

SLC 641 – Óptica

Licenciatura em Ciências Exatas – São Carlos

Aula 6

**Natureza ondulatória: Difração e interferência
(Interferência)**

02/10/2023

Natureza ondulatória da luz

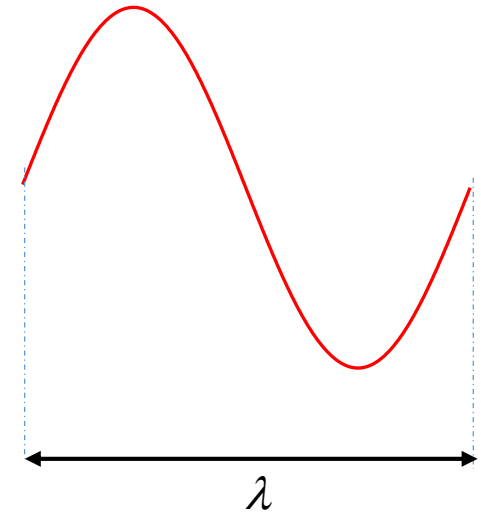
$$\text{Comprimento de onda (v\u00e1cuo)} = \lambda = \frac{c}{\text{frequ\u00eancia}} = \frac{c}{\nu}$$

$$\text{Comprimento de onda (meio)} = \lambda_n = \frac{v}{\nu} = \frac{\lambda}{n}$$

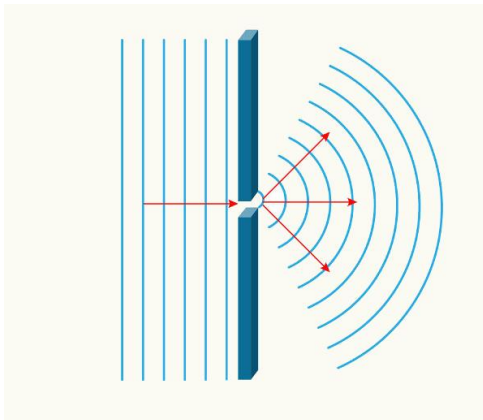
Frequ\u00eancia \u00e9 constante, comprimento de onda no meio muda

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

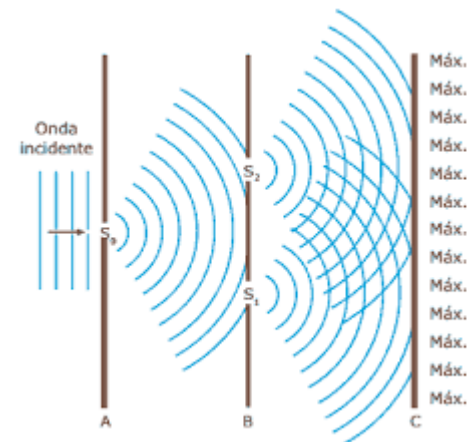
$$n = \frac{c}{\text{velocidade}} = \frac{c}{v}$$



Difração



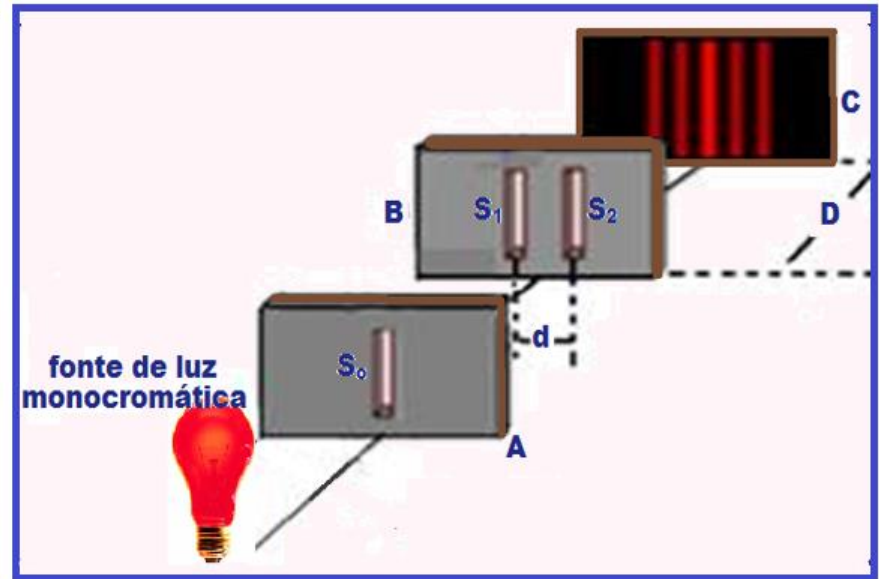
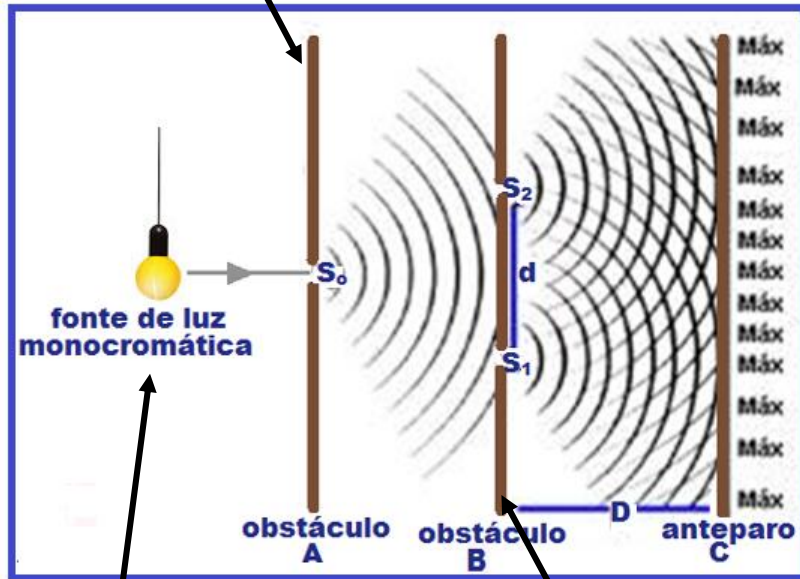
Interfer\u00eancia



Interferência

Experimento de Young

Melhorar a coerência espacial

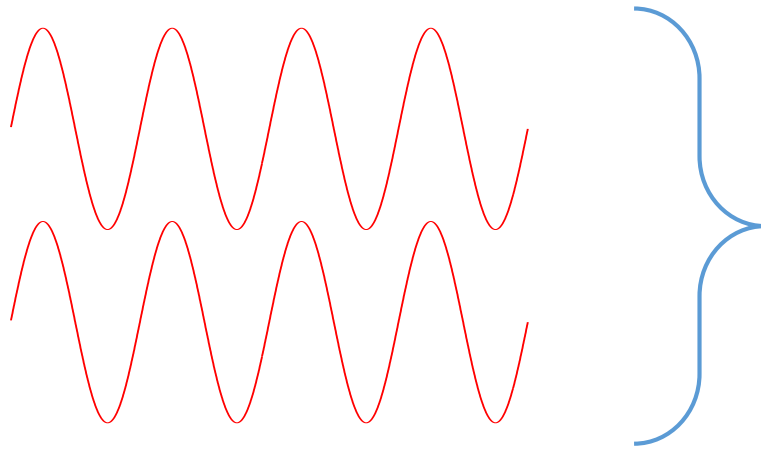


Definir um único λ
(melhorar a coerência temporal)

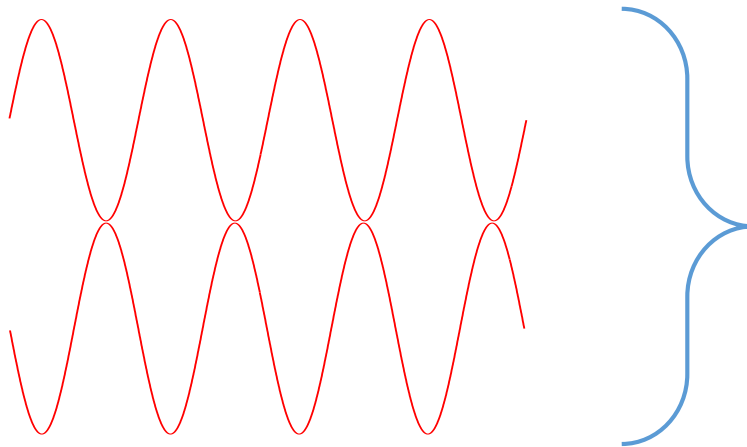
Interferência de duas fendas

Interferência

Princípio da superposição

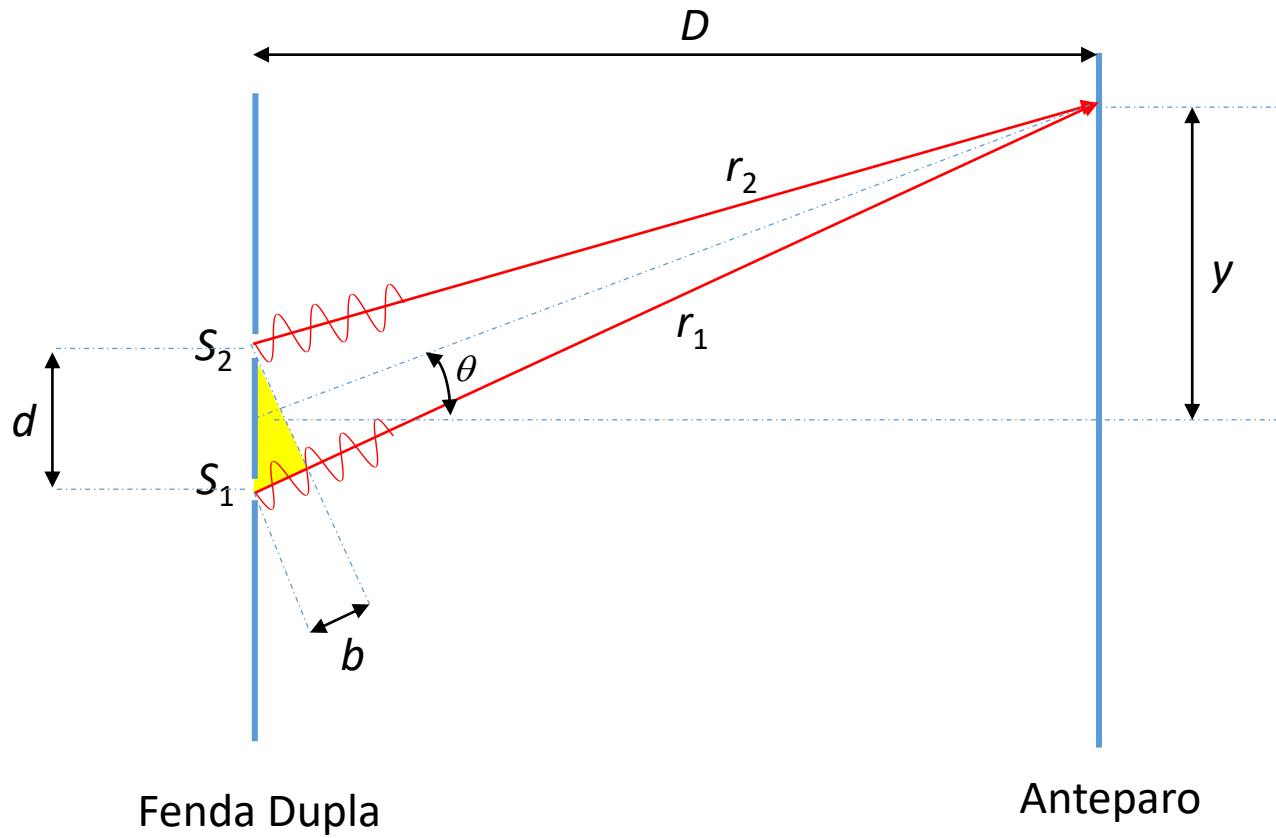


Ondas em fase
Interferência construtiva

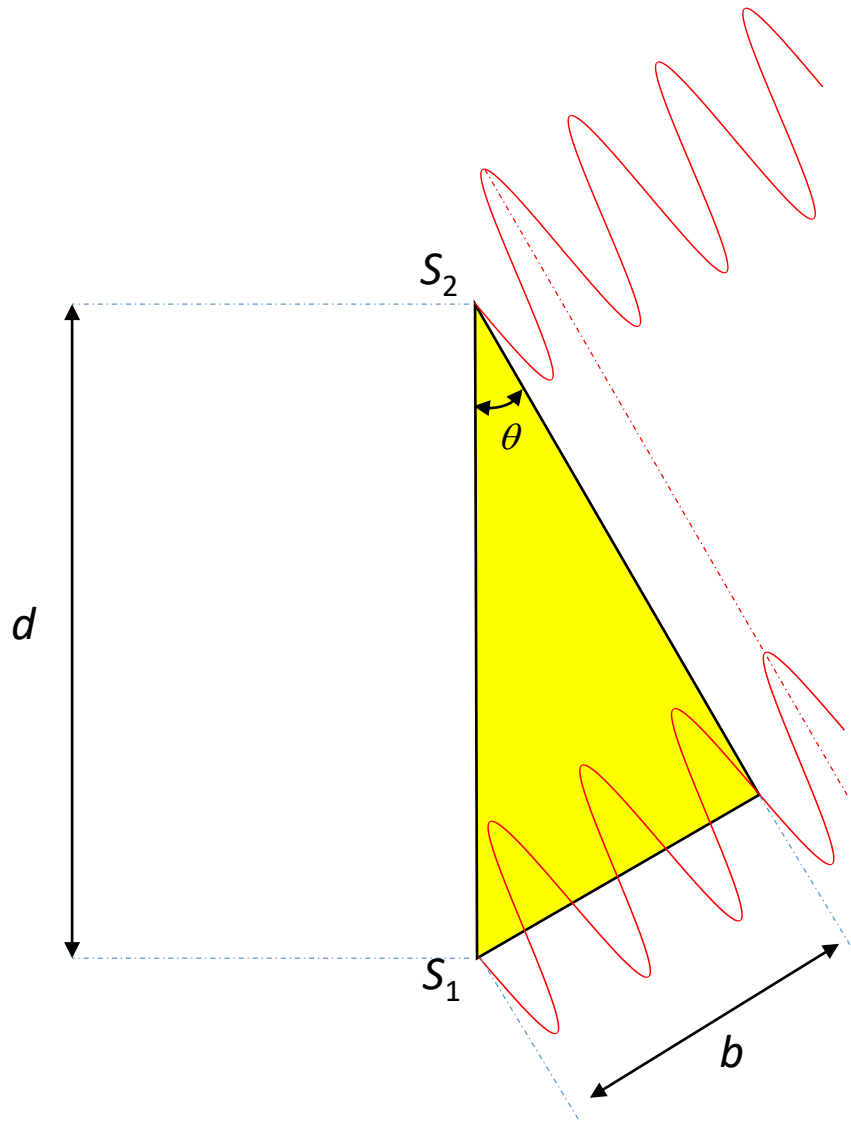


Ondas fora de fase ($180^\circ = \pi$)
Interferência destrutiva

Interferência de dupla fenda



Interferência de dupla fenda



$$\text{sen}\theta = \frac{b}{d}$$

$$b = m\lambda \quad (m=0,1,2,3..)$$

$$d\text{sen}\theta = m\lambda \quad \text{Máximos}$$

Mínimos (π de atraso)

$$d\text{sen}\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

Interferência de dupla fenda

Princípio da superposição

$$E = E_1[S_1] + E_2[S_2] \quad \left\{ \begin{array}{l} E_1 = E_0 \text{sen } \omega t \\ E_2 = E_0 \text{sen } (\omega t + \phi) \end{array} \right.$$

$$\boxed{\text{sen}A + \text{sen}B = 2\text{sen} \frac{1}{2}(A+B) \cos \frac{1}{2}(A-B)}$$

$$E = E_0 \text{sen} \omega t + E_0 \text{sen}(\omega t + \phi) = 2E_0 \text{sen} \frac{1}{2}(\omega t + \omega t + \phi) \cos \frac{1}{2}(\omega t - \omega t - \phi)$$

$$E = 2E_0 \underbrace{\text{sen} \left(\omega t + \frac{\phi}{2} \right)}_{\text{Oscila rápido}} \underbrace{\cos \left(\frac{-\phi}{2} \right)}_{\text{Função par}}$$

$$\boxed{E = 2E_0 \cos \left(\frac{\phi}{2} \right)}$$



$$\boxed{I = E^2 = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)}$$

Interferência de dupla fenda

$$I = E^2 = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)$$



Máximos quando: $\frac{\phi}{2} = m\pi$ ($m=0,1,2,3..$)
($\cos=1$)

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

$$m = \frac{\phi}{2\pi}$$



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



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

Similarmente, os mínimos serão quando: $\frac{\phi}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\pi$ ($m=0,1,2,3..$)

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



$$d \sin\theta = \left(\frac{\phi}{2\pi}\right)\lambda$$



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

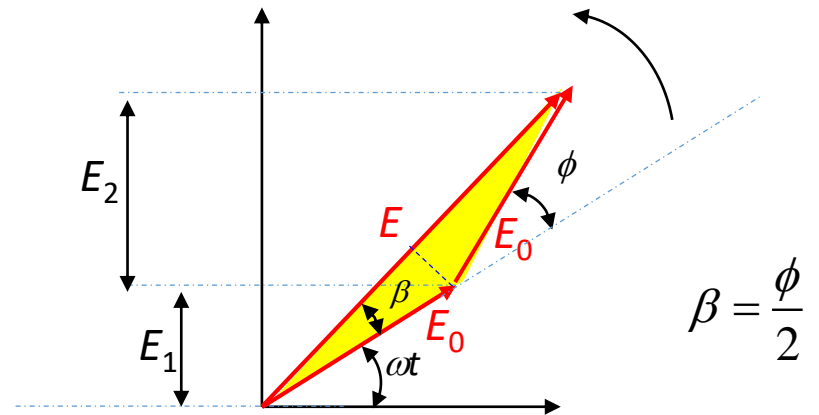
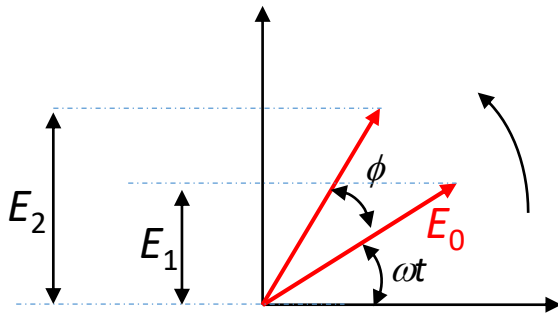
Interferência de dupla fenda

Fasor (método geométrico)

$$E = E_1 [S_1] + E_2 [S_2]$$

$$E_1 = E_0 \text{sen } \omega t$$

$$E_2 = E_0 \text{sen } (\omega t + \phi)$$



$$\cos \beta = \frac{E/2}{E_0} \quad \Rightarrow \quad E = 2(E_0 \cos \beta)$$

$$E = 2 \left(E_0 \cos \frac{\phi}{2} \right) \quad \Rightarrow \quad I = 4I_0 \cos^2 \frac{\phi}{2}$$

(mesmo resultado!)

Interferência de dupla fenda

Somente posição de máximos e mínimos da interferência

$$d \operatorname{sen} \theta = m \lambda$$

Máximos

($m=0,1,2,3..$)

$$d \operatorname{sen} \theta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

Mínimos

Forma esperada da interferência

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

$$\phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \operatorname{sen} \theta$$

Interferência de dupla fenda

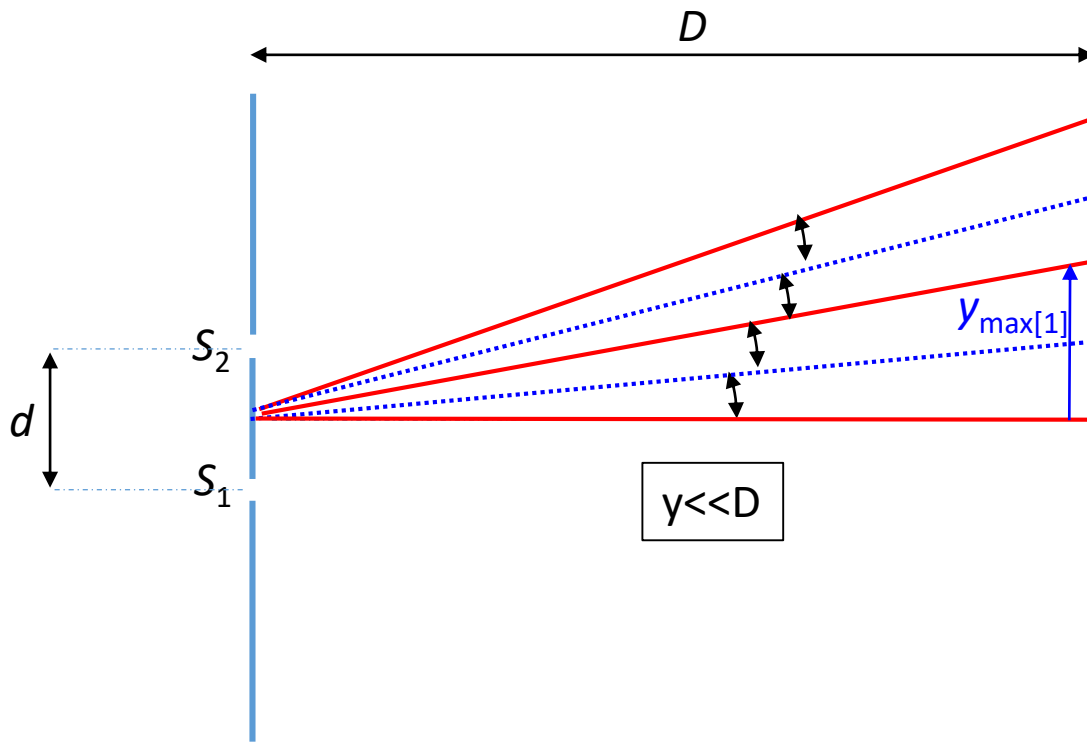
Máximos

$$d \operatorname{sen} \theta = m \lambda$$

($m=0,1,2,3..$)

Mínimos

$$d \operatorname{sen} \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$



Fenda Dupla

Anteparo

$$\theta_{max}[m=2] \quad d \operatorname{sen} \theta = 2 \lambda \rightarrow \operatorname{sen} \theta = \frac{2 \lambda}{d}$$

$$\theta_{min}[m=1] \quad d \operatorname{sen} \theta = \frac{3 \lambda}{2} \rightarrow \operatorname{sen} \theta = \frac{3 \lambda}{2 d}$$

$$\theta_{max}[m=1] \quad d \operatorname{sen} \theta = \lambda \rightarrow \operatorname{sen} \theta = \frac{\lambda}{d}$$

$$\theta_{min}[m=0] \quad d \operatorname{sen} \theta = \frac{\lambda}{2} \rightarrow \operatorname{sen} \theta = \frac{\lambda}{2 d}$$

$$\theta_{max}[m=0] \quad d \operatorname{sen} \theta = 0 \rightarrow \theta = 0$$

Para ângulos pequenos:

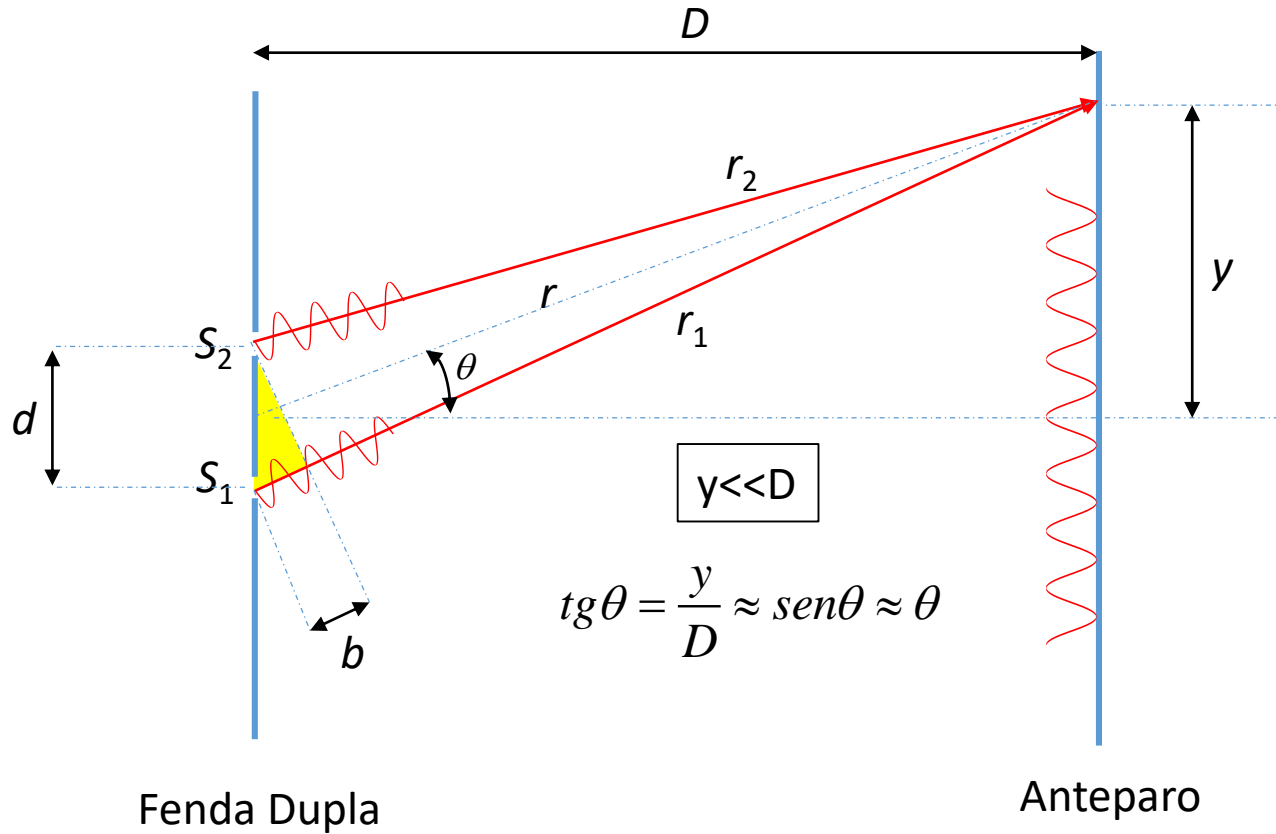
$$\operatorname{sen} \theta \approx \theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{y_{max}[1]}{D}$$

$$y_{max}[1] = \frac{D \lambda}{d}$$

Interferência de dupla fenda

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

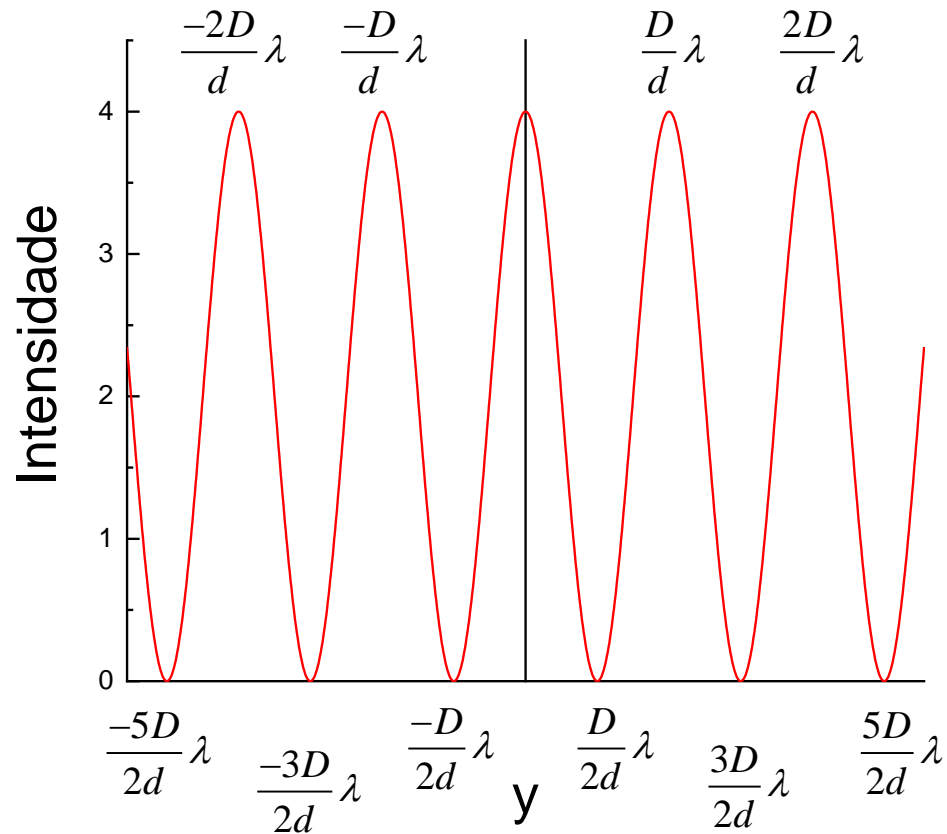
$$\phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \text{sen}\theta$$



$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \frac{y}{D} \right)$$

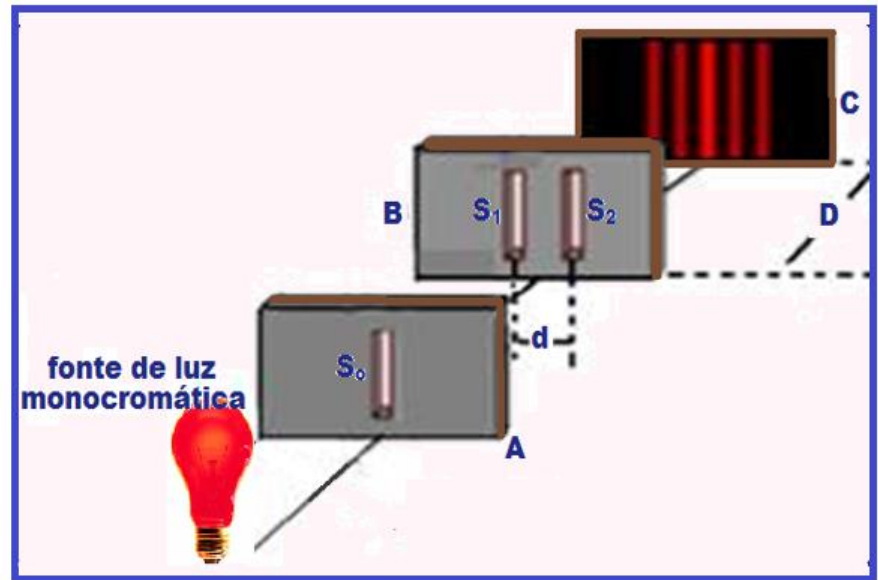
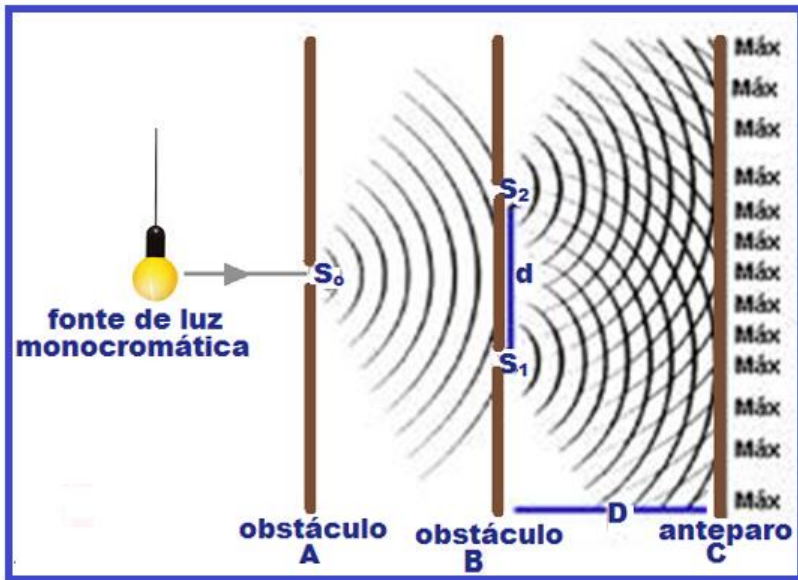
Interferência de dupla fenda

$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \frac{y}{D} \right)$$



Interferência

Experimento de Young



Interferência
construtiva

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

Interferência
destrutiva

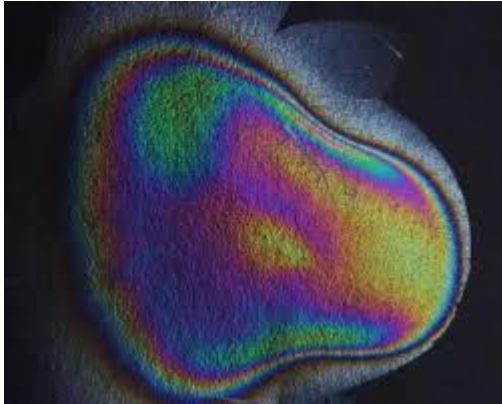
$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$I = E^2 = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)$$

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

Interferência de filmes finos

Mancha de óleo



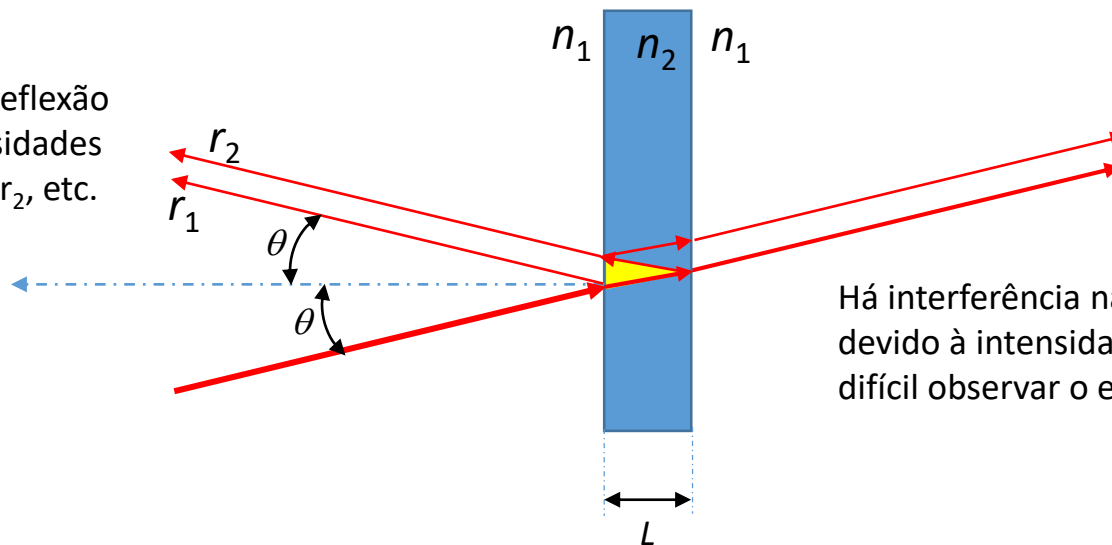
Filme de sabão



Bolha de sabão



Mais visível na reflexão
devido às intensidades
similares de r_1 , r_2 , etc.

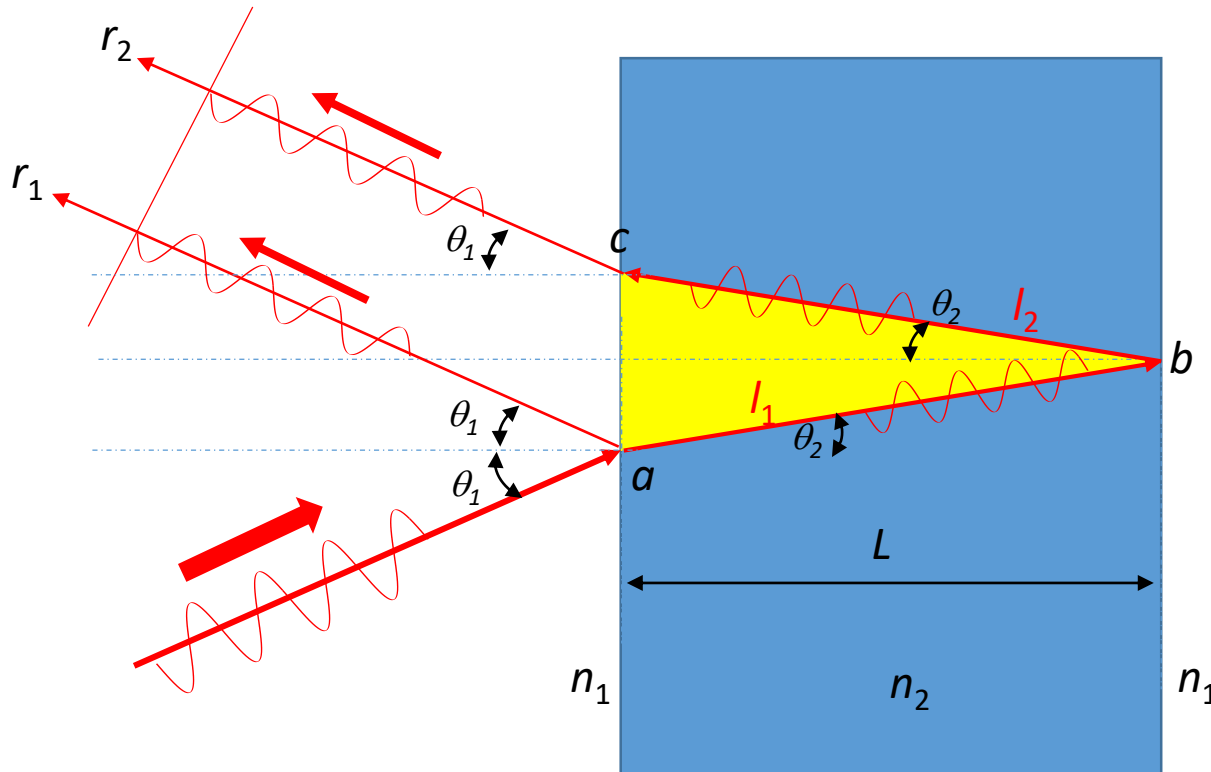


Há interferência na luz transmitida, mas
devido à intensidade alta do primeiro feixe, é
difícil observar o efeito.

Interferência de filmes finos

Propagação de *a* para *b* e de *b* para *c* tem que chegar com a mesma fase que do ponto *a*

Em fase: Interferência construtiva



Para o caso de uma incidência na normal:
 $\theta_1 = \theta_2 = 0$

$$l_1 = l_2 = L$$

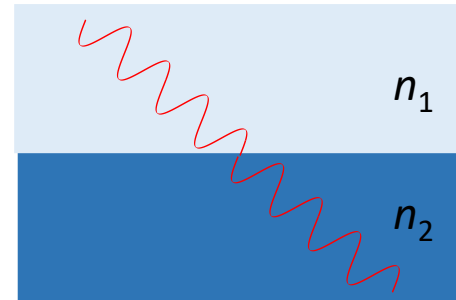
Caminho óptico:

$$n_2 l_1 = n_2 l_2 = n_2 L$$

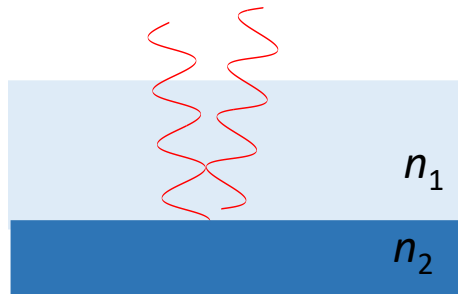
Interferência de filmes finos

Observação: Pode haver mudança de fase em processos de reflexão!

Refração: Nunca muda de fase!



$n_1 < n_2$
ou
 $n_1 > n_2$

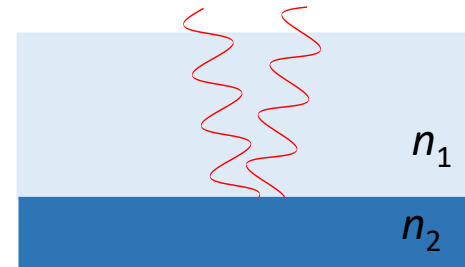


Numa incidência na normal, reflexão de um meio menos refrativo para um mais refrativo: Muda de fase de $180^\circ = \pi$!

$n_1 < n_2$

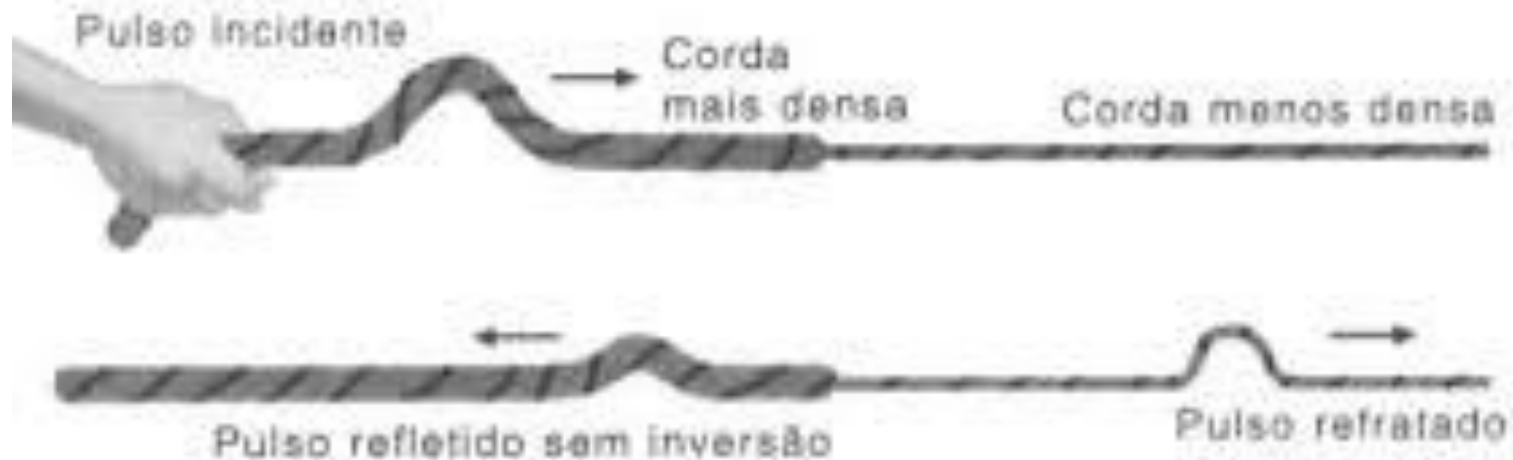
Numa incidência na normal, reflexão de um meio mais refrativo para um menos refrativo:
Não muda a fase!

$n_1 > n_2$



“Reflexão” e “refração” numa corda

Esse efeito acontece com qualquer onda mecânica!



“Reflexão” e uma parede

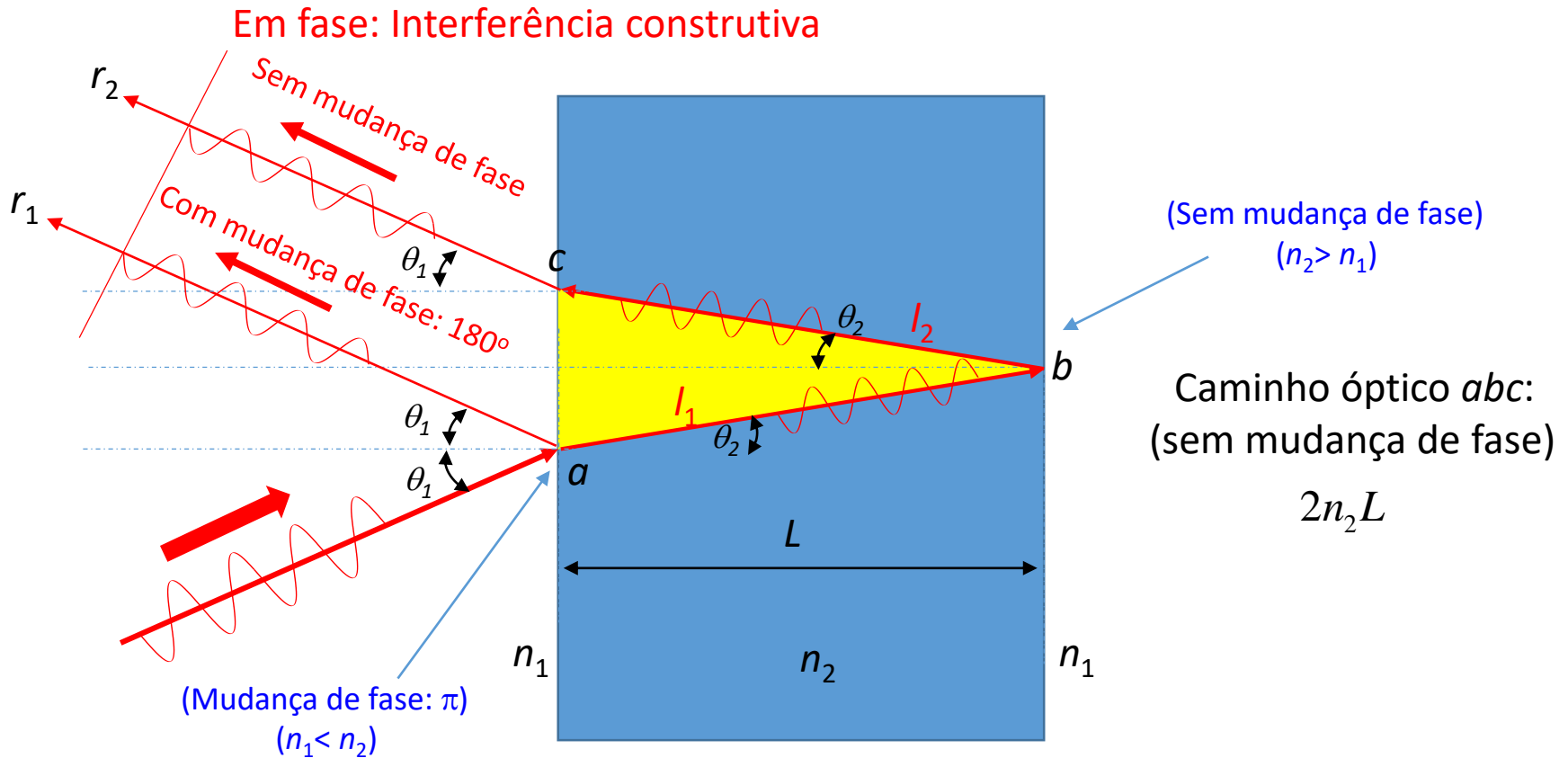
“Espelho ideal”: Mudança de fase de 180°



Mas pode haver casos que não há mudança de fase de 180°



Interferência de filmes finos



O caminho óptico tem que ser inteiros de comprimentos de onda:

Mas tem a mudança de fase (180°) na primeira reflexão em a :

$$2n_2L = m\lambda \quad \longrightarrow \quad 2n_2L = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m=0,1,2,3..) \quad \text{Máximos}$$

Interferência de filmes finos

Máximos

$$2n_2L = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$L = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2n_2}$$

($m=0,1,2,3..$)

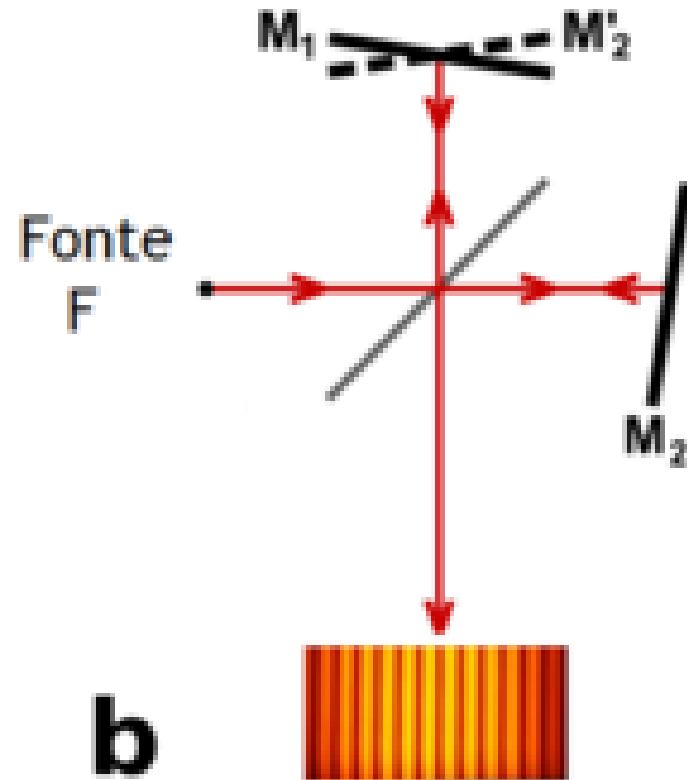
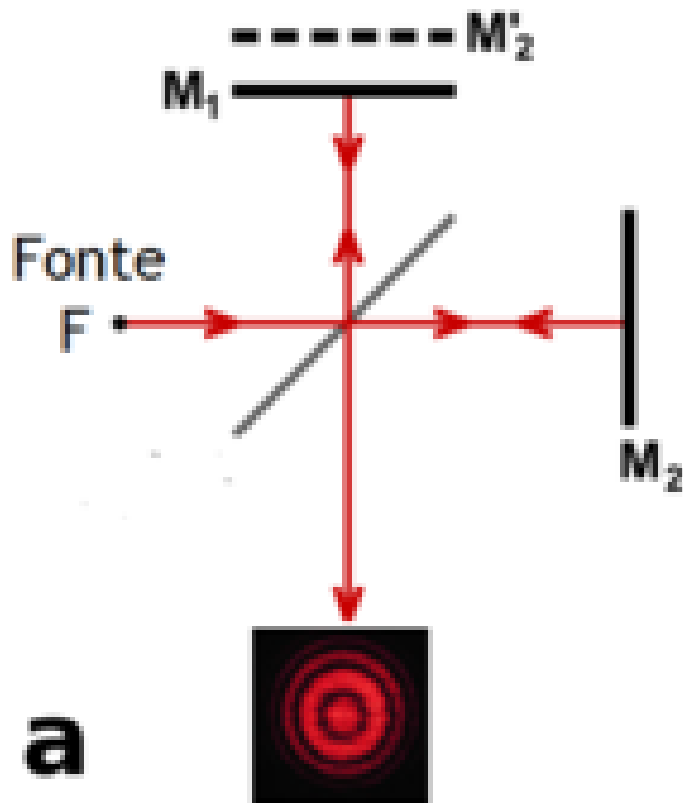
Mínimos

$$2n_2L = m\lambda$$

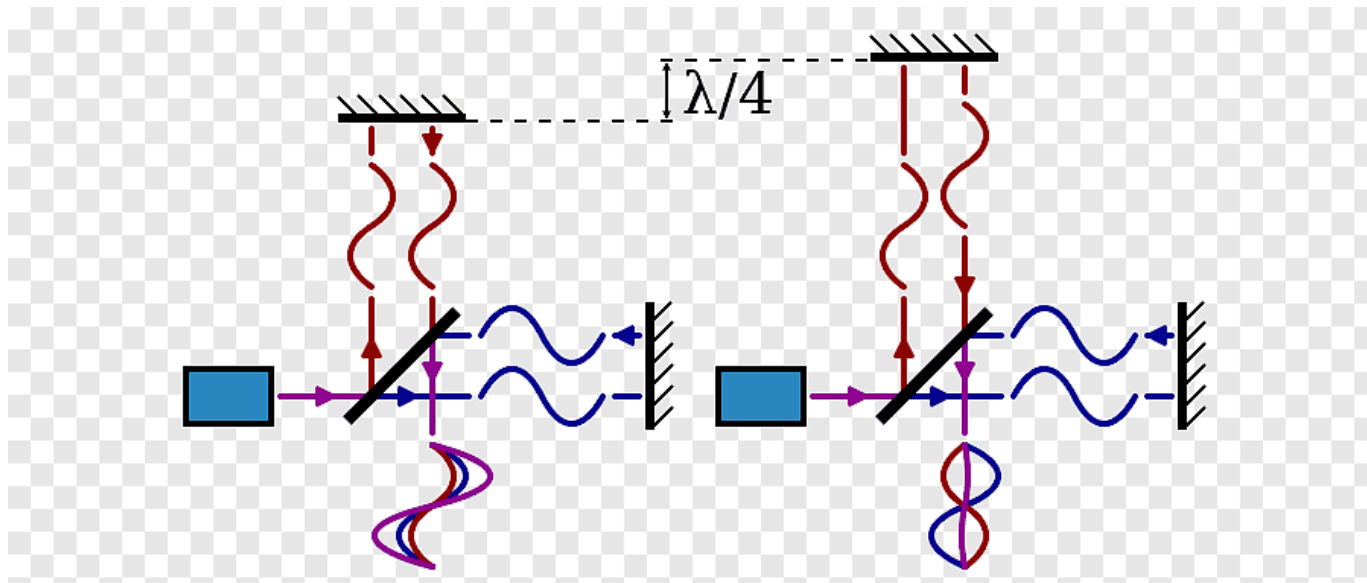
$$L = \frac{m\lambda}{2n_2}$$



Interferômetro de Michelson



Interferômetro de Michelson



Deslocamento de um dos braços do interferômetro de $\lambda/4$ (caminho óptico de $\lambda/2$: ida e volta) causa uma mudança de fase de π , ou seja, Máximo \rightarrow Mínimo, por exemplo

Braço 1

$$N_1 = \frac{2n_1L_1}{\lambda}$$

Braço 2

$$N_2 = \frac{2n_2L_2}{\lambda}$$

Para deslocar as franjas de interferência, pode-se deslocar ou mudar o índice de refração em dos braços .