

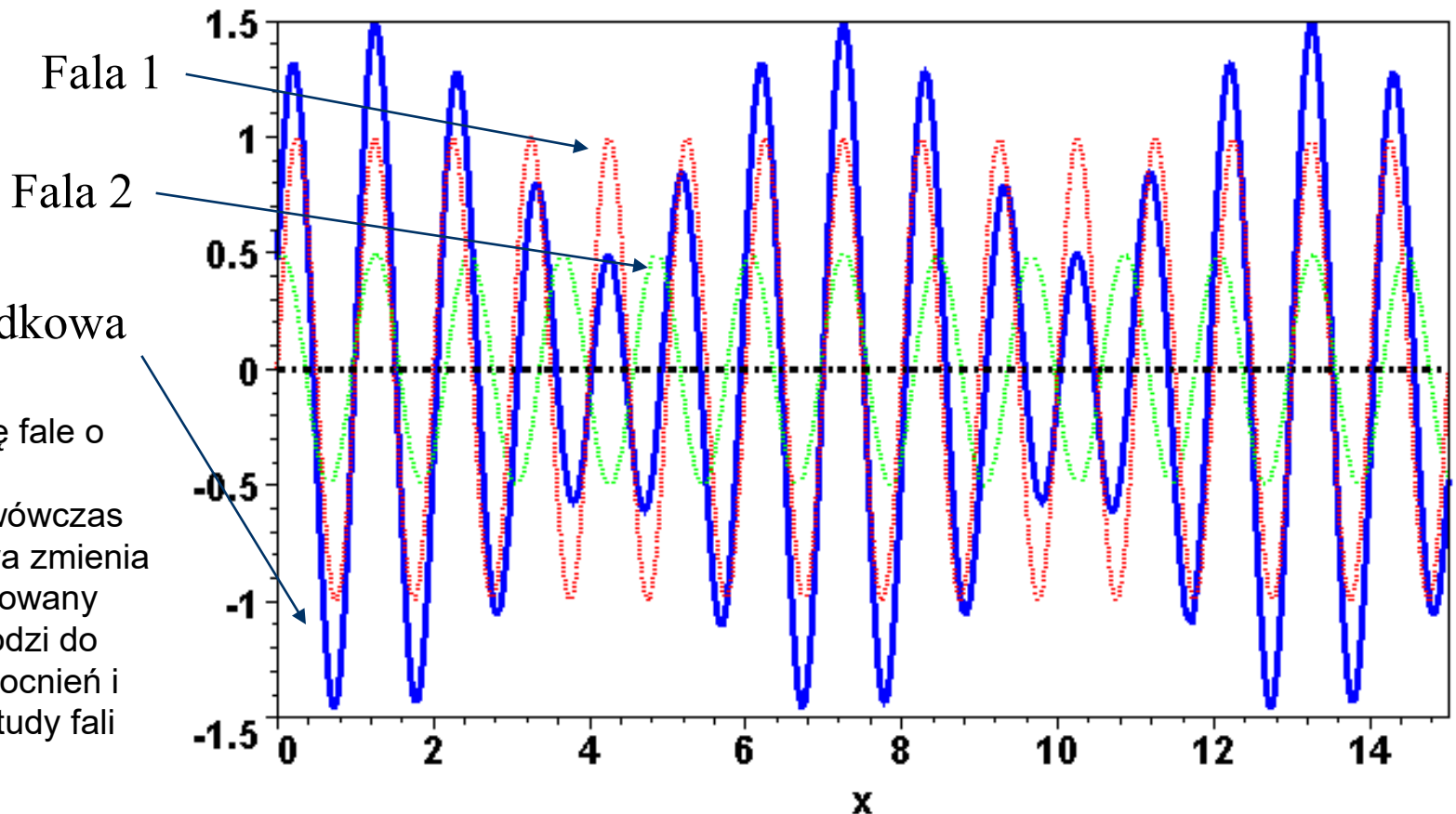
Zjawisko interferencji fal

Interferencja to efekt nakładania się fal (wzmacnianie i osłabianie się ruchu falowego widoczne w zmianach amplitudy i natężenia fal) w którym zachodzi stabilne w czasie ich wzmocnienie w jednych punktach przestrzeni oraz osłabienie w innych. W pełni interferować mogą tylko **fale spójne**

to fale, których różnica faz nie zależy od czasu

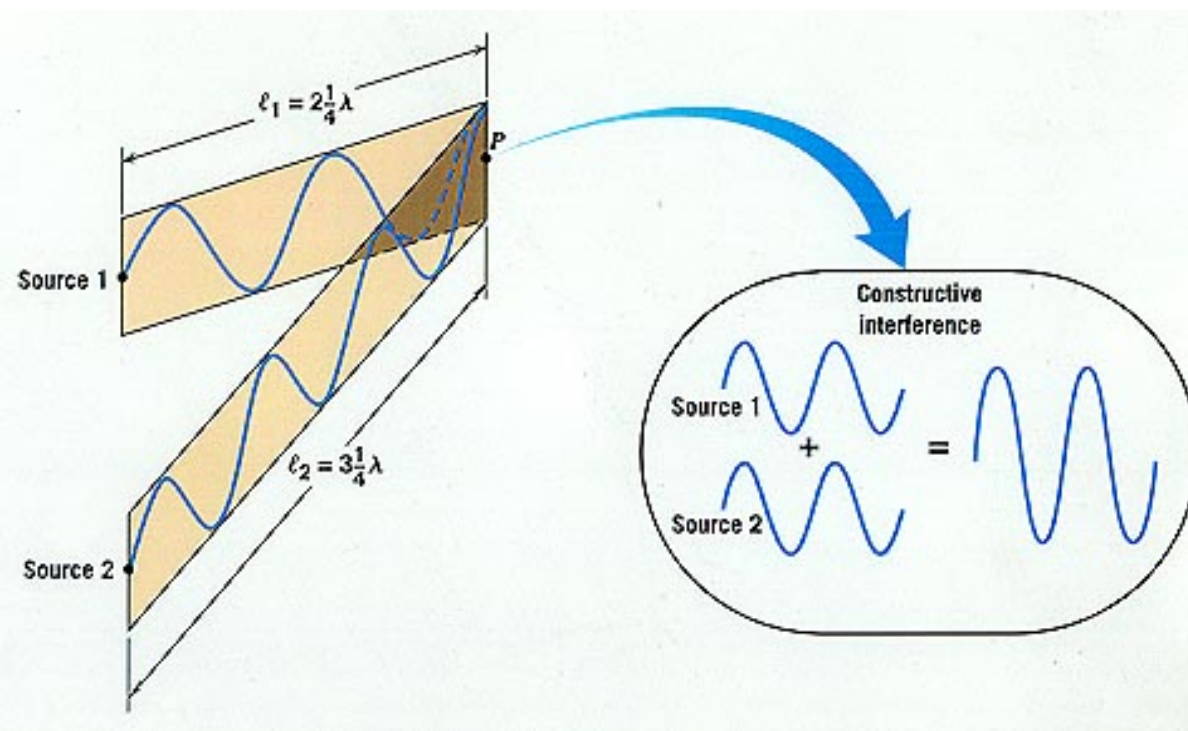
Fala wypadkowa

Jeśli nałożą się fale o nieco różnych częstościach wówczas fala wypadkowa zmienia się w skomplikowany sposób. Dochodzi do lokalnych wzmocnień i osłabień amplitudy fali wypadkowej.



Zjawisko interferencji fal

szczególny przypadek - wzmacnienie



różnica dróg optycznych fal:

$$\Delta r = \pm m\lambda$$

będzie wielokrotnością długości fali ($m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$)

Aby efekt interferencji był stały w czasie w danym punkcie przestrzeni muszą nałożyć się fale „spójne” o takich samych częstościach.

$$E_1 = E_{01} \sin(\omega t - kr_1)$$

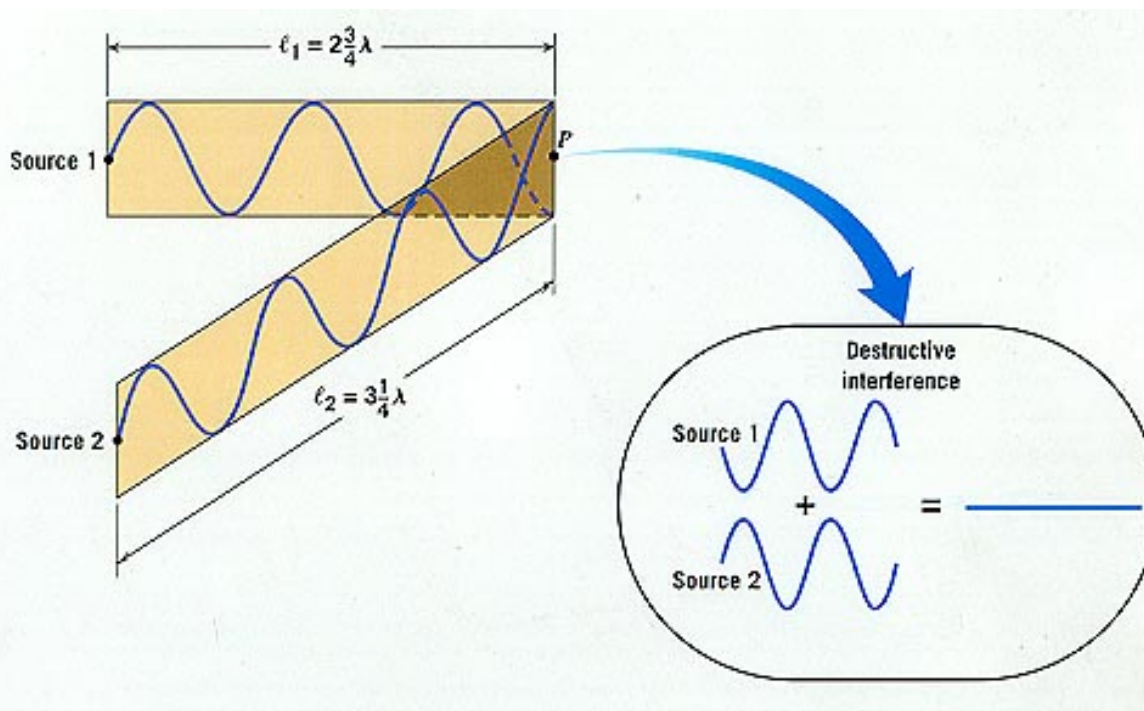
$$E_2 = E_{02} \sin(\omega t - kr_2)$$

Warunek
maks. wzmocnienia:

$$k\Delta r = \pm 2m\pi$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Zjawisko interferencji fal szczególny przypadek - wygaszenie



$$E_1 = E_{01}\sin(\omega t - kr_1)$$

$$E_2 = E_{02}\sin(\omega t - kr_2)$$

Warunek
maks. **wygaszenia:**

$$k\Delta r = \pm(2m - 1)\pi$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

różnica dróg optycznych fal:

$$\Delta r = \pm(2m - 1)\frac{\lambda}{2}$$

będzie nieparzystą wielokrotnością połowy długości fali ($m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$)

Zjawisko interferencji fal

- nałożenie dwóch fal płaskich

Założmy, że dwie płaskie, harmoniczne fale elektromagnetyczne 1 i 2 (posiadające identyczną częstotliwość ω i ten sam kierunek polaryzacji liniowej) rozchodzą się w kierunku dodatniego zwrotu osi x . Fale te są opisywane przez wartości natężeń ich pól elektrycznych. Propagacja fal 1 i 2 może być opisana przez wyrażenia

$$E_1 = E_{01} \sin(\omega t - kx) \qquad E_2 = E_{02} \sin(\omega t - kx - \phi)$$

Nałożenie dwóch fal można przedstawić jako:

$$E = E_1 + E_2 = E_{01} \sin(\omega t - kx) + E_{02} \sin(\omega t - kx - \phi)$$

przesunięcie fazowe
(różnica faz)



Detektory fal elektromagnetycznych (w tym nasze oczy) reagują na natężenie fali I tj. średnią ilość energii padającej na jednostkową powierzchnię w jednostce czasu.

Energia przenoszona przez fale jest proporcjonalna do kwadratu natężenia pola elektrycznego. Dla rozpatrywanego nas przypadku energia będzie więc proporcjonalna do:

$$E^2 = E_{01}^2 \sin^2(\omega t - kx) + E_{02}^2 \sin^2(\omega t - kx - \phi) + 2E_{01}E_{02} \sin(\omega t - kx) \sin(\omega t - kx - \phi)$$

Zjawisko interferencji fal - nałożenie dwóch fal płaskich

Zgodnie ze znanym wzorem trygonometrycznym możemy napisać:

$$\cos \alpha - \cos \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\beta - \alpha}{2}$$

a ostatni człon wyrażenia na E^2 możemy przekształcić do postaci następującej:

$$2E_{01}E_{02} \sin(\omega t - kx) \sin(\omega t - kx - \phi) = E_{01}E_{02} \{ \cos(\phi) - \cos[2(\omega t - kx) - \phi] \}$$

$\xleftrightarrow{\frac{\alpha + \beta}{2}} \quad \xleftrightarrow{\frac{\beta - \alpha}{2}} \quad \xleftrightarrow{\alpha} \quad \xleftrightarrow{\beta}$

Biorąc pod uwagę ostatni wynik:

$$E^2 = E_{01}^2 \sin^2(\omega t - kx) + E_{02}^2 \sin^2(\omega t - kx - \phi) + E_{01}E_{02} \{ \cos \phi - \cos[2(\omega t - kx) - \phi] \}$$

Zjawisko interferencji fal

- nałożenie dwóch fal płaskich

Detektor rejestruje nie chwilową wartość natężenia fali, ale średnią w czasie wartość strumienia energii. Dla rozpatrywanego tu rodzaju fal, można tę średnią policzyć według wzoru:

$$\langle E^2 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T E^2 dt$$

Licząc wartości średnie

$$\langle E^2 \rangle = \frac{E_{01}^2}{2} + \frac{E_{02}^2}{2} + E_{01}E_{02} \cos \phi$$

Natężenie fali wypadkowej

$$I = I_{01} + I_{02} + 2\sqrt{I_{01}I_{02}} \cos \phi$$

gdy $\cos \phi = -1$ (osłabienie)

$$I = I_{01} + I_{02} - 2\sqrt{I_{01}I_{02}}$$

gdy $\cos \phi = 1$ (wzmocnienie)

$$I = I_{01} + I_{02} + 2\sqrt{I_{01}I_{02}}$$

Gdy dwie fale mają takie same amplitudy to

$$I = 2I_0 + 2I_0 \cos \phi = 2I_0 (1 + \cos \phi)$$

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{\phi}{2}$$

$$(1 + \cos \phi) = (1 + 2 \cos^2 \frac{\phi}{2} - 1)$$

Interferencja światła – graficzne sumowanie fal

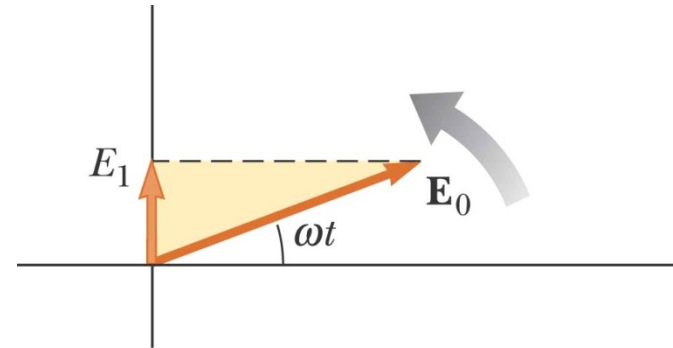
Zmiany wektora E (dla fali sinusoidalnej) mogą być pokazane graficznie jako wirujący wektor E_{01} z częstością kątową ω przeciwnie do wskazówek zegara

Wartość chwilową E_1 dla pierwszej fali sinusoidalnej w danym punkcie pokazuje rzut wektora E_{01} na oś y

$$E_1 = E_{01} \sin(\omega t)$$

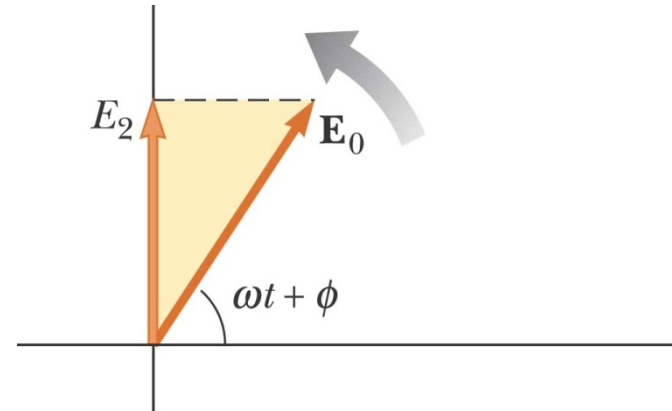
Druga fala „wiruje” podobnie, tylko jest przesunięta w fazie o kąt ϕ

$$E_2 = E_{02} \sin(\omega t + \phi)$$



(a)

©2004 Thomson - Brooks/Cole



(b)

©2004 Thomson - Brooks/Cole

Interferencja światła

Wpadkowy wektor $\mathbf{E}_R$ jest sumą wektorów natężeń składowych (dodawanie to można wykonać jak na rysunku obok)

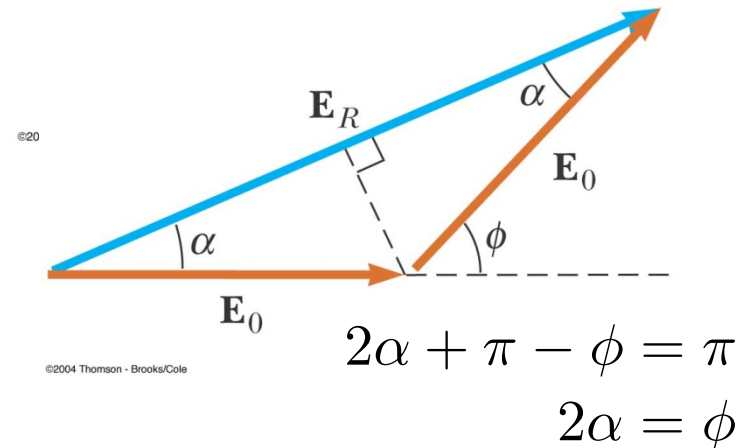
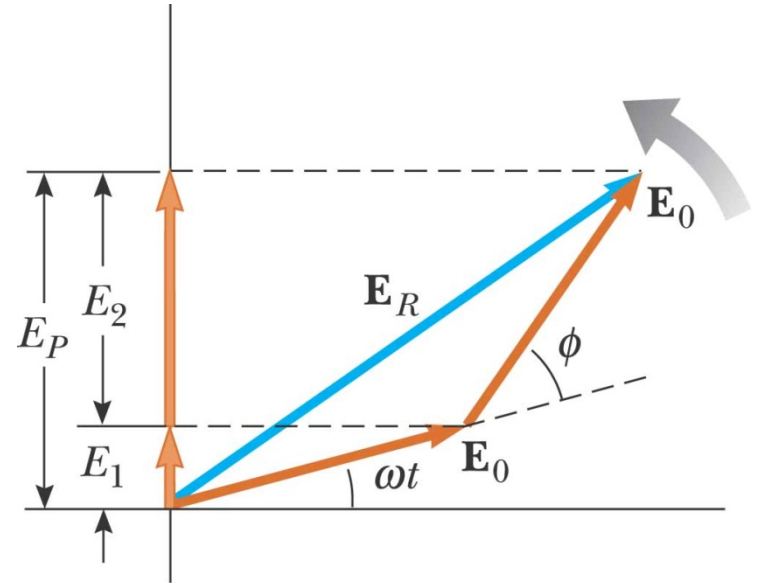
Wpadkowy wektor $\mathbf{E}_R$ wiruje także z częstotliwością ω

Rzut wektora $\mathbf{E}_R$ (czyli $\mathbf{E}_P$) na oś Y jest sumą jest sumą rzutów wektorów natężeń składowych $\mathbf{E}_1$ i $\mathbf{E}_2$

Z rysunku wynika, że:

$$\begin{aligned} E_P &= E_R \sin \left(\omega t + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= 2E_0 \cos \frac{\phi}{2} \sin \left(\omega t + \frac{\phi}{2} \right) \end{aligned}$$

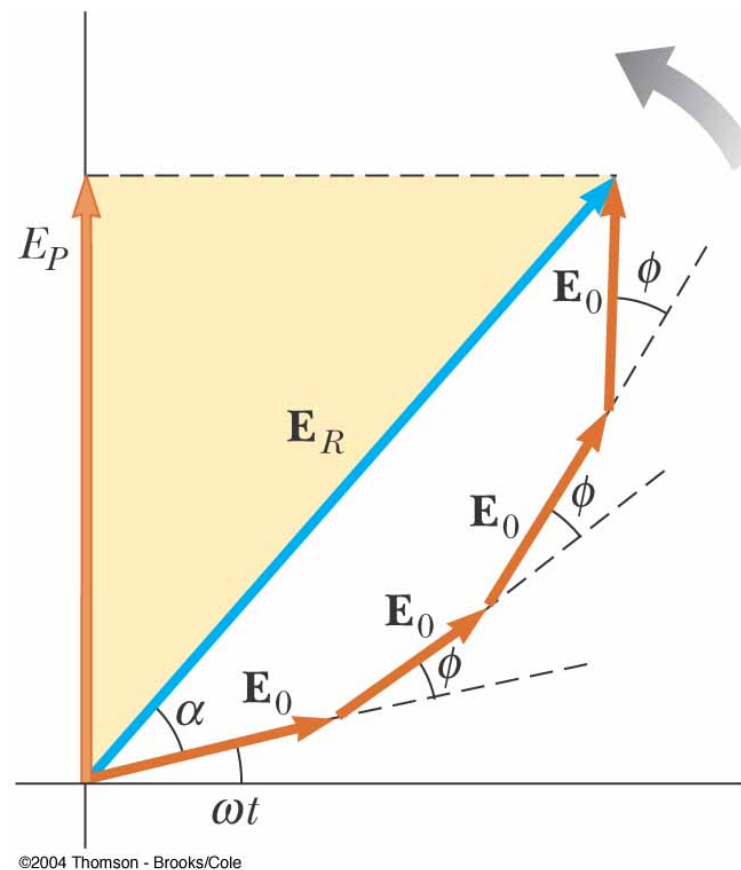
$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{\phi}{2}$$



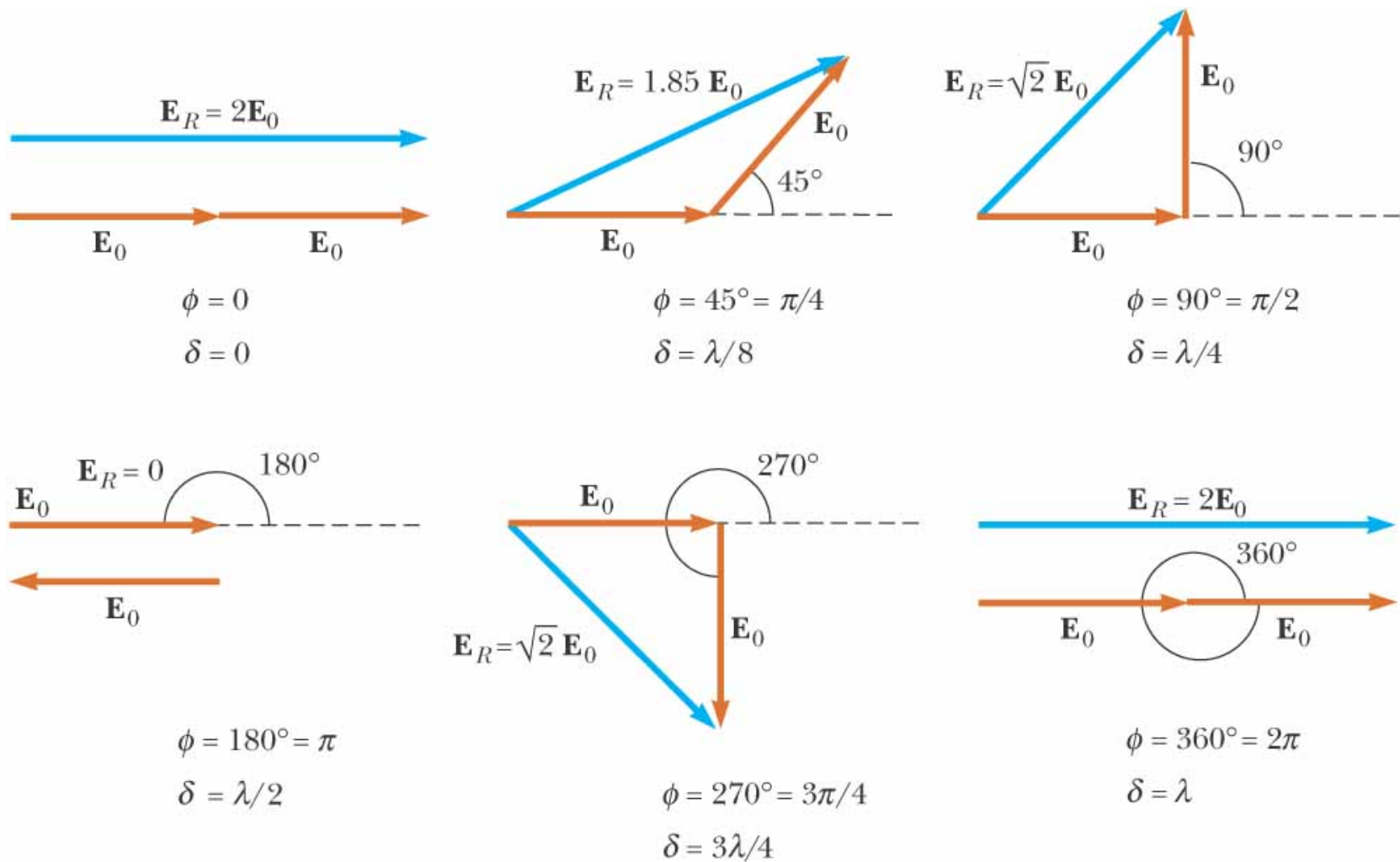
Interferencja światła

Jeśli nakłada się wiele fal to wypadkowy wektor $\mathbf{E}_R$ jest także sumą wektorów natężeń składowych

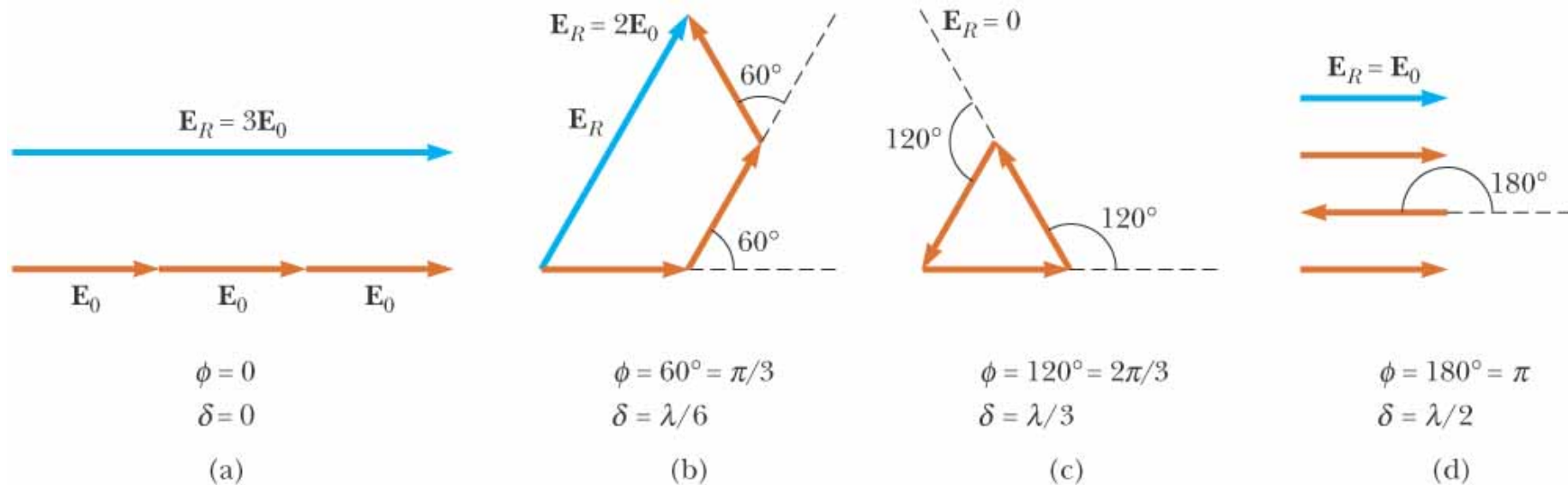
$\mathbf{E}_R$ obraca się z częstością ω



Interferencja światła

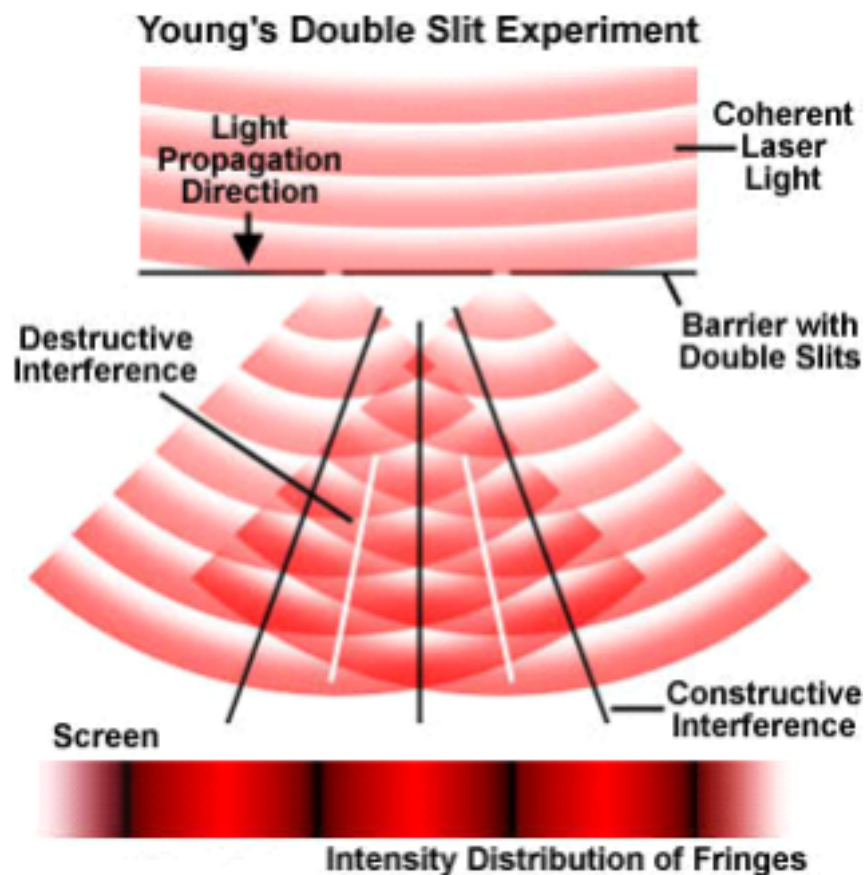


Interferencja światła



©2004 Thomson - Brooks/Cole

Interferencja światła

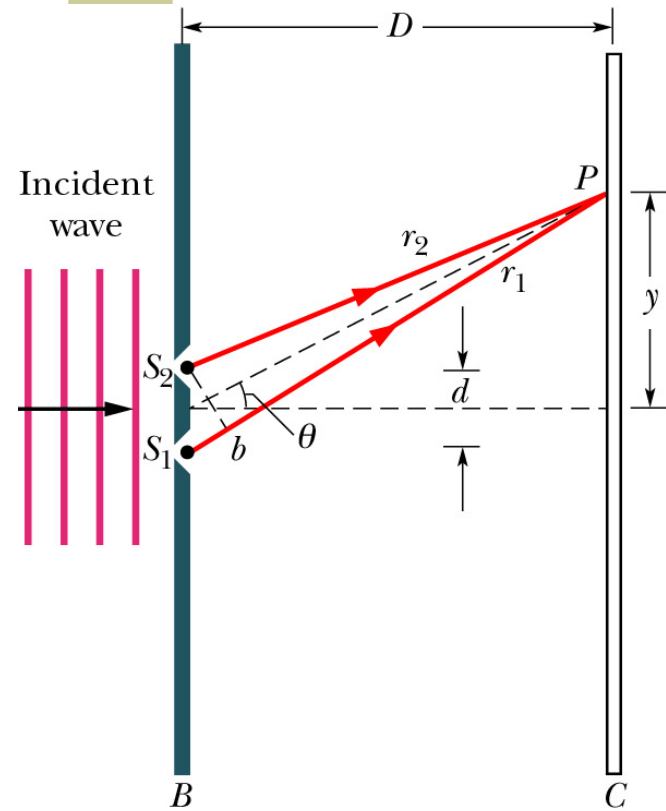


Interferencja światła przechodzącego przez dwie małe szczeliny.

← Zgodnie z zasadą Huygensa szczeliny są można uważać za źródła nowych fal kulistych.

← Taki efekt jest obserwowany gdy padające światło jest spójne (koherentne) i monochromatyczne (takie światło daje laser)

Interferencja światła – doświadczenie Younga



Wzmocnienie:

$$d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$\tan \theta = \frac{y_m}{D} \quad \text{lub} \quad y_m = D \tan \theta \approx D \sin \theta$$

$$y_m = \frac{m\lambda D}{d}$$

Maxima

m	$y_m \text{ +/-}$
0	0
1	$D\lambda/d$
2	$2D\lambda/d$
3	$3D\lambda/d$

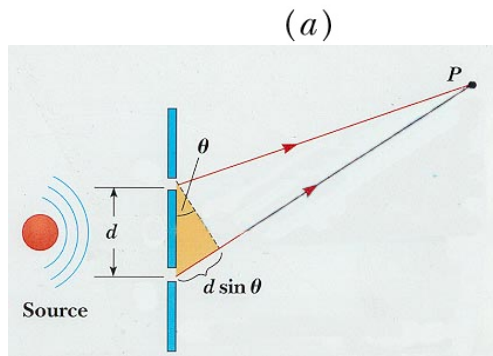
Wygaszenie:

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad m = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$y_m = \frac{(m + 1/2)\lambda D}{d}$$

Minima

m	$y_m \text{ +/-}$
0	$D\lambda/2d$
1	$3D\lambda/2d$
2	$5D\lambda/2d$
3	$7D\lambda/2d$



Interferencja światła – doświadczenie Younga

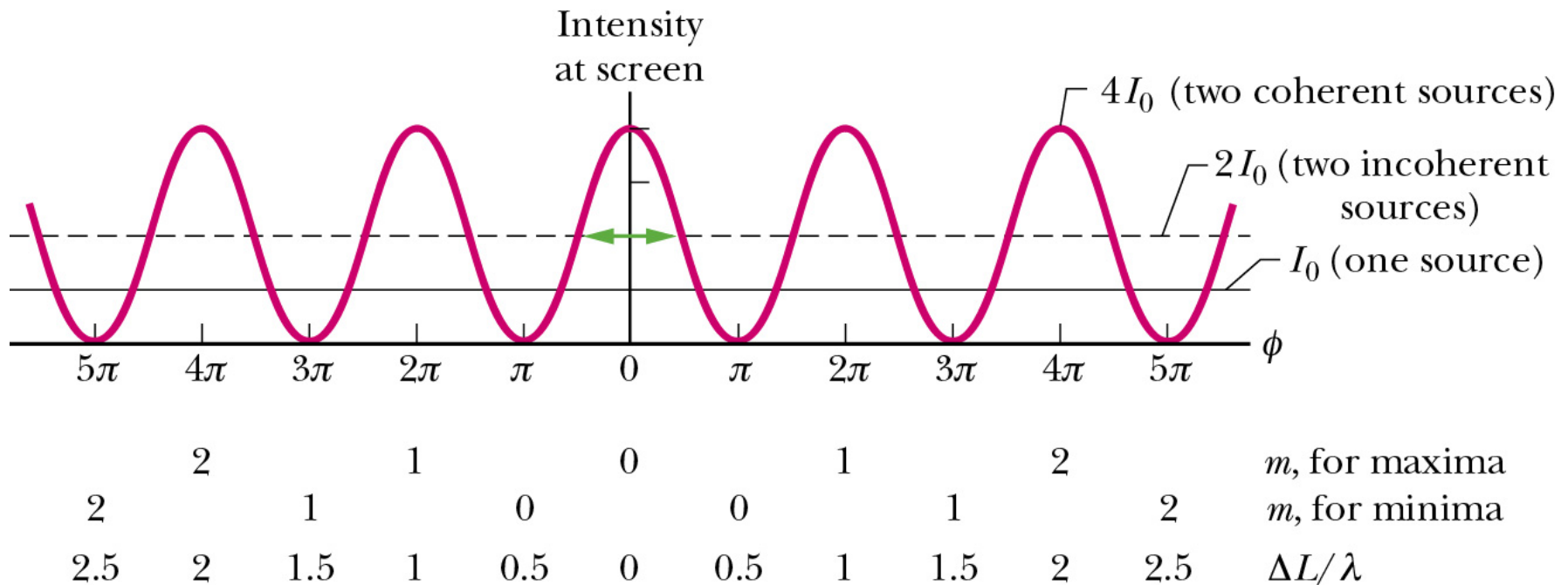
Interferencja światła przechodzącego
przez dwie małe szczeliny –
obserwowana intensywność światła

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{1}{2} \phi$$

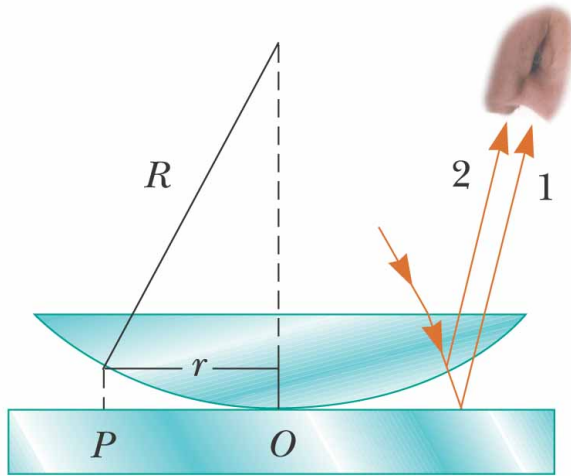
$$\Delta r = d \sin \theta$$

$$k \Delta r = k \cdot d \sin \theta = \phi$$

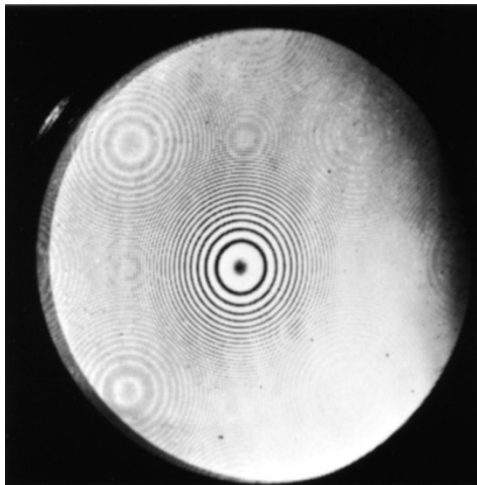
$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \sin \theta$$



Interferencja światła na cienkich warstwach– pierścienie Newtona

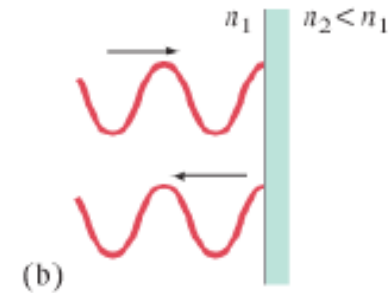
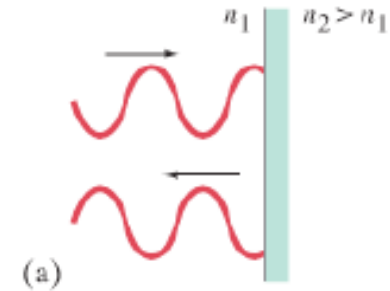


(a)



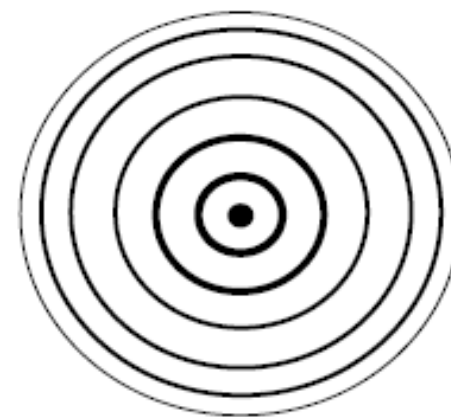
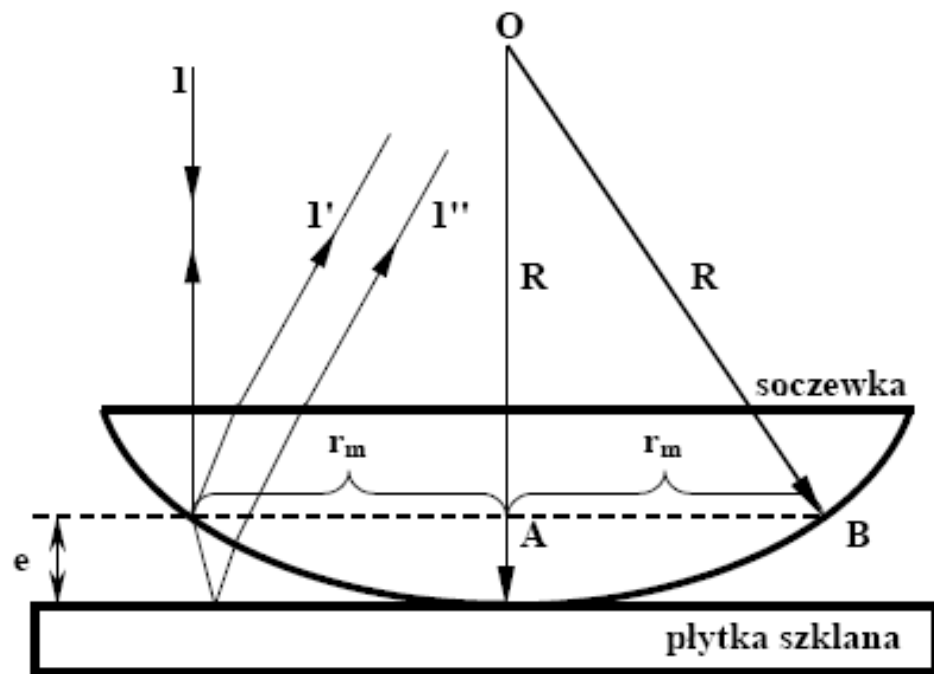
© 2004 Thomson - Brooks/Cole

FIGURE 24-32 (a) Reflected ray changes phase by 180° or $\frac{1}{2}$ cycle if $n_2 > n_1$, but (b) does not if $n_2 < n_1$.



jeśli $n_2 > n_1$ przy odbiciu faza fali odbitej zmienia się o π
 jeśli $n_2 < n_1$ przy odbiciu faza fali odbitej nie zmienia się

Interferencja światła – pierścienie Newtona



Rys.1b
Obraz pierścieni Newtona
w mikroskopie.

Różnica dróg optycznych:

$$\Delta s \approx n \frac{r_m^2}{R} + \frac{\lambda_0}{2}$$

W powietrzu: $\lambda_0 \approx \frac{\lambda_0}{n}$

Zatem: $r_{ciemny} \approx \sqrt{mR\lambda}$

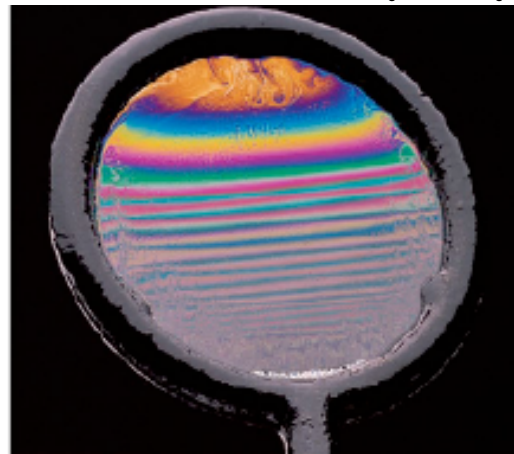
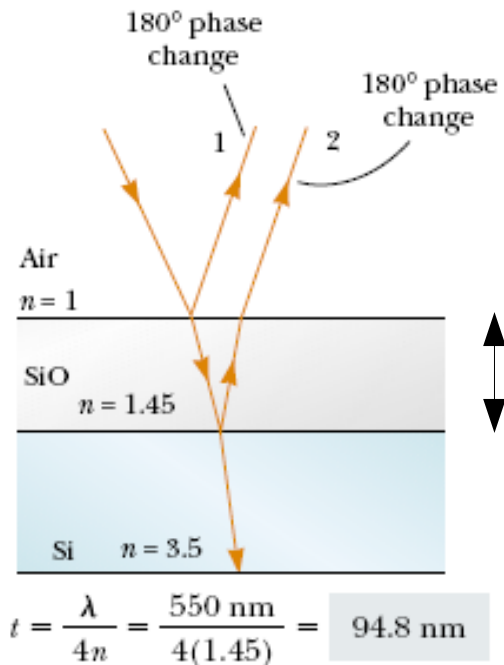
$$r_{jasny} \approx \sqrt{(2m-1) \frac{R\lambda}{2}}$$

W środku znajduje się prążek ciemny powstały w wyniku zmiany fazy fali o π podczas jej odbicia od dolnej powierzchni warstwy powietrznej

Interferencja światła na cienkich warstwach



- Układy optyczne składają się z układu soczewek
- Soczewka bez modyfikacji odbija kilka procent % promieniowania w zakresie widzialnym, powłoka redukuje odbicie do 1%.
- Efekty odbić wewnątrz układu optycznego pogarszają jakość obrazu
- Żeby zminimalizować odbicie światła, soczewki są pokrywane cienką warstwą powłoki, tak aby zredukować odbicie przez interferencję (teoretycznie dla jednej długości fali)
- Materiał powinien mieć współczynnik n ($= \sqrt{n_1 n_2}$)
- Powłoka redukuje-osłabia odbite światło w dość wąskim zakresie długości fal ok.. 550 nm – dlatego patrząc na tą soczewkę część widma z zakresu czerwonego i niebieskiego nie jest osłabiana – widać czerwona w barwę odbitego światła



Interferometr Michelsona

