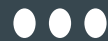


Óptica



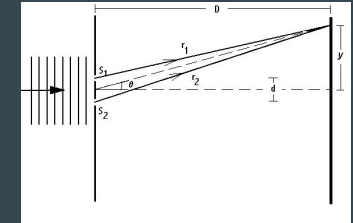
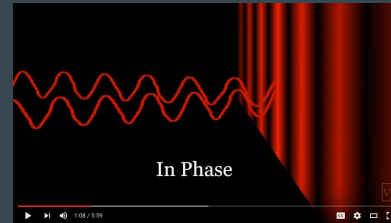
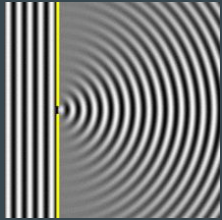
Aula 10 - Interferência e Difração: Aplicações
ewout@usp.br

Aula passada

Difração

Interferência

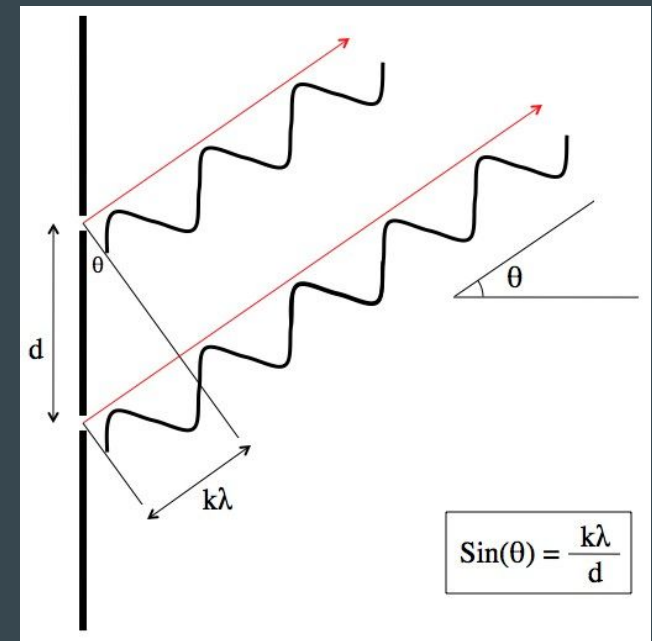
franjas com máximo de intensidade em $\sin \theta_m = m \lambda / d$ ($m=0,1,2$)



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

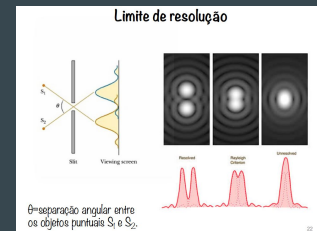
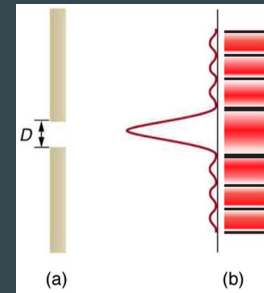
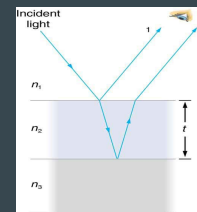
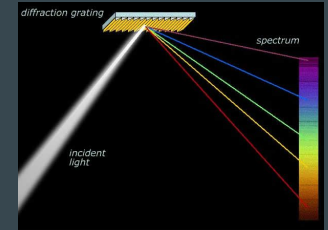
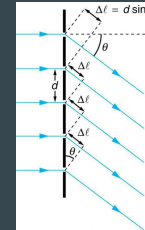
Condição para interferência **construtiva**: diferença do caminho $\Delta x = m\lambda$ ($m=0,1,2\dots$) ou diferença de fase $\Delta\phi = 0$ ou 2π

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



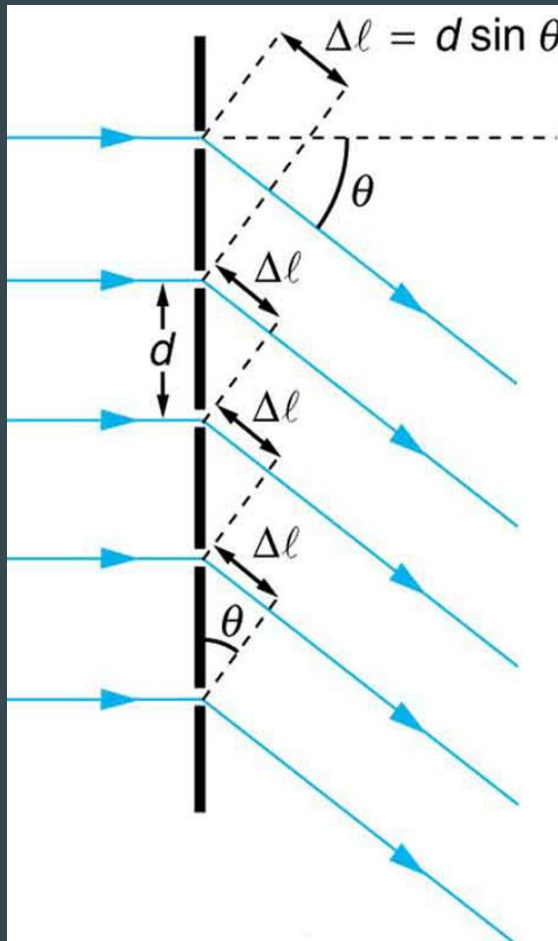
Aplicações de interferência

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

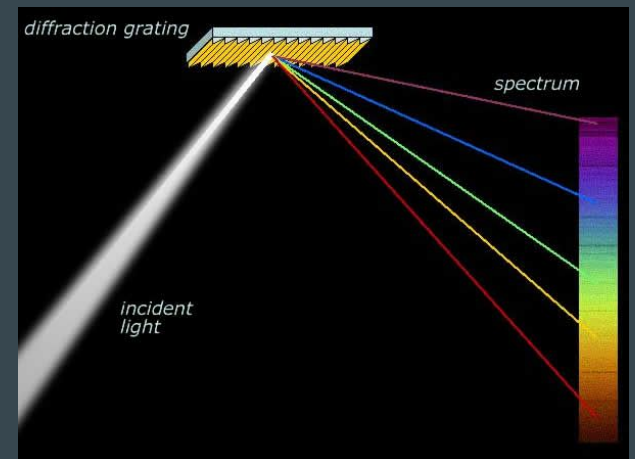


Repetição: “grades de difração”

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

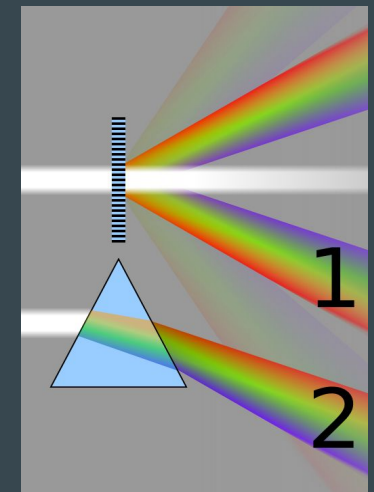


funciona
para reflexão
também!



Não confundir
com dispersão!

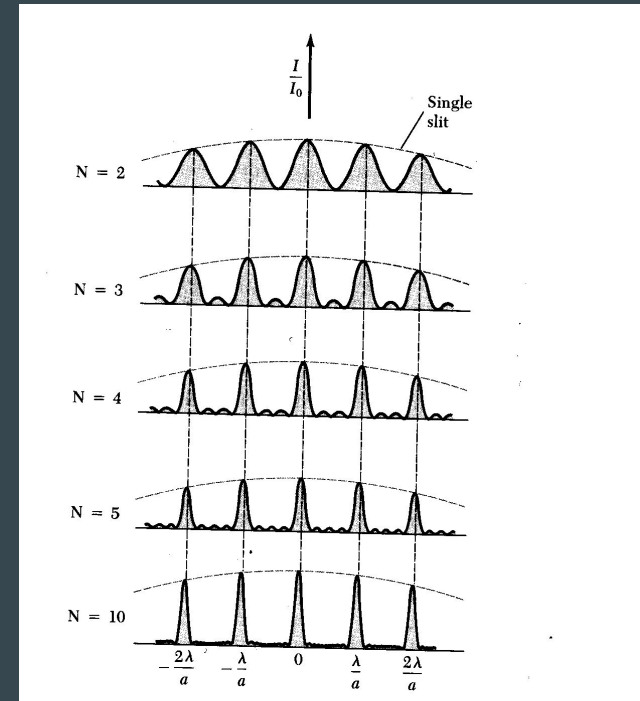
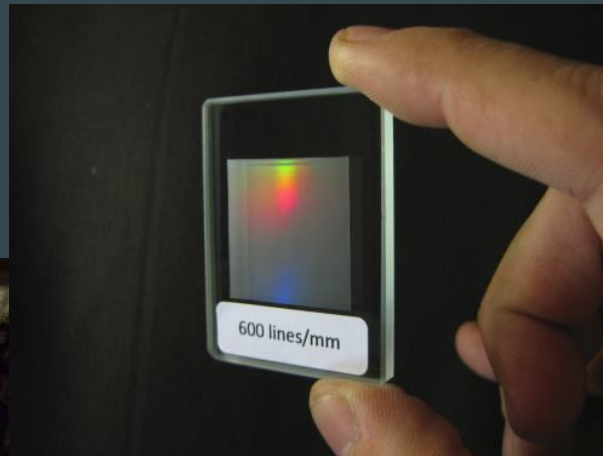
1 ≠ 2



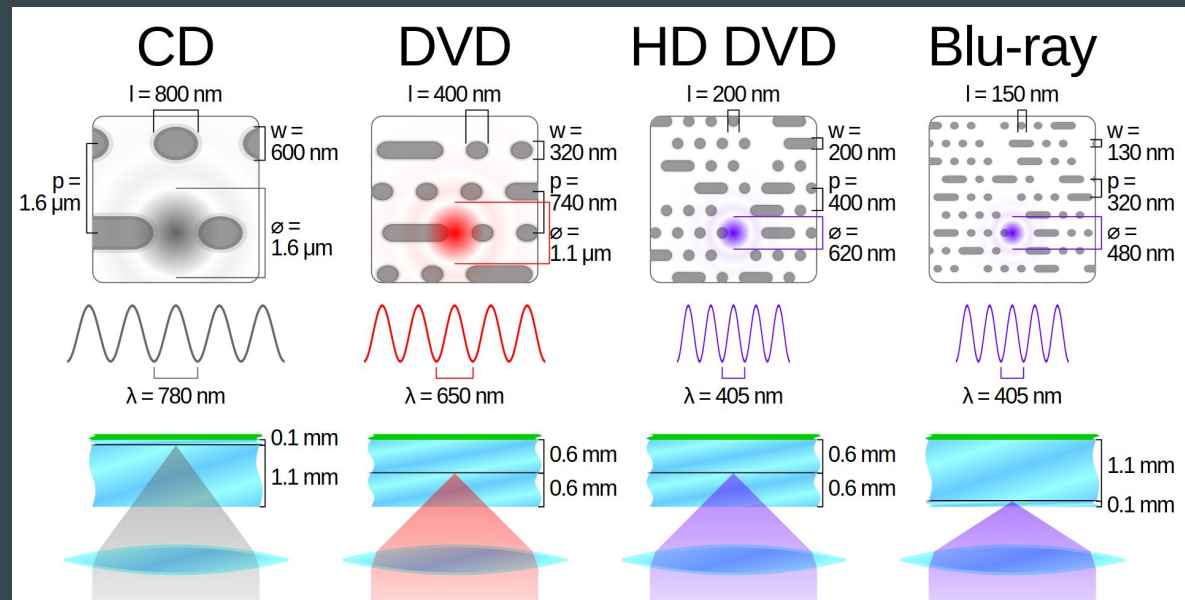
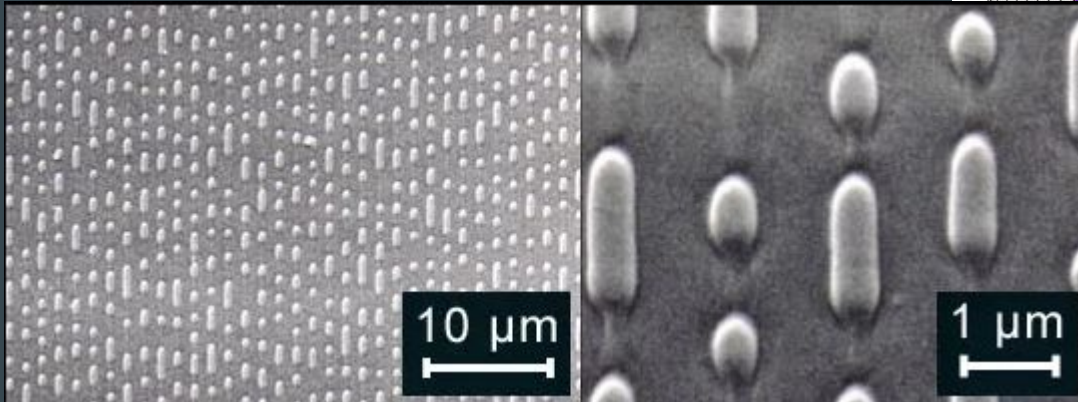
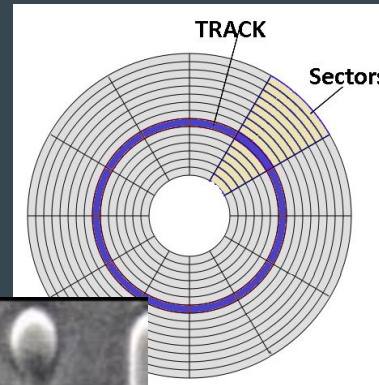
Repetição das estruturas de difração

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



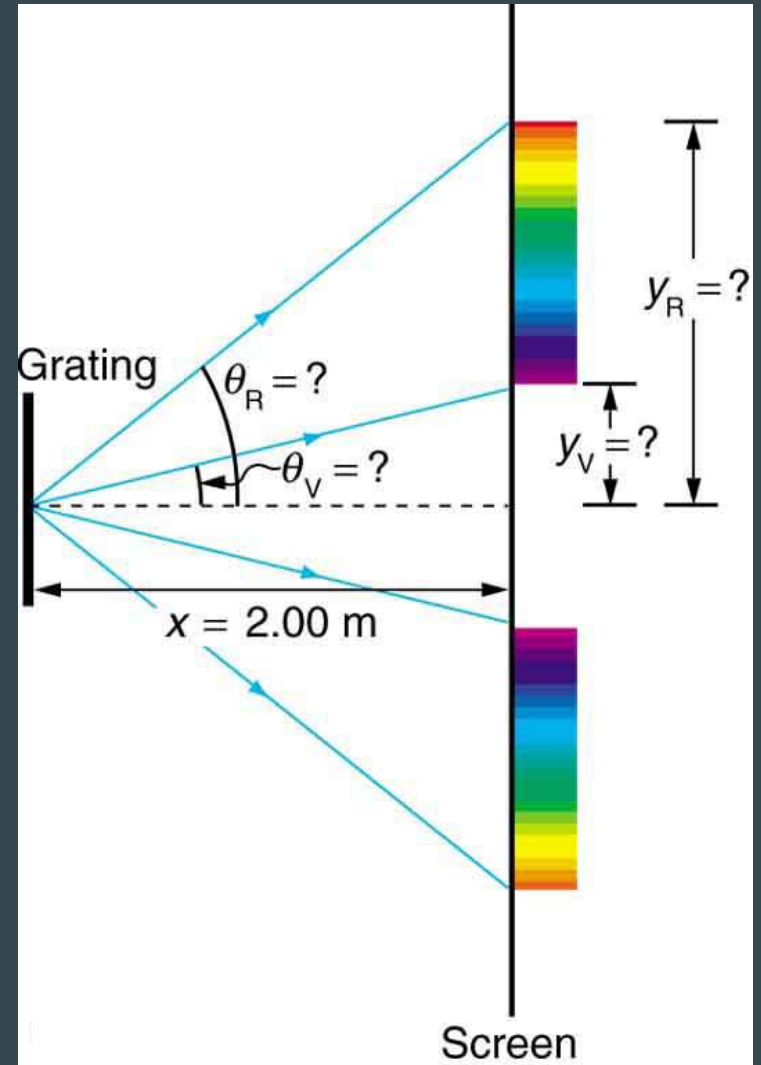
Exercício

Grade de difração com 600 linhas / mm. Qual é o ângulo da linha de difração de primeira ordem para luz vermelho, e para luz violeta?

Resposta:

$$\sin(\theta) = m\lambda/d, m=1, d=1/600 \text{ mm} \rightarrow$$

$$\theta_{\text{vermelho}} = \underline{25^\circ} \quad \theta_{\text{violeta}} = 14^\circ$$



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

[Filmes finos e interferência] (não avaliada na prova)

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

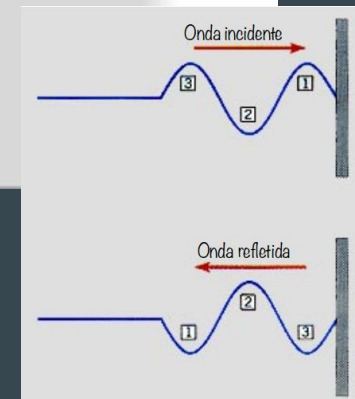
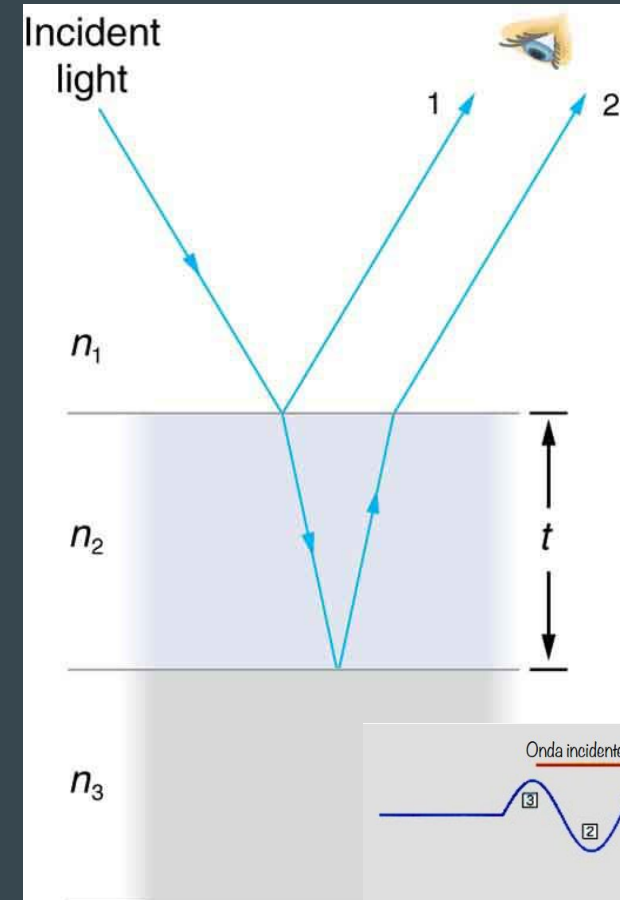
1. Mudança de fase $\lambda/2$ ou π ao refletir quando $n_2 > n_1$
2. Levar em conta que $\lambda_n = \lambda/n$

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

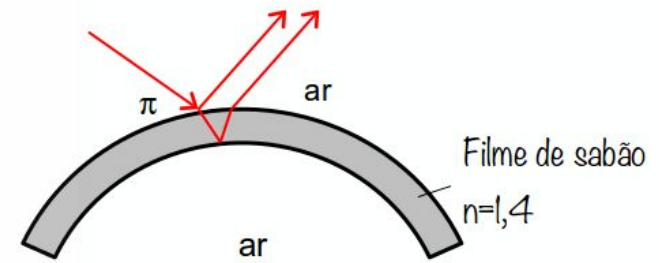
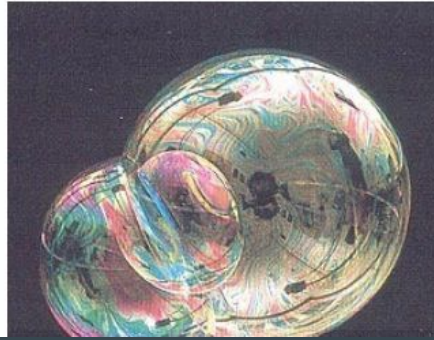
Raio 1: muda π em relação a raio 2.

Raio 2: muda π e percorre $2t$ a mais (com λ_n)

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



[Interferência em filmes finos, exemplo 2]

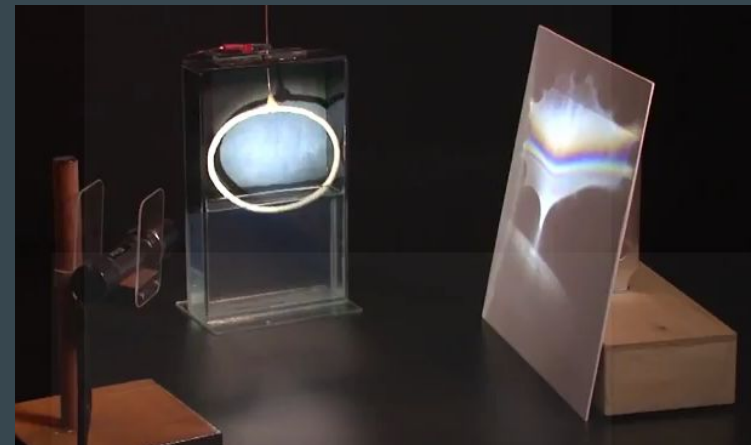


Raio 1: muda π ($\lambda/2$) em relação a raio 2.

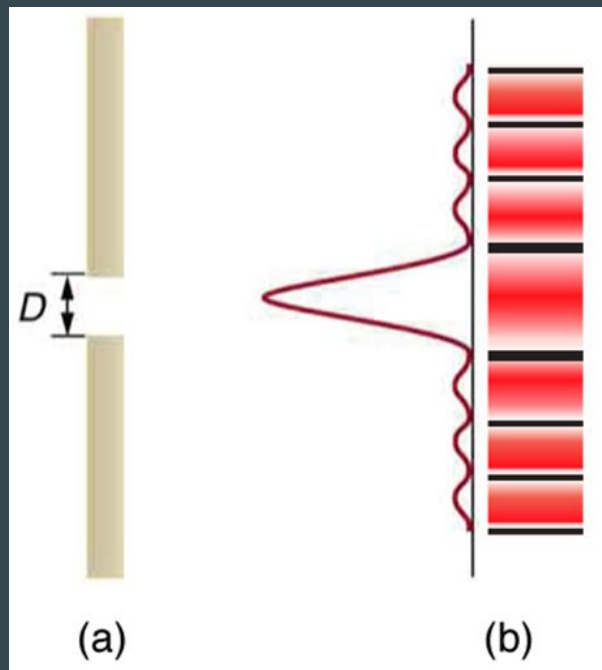
Raio 2: percorre $2t$ a mais (com $\lambda_n = \lambda/n$)

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

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



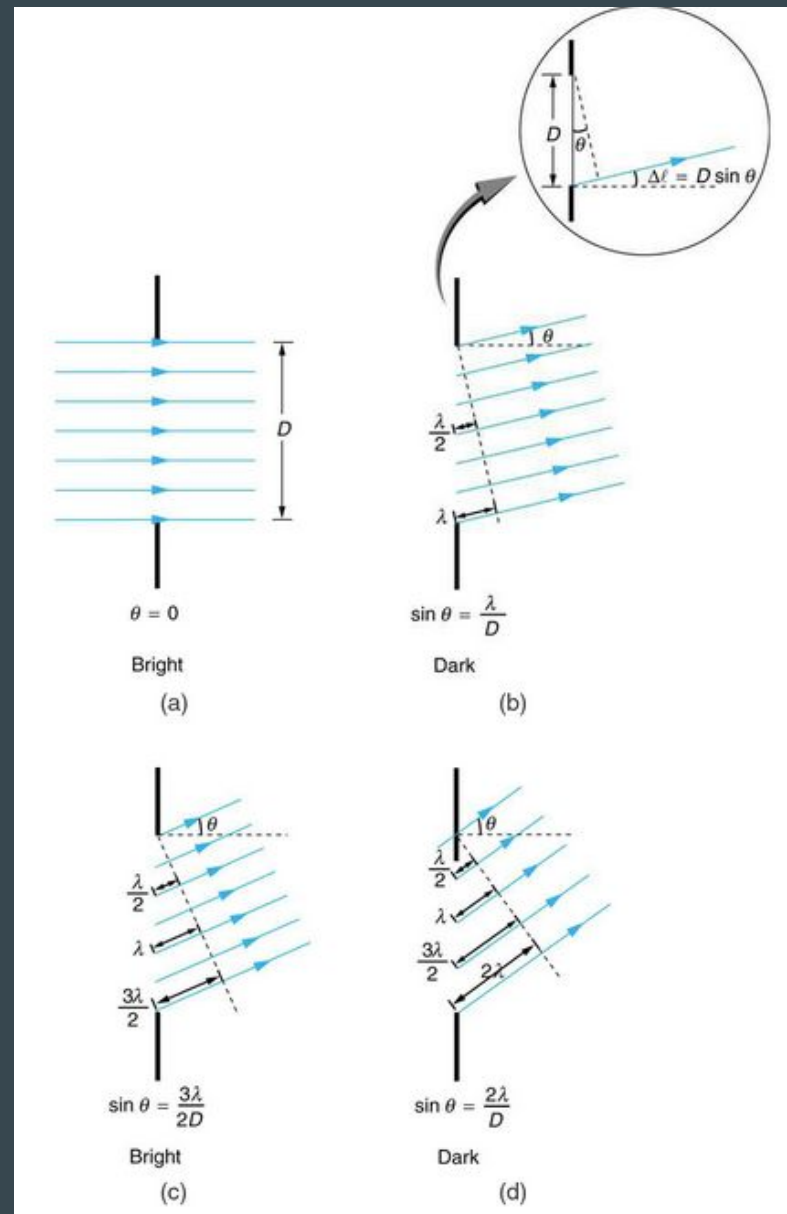
Difração de fenda única (“de Fraunhofer”)

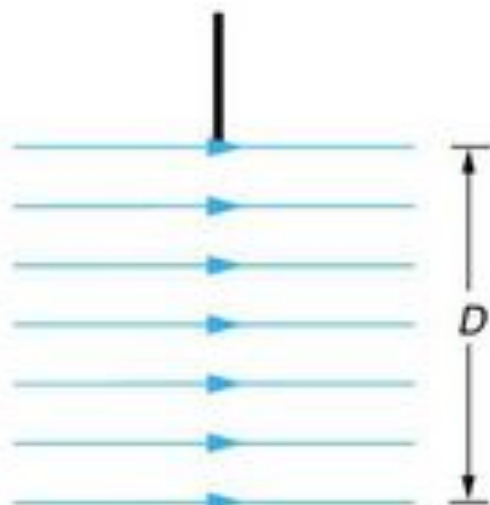


Interferência **destrutiva** (!) se $\delta = m\lambda$
 $= D \sin(\theta_{\text{destr}})$ ($m=1, 2, 3\dots$).

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

ewout@usp.br

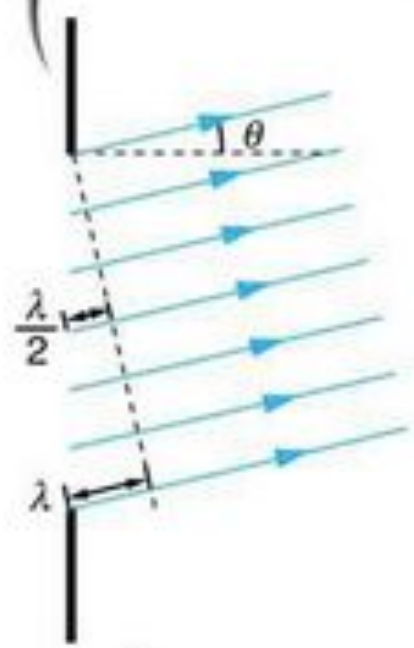
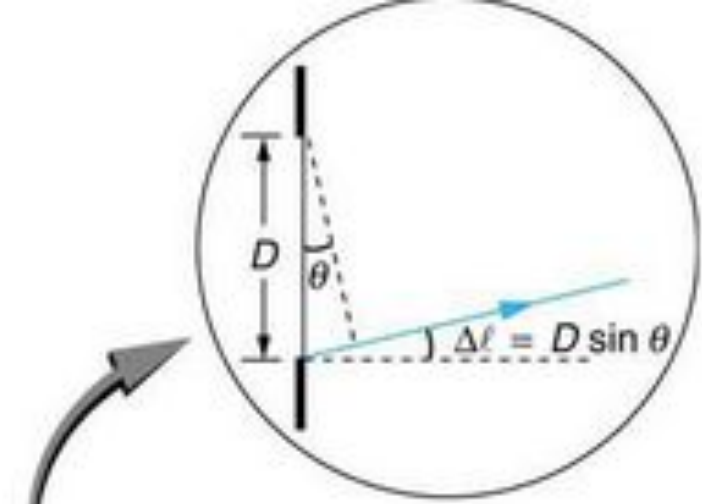




$\theta = 0$

Bright

(a)

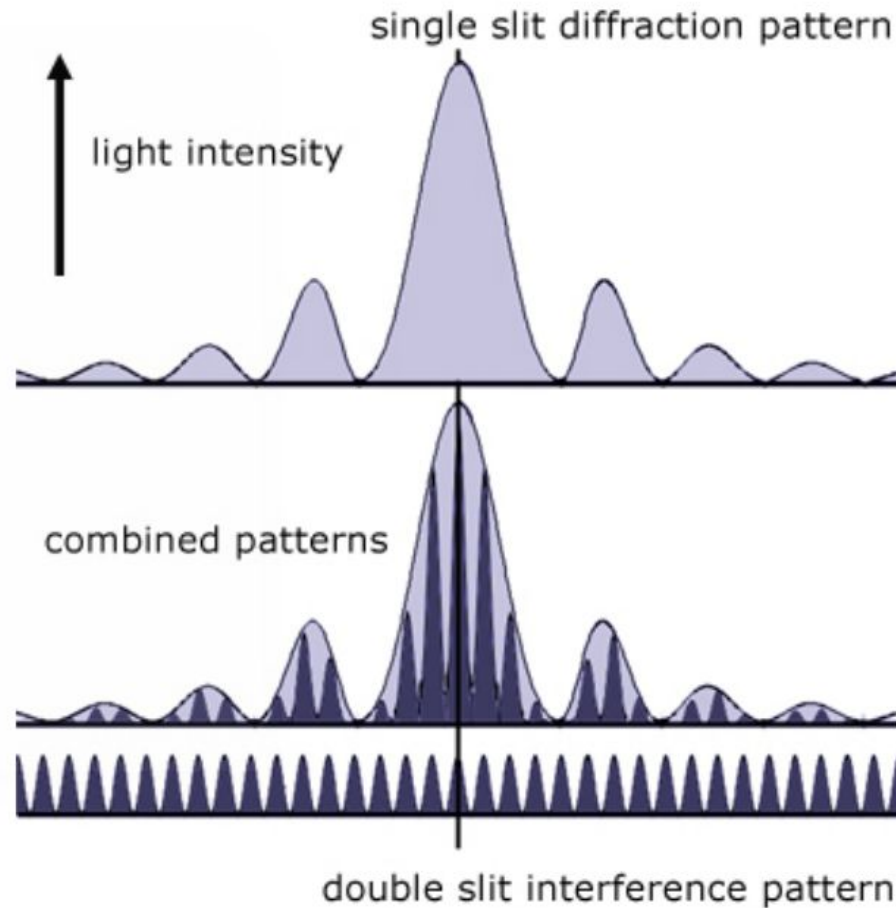
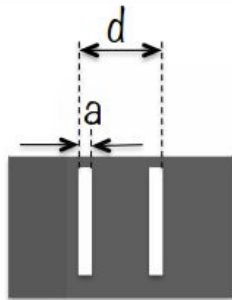


$$\sin \theta = \frac{\lambda}{D}$$

Dark

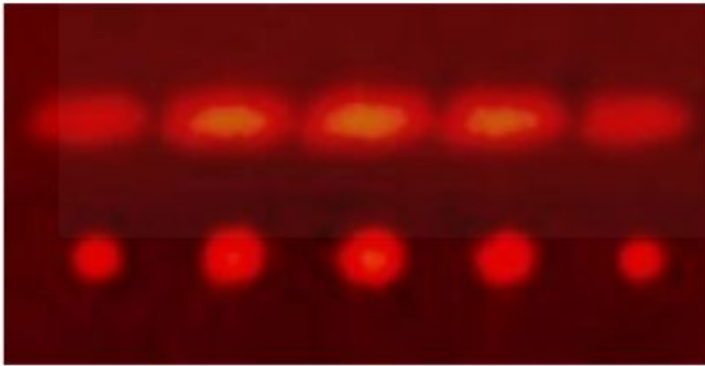
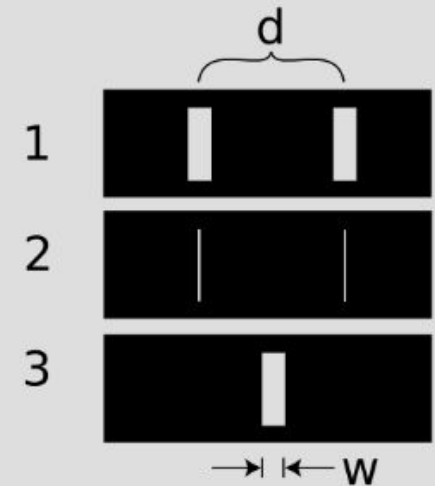
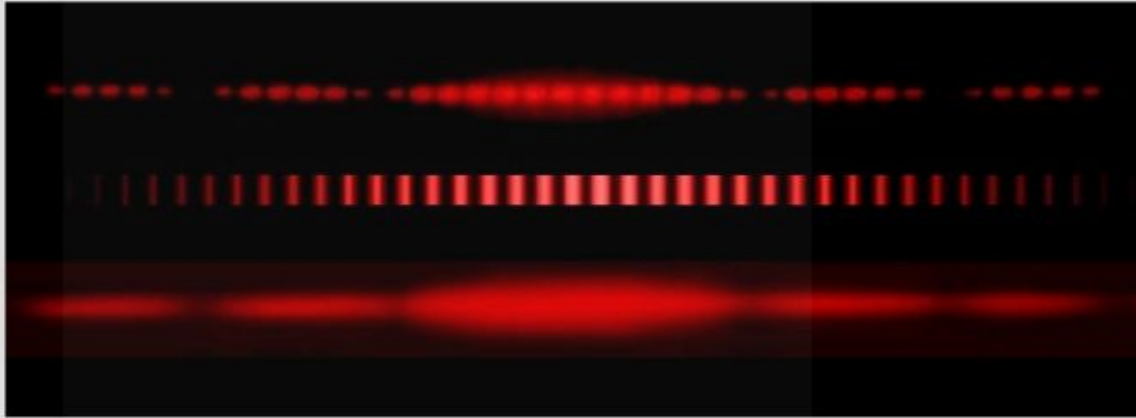
(b)

Combinação fenda simples e fenda dupla



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

Combinação fenda simples e fenda dupla

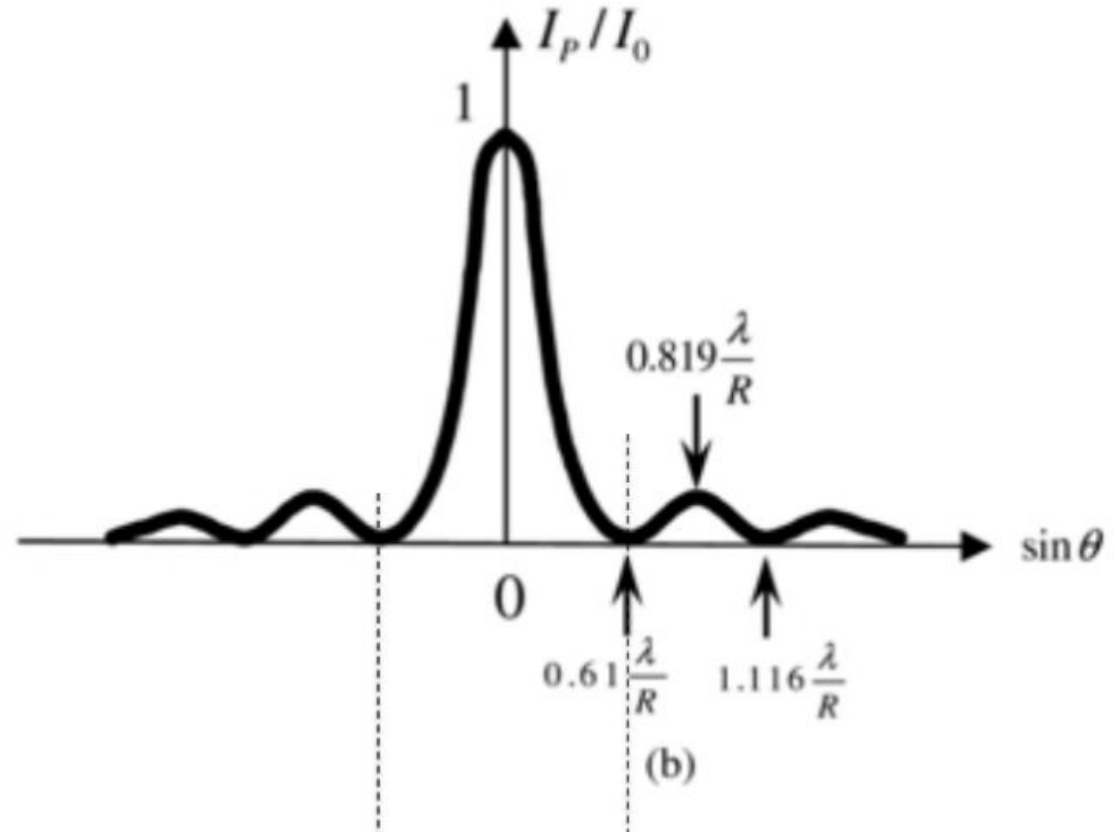
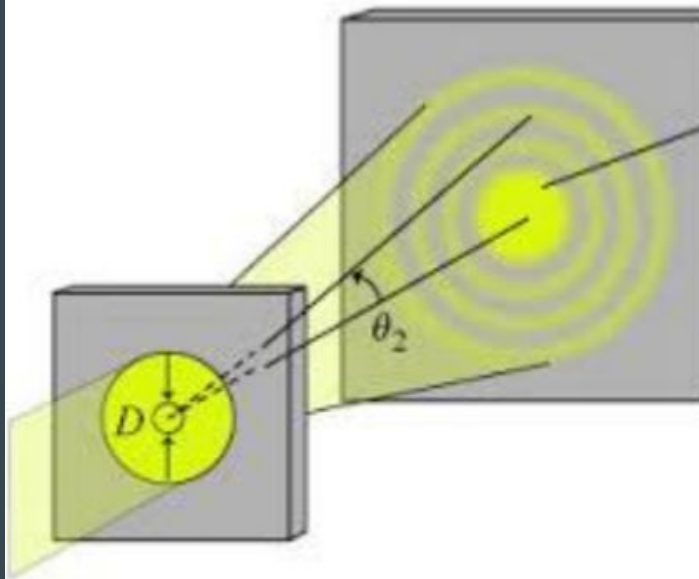


2 fendas



5 fendas

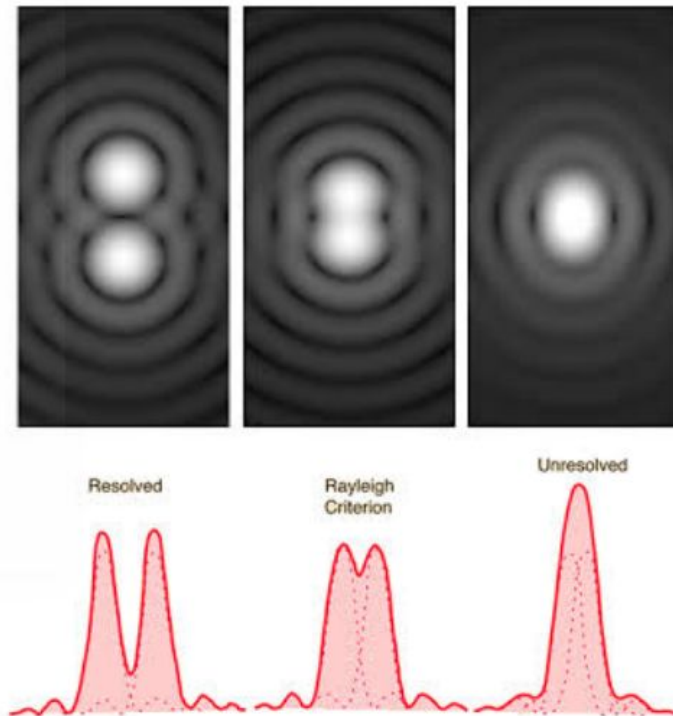
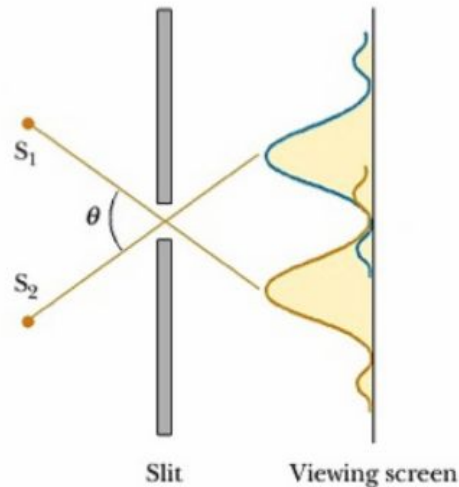
Difração por uma abertura circular



Φ =diâmetro do primeiro anel escuro

Limites da acuidade visual e da resolução angular de instrumentos óticos

Limite de resolução



θ = 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

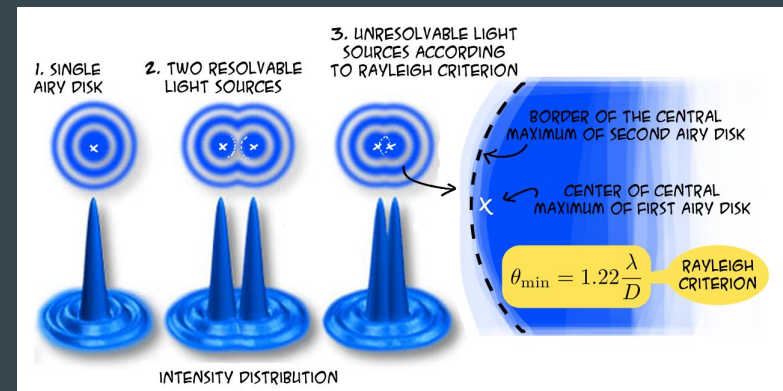
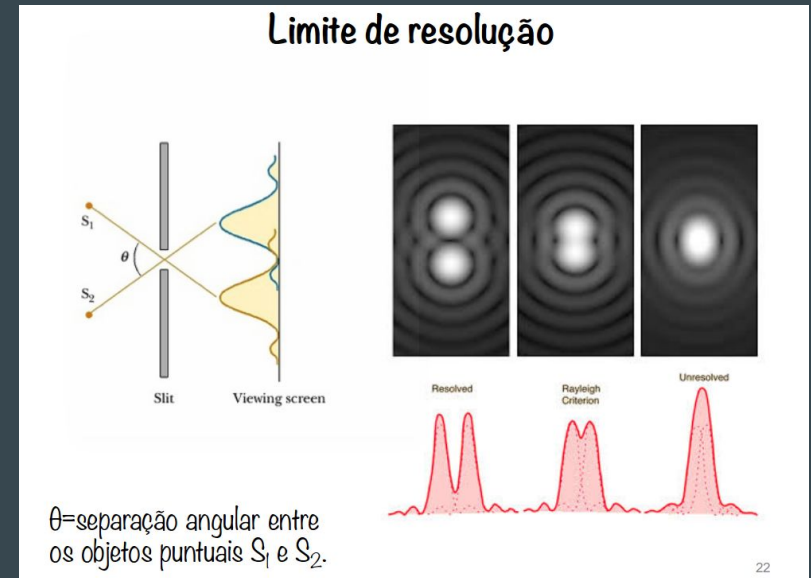
$$\text{sen}(\theta) = \lambda/d$$

→

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

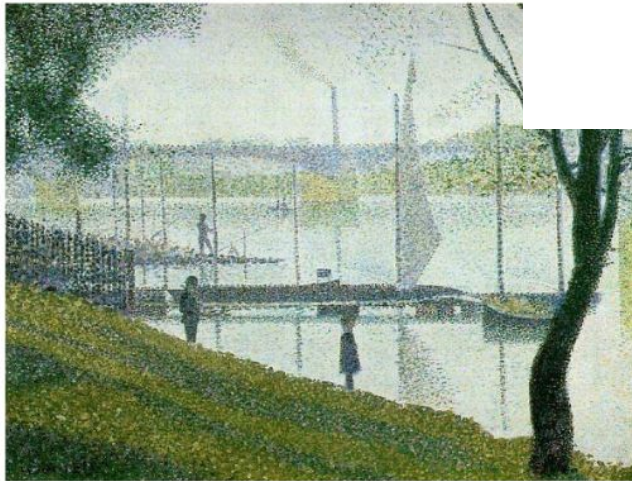
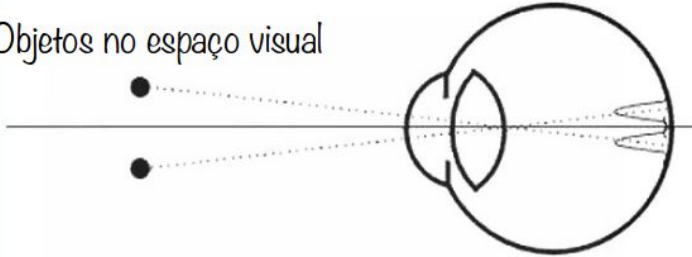
$$\text{sen}(\theta) = \lambda/d \text{ (fenda simples)}$$

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

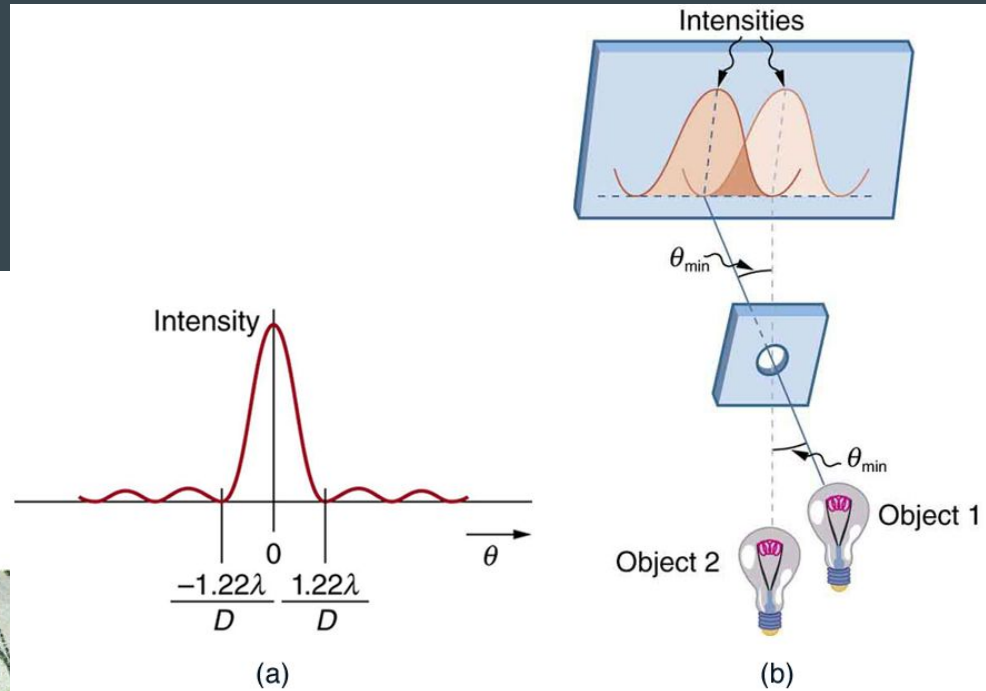


Limites da acuidade visual e da resolução angular de instrumentos óticos

Objetos no espaço visual



George Serraut



Aplicação: telescópios e o limite de difração



Mesmo abertura grandes como as de telescópios profissionais (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.

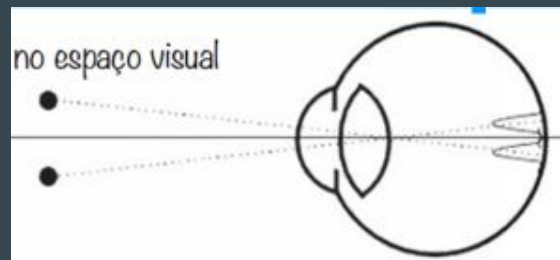
Busca no Google: diâmetro de e distância até Próxima Centauri (estrela mais próximo).

Comparar tamanho angular com resolução angular

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

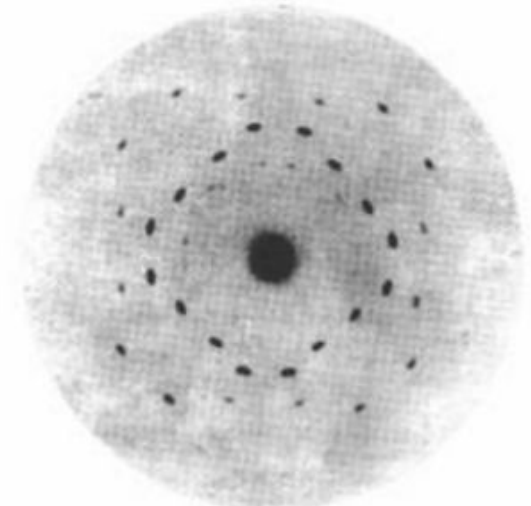


Difração de Raios X e lei de Bragg

1895 - Descoberta por W. Roetgen

1913 - Max von Laue

- utiliza para revelar estrutura regular 3D de um cristal

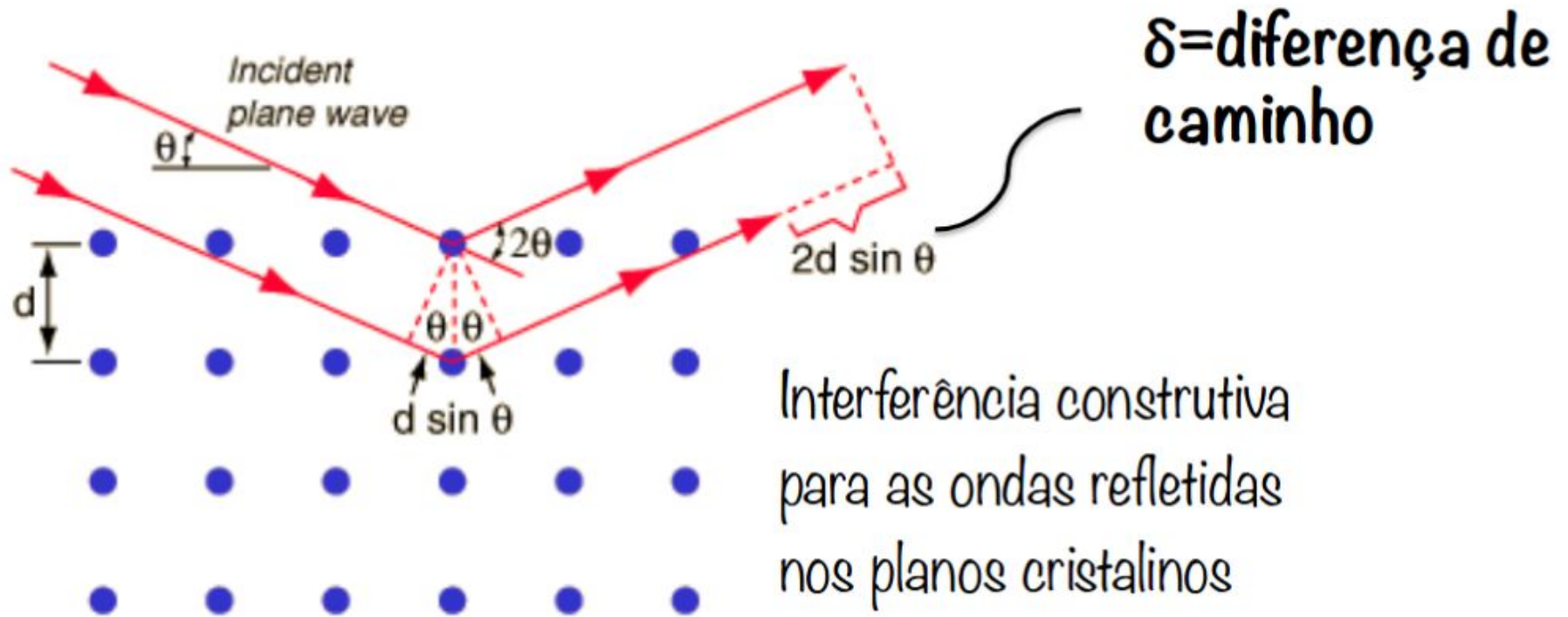


X-ray photograph of zinc blende

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

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