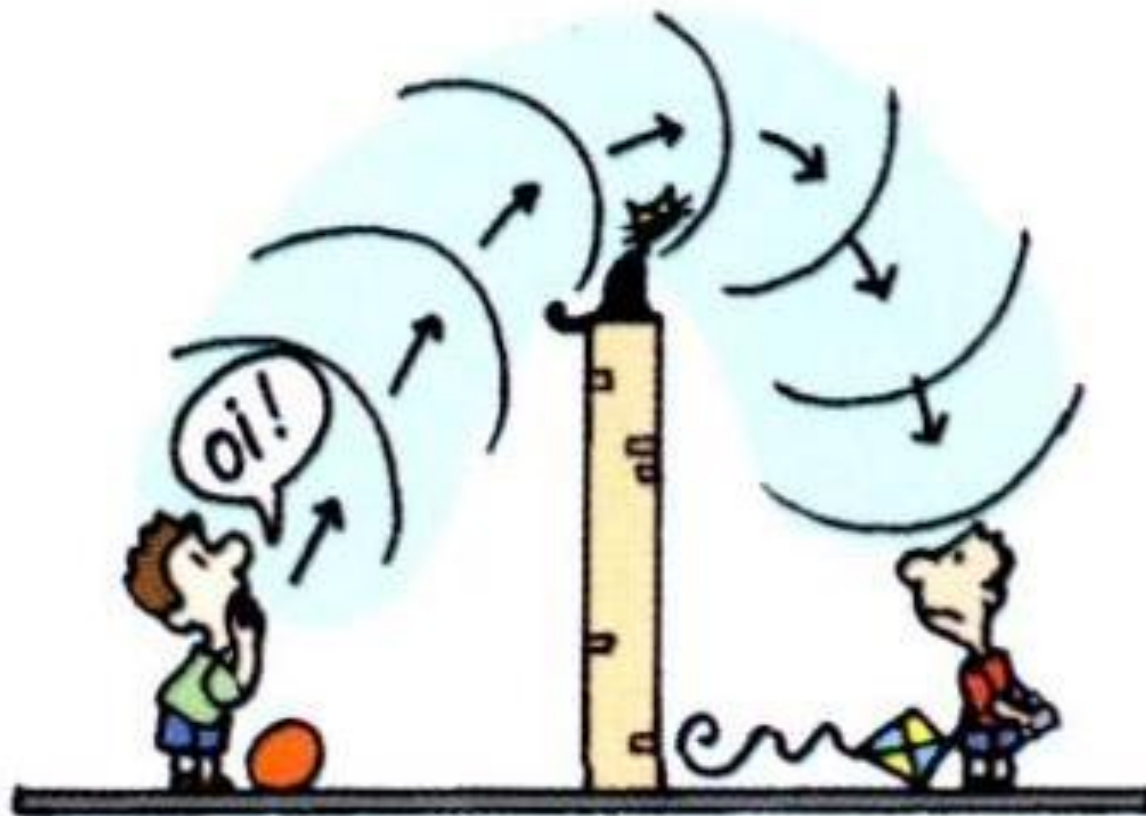


Capítulo 36 - Difração



Na figura acima, as crianças conseguem ouvir uma a outra (por causa da difração das ondas sonoras por cima do muro) mas não conseguem enxergar uma a outra. Por que elas conseguem elas conseguem ouvir uma a outra mas não conseguem enxergar uma a outra?

Dica: as frequências das ondas sonoras (que percebemos) variam de 20 Hz a 20.000 Hz , então os comprimentos de onda do som no ar estão entre 17 m e $1,7\text{ cm}$ (para uma velocidade de propagação das ondas sonoras de 340 m/s). Praticamente todos os objetos que utilizamos no dia a dia estão nessa faixa de tamanho, por isso a difração sonora é tão perceptível!

36.2 Difração e Teoria Ondulatória da Luz

Quando a luz monocromática de uma fonte luminosa distante (ou um laser) passa por uma fenda estreita e é interceptada por uma tela de observação aparece na tela uma **figura de difração** como a mostrada na figura ao lado.

Esta **figura de difração** apareceu em uma tela de observação quando a luz que havia passado por uma fenda vertical estreita chegou à tela.

A **figura de difração** é formada por uma **máximo central largo e intenso** (muito claro) e uma série de **máximos secundários** ou **laterais** dos dois lados do máximo central. Os máximos são separados por mínimos.

Uma figura como essa não pode ser explicada pela ótica geométrica: se a luz viajasse em linha reta, na forma de raios, a fenda permitiria que alguns raios passassem e produzissem na tela uma imagem nítida da fenda, com intensidade grande.



A **difração** da luz não está limitada a situações em que a luz passa por uma abertura estreita, como uma fenda ou um orifício; ela também acontece quando a luz encontra um obstáculo, como as bordas da lâmina de barbear da figura ao lado.

A **difração** é um efeito ondulatório, ou seja, acontece porque a luz se comporta como uma onda e também é observada em outros tipos de onda.

➤ Quando você fala para uma multidão, por exemplo, sua voz pode não ser ouvida porque as ondas sonoras sofrem difração ao passarem pela abertura estreita da sua boca, espalhando-se e reduzindo a intensidade do som que chega aos ouvintes situados à sua frente. Para combater a difração, você pode usar um megafone. Nesse caso, as ondas sonoras emergem de uma abertura muito maior na extremidade do megafone. Isso faz com que as ondas se espalhem menos e o som chegue aos ouvidos dos ouvintes com maior intensidade.

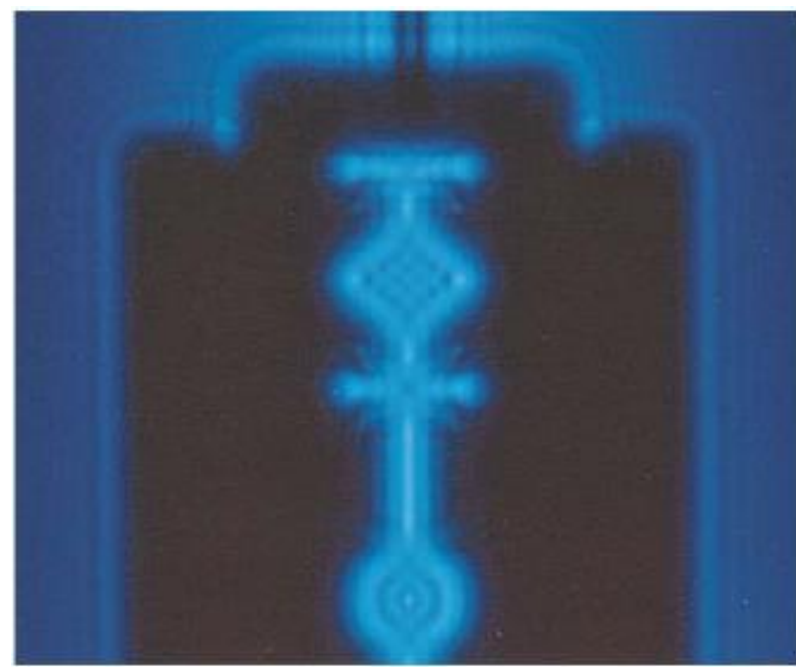
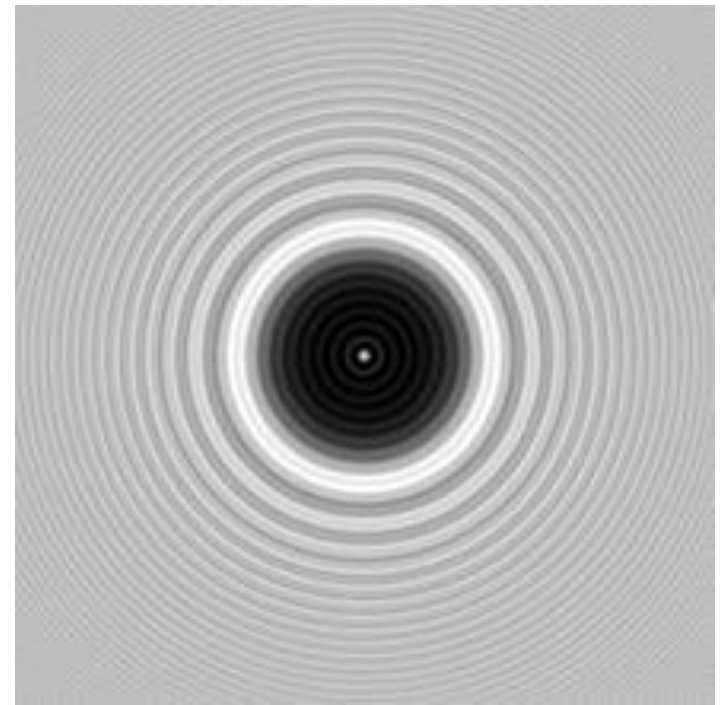


Figura de difração produzida por uma lâmina de barbear iluminada com luz monocromática. Observa as linhas alternadamente claras e escuras paralelas às bordas da lâmina.



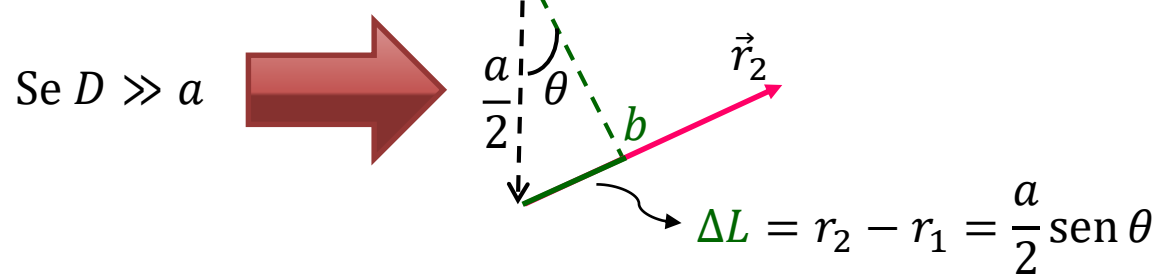
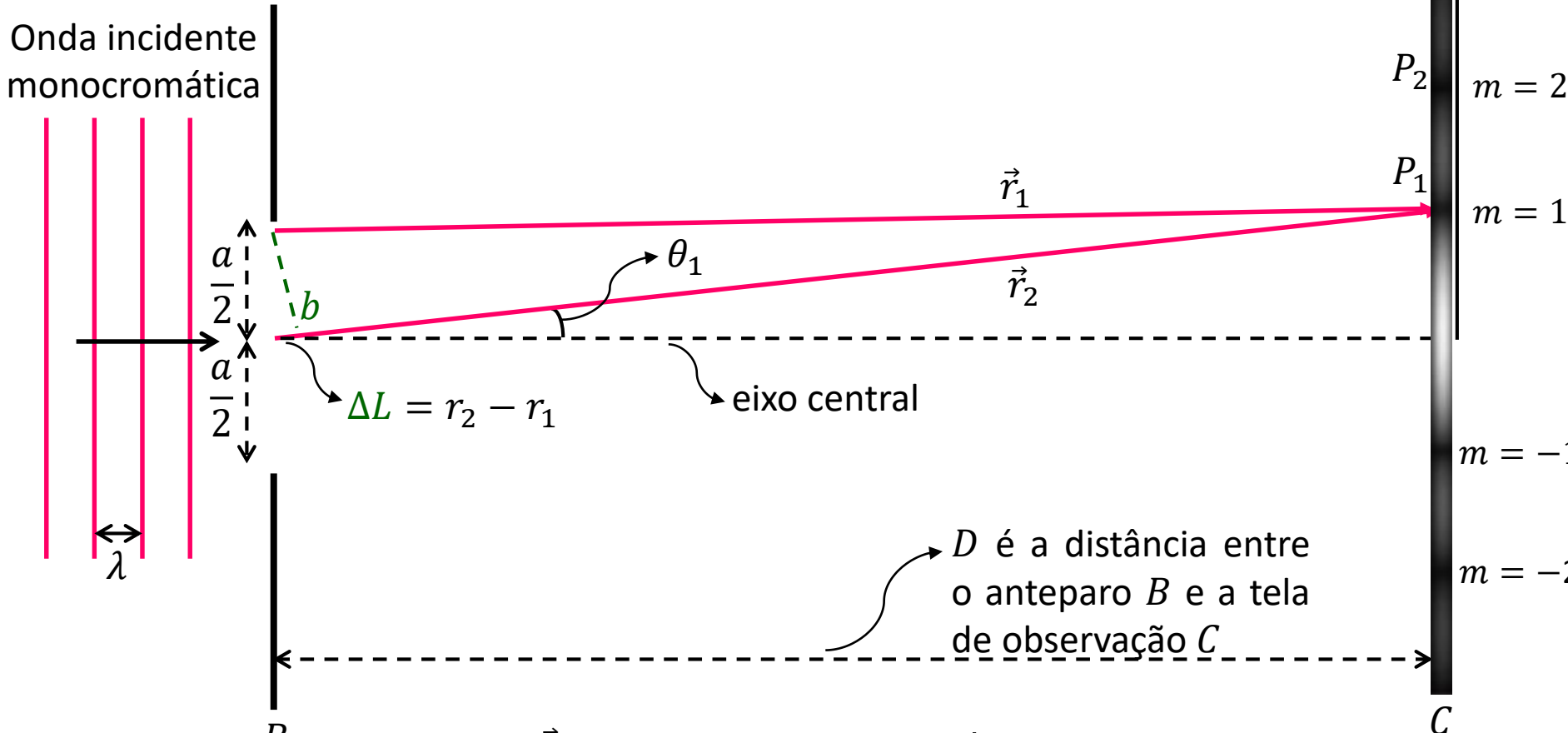
O Ponto Claro de Fresnel

Em 1819, um concurso promovido pela Academia Francesa de Ciências, visando provar que a teoria ondulatória da luz estava errada, premiaria o melhor trabalho sobre difração. O vencedor foi o físico e engenheiro Augustin-Jean Fresnel, que defendia a teoria ondulatória da luz. Entretanto, Siméon Denis Poisson, não satisfeito com a teoria de Fresnel, alertou a comissão julgadora sobre algo estranho que aconteceria caso Fresnel estivesse certo. Ao passarem pela borda de um objeto esférico ou um disco, as ondas luminosas convergiriam para a sombra desse objeto, observando-se um ponto de luz no centro da sombra. Um teste foi realizado pela comissão, provando que o *ponto claro de Fresnel* realmente existe!



Fotografia da **figura de difração** produzida por um disco. Observe os anéis de difração concêntricos e o ponto claro de Fresnel no centro da figura. Este experimento é quase igual ao que foi realizado pela comissão julgadora para testar a teoria de Fresnel, pois tanto a esfera que a comissão utilizou como o disco usado para obter essa foto possuem uma seção reta com uma borda circular.

36.3 Difração por uma Fenda: Posições dos Mínimos



Para que haja **interferência totalmente destrutiva** em P_1 (**primeiro mínimo**), devemos ter

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{a}{2} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

$a \sin \theta_1 = \lambda. \quad (36.1)$

A posição do **segundo mínimo de interferência** (θ_2) da parte de cima da figura do slide anterior (ponto P_2), pode ser determinada da mesma forma, exceto pelo fato de que, agora, dividimos a fenda em quatro regiões de mesma largura, $a/4$. Nesse caso,

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{a}{4} \sin \theta_2 = \frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad a \sin \theta_2 = 2\lambda. \quad (36.2)$$

No caso geral, as **posições das franjas escuras** (ou **mínimos de interferência**) acima e abaixo do eixo central são dadas pela seguinte equação geral:

$$a \sin \theta_m = m\lambda, m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (36.3)$$

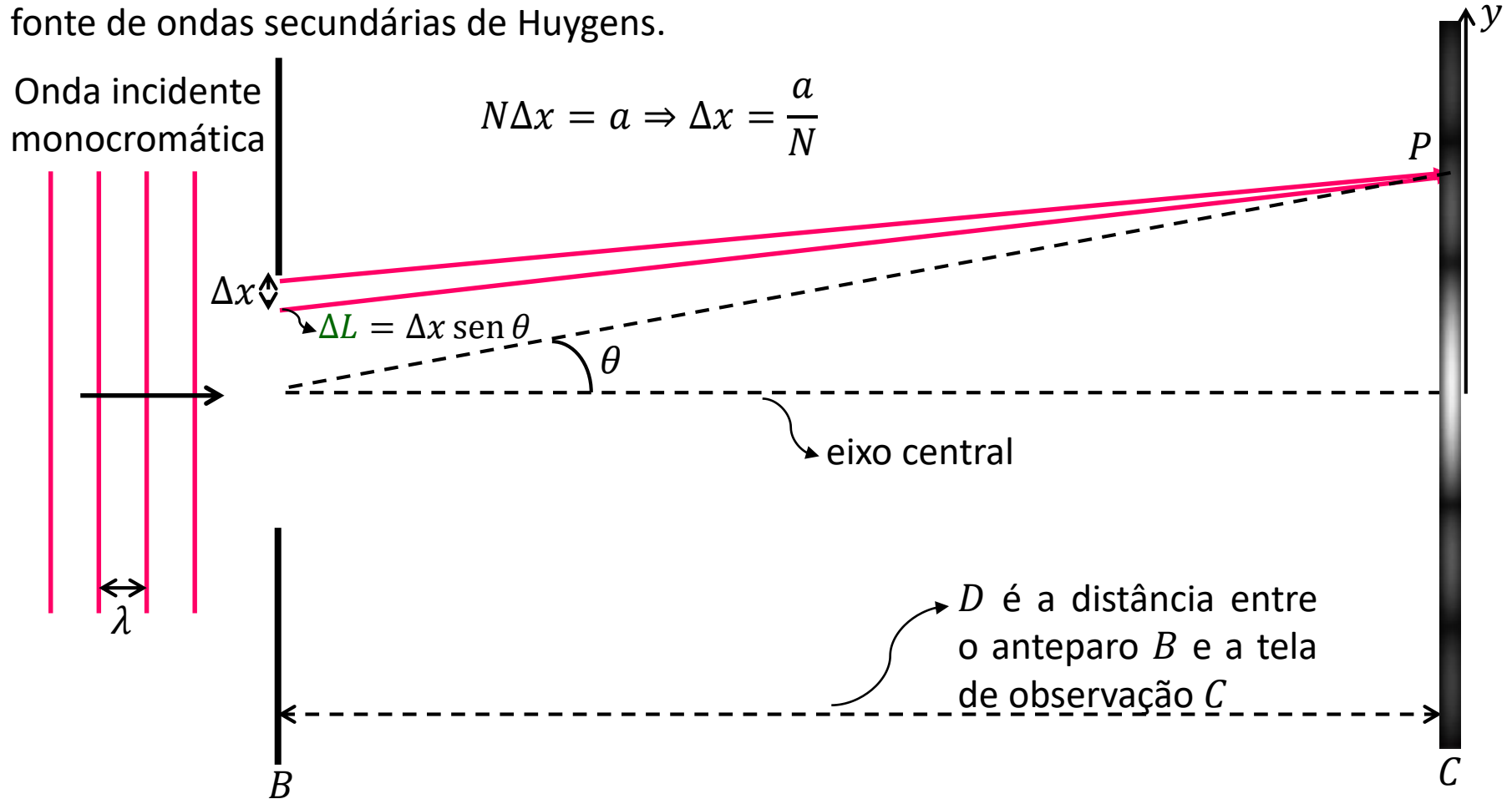
- Em um experimento de difração por uma fenda simples as franjas escuras correspondem às posições para as quais a diferença de percurso $a \sin \theta_m$ entre os raios superior e inferior é igual a $\pm\lambda, \pm 2\lambda, \pm 3\lambda, \dots$

35.4 Determinação da Intensidade da Luz Difrata por uma Fenda – Método Qualitativo



Pergunta: como encontrar uma expressão para a intensidade I da luz difratada em função de θ , ou seja, como encontrar $I(\theta)$?

Para determinar $I(\theta)$ dividimos a fenda de espessura a em N regiões de largura Δx , suficientemente estreitas para que possamos supor que cada região se comporta como uma fonte de ondas secundárias de Huygens.



Estamos interessados em combinar as ondas secundárias que chegam a um ponto arbitrário P na tela de observação C , definido por um ângulo θ em relação ao eixo central, para determinar a amplitude E_θ da componente do campo elétrico da onda resultante no ponto P . A intensidade da luz $I(\theta)$ no ponto P é dada por

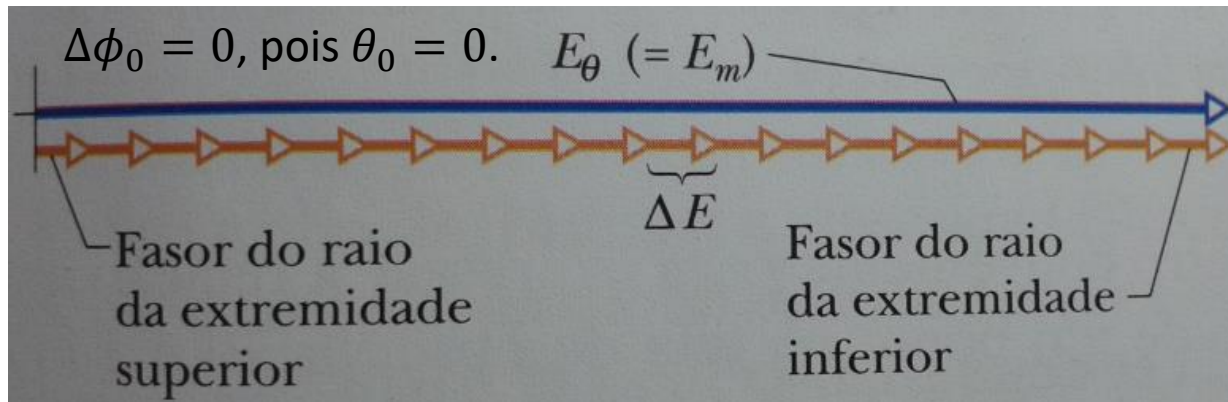
$$I(\theta) = \frac{1}{2c\mu_0} E_\theta^2$$

Para determinar E_θ precisamos conhecer as fases relativas das ondas secundárias. A diferença de fase entre as ondas secundárias provenientes de regiões vizinhas pode ser escrita como

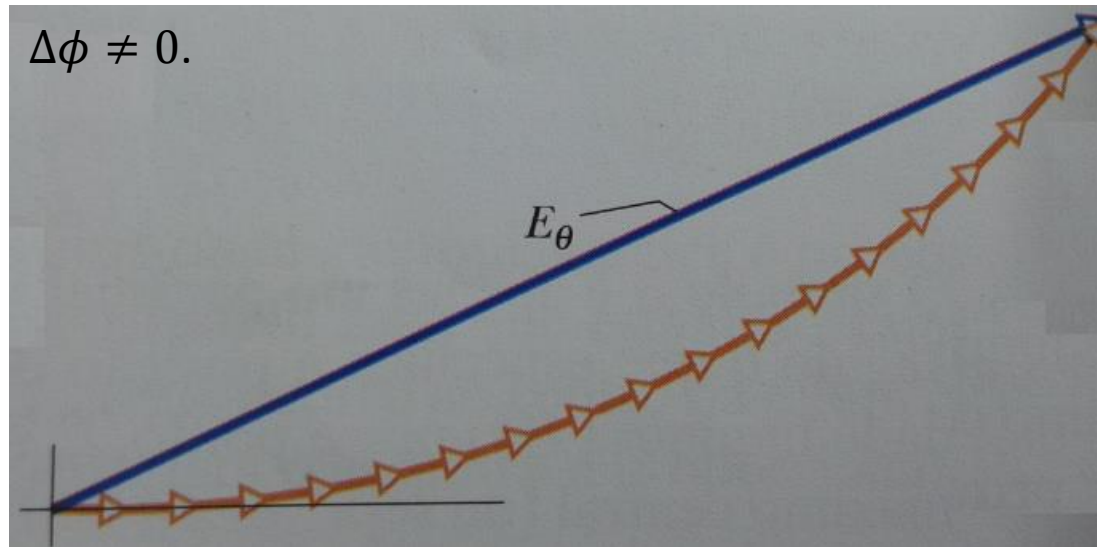
$$\left(\begin{array}{c} \text{Diferença} \\ \text{de fase} \end{array} \right) = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Diferença} \\ \text{de percurso} \end{array} \right) \longrightarrow \Delta\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) (\Delta x \sin \theta). \quad (36.4)$$

Vamos supor que as ondas secundárias que chegam ao ponto P têm a mesma amplitude, ΔE . Uma forma de calcular a amplitude E_θ da onda resultante no ponto P é somar as ondas secundárias usando o método de fasores. Para isso, construímos um diagrama com N fasores, cada um correspondendo à onda secundária proveniente de uma das regiões da fenda.

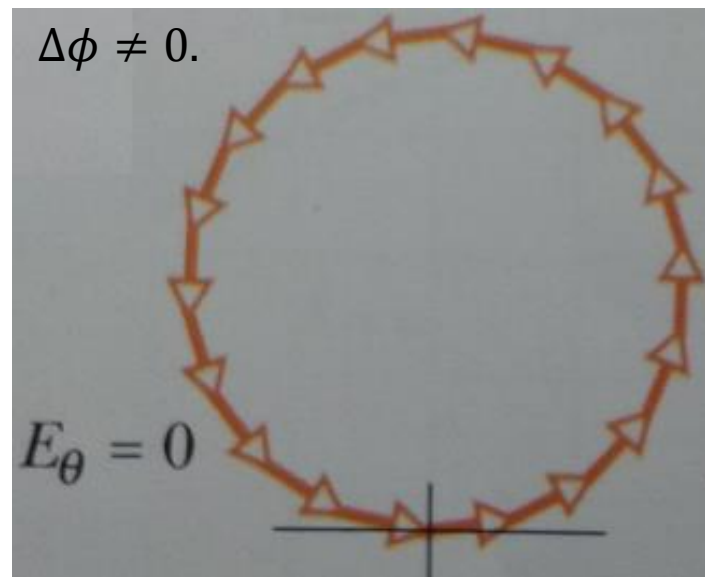
➤ Diagrama de fasores (com $N = 18$ fasores) correspondente ao máximo central, localizado no ponto P_0 , para o qual $\theta_0 = 0$.



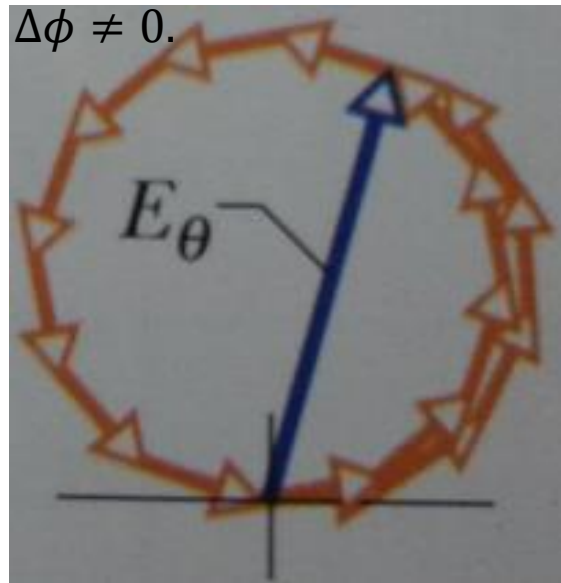
- Diagrama de fasores (com $N = 18$ fasores) correspondente a um ponto P que faz um ângulo θ com o eixo central.



- Diagrama de fasores (com $N = 18$ fasores) correspondente ao primeiro mínimo, localizado no ponto P_1 , que faz um ângulo θ_1 com o eixo central.



- Diagrama de fasores (com $N = 18$ fasores) correspondente ao primeiro máximo secundário da figura de difração.



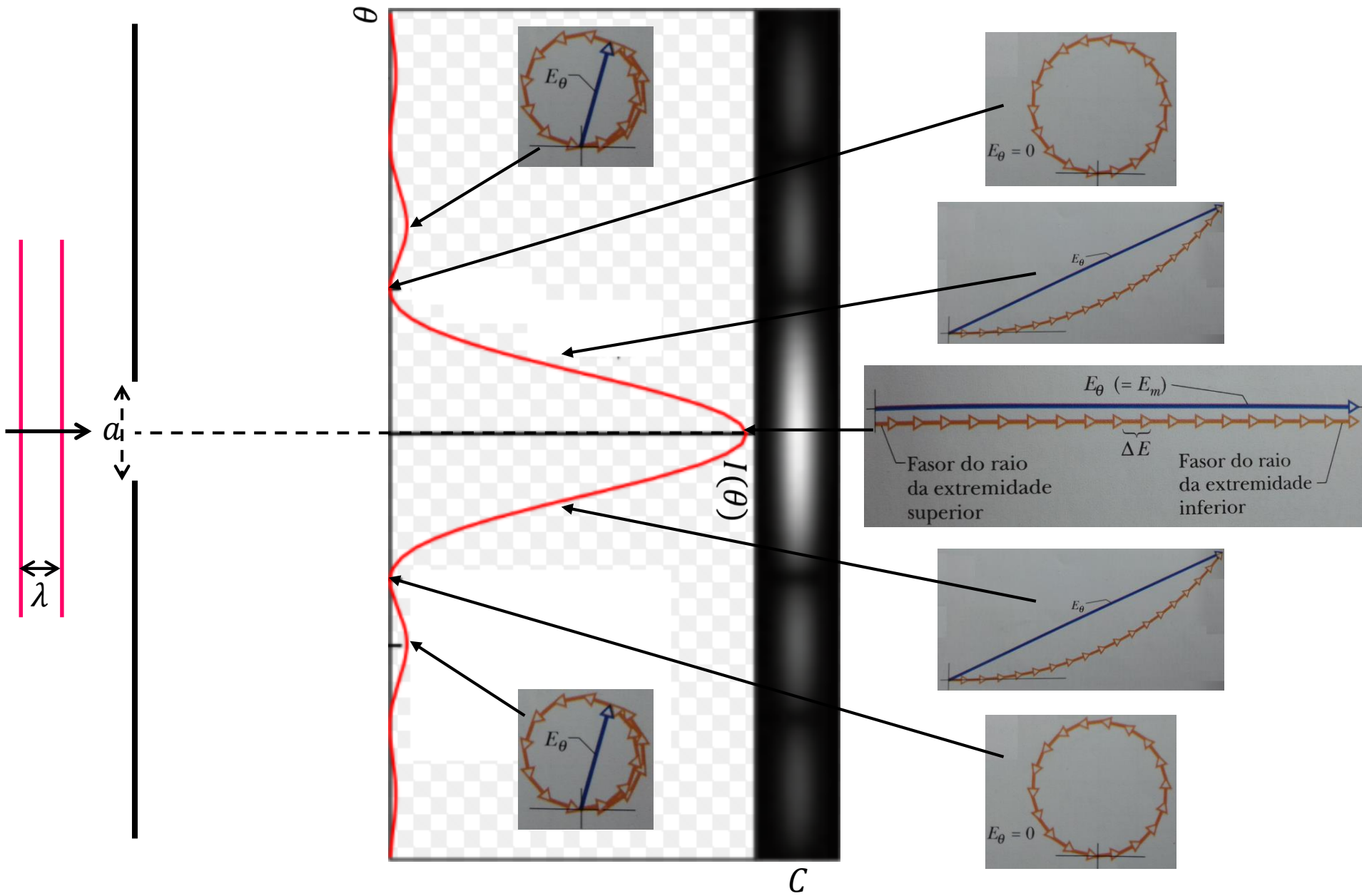
36.5 Determinação da Intensidade da Luz Difrata por uma Fenda – Método Quantitativo

É possível demonstrar que a intensidade $I(\theta)$ é dada por

$$I(\theta) = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad (36.5)$$

onde

$$\alpha \equiv \frac{1}{2} \phi = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta. \quad (36.6)$$



$$I(\theta) = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (36.5)$$

$$\alpha \equiv \frac{1}{2} \phi = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (36.6)$$

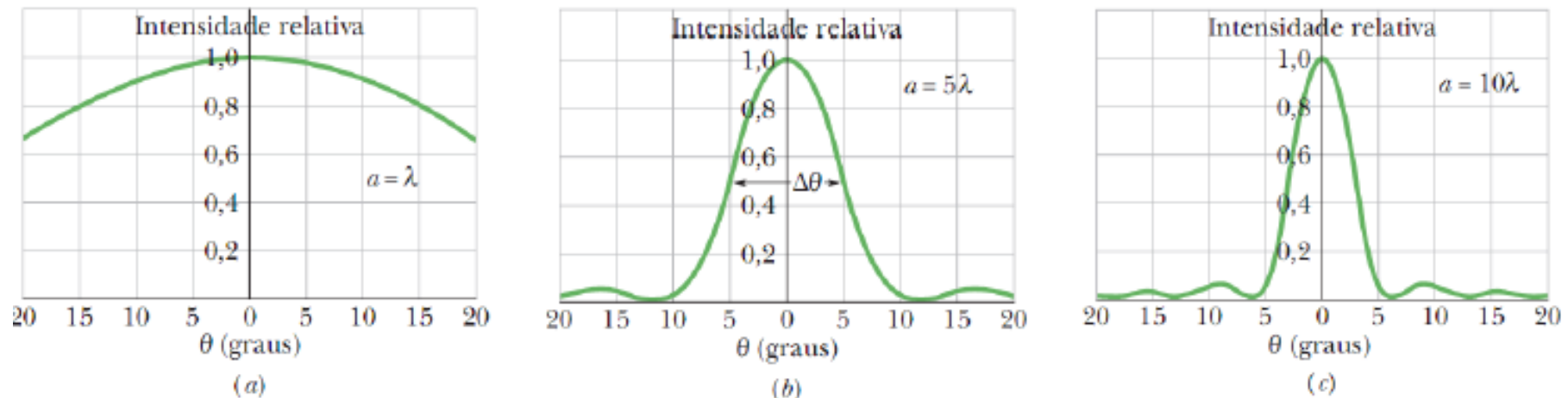


Figura 36-8 Intensidade relativa da figura de difração de uma fenda para três valores da razão a/λ . Quanto maior é a fenda, mais estreito é o máximo central.

Posições dos Mínimos a Partir da Equação para a Intensidade

De acordo com a equação (36.5), os mínimos de intensidade ocorrem nos pontos em que

$$\frac{\sin \alpha}{\alpha} = 0 \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = 0 \text{ e } \alpha \neq 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha = m\pi, \text{ para } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (36.7)$$

Substituindo esses resultados na equação (36.6), ficamos com

$$m\pi = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad \Rightarrow \quad a \sin \theta_m = m\lambda, \text{ para } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \quad (36.8)$$

que é exatamente igual à equação (36.3). **E as posições dos máximos?**

Exercícios sugeridos das Seções 36.3 e 36.5: 1, 2, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 e 15.

7) A distância entre o primeiro e o quinto mínimos da figura de difração por uma fenda é $0,35\text{ cm}$ com a tela a 40 cm de distância da fenda quando é usada uma luz com um comprimento de onda de 550 nm .

(a) Determine a largura da fenda? [Ou seja, $a = ?$]

(b) Calcule o ângulo do primeiro mínimo de difração. [Ou seja, $\theta_1 = ?$]

[Dicas: $a \sin \theta_m = m\lambda$ para $m = 1$ e 5 . Além disso, quando $a \ll D \Rightarrow \sin \theta_m \approx y_m/D$.

Respostas: (a) $a = 2,5\text{ mm}$. (b) $\theta_1 = 2,2 \times 10^{-4}\text{ rad}$.

