

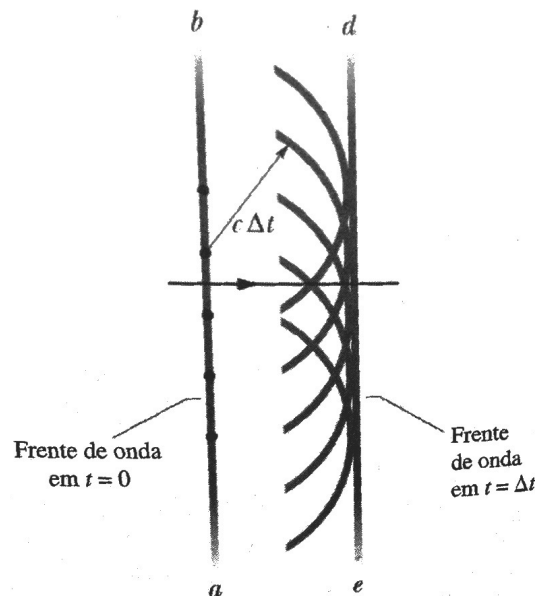
# Laboratório de Física IV

Prof. Helena

# Introdução

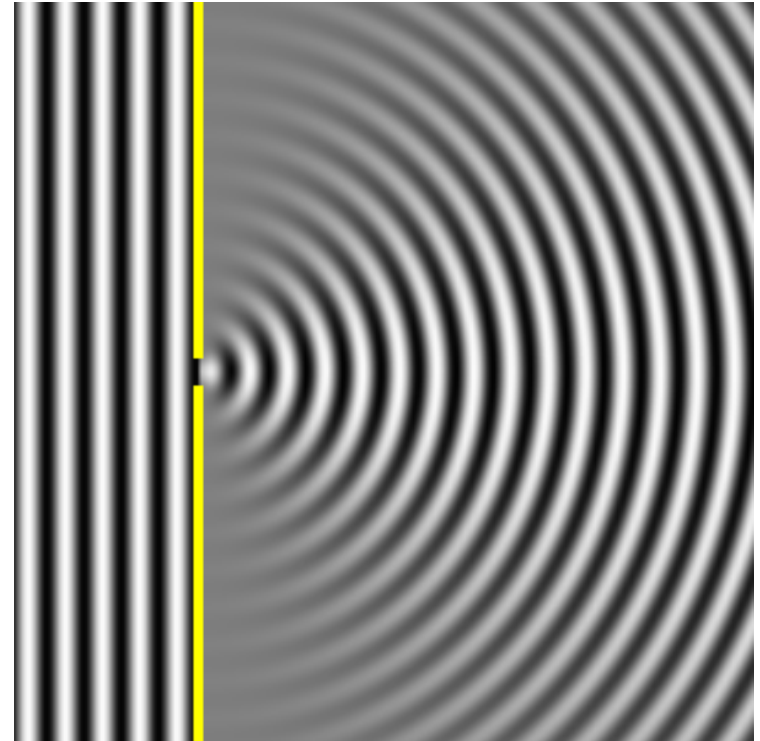
# Princípio de Huygens

- ♦ Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais para ondas secundárias.
- ♦ Depois de um intervalo de tempo  $t$ , a nova posição da frente onda é dada por uma superfície tangente a estas ondas secundárias.

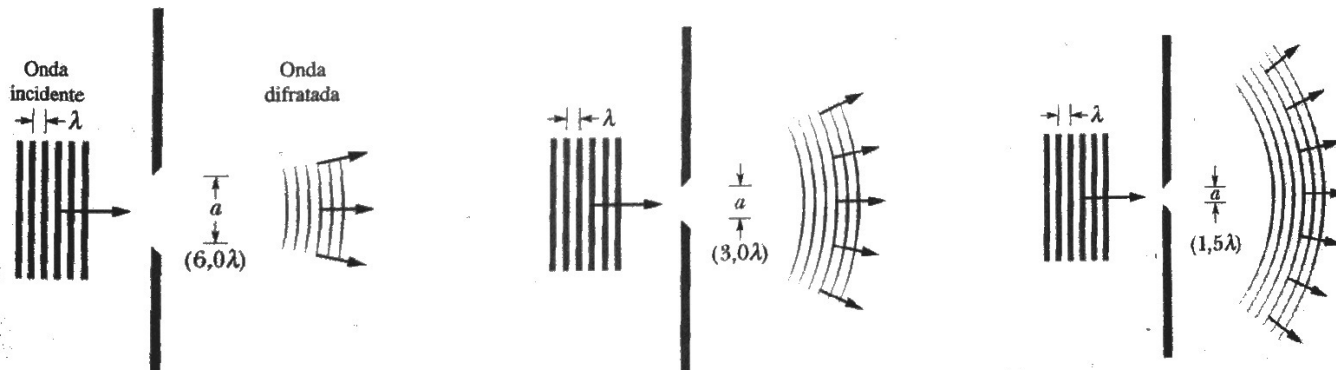


# Difração – conceitos básicos

- Uma onda, ao encontrar um obstáculo com uma abertura de *dimensões comparáveis ao comprimento de onda*, é **difratada**;
- Essa difração ocorre de acordo com o princípio de Huygens;
- Natureza **ondulatória** da luz.



Quanto menor a largura das fendas, maior o alargamento causado pela difração.

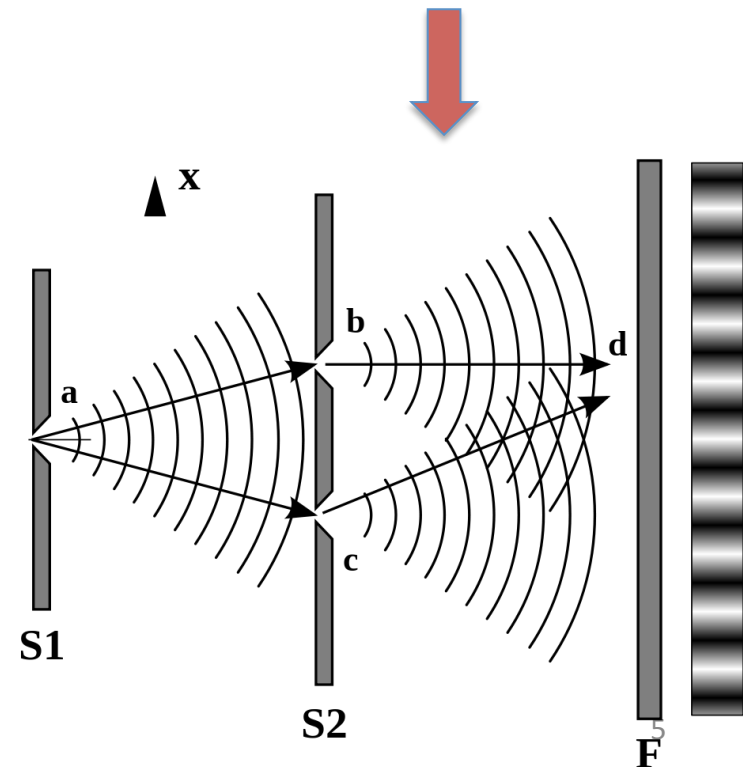
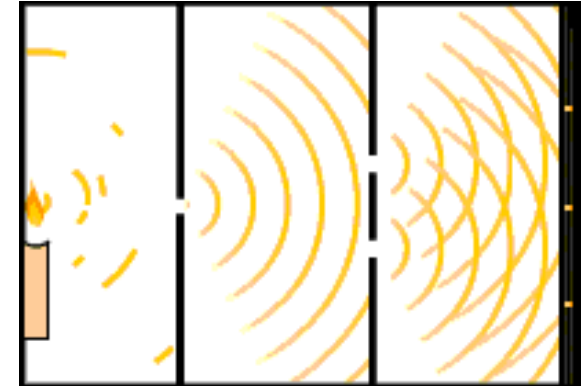


# O Experimento de Young

Comprova a natureza ondulatória da luz, já que as ondas luminosas produzem interferência.

## Experimento de Young:

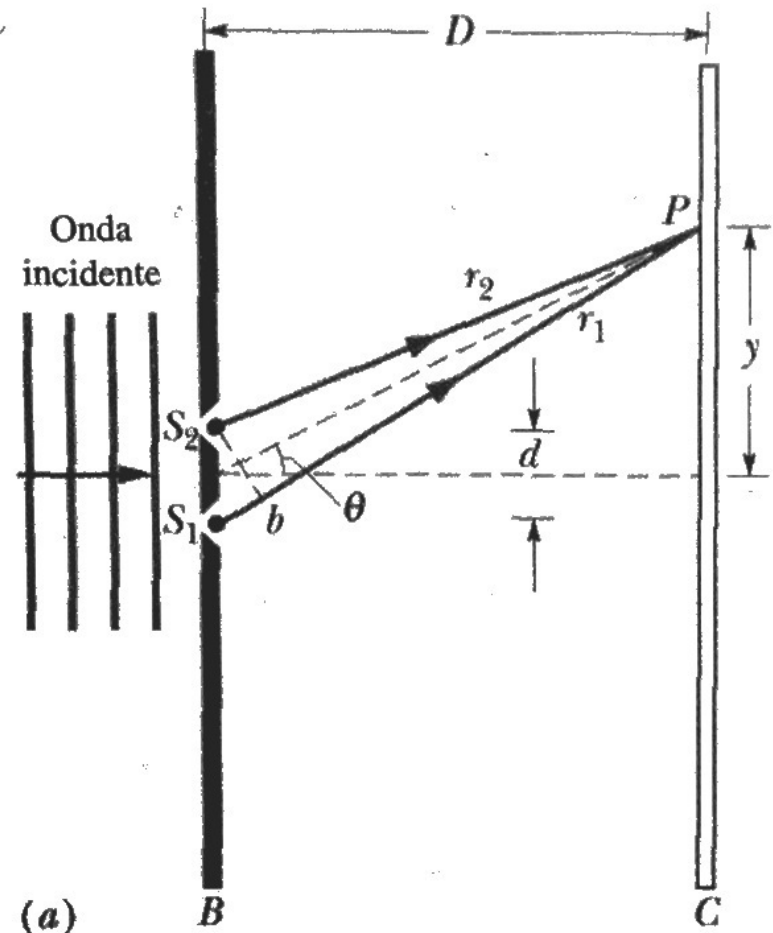
1. Luz de fonte monocromática chega ao anteparo S1 e é *difratada*;
2. No anteparo S2, a luz é *difratada* novamente por cada uma das fendas;
3. As ondas difratadas em S2 *interferem entre si*, criando um padrão de *franjas claras* (interferência construtiva) e *escuras* (interferência destrutiva) na tela F → **figura de interferência**;



# O Experimento de Young

## A localização das franjas

1. As ondas de luz difratadas em  $S_1$  e  $S_2$  interferem formando uma figura de interferência na tela  $C$ ;
2. Consideremos um ponto  $P$  na tela  $C$ , onde duas ondas se interceptam;
3. As distâncias percorridas pela onda 1 (produzida em  $S_1$ ) e a onda 2 (produzida em  $S_2$ ) são diferentes, causando uma *diferença de fase*.



→ **A intensidade luminosa em cada ponto da tela depende da diferença  $\Delta L$  entre as distâncias percorridas pelos dois raios que chegam ao ponto.**

# O Experimento de Young

## A localização das franjas

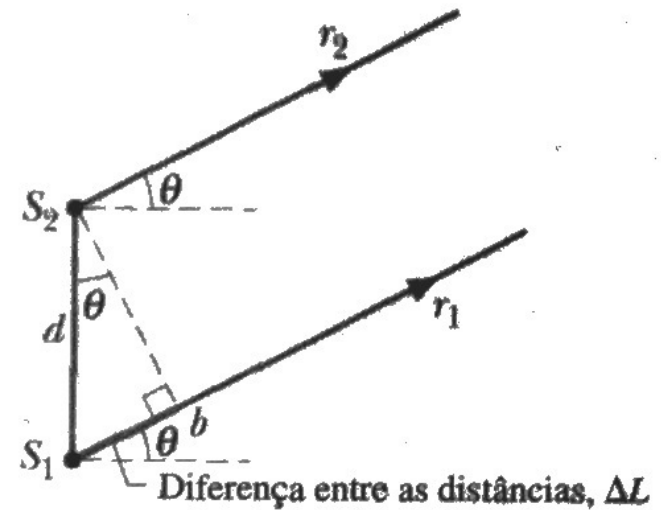
- Por simplicidade, consideramos  $D \gg d$ :
  - $r_1$  e  $r_2$  são aproximadamente paralelos;
  - $\text{sen}\theta \approx \Delta L/d$ ;

$$\Delta L = d \text{ sen}\theta$$

- *Franja clara*:  $\Delta L = m\lambda$ , onde  $m = 0, 1, 2, \dots$
- *Franja escura*:  $\Delta L = (m + \frac{1}{2})\lambda$ , onde  $m = 0, 1, 2, \dots$

$$d \text{ sen}\theta = m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots \text{ (máximos – franjas claras)}$$

$$d \text{ sen}\theta = (m + \frac{1}{2})\lambda, m = 0, 1, 2, \dots \text{ (mínimos – franjas escuras)}$$



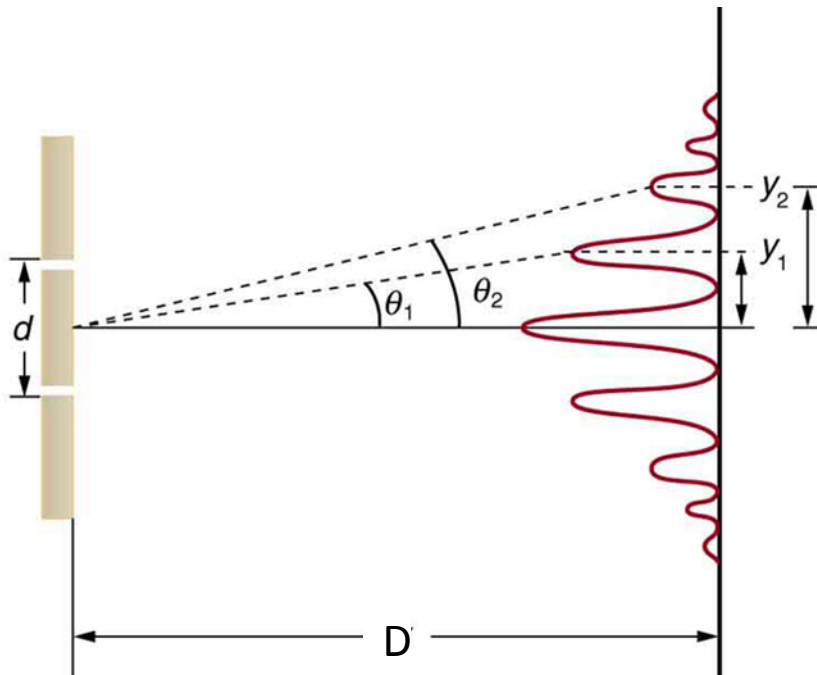
$D$ : distância entre o anteparo B (que contém as fendas) e a tela C;  
 $d$ : distância entre as fendas;  
 $\Delta L$ : diferença entre as distâncias  $r_1$  e  $r_2$ ;

# O Experimento de Young

## A localização das franjas

$$d \sin\theta = m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots \text{ (máximos)}$$

$$d \sin\theta = (m + \frac{1}{2})\lambda, m = 0, 1, 2, \dots \text{ (mínimos)}$$



**Máximo de segunda ordem:**

$$m=2 \rightarrow d \sin\theta=2\lambda \rightarrow \theta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{2\lambda}{d}\right)$$

Franja clara – **máximo central**

$$m = 0 \rightarrow d \sin\theta=0\lambda \rightarrow \theta = 0$$

Franja escura – **mínimo de segunda ordem**

$$m=1 \rightarrow d \sin\theta=1,5\lambda \rightarrow \theta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{1,5\lambda}{d}\right)$$



# Problema Resolvido

Considere a figura abaixo do Experimento de Young. O comprimento de onda da luz é  $\lambda$ , a distância entre as fendas é  $d$  e a distância entre as fendas e a tela é dada por  $D$  (como mostra a figura).

Qual é a distância na tela entre dois máximos vizinhos perto do centro da figura de interferência em função de  $\lambda$ ,  $D$  e  $d$ ?

[Suponha que o ângulo  $\theta$  da figura é suficientemente pequeno para que sejam válidas as aproximações  $\text{sen}\theta \approx \tan\theta \approx \theta$ , onde  $\theta$  está expresso em radianos]

- Escolhemos um máximo com valor pequeno de  $m$ , para nos assegurar de que este se encontra nas proximidades do centro. De acordo com a figura, a relação entre a distância  $y_m$  (entre um máximo secundário e o centro da figura de interferência) e o ângulo  $\theta$  é dada por:

$$\tan\theta \approx \theta = \frac{y_m}{D}$$

- Os máximos de interferência são dados por  $d \text{sen}\theta = m\lambda$ . Logo, temos que:

$$\text{sen}\theta \approx \theta = \frac{m\lambda}{d}$$

- Igualando as duas expressões para o ângulo  $\theta$ , temos:

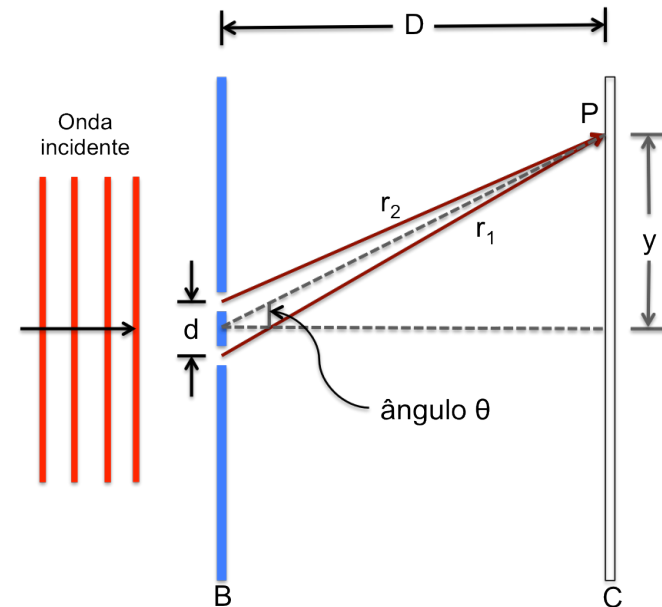
$$y_m = \frac{m\lambda D}{d}$$

- Fazendo o mesmo para o máximo de ordem  $m+1$ , obtemos:

$$y_{m+1} = \frac{(m+1)\lambda D}{d}$$

- Para obter a distância entre os máximos vizinhos, basta fazer a subtração  $y_{m+1} - y_m$ :

$$\Delta y = y_{m+1} - y_m = \frac{\lambda D}{d}$$



# Experimento

# Objetivo

## 6.2 Objetivos

Estudar o fenômeno da interferência entre feixes de luz, e usar as propriedades deste fenômeno para medir o comprimento de onda de uma fonte LASER.

## 6.3 Material Utilizado

- fonte LASER
- banco óptico
- fendas duplas
- lentes convergentes
- lâmina de vidro
- suportes
- anteparo (folha branca)
- régua
- trena

## 6.4 Procedimentos

### 6.4.1 Interferência usando luz monocromática (LASER)

CUIDADO:

**Não exponha os olhos ao feixe de LASER.**

**Mantenha o nível dos olhos sempre acima do plano horizontal do feixe.**

1. Ligue a fonte LASER e posicione a fenda dupla a cerca de 10 cm da fonte, no caminho do feixe, de tal forma que ambas as fendas sejam iluminadas de forma simétrica;
2. Prenda uma folha branca no anteparo, para observar o padrão de interferência. Escolha uma distância  $D$  que facilite a medida da separação  $\Delta y$  entre franjas consecutivas;
3. Marque no anteparo, os pontos de máximo (contidos no primeiro máximo de difração). Meça com uma régua, a distância entre o primeiro e o último ponto que você marcou. Divida então pelo número de intervalos contidos entre estes dois pontos, para determinar o valor de  $\Delta y$ .
4. Meça a distância  $D$  e determine o comprimento de onda  $\lambda$  do feixe de LASER, de acordo com a eq. (6.2) da seção 6.1;
5. Repita os passos anteriores para diferentes separações  $d$  entre as fendas;
6. Obtenha o valor médio encontrado para o comprimento de onda  $\lambda$ , e compare com o valor teórico,  $\lambda_{\text{teo}} = 632,8 \text{ nm}$ .

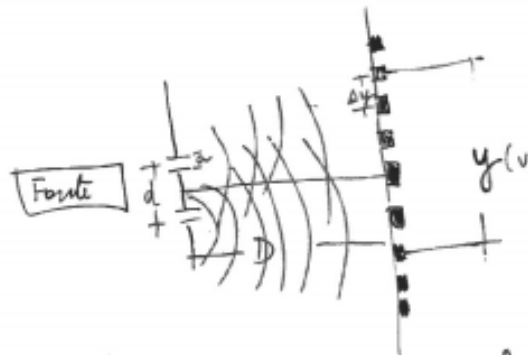
## Parte I: Inteferência em fenda dupla:

Consideremos uma lâmina com quatro fendas duplas de espessura  $a$ , com uma distância  $d$  entre cada fenda, como mostra o esquema abaixo.

	A	B	C	D
	2	2	2	2
$a(\text{mm})$	0,04	0,04	0,08	0,08
$d(\text{mm})$	0,250	0,500	0,250	0,500

O apparatus experimental é composto por uma fonte laser, a lâmina fendas duplas e um anteparo, que nesse caso é uma folha de papel branca.

A fonte laser é posicionada para projetar o laser nas fendas da lâmina e a folha de papel é posicionada a uma distância razoável da fenda, de modo que se possa observar o padrão de interferência, como mostra a figura abaixo:



Máximos de interferência:  
 $d \sin \theta = m \lambda$ ,  
 $m = 0, 1, 2, \dots$   
 $\Delta y$  : distância entre dois máximos consecutivos

onde  $d$  representa a distância entre as fendas,  $a$  é a espessura da fenda,  $D$  a distância entre a lâmina e o anteparo,  $\Delta y$  representa a distância entre dois máximos consecutivos e  $y$  é a distância entre dois máximos com um espaçamento grande o suficiente que permita uma medida adequada.  $Y$  é o valor a ser medido. A partir de  $y$  se determina  $\Delta y$  como sendo:

$$\Delta y = y / \text{número de espaços entre os máximos contidos em } y.$$

**Objetivo:** Na primeira parte desta experiência o objetivo é determinar experimentalmente o comprimento de onda da fonte laser.

Obs.: Considere a região central da figura de difração.

**Procedimento experimental:** Para cada fenda, meça a distância entre alguns máximos bem visíveis (veja figura acima). A seguir, conte quantos intervalos  $\Delta y$  têm. No exemplo da figura esse número é igual a 5, ou seja:

$$y = 5 \Delta y \Rightarrow \Delta y = y/5$$

Mas

$$\Delta y = \lambda D/d \Rightarrow \lambda = \Delta y d/D$$

Repetir os cálculos para cada fenda. Obter  $\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C, \lambda_D$  e calcular o comprimento de onda médio e sua incerteza:

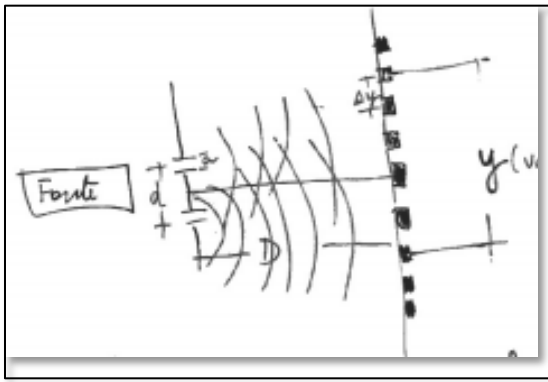
$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^4 \lambda_i}{4}, \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{N(N-1)}}$$

obtem-se o comprimento de onda experimental como sendo:

$$\lambda_{exp} = \bar{\lambda} \pm \varepsilon$$

Verifique se o valor encontrado está compatível com o valor de referência,  $\lambda_{ref} = 632,8 \text{ nm}$

**Sugestão:** mantenha D constante para todas as fendas.



Máximos de interferência:  
 $d \sin \theta = m \lambda$ ,  
 $m = 0, 1, 2, \dots$   
 $\Delta y$ : distância entre dois máximos consecutivos