

**Física Experimental IV**

# **Difração e Interferência de ondas**

**Prof. Dr. Lucas Barboza Sarno da Silva**

# *Movimento Oscilatório*

Tipos de ondas:

- **ONDAS MECÂNICAS**, como ondas do mar, ondas numa corda, ondas sonoras, ondas sísmicas, ondas de choque...  
*Características: são governadas pelas leis de Newton e existem apenas em meios materiais.*
- **ONDAS ELETROMAGNÉTICAS**, como a luz visível, ondas de rádio, os sinais de televisão, os raios X...  
*Característica: não necessita de um meio material para existir.*
- **ONDAS DE MATÉRIA**, são associadas a elétrons, prótons e outras partículas elementares.

# *Movimento Oscilatório*

- A onda se desloca de um ponto para outro, mas a água não é arrastada pela onda.

## Exemplo:

O vento ao passar em campo de trigo.

As partículas que constituem o meio efetuam apenas pequenas vibrações, mas o movimento global é o de uma onda que avança.



# *Ondas Mecânicas*

O conceito de onda é meio abstrato.

- Ondas em água, o que vemos é uma deformação da superfície da água. Sem a água não haveria a onda.
- Uma numa corda.
- As ondas sonoras (variações de pressão de ponto para ponto).

*Então, o que interpretamos como onda corresponde a uma perturbação de um corpo, ou meio, de propagação. Portanto, podemos considerar uma onda como o movimento de uma perturbação.*

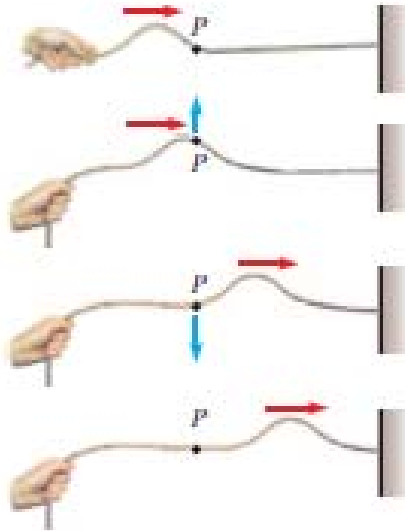
# *Ondas Mecânicas*

- Fonte de alimentação
- Meio que possa ser perturbado
- Alguma conexão física, ou mecanismo físico, mediante o qual partes vizinhas do meio possam se influenciar mutuamente

*Todas as ondas transportam energia.*

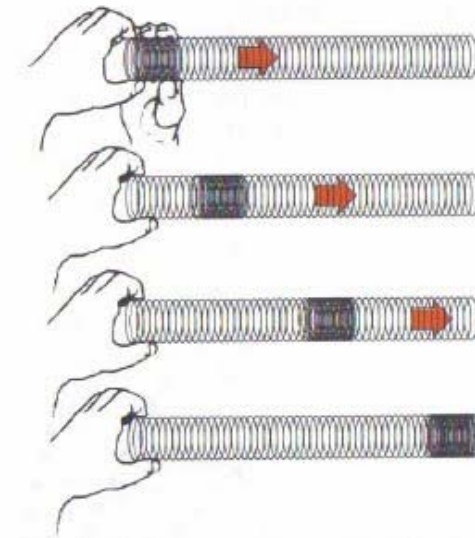
# *Tipos de onda:*

**Ondas progressiva**, é uma onda que se propaga com uma velocidade definida.



*Onda transversal*

*As partículas do meio se deslocam perpendicularmente à direção da velocidade da onda.*



*Onda longitudinal*

*As partículas do meio se deslocam paralelamente à direção do movimento da onda.*

# Descrição quantitativa de ondas progressivas unidimensionais

$y = f(x - vt)$   $\longrightarrow$  Deslocamento para direita

$y = f(x + vt)$   $\longrightarrow$  Deslocamento para esquerda

- O deslocamento  $y(x,t)$  é chamado de **função de onda**, e representa a coordenada  $y$  de qualquer ponto P, em qualquer instante  $t$ .
- Se  $t$  for fixo, então a função de onda  $y$  define a curva que representa a forma real do pulso nesse instante.

# *Ondas Harmônicas*

- Fonte de alimentação
- Meio que possa ser perturbado
- Alguma conexão física, ou mecanismo físico, mediante o qual partes vizinhas do meio possam se influenciar mutuamente

Todas as ondas transportam energia

Características de uma onda:

- **Comprimento de onda**
- **Frequência**
- **Velocidade da onda**



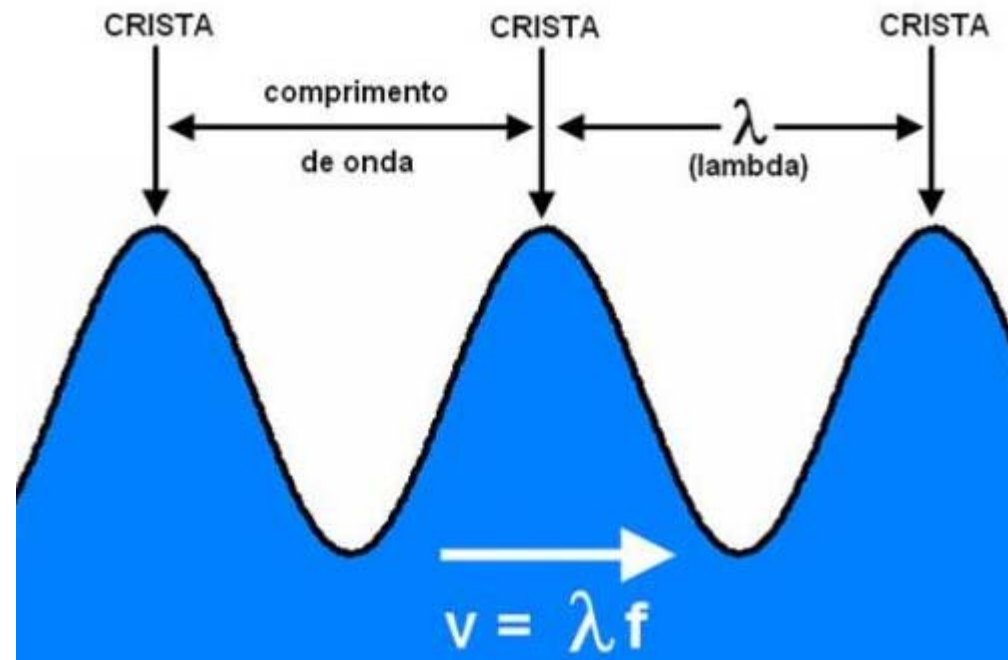
**Comprimento de onda:** a distância mínima entre dois pontos quaisquer de uma onda que se comportam identicamente.

**Frequência:** é a taxa temporal em que a perturbação se repete.

As ondas se deslocam, ou se propagam, com certa **velocidade**, que depende do meio que está sendo perturbado.

**Velocidade de som no ar a 20°C:** 344 m/s

**Velocidade de uma onda eletromagnética, no vácuo:**  $3 \times 10^8$  m/s



# *Ondas Harmônicas*

- Uma onda harmônica tem a forma senoidal

Em  $t = 0$  o deslocamento da curva pode ser escrito como:

$$y = A \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right)$$

$A$  = amplitude da onda

$\lambda$  = comprimento de onda

# *Ondas Harmônicas*

Função de onda de uma onda harmônica:  $y = A \text{sen}(kx - \omega t - \phi)$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \longrightarrow \text{número de onda}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \longrightarrow \text{frequência angular}$$

$$f = \frac{1}{T} \longrightarrow \text{frequência}$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \lambda f \longrightarrow \text{velocidade de fase}$$

$$\phi \longrightarrow \text{constante de fase}$$

# A luz – uma onda eletromagnética

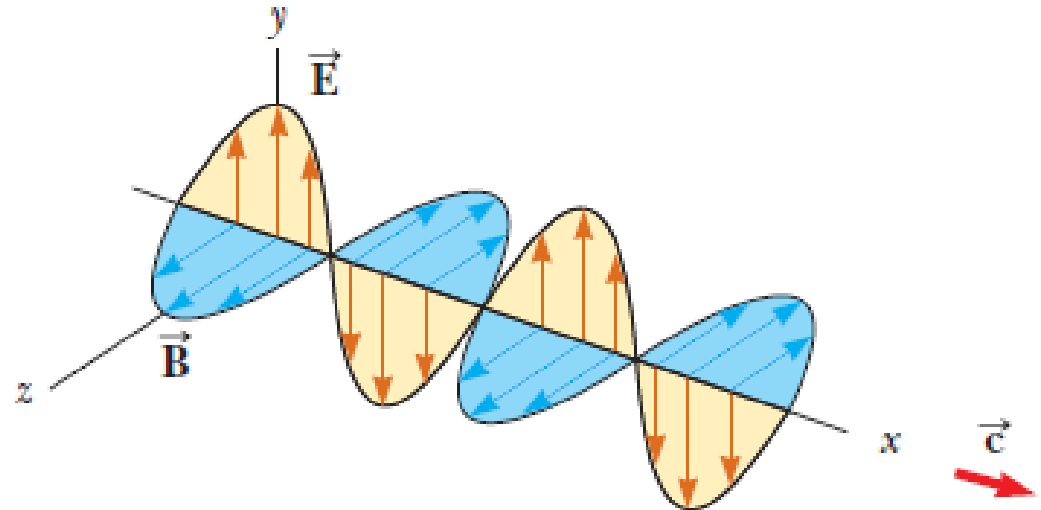
## Equações de Maxwell

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$



## Velocidade da luz:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

# THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Penetrates Earth Atmosphere?



Wavelength (meters)



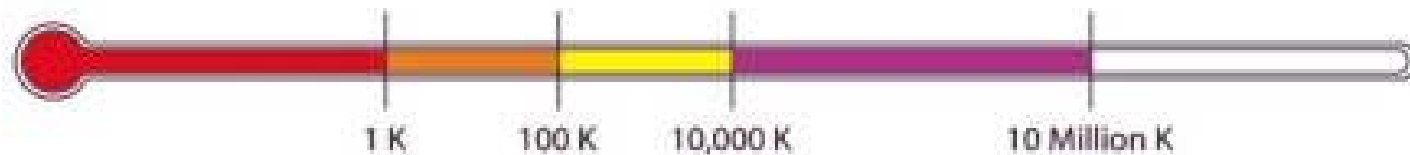
About the size of...



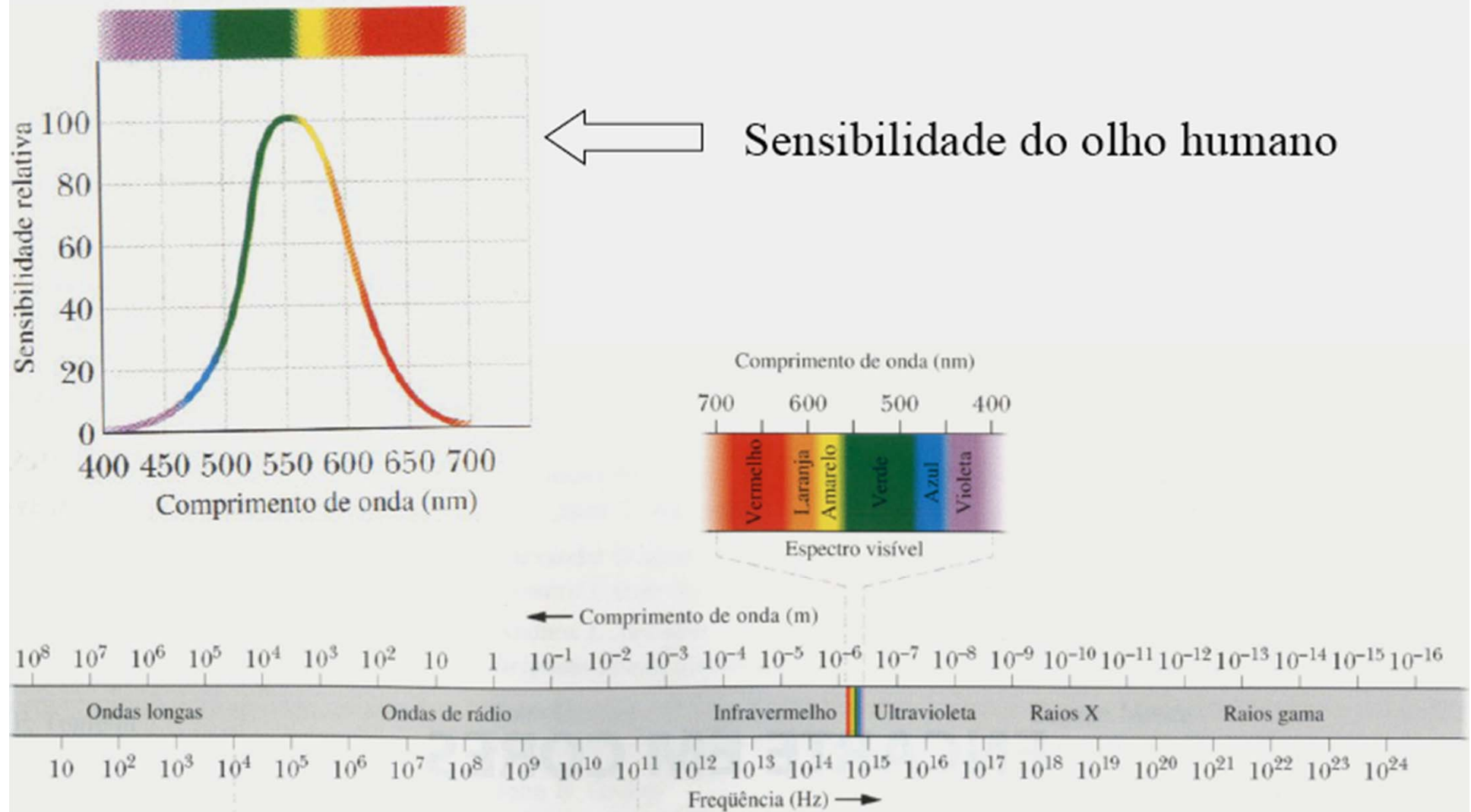
Frequency (Hz)



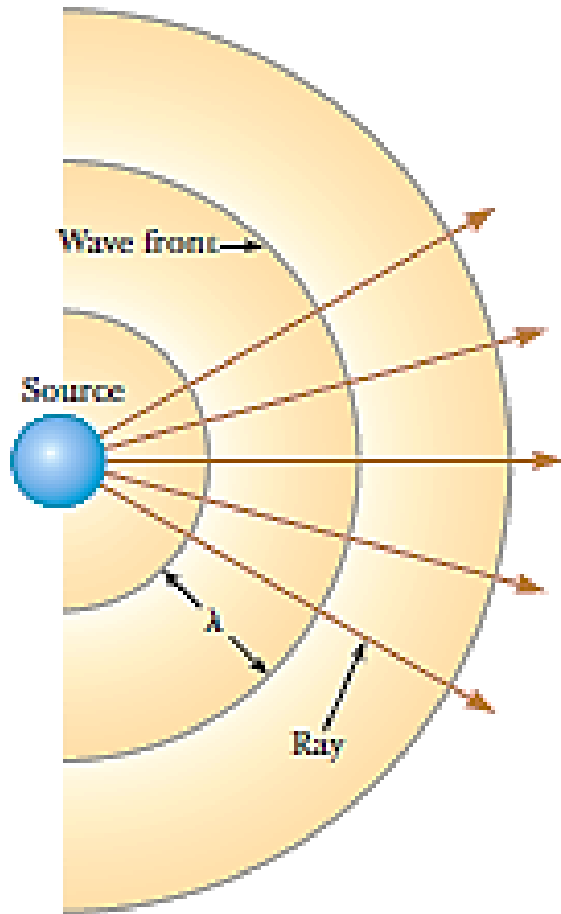
Temperature of bodies emitting the wavelength (K)



# Ondas eletromagnéticas

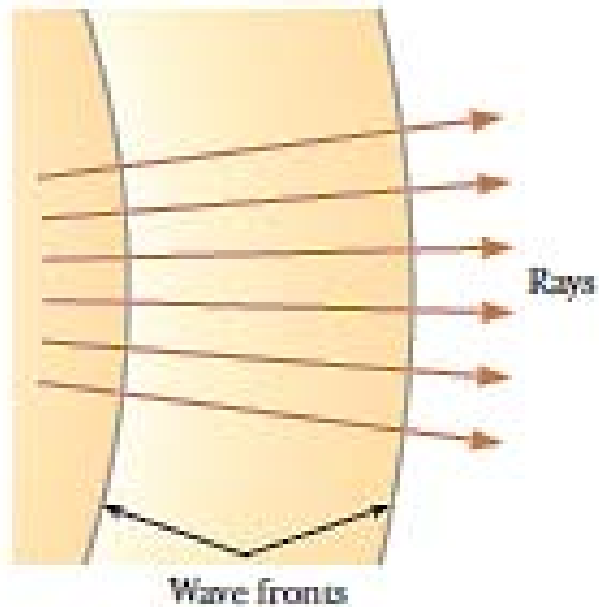


# *Ondas esféricas e ondas planas*



- **Representação:** arcos circulares concêntricos à fonte
- Cada arco representa uma superfície onde a fase da onda é uma constante. Essa superfície é a frente de fase, ou **frente de onda**.
- A distância entre frentes de fase adjacentes é igual ao **comprimento de onda  $\lambda$** .
- As retas radiais que saem da fonte são os **raios**.

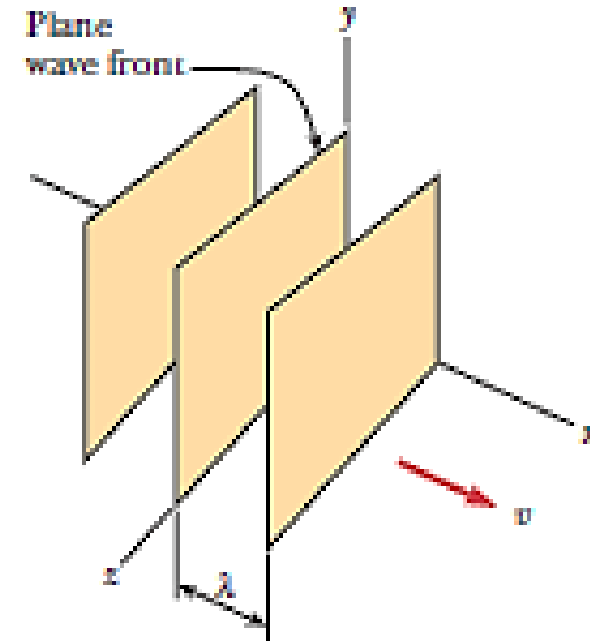
# *Ondas esféricas e ondas planas*



Pequena parte das frentes de onda a grande distância da fonte.

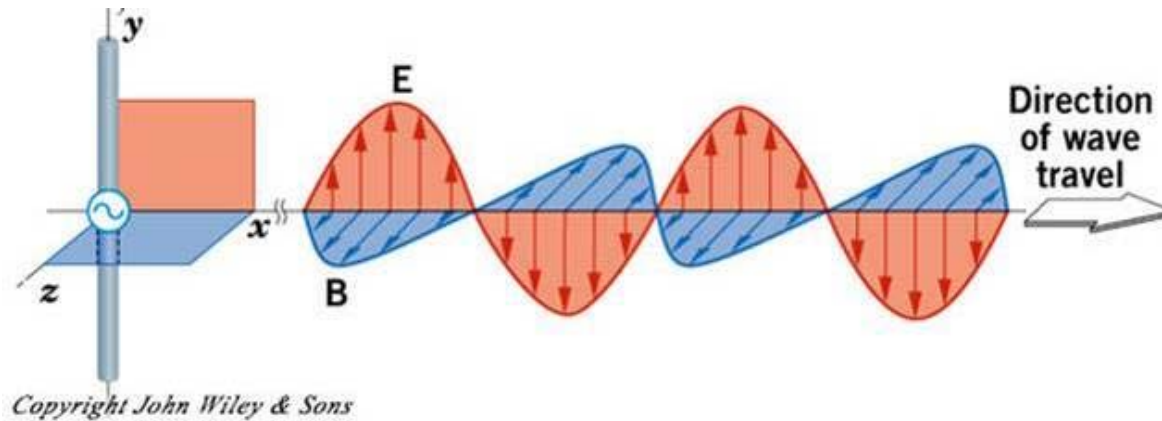
- Raios quase paralelos
- Frentes de onda quase planas

## Frente de onda plana

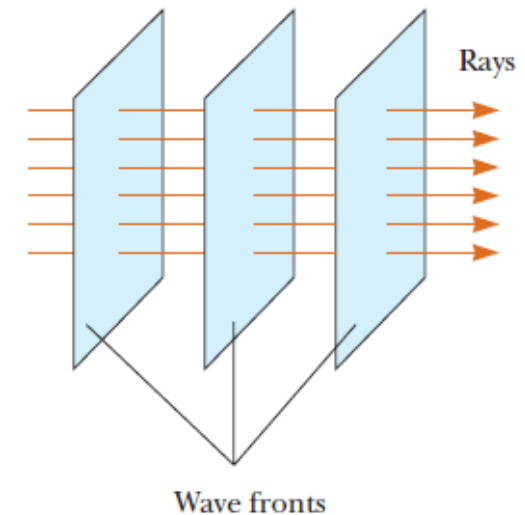




# Ondas eletromagnéticas planas



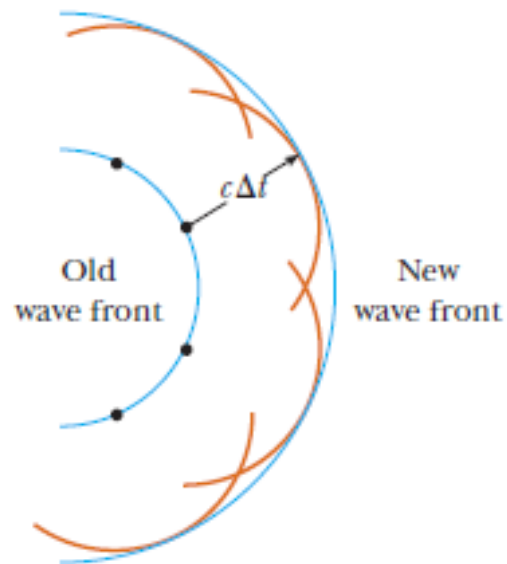
- $E$  e  $B$  propagam-se em fase.
- $E$  e  $B$  são mutuamente perpendiculares.
- $E \times B$  aponta na direção de propagação



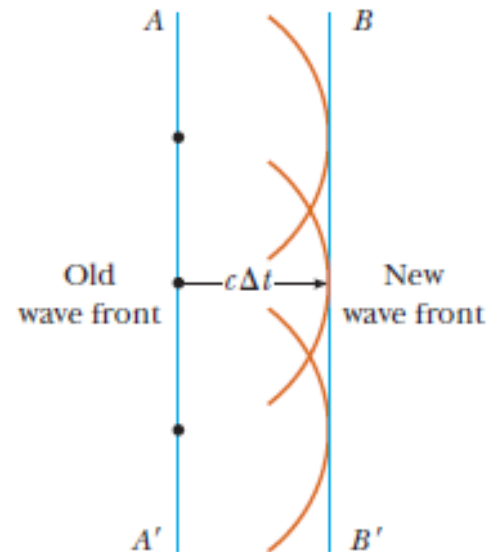
**Figure 22.1** A plane wave traveling to the right. Note that the rays, corresponding to the direction of wave motion, are straight lines perpendicular to the wave fronts.

# Princípio de Huygens

“Todos os pontos de uma certa frente de onda são fontes puntiformes de ondas esféricas secundárias, pequeninas ondas, que se propagam para frente com velocidade característica das ondas do meio. Depois de um certo intervalo de tempo, a nova posição da frente de onda é a superfície tangente a todas essas pequeninas ondas”.



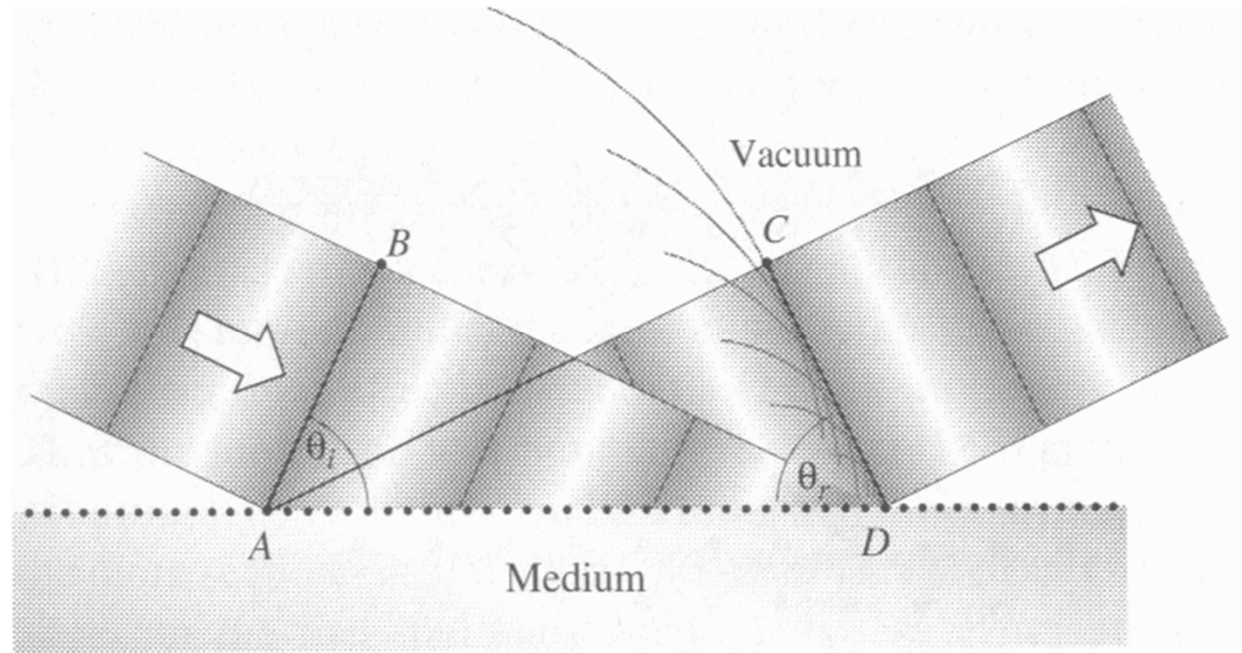
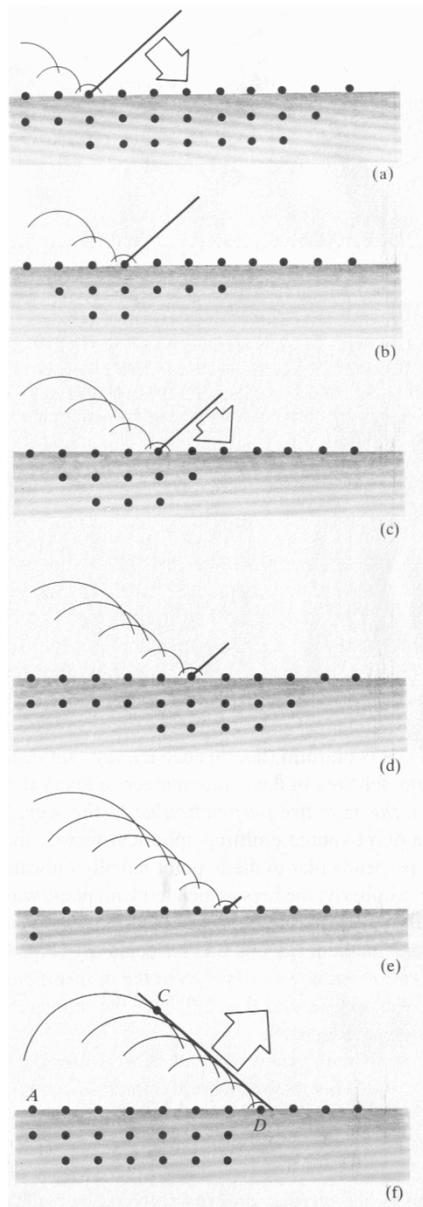
Onda esférica



Onda se propagando p/ direita



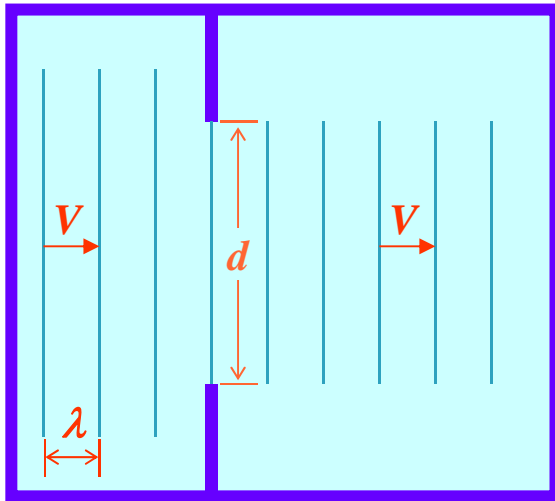
Tanque de ondas



Verificamos que na **reflexão**:  $\theta_i = \theta_r$

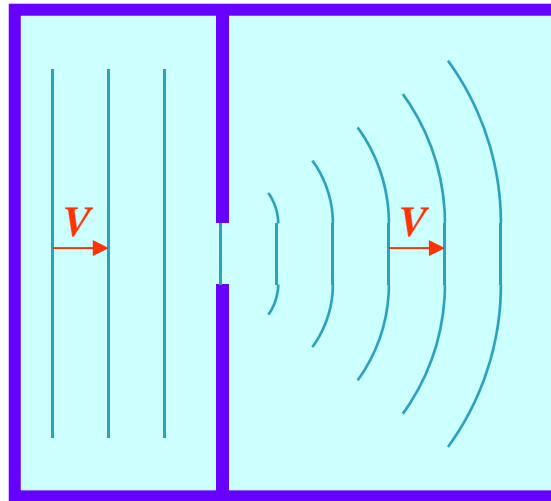
# *Difração em uma fenda*

$$\lambda \ll d$$



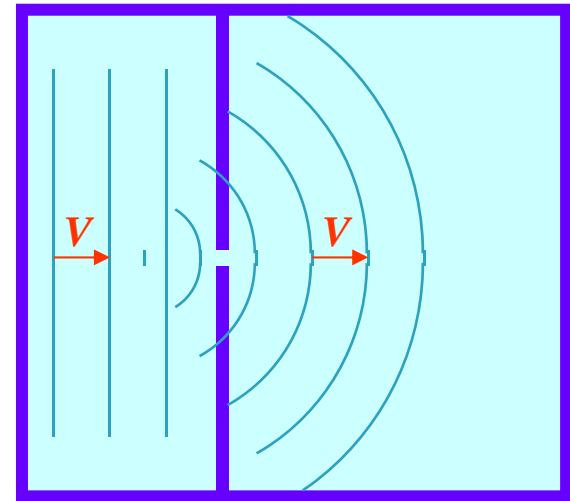
Não ocorre difração

$$\lambda \cong d$$



Ocorre difração

$$\lambda \gg d$$

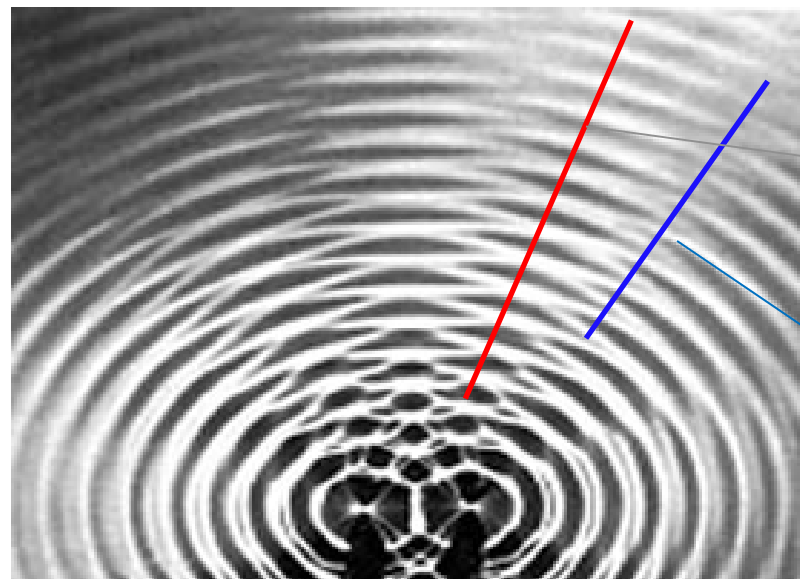


Ocorre difração acentuada

# *Interferência de duas ondas*

**Interferência:** é quando ondas distintas, de mesmas características, geradas a partir de duas fontes, se sobrepõem em um ponto do espaço, a intensidade da onda resultante naquele ponto pode ser maior ou menor que a intensidade de qualquer uma das duas ondas.

A interferência pode ser tanto **construtiva** quanto **destrutiva** dependendo da fase relativa entre as duas ondas

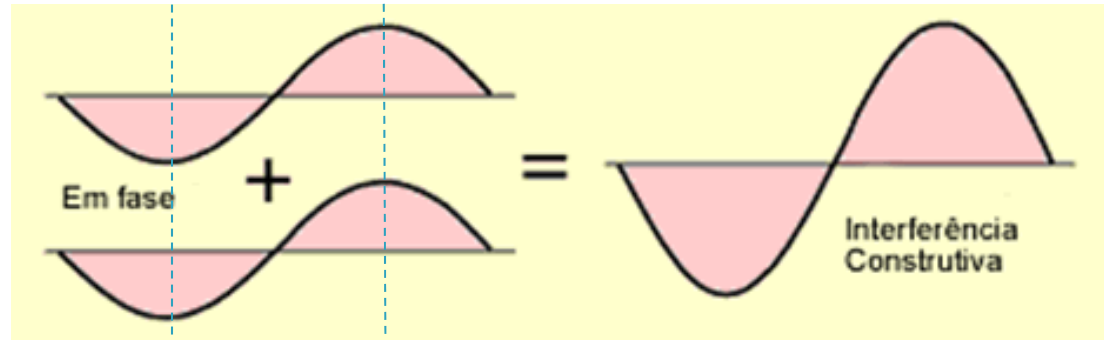


→ Interferência construtiva

→ Interferência destrutiva

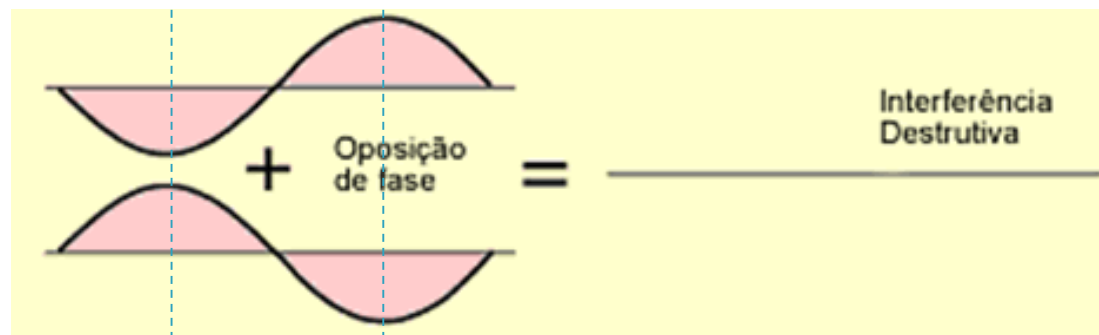
## ***Interferência Construtiva:***

Diferença de fase (em radianos) de duas ondas é de  $0, 2\pi, 4\pi, \dots$



## ***Interferência Destrutiva:***

Diferença de fase (em radianos) de duas ondas é de  $\pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ , ou seja, fora de fase  $180^\circ$ .



Não são fáceis de observar os efeitos da interferência das ondas luminosas em virtude dos curtos comprimentos de ondas que estão envolvidos (entre cerca  $4 \cdot 10^{-7}$  m até cerca de  $7 \cdot 10^{-7}$  m). Para se observar a interferência continuada das ondas luminosas é necessário cumprir as seguintes condições:

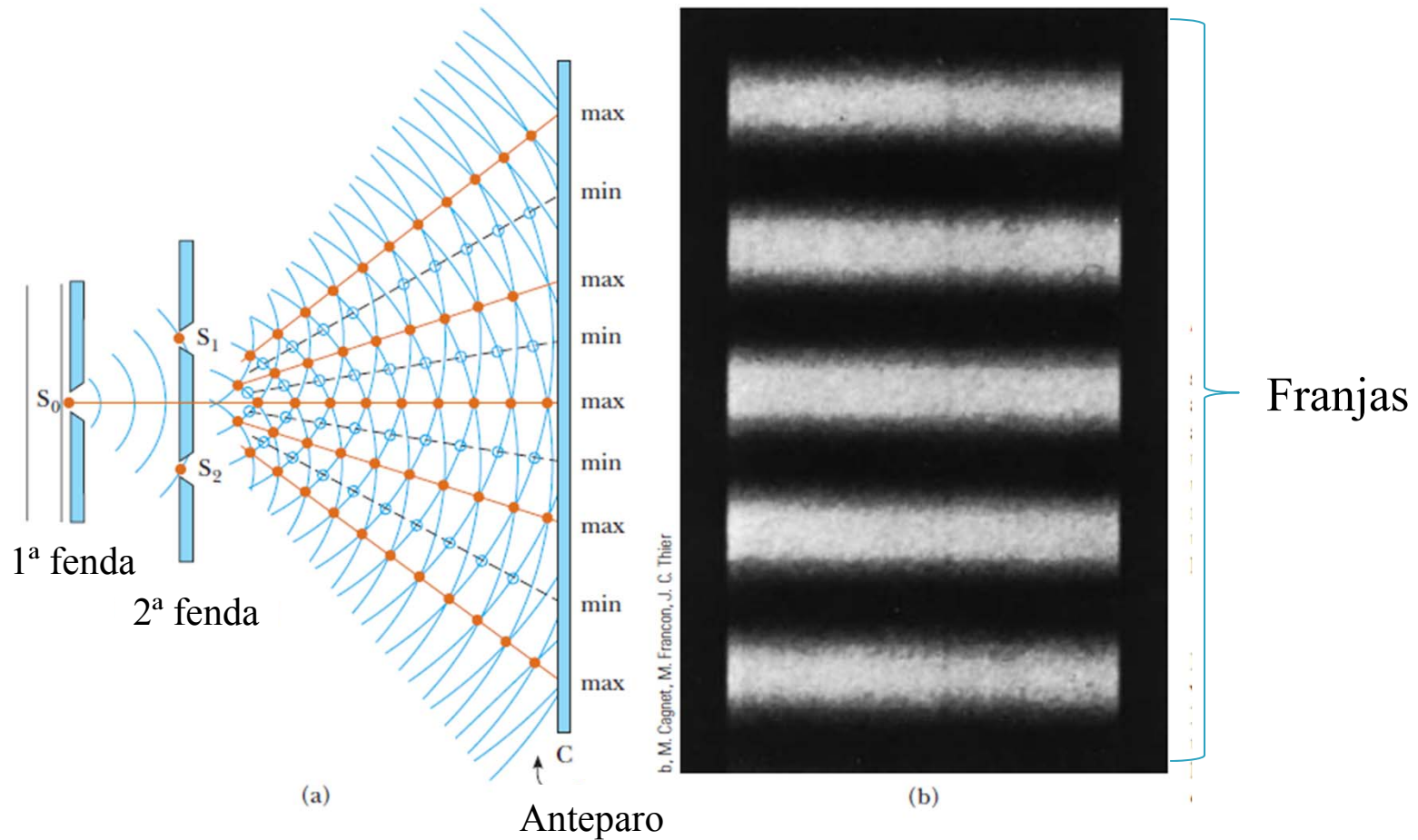
- As fontes devem ser **coerente**, isto é, deve manter uma relação de fase constante, uma com a outra.

*Exemplo: Dois alto-falantes lado a lado, alimentados pelo mesmo amplificador.*

- As fontes devem ser **monocromáticas**, isto é, emitem um único comprimento de onda.
- O **princípio da superposição** deve ser aplicável.

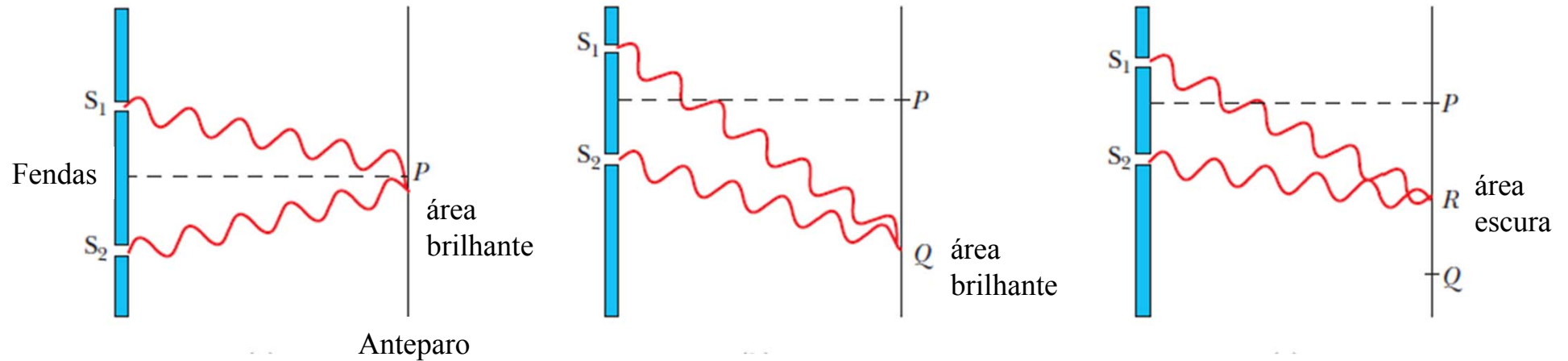
# Experiência da dupla fenda de Young

Thomas Young, em 1801





# Uma forma qualitativa de se observar a experiência de Young

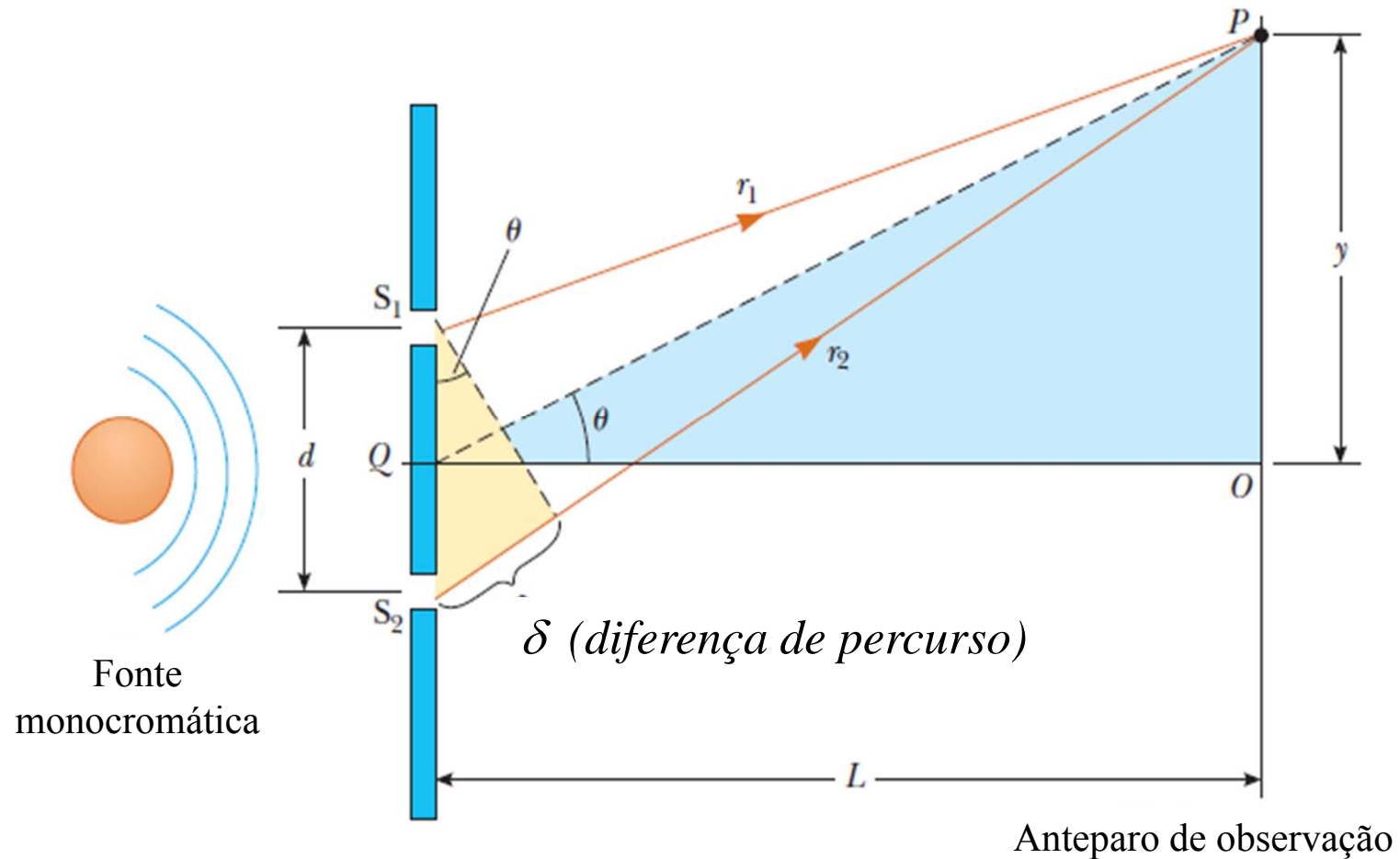


Interferência  
Construtiva

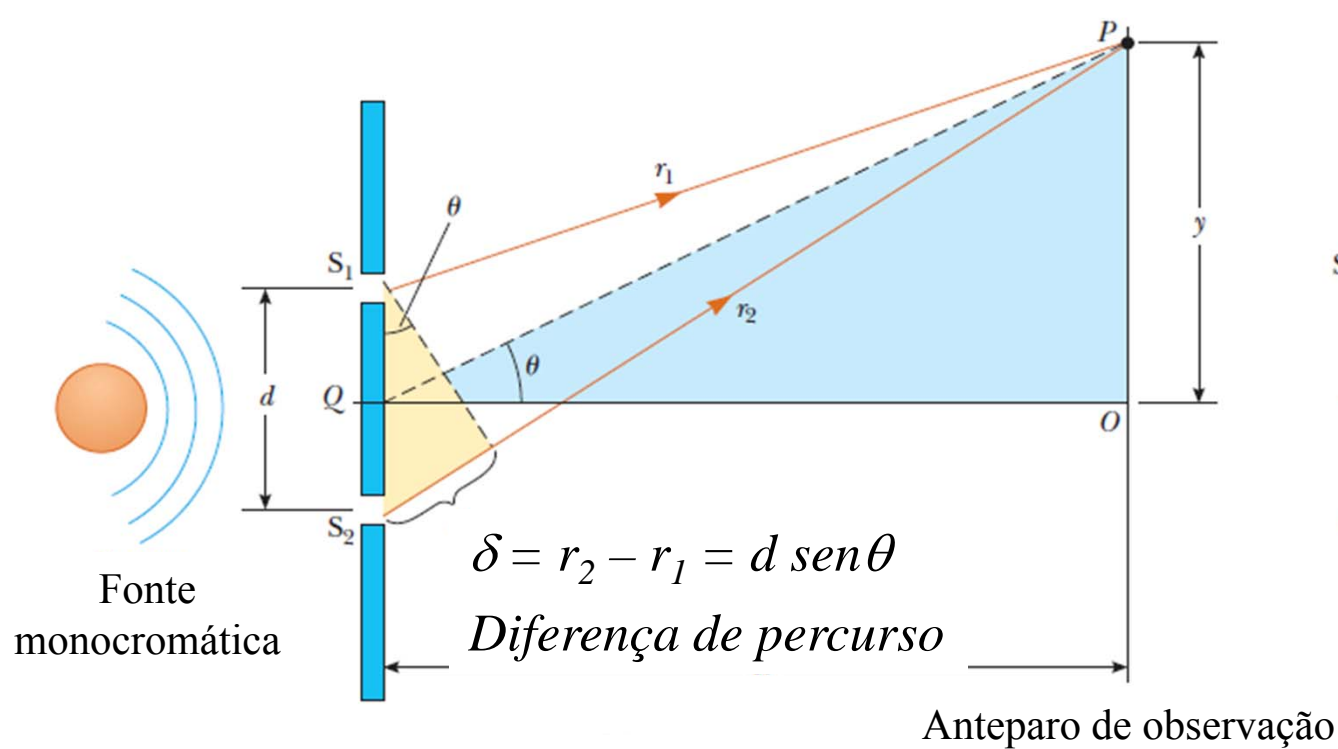
Interferência  
Construtiva

Interferência  
Destrutiva

# Uma forma quantitativa de se observar a experiência de Young



$p/L \gg d \Rightarrow r_1$  e  $r_2$  paralelos



**Diferença de percurso:**

**Interferência Construtiva:**

$$\delta = d \text{ sen } \theta = m\lambda$$

**Interferência Destrutiva:**

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

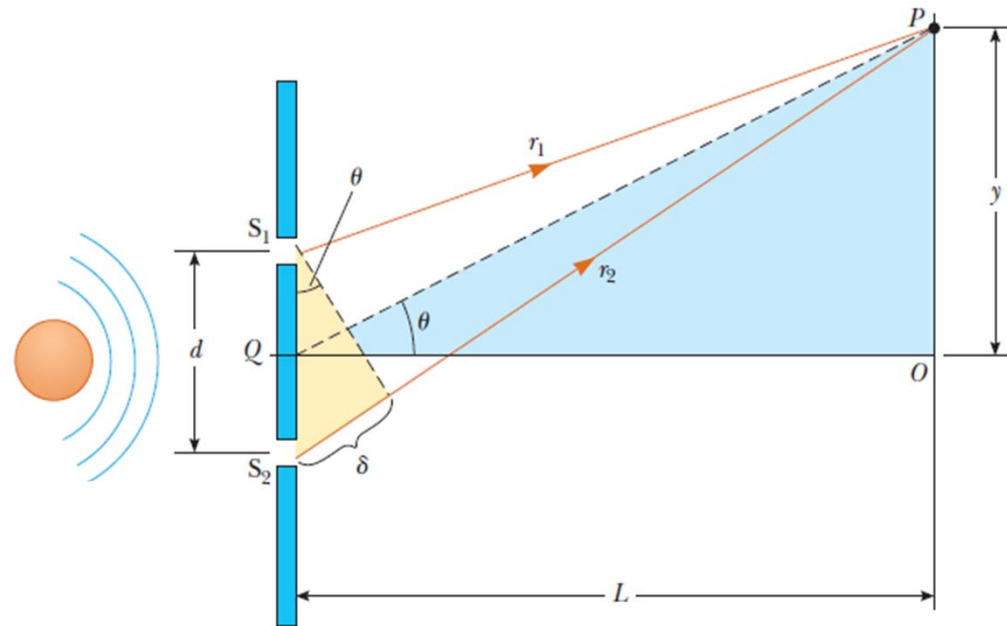
$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$   
ordem da franja

$$p/L \gg d$$

Então,  $\theta$  é pequeno

O triângulo OPQ

$$\text{sen } \theta \cong \tan \theta = \frac{y}{L}$$



**Interferência Construtiva:**

$$\delta = d \text{ sen } \theta = m\lambda$$

$$y_{\text{bril}} = \frac{\lambda L}{d} m$$

**Interferência Destrutiva:**

$$\delta = d \text{ sen } \theta = (m + 1/2)\lambda$$

$$y_{\text{esc}} = \frac{\lambda L}{d} (m + 1/2)$$