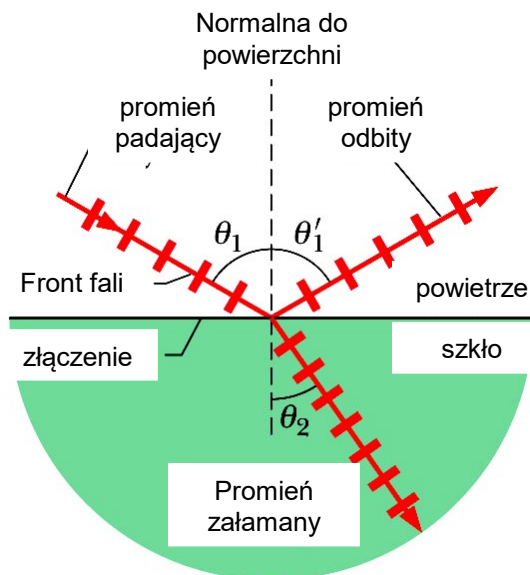


Elementy optyki

- ◆ Odbicie i załamanie fal
- ◆ Zasada Huygensa
- ◆ Zasada Fermata
- ◆ Interferencja
- ◆ Dyfrakcja
- ◆ Siatka dyfrakcyjna

Odbicie i załamanie fal elektromagnetycznych na granicach dwóch ośrodków



Doświadczalnie można stwierdzić, że:

Kąt odbicia = kąt padania

odbicie

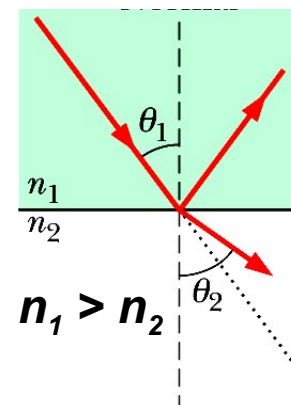
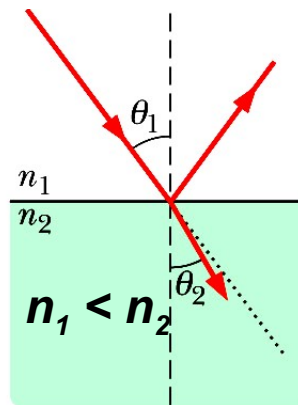
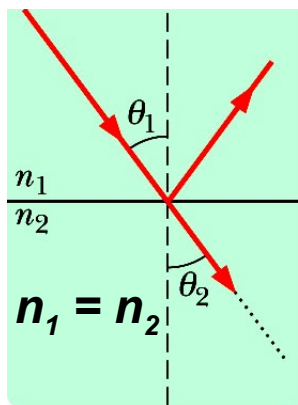
$$\theta'_1 = \theta_1$$

załamanie

$$n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$$

współczynnik
załamania ośrodka 2
(względem próżni)

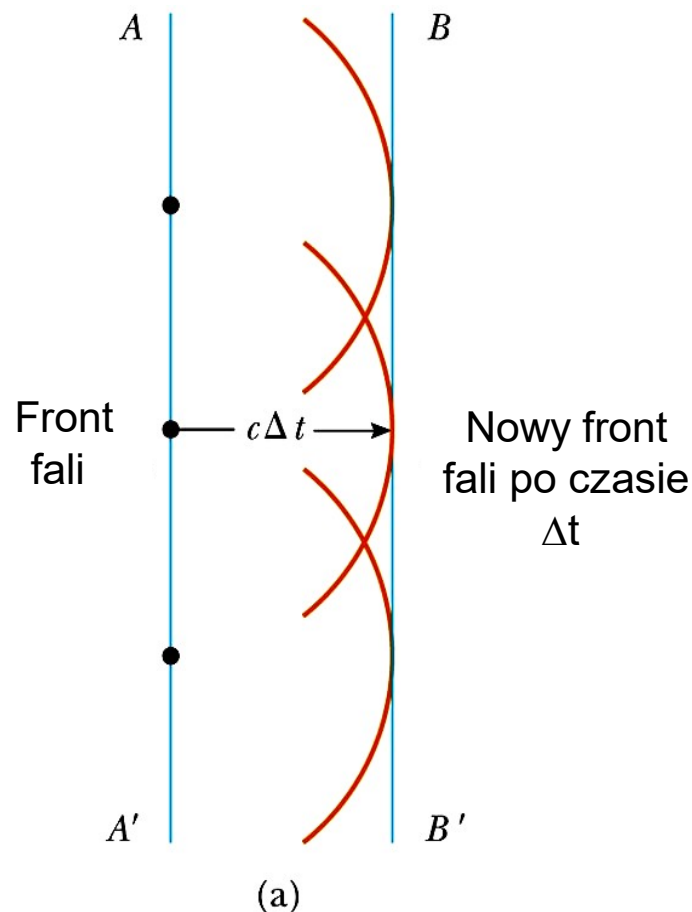
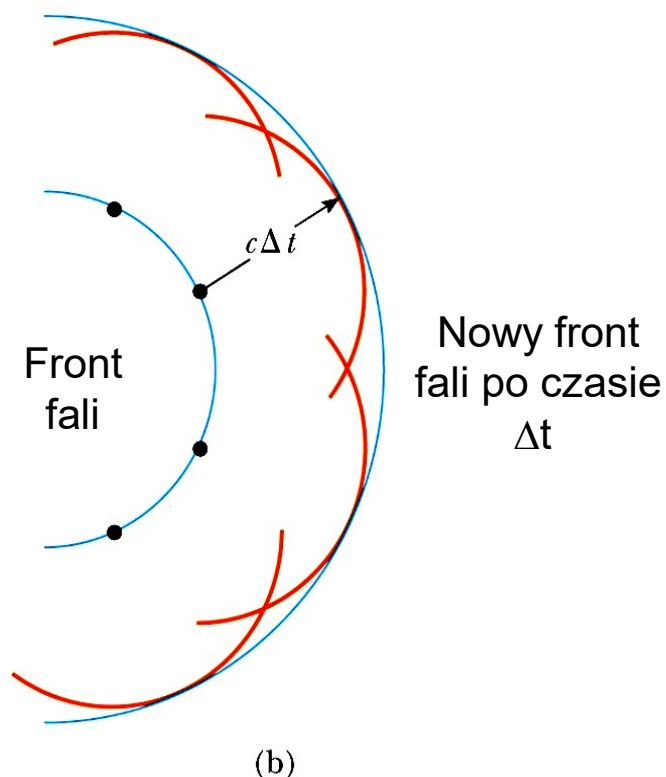
współczynnik
załamania ośrodka 1
(względem próżni)



Zasada Huygensa (XVIIw.) – ujęcie „falowe”

Wszystkie punkty czoła fali można uważać za
źródła nowych fal kulistych.

Położenie czoła fali po czasie t będzie dane
przez powierzchnię styczną do tych fal kulistych.



Zasada Huygensa i odbicie fali

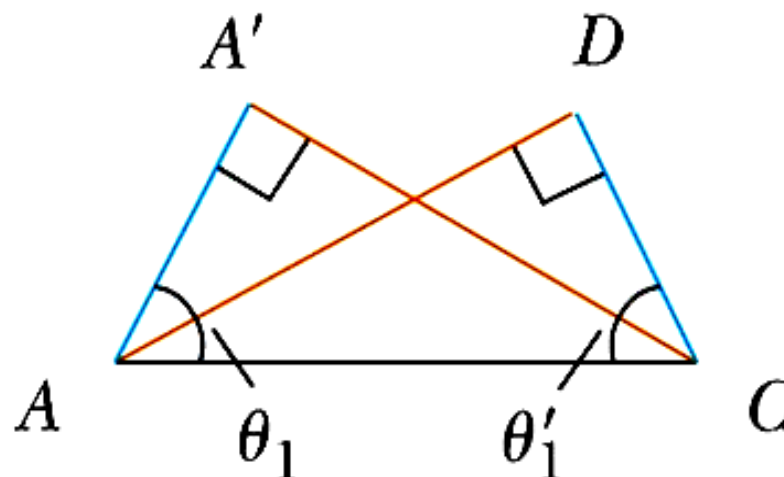
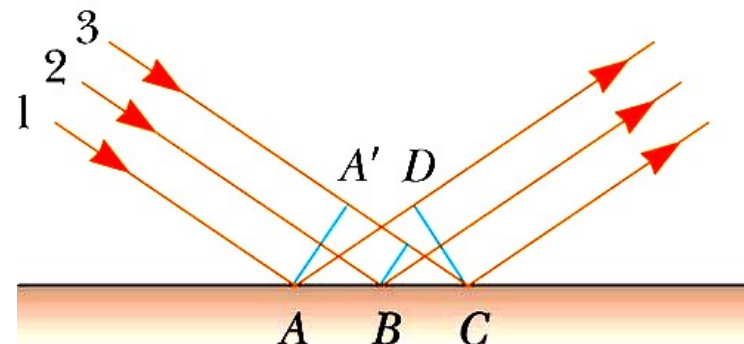
Założenie :

- AA' jest frontem fali padającej
- odcinek A'C równy jest długości fali
- DC jest frontem fali odbitej

Trójkąty AA'C i ADC są przystające
zatem:

$$\theta'_1 = \theta_1$$

Kąt odbicia = kąt padania

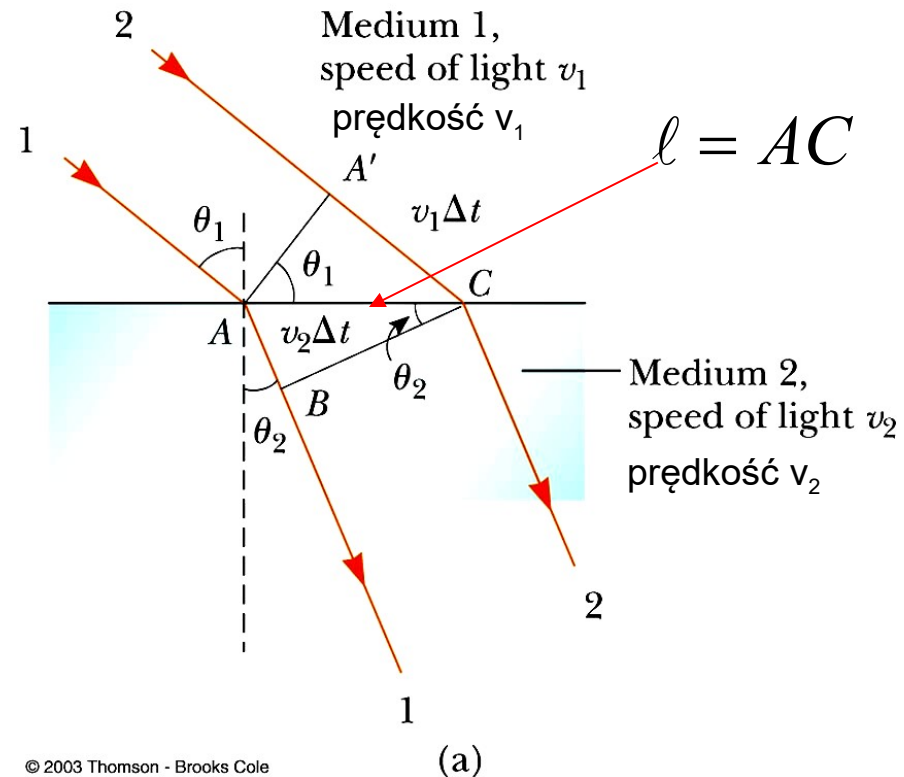


Zasada Huygensa i załamanie fali

- W czasie Δt , promień 1 przebywa drogę od A do B, promień 2 przebywa drogę od A' do C
- z trójkątów AA'C i ACB można zbudować relacje:

$$\ell \sin \theta_1 = v_1 \Delta t; \quad \ell \sin \theta_2 = v_2 \Delta t$$
$$\rightarrow \frac{v_1 \Delta t}{\sin \theta_1} = \frac{v_2 \Delta t}{\sin \theta_2}, \quad v_1 = \frac{c}{n_1}, v_2 = \frac{c}{n_2}$$

$$n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$$



Def. współczynnika załamania względem próżni $n_1 = \frac{c}{v_1}, n_2 = \frac{c}{v_2}$

$$n_2 / n_1 = v_1 / v_2$$

Zasada Fermata i prawo załamania

Promień świetlny biegnący z jednego punktu do drugiego przebywa drogę, na której przebycie trzeba zużyć minimum czasu.

Czas przebycia drogi $\rightarrow t_{AB} = L_1 / v_1 + L_2 / v_2$

Liczmy ekstremum $c t_{AB} = n_1 L_1 + n_2 L_2$

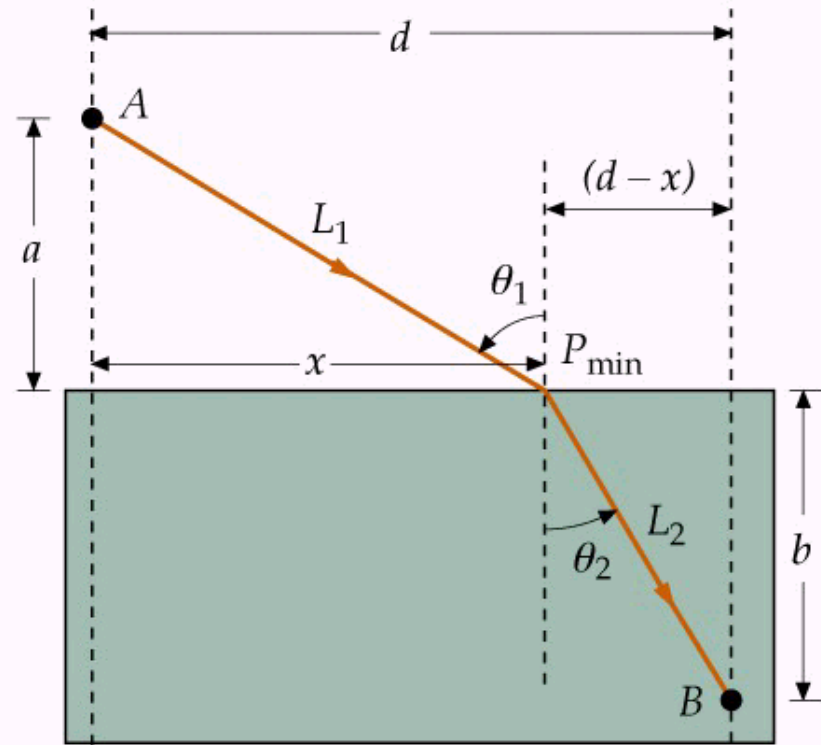
$$c \frac{dt}{dx} = 0 \Rightarrow n_1 \frac{dL_1}{dx} + n_2 \frac{dL_2}{dx} = 0$$

Z rysunku $L_1 = (a^2 + x^2)^{1/2}; \quad L_2 = (b^2 + (d-x)^2)^{1/2}$

Obliczamy

$$\frac{dL_1}{dx} = \frac{1}{2} (a^2 + x^2)^{-1/2} 2x = \frac{x}{L_1} = \sin \theta_1$$

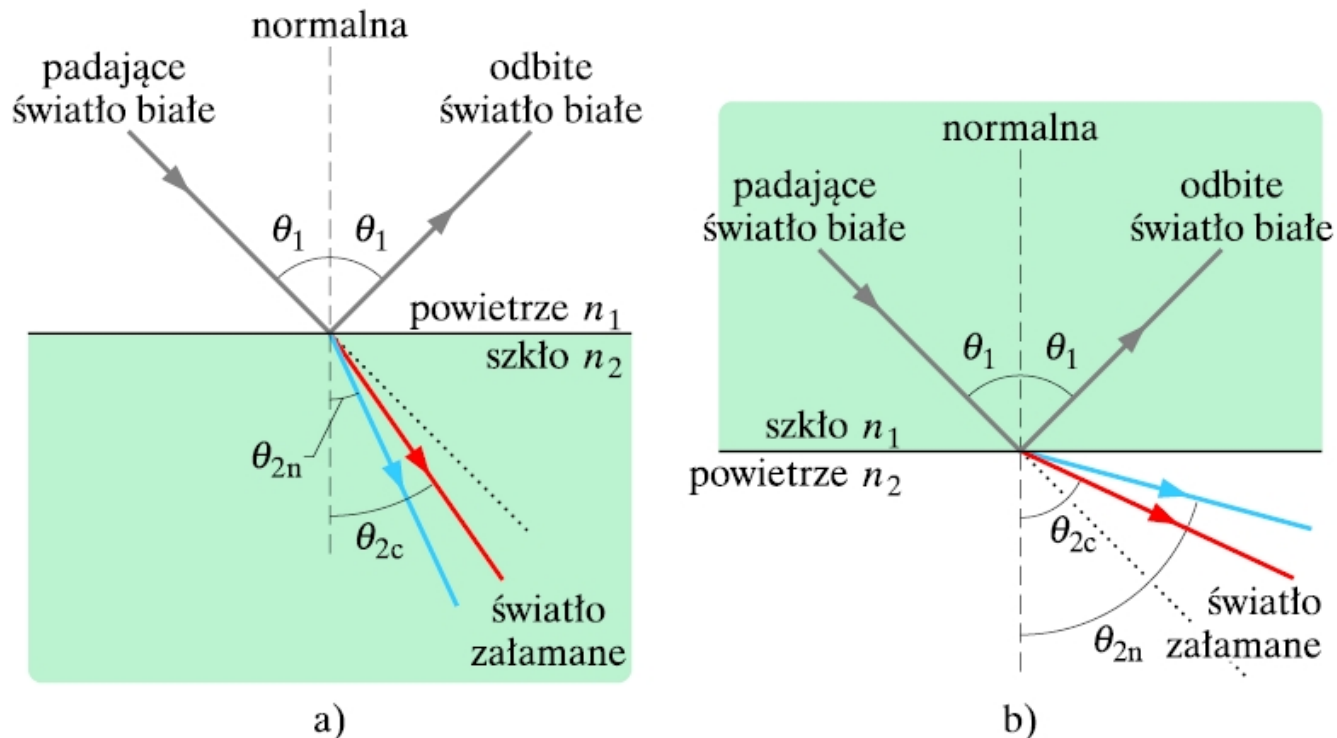
podobnie, $\frac{dL_2}{dx} = \frac{(x-d)}{L_2} = -\sin \theta_2$



$$n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$$

Dyspersja chromatyczna

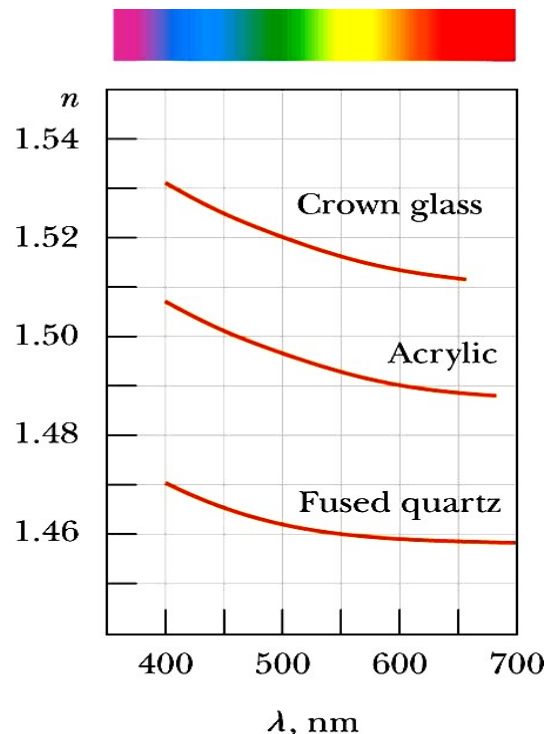
współczynnik załamania n zależy od długości fali promieniowania λ



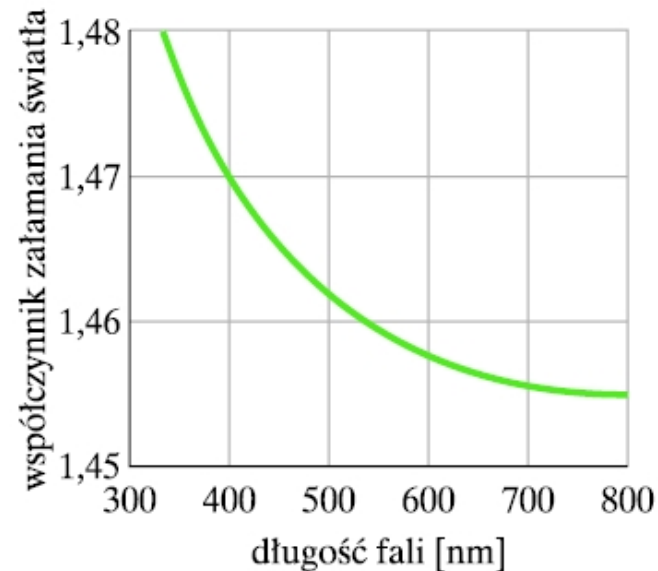
Rys. 34.20. Rozszczepienie światła białego. Składowa niebieska jest załamana silniej niż składowa czerwona. a) Przy przejściu z powietrza do szkła kąt załamania składowej niebieskiej jest mniejszy niż kąt załamania składowej czerwonej. b) Przy przejściu ze szkła do powietrza kąt załamania składowej niebieskiej jest większy niż składowej czerwonej

Dyspersja chromatyczna

współczynnik załamania n
zależy od długości fali
promieniowania λ



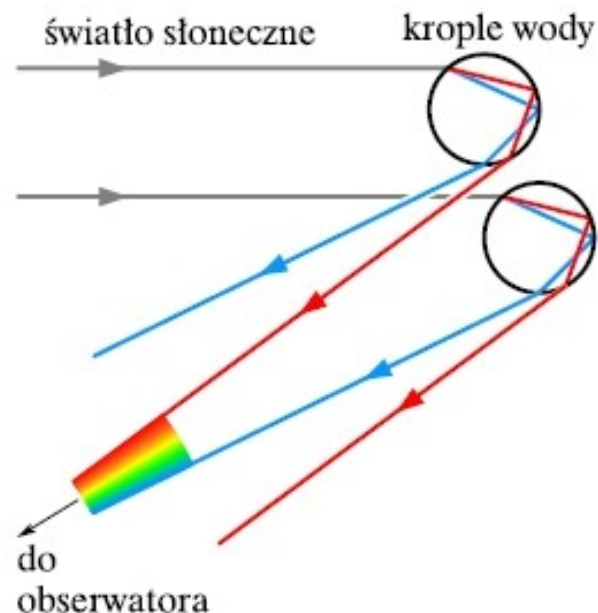
© 2003 Thomson - Brooks Cole



Rys. 34.19. Zależność współczynnika załamania światła od długości fali dla topionego kwarcu. Na wykresie pokazano, że światło o mniejszych długościach fali, dla którego współczynnik załamania światła jest większy, jest załamane silniej przy wnikaniu lub wychodzeniu z kwarcu niż światło o większych długościach fali



a)



b)

Rys. 34.22. a) Tęcza ma zawsze kształt kolistej łuki utworzonego wokół kierunku, w którym patrzyłbyś wtedy, gdybyś spoglądał prosto od strony Słońca. W zwykłych warunkach ogląda się zazwyczaj tylko niezbyt długi fragment łuku, ale jeśli obserwację prowadzi się z wysokości, to można zaobserwować nawet pełen okrąg. b) Rozdzielanie barw w wyniku załamania światła przy wnikaniu i wychodzeniu z kropli deszczu prowadzi do powstania tęczy. Na rysunku zilustrowano sytuację, w której Słońce jest na horyzoncie (promienie słoneczne są wówczas poziome). Pokazane są kierunki promieni niebieskich i czerwonych z dwóch kropli. Na obserwowane promienie niebieskie i czerwone składa się załamanie światła w wielu innych kroplach (i to samo dotyczy innych barw pośrednich)

Dyspersja chromatyczna

35.5 A Rainbow of Many Light Rays

Pictorial representations such as Figure 35.23 are subject to misinterpretation. The figure shows one ray of light entering the raindrop and undergoing reflection and refraction, exiting the raindrop in a range of 40° to 42° from the entering ray. This might be interpreted incorrectly as meaning that *all* light entering the raindrop exits in this small range of angles. In reality, light exits the raindrop over a much larger range of angles, from 0° to 42° . A careful analysis of the reflection and refraction from the spherical raindrop shows that the range of 40° to 42° is where the *highest-intensity* light exits the raindrop.

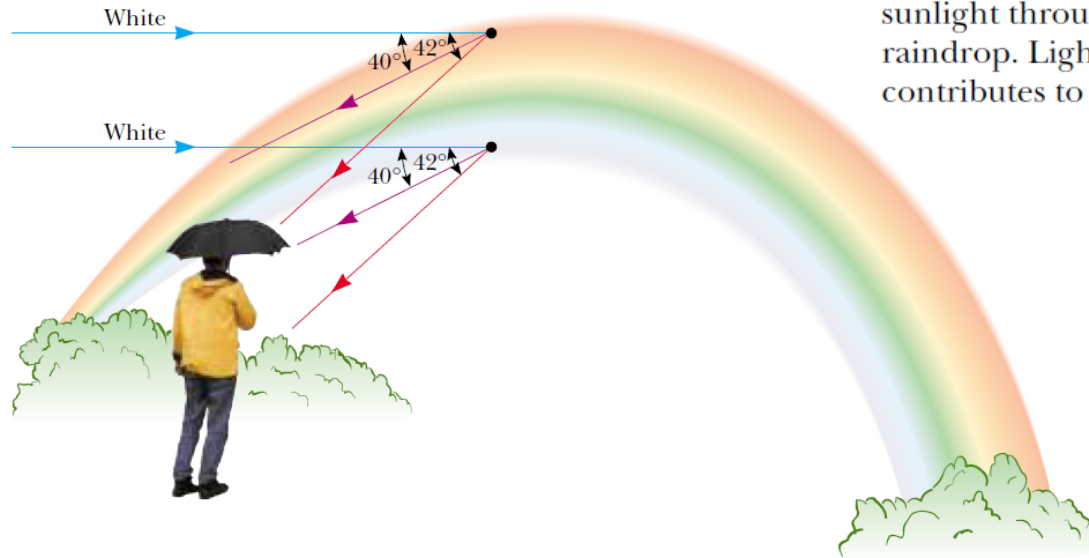
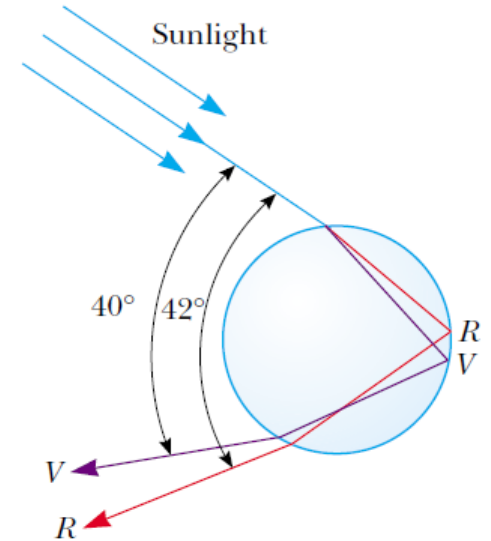


Figure 35.24 The formation of a rainbow seen by an observer standing with the Sun behind his back.



Active Figure 35.23 Path of sunlight through a spherical raindrop. Light following this path contributes to the visible rainbow.

Mechanizm dyspersji

Założenia:

- Fala e.m. oddziałuje z elektronami ośrodka – pobudza je do drgań z tą samą częstotliwością
- Elektrony są związane „siłami sprężystymi” z ośrodkiem (model drgań mechanicznych z tłumieniem)-klasyczne oscylatory harmoniczne
- Drgające elektrony emitują wtórną falę e.m. o takiej samej częstotliwości co fala padająca ale jest ona trochę przesunięta w fazie i ma inną amplitudę (ze względu na tłumienie ruchu elektronów w ośrodku – przypomnij sobie fizyczny model drgań tłumionych)

Efekt:

- Fala w ośrodku jest złożeniem fali pierwotnej i wtórnej – w wyniku otrzymujemy falę o tej samej częstotliwości, ale lekko przesuniętej fazie względem fali pierwotnej
- To przesunięcie znacznie zależy od rodzaju ośrodka – efekty „tłumienia elektronów”, inna częstotliwość drgań własnych elektronów
- Efekt ten ponawia się przechodząc do kolejnej warstwy
- W wyniku tych zjawisk wypadkowa fala **porusza się w ośrodku wolniej**

Mechanizm dyspersji

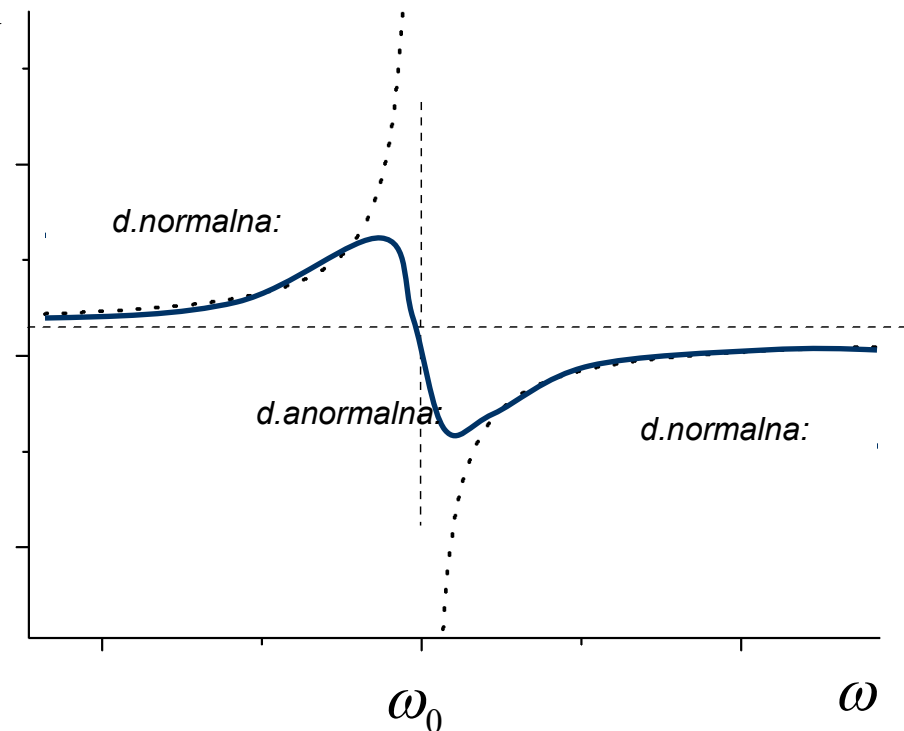
- Prędkość fazowa fal e-m.
$$v = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

- Elementarna teoria dyspersji fal e-m. prowadzi do następującej zależności stałej dielektrycznej do częstotliwości padającej fali

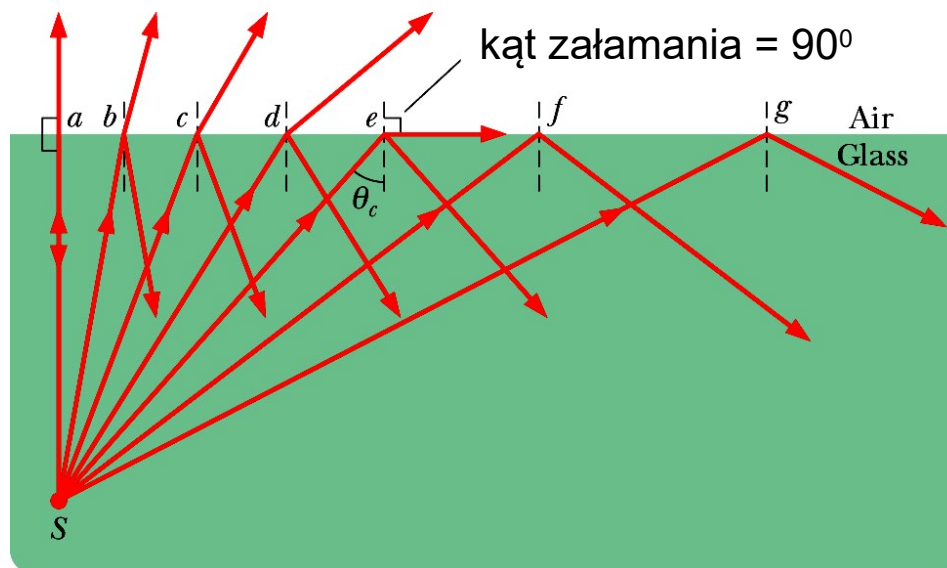
$$\epsilon = 1 + \frac{Ne^2}{m\epsilon_0(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

- (patrz: W. Bogusz J. Garbarczyk, F. Krok
- „Podstawy Fizyki”)

- ϵ można łatwo przekształcić w n



Całkowite wewnętrzne odbicie



Dla pewnego kąta padania θ_c ,
kąt załamania promieniowania
osiągnie wartość 90° .

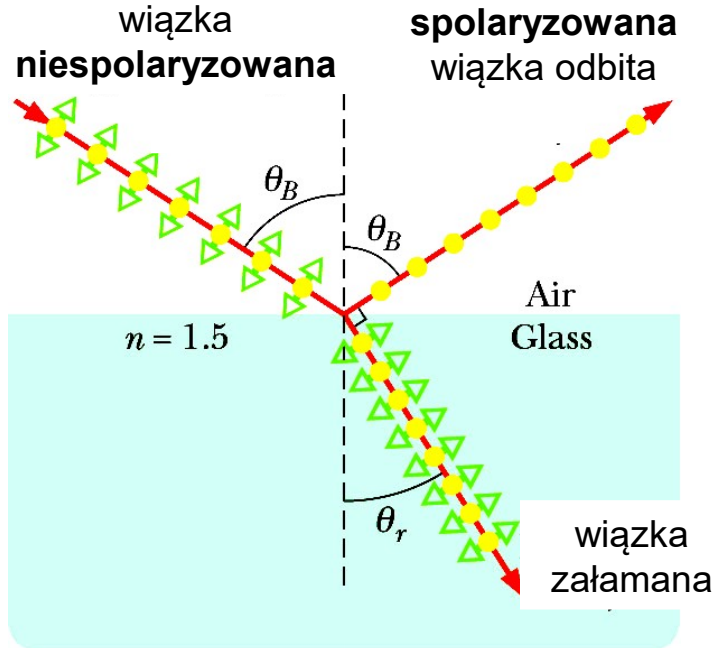
Powyżej tego kąta
promieniowanie ulegnie
całkowitemu odbiciu

$$n_2 \sin 90^\circ = n_1 \sin \theta_c$$

kąt całkowitego odbicia

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

Polaryzacja przez odbicie



● składowa prostopadła do płaszczyzny slajdu

↔ składowa równoległa do płaszczyzny slajdu

Uwaga:
wiązka odbita jest zawsze częściowo
spolaryzowana !

Gdy spełniony jest warunek

$$\theta_B + \theta_r = 90^\circ$$

wiązka odbita ulega całkowitej
polaryzacji (składowa równoległa do
płaszczyzny slajdu ulega wygaszeniu)

$$\begin{aligned} n_1 \sin \theta_B &= n_2 \sin \theta_r = \\ &= n_2 \sin(90^\circ - \theta_B) \\ &= n_2 \cos \theta_B \end{aligned}$$

$$\theta_B = \arctan \frac{n_2}{n_1}$$

Kąt Brewstera