

Semana 06

Difração

Física III - Licenciatura

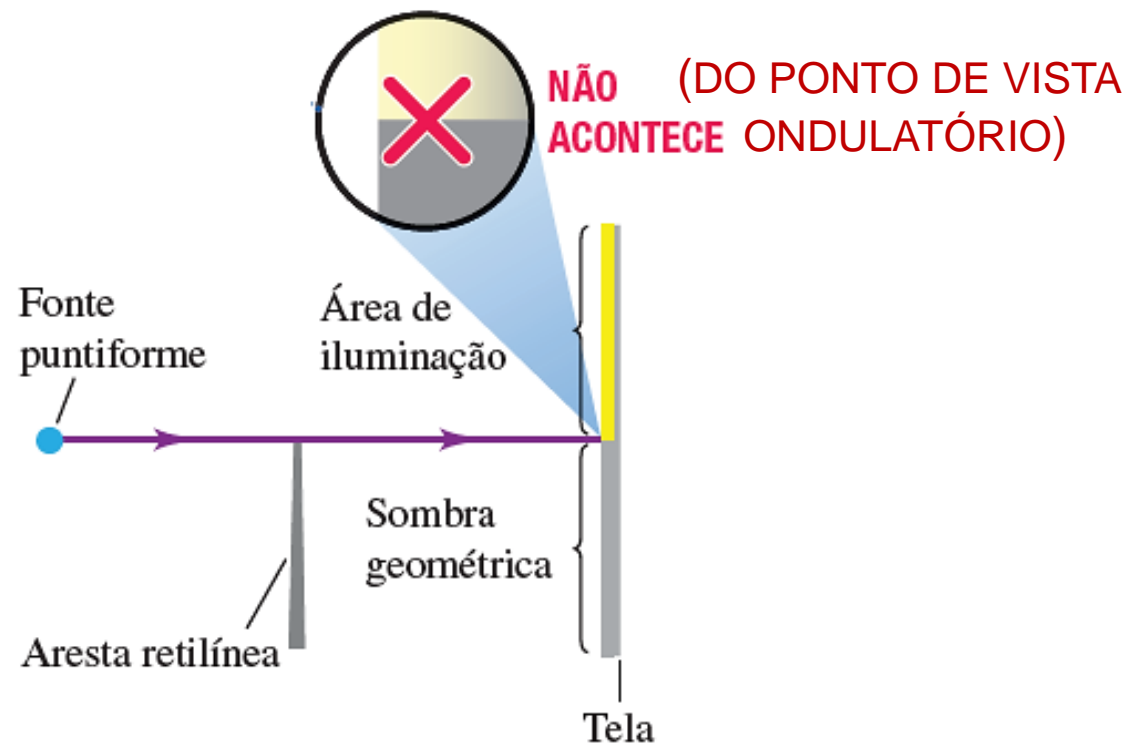
Prof. Henrique A. M. Faria

Difração

- Percebemos que o som pode se desviar e contornar um obstáculo.
- O que pode ser surpresa é que a luz também possui essa característica de contornar obstáculos.
- A explicação desses efeitos é que a luz, assim como o som, apresentam características ondulatórias.
- Nesta aula, investigaremos os efeitos de interferência resultantes da superposição de muitas ondas luminosas.
- Tais efeitos constituem o fenômeno da difração.

Difração

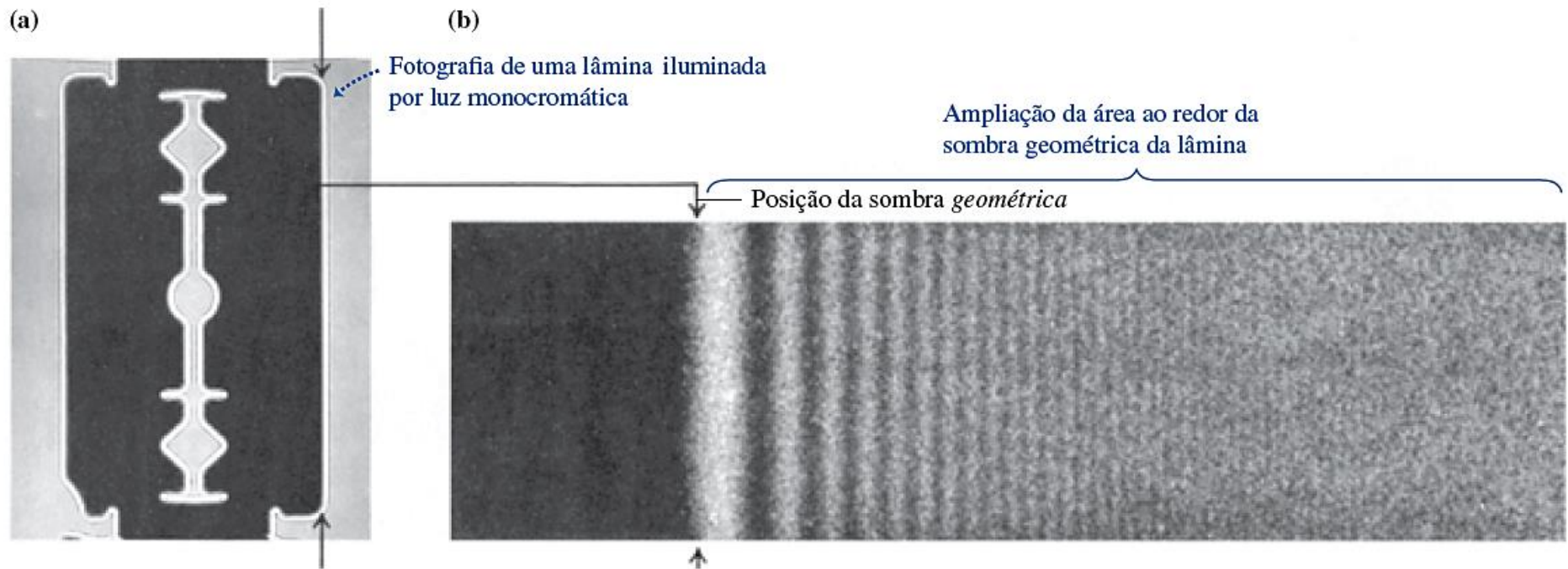
- De acordo com a óptica geométrica, um objeto opaco entre uma fonte luminosa puntiforme e uma tela, apresentaria uma sombra de contorno retilíneo.



Difração

- A natureza ondulatória da luz produz efeitos que não podem ser entendidos com o modelo simples da óptica geométrica.
- Quando a luz atinge um obstáculo que apresenta uma abertura ou uma extremidade...
- As figuras de interferência se formam e o efeito é chamado de difração.
- Um exemplo de difração produzido pela iluminação de uma lâmina é mostrado na Figura 36.2.

Difração



Difração

- Na vida cotidiana não observamos figuras de difração como as da Figura 36.2 porque:
 - A maioria das fontes de luz não é monocromática.
 - Essas fontes também não são puntiformes.
- As figuras de difração podem ser analisadas aplicando-se o **princípio de Huygens**:
 - “Cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado uma nova fonte de onda”

Difração

- A difração é descrita vulgarmente como o “desvio da luz ao contornar um obstáculo”.
- Quando partes de um feixe de onda são interrompidas por um obstáculo, partes das frentes de onda interferem e provocam a difração.
- Não existe nenhuma diferença fundamental entre os fenômenos da interferência e da difração.
- Na interferência interpretamos um número pequeno de fontes, normalmente duas.
- Na difração tratamos de uma distribuição de ondas secundárias através de uma abertura.

Tipos de Difração

FRESNEL

- Difração de campo próximo.
- Fonte e tela estão próximas do obstáculo.
- Os raios convergem para um ponto P.

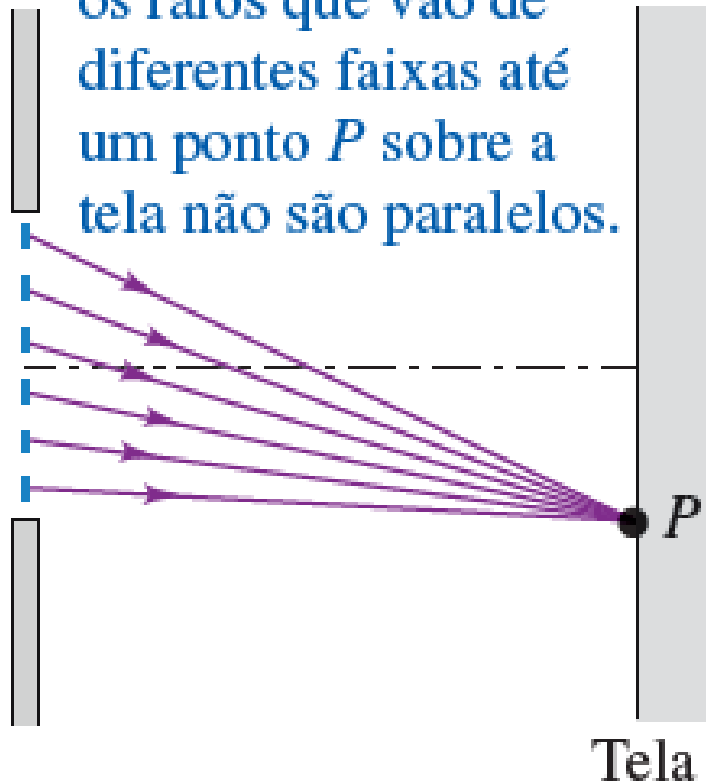
FRAUNHOFER

- Difração de campo distante.
- Grandes distâncias entre fonte, obstáculo e tela.
- Os raios entre a fonte e obstáculo podem ser considerados paralelos.

Tipos de Difração

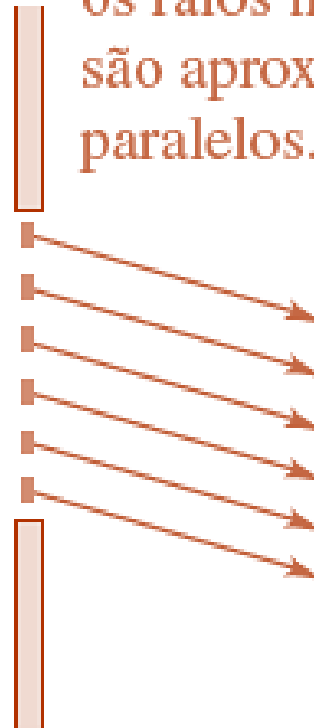
FRESNEL

Se a tela estiver perto, os raios que vão de diferentes faixas até um ponto P sobre a tela não são paralelos.



FRAUNHOFER

Se a tela estiver distante, os raios na direção de P são aproximadamente paralelos.




Simulador de difração

1. Acesse o simulador no módulo difração.

https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_all.html?locale=pt_BR

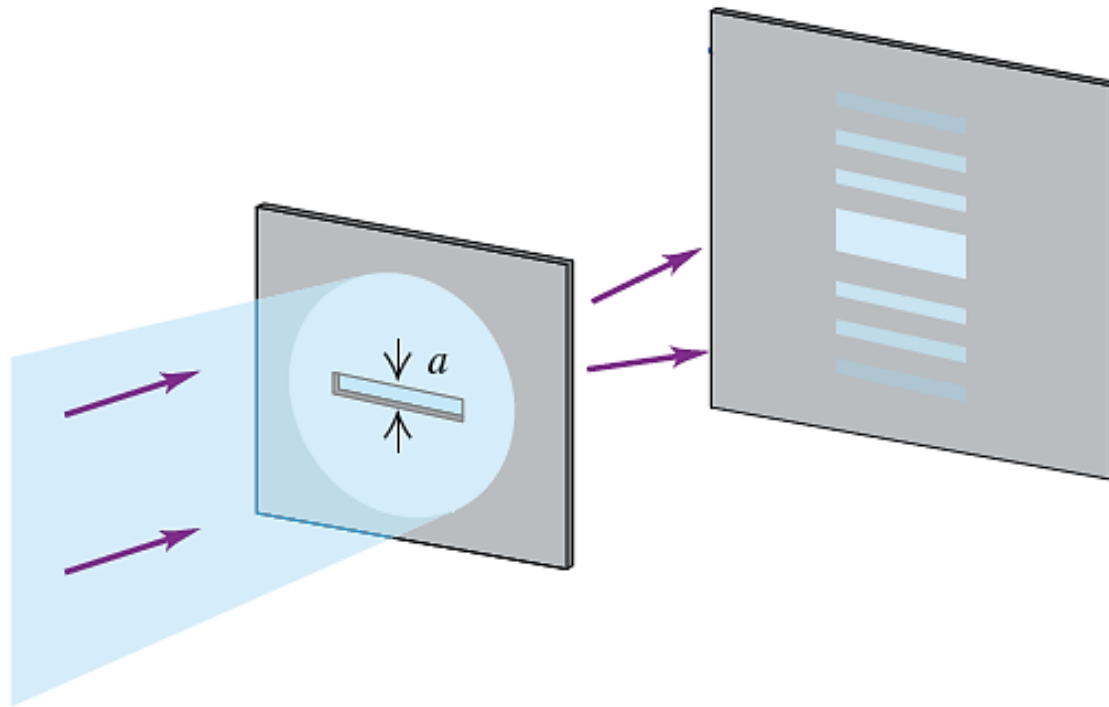
2. Experimente diferentes comprimentos de ondas.
3. Modifique a geometria da abertura e suas dimensões.
4. Visualize os padrões de difração na tela.



Difração por fenda simples

Difração por fenda simples

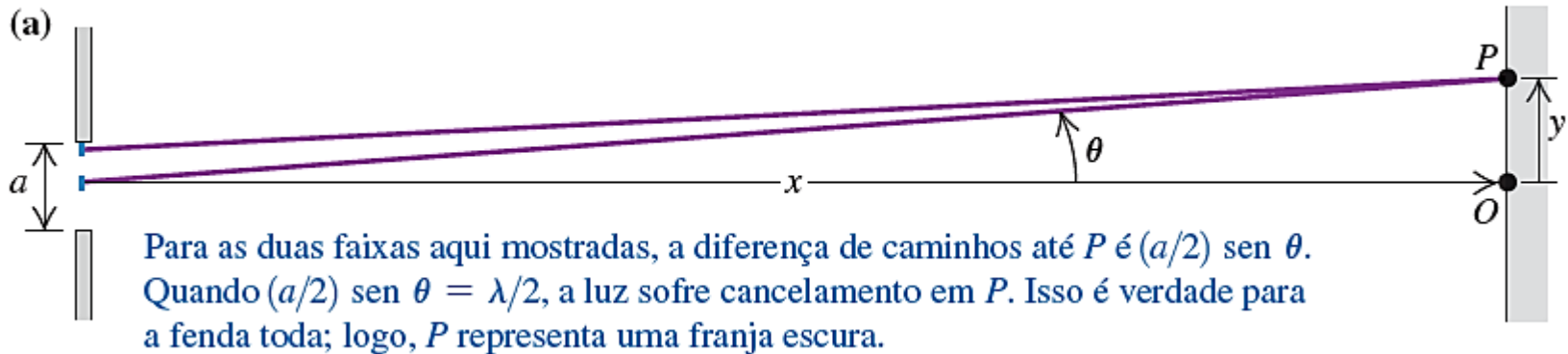
- Uma luz monocromática que emerge de uma fenda estreita e comprida mostra o seguinte padrão:



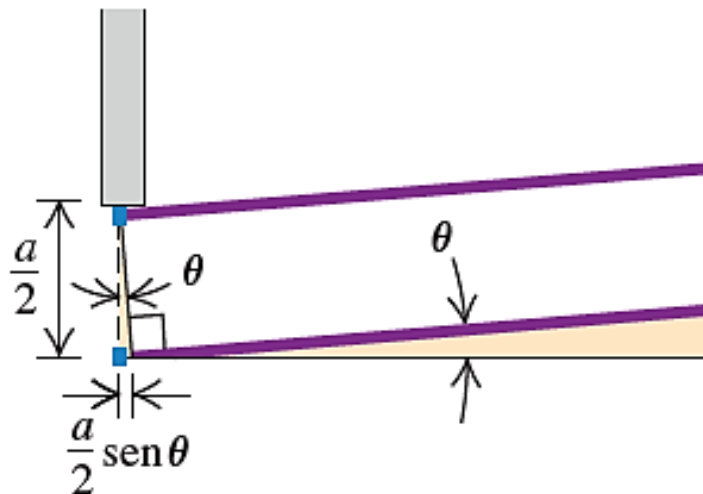
Difração por fenda simples

- O feixe se espalha verticalmente ao passar pela fenda.
- A figura de difração na tela é constituída por uma **franja brilhante central**, muito maior que a fenda.
- Em ambos os lados a partir do centro há uma sequência de franjas brilhantes e escuras.
- As intensidades diminuem quando elas se afastam do centro.
- **Cerca de 85% da potência** do feixe transmitido **está concentrada na franja central**.

Localização das franjas escuras



(b) Ampliação da metade superior da fenda



θ geralmente é muito pequeno, então podemos usar as aproximações $\text{sen } \theta \approx \theta$ e $\tan \theta \approx \theta$. Assim, a condição para uma faixa escura é

$$y_m = x \frac{m\lambda}{a}$$

Localização das franjas escuras

- A diferença entre os dois caminhos dos raios indicados na figura 36.5 até o ponto P é igual a $(a/2)\text{sen}\theta$, onde:
 a : a largura da fenda; θ : ângulo entre perpendicular ao plano da tela e a reta que liga o centro com o ponto P .
- Supondo a diferença entre caminhos de $\lambda/2$.
- Haverá cancelamento das ondas em P .
- A luz proveniente de qualquer faixa na metade superior cancela a luz proveniente da faixa correspondente da metade inferior da fenda.

Localização das franjas escuras

- Uma fenda escura aparece quando:

$$\frac{a}{2} \operatorname{sen} \theta = \pm \frac{\lambda}{2} \quad \rightarrow \quad \operatorname{sen} \theta = \pm \frac{\lambda}{a}$$

- Ampliando o raciocínio, ao dividirmos a fenda em pares aparecerá a franja escura quando:

$$\operatorname{sen} \theta = m \frac{\lambda}{a} \quad m = \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$$

Franjas escuras na difração da fenda única

- Em $\operatorname{sen} \theta = 0$ existe franja brilhante, então: $m \neq 0$

Localização das franjas escuras

- Os valores de θ costumam ser tão pequenos que a aproximação $\text{sen}\theta = \theta$ (rad) é muito boa.
- Assim, a equação pode ser escrita na forma

$$\theta = m \frac{\lambda}{a} \quad m = \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$$

Franjas escuras para ângulo pequeno

Posição vertical das franjas escuras

- x : é a distância entre a fenda e a tela (Figura 36.5).
- y_m : é a distância vertical entre a franja escura de ordem m e o centro da figura. Então: $\text{tg}\theta = y_m/x$.
- Como o ângulo é pequeno: $\text{tg}\theta \cong \theta$. Assim:

$$y_m = x \frac{m\lambda}{a} \quad \text{para } y_m \ll x$$

Posição das franjas escuras

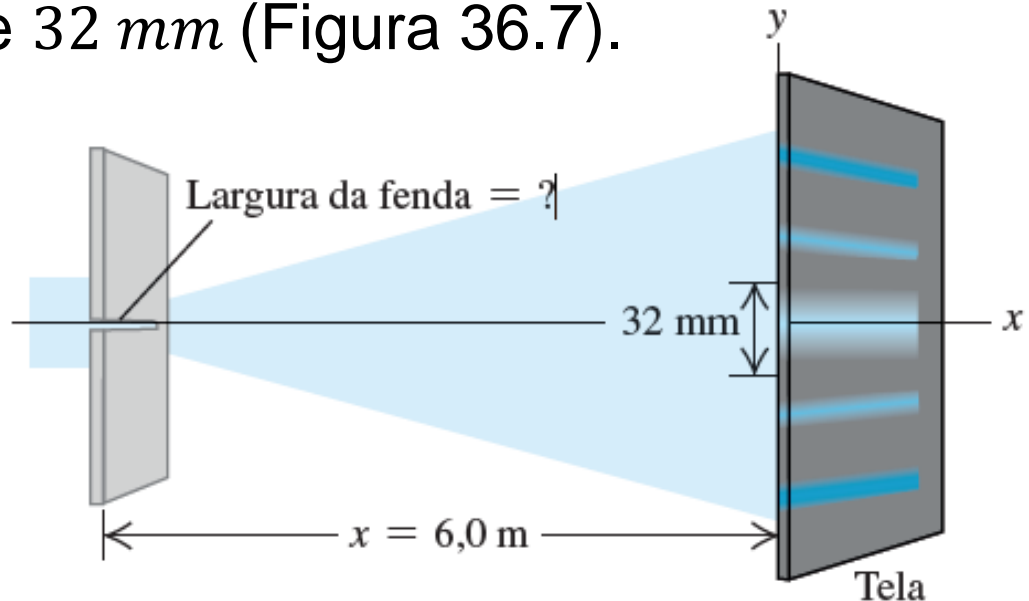
Atenção

- A equação da posição da **franja escura** na **fenda simples** tem a mesma forma da equação da posição da **franja clara** na **fenda dupla**. Diferenças:
 - x é usado na **fenda simples** enquanto R na **fenda dupla**.
 - Na **fenda simples** a equação da posição fornece a localização da **franja escura**.
 - Na **fenda dupla** a mesma equação fornece a posição da **franja clara**.

Exemplo 36.1

Um feixe de luz de laser de 633 nm incide sobre uma fenda estreita e forma uma figura de difração sobre uma tela situada a distância igual a $6,0 \text{ m}$. A distância entre o centro do primeiro mínimo acima do máximo central e o centro do primeiro mínimo abaixo do máximo central é de 32 mm (Figura 36.7).

Qual é a largura da fenda?



Exemplo 36.1

$$y_m = x \frac{m\lambda}{a}$$

o primeiro mínimo corresponde a $m = 1$

$$y_1 = (32 \text{ mm})/2 = 16 \text{ mm.}$$

Explicitando a largura a

$$a = \frac{x\lambda}{y_1} = \frac{(6,0 \text{ m})(633 \times 10^{-9} \text{ m})}{16 \times 10^{-3} \text{ m}} = 2,4 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,24 \text{ mm}$$

AVALIAR: o ângulo θ é pequeno apenas se o comprimento de onda é pequeno comparado à largura da fenda. Como $\lambda = 633 \text{ nm} = 6,33 \times 10^{-7} \text{ m}$ e descobrimos que $a = 0,24 \text{ mm} = 2,4 \times 10^{-4} \text{ m}$, nosso resultado é compatível com isto: o comprimento de onda é $(6,33 \times 10^{-7} \text{ m})/(2,4 \times 10^{-4} \text{ m}) = 0,0026$ da largura da fenda.



**Intensidade na
Difração por
fenda simples**

Intensidade na difração por fenda simples

$$I = I_0 \left\{ \frac{\text{sen}\left[\frac{\pi a(\text{sen}\theta)}{\lambda}\right]}{\frac{\pi a(\text{sen}\theta)}{\lambda}} \right\}^2$$

a : largura da fenda.

λ : comprimento de onda.

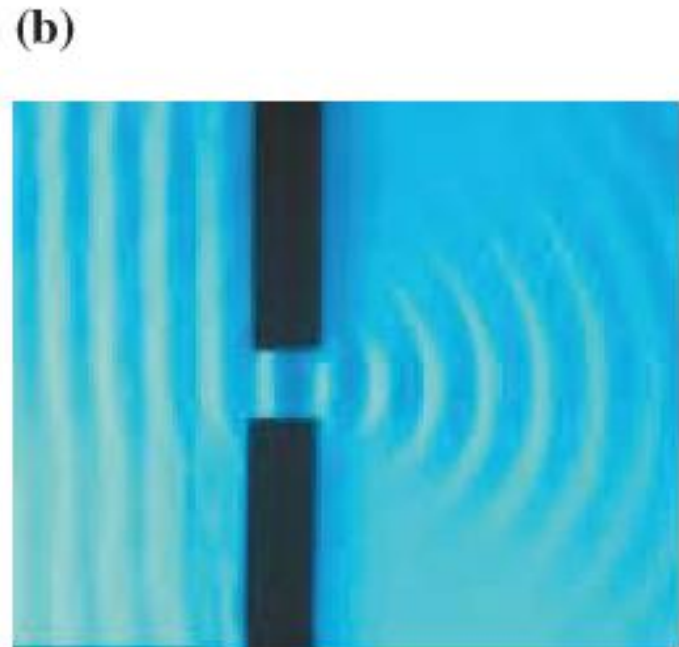
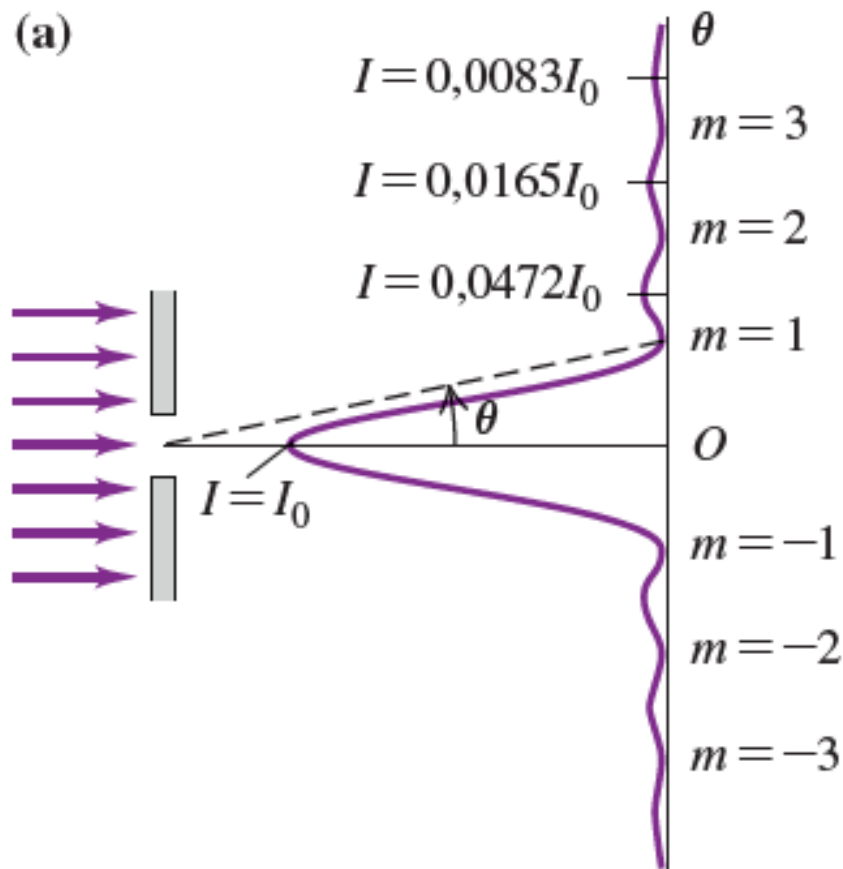
I_0 : intensidade em $\theta = 0$

θ : ângulo entre a normal do plano das fendas e a linha até P .

- As **franjas escuras** da figura de difração se formam nos pontos em que $I = 0$.
- Esses pontos ocorrem quando o numerador é igual a zero, ou seja, múltiplo de π . Assim:

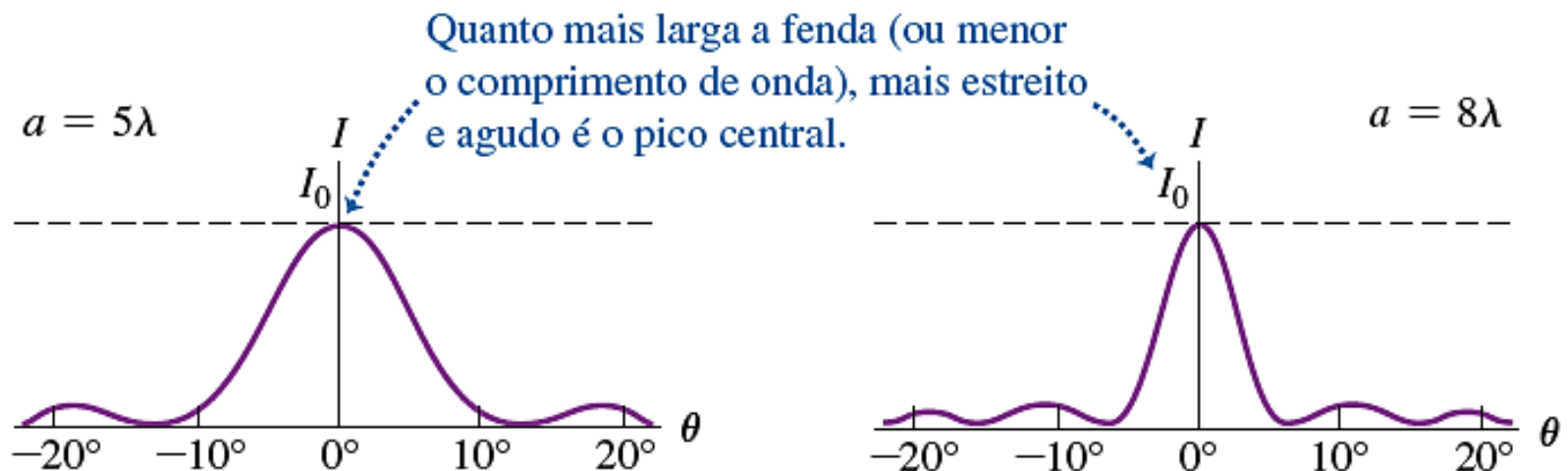
$$\frac{\pi a(\text{sen}\theta)}{\lambda} = m\pi \quad \rightarrow \quad \text{sen}\theta = \frac{m\lambda}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2 \dots)$$

Intensidade na difração por fenda simples



Intensidade na difração por fenda simples

- Para ângulos pequenos, o espalhamento angular da figura de difração é inversamente proporcional à largura da fenda a .
- Mais precisamente, à razão entre a e o comprimento de onda λ .



Exemplo 36.3

Na experiência descrita no Exemplo 36.1 a intensidade em um ponto no centro da tela é I_0 .

Qual é a intensidade em um ponto sobre a tela a uma distância de 3,0 mm do centro da figura de difração?

$$\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} = \frac{\pi(2,4 \times 10^{-4} \text{ m})(5,0 \times 10^{-4})}{6,33 \times 10^{-7} \text{ m}} = 0,60$$

$$I = I_0 \left(\frac{\sin 0,60}{0,60} \right)^2 = 0,89 I_0$$

A posição calculada está dentro do máximo central!

Para depois desta aula

- Completar estudo com a leitura do capítulo 36 do livro texto (Sears vol. IV);
- Acessar Lista de exercícios no site:

profhenriquefaria.com

Referências

1. YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Sears e Zemansky Física III: Eletromagnetismo. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

