

# Óptica



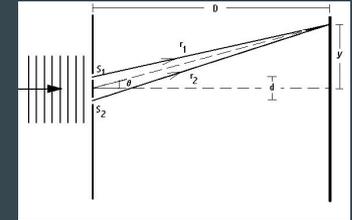
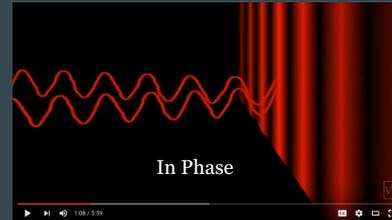
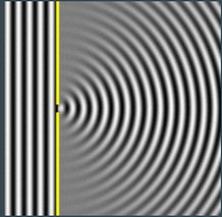
Aula 10 - Interferência e Difração: Aplicações  
ewout@usp.br

# Aula passada

Difração

Interferência

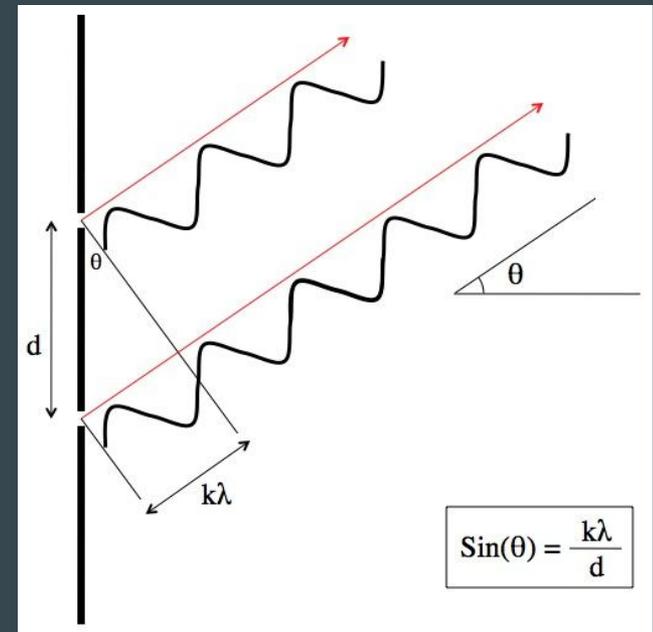
franjas com máximo de intensidade em  $\sin \theta_m = m \lambda / d$  ( $m=0,1,2$ )



Definir os conceitos de difração e interferência, ‘em fase’ e aplicar à dedução fenda dupla.

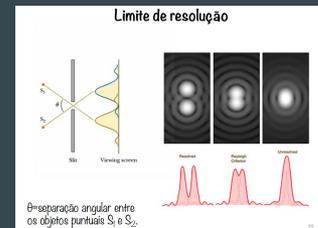
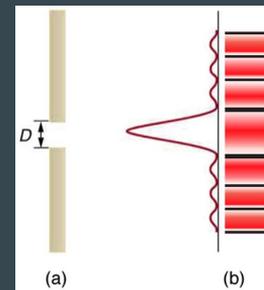
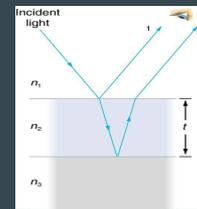
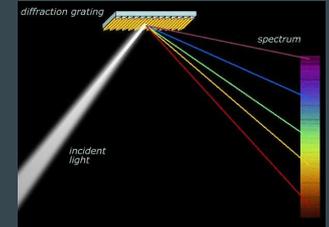
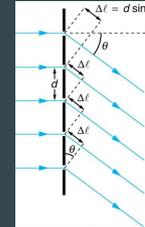
Condição para interferência **construtiva**:  
diferença do caminho  $\Delta x = m\lambda$  ( $m=0,1,2\dots$ ) ou  
diferença de fase  $\Delta\phi = \pi$

Condição para interferência **destrutiva**:  
 $\Delta x = (m+1/2)\lambda$  ou  $\Delta\phi = \pi/2$



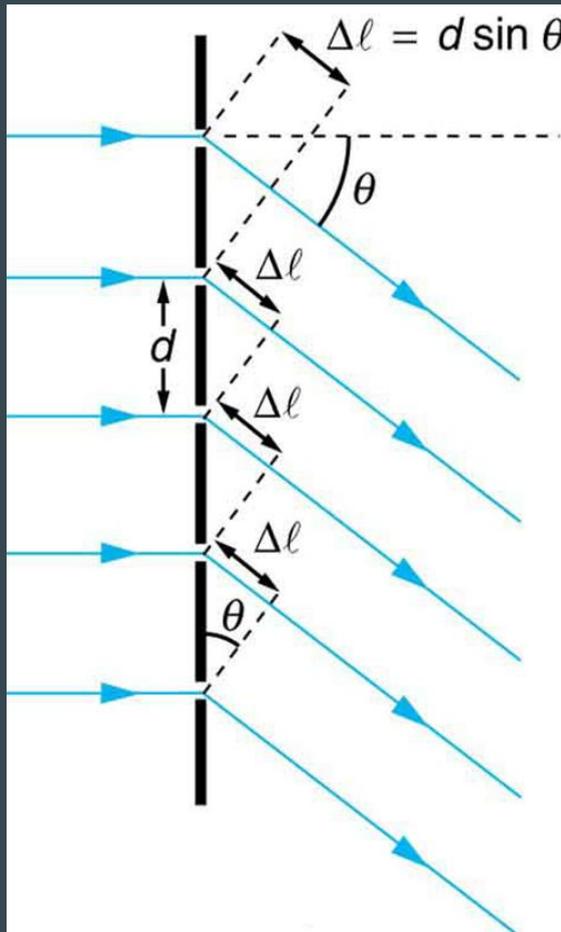
# Aplicações de interferência

1. Repetição: “grades de difração”
2. ~~Filmes finos~~ ← não faz parte da disciplina
3. Difração de fenda única (“de Fraunhofer”)
4. Limites da acuidade visual e da resolução angular de instrumentos óticos

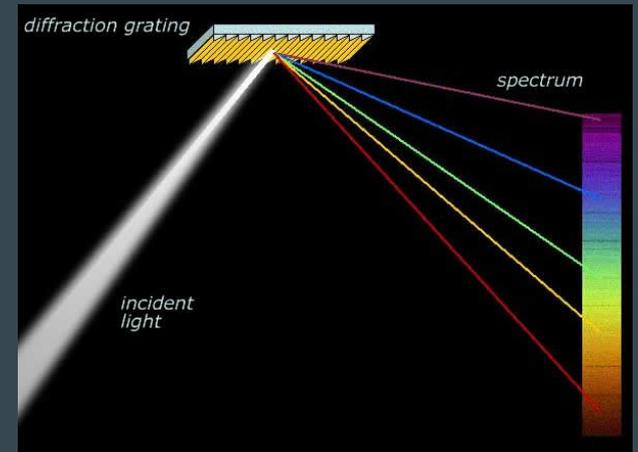


# Repetição: “grades de difração”

Interferência construtiva se  $\Delta l = d \sin(\theta_m) = m\lambda$

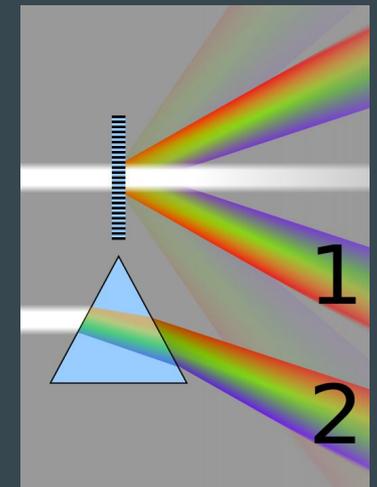


funciona  
para reflexão  
também!



Não confundir  
com dispersão!

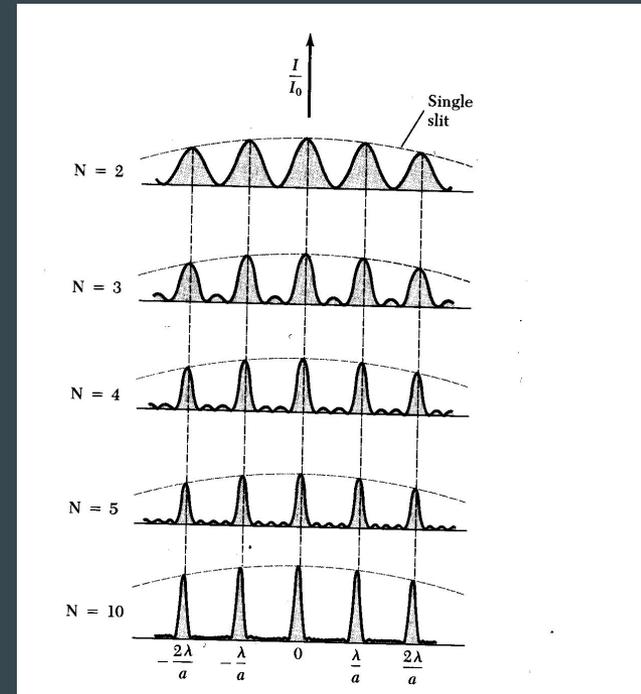
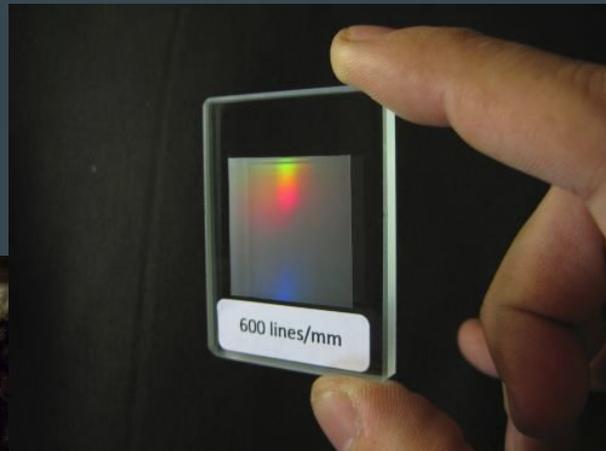
1 ≠ 2



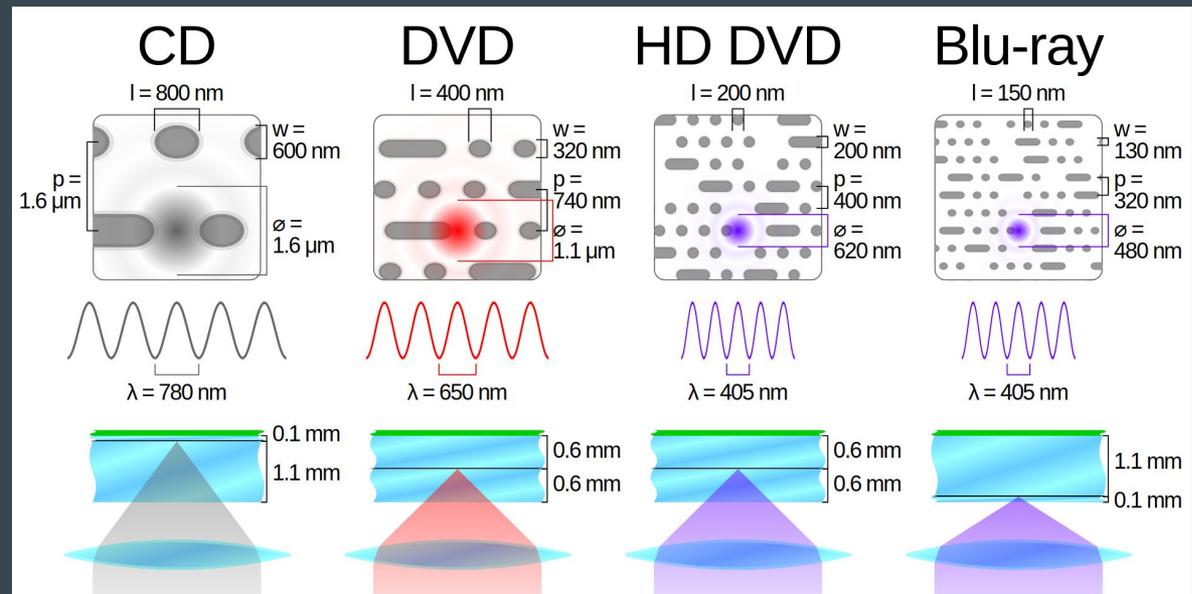
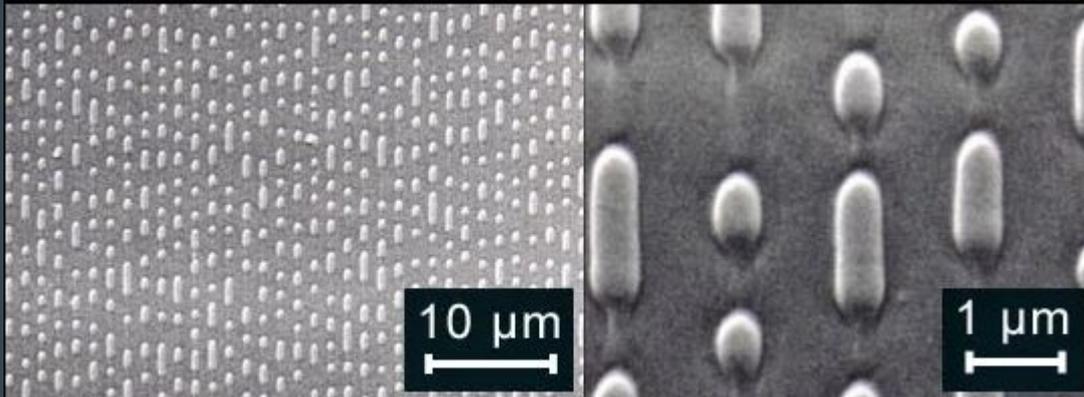
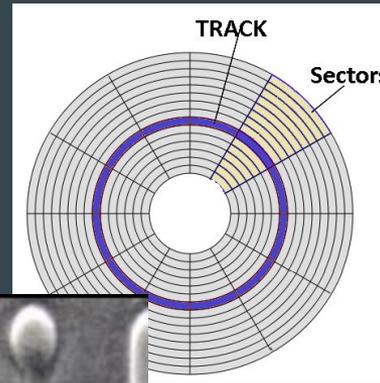
# Repetição das estruturas de difração

Os ângulos de interferência (construtiva) não mudam, mas a intensidade dos máximos fica mais bem definida.

Útil na prática! (espectroscopia)



# Determinar distância entre faixas de um CD



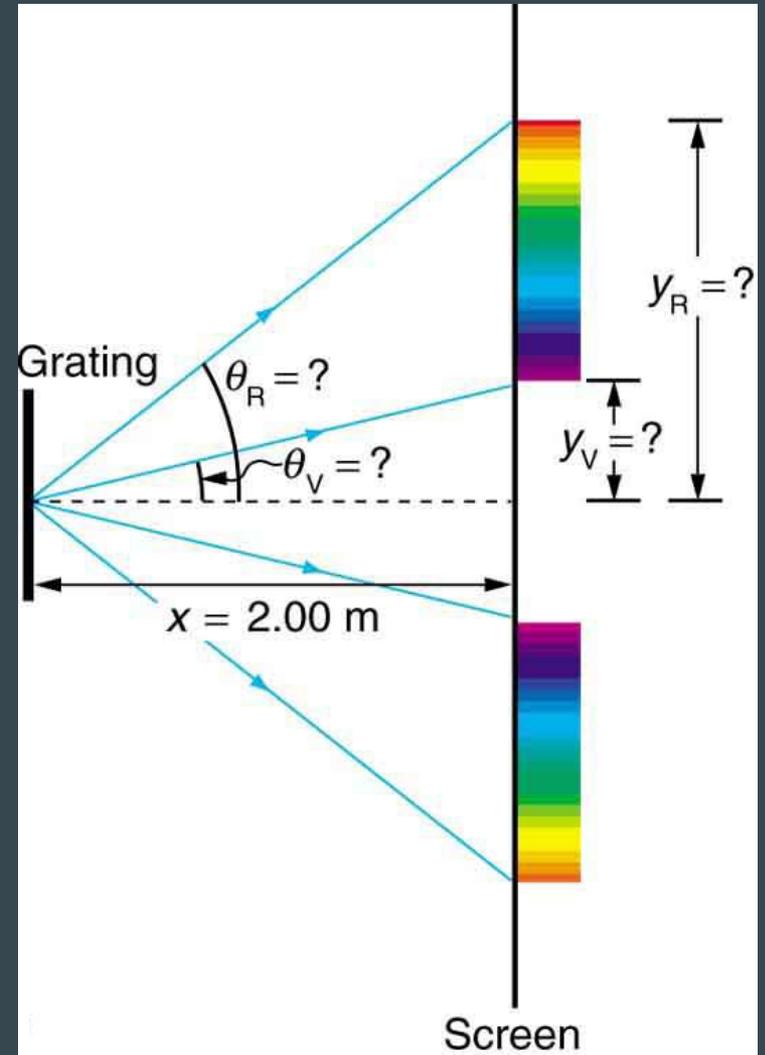
# Exercício

Grade de difração com 10 mil linhas / cm. Qual é o ângulo da linha de difração de primeira ordem para luz vermelho, e para luz violeta?

Resposta:

$$\sin(\theta) = m\lambda/d, m=1, d=1 \mu\text{m} \rightarrow$$

$$\theta_{\text{violeta}} = 22^\circ \quad \theta_{\text{vermelho}} = \underline{49^\circ}$$



Crédito: [College Physics](#). OpenStax CNX licenciado sob CC-BY

# Filmes finos e interferência

Fenômenos onde há interferência entre as várias reflexões da filme. Regras de solução de problemas:

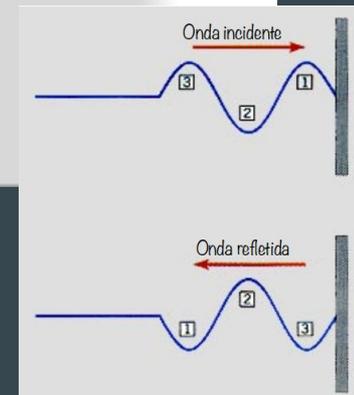
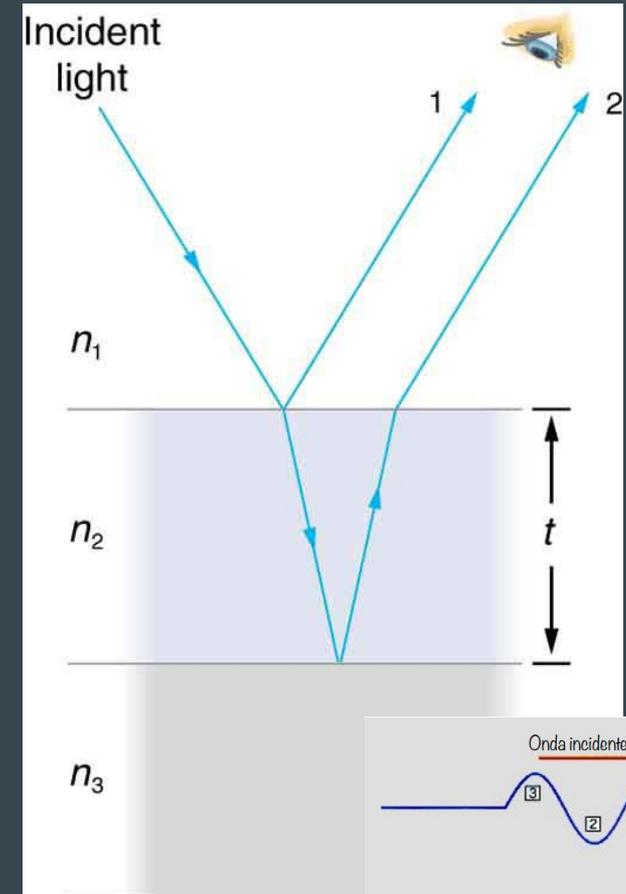
1. Mudança de fase  $\lambda/2$  ou  $\pi$  ao refletir quando  $n_2 > n_1$
2. Levar em conta que  $\lambda_n = \lambda/n$

Exemplo: camada anti-reflexo,  $n_1 < n_2 < n_3$

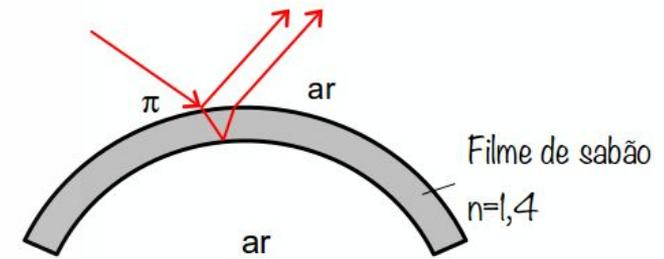
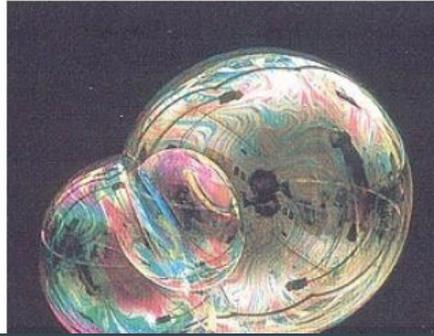
Raio 1: muda  $\pi$  em relação a raio 2.

Raio 2: muda  $\pi$  e percorre  $2t$  a mais (com  $\lambda_n$ )

Interferência **destrutivo** (o que queremos...) quando  $2t = \lambda_n / 2 \rightarrow t = \lambda / (4n)$



# Interferência em filmes finos, exemplo 2:

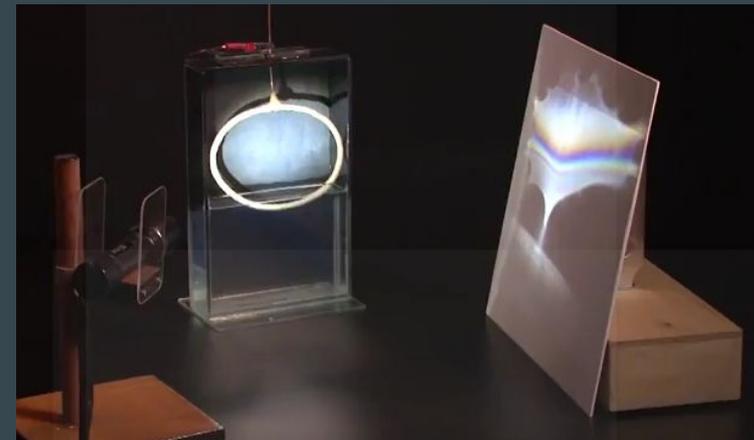


Raio 1: muda  $\pi$  ( $\lambda/2$ ) em relação a raio 2.

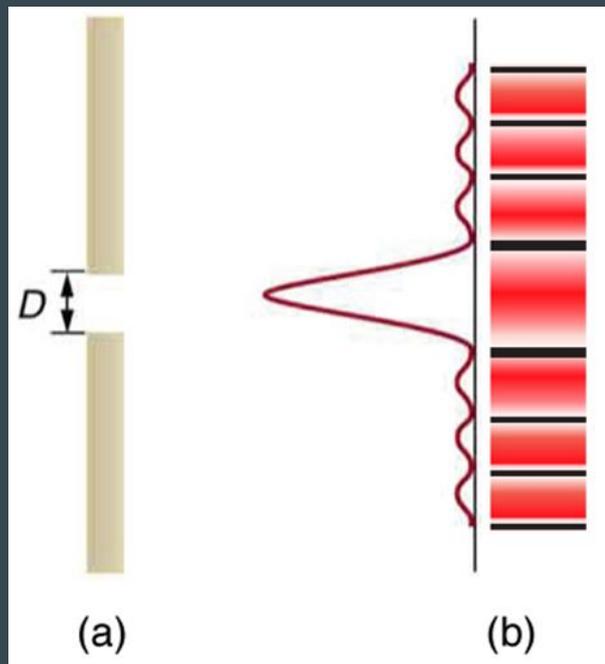
Raio 2: percorre  $2t$  a mais (com  $\lambda_n = \lambda/n$ )

Interferência **construtivo** quando  $2t = \lambda_n / 2$  (ou  $2t = m\lambda_n / 2$ )

$$\rightarrow t = \lambda / (4n)$$

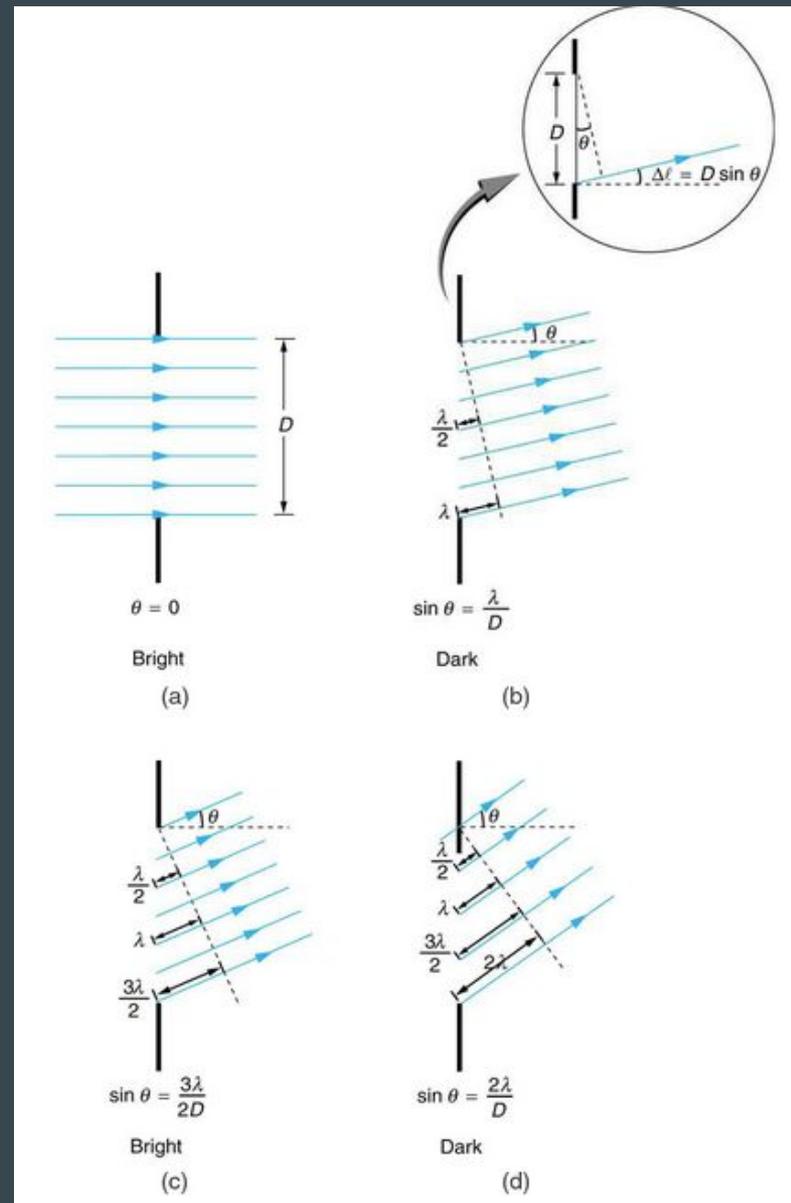


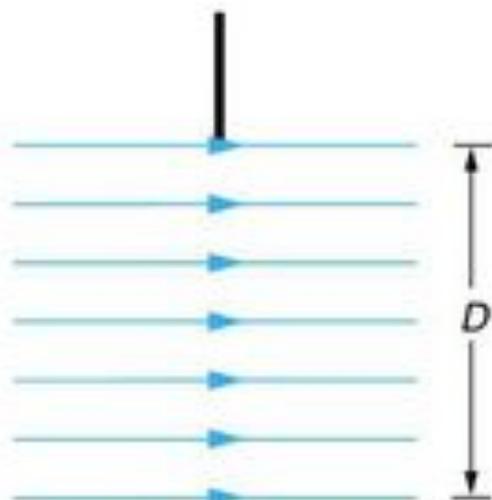
# Difração de fenda única (“de Fraunhofer”)



Interferência **destrutiva** (!) se  $\delta = m\lambda$   
 $= D \sin(\theta_{\text{destr}})$  ( $m=1, 2, 3\dots$ ).

Crédito: [College Physics](#), OpenStax CNX

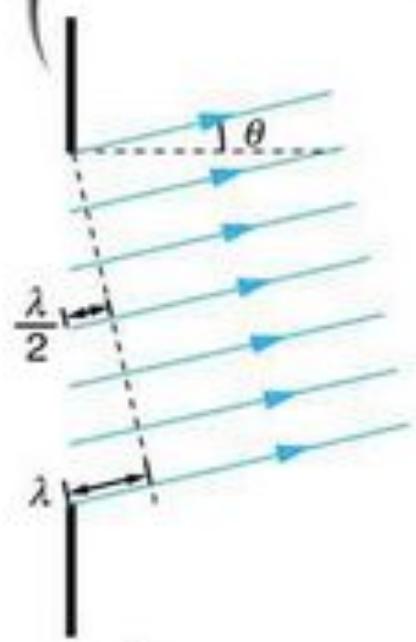
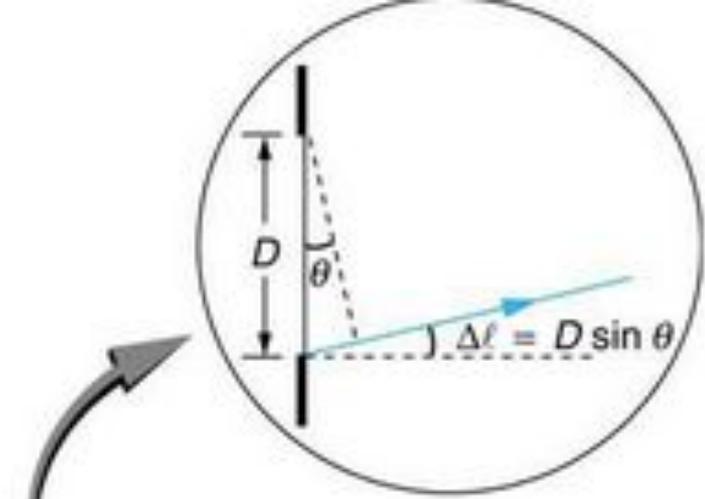




$\theta = 0$

Bright

(a)

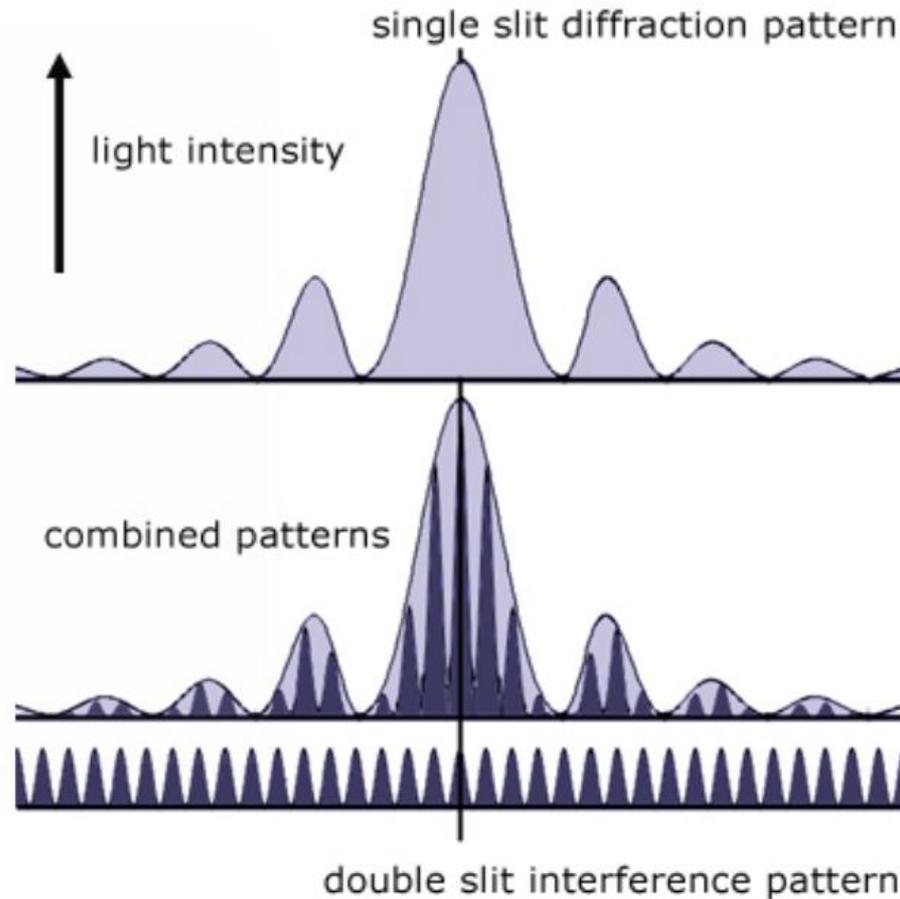
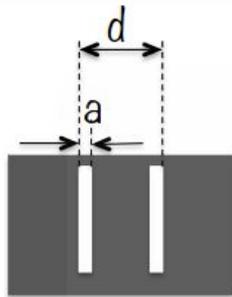


$\sin \theta = \frac{\lambda}{D}$

Dark

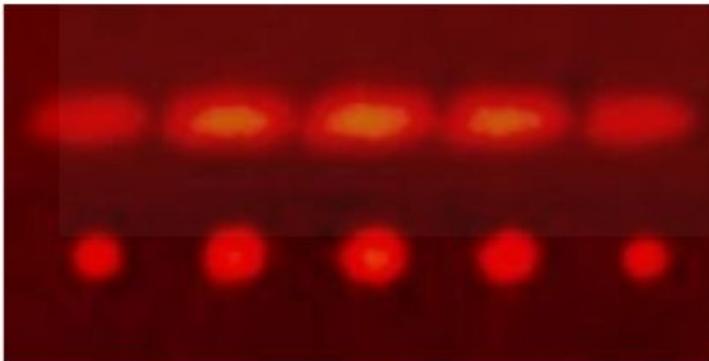
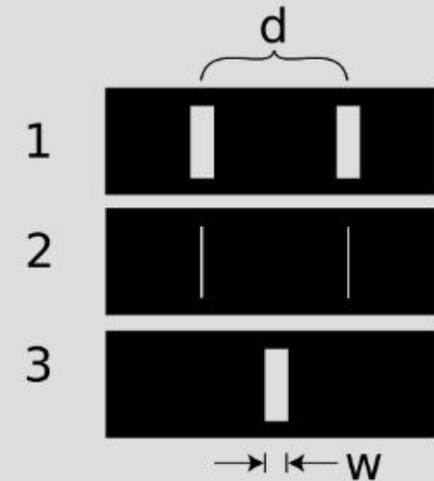
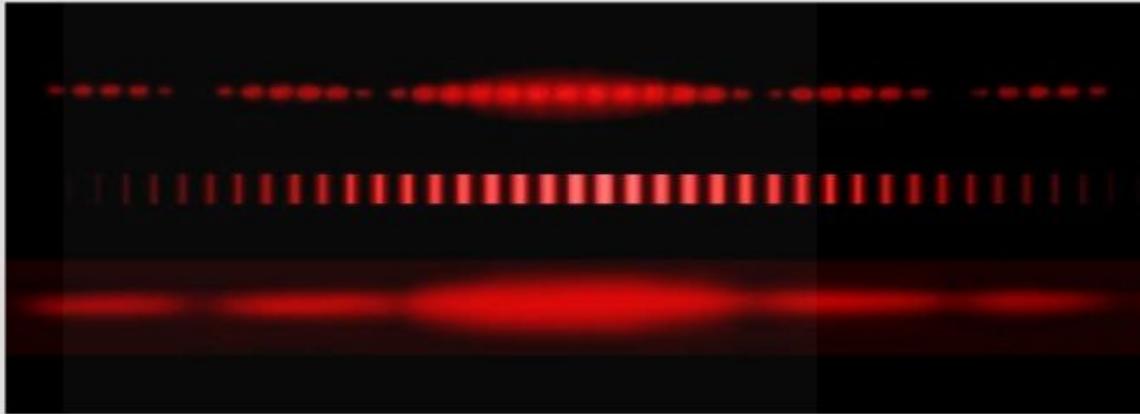
(b)

# Combinação fenda simples e fenda dupla



<http://www.a-levelphysicstutor.com/wav-light-inter.php>

# Combinação fenda simples e fenda dupla

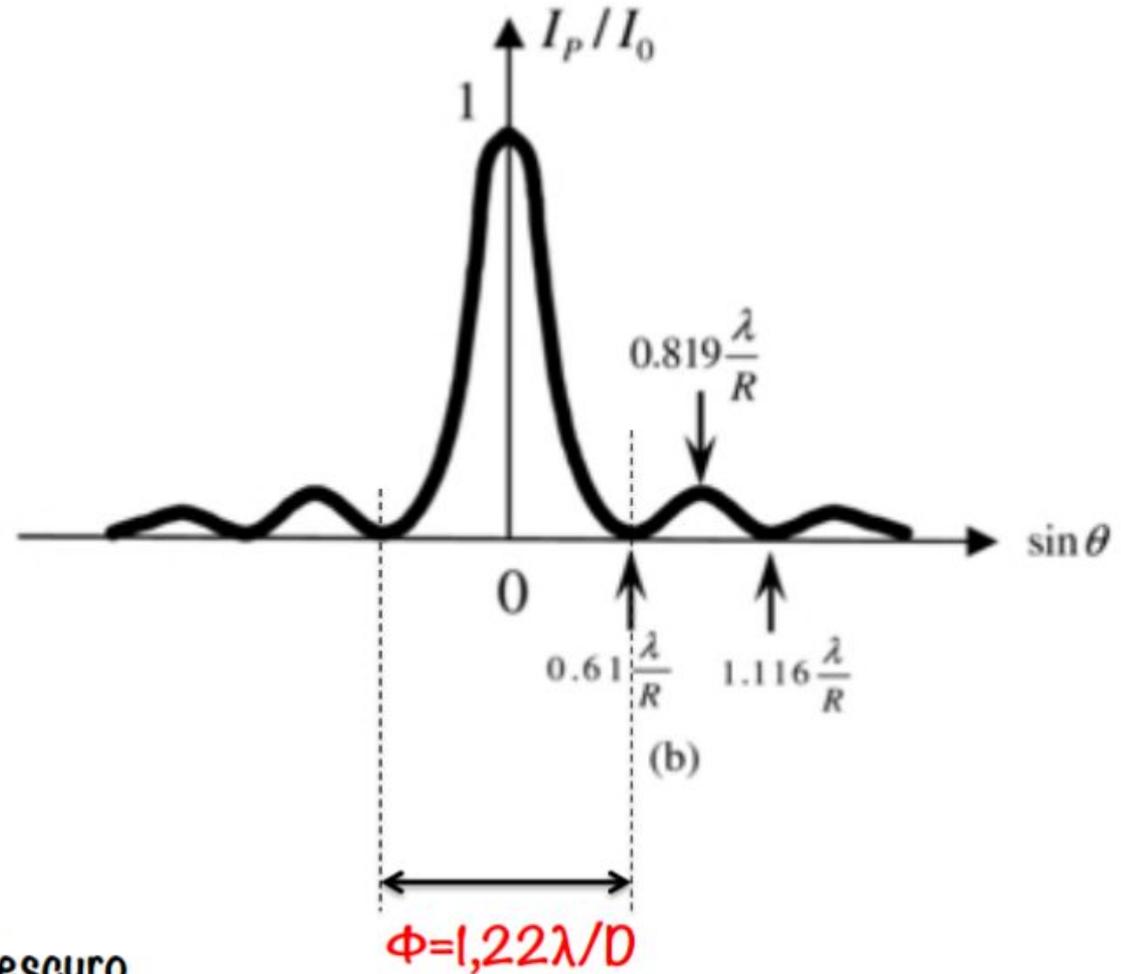
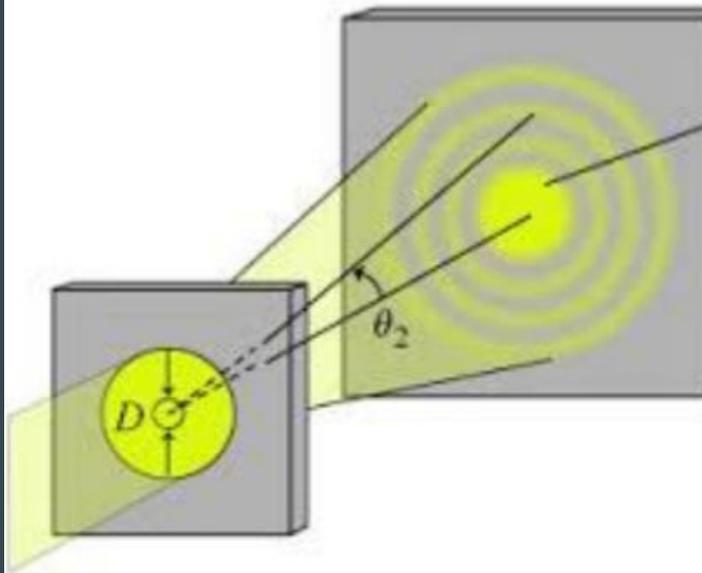


2 fendas



5 fendas

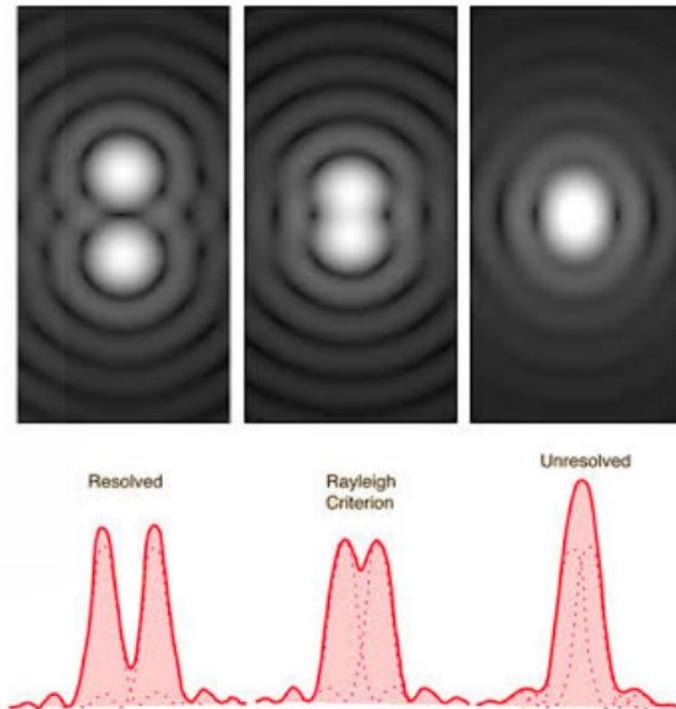
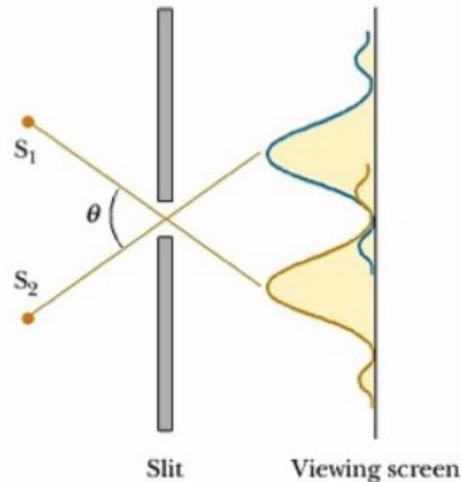
# Difração por uma abertura circular



$\Phi$ =diâmetro do primeiro anel escuro

# Limites da acuidade visual e da resolução angular de instrumentos óticos

## Limite de resolução



$\theta$  = separação angular entre os objetos pontuais  $S_1$  e  $S_2$ .

# Limites da acuidade visual e da resolução angular de instrumentos óticos

Para fenda simples com largura  $d$ , primeiro **mínimo** de intensidade em

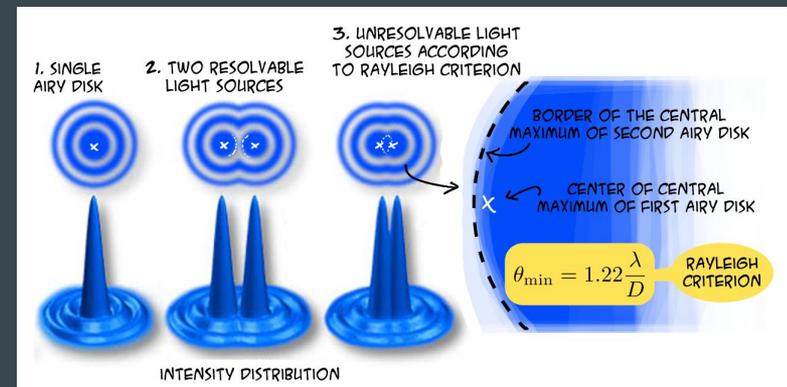
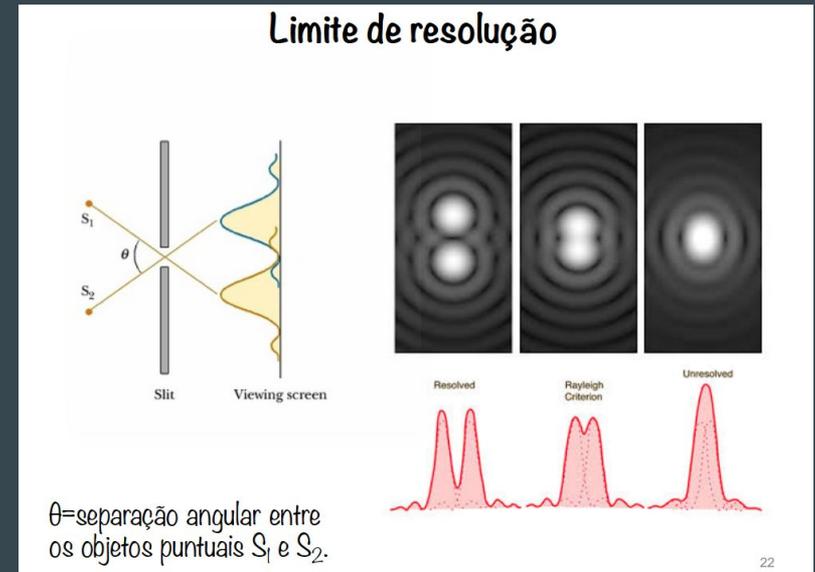
$$\text{sen}(\theta) = \lambda/d$$

→

ângulo mínimo para que as imagens de duas fontes de luz ainda podem ser *resolvidas*:

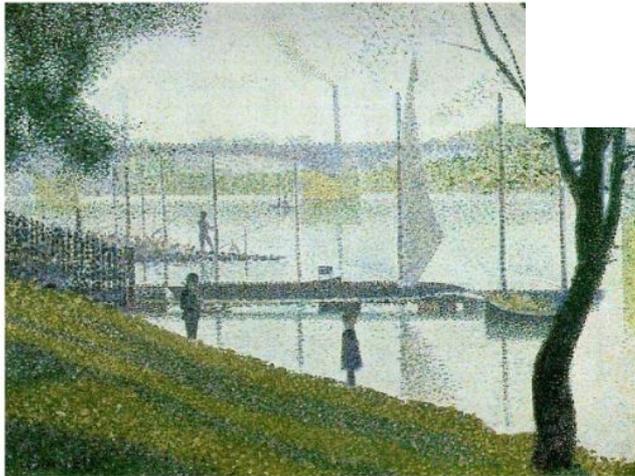
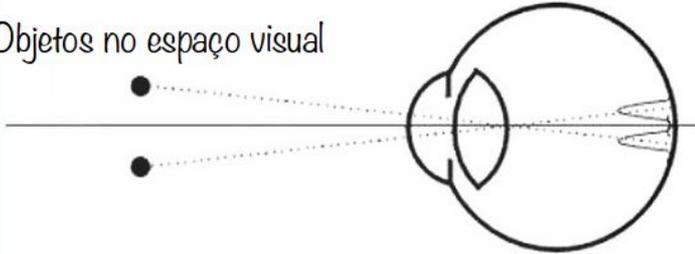
$$\text{sen}(\theta) = \lambda/d \text{ (fenda simples)}$$

$\text{sen}(\theta) = 1,22\lambda/D$  (abertura circular, diâmetro  $D$ )

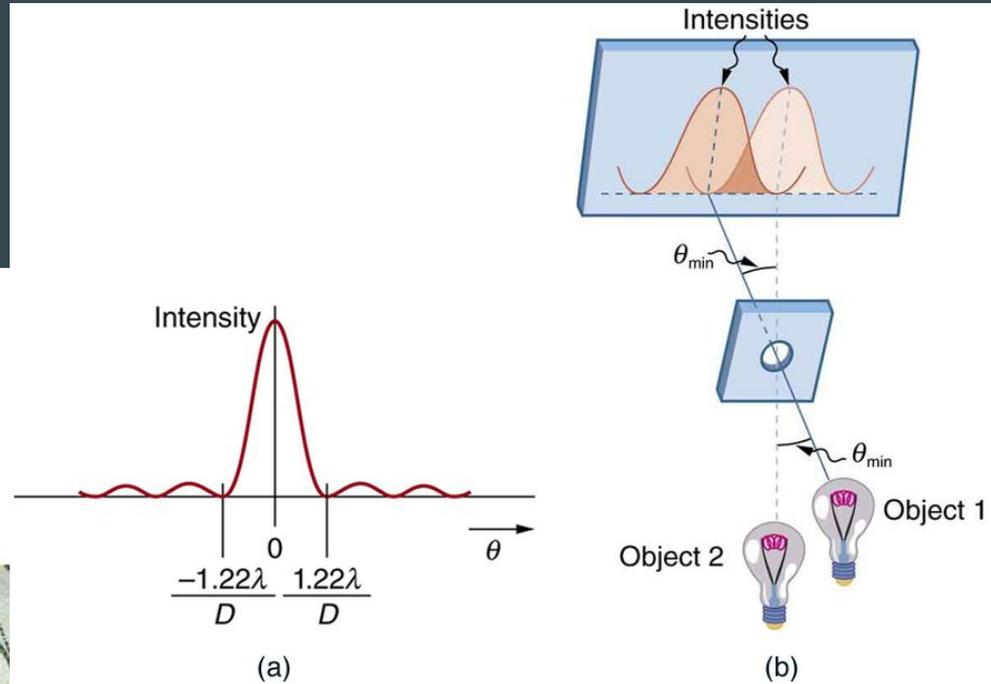


# Limites da acuidade visual e da resolução angular de instrumentos óticos

Objetos no espaço visual



George Serraut

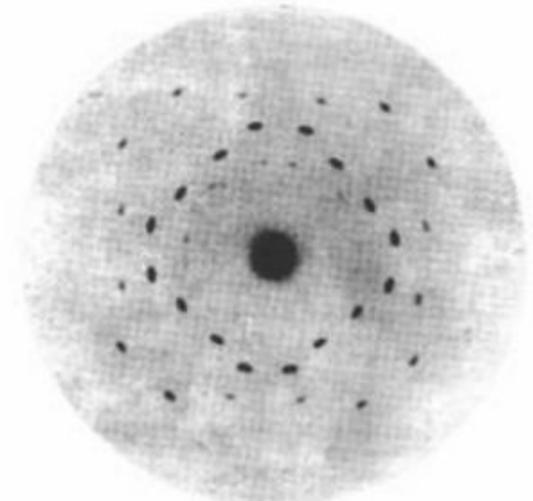


# Difração de Raios X e lei de Bragg

1895 - Descoberta por W. Roetgen

1913 - Max von Laue

- utiliza para revelar estrutura regular 3D de um cristal

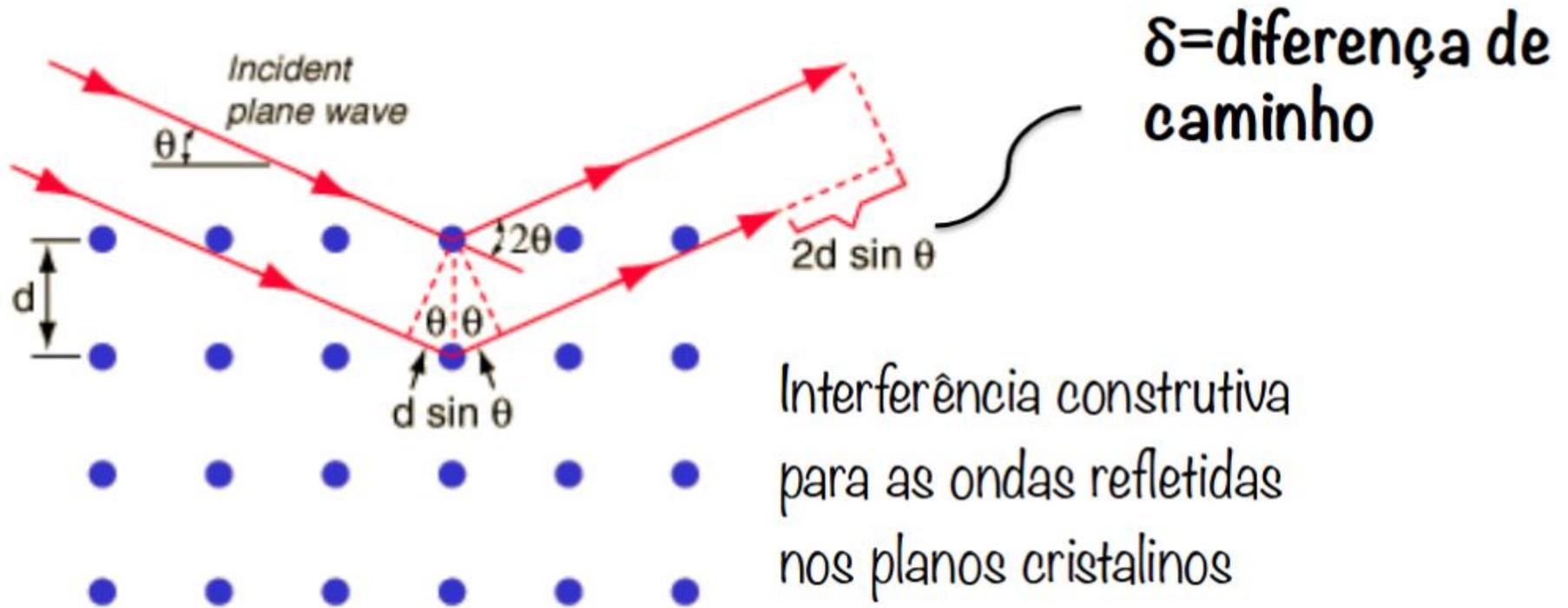


*X-ray photograph of zinc blende*

Onda eletromagnética -  $\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$

Espaçamento entre os átomos em um sólido  $\approx \lambda$  do raios X

# Difração de Raios X e Lei de Bragg



Lei de Bragg

$$\delta = 2d \sin \theta = n\lambda$$

# Aplicação: telescópios e o limite de difração

Mesmo abertura grandes como as de telescópio (2-10 metros) resultam em padrões de interferência com mínimos de intensidade para

$$\text{sen}(\theta) = 1,22\lambda/D$$

Exercício: compare tamanho angular de estrelas próximos com padrão de difração.



# Estudo dirigido, resolução do olho humano

1. Verifique experimentalmente qual é a sua resolução angular. Desenhe 2 linhas em papel com 1 mm de distância. Verifique a partir de qual distância não consegue mais distinguir
2. Em princípio este limite da acuidade visual pode ser devida a
  - a. tamanho dos cones e bastonetes ( $\approx 2 \mu\text{m}$ )
  - b. difração na pupila (diâmetro  $\approx 5 \text{ mm}$ )

Calcular ângulos para a. 2 bastonetes adjacentes. e b. o ângulo do disco central no padrão de difração de abertura circular

