



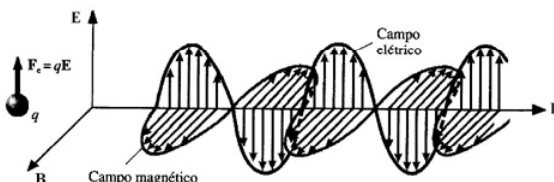
## Laboratório de Física IV

### Aulas 7 - Interferência: Ondas Planas



### ONDAS PLANAS

*Luz é uma onda eletromagnética  
(Envolve a Oscilação de Campos  
Elétricos e Magnéticos)*

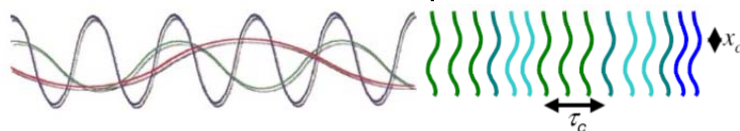


$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \phi)$$



### Coerência de feixes de Luz:

Luz Policromática  
Incoerente (incoerência  
espacial e temporal)



Luz Monocromática  
Incoerente  
(coerência temporal  
incoerência espacial)



Luz Monocromática  
Coerente (coerência  
espacial e temporal)

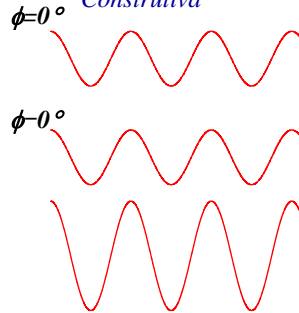


**Coerência temporal** nos diz quão monocromática é a fonte de luz.

**Coerência espacial** nos diz quão uniforme é a fase da frente de onda

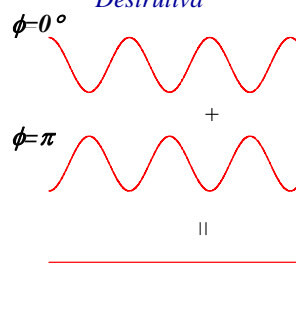


Interferência Maximamente  
Construtiva



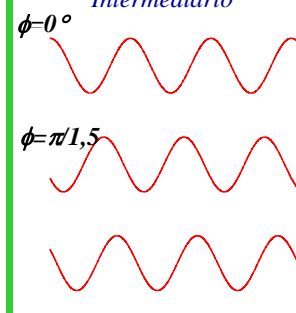
$$\begin{aligned}\vec{E}_1(x, t) &= E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y} \\ + \\ \vec{E}_2(x, t) &= E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y} \\ \parallel \\ \vec{E}(x, t) &= 2E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y}\end{aligned}$$

Interferência Maximamente  
Destrutiva



$$\begin{aligned}\vec{E}_1(x, t) &= E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y} \\ + \\ \vec{E}_2(x, t) &= E_0 \cos(kx - \omega t + \pi) \hat{y} \\ \parallel \\ \vec{E}(x, t) &= E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y} - E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y} = 0\end{aligned}$$

Caso  
Intermediário

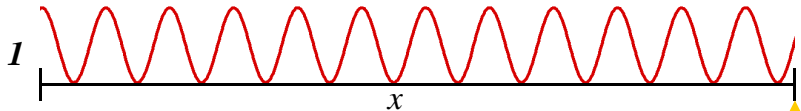


$$\begin{aligned}\vec{E}_1(x, t) &= E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y} \\ + \\ \vec{E}_2(x, t) &= E_0 \cos\left(kx - \omega t + \frac{\pi}{1.5}\right) \hat{y}\end{aligned}$$

*Intensidade da luz resultante da interferência de dois feixes coerentes depende somente da diferença de fase entre os feixes.*

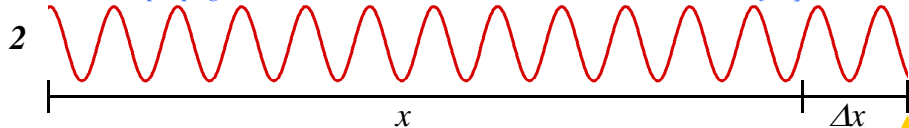


Onda 1: propaga uma distância  $x$  em um meio com índice de refração  $n$



$$\vec{E}_1(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y}$$

Onda 2: propaga uma distância  $x + \Delta x$  em um meio com índice de refração  $n$



A diferença de fase entre as duas ondas é:  $\vec{E}_2(x, t) = E_0 \cos(k[x + \Delta x] - \omega t) \hat{y}$

$$\Delta\Phi = k[x + \Delta x] - \omega t - (kx - \omega t) \Rightarrow \Delta\Phi = k\Delta x$$

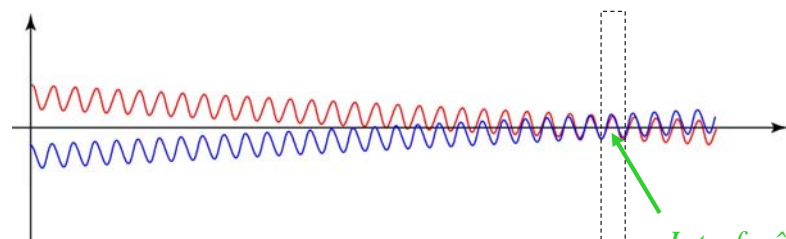
$$\Delta\Phi = n \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \Rightarrow \Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} n \Delta x = \underbrace{\frac{2\pi}{\lambda}}_{\Gamma} \Gamma$$

Diferença de caminho óptico

Toda vez que dois feixes coerentes percorrem caminhos ópticos diferentes aparecerá uma diferença de fase entre eles que é proporcional a diferença de caminho óptico



- Para produzir uma diferença de fase entre dois feixes coerentes podemos fazer com que os dois feixes percorram caminhos diferentes e se unam em algum ponto do espaço para exibir o padrão de interferência.

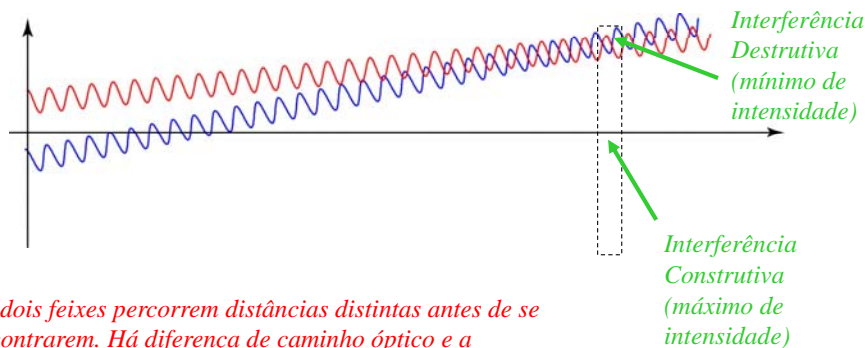


Interferência Construtiva (máximo de intensidade)

Os dois feixes percorrem a mesma distância antes de se encontrarem. Não há diferença de caminho óptico e a interferência é construtiva no ponto de encontro



- Para produzir uma diferença de fase entre dois feixes coerentes podemos fazer com que os dois feixes percorram caminhos diferentes e se unam em algum ponto do espaço para exibir o padrão de interferência.



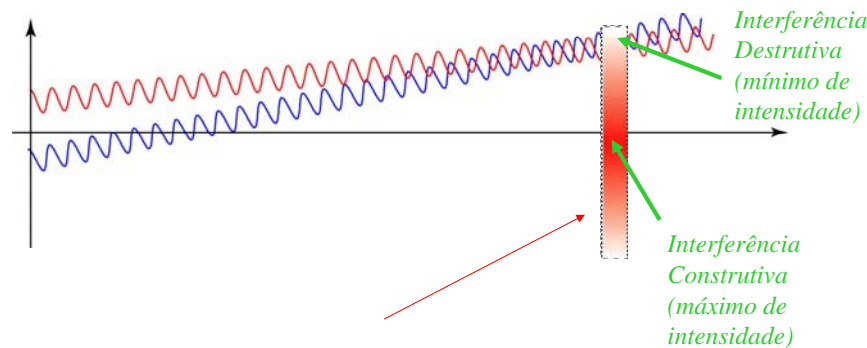
Interferência Destrutiva (mínimo de intensidade)

Interferência Construtiva (máximo de intensidade)

Os dois feixes percorrem distâncias distintas antes de se encontrarem. Há diferença de caminho óptico e a interferência deixa de ser maximamente construtiva, podendo chegar até a ser destrutiva quando a diferença de caminho óptico é tal que  $\Delta\Phi = m\pi$ ,  $m=1,2,3,4\dots$



- Para produzir uma diferença de fase entre dois feixes coerentes podemos fazer com que os dois feixes percorram caminhos diferentes e se unam em algum ponto do espaço para exibir o padrão de interferência.



Interferência Destrutiva (mínimo de intensidade)

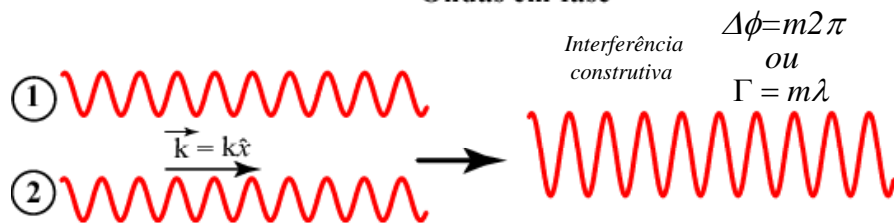
Interferência Construtiva (máximo de intensidade)

Padrão de interferência

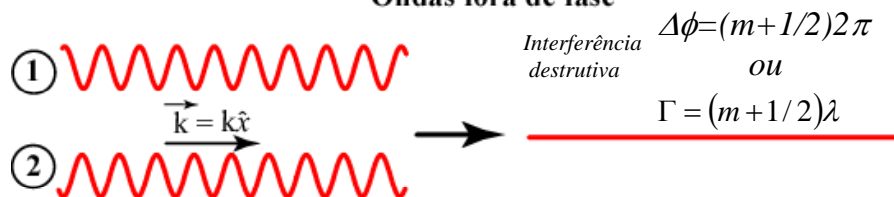


## INTERFERÊNCIA DE ONDA PLANAS

### Ondas em fase

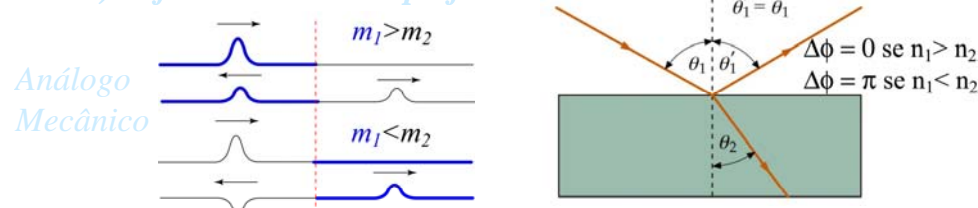


### Ondas fora de fase



## MUDANÇA DE FASE DEVIDO A REFLEXÃO EM UMA SUPERFÍCIE

### a) Reflexão em uma superfície:



Toda vez que um feixe de luz reflete em um meio com índice de refração maior que o do meio incidente ele sofre um inversão de fase



## INTERFERÊNCIA EM FILMES FINOS

### Diferença de caminho ótico

$$\Gamma = n(AB + BC) - AD$$

$$AB = \frac{d}{\cos \beta} \quad AD = (2d \tan \beta) \sin \alpha$$

$$AD = 2d \tan \beta (n \sin \beta)$$

$$\Gamma = 2nd \left[ \frac{1}{\cos \beta} - \tan \beta \sin \beta \right]$$

$$\Gamma = 2nd \left[ \frac{1 - \sin^2 \beta}{\cos \beta} \right] = 2nd \cos \beta$$

$$\Gamma = 2nd \cos \beta = (m + 1/2)\lambda \Rightarrow \text{interferência destrutiva}$$

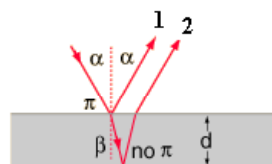
$$\Gamma = 2nd \cos \beta = m\lambda \Rightarrow \text{interferência construtiva}$$



## EXEMPLOS DE INTERFERÊNCIA EM FILMES FINOS

Diferença de caminho ótico entre os feixes 1 e 2:

### Bolhas de Sabão



$$\Gamma = 2nd \cos \beta$$

Interferência construtiva (franjas claras):

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Gamma + \frac{\pi}{\pi} = m2\pi$$

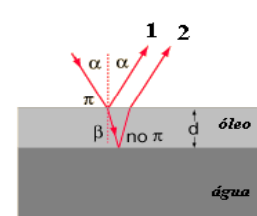
$\Downarrow$

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Gamma = \left(m - \frac{1}{2}\right)2\pi$$

$\Downarrow$

$$2nd \cos \beta = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

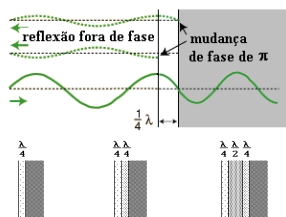
### Mancha de Óleo





## EXEMPLOS DE INTERFERÊNCIA EM FILMES FINOS

Diferença de caminho óptico entre  
as ondas refletidas:



$$\Gamma = 2nd$$

Interferência destrutiva:

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

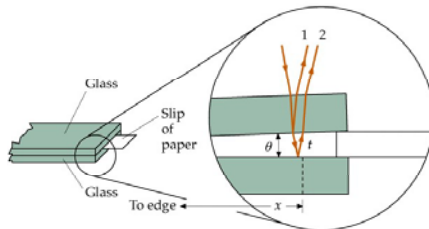
$$d = \frac{\lambda}{2n} \left(m + \frac{1}{2}\right)$$

Interferência construtiva:

$$d = \frac{m\lambda}{2n}$$

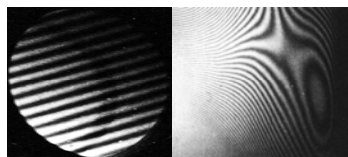


Filtros, filmes anti-reflexão

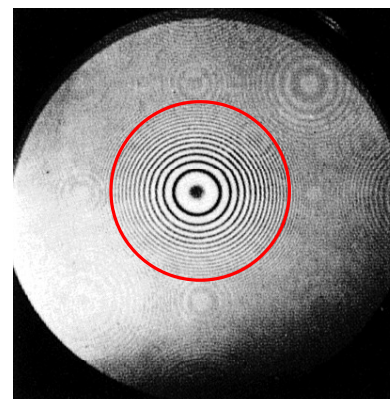


$$\Gamma = 2t = 2x \sin \theta = m\lambda$$

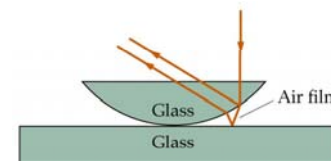
$$x = \frac{m\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{m\lambda}{2\theta}$$



## EXEMPLOS DE INTERFERÊNCIA EM FILMES FINOS



comprimento de coerência

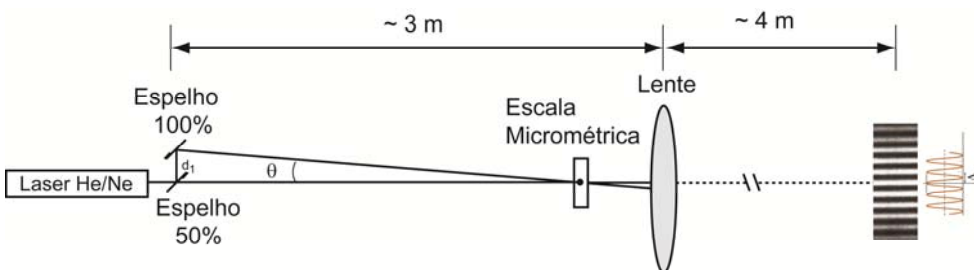


Diâmetro dos Anéis

$$D_m = 2\sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right) R\lambda}$$



## PRÁTICA – Interferência de Ondas Planas



$$\Lambda = \frac{\lambda}{2 \sin \left( \frac{\theta}{2} \right)}$$



## PRÁTICA – Anéis de Newton

