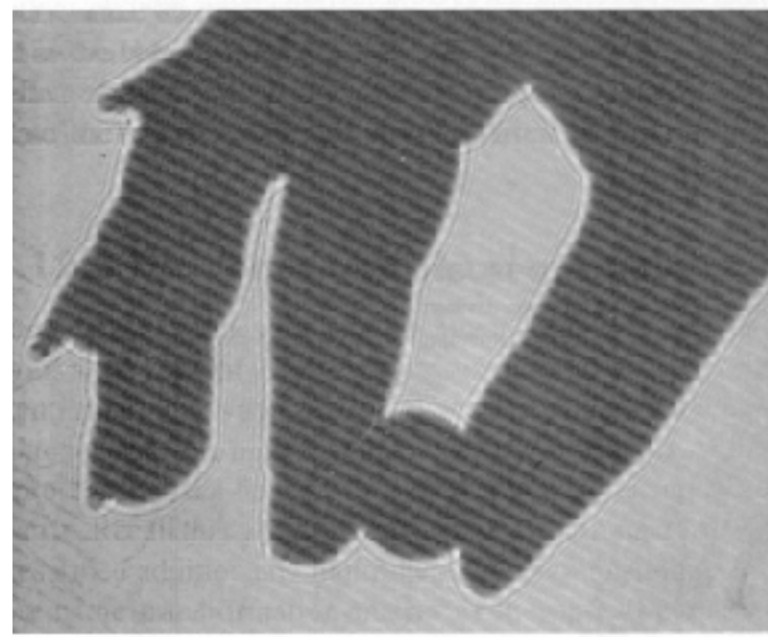
# Física IV

Difração

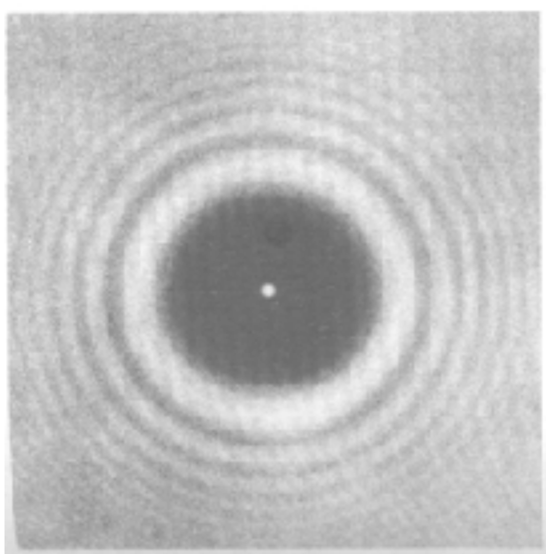
# **Difração**: Desvio da propagação retilínea da luz

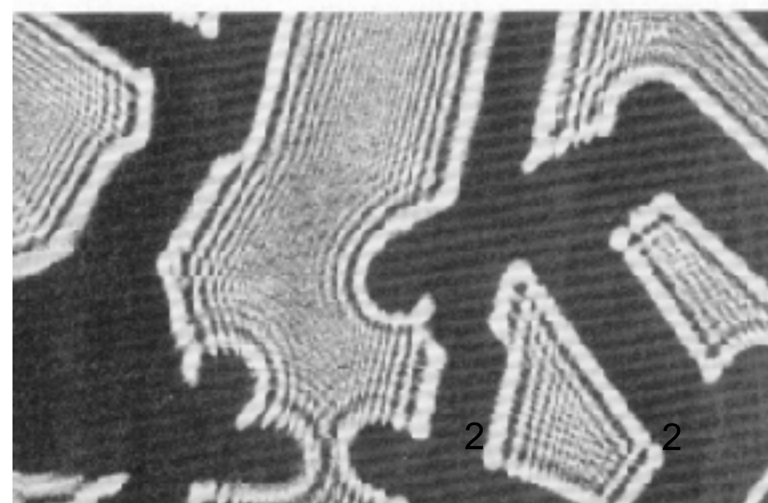
Trata-se de um efeito característico de fenômenos ondulatórios, que ocorre sempre que parte de uma frente de onda (sonora, de matéria, ou eletromagnética) é obstruída.



(a)

Fresnel (1819)

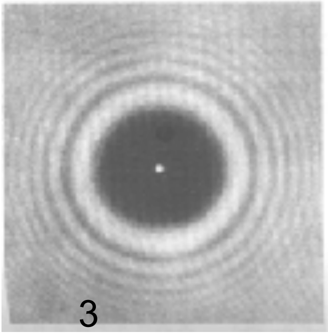




# Augustin Fresnel (1788-1827)

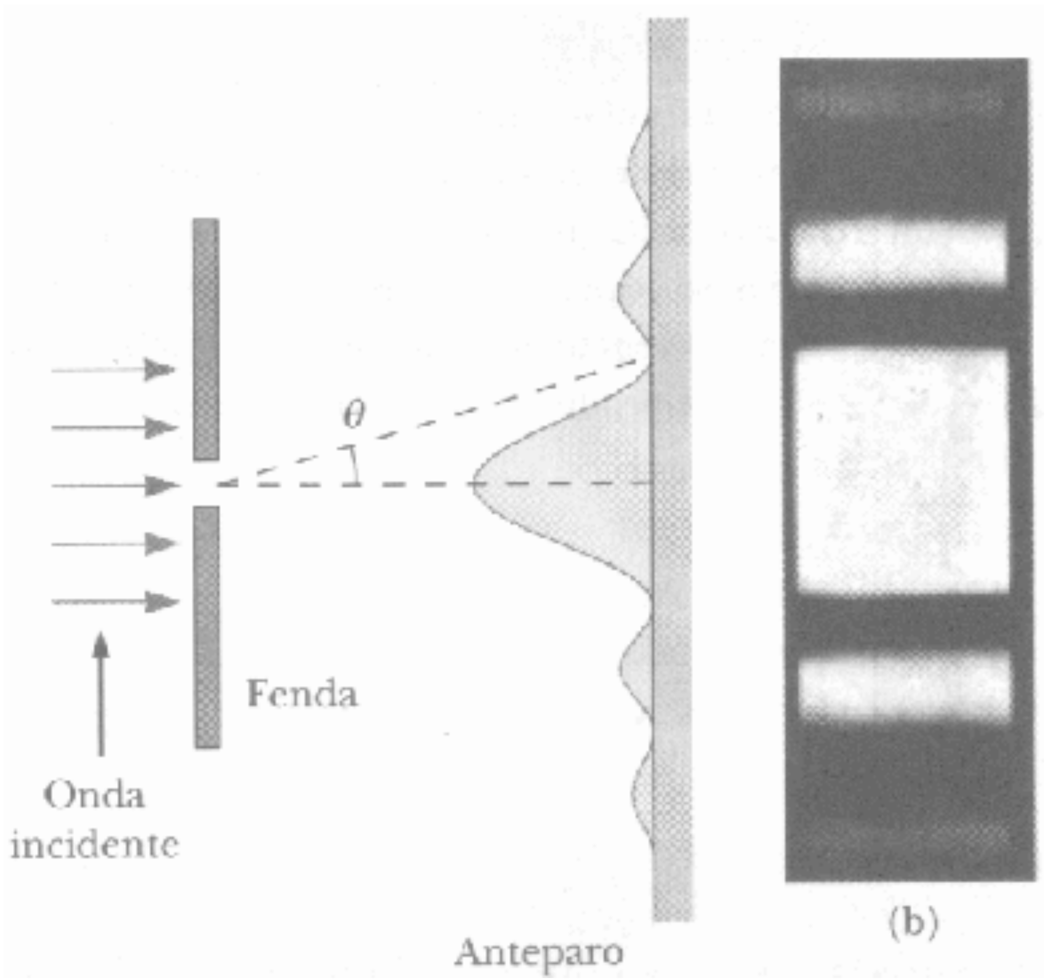
• Dez anos mais novo que T. Young, A. Fresnel foi um engenheiro civil francês que se interessou por estudos de ótica.
Ele não participava do círculo acadêmico de Paris e não conhecia o trabalho de Young.
Era contrário a Napoleão e quando este retornou em 1815, Fresnel ficou em prisão domiciliar.
<u>Fresnel estudou o efeito da luz por uma fenda.</u>

• Em 1817 a Academia Francesa ofereceu um premio ao melhor trabalho experimental sobre difração, que apresentasse um modelo teórico explicando o efeito. Fresnel apresentou um trabalho de 135 páginas (modelo de ondas). O júri era composto por S-D Poisson, J. B. Biot, e P. S. Laplace, todos Newtonianos que apoiavam a teoria corpuscular da luz. Poisson calculou, usando a teoria de Fresnel, algo que parecia inconsistente. Feito o experimento, Fresnel estava correto!!!



# Difração por uma fenda

Em um anteparo, obtemos um padrão de difração




Franjas escuras ocorrem para:

$$\boxed{\operatorname{sen}\theta = m\frac{\lambda}{a}}$$

$a$ : largura da fenda

# Determinação da Posição dos Máximos e Mínimos

Supondo: $D >> a$

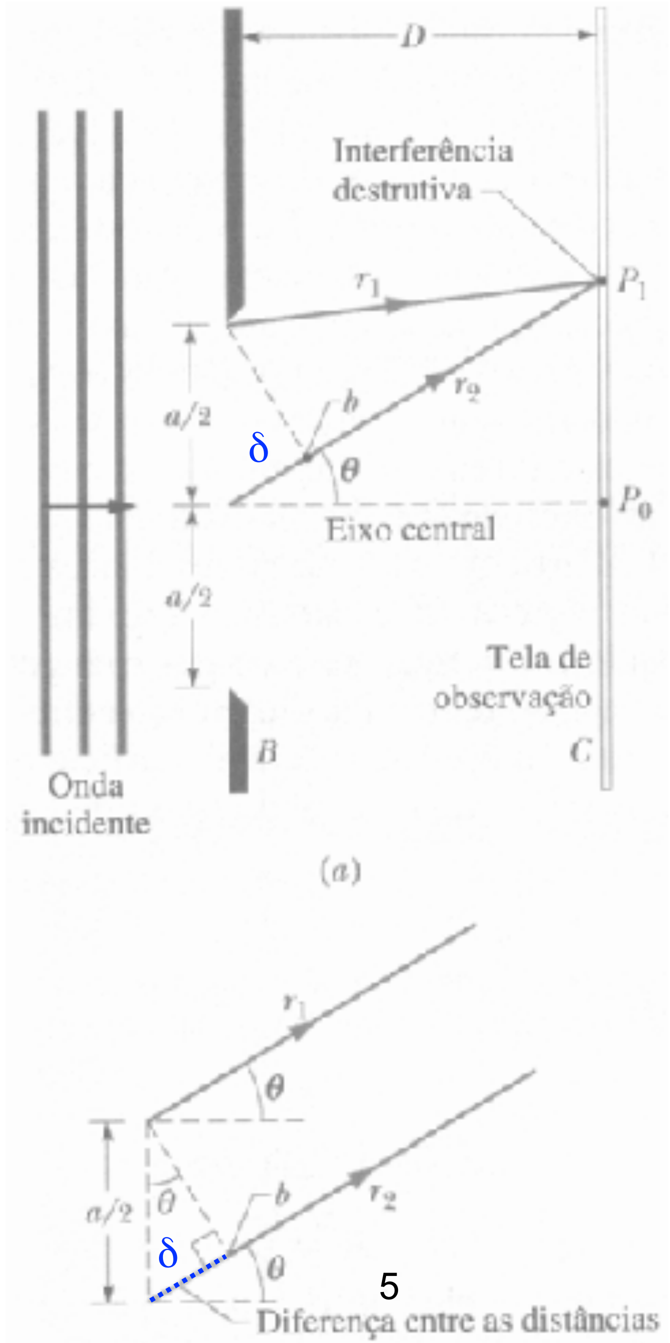
A diferença de caminho óptico é:

$$\delta = \frac{a}{2}\operatorname{sen}\theta$$

No anteparo as ondas devem estar fora de fase para formação da primeira franja escura:

$$\delta = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \boxed{\lambda = a\operatorname{sen}\theta}$$

$$\boxed{\operatorname{sen}\theta = \frac{\lambda}{a}}$$



A condição que determina a segunda franja escura é encontrada dividindo a fenda em 4 partes :

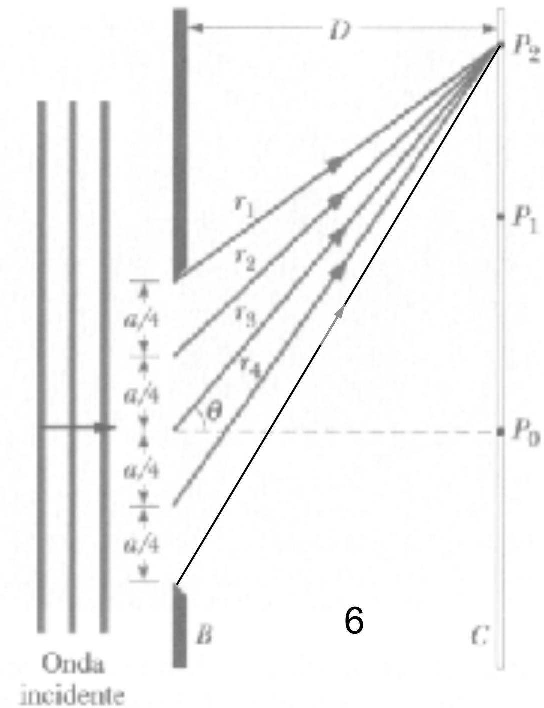
$$\delta = \frac{a}{4}\,\text{sen}\theta = \frac{\lambda}{2}$$

Teremos um mínimo quando:

$$\text{sen}\theta = 2\frac{\lambda}{a}$$

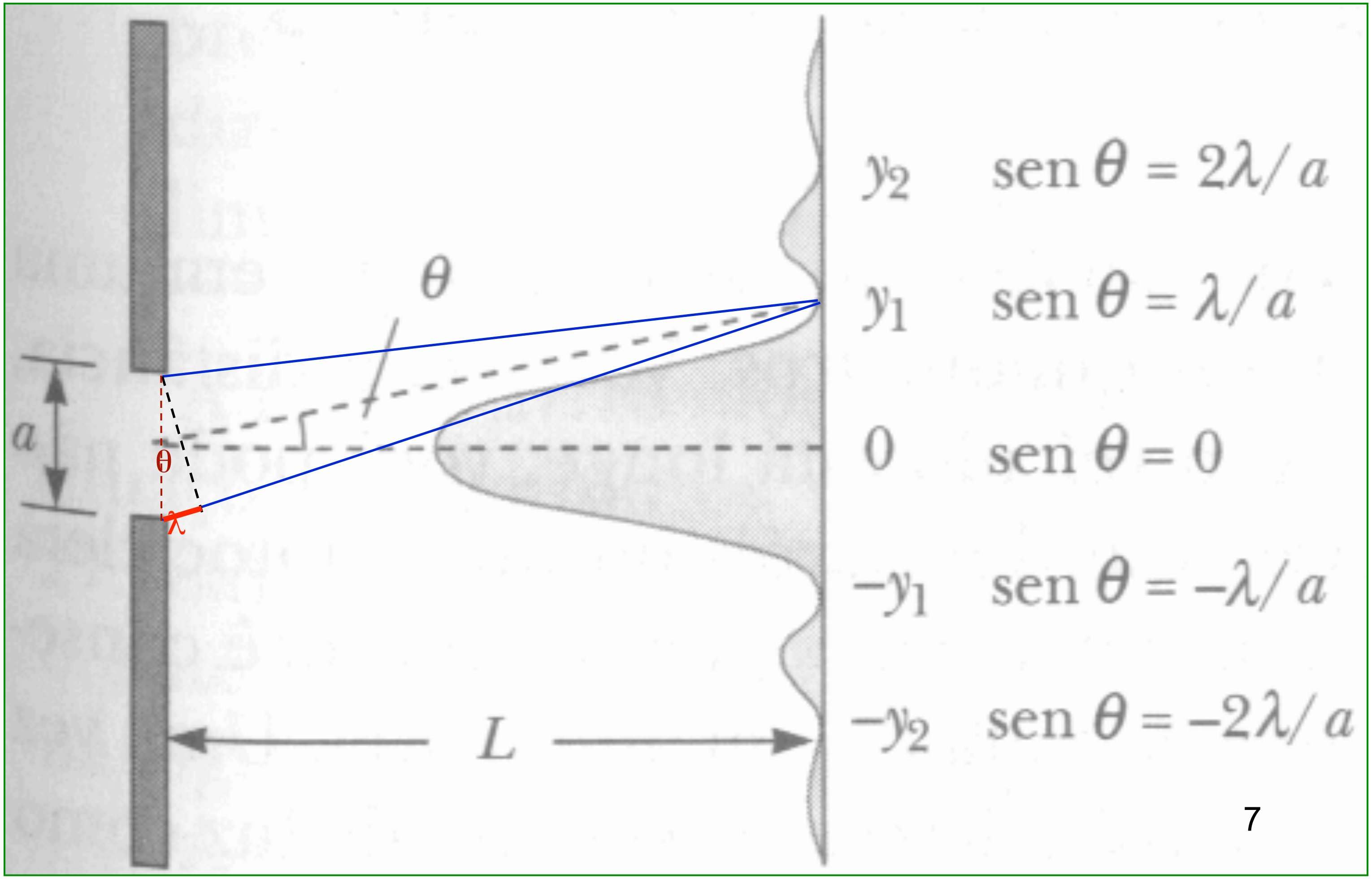
Assim, para todos os mínimos :

$$\text{sen}\theta = m\frac{\lambda}{a}\ ;\ \ m = 1,2,.....$$

A posição dos mínimos é dada pela condição de que a diferença de percurso entre o raio superior e o inferior seja múltiplo de $\lambda$ :

$$a\,\text{sen}\theta = m\lambda \;\; ; \;\; m = 1, 2, \ldots$$



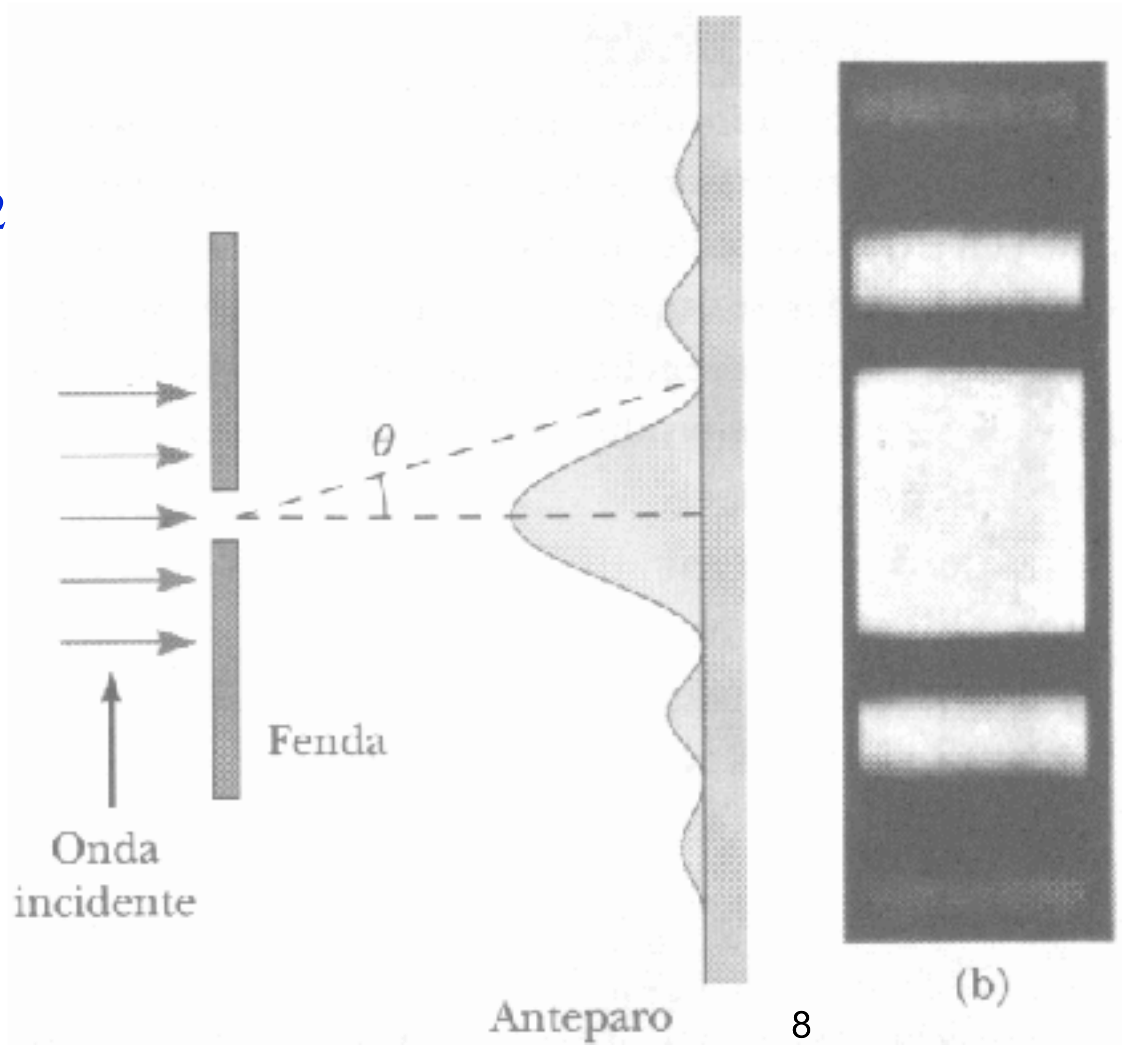
# Determinação da Intensidade

Verificaremos que:

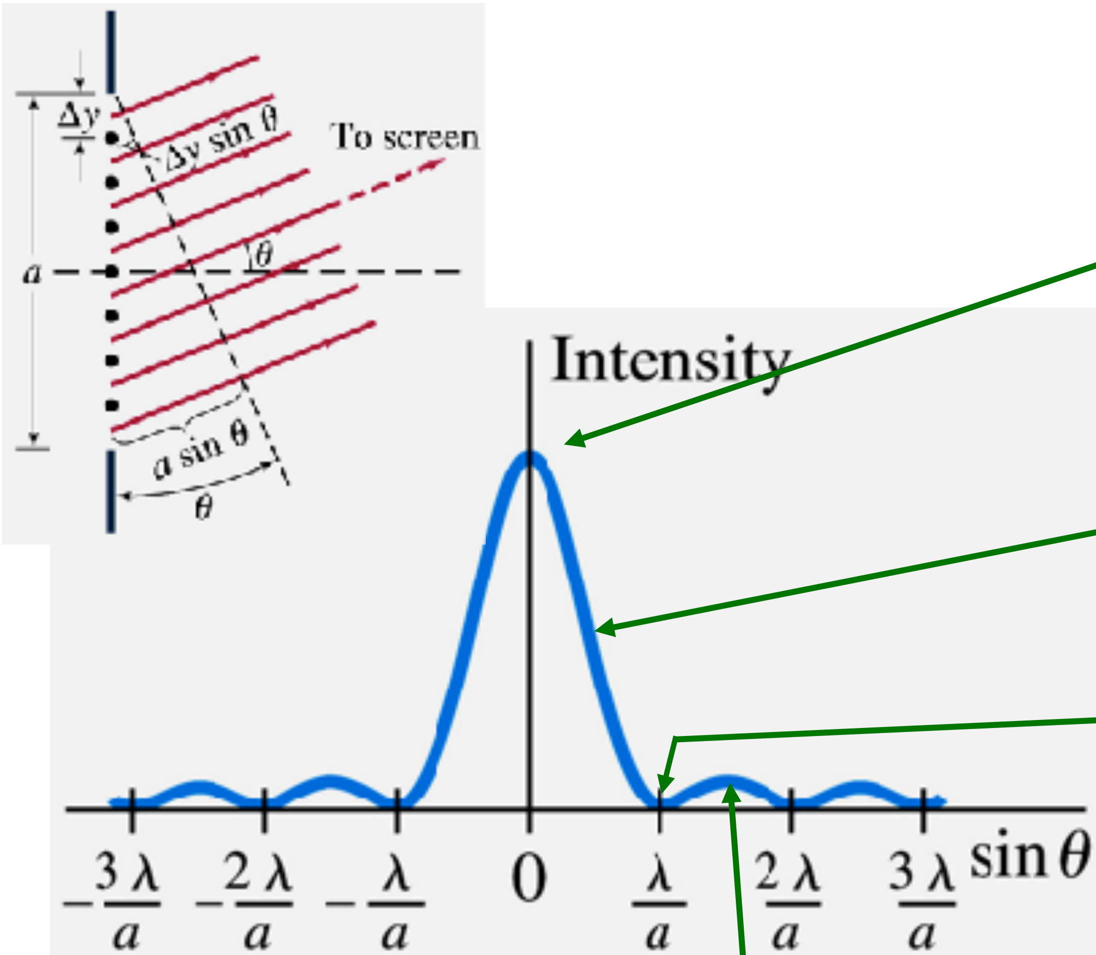
$$I(\theta) = I_m \left( \frac{sen\alpha}{\alpha} \right)^2$$

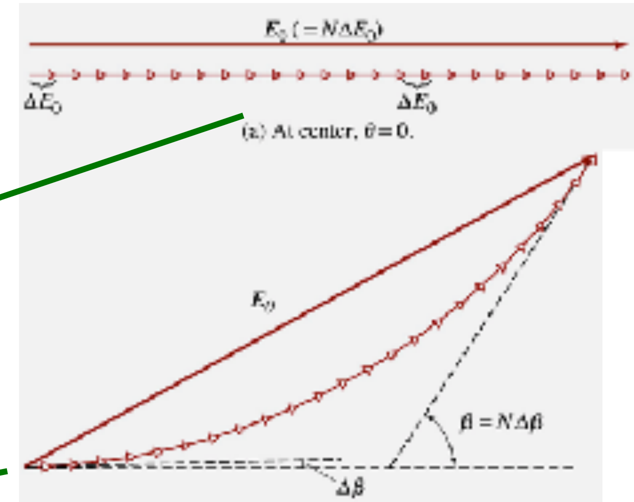
onde

$$\alpha = \frac{1}{2}\phi = \frac{\pi a}{\lambda} sen\theta$$



# Difração por uma fenda e Fasores

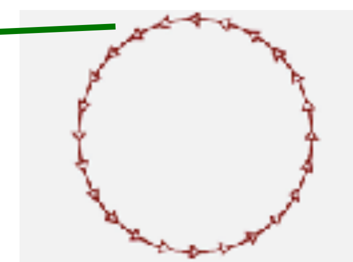


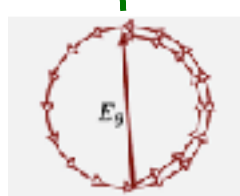

(a) At center, $\theta = 0$.

(b) Between center and first minimum.

$$\Delta\beta = \Delta y \sin\theta$$

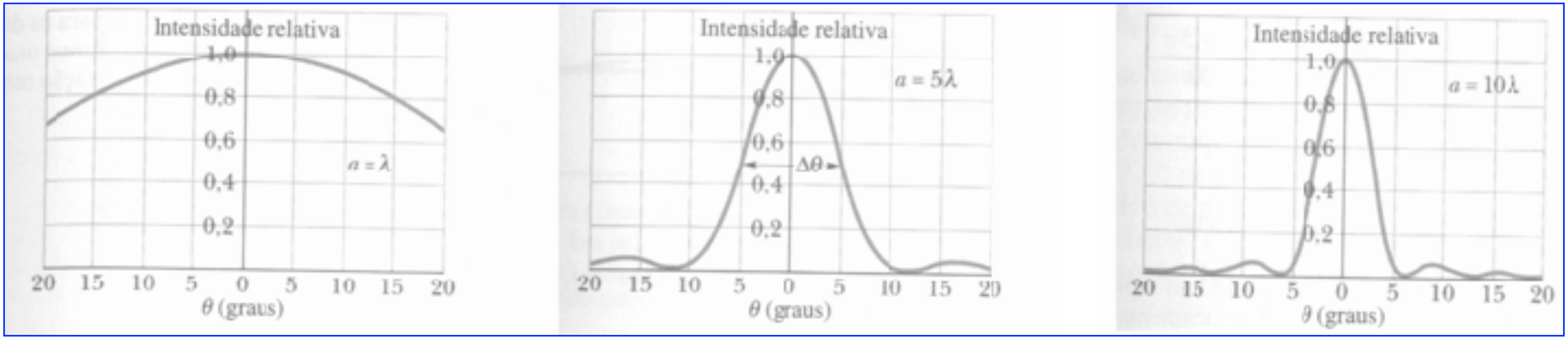


(c) First min, $E_\theta = 0$ ($\beta = 360°$).




(d) Near secondary max.

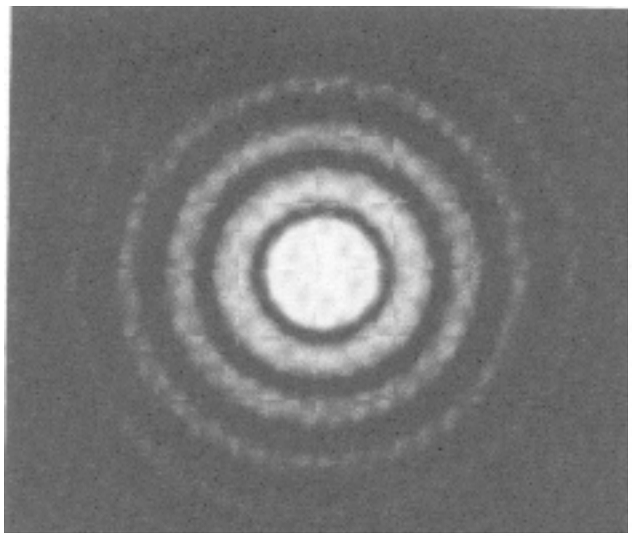
Observe que aumentando a largura da fenda, diminui a largura do máximo central:

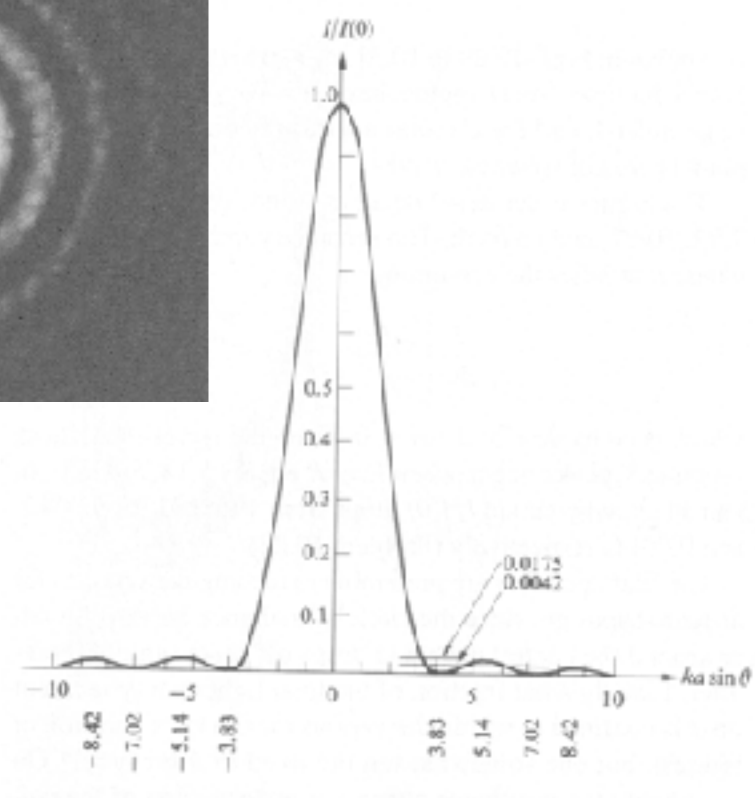


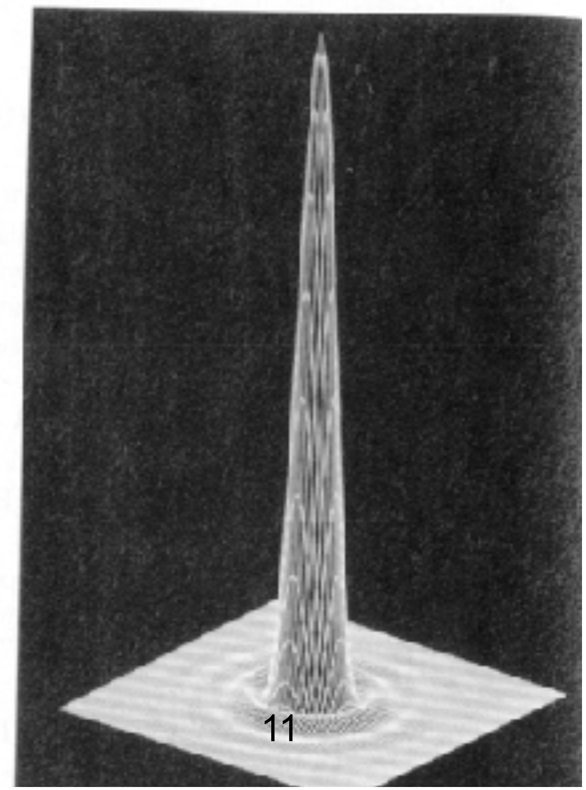
# Difração por uma Abertura Circular

A posição do primeiro mínimo, para uma abertura circular de diâmetro $d$, é dada por:

$$\boxed{sen\theta \approx 1{,}22\frac{\lambda}{d}}$$



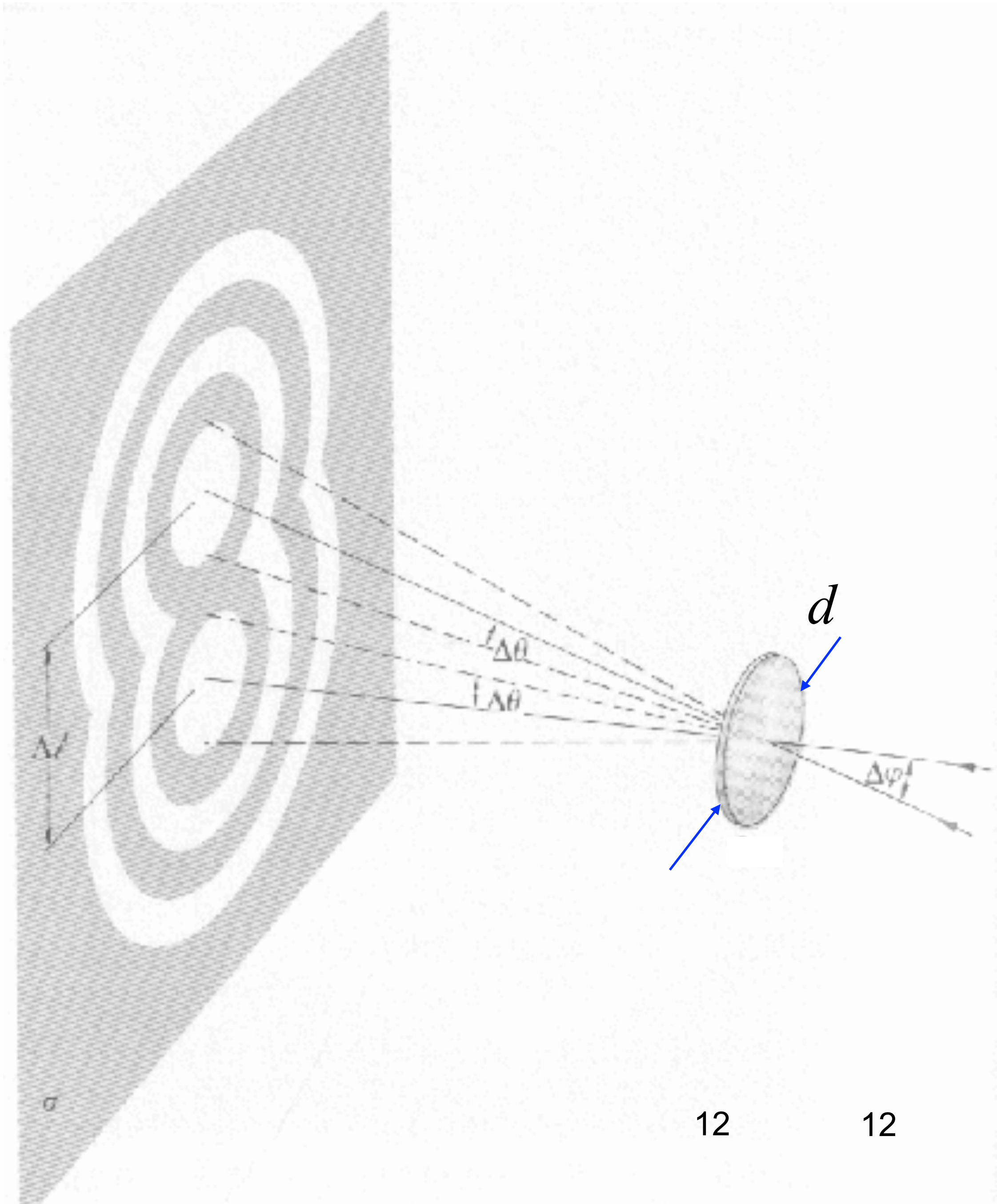


# Resolução

A imagem difratada de dois objetos pontuais, ao passar por um orifício de diâmetro ***d***, adquire uma separação angular da ordem de:

$$\Delta\theta_R \approx arc\,\mathrm{sen}\left(1{,}22\frac{\lambda}{d}\right)$$

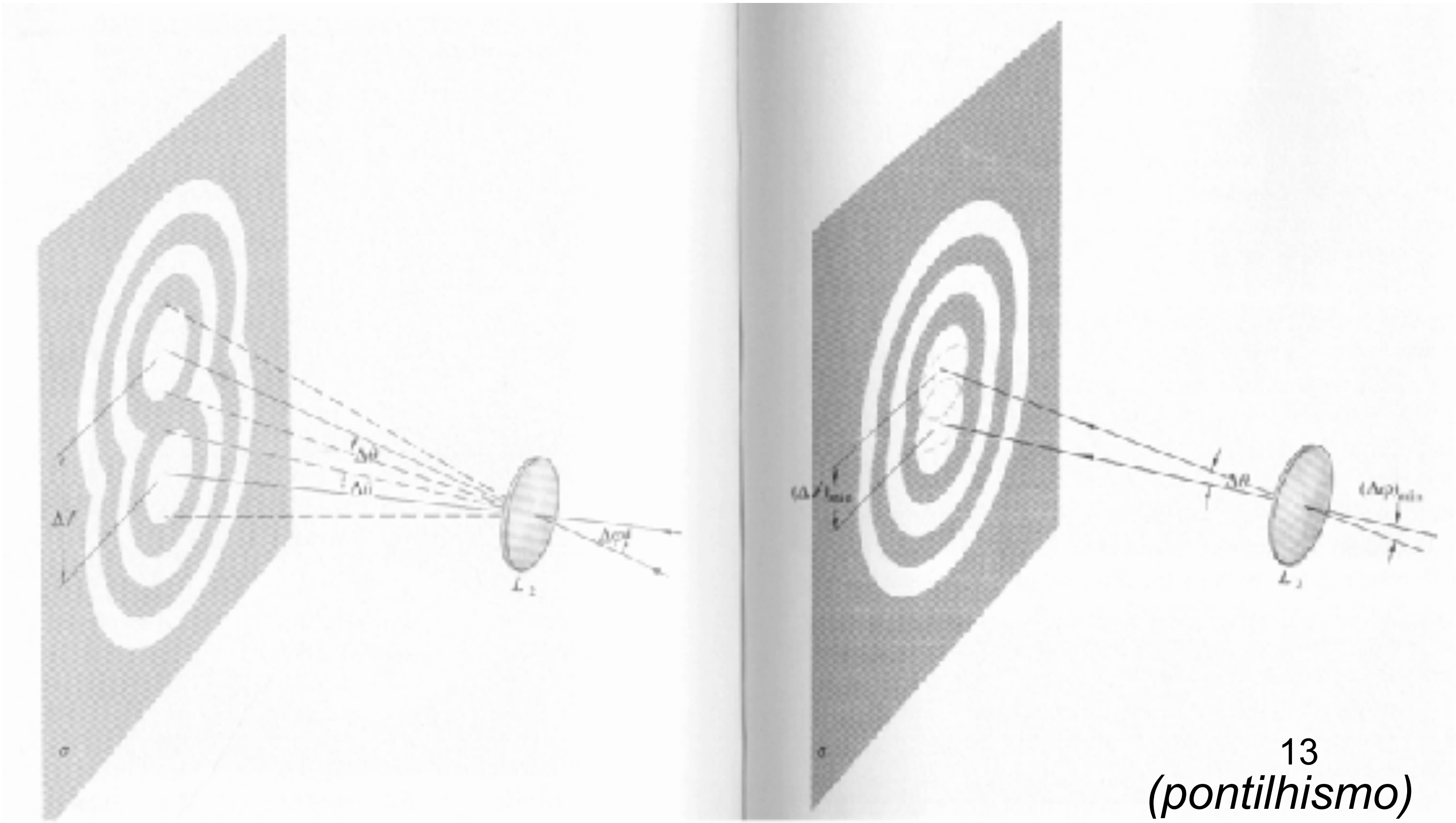




12

**Critério de Rayleigh** : A separação angular mínima para que duas fontes pontuais possam ser distinguidas é aquela onde o máximo central de uma coincide com o primeiro mínimo da figura de difração da outra:

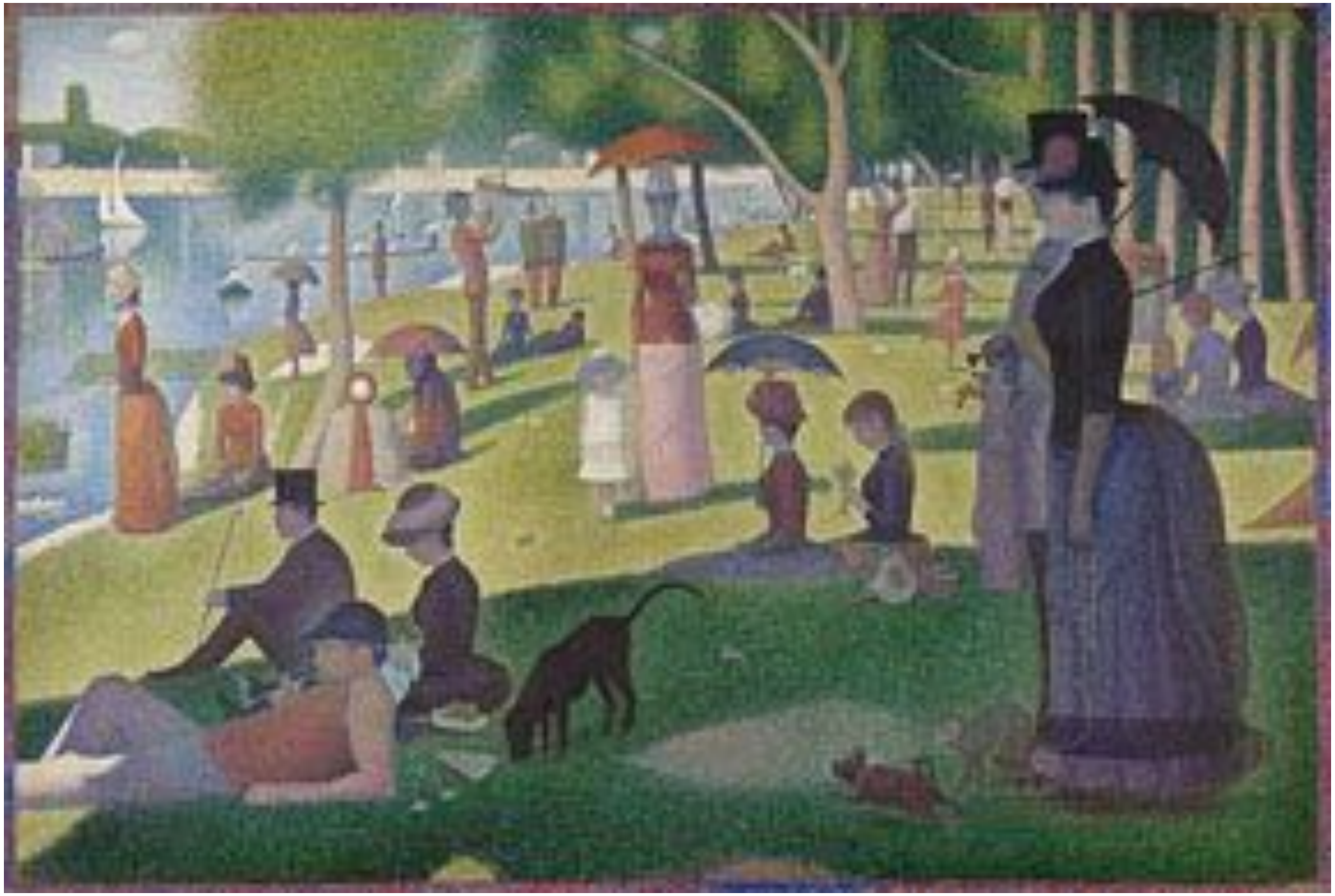
$$\boxed{\Delta\theta_R = arc\,\text{sen}\left(1{,}22\frac{\lambda}{d}\right) \approx 1{,}22\frac{\lambda}{d}}$$





*(pontilhismo)*

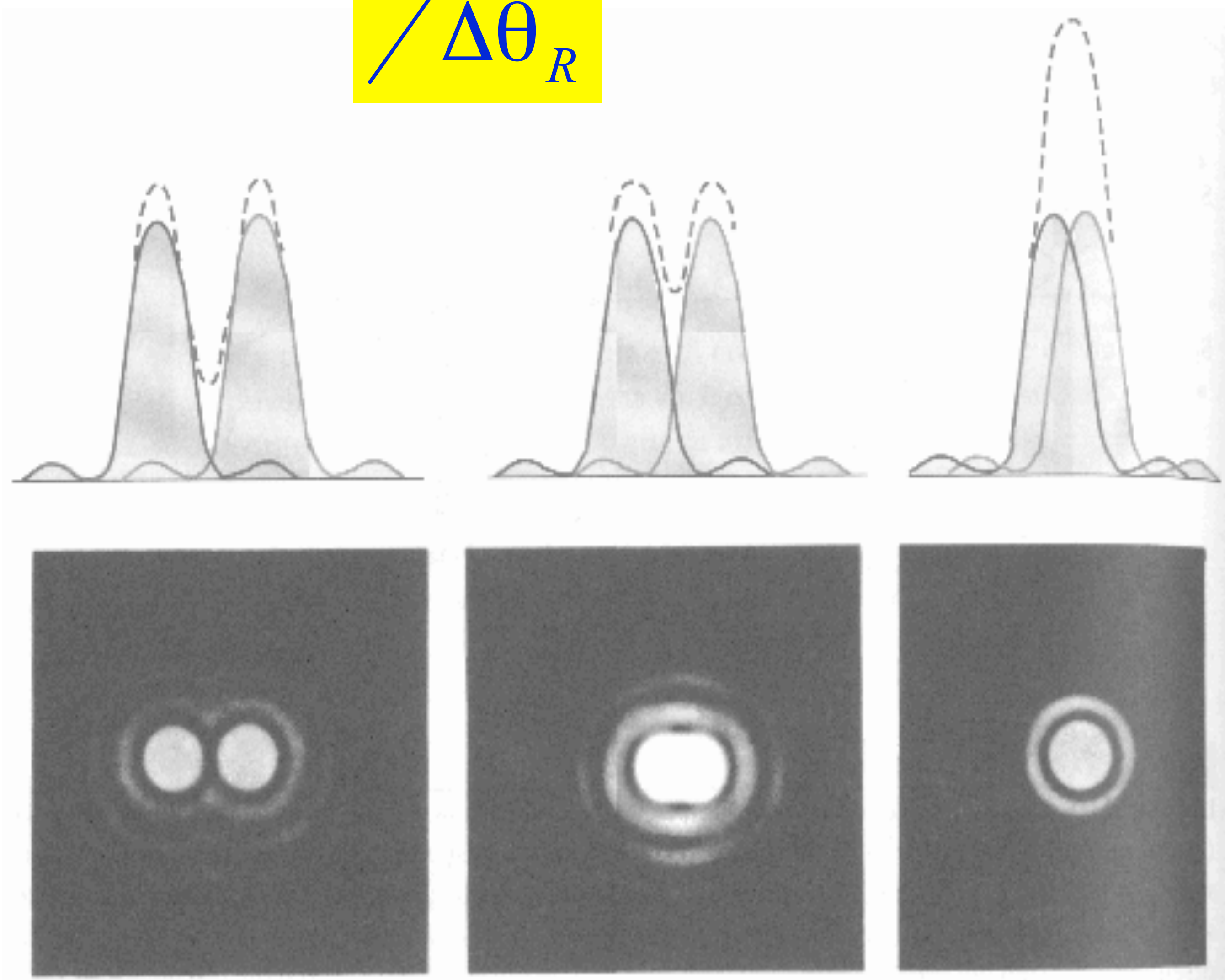
# Un dimanche à la Grande Jatte



**Georges Seurat (French, 1859-1891)**
A Sunday on La Grande Jatte -- 1884, 1884-86
Oil on canvas, 81 3/4 x 121 1/4 in. (207.5 x 308.1 cm)

Os sistemas ópticos (microscópios, telescópios, olho humano) são caracterizados por um *poder de resolução*:

$$1/\Delta\theta_R$$



# Exercício

O diâmetro da pupila humana varia com certeza, mas tomando uma média para situação de claridade, como sendo de aproximadamente *2mm*, para um comprimento de onda de *550nm*:

$$\theta_R = 1,22\lambda/D = 0,0003355 rad$$

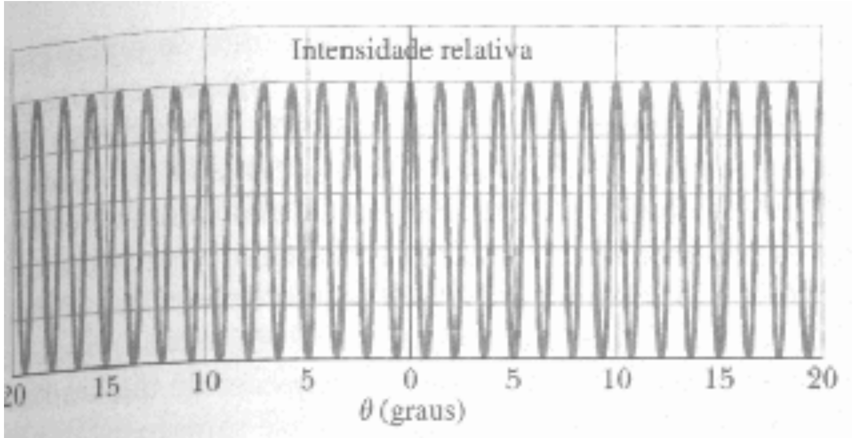
$$\theta_R \approx \Delta l/d$$

Onde $\Delta l$ é 2,54mm, a distância entre os pigmentos, e $d$ a distância do observador, portanto:

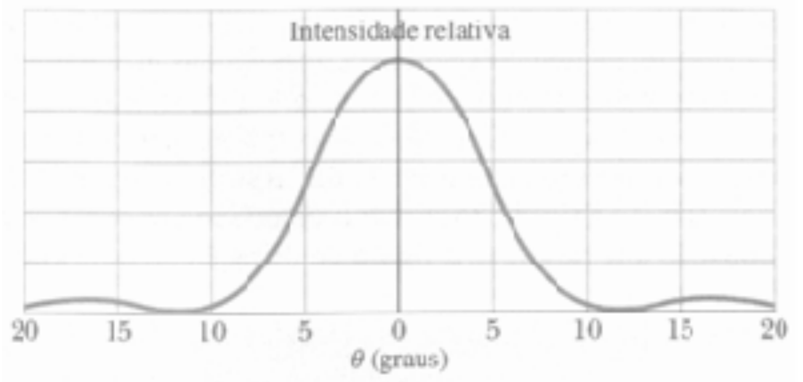
$$\boxed{d \approx 7,57m}$$

# Difração por Duas Fendas

• No estudo do experimento de Young consideramos $a/\lambda \to 0$ e obtivemos a figura da direita.
• Neste limite as fontes S1 e S2 irradiam $(I_0)$ de modo uniforme para todos os ângulos.




• Mas, se considerarmos uma razão $a/\lambda$ finita, cada fonte irradiará de modo semelhante a figura da direita.



Intensidade da figura de interferência de duas fendas:

$$I(\theta) = I_m (\cos^2 \beta)\left(\frac{sen\alpha}{\alpha}\right)^2 \; ; \; I_m = 4I_0$$

onde:

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} sen\theta \qquad \alpha = \frac{\pi a}{\lambda} sen\theta$$

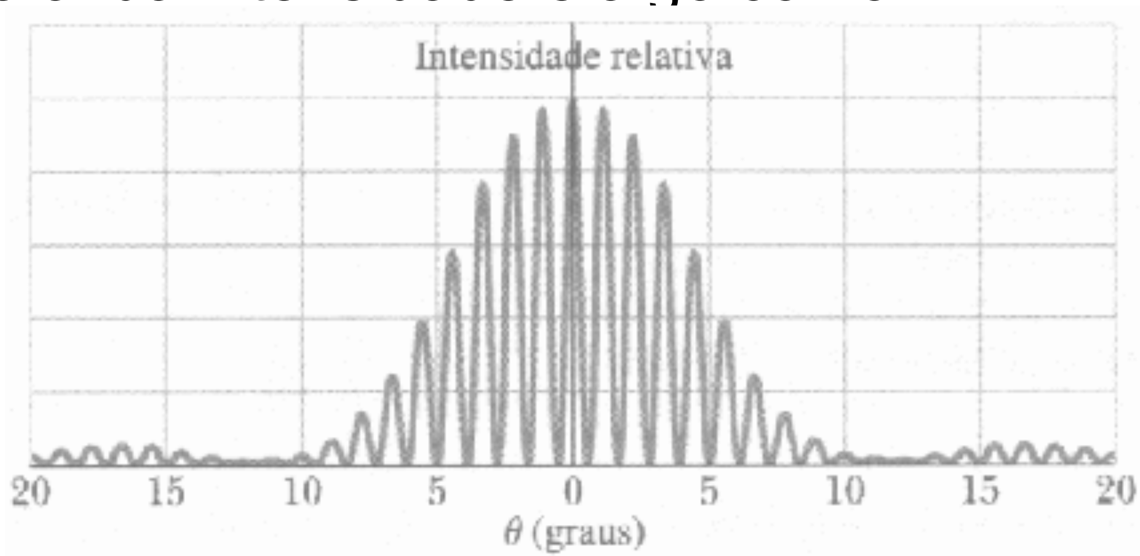
No limite $a/\lambda \to 0$ obtemos a eq. para a intensidade no experimento de Young:

$$I(\theta) = I_m \cos^2 \beta$$

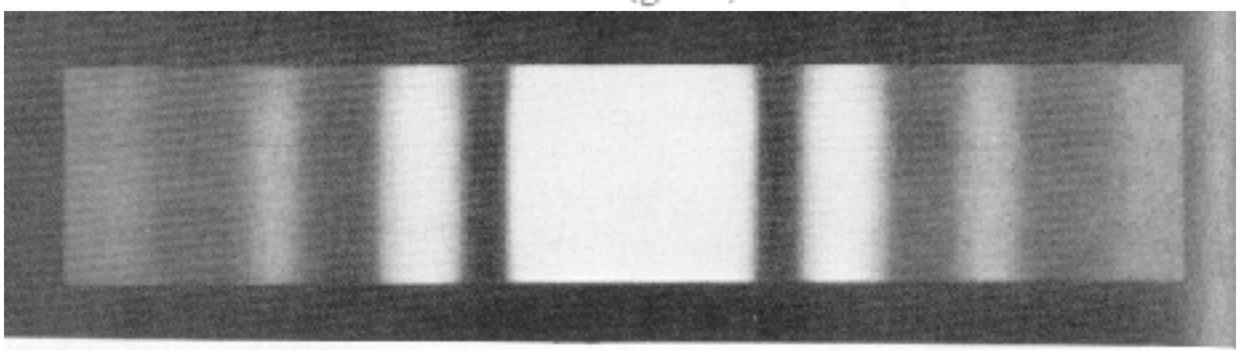
No limite $d/\lambda \to 0$ obtemos a eq. para a intensidade numa fenda única:

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

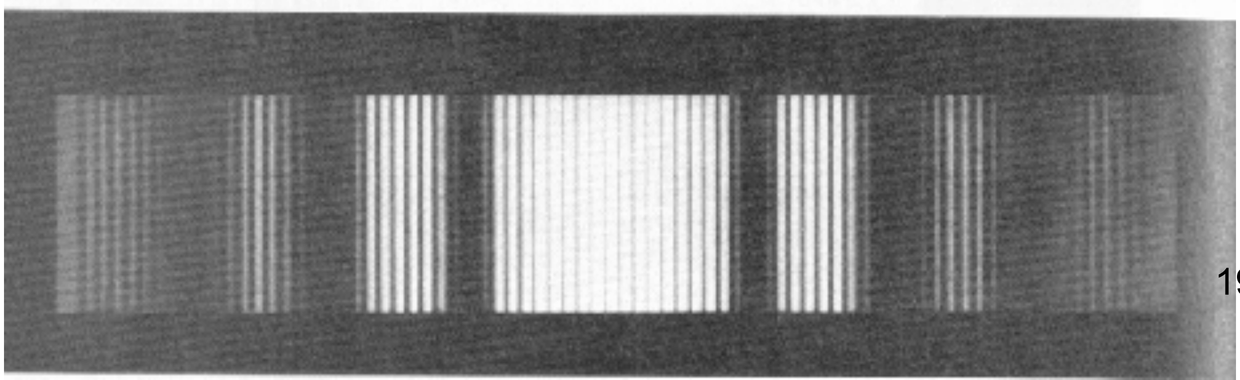
# O gráfico geral da intensidade é algo como:



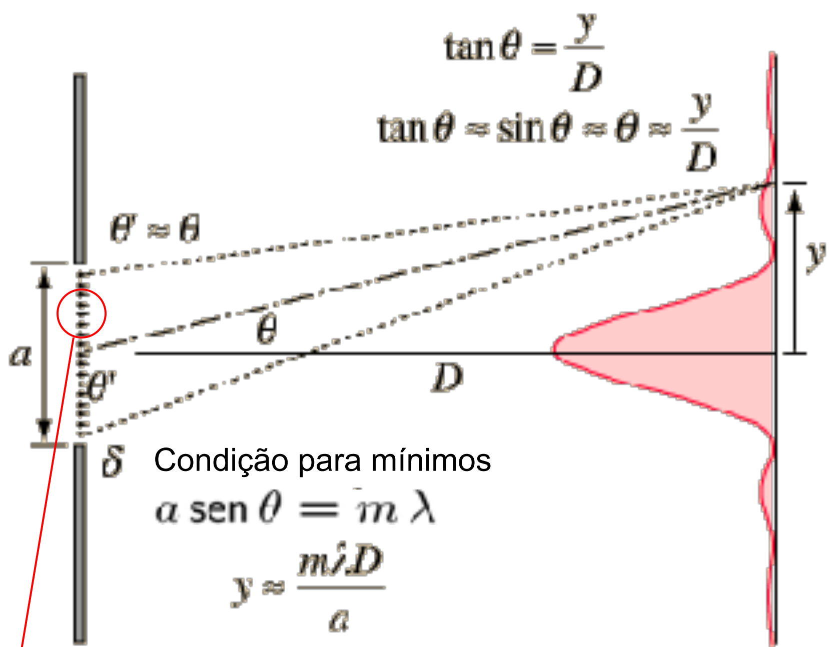

uma fenda



duas fendas



# Determinação da intensidade da luz difratada por uma fenda – método qualitativo




$$\Delta\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)(\Delta x \,\mathrm{sen}\,\theta)$$

diferença de fase ondas 2arias.

dif. de dist. percorrida

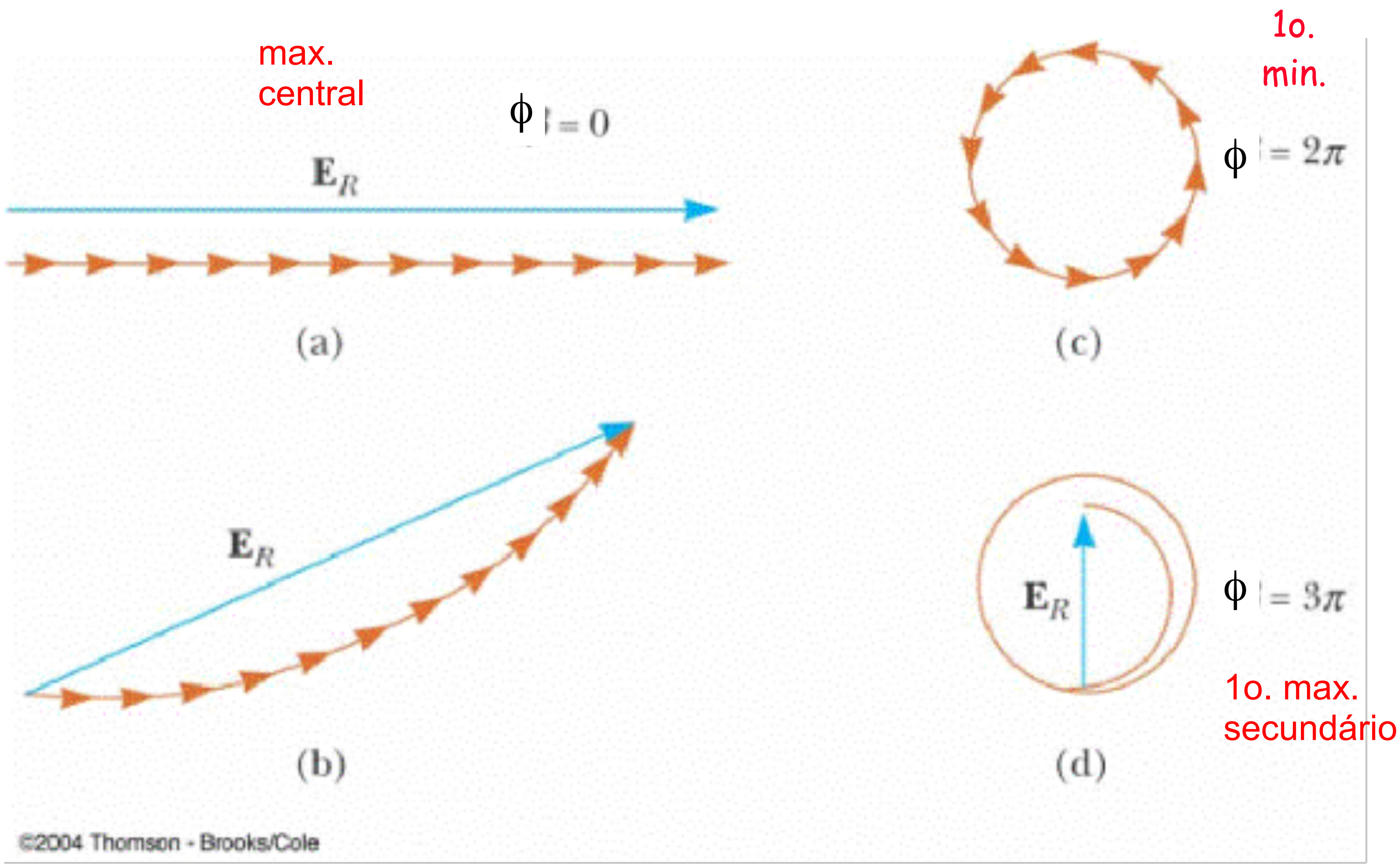
Pto. P $\Rightarrow$ amplitudes $\Delta E$

Fasores

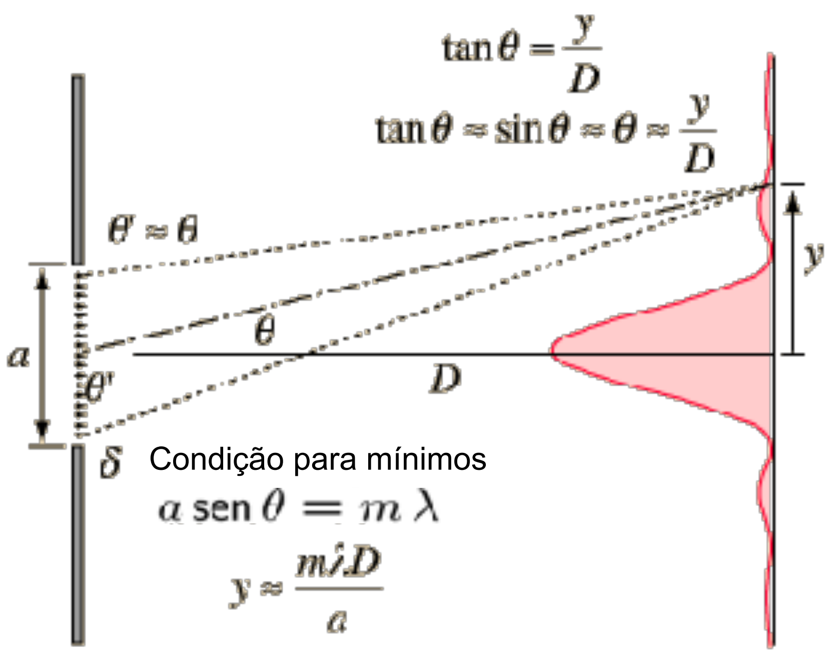
*N* regiões $\Delta x$

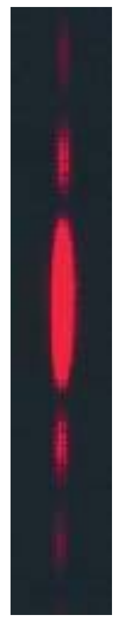
Cada: ondas secund. Huygens

# Fasores


max.
central
ϕ = 0
E_R
(a)
E_R
(b)
1o.
min.
ϕ = 2π
(c)
E_R
ϕ = 3π
1o. max.
secundário
(d)
©2004 Thomson - Brooks/Cole

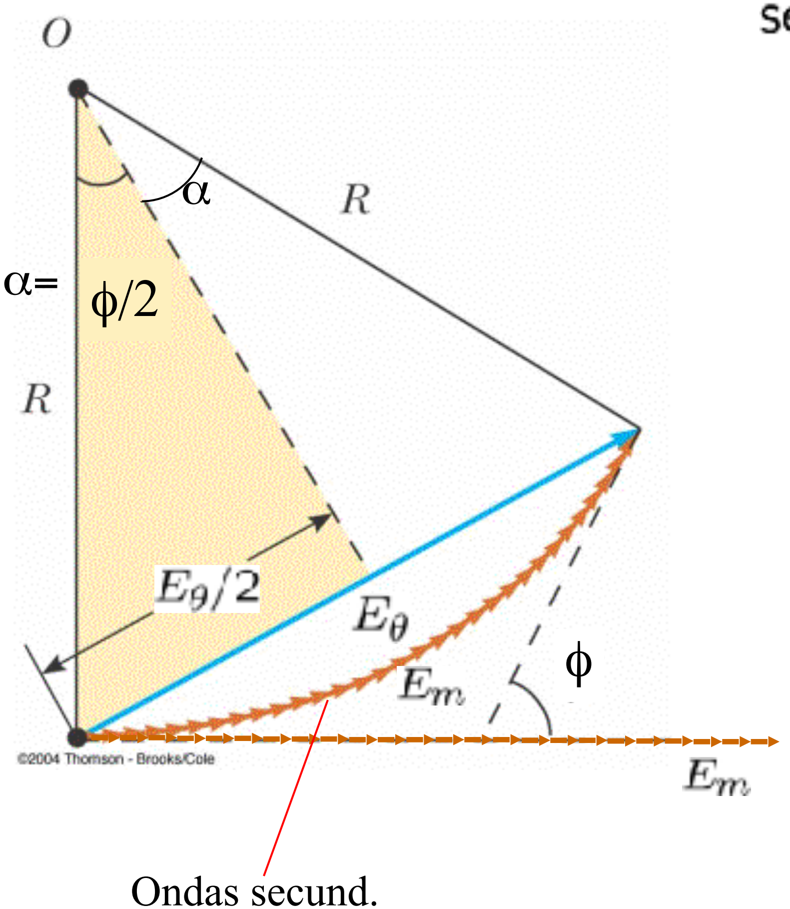
# Determinação da intensidade da luz difratada por uma fenda – método quantitativo



$$I(\theta) = ?$$

# Fasores




$$\operatorname{sen}\frac{1}{2}\phi = \frac{E_\theta}{2R} \qquad ; \qquad \phi = \frac{E_m}{R}$$

Logo, explicitando *R*:

$$E_\theta = \frac{E_m}{\frac{1}{2}\phi}\operatorname{sen}\frac{1}{2}\phi$$

Como: $$\frac{I(\theta)}{I_m} = \frac{E_\theta^2}{E_m^2}$$

Então:

$$\boxed{I(\theta) = I_m\left(\frac{\operatorname{sen}\alpha}{\alpha}\right)^2}$$

$$\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)(a\operatorname{sen}\theta) \Rightarrow \alpha = \frac{\pi a}{\lambda}\operatorname{sen}\theta$$

$$I(\theta) = I_m \left( \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\alpha} \right)^2$$

Mínimos em:

$$\alpha = m\pi \quad , \quad m = 1, 2, 3, \ldots$$

Substituindo α:

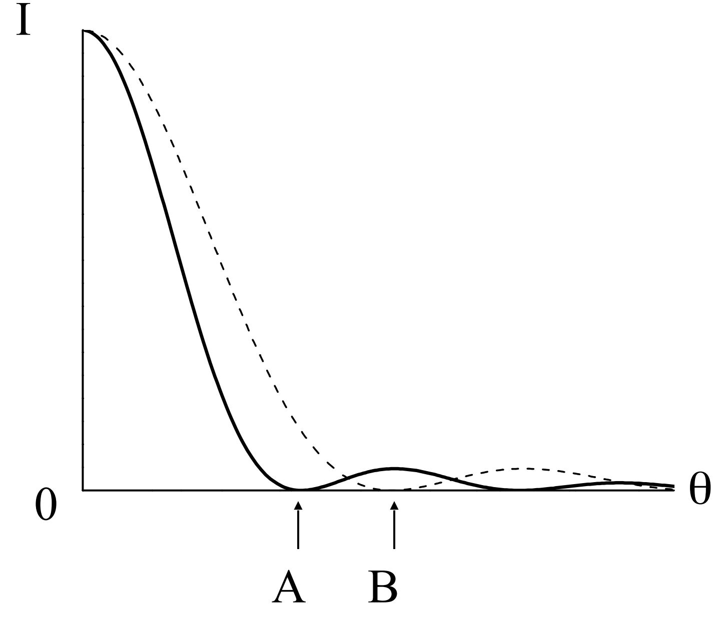
$$m\pi = \frac{\pi a}{\lambda} \operatorname{sen} \theta \quad , \quad m = 1, 2, 3, \ldots$$

Ou:

$$\boxed{a \operatorname{sen} \theta = m\lambda \quad , \quad m = 1, 2, 3, \ldots}$$ (min. – fr. escuras)

# Verificação

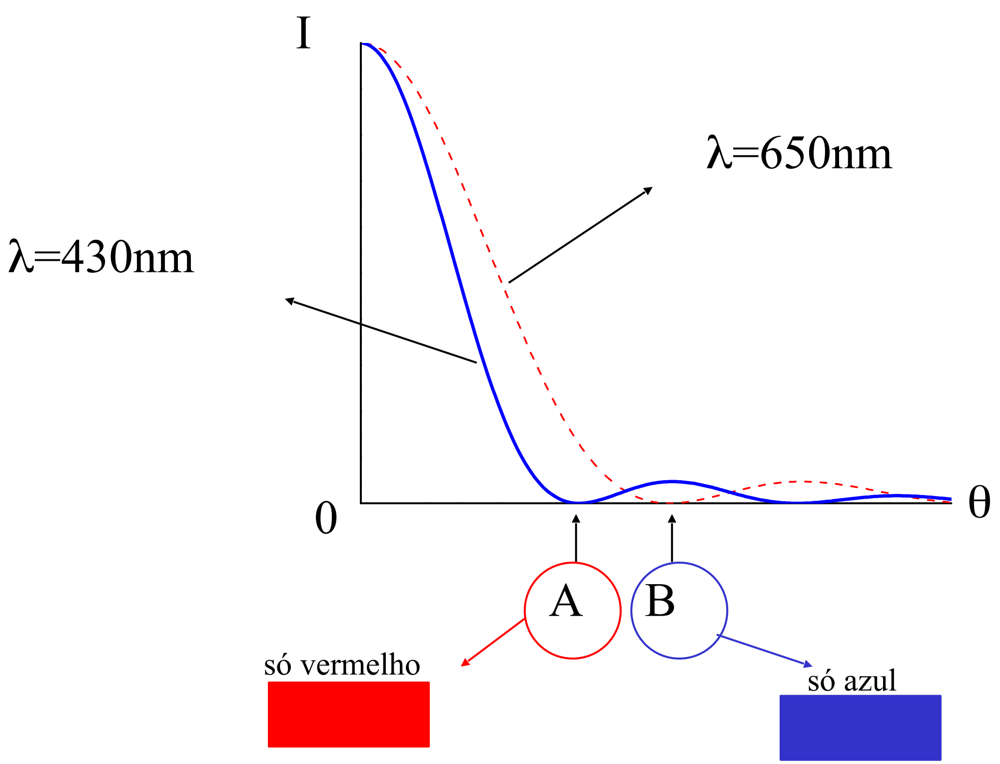
Dois comprimentos de onda, 650 e 430 nm, são usados separadamente em um experimento de difração por uma fenda. A figura mostra os resultados na forma de gráficos da intensidade I em função do ângulo θ para as duas figuras de difração. Se os dois comprimentos de onda forem usados simultaneamente, que cor será vista na figura de difração resultante (a) para o ângulo A e (b) para o ângulo B?



Lembrando:

$$a\,\mathrm{sen}\,\theta = m\lambda \quad , \quad m = 1, 2, 3, \ldots$$ (min. – fr. escuras)

Portanto:



# Exercícios e Problemas

37-10E. Uma luz monocromática com um comprimento de onda de 538 nm incide em uma fenda com uma largura de 0,025 mm. A distância entre a fenda e a tela é de 3,5 m. Considere um ponto na tela a 1,1 cm do máximo central. (a) Calcule o valor de $\theta$ neste ponto (ângulo entre a reta ligando o ponto central da fenda à tela e a reta ligando o ponto central da fenda ao ponto em questão na tela). (b) Calcule o valor de $\alpha$. (c) Calcule a razão entre a intensidade neste ponto e a intensidade no máximo central.

a)

$$\theta = \mathrm{arctg}\left(\frac{1,1\times 10^{-2}}{3,5}\right) = 0,0031428\,rad$$

b)

$$\alpha = \left(\frac{\pi}{\lambda}\right) a\,\mathrm{sen}\,\theta = \frac{\pi(0,025\times 10^{-3})}{(538\times 10^{-9})}\,\mathrm{sen}\,(0,0031428) = 0,459\,rad$$

c)

$$\frac{I(\theta)}{I_m} = \left(\frac{\mathrm{sen}\,\alpha}{\alpha}\right)^2 = 0,932$$

# Redes de difração

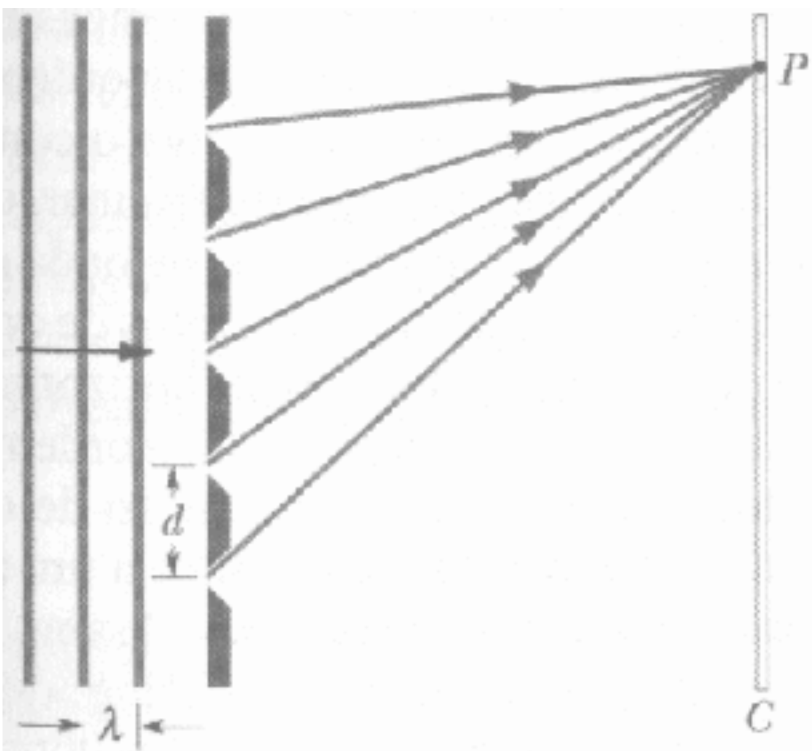
Grande número de fendas (ranhuras)

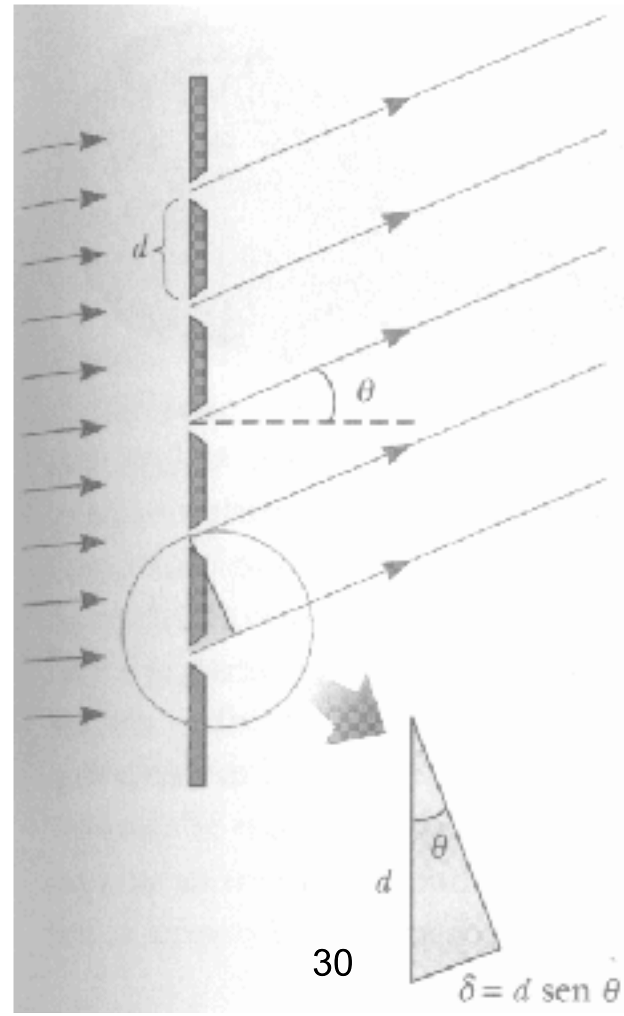
Rede de difração

# Rede de Difração

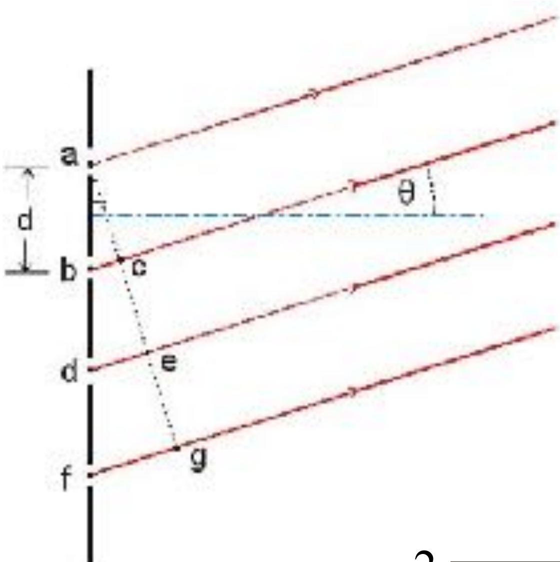
• Somando os raios, dois a dois, teremos máximos no anteparo quando:

$$d\,sen\theta = m\lambda \,; \quad (m = 0, 1, 2, \ldots)$$



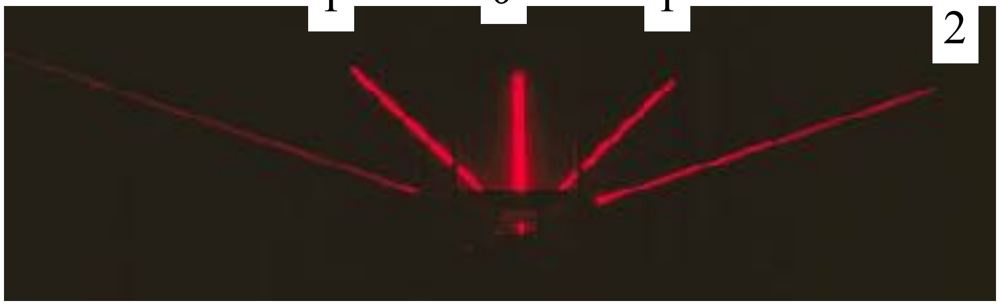
# Redes de difração




$$d \operatorname{sen} \theta = m\lambda \quad , \quad m = 0, 1, 2, \ldots$$

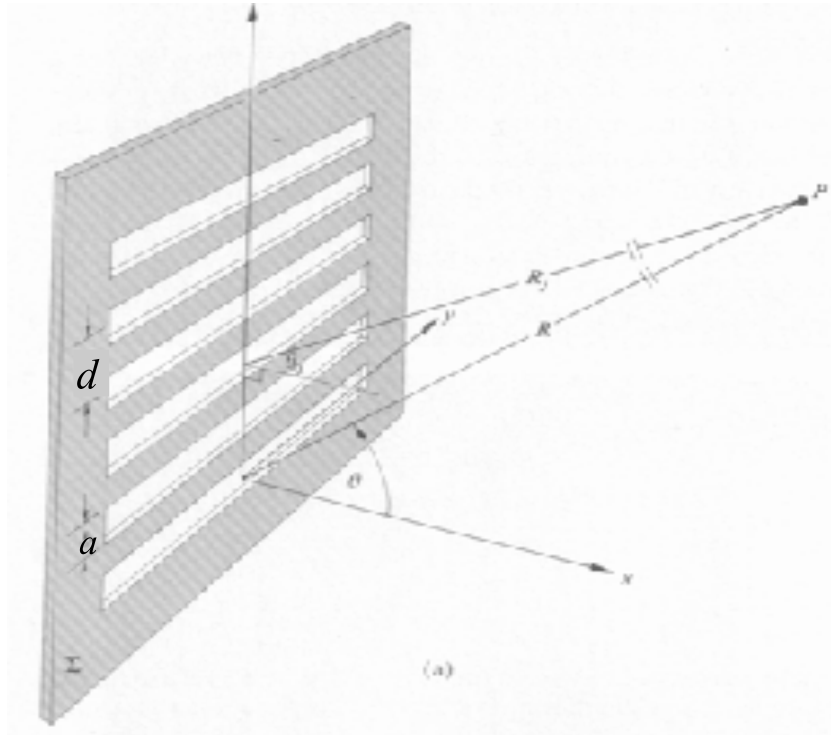
(máx. linhas)

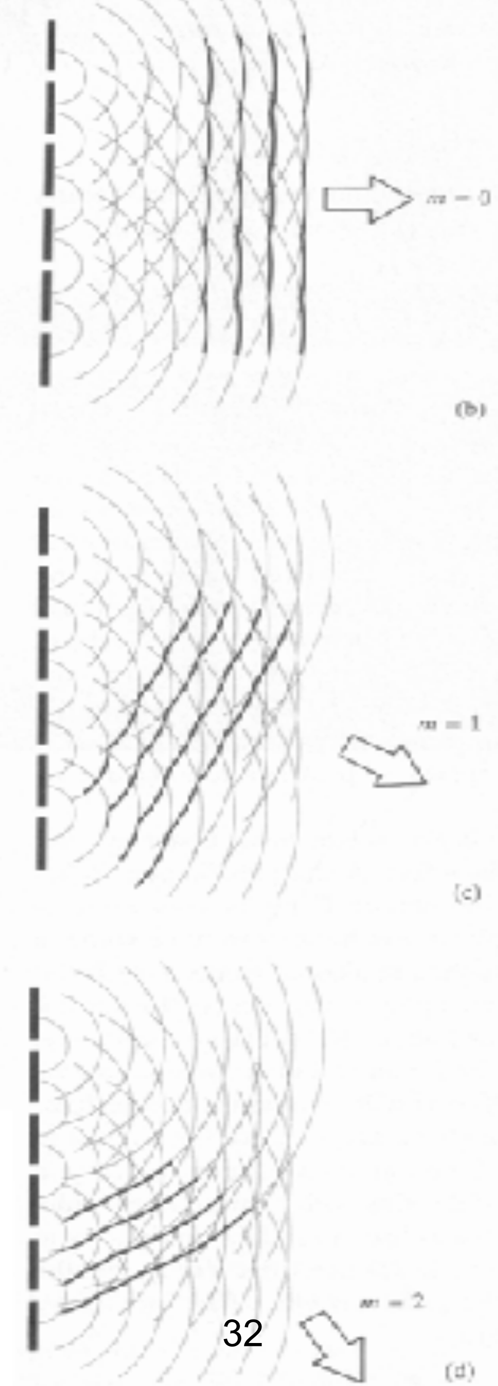
ordem

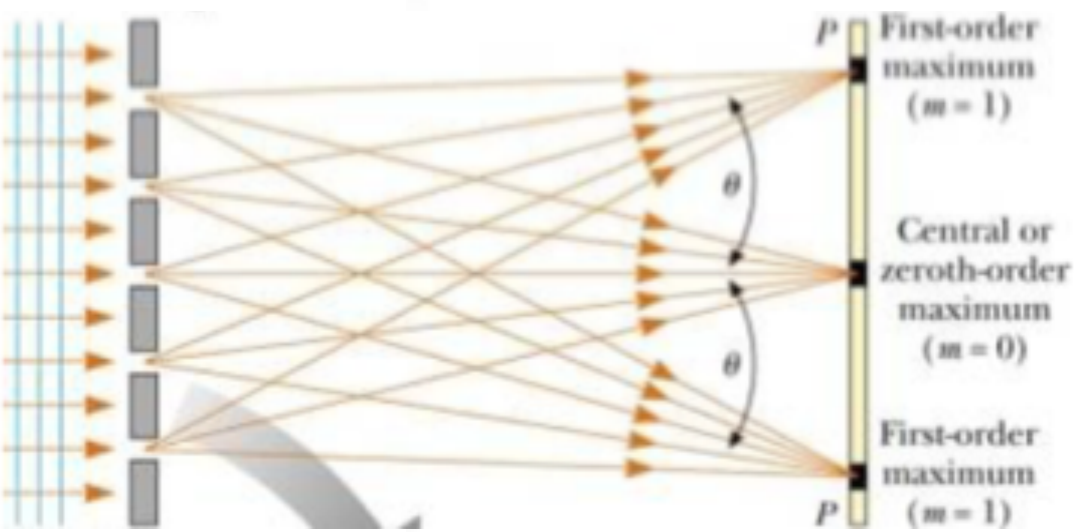



Laser de He-Ne

# Frentes de onda



# Exercícios e Problemas

Uma rede de difração com 20,0 mm de largura possui 6000 ranhuras.
(a) Calcule a distância *d* entre ranhuras vizinhas.
(b) Para que ângulos $\theta$ ocorrerão máximos de intensidade em uma tela de observação se a radiação incidente na rede de difração tiver um comprimento de onda de 589 nm?

7º-33. (a)

$$d = \frac{20}{6000} = 0,00333mm = 3,33\mu m. \tag{25}$$

(b) Para determinar as posições dos máximos de intensidade usamos a fórmula $dsen\theta = m\lambda$, determinando todos os valores de m que produzem valores de $|m|\lambda/d < 1$. Explicitamente, encontramos
para $m = 0$:

$$\theta = 0^\circ \tag{26}$$

para $m = 1$:

$$\theta = sen^{-1}\frac{\pm\lambda}{d} = sen^{-1}\frac{\pm 0,589}{3,3} = \pm 10,2^\circ \tag{27}$$

para $m = 2$:

$$\theta = sen^{-1}\frac{\pm 2(0,589)}{3,3} = \pm 20,7^\circ \tag{28}$$

para $m = 3$:

$$\theta = sen^{-1}\frac{\pm 3(0,589)}{3,3} = \pm 32,2^\circ \tag{29}$$

para $m = 4$:

$$\theta = sen^{-1}\frac{\pm 4(0,589)}{3,3} = \pm 45^\circ \tag{30}$$

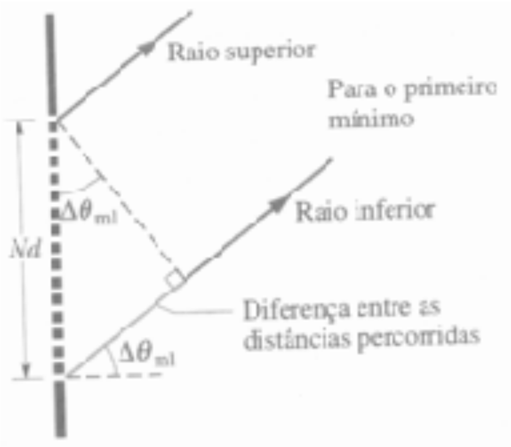
para $m = 5$:

$$\theta = sen^{-1}\frac{\pm 5(0,589)}{3,3} = \pm 62,2^\circ. \tag{31}$$

Para $m = 6$ obtemos $|m|\lambda/d > 1$, indicando que os máximos acima são todos possíveis.

# Largura das Linhas numa rede de difração

Verificamos no estudo da difração por uma fenda "$a$" que a posição do primeiro mínimo é dada por:




$$\lambda = a\,\mathrm{sen}\theta$$

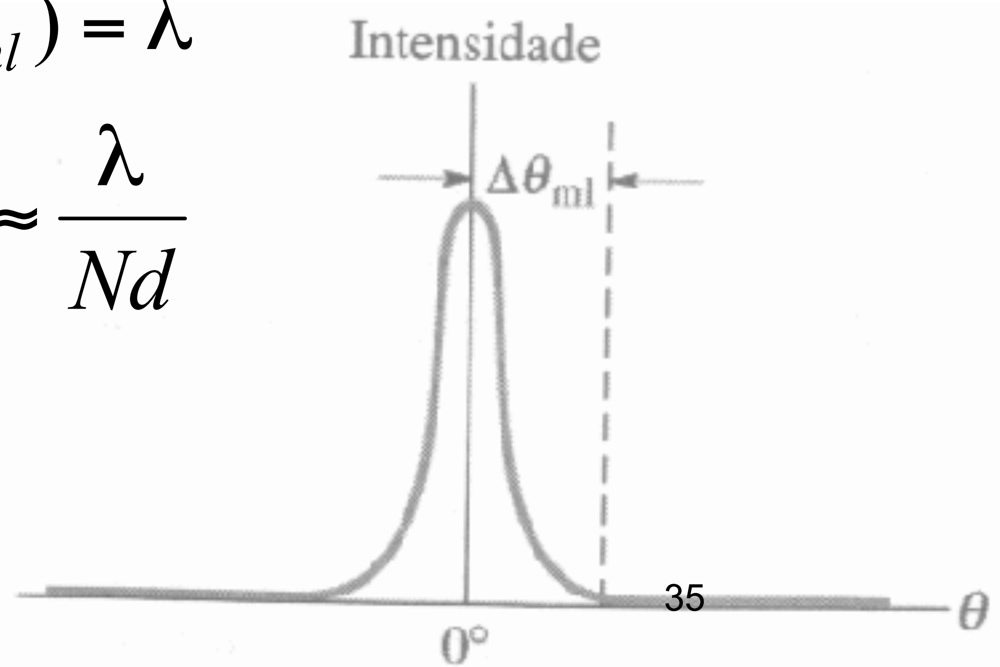
Para calcular a *meia largura* da linha clara central na rede, podemos fazer a analogia:

$$a \sim Nd \longrightarrow Nd\,\mathrm{sen}(\Delta\theta^{0}_{ml}) = \lambda$$

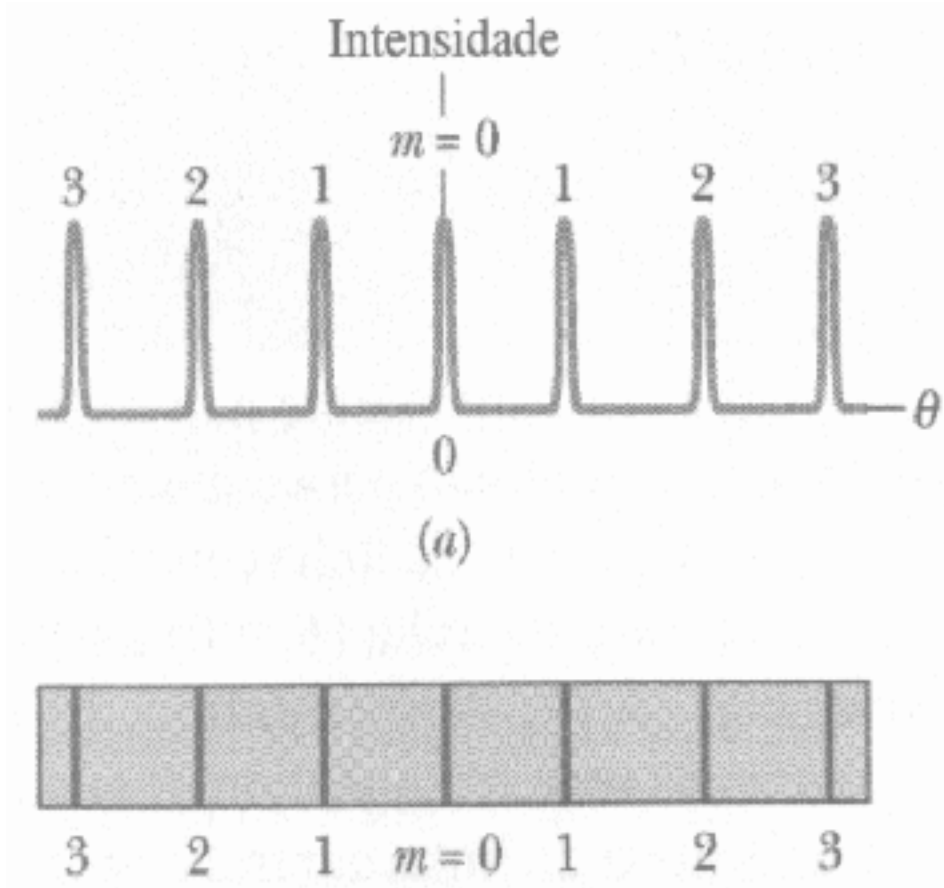
$$\Delta\theta^{0}_{ml} \approx 0 \longrightarrow \Delta\theta^{0}_{ml} \approx \frac{\lambda}{Nd}$$

Para um ângulo geral:

$$\Delta\theta^{\theta}_{ml} \approx \frac{\lambda}{Nd\cos\theta}$$



A rede de difração tem uma resolução muito superior a uma fenda dupla, por exemplo:

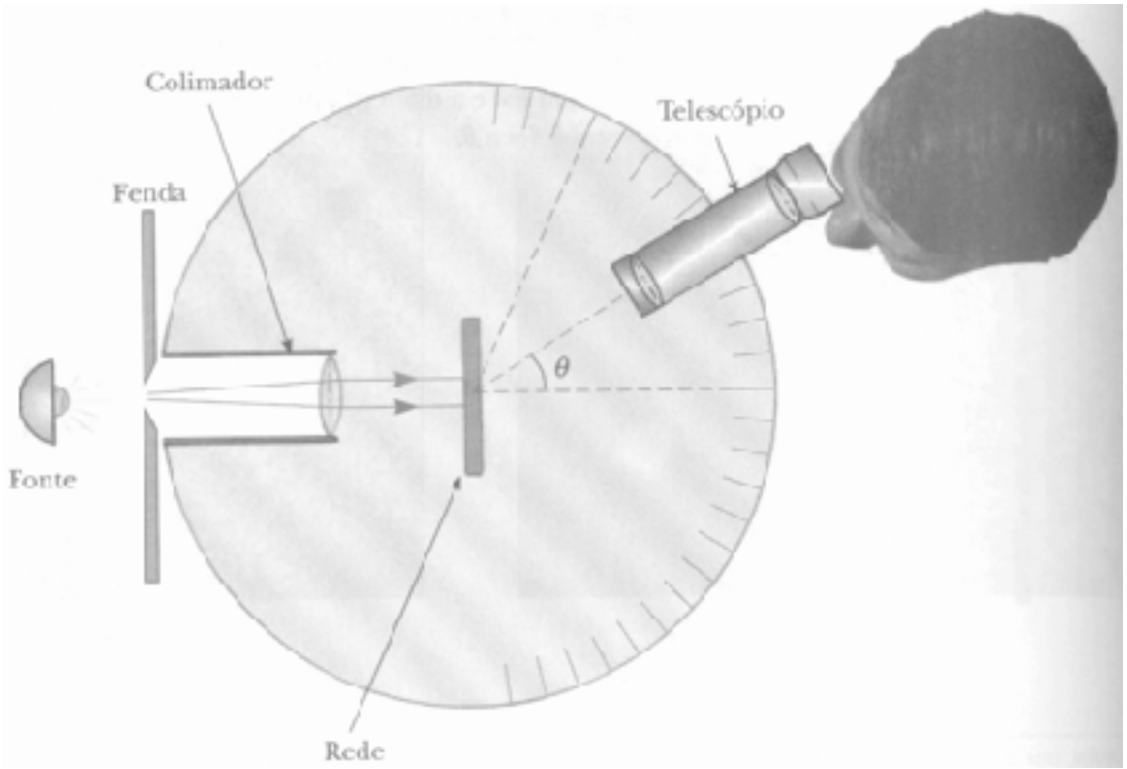



Pode ser utilizada para determinar um $\lambda$ desconhecido a partir do $\theta$ .

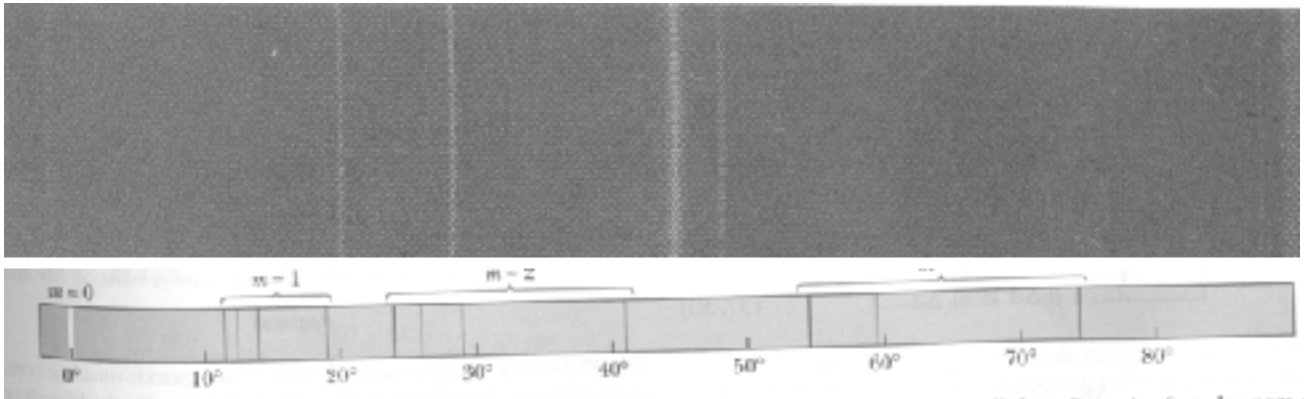
Pode ser utilizada para determinar um $\lambda$ desconhecido a partir do $\theta$ :

$$d \operatorname{sen}\theta = m\lambda$$

$$\boxed{\theta = \arcsen\left(\frac{m\lambda}{d}\right)}$$

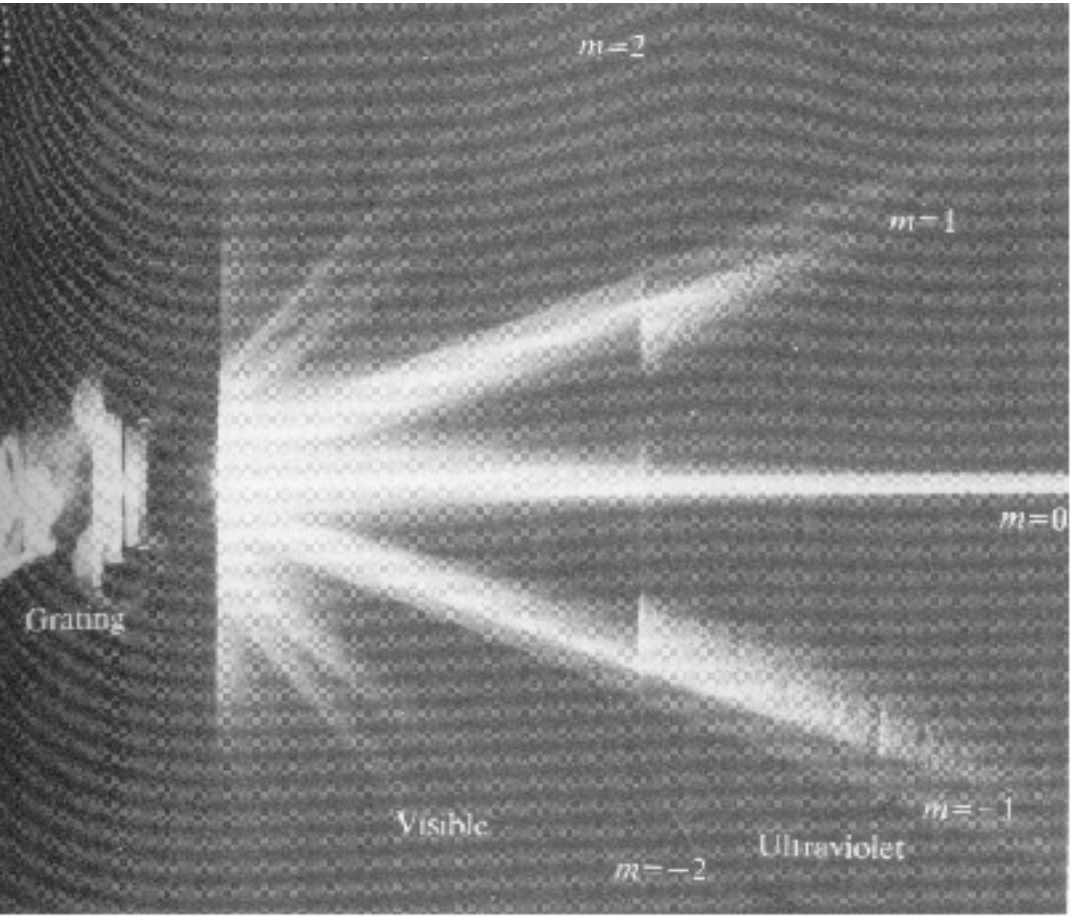



Espectrômetro de Rede de Difração

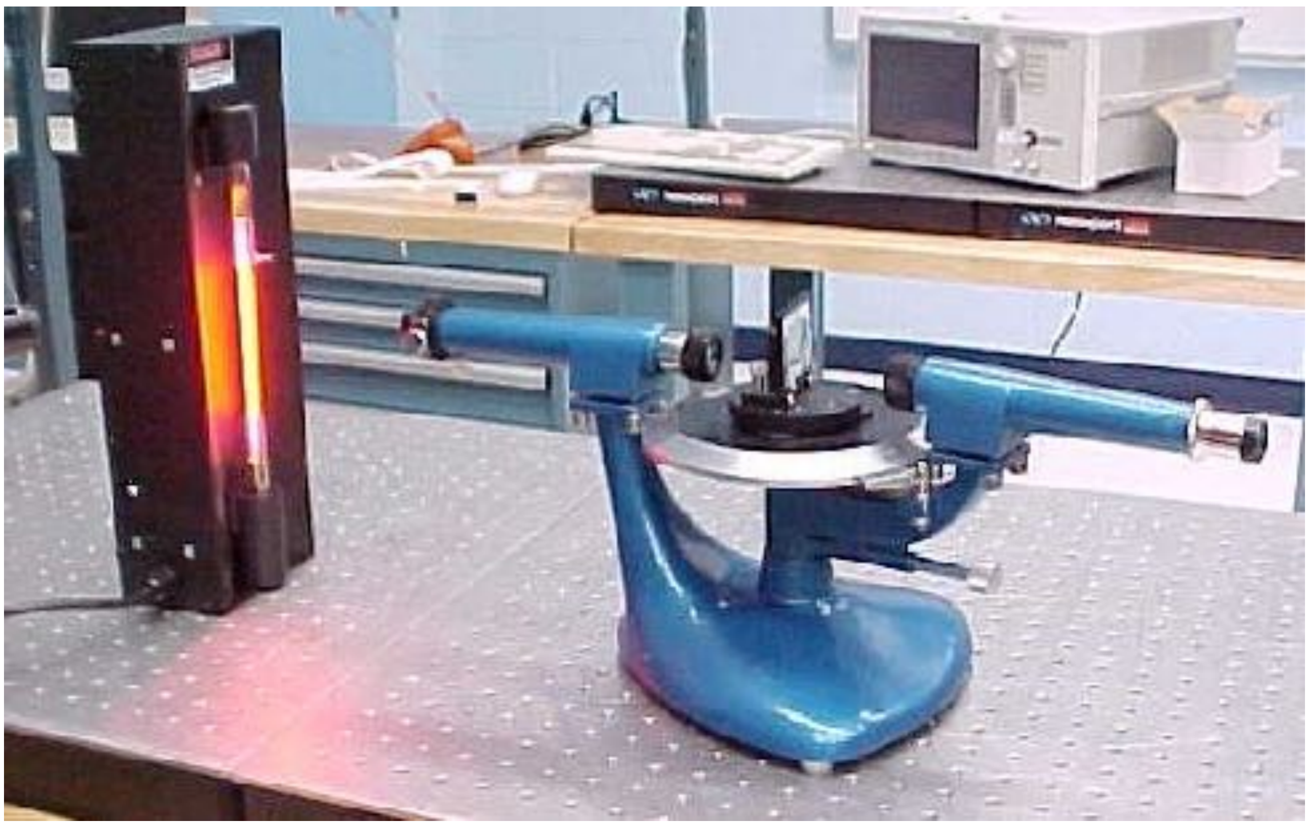



37.22 Linhas de emissão do hidrogênio na faixa da luz visível, até a quarta ordem. Observe que as linhas são mais afastadas para g

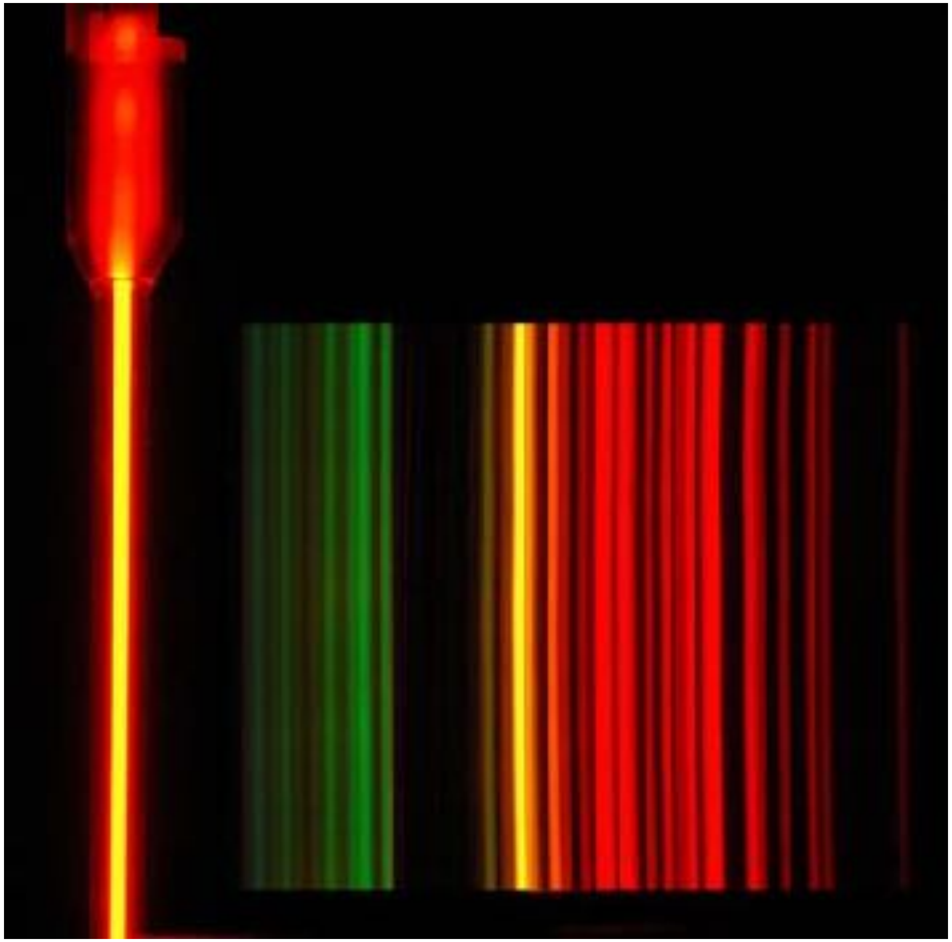
# Redes de difração com resolução menor:



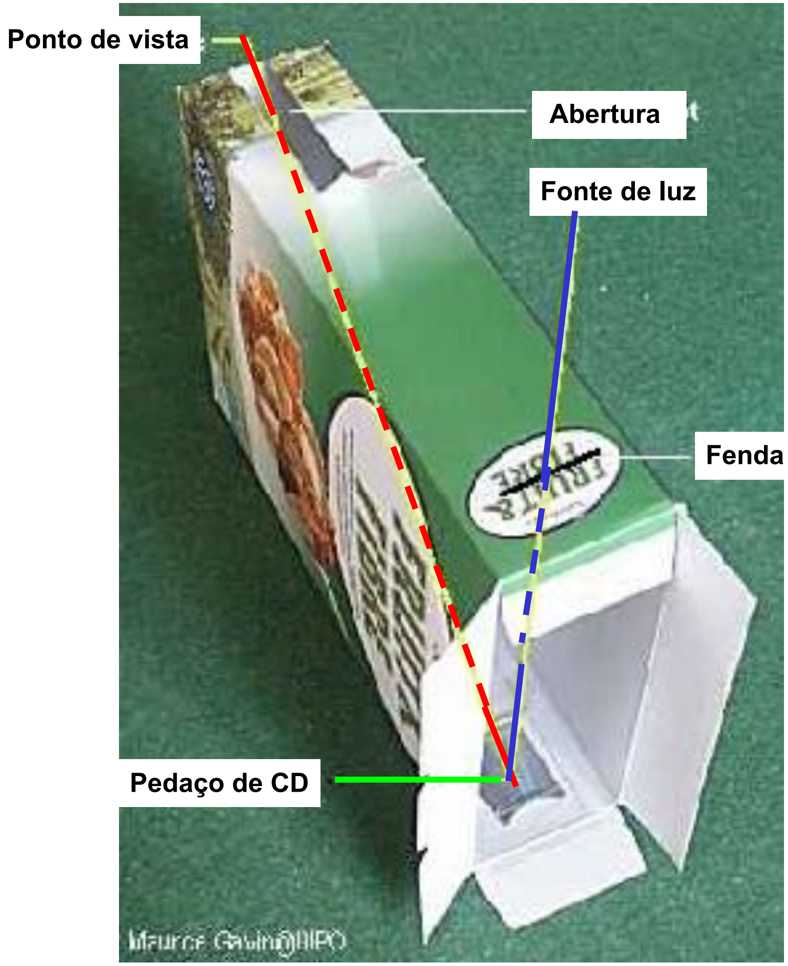

# Uma aplicação das redes de difração



# Linhas de emissão do neônio



# Uma outra aplicação das redes de difração




Espectroscópio feito em casa

# Dispersão

A dispersão numa rede de difração é definida por:

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

onde $\Delta\theta$ é separação angular entre duas linhas que diferem de $\Delta\lambda$ .

Vimos que $\lambda = \dfrac{d\,sen\theta}{m}$ portanto $\dfrac{d\lambda}{d\theta} = \dfrac{d}{m}cos\theta$

Logo, temos:

$$\boxed{\uparrow D = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} = \frac{\uparrow m}{\downarrow d\,cos\theta}}$$

# Resolução

A resolução numa rede de difração é definida por:

$$R = \frac{\lambda_{med}}{\Delta\lambda}$$

onde $\Delta\lambda$ é menor diferença de comprimento de onda que pode ser resolvido e $\lambda_{med}$ é o comprimento de onda médio.

Vimos que o menor ângulo que pode ser resolvido é:

$$\Delta\theta_{ml}^{\theta} \approx \frac{\lambda}{Nd\,cos\theta}$$

Substituindo este valor na eq. da dispersão:

$$D = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} = \frac{m}{d\,cos\theta}$$

$$\frac{\lambda}{Nd\,cos\theta}\frac{1}{\Delta\lambda} = \frac{m}{d\,cos\theta}$$

Assim, temos:

$$\boxed{R = \frac{\lambda_{med}}{\Delta\lambda} = Nm}$$

# Dispersão x Resolução

| Rede | $N$ | $d(nm)$ | $\theta$ | $D(°/\mu m)$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | 10000 | 2540 | 13,4° | 23,2 | 10000 |
| $B$ | 20000 | 2540 | 13,4° | 23,2 | 20000 |
| $C$ | 10000 | 1370 | 25,5° | 46,3 | 10000 |

$$D = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} = \frac{m}{d\cos\theta}$$

A dispersão melhora com a diminuição de $d$

$$R = \frac{\lambda_{med}}{\Delta\lambda} = Nm$$

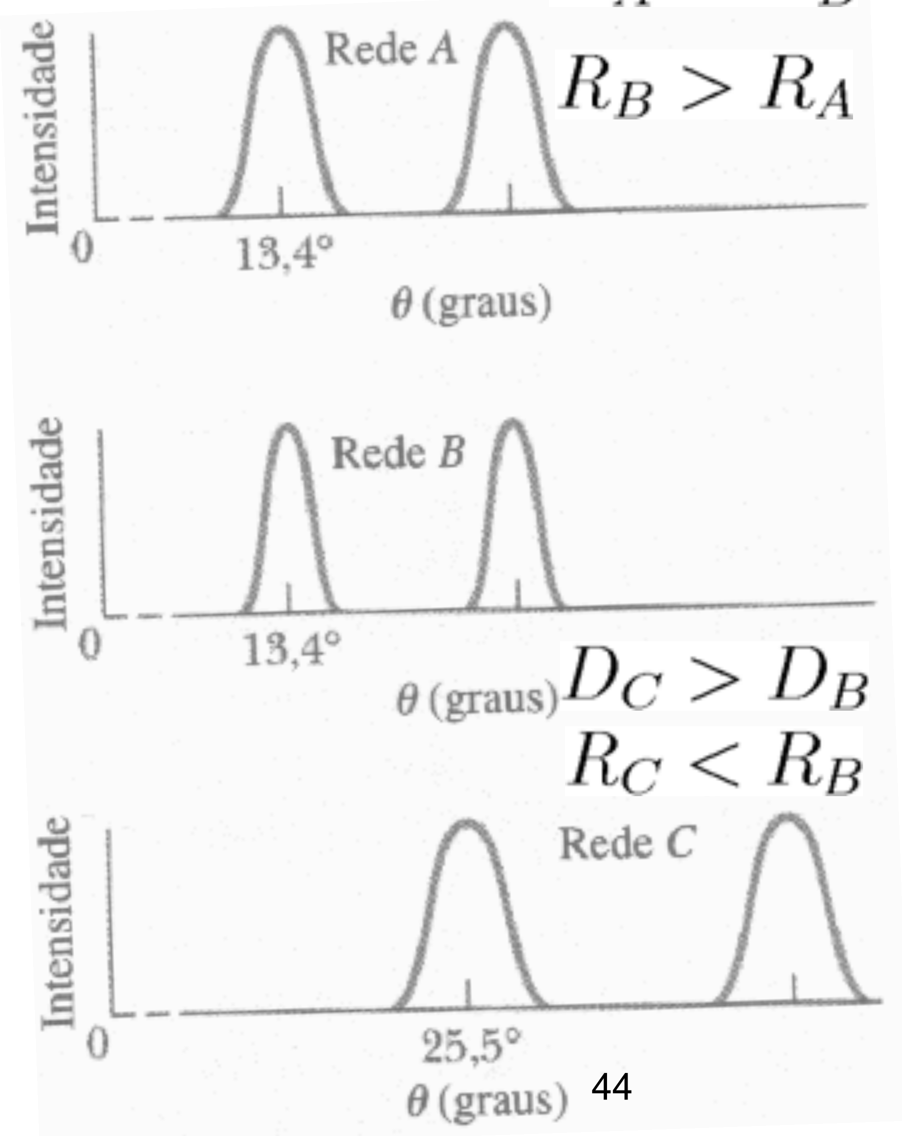
Resolução aumenta com $N$, número de ranhuras

$D_A = D_B$

$R_B > R_A$

$D_C > D_B$

$R_C < R_B$



# Exercícios e Problemas

37-48E. Uma rede de difração tem 600 ranhuras/mm e 5,0 mm de largura. (a) Qual é o menor intervalo de comprimentos de onda que a rede é capaz de resolver em terceira ordem para $\lambda$=500 nm? (b) Quantas ordens acima da terceira podem ser observadas?

10°-48. (a) Usando o fato de que

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = Nm \tag{36}$$

obtemos

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{Nm} = \frac{500 \times 10^{-9}}{(3)(600)(5)} = 55,5 \times 10^{-12} m. \tag{37}$$

(b) A posição dos máximos numa rede de difração é definida pela fórmula

$$d sen\theta = m\lambda \tag{38}$$

de onde obtemos que

$$sen\theta = \frac{m\lambda}{d}. \tag{39}$$

Não observamos difração de ordem $m$ equivalente a dizer que para tal $m$ obtemos $\theta = 90°$, ou seja, que temos

$$sen 90° = 1 \approx \frac{m_{max}\lambda}{d}. \tag{40}$$

Isolando-se $m_{max}$, e substituindo os dados do problema em questão encontramos que

$$m_{max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{10^{-3}/600}{500 \times 10^{-9}} = 3,3. \tag{41}$$

Tal resultado nos diz que a maior ordem observável com tal grade é a terceira, pois esta é a última ordem que produz um valor fisicamente significativo de $\theta$. Portanto, não se pode observar nenhuma ordem superior a terceira com tal grade.

# Sólidos Cristalinos

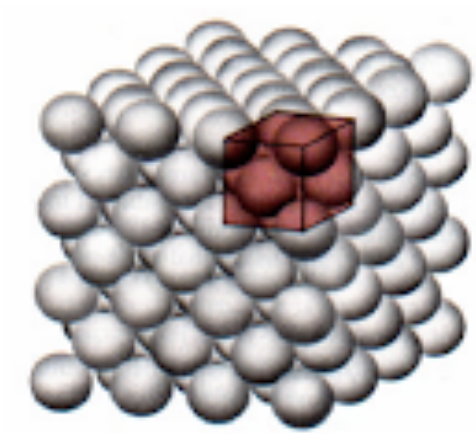
- Formas regulares e simétricas assim como a ordenação das partículas que os formam.

# Cristais e suas estruturas

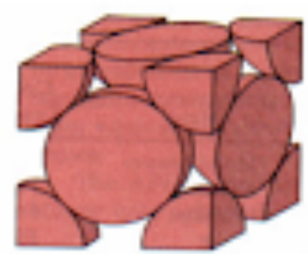
- Cristais são arranjos atômicos ou moleculares cuja estrutura se repete numa forma periódica tridimensional. Um exemplo simples é o do sal de cozinha, NaCl, cuja estrutura consiste em átomos de Sódio e Cloro dispostos de forma que um átomo de sódio terá sempre átomos de cloro como vizinhos e vice-versa.

# Celulas Unitárias e Redes

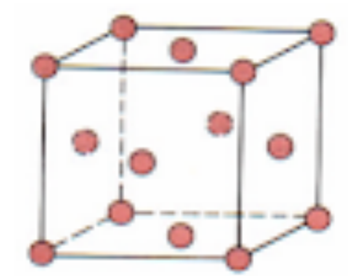
## Célula Unitária



Sólido cristalino CFC

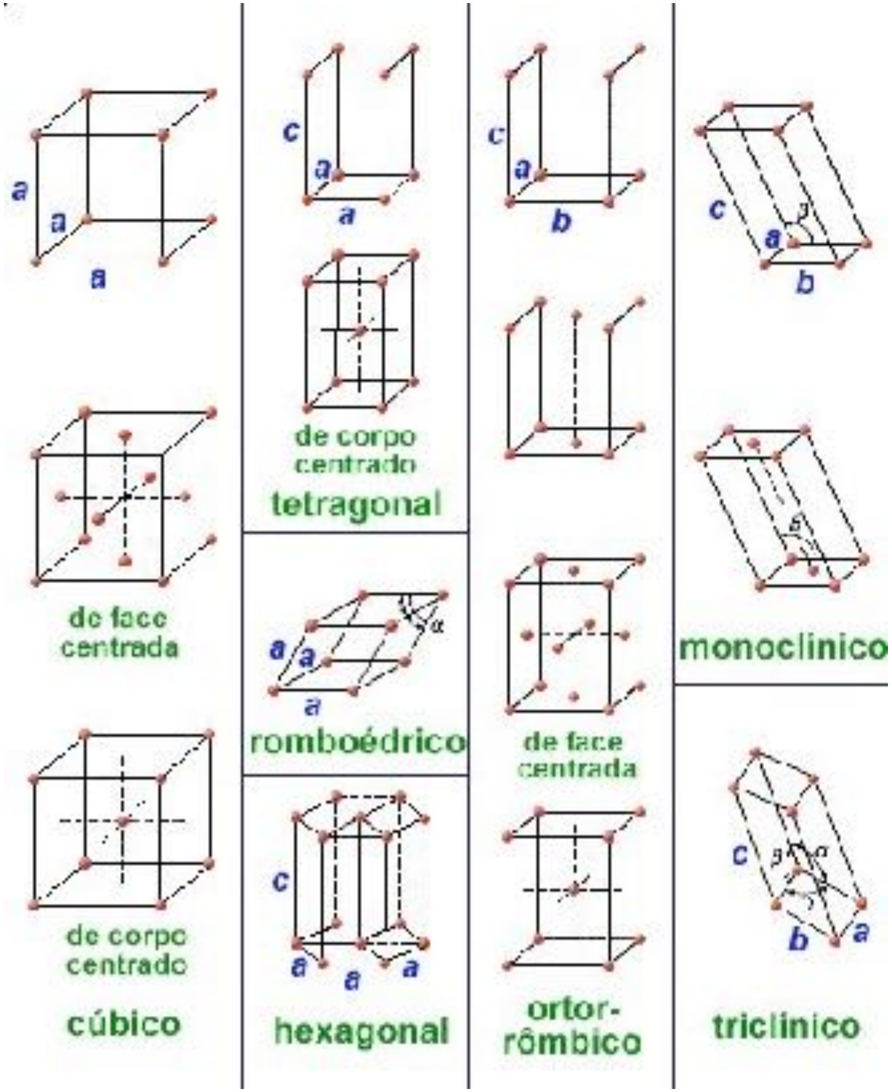


Célula unitária representada por esferas rígidas (em escala)



Outra representação da célula unitária. Os circulos representam as posições ocupadas pelos átomos

# Celulas Unitárias e Redes

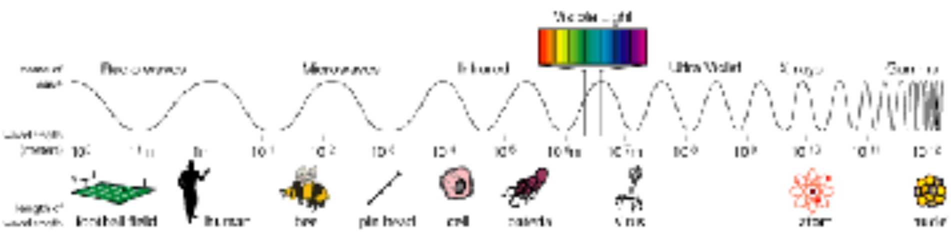


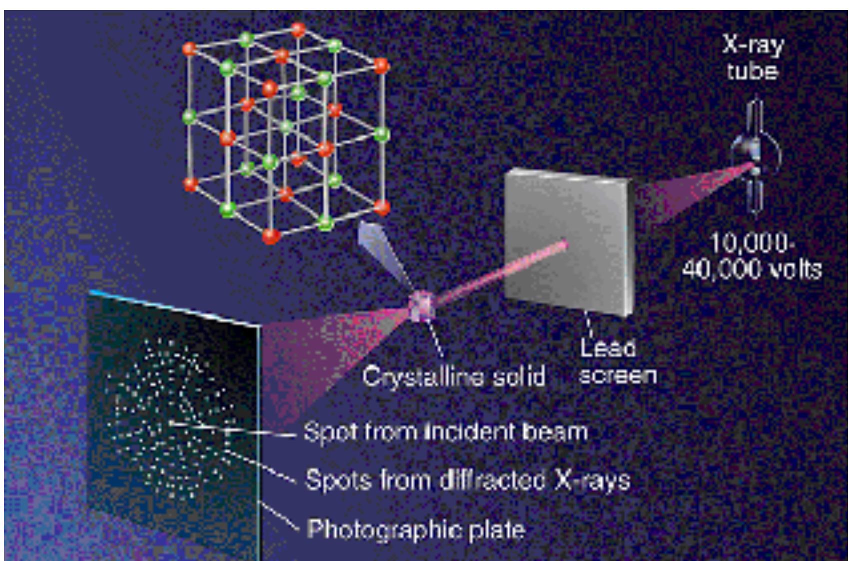
# Microscópio óptico

- Os microscópios ópticos possuem uma limitação física, ditada pelo comprimento de onda da luz visível. Não é possível enxergar-se diretamente nenhum objeto menor do que o comprimento de onda da luz na faixa do espectro que o olho humano enxerga.
- Isso faz com que os cientistas não consigam ver nada que esteja separado por uma distância menor do que 200 nanômetros.

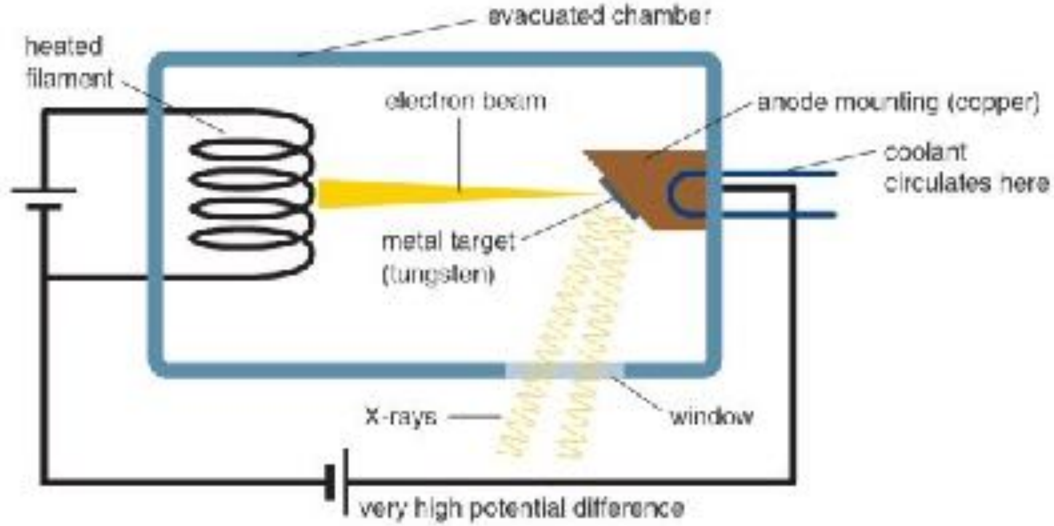
# Microscópio óptico

- O estudo da estrutura cristalina não é possível através da microscopia óptica.
- A técnica mais utilizada para realizar este estudo consiste em estudar a maneira como a estrutura cristalina difrata ondas.





# Raio-X




- Descoberto por Roentgen (Nobel de 1901).
- Raios X são produzidos todas as vezes que elétrons encontram um obstáculo. Na experiência de Roentgen, eles eram produzidos quando os elétrons encontravam a parede do tubo.
- A produção dos raios X é explicada do seguinte modo: os elétrons emitidos pelo catodo são fortemente atraídos pelo anodo e chegam a este com grande energia cinética. Chocando-se com o anodo, eles perdem a energia cinética e cedem energia aos elétrons que estão nos átomos do anodo. Estes elétrons são então acelerados e, então, emitem ondas eletromagnéticas que são os raios X.

# Marie Cure

- Aplicação prática do raio X na I Guerra Mundial para tratamento de ferimentos de balas e fraturas.
- Na França o professor Antonio Henri Berquerel trabalhava com a fosforecência e suas experiências levaram a creditar que a pechblenda, minério de urânio, contivesse outro elemento além do urânio. Marie, Pierre e o professor trabalham juntos em laboratório durante vários anos.

# Difração de Raio X

- 1912 – Laue (alemão) usa um cristal como rede de difração tridimensional;
- Mesma ordem de grandeza do λ da radiação incidente e da distância entre as partícula do cristal;
- Raio X incide no cristal, onde parte de sua energia é absorvida e reemitida em todas as direções (cada átomo se torna uma fonte secundária de raios X);
- Quando os raios X incidem numa substância de estrutura aleatória, são dispersos em todas as direções.
- No entanto, em planos cristalinos haverá direções preferenciais nas quais se dá interferência construtiva ou destrutiva dos raios X.

# Difração de raios-x

Physics

## The Nobel Prize in Physics 1914

"for his discovery of the diffraction of X-rays by crystals"

**Max von Laue**

Germany

Frankfurt-on-the-Main University
Frankfurt-on-the-Main, Germany

b. 1879
d. 1960

R-x $\Rightarrow$ $\lambda \approx 1$ Å

MAX VON LAUE

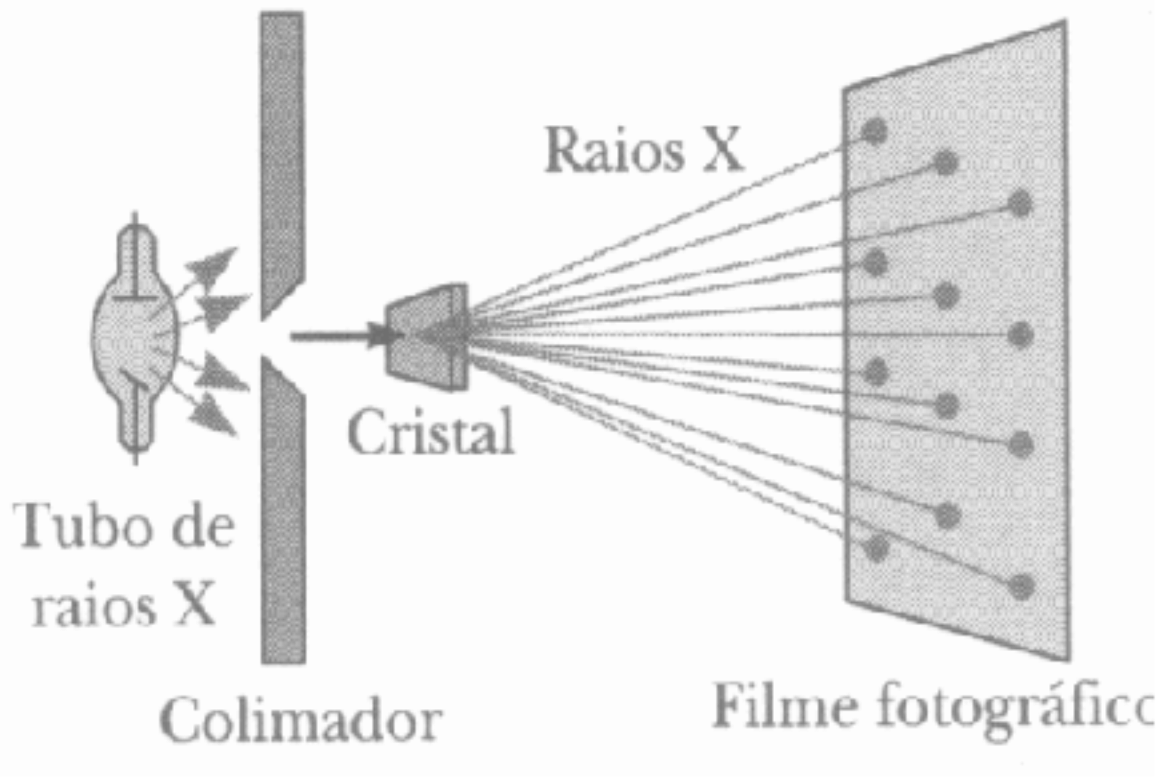
Concerning the detection of X-ray interferences

*Nobel Lecture, November 12, 1915*



http://nobelprize.org

# Difração de Raios-X por Cristais

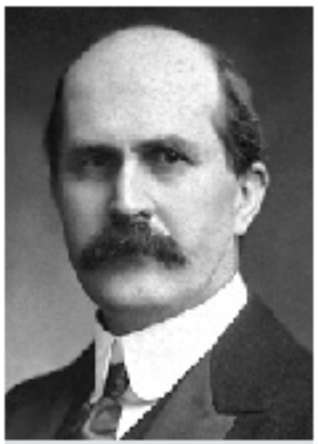



O comprimento de onda dos Raios X é da ordem do espaçamento atômico em cristais, $10^{-10}$ m = 1 Å.

# Lei de Bragg

## The Nobel Prize in Physics 1915

"for their services in the analysis of crystal structure by means of X-rays"



**Sir William Henry Bragg**

1/2 of the prize

United Kingdom

London University
London, United Kingdom

**William Lawrence Bragg**

1/2 of the prize

United Kingdom

Victoria University
Manchester, United Kingdom

WILLIAM LAWRENCE BRAGG

### The diffraction of X-rays by crystals

*Nobel Lecture, September 6, 1922**

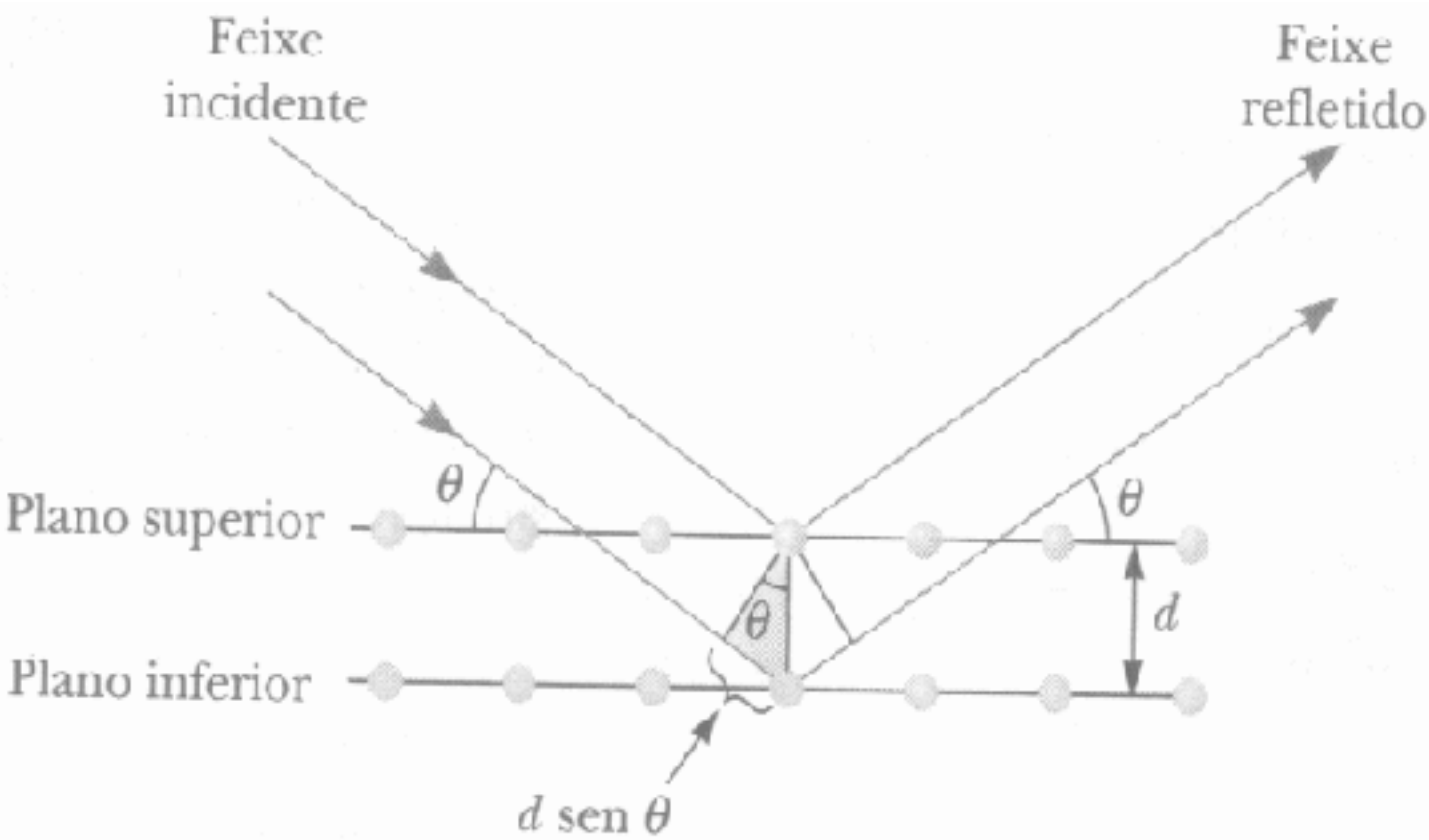
The pulses reflected by successive planes build up a wave train, which analysis shows to be composed of the wavelengths given by the formula

$$n\lambda = 2d \sin \vartheta$$

In this expression, $n$ is an integer, $\lambda$ is the wavelength of the X rays, $d$ the spacing of the planes, and $\vartheta$ the glancing angle at which the X rays are reflected.



http://nobelprize.org



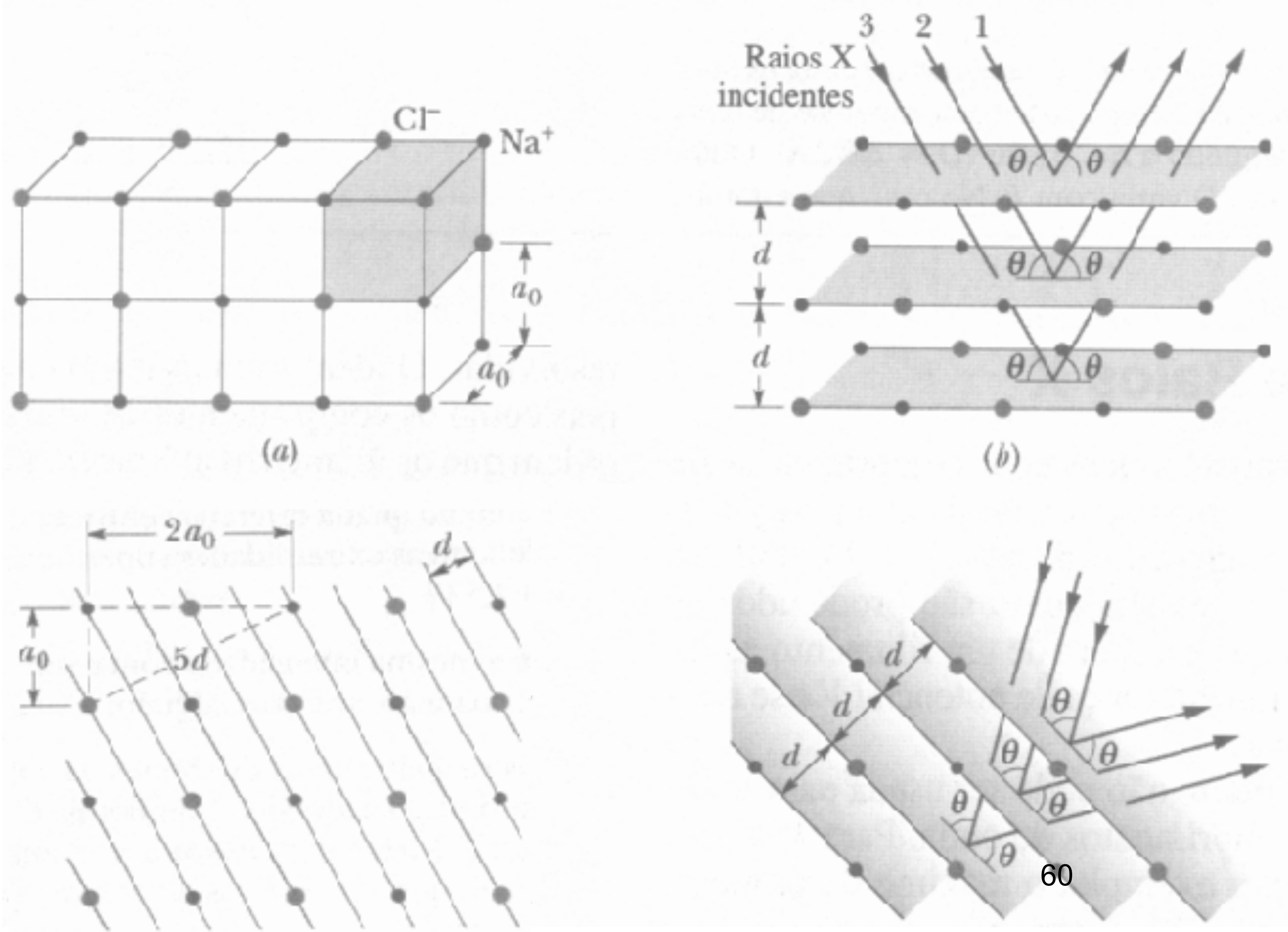

Temos interferências construtivas quando:

$$\boxed{2d\,\text{sen}\theta = m\lambda}$$

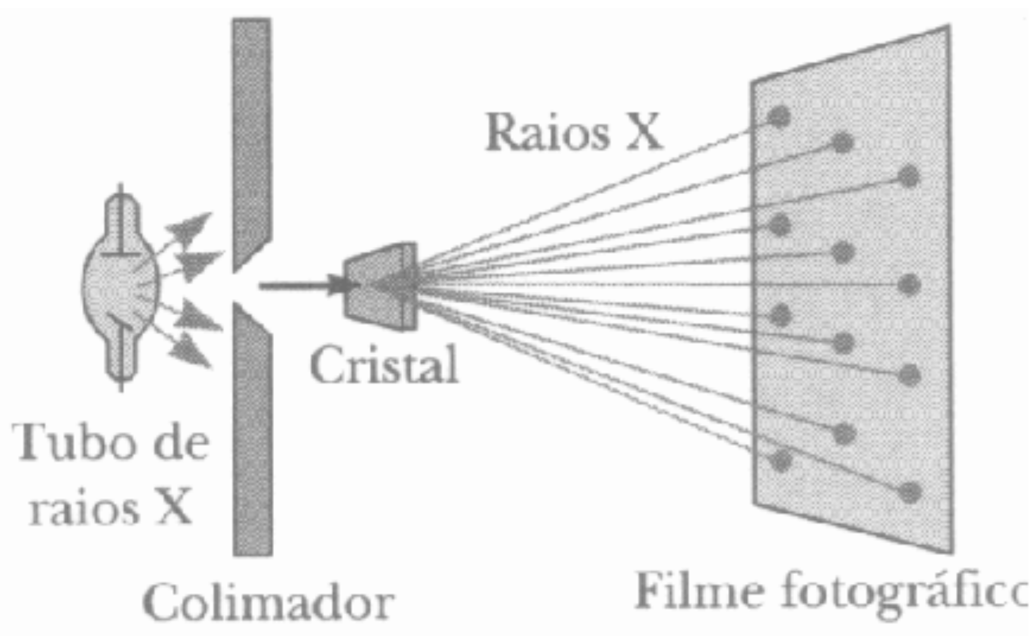
$$(m = 1, 2, 3...)$$

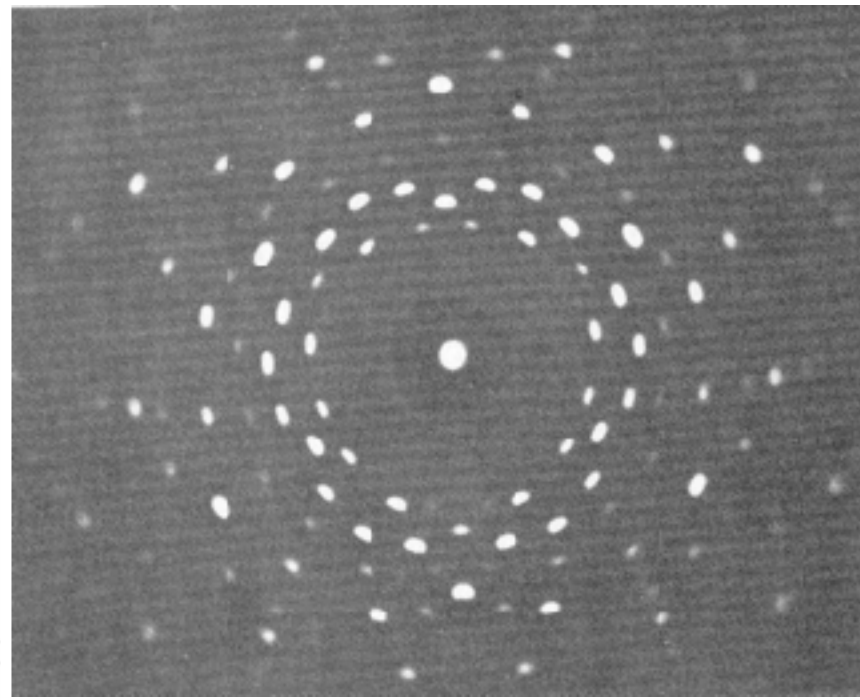
**_Lei de Bragg_**

Porém, para qualquer ângulo de incidência, temos vários planos de reflexão.



# Assim, temos uma figura de difração complexa:



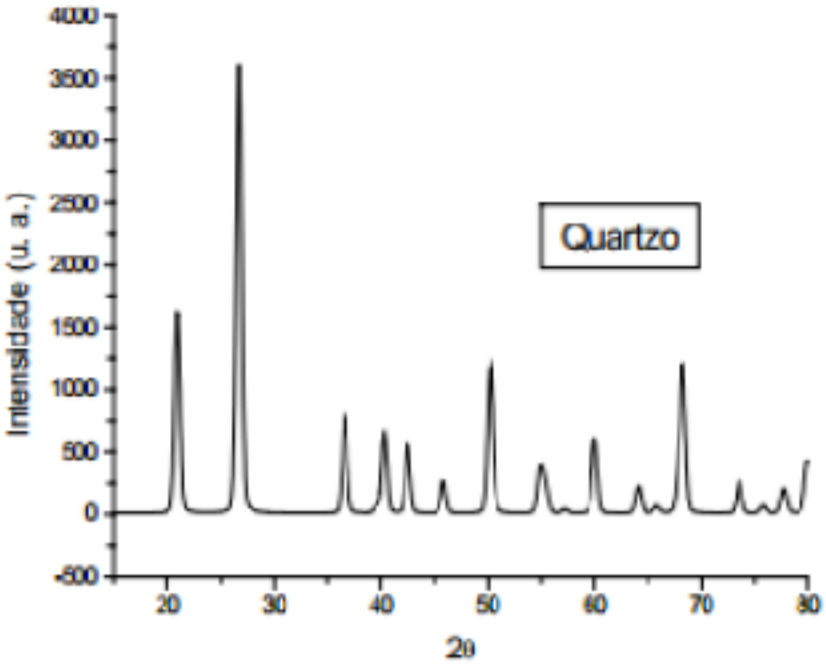



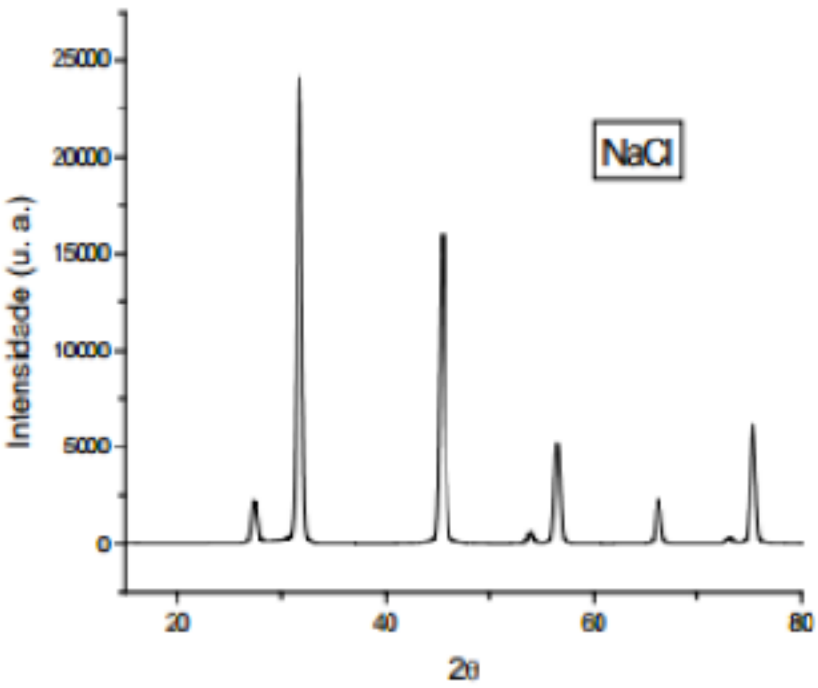
# Cristalografia

- Na Cristalografia o padrão de difração é usado para determinar o arranjo e os espaçamentos entre os átomos que funcionam como fendas nos cristais.
- Se ao invés de uma fenda dupla usarmos várias fendas igualmente espaçadas. Este arranjo é conhecido como rede de difração.
- Assim, a observação das franjas de difração (ou franjas de interferência) permite calcular a separação entre as fendas.

# Difratômetro

# Exemplo de Difratograma



# Exercícios e Problemas

37-53E. Raios-X de comprimento de onda de 0,12 nm sofrem reflexão de segunda ordem em um cristal de fluoreto de lítio para um ângulo de Bragg de $28^{o}$. Qual é a distância interplanar dos planos cristalinos responsáveis pela reflexão?

11-53. A lei de Bragg fornece a condição de máximos como sendo

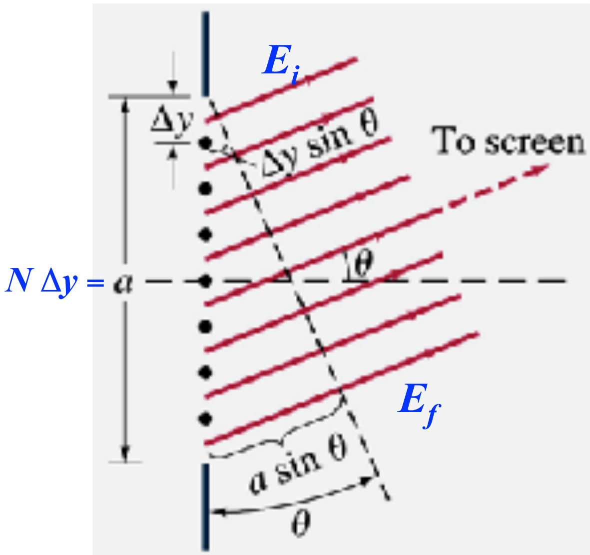
$$2d sen\theta = m\lambda, \tag{42}$$

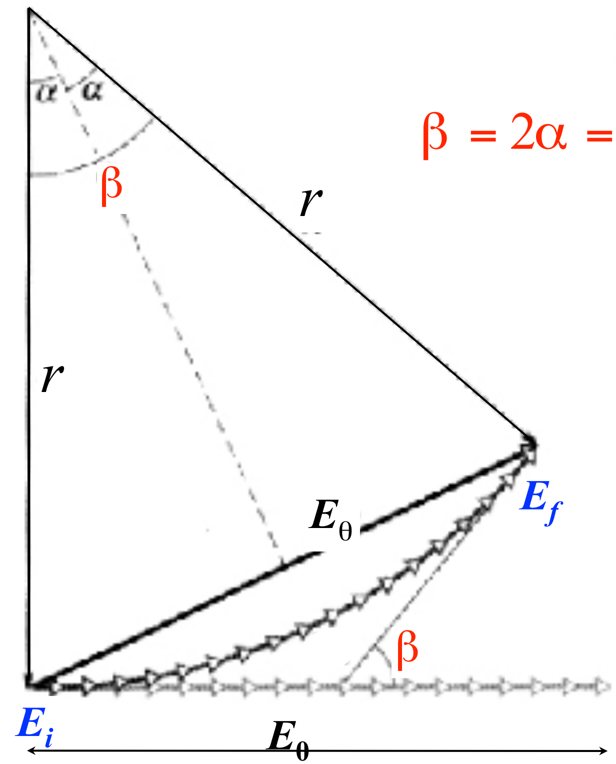
onde $d$ é o espaçamento dos planos do cristal e $\lambda$ é o comprimento de onda. O ângulo é medido a partir da normal aos planos. Para reflexão de segunda ordem usamos $m = 2$, encontramos

$$d = \frac{m\lambda}{2sen\theta} = \frac{(2)(0,12 \times 10^{-9})}{2sen28^\circ} = 0,26nm. \tag{43}$$

# Backup Slides

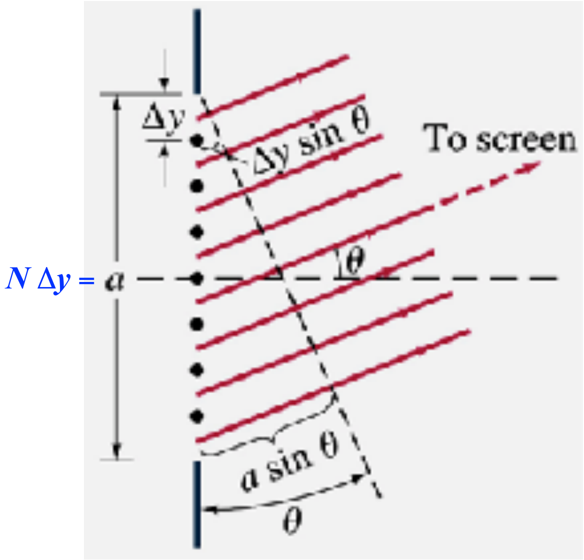
# Intensidade da Onda Difratada

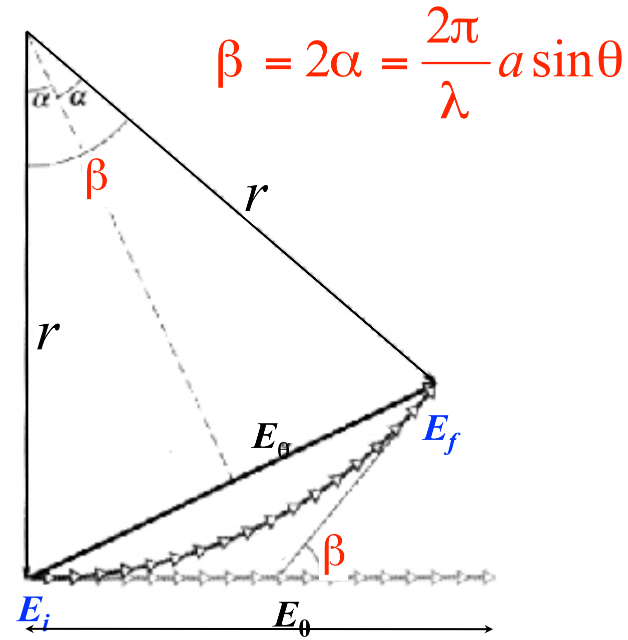



$$\beta = 2\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin\theta$$

# Intensidade da Onda Difratada

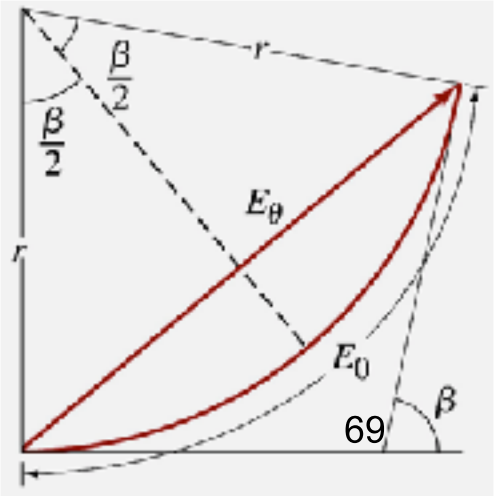


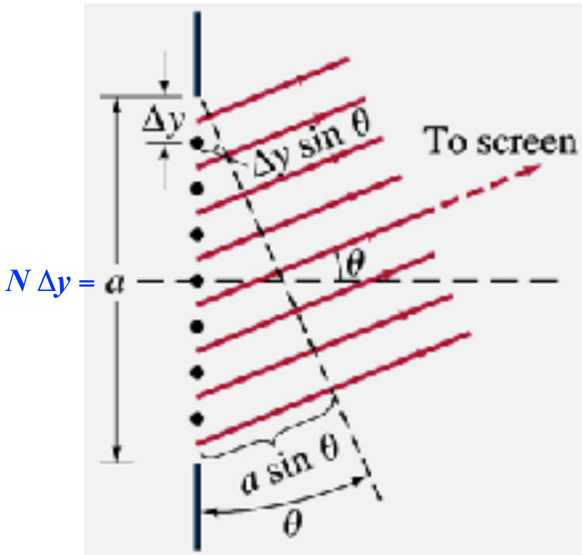

$$E_\theta / 2 = r \sin(\beta / 2)$$

$$\beta = E_0 / r \;;\quad r = E_0 / \beta$$

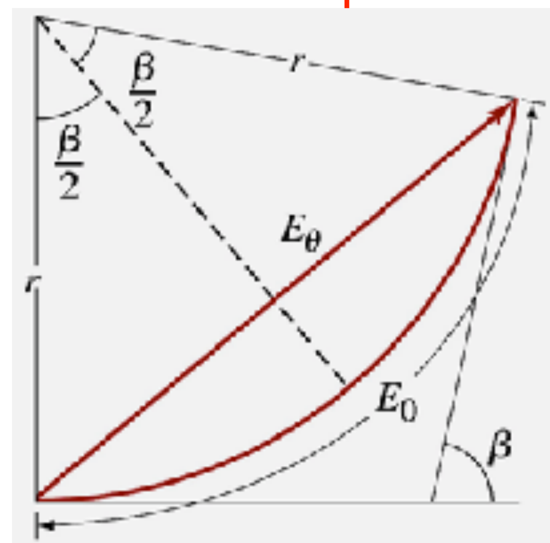
$$E_\theta = \frac{E_0}{\beta / 2} \sin(\beta / 2) = E_0 \frac{\sin\alpha}{\alpha}$$



# Intensidade da Onda Difratada




$$\beta = 2\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin\theta$$




$$E_\theta / 2 = r \sin(\beta / 2)$$

$$\alpha \equiv \frac{\beta}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin\theta$$

$$\beta = E_0 / r \; ; \quad r = E_0 / \beta$$

$$\frac{I(\theta)}{I_0} = \frac{E_\theta^2}{E_0^2} \text{ ® } \boxed{I(\theta) = I_0 \left( \frac{\sin\alpha}{\alpha} \right)^2}$$

$$E_\theta = \frac{E_0}{\beta / 2} \sin(\beta / 2) = E_0 \frac{\sin\alpha}{\alpha}$$

Mínimos: $\alpha = \pm m\pi \leftrightarrow a \sin\theta = \pm m\lambda \, ; m = 1, 2, \ldots$

Máximos: $\alpha \approx \pm (m + \frac{1}{2})\pi \leftrightarrow a \sin\theta \approx \pm (m + \frac{1}{2})\lambda$