$

$$\mathrm{rot}\,\vec{\mathbf{B}} = \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial t} \Longrightarrow \nabla \times \vec{\mathbf{B}} = \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial t}$$

$$\mathrm{rot}\,\vec{\mathbf{E}} = -\frac{\partial \vec{\mathbf{B}}}{\partial t} \Longrightarrow \nabla \times \vec{\mathbf{E}} = -\frac{\partial \vec{\mathbf{B}}}{\partial t}$$

Wyprowadzenie równania fali EB

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{\mathbf{E}}) = -\nabla \times \frac{\partial \vec{\mathbf{B}}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \nabla \times \vec{\mathbf{B}}$$

ale $\nabla \times \vec{\mathbf{B}} = \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial t}$ **czyli:**

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{\mathbf{E}}) = -\mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 \vec{\mathbf{E}}}{\partial t^2} \qquad (1)$$

Korzystając z tożsamości: $\vec{\mathbf{a}} \times (\vec{\mathbf{b}} \times \vec{\mathbf{c}}) = (\vec{\mathbf{a}} \circ \vec{\mathbf{c}})\vec{\mathbf{b}} - (\vec{\mathbf{a}} \circ \vec{\mathbf{b}})\vec{\mathbf{c}}$

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{\mathbf{E}}) = (\underbrace{\nabla \circ \vec{\mathbf{E}}}_{0})\vec{\mathbf{E}} - \nabla^2 \vec{\mathbf{E}} \qquad (2)$$

Łącząc (1) i (2) otrzymujemy:

$$\nabla^2 \vec{\mathbf{E}} = \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 \vec{\mathbf{E}}}{\partial t^2}$$

Ogólne równanie fali:

$$\nabla^2 \Psi(\vec{\mathbf{r}}, t) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}$$

OGÓLNE RÓŻNICZKOWE RÓWNANIE FALI

Wzór $y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t)$

przypomina rozwiązanie równania oscylatora harmonicznego

A jakie równanie naprawdę rozwiązuje?

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 y_m \sin(kx - \omega t) = -\omega^2 y$$

$$\omega = vk$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -k^2 y_m \sin(kx - \omega t) = -k^2 y$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Rozwiązaniem równania falowego

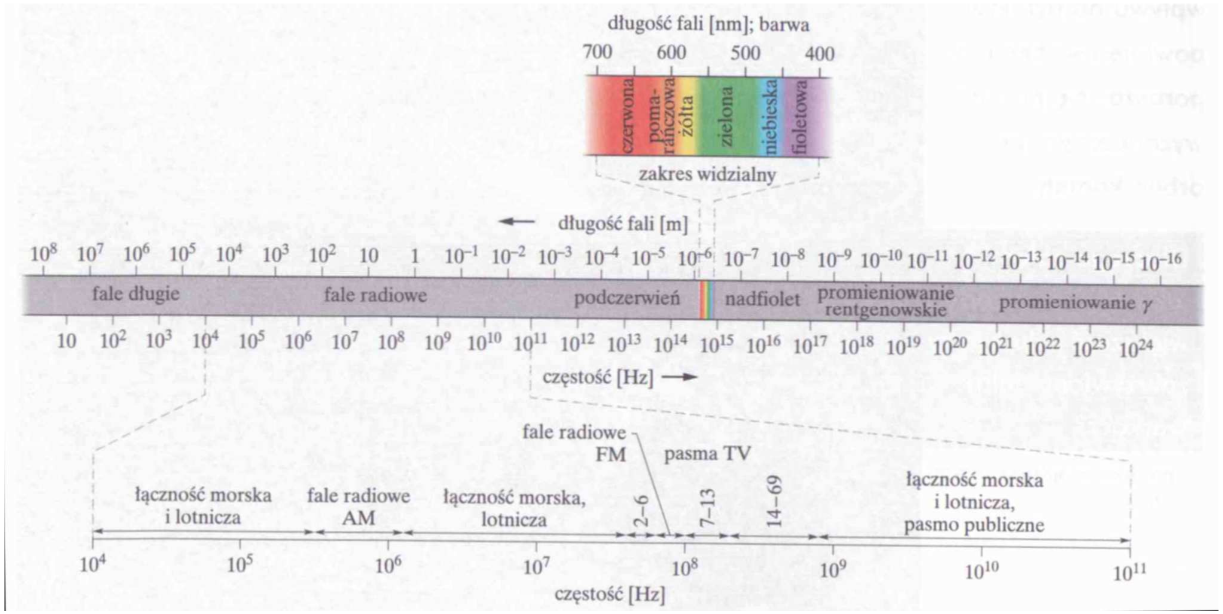
$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

jest każda funkcja postaci y = f (x ± v t)

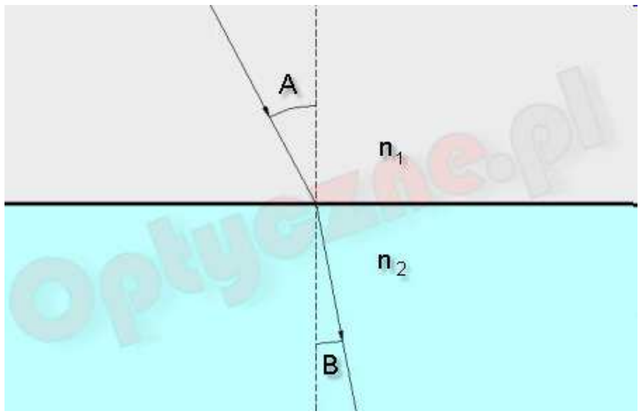
znak „-” dotyczy fali rozchodzącej się w kierunku dodatnim osi x,

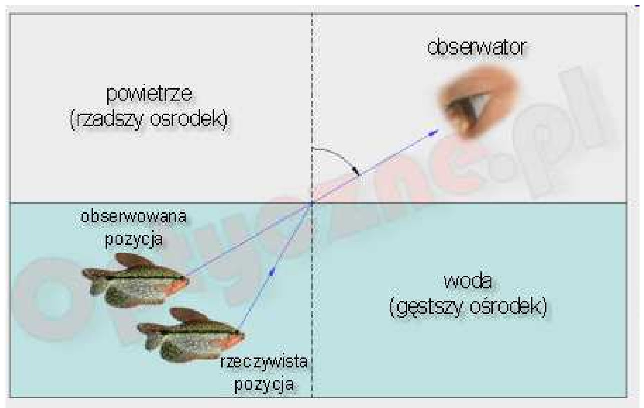
znak „+” w kierunku ujemnym

POLARYZACJA: fala elektromagnetyczna jest spolaryzowana wtedy, gdy wszystkie wektory natężeń ich pól elektrycznych drgają w tej samej płaszczyźnie, zwanej płaszczyzną drgań. Fale świetlne wysyłane przez zwykłe źródła nie są spolaryzowane.



Widmo promieniowania elektromagnetycznego

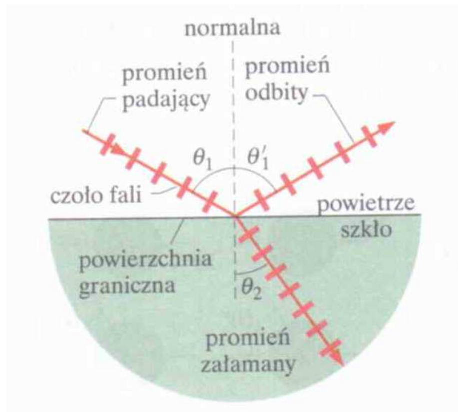




$sinA/sinB = n_2/n_1$

Źródło: http://www.optyczne.pl/90-słownik-Załamanie_światła.html

Zjawisko przechodzenia światła przez powierzchnię rozgraniczającą dwa różne ośrodki (albo inaczej przez granicę ośrodków) nazywamy **załamaniem** (**refrakcją**) światła i mówimy, że światło uległo załamaniu. W wyniku załamania na granicy dwóch ośrodków zmienia się kierunek rozchodzenia się wiązki światła, z wyjątkiem sytuacji, kiedy wiązka pada na granicę ośrodków prostopadle. Z tego powodu mówi się o wiązce światła, że ulega ona „odchyleniu" w wyniku załamania. Zauważmy, że odchylenie zachodzi tylko na granicy ośrodków, a w samym szkle wiązka rozchodzi się prostoliniowo.



Rys. 1

Zjawiskami odbicia i załamania rządzą dwa prawa:

1) **Prawo odbicia** – promień odbity leży w płaszczyźnie padania (są współpłaszczyznowe), a kąt odbicia jest równy kątowi padania. $\theta_1' = \theta_1$ (rys. 1)

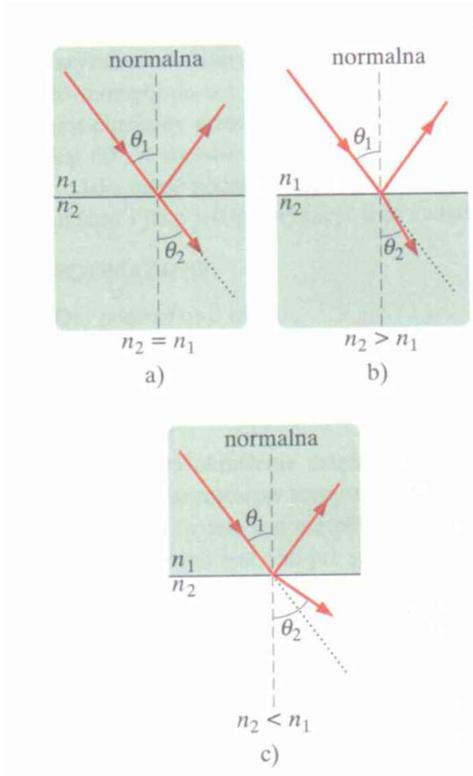
2) **Prawo załamania** – promień załamany leży w płaszczyźnie padania, a kąt załamania θ_2 jest związany z katem padania θ_1 zależnością: $n_2 \sin\theta_2 = n_1 \sin\theta_1$, zwaną **prawem Snella**; n_1 i n_2 są bezwymiarowymi stałymi nazywanymi współczynnikami załamania światła, charakteryzujące ośrodki, na granicy których zachodzi załamanie światła. Mówi się też, że n jest miarą prędkości w różnych ośrodkach. $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$

Rys. 2:

a) Gdy n_2=n_1, to światło rozchodzi się bez odchylenia od pierwotnego kierunku (wzdłuż normalnej), zgodnego z kierunkiem promienia padającego;

b) Gdy n_2>n_2, to wiązka załamuje się w kierunku do normalnej

c) Gdy n_2<n_1, to wiązka załamuje się w kierunku od normalnej



Rys. 2

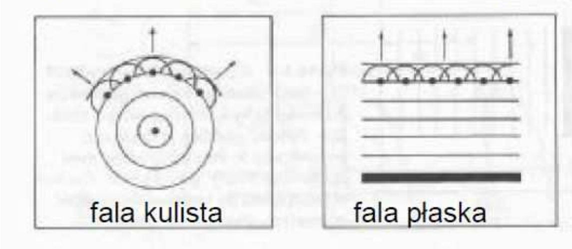
Współczynniki załamania światła dla wybranych ośrodków optycznych (λ=589 nm)

Ośrodek	n	Ośrodek	n
Próżnia	1	Szkło typowe (kron)	1,52
Powietrze (0°C, 1 atm)	0,00029	Chlorek sodu	1,54
Woda (T=20°C)	1,33	Polistyren	1,55
Aceton	1,36	Dwusiarczek węgla	1,63
Alkohol etylowy	1,36	Ciężkie szkło (flint)	1,65
Roztwór cukru (30%)	1,38	Szafir	1,77
Roztwór cukru 80%	1,49	Bardzo ciężkie szkło	1,89
Kwarc topiony	1,46	Diament	2,24

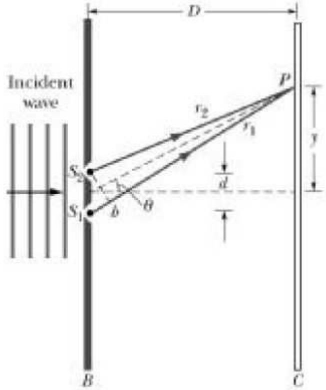
Gdy dochodzi do **rozszczepienia światła białego**, to **składowa niebieska jest załamywana silniej niż składowa czerwona**. Przy przejściu z powietrza do szkła kat załamania składowej niebieskiej jest mniejszy niż kąt załamania składowej czerwonej, natomiast przy przejściu ze szkła do powietrza kąt załamania składowej niebieskiej jest większy niż składowej czerwonej.

Christian Huygens – 1678 r. pierwsza falowa teoria światła

Zasada Huygensa: Wszystkie punkty czoła fali zachowują się jak punktowe źródła elementarnych kulistych fal wtórnych. Po czasie t nowe położenie czoła fali jest wyznaczone przez powierzchnię styczną do powierzchni fal wtórnych



Zasada ta pozwala wyprowadzić m.in. prawo załamania, prawo odbicia (HRW, t.4, 36.2). Wykorzystuje się ją również w interferencji i dyfrakcji



Warunki interferencji:

różnica faz musi być stała w czasie – spójność czasowa i w przestrzeni – spójność przestrzenna

Źródła światła muszą być spójne (koherentne)

warunek interferencji konstruktywnej (maximum)

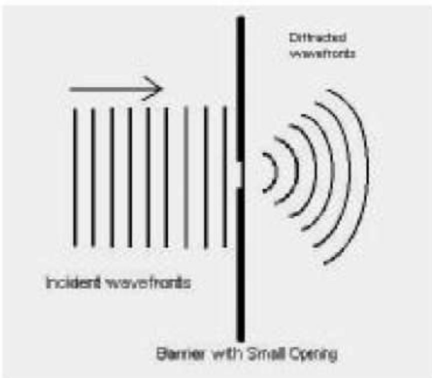
$$d \sin\theta = m\lambda$$

warunek interferencji destruktywnej (minimum)

m=0,1,2,..

$$d \sin\theta = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

Dyfrakcja



Jeżeli fala napotyka na swojej drodze przeszkodę, otwór lub szpilkę o rozmiarach porównywalnych z długością fali, to po przejściu przez nią będzie się inaczej rozprzestrzeniać (fala będzie ulegać ugięciu – dyfrakcji).

W wyniku dyfrakcji powstaje złożony z prążków obraz interferencyjny zwany obrazem dyfrakcyjnym

RÓWNANIA MAXWELLA

Prawo:	Postać całkowa	Postać różniczkowa
Gaussa dla elektrostatyki	$\oint_S \vec{\mathbf{E}} \circ d\vec{\mathbf{A}} = \frac{q}{\varepsilon_o}$	$\mathrm{div}\,\vec{\mathbf{E}} = \frac{\rho}{\varepsilon_o}$
Gaussa dla magnetyzmu	$\oint_S \vec{\mathbf{B}} \circ d\vec{\mathbf{A}} = 0$	$\mathrm{div}\,\vec{\mathbf{B}} = 0$
Ampere'a-Maxwella	$\oint_C \vec{\mathbf{B}} \circ d\vec{\mathbf{l}} = \mu_o(i + \varepsilon_o \frac{d\Phi_E}{dt})$	$\mathrm{rot}\,\vec{\mathbf{B}} = \mu_o(\vec{\mathbf{j}} + \varepsilon_o \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial t})$
Faraday'a	$\oint_C \vec{\mathbf{E}} \circ d\vec{\mathbf{l}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	$\mathrm{rot}\,\vec{\mathbf{E}} = -\frac{\partial \vec{\mathbf{B}}}{\partial t}$