

Capítulo 36 Difração

RODRIGO ALVES DIAS

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

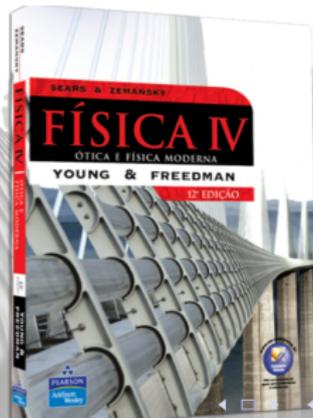
Livro texto: Física 3 - Eletromagnetismo

Autores: Sears e Zemansky

Edição: 12^a

Editora: Pearson - Addison and Wesley

22 de abril de 2014



Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um objeto com um canto ou uma abertura.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um objeto com um canto ou uma abertura.
- ▶ Como entender a figura de difração formada quando uma luz coerente passa por uma fenda estreita.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um objeto com um canto ou uma abertura.
- ▶ Como entender a figura de difração formada quando uma luz coerente passa por uma fenda estreita.
- ▶ De que forma calcular a intensidade em vários pontos em uma figura de difração de fenda única.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um objeto com um canto ou uma abertura.
- ▶ Como entender a figura de difração formada quando uma luz coerente passa por uma fenda estreita.
- ▶ De que forma calcular a intensidade em vários pontos em uma figura de difração de fenda única.
- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um conjunto de fendas estreitas, com pequeno espaçamento entre as fendas.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um objeto com um canto ou uma abertura.
- ▶ Como entender a figura de difração formada quando uma luz coerente passa por uma fenda estreita.
- ▶ De que forma calcular a intensidade em vários pontos em uma figura de difração de fenda única.
- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um conjunto de fendas estreitas, com pequeno espaçamento entre as fendas.
- ▶ Como os cientistas usam redes de difração para medir o comprimento de onda com precisão.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um objeto com um canto ou uma abertura.
- ▶ Como entender a figura de difração formada quando uma luz coerente passa por uma fenda estreita.
- ▶ De que forma calcular a intensidade em vários pontos em uma figura de difração de fenda única.
- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um conjunto de fendas estreitas, com pequeno espaçamento entre as fendas.
- ▶ Como os cientistas usam redes de difração para medir o comprimento de onda com precisão.
- ▶ O modo como a difração de raios X revela a disposição dos átomos em um cristal.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

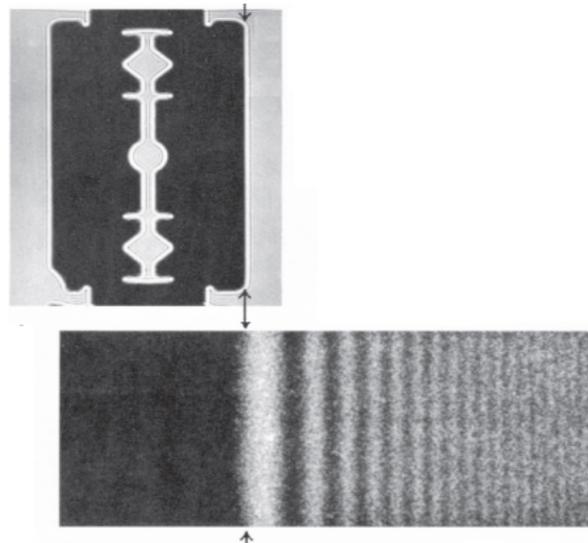
- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um objeto com um canto ou uma abertura.
- ▶ Como entender a figura de difração formada quando uma luz coerente passa por uma fenda estreita.
- ▶ De que forma calcular a intensidade em vários pontos em uma figura de difração de fenda única.
- ▶ O que acontece quando uma luz coerente incide sobre um conjunto de fendas estreitas, com pequeno espaçamento entre as fendas.
- ▶ Como os cientistas usam redes de difração para medir o comprimento de onda com precisão.
- ▶ O modo como a difração de raios X revela a disposição dos átomos em um cristal.
- ▶ De que maneira a difração estabelece limites sobre os menores detalhes do que pode ser visto em um telescópio.

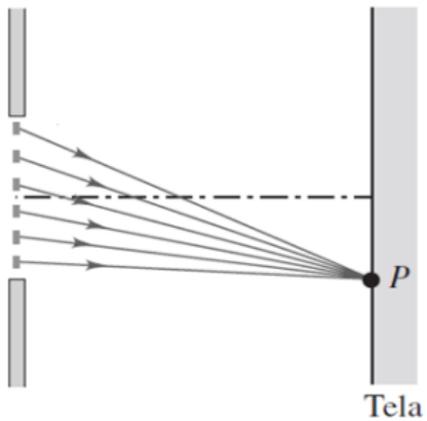
- ▶ Quando a borda de um anteparo é iluminada se espera a imagem:

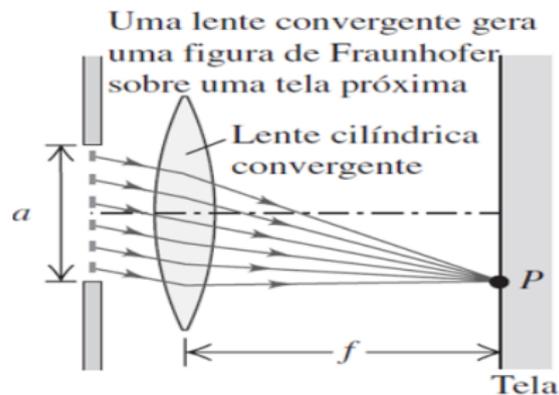
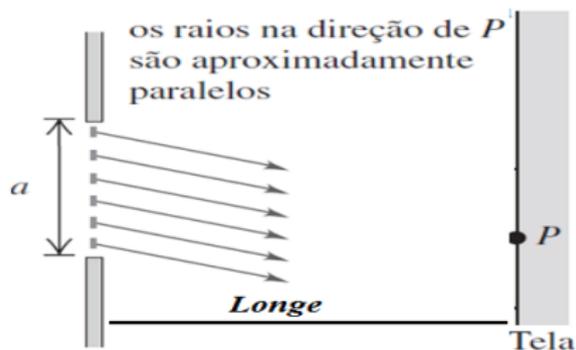
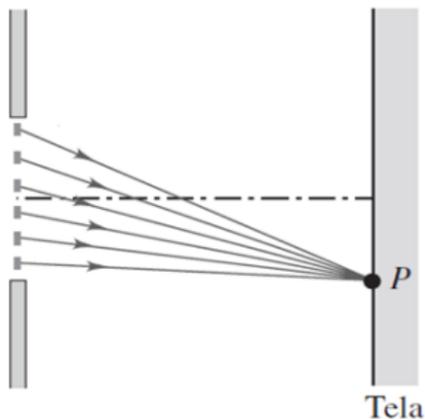


- ▶ Essa imagem não é observada.

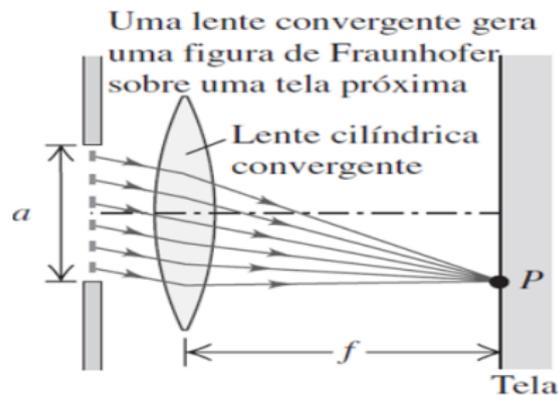
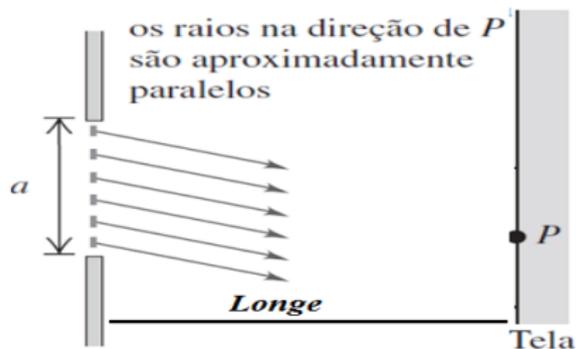
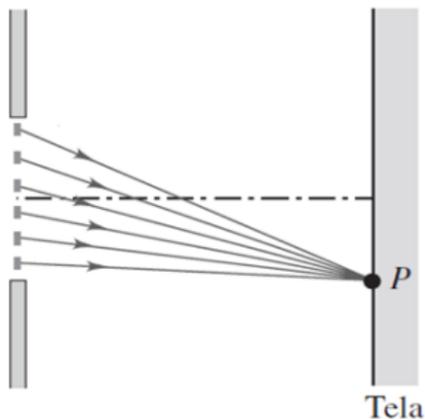
- ▶ O que realmente observamos é a seguinte imagem:





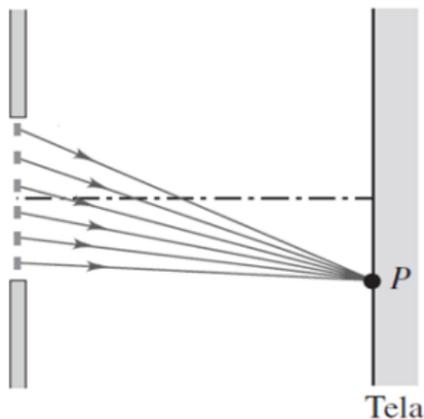


► Difração de Fraunhofer.

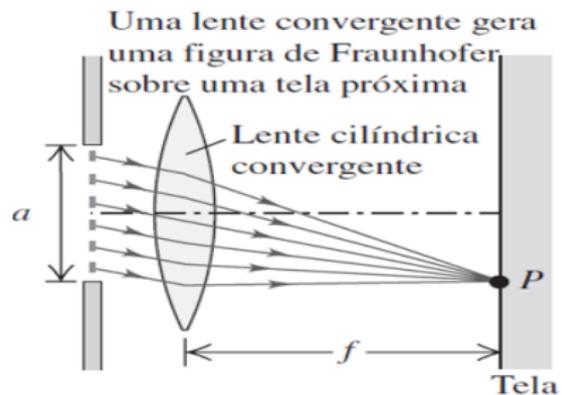
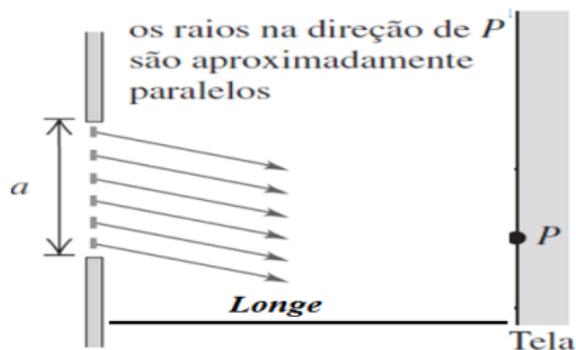


► Difração de Fraunhofer.

↳ Difração de Fresnel e Difração de Fraunhofer



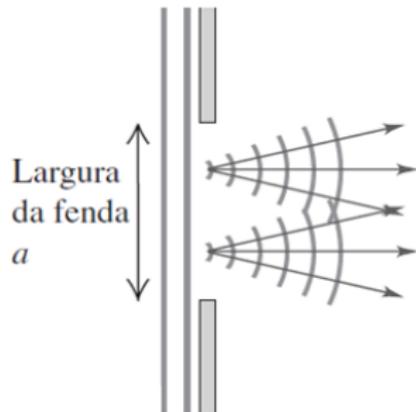
▶ Difração de Fresnel



▶ Difração de Fraunhofer.

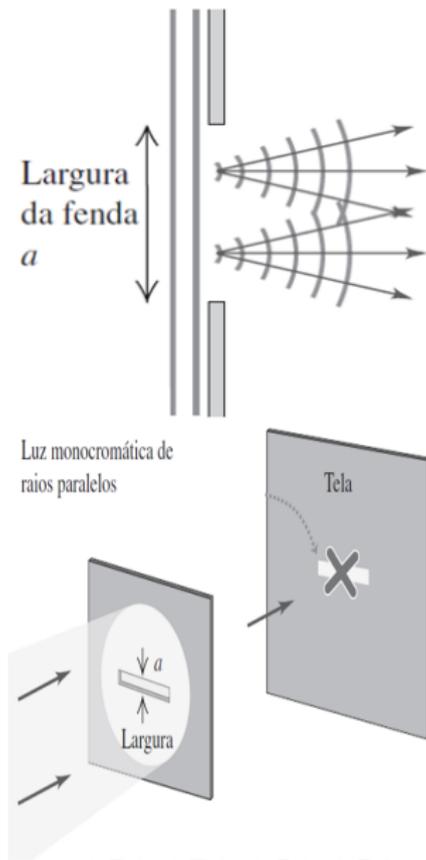
└ Difração Produzida por uma Fenda Simples

- ▶ Com base no **Princípio de Huygens**, cada ponto da fenda pode ser considerado como uma fonte de ondas esféricas.



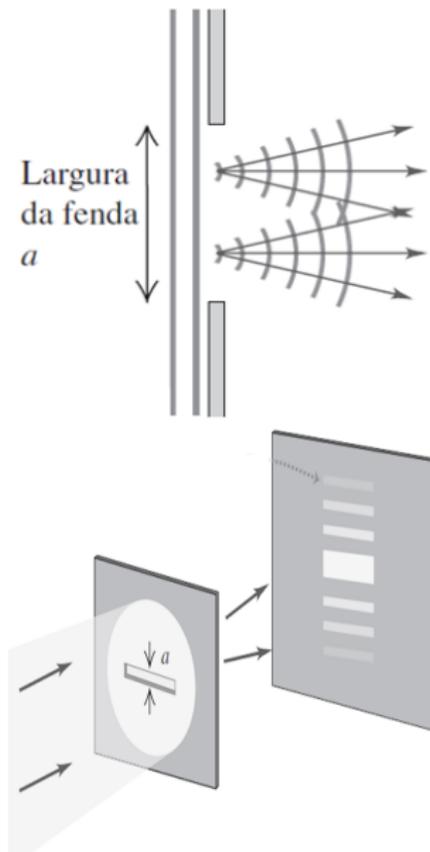
↳ Difração Produzida por uma Fenda Simples

- ▶ Com base no **Princípio de Huygens**, cada ponto da fenda pode ser considerado como uma fonte de ondas esféricas.



└ Difração Produzida por uma Fenda Simples

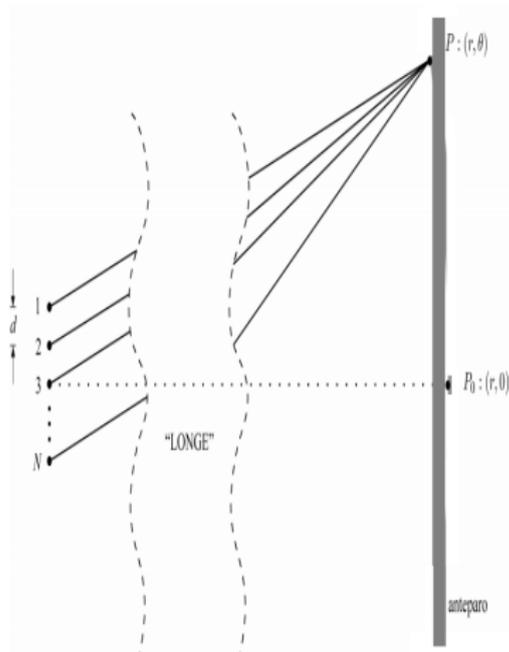
- ▶ Com base no **Princípio de Huygens**, cada ponto da fenda pode ser considerado como uma fonte de ondas esféricas.



N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

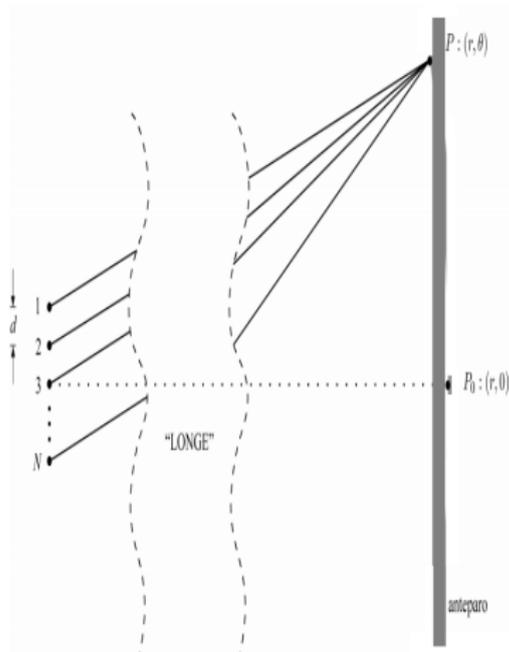


N fontes pontuais

- A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$



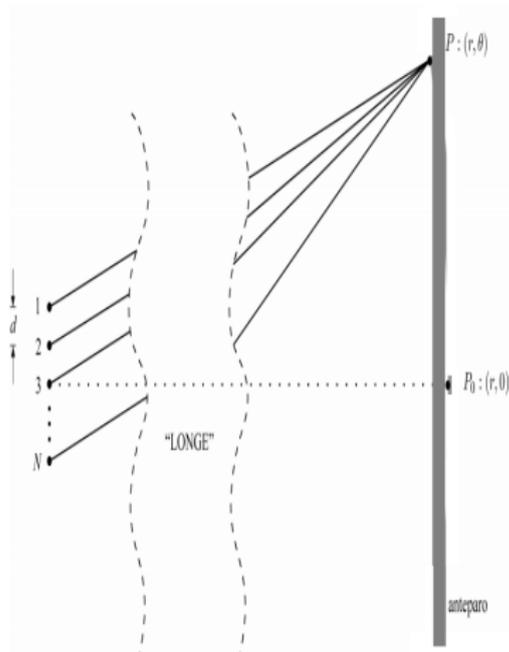
N fontes pontuais

- A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$



N fontes pontuais

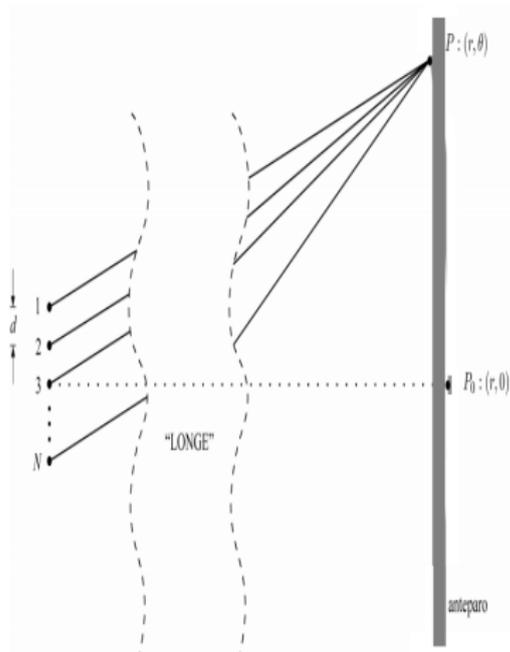
- A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$



N fontes pontuais

- A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

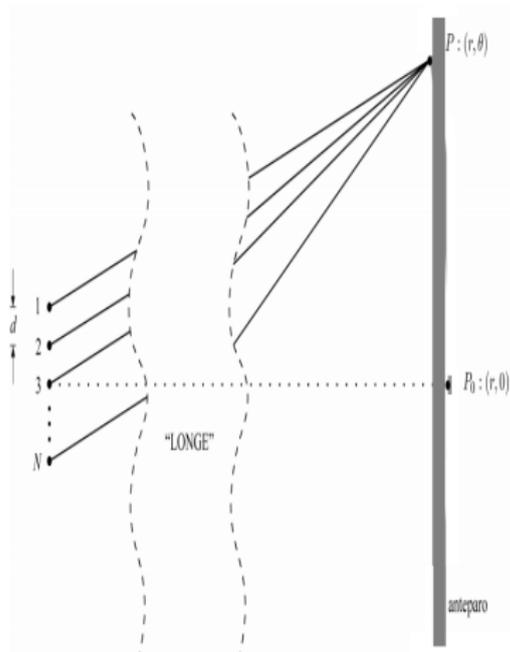
$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$



N fontes pontuais

- A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

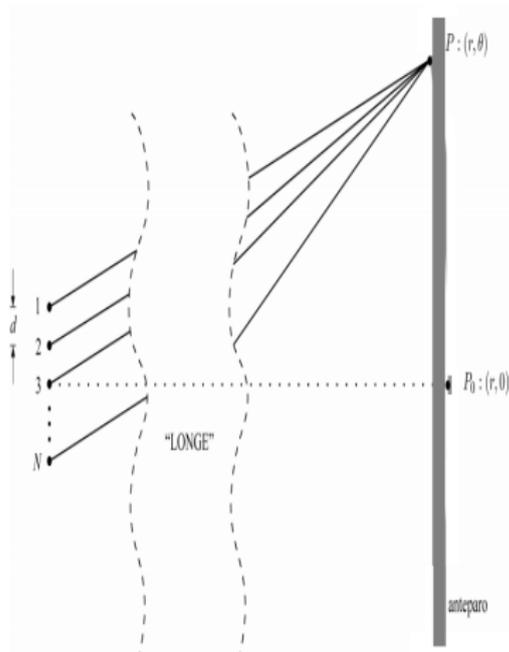
$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$



N fontes pontuais

- A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

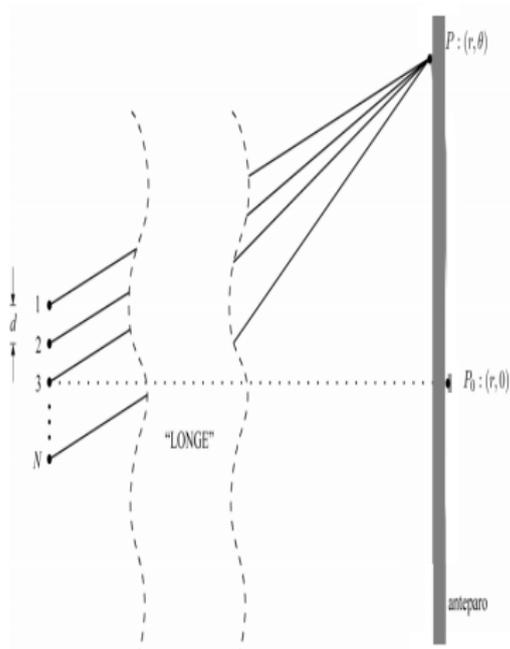
$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$



N fontes pontuais

- A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

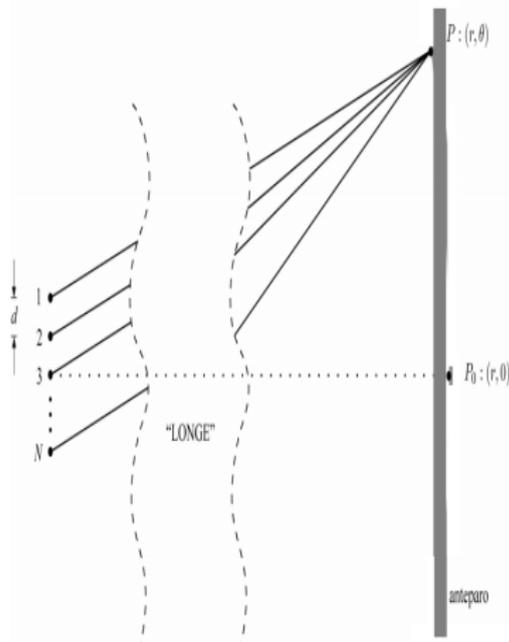
$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$



N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1° e o 2° raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

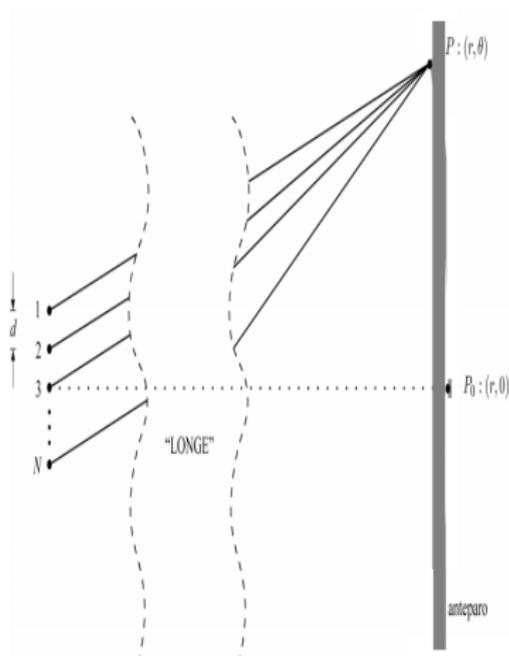
$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$



N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$I(P) = I_0 |e^{-ikr_1} + e^{-ikr_2} + \dots + e^{-ikr_N}|^2$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$I(P) = I_0 |e^{-ikr_1} + e^{-ikr_2} + \dots + e^{-ikr_N}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ik(r_2 - r_1)} + e^{-ik(r_3 - r_1)} + e^{-ik(r_4 - r_1)} + \dots + e^{-ik(r_N - r_1)}|^2$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$I(P) = I_0 |e^{-ikr_1} + e^{-ikr_2} + \dots + e^{-ikr_N}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ik(r_2 - r_1)} + e^{-ik(r_3 - r_1)} + e^{-ik(r_4 - r_1)} + \dots + e^{-ik(r_N - r_1)}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ikd \sin \theta} + e^{-i2kd \sin \theta} + e^{-i3kd \sin \theta} + \dots + e^{-i(N-1)kd \sin \theta}|^2$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = I_0 |e^{-ikr_1} + e^{-ikr_2} + \dots + e^{-ikr_N}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ik(r_2-r_1)} + e^{-ik(r_3-r_1)} + e^{-ik(r_4-r_1)} + \dots + e^{-ik(r_N-r_1)}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ikd \sin \theta} + e^{-i2kd \sin \theta} + e^{-i3kd \sin \theta} + \dots + e^{-i(N-1)kd \sin \theta}|^2$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$I(P) = I_0 |(1 + e^{-i\beta} + e^{-i2\beta} \dots + e^{-i(N-1)\beta})|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$I(P) = I_0 |e^{-ikr_1} + e^{-ikr_2} + \dots + e^{-ikr_N}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ik(r_2 - r_1)} + e^{-ik(r_3 - r_1)} + e^{-ik(r_4 - r_1)} + \dots + e^{-ik(r_N - r_1)}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ikd \sin \theta} + e^{-i2kd \sin \theta} + e^{-i3kd \sin \theta} + \dots + e^{-i(N-1)kd \sin \theta}|^2$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$I(P) = I_0 |(1 + e^{-i\beta} + e^{-i2\beta} \dots + e^{-i(N-1)\beta})|^2$$

$$a = e^{-i\beta}$$

$$I(P) = I_0 |(1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)})|^2 = I_0 |S|^2$$

$$S = 1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)}$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)})$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$I(P) = I_0 |e^{-ikr_1} + e^{-ikr_2} + \dots + e^{-ikr_N}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ik(r_2 - r_1)} + e^{-ik(r_3 - r_1)} + e^{-ik(r_4 - r_1)} + \dots + e^{-ik(r_N - r_1)}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ikd \sin \theta} + e^{-i2kd \sin \theta} + e^{-i3kd \sin \theta} + \dots + e^{-i(N-1)kd \sin \theta}|^2$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$I(P) = I_0 |(1 + e^{-i\beta} + e^{-i2\beta} \dots + e^{-i(N-1)\beta})|^2$$

$$a = e^{-i\beta}$$

$$I(P) = I_0 |(1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)})|^2 = I_0 |S|^2$$

$$S = 1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)}$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)})$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$I(P) = I_0 |e^{-ikr_1} + e^{-ikr_2} + \dots + e^{-ikr_N}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ik(r_2 - r_1)} + e^{-ik(r_3 - r_1)} + e^{-ik(r_4 - r_1)} + \dots + e^{-ik(r_N - r_1)}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ikd \sin \theta} + e^{-i2kd \sin \theta} + e^{-i3kd \sin \theta} + \dots + e^{-i(N-1)kd \sin \theta}|^2$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$I(P) = I_0 |(1 + e^{-i\beta} + e^{-i2\beta} \dots + e^{-i(N-1)\beta})|^2$$

$$a = e^{-i\beta}$$

$$I(P) = I_0 |(1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)})|^2 = I_0 |S|^2$$

$$S = 1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)}$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)})$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) - a^N + a^N$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$I(P) = I_0 |e^{-ikr_1} + e^{-ikr_2} + \dots + e^{-ikr_N}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ik(r_2 - r_1)} + e^{-ik(r_3 - r_1)} + e^{-ik(r_4 - r_1)} + \dots + e^{-ik(r_N - r_1)}|^2$$

$$I(P) = I_0 |1 + e^{-ikd \sin \theta} + e^{-i2kd \sin \theta} + e^{-i3kd \sin \theta} + \dots + e^{-i(N-1)kd \sin \theta}|^2$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$I(P) = I_0 |(1 + e^{-i\beta} + e^{-i2\beta} \dots + e^{-i(N-1)\beta})|^2$$

$$a = e^{-i\beta}$$

$$I(P) = I_0 |(1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)})|^2 = I_0 |S|^2$$

$$S = 1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)}$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)})$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) - a^N + a^N$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) + a^{N-1} - a^N$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$a = e^{-i\beta}$$

$$I(P) = I_0 |S|^2$$

$$S = 1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)}$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)})$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) - a^N + a^N$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) + a^{(N-1)} - a^N$$

$$S = 1 + aS - a^N$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1° e o 2° raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$a = e^{-i\beta}$$

$$I(P) = I_0 |S|^2$$

$$S = 1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)}$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)})$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) - a^N + a^N$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) + a^{N-1} - a^N$$

$$S = 1 + aS - a^N$$

$$S = \frac{1 - a^N}{1 - a} = a^{(N-1)/2} \left(\frac{a^{N/2} - a^{-N/2}}{a^{1/2} - a^{-1/2}} \right)$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$a = e^{-i\beta}$$

$$I(P) = I_0 |S|^2$$

$$S = 1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)}$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)})$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) - a^N + a^N$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) + a^{N-1} - a^N$$

$$S = 1 + aS - a^N$$

$$S = \frac{1 - a^N}{1 - a} = a^{(N-1)/2} \left(\frac{a^{N/2} - a^{-N/2}}{a^{1/2} - a^{-1/2}} \right)$$

$$S = e^{j \frac{(N-1)\beta}{2}} \frac{\sin(N\beta/2)}{\sin(\beta/2)}$$

N fontes pontuais

- ▶ A diferença de caminho entre o 1º e o 2º raio será,

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \Rightarrow r_2 = r_1 + d \sin \theta$$

$$r_3 - r_2 = d \sin \theta \Rightarrow r_3 = r_2 + d \sin \theta$$

$$r_N - r_{N-1} = d \sin \theta \Rightarrow r_N = r_{N-1} + d \sin \theta$$

$$r_3 = r_1 + 2d \sin \theta$$

$$r_4 = r_1 + 3d \sin \theta$$

$$r_N = r_1 + (N - 1)d \sin \theta$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} |\vec{E}_T|^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i \vec{E}_i \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left| \sum_i E_0 \hat{e}_p e^{-i(kr_i - \omega t)} \right|^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2 = I_0 \left| \sum_i e^{-ikr_i} \right|^2$$

$$\beta = kd \sin \theta$$

$$a = e^{-i\beta}$$

$$I(P) = I_0 |S|^2$$

$$S = 1 + a + a^2 \dots + a^{(N-1)}$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)})$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) - a^N + a^N$$

$$S = 1 + a(1 + a^2 \dots + a^{(N-2)}) + a^{N-1} - a^N$$

$$S = 1 + aS - a^N$$

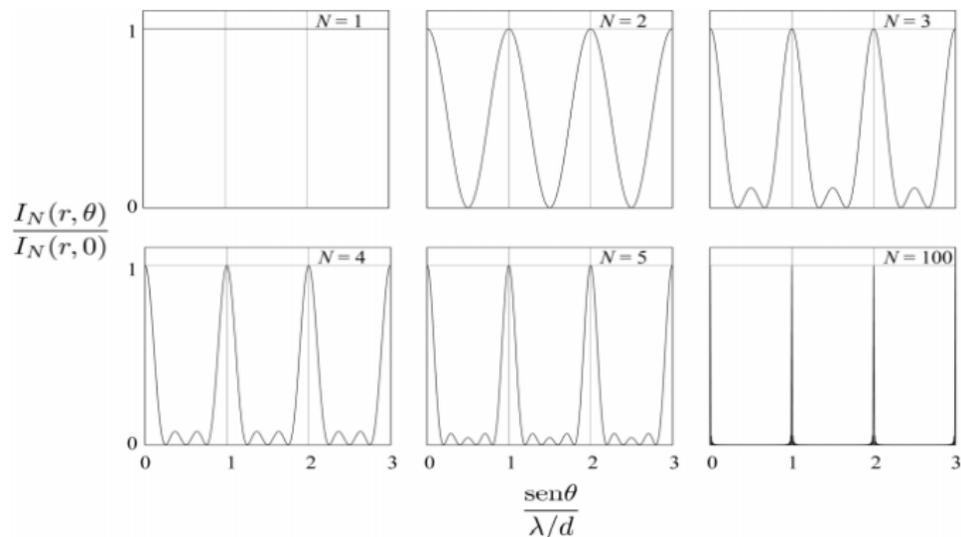
$$S = \frac{1 - a^N}{1 - a} = a^{(N-1)/2} \left(\frac{a^{N/2} - a^{-N/2}}{a^{1/2} - a^{-1/2}} \right)$$

$$S = e^{j \frac{(N-1)\beta}{2}} \frac{\sin(N\beta/2)}{\sin(\beta/2)}$$

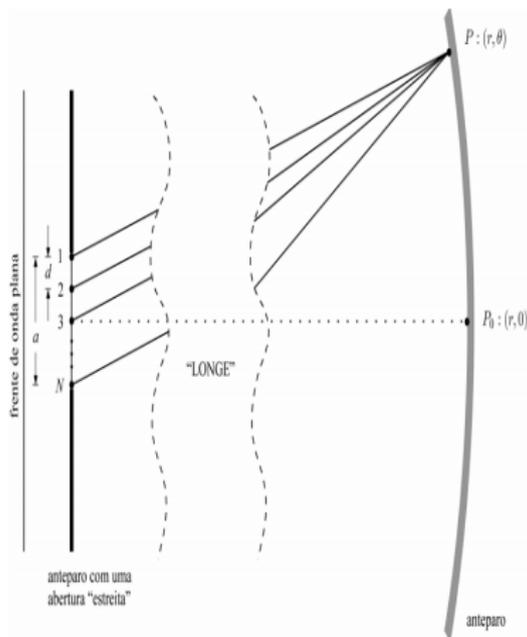
$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left[\frac{\sin(N\pi d \sin \theta / \lambda)}{\sin(\pi d \sin \theta / \lambda)} \right]^2$$

N fontes pontuais

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left[\frac{\sin(N\pi d \sin \theta / \lambda)}{\sin(\pi d \sin \theta / \lambda)} \right]^2$$

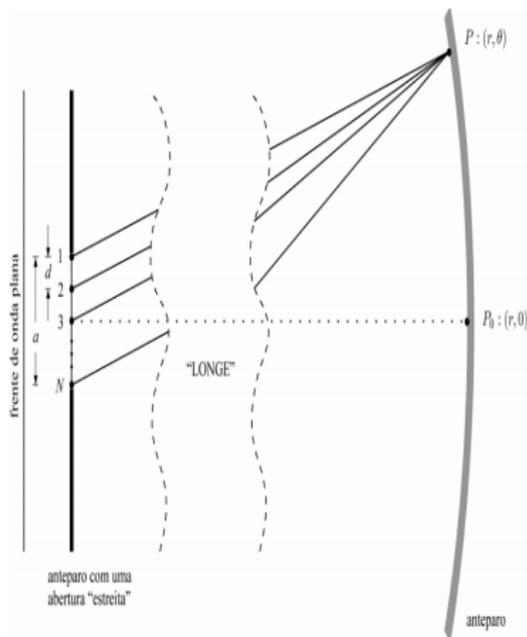


- ▶ Para $N \rightarrow \infty$ então
 $(N - 1)d \rightarrow Nd = a = \text{constante}$.



↳ Difração Produzida por uma Fenda Simples

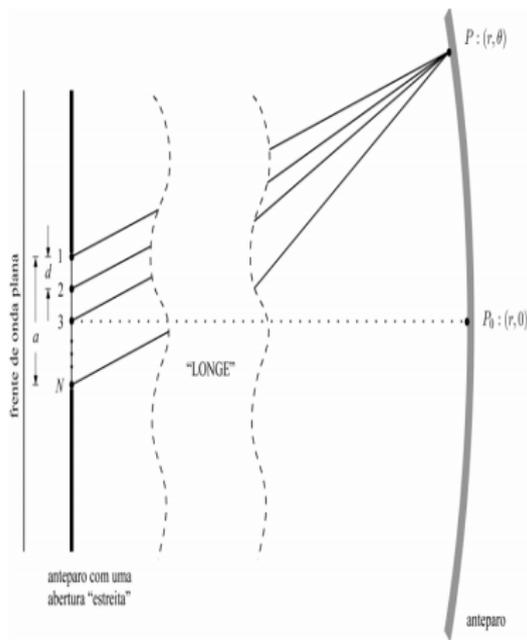
- ▶ Para $N \rightarrow \infty$ então $(N - 1)d \rightarrow Nd = a = \text{constante}$.
- ▶ Assim, $d = a/N$:



↳ Difração Produzida por uma Fenda Simples

- ▶ Para $N \rightarrow \infty$ então
 $(N - 1)d \rightarrow Nd = a = \text{constante}$.
- ▶ Assim, $d = a/N$:

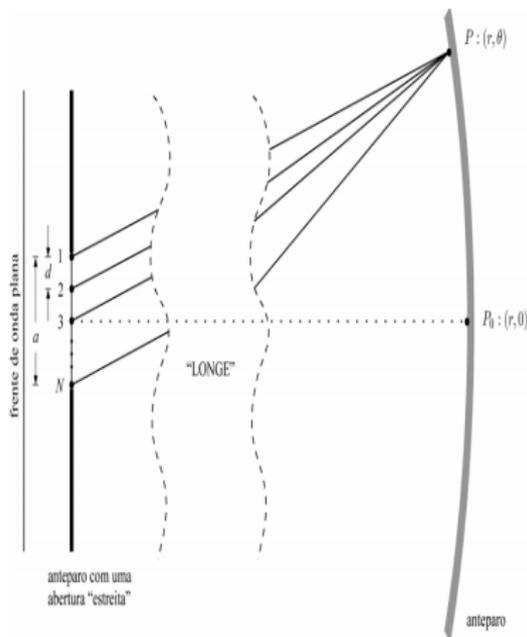
$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left[\frac{\sin(\pi(Nd/\lambda) \sin \theta)}{\sin(\pi(d/\lambda) \sin \theta)} \right]^2$$



- ▶ Para $N \rightarrow \infty$ então
 $(N - 1)d \rightarrow Nd = a = \text{constante}$.
- ▶ Assim, $d = a/N$:

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left[\frac{\sin(\pi(Nd/\lambda) \sin \theta)}{\sin(\pi(d/\lambda) \sin \theta)} \right]^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left[\frac{\sin(\pi(a/\lambda) \sin \theta)}{\sin(\pi(a/\lambda) \sin \theta/N)} \right]^2$$



↳ Difração Produzida por uma Fenda Simples

- ▶ Para $N \rightarrow \infty$ então $(N - 1)d \rightarrow Nd = a = \text{constante}$.
- ▶ Assim, $d = a/N$:

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left[\frac{\sin(\pi(Nd/\lambda) \sin \theta)}{\sin(\pi(d/\lambda) \sin \theta)} \right]^2$$

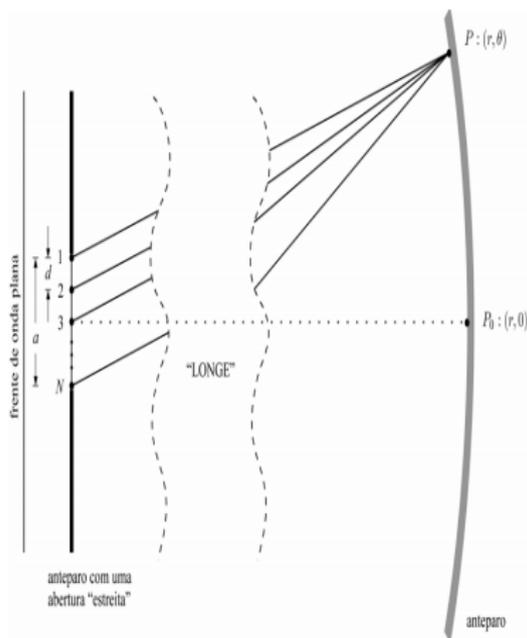
$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left[\frac{\sin(\pi(a/\lambda) \sin \theta)}{\sin(\pi(a/\lambda) \sin \theta/N)} \right]^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left[\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sin(\pi(a/\lambda) \sin \theta)}{\sin(\pi(a/\lambda) \sin \theta/N)} \right]^2$$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left(\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{(\pi a \sin \theta / \lambda)} \right)^2$$

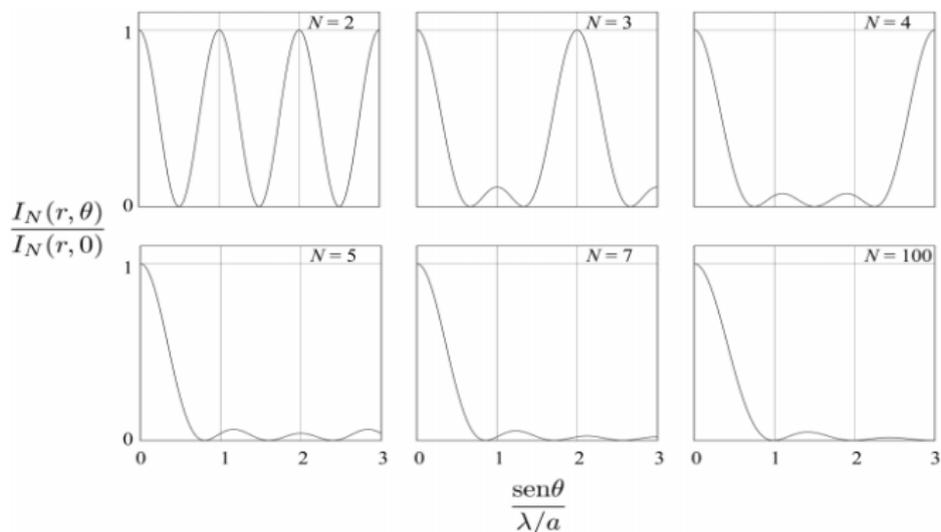
$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left(\frac{\sin(x)}{x} \right)^2$$

$$x = \pi a \sin \theta / \lambda$$



- ▶ Se $x = \pi a \sin \theta / \lambda = m\pi$, $n = \pm 1, \pm 2, \dots$ (Mínimo de difração)
- ▶ $a \sin \theta = m\lambda$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left(\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{(\pi a \sin \theta / \lambda)} \right)^2$$



↳ Difração Produzida por uma Fenda Simples

- ▶ Se $x = \pi a \sin \theta / \lambda = (m + 1/2)\pi$, $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ (Máximo de difração)
- ▶ $a \sin \theta = (m + 1/2)\lambda$
- ▶ Se $x = \pi a \sin \theta / \lambda = m\pi$, $n=\pm 1, \pm 2, \dots$ (Mínimo de difração)
- ▶ $a \sin \theta = m\lambda$

$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \left(\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{\pi a \sin \theta / \lambda} \right)^2$$

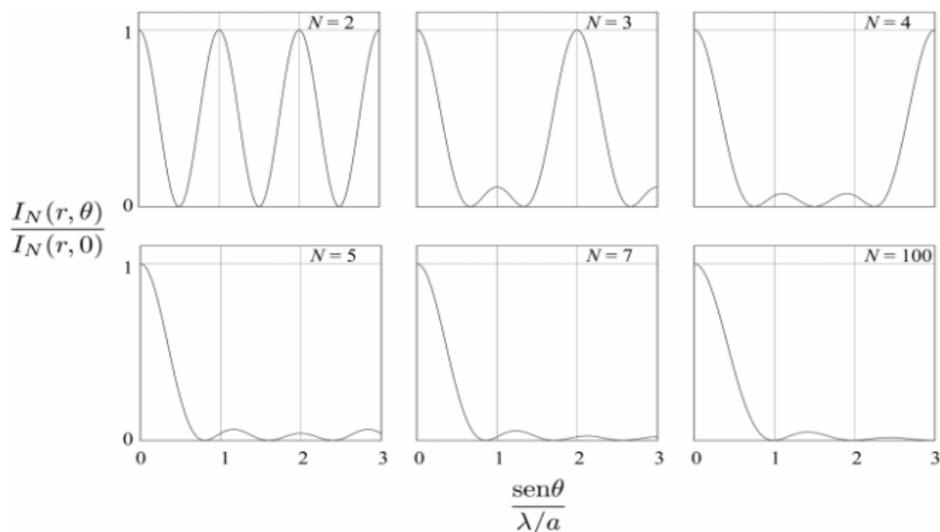


Figura de difração para uma fenda única de largura a .

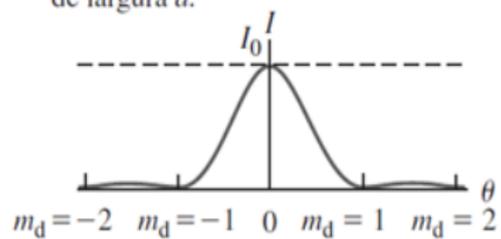


Figura de difração para uma fenda única de largura a .

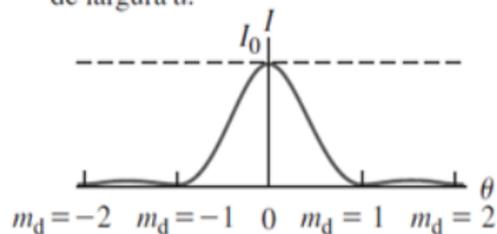


Figura de interferência para duas fendas separadas por uma distância $d = 4a$

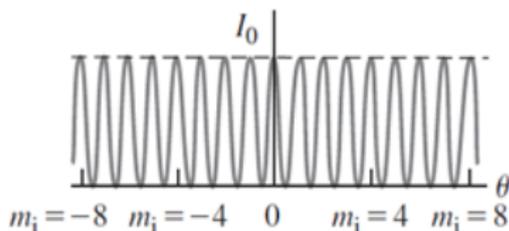
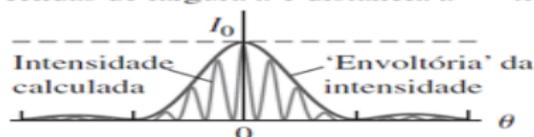


figura de intensidade para duas fendas de largura a e distância $d = 4a$



Fotografia real da figura de difração

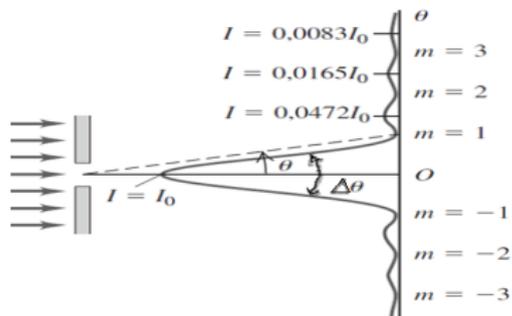
$$I(P) = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} E_0^2 \frac{\sin^2(N\pi d \sin \theta / \lambda)}{\sin^2(\pi d \sin \theta / \lambda)} \left(\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{(\pi a \sin \theta / \lambda)} \right)^2$$

- **Abertura Angular:** é o ângulo descrito entre os **dois primeiros mínimos**.

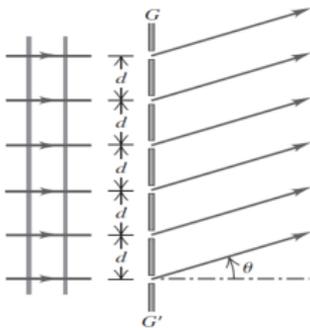
$$\Delta(\sin \theta) = \lambda/d \cong \Delta(\theta)$$

$$d \gg \lambda \Rightarrow \Delta(\theta) \ll 1$$

$$d \ll \lambda \Rightarrow \Delta(\theta) \gg 1$$

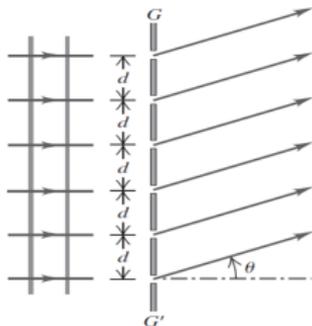


- **Rede de difração:** É um conjunto grande de fendas paralelas, todas com a mesma largura a e com a mesma distância d entre os centros de duas fendas consecutivas.



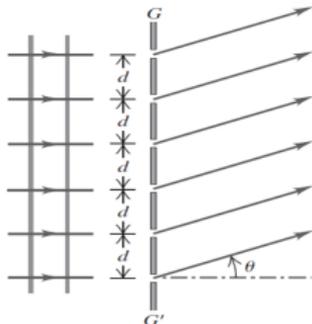
A Rede de Difração

- **Rede de difração:** É um conjunto grande de fendas paralelas, todas com a mesma largura a e com a mesma distância d entre os centros de duas fendas consecutivas.



A Rede de Difração

- **Rede de difração:** É um conjunto grande de fendas paralelas, todas com a mesma largura a e com a mesma distância d entre os centros de duas fendas consecutivas.



- As posições dos máximos para duas ou N fendas são obtidos por:

$$d \sin \theta = m\lambda$$

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}$$



- ▶ As posições dos máximos para duas ou N fendas são obtidos por:

$$\begin{aligned}d \sin \theta &= m\lambda \\ \sin \theta &= m \frac{\lambda}{d}\end{aligned}$$

- ▶ Quando uma rede é iluminada com luz branca com uma distribuição contínua de λ 's, cada valor de m corresponde a um espectro contínuo na figura de interferência.

- ▶ As posições dos máximos para duas ou N fendas são obtidos por:

$$d \sin \theta = m\lambda$$
$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}$$

- ▶ Quando uma rede é iluminada com luz branca com uma distribuição contínua de λ 's, cada valor de m corresponde a um espectro contínuo na figura de interferência.
- ▶ Os λ 's mais longos (vermelho) são encontrados em ângulos maiores comparado com os ângulos dos λ 's mais curtos (violeta).

- ▶ As posições dos máximos para duas ou N fendas são obtidos por:

$$\begin{aligned}d \sin \theta &= m\lambda \\ \sin \theta &= m \frac{\lambda}{d}\end{aligned}$$

- ▶ Quando uma rede é iluminada com luz branca com uma distribuição contínua de λ 's, cada valor de m corresponde a um espectro contínuo na figura de interferência.
- ▶ Os λ 's mais longos (vermelho) são encontrados em ângulos maiores comparado com os ângulos dos λ 's mais curtos (violeta).
- ▶ Redes destinadas ao uso da luz visível ($\lambda \approx 400$ a 700nm) costumam ter cerca de 1000 fendas por milímetro.
 $d = 1\text{mm}/N = 1\text{mm}/1000 = 1\mu\text{m} = 1000\text{nm}$.

└ A Rede de Difração

- ▶ As posições dos máximos para duas ou N fendas são obtidos por:

$$d \sin \theta = m\lambda$$

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}$$



- ▶ Quando uma rede é iluminada com luz branca com uma distribuição contínua de λ 's, cada valor de m corresponde a um espectro contínuo na figura de interferência.
- ▶ Os λ 's mais longos (vermelho) são encontrados em ângulos maiores comparado com os ângulos dos λ 's mais curtos (violeta).
- ▶ Redes destinadas ao uso da luz visível ($\lambda \approx 400$ a 700nm) costumam ter cerca de 1000 fendas por milímetro.
 $d = 1\text{mm}/N = 1\text{mm}/1000 = 1\mu\text{m} = 1000\text{nm}$.
- ▶ **Rede de reflexão:** o conjunto de fendas igualmente espaçadas é substituído por um conjunto de sulcos ou saliências sobre uma tela refletora.

- ▶ As posições dos máximos para duas ou N fendas são obtidos por:

$$d \sin \theta = m\lambda$$

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}$$



- ▶ Quando uma rede é iluminada com luz branca com uma distribuição contínua de λ 's, cada valor de m corresponde a um espectro contínuo na figura de interferência.
- ▶ Os λ 's mais longos (vermelho) são encontrados em ângulos maiores comparado com os ângulos dos λ 's mais curtos (violeta).
- ▶ Redes destinadas ao uso da luz visível ($\lambda \approx 400$ a 700nm) costumam ter cerca de 1000 fendas por milímetro.
 $d = 1\text{mm}/N = 1\text{mm}/1000 = 1\mu\text{m} = 1000\text{nm}$.
- ▶ **Rede de reflexão:** o conjunto de fendas igualmente espaçadas é substituído por um conjunto de sulcos ou saliências sobre uma tela refletora.
- ▶ Uma luz com λ que incide \perp na rede de reflexão de espessura d , os ângulos de reflexão dos máximos são dados por:
 $d \sin \theta = m\lambda$.



▶ **Vermelho** ($m = 1$):
 $\Delta\theta_{Ver} \cong 400nm/1000nm = 22.91^\circ$

▶ **Violeta** ($m = 1$):
 $\Delta\theta_{Vio} \cong 700nm/1000nm = 40.10^\circ$

- ▶ Quando uma rede é iluminada com luz branca com uma distribuição contínua de λ 's, cada valor de m corresponde a um espectro contínuo na figura de interferência.
- ▶ Os λ 's mais longos (vermelho) são encontrados em ângulos maiores comparado com os ângulos dos λ 's mais curtos (violeta).
- ▶ Redes destinadas ao uso da luz visível ($\lambda \approx 400$ a $700nm$) costumam ter cerca de 1000 fendas por milímetro.
 $d = 1mm/N = 1mm/1000 = 1\mu m = 1000nm$.
- ▶ **Rede de reflexão:** o conjunto de fendas igualmente espaçadas é substituído por um conjunto de sulcos ou saliências sobre uma tela refletora.
- ▶ Uma luz com λ que incide \perp na rede de reflexão de espessura d , os ângulos de reflexão dos máximos são dados por:
 $d \sin \theta = m\lambda$.

- ▶ **Vermelho** ($m = 1$):
 $\Delta\theta_{Ver} \cong 400nm/1000nm = 22.91^\circ$
 - ▶ ($m = 2$): $\Delta\theta_{Ver} \cong 8/10 = 45.82^\circ$
 - ▶ ($m = 3$): $\Delta\theta_{Ver} \cong 12/10 = 69.73^\circ$
 - ▶ **Violeta** ($m = 1$):
 $\Delta\theta_{Vio} \cong 700nm/1000nm = 40.10^\circ$
 - ▶ ($m = 2$): $\Delta\theta_{Vio} \cong 14/10 = 80.20^\circ$
 - ▶ ($m = 3$): $\Delta\theta_{Vio} \cong 21/10 = 120.03^\circ$
- ▶ Quando uma rede é iluminada com luz branca com uma distribuição contínua de λ' s, cada valor de m corresponde a um espectro contínuo na figura de interferência.
 - ▶ Os λ' s mais longos (vermelho) são encontrados em ângulos maiores comparado com os ângulos dos λ' s mais curtos (violeta).
 - ▶ Redes destinadas ao uso da luz visível ($\lambda \approx 400$ a $700nm$) costumam ter cerca de 1000 fendas por milímetro.
 $d = 1mm/N = 1mm/1000 = 1\mu m = 1000nm$.
 - ▶ **Rede de reflexão:** o conjunto de fendas igualmente espaçadas é substituído por um conjunto de sulcos ou saliências sobre uma tela refletora.
 - ▶ Uma luz com λ que incide \perp na rede de reflexão de espessura d , os ângulos de reflexão dos máximos são dados por:
 $d \sin \theta = m\lambda$.

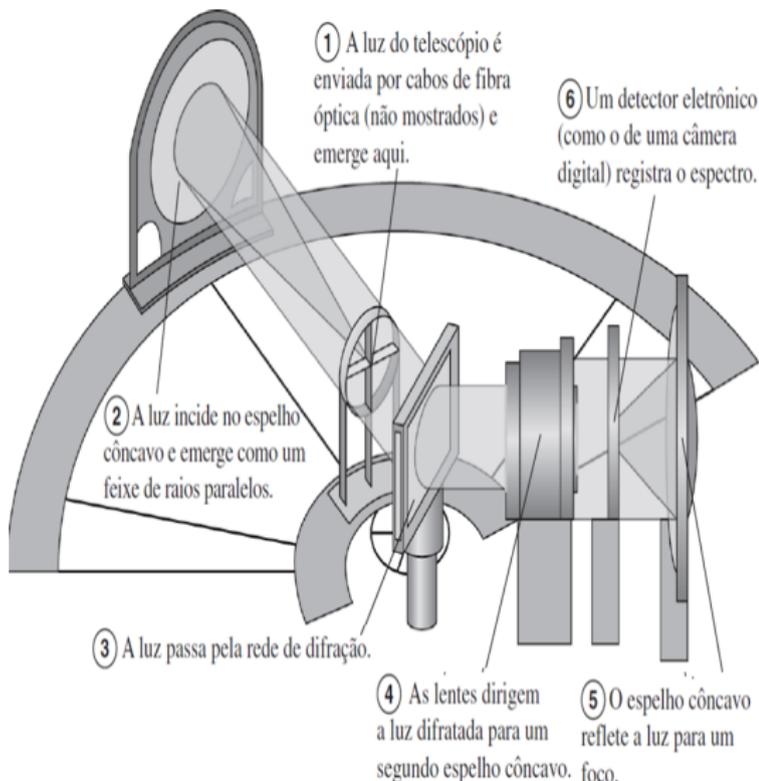
- ▶ **Vermelho** ($m = 1$):
 $\Delta\theta_{Ver} \cong 400nm/1000nm = 22.91^\circ$
 - ▶ ($m = 2$): $\Delta\theta_{Ver} \cong 8/10 = 45.82^\circ$
 - ▶ ($m = 3$): $\Delta\theta_{Ver} \cong 12/10 = 69.73^\circ$
 - ▶ **Violeta** ($m = 1$):
 $\Delta\theta_{Vio} \cong 700nm/1000nm = 40.10^\circ$
 - ▶ ($m = 2$): $\Delta\theta_{Vio} \cong 14/10 = 80.20^\circ$
 - ▶ ($m = 3$): $\Delta\theta_{Vio} \cong 21/10 = 120.03^\circ$
 - ▶ Abertura angular do visível.
 - ▶ 1ª ordem: $40.10^\circ - 22.91^\circ = 17.19^\circ$
 - ▶ 2ª ordem: $80.20^\circ - 45.82^\circ = 34.38^\circ$
 - ▶ 3ª ordem: $120.03^\circ - 69.73^\circ = 50.30^\circ$
- ▶ Quando uma rede é iluminada com luz branca com uma distribuição contínua de λ 's, cada valor de m corresponde a um espectro contínuo na figura de interferência.
 - ▶ Os λ 's mais longos (vermelho) são encontrados em ângulos maiores comparado com os ângulos dos λ 's mais curtos (violeta).
 - ▶ Redes destinadas ao uso da luz visível ($\lambda \approx 400$ a $700nm$) costumam ter cerca de 1000 fendas por milímetro.
 $d = 1mm/N = 1mm/1000 = 1\mu m = 1000nm$.
 - ▶ **Rede de reflexão:** o conjunto de fendas igualmente espaçadas é substituído por um conjunto de sulcos ou saliências sobre uma tela refletora.
 - ▶ Uma luz com λ que incide \perp na rede de reflexão de espessura d , os ângulos de reflexão dos máximos são dados por:
 $d \sin \theta = m\lambda$.

A Rede de Difração

Fotografia do Sol com luz visível.



A luz solar se dispersa em um espectro por uma rede de difração.

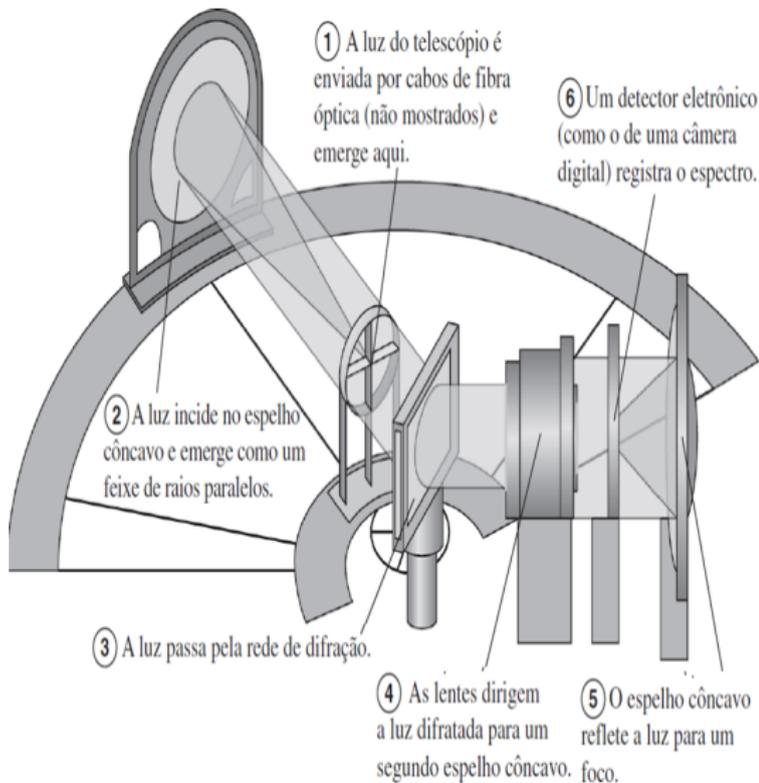


A Rede de Difração

Fotografia do Sol com luz visível.



A luz solar se dispersa em um espectro por uma rede de difração.

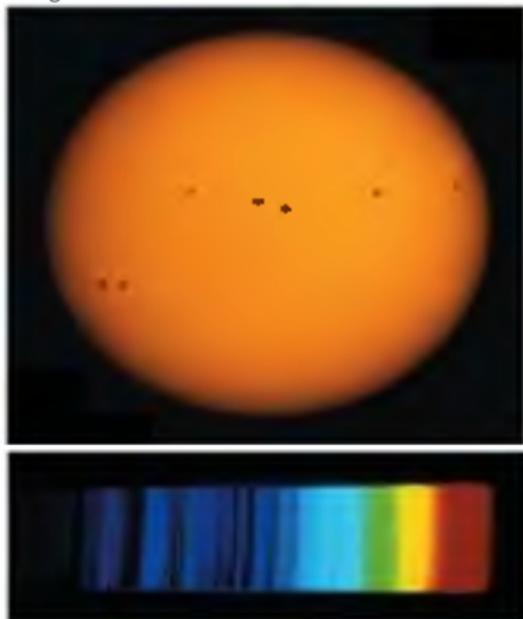


▶ **Poder de Resolução:**

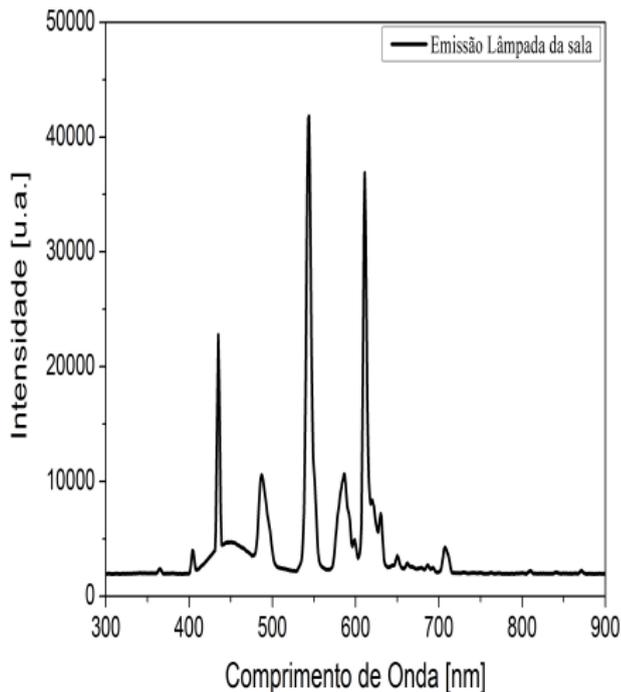
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = Nm$$

- ▶ Número de fendas: N . Número de ordem: m .

Fotografia do Sol com luz visível.



A luz solar se dispersa em um espectro por uma rede de difração.

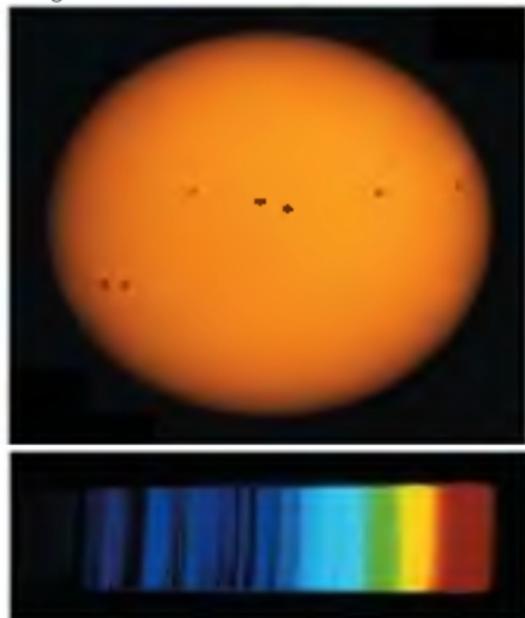


- ▶ **Poder de Resolução:**

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

- ▶ Número de fendas: N . Número de ordem: m .

Fotografia do Sol com luz visível.

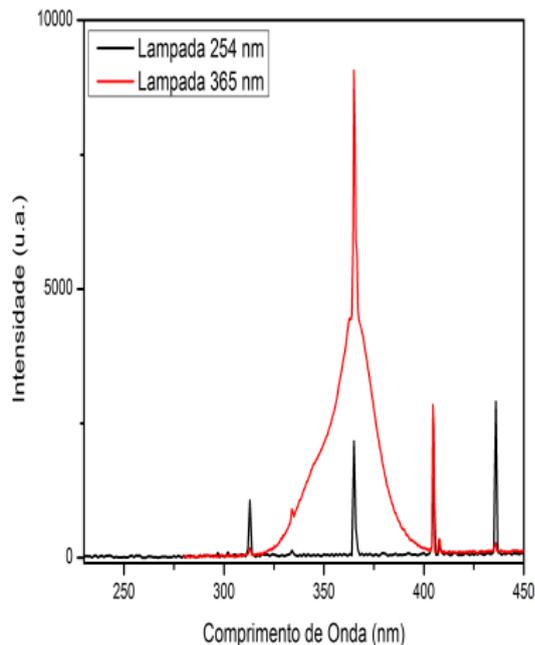


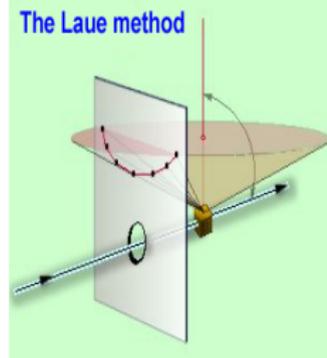
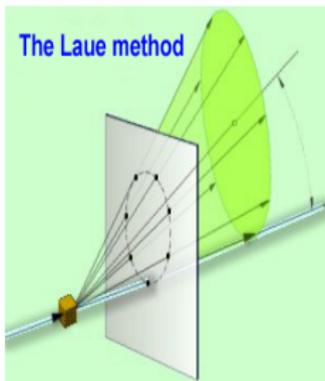
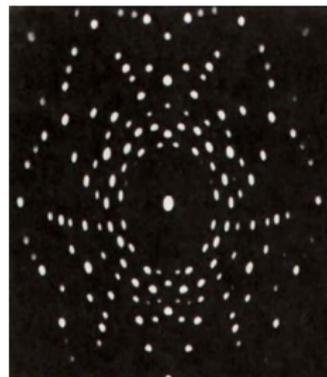
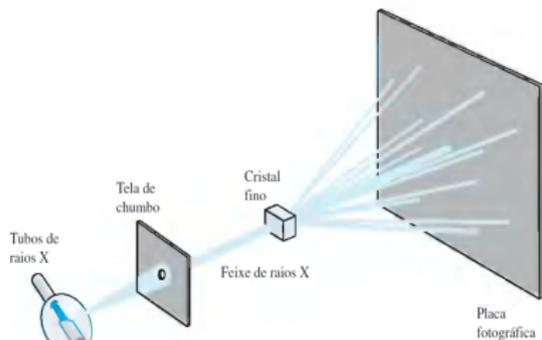
A luz solar se dispersa em um espectro por uma rede de difração.

- ▶ **Poder de Resolução:**

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

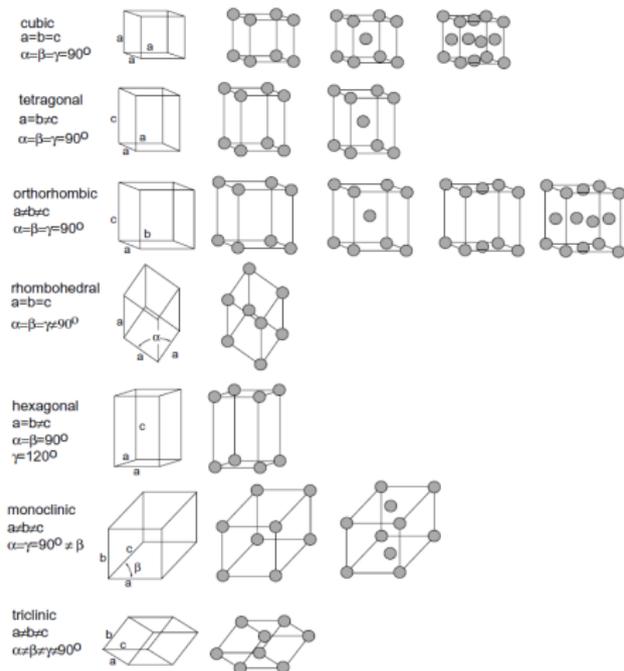
- ▶ Número de fendas: N . Número de ordem: m .





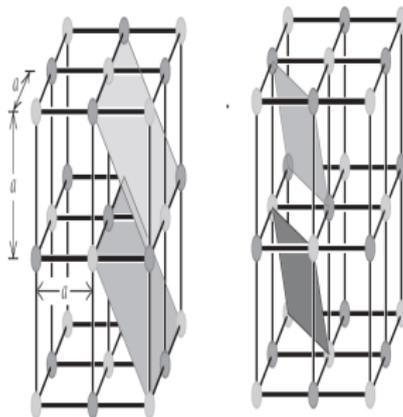
7 Crystal systems

14 Bravais Lattices

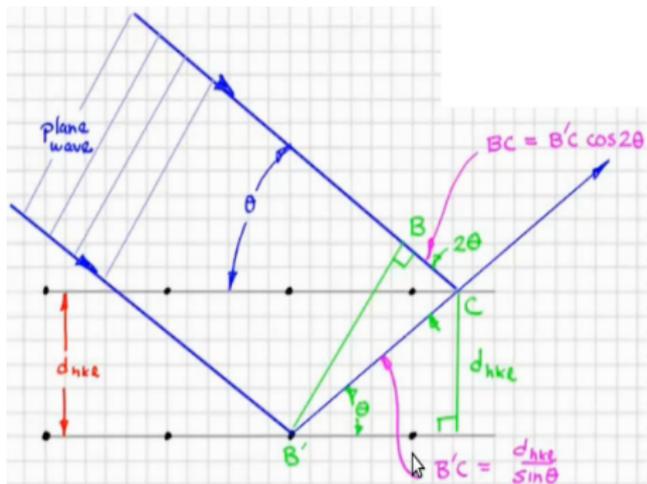


(a) O espaçamento dos planos $\epsilon d = a\sqrt{2}$.

(b) O espaçamento dos planos $\epsilon d = a\sqrt{3}$.

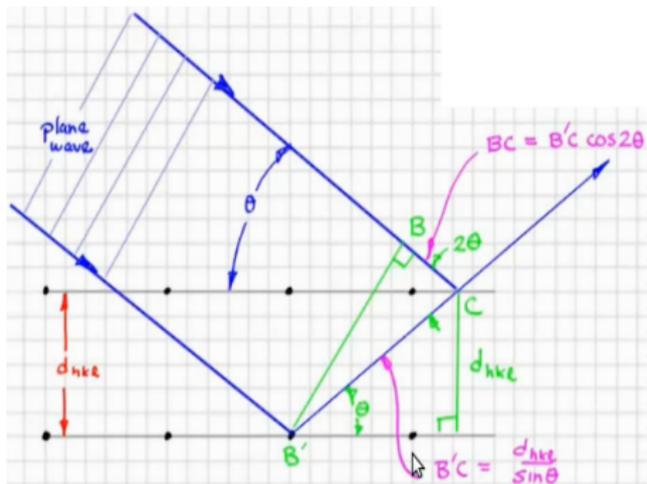


►
$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + j^2}}$$



$$BC' - BC = m\lambda$$

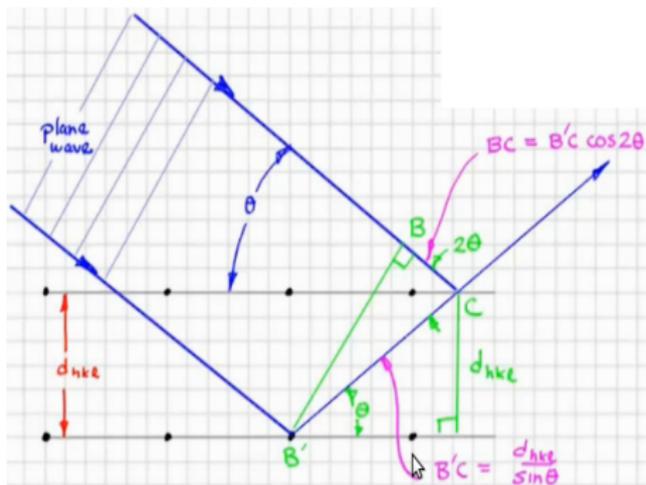
▶
$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + j^2}}$$



$$BC' - BC = m\lambda$$

$$BC' - BC' \cos(2\theta) = m\lambda$$

▶ $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + j^2}}$

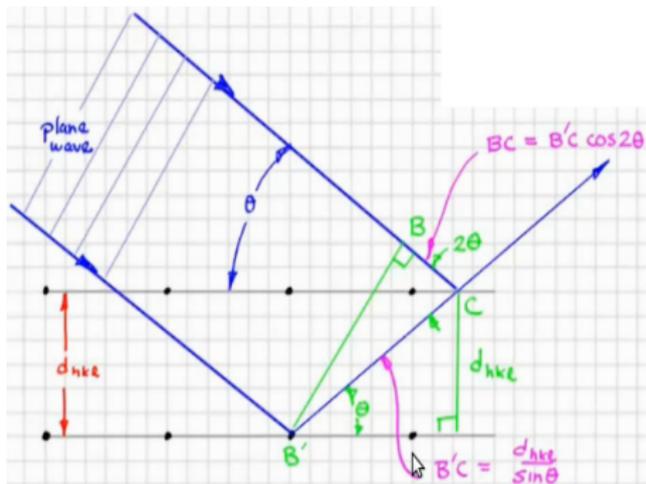


$$\blacktriangleright d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + j^2}}$$

$$BC' - BC = m\lambda$$

$$BC' - BC' \cos(2\theta) = m\lambda$$

$$BC'(1 - \cos(2\theta)) = m\lambda$$



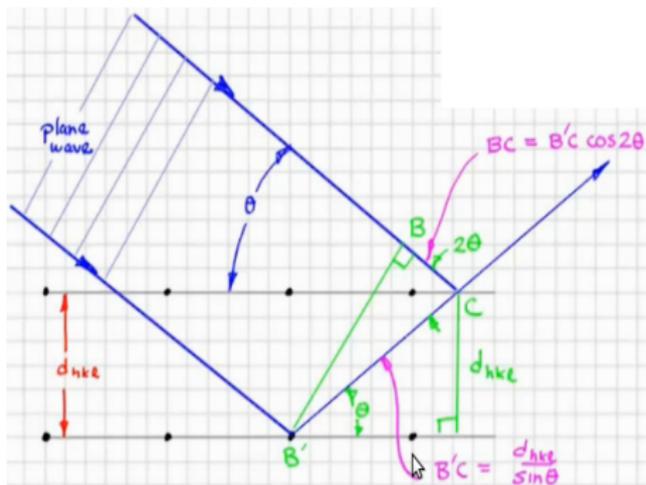
$$\blacktriangleright d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + j^2}}$$

$$BC' - BC = m\lambda$$

$$BC' - BC' \cos(2\theta) = m\lambda$$

$$BC' (1 - \cos(2\theta)) = m\lambda$$

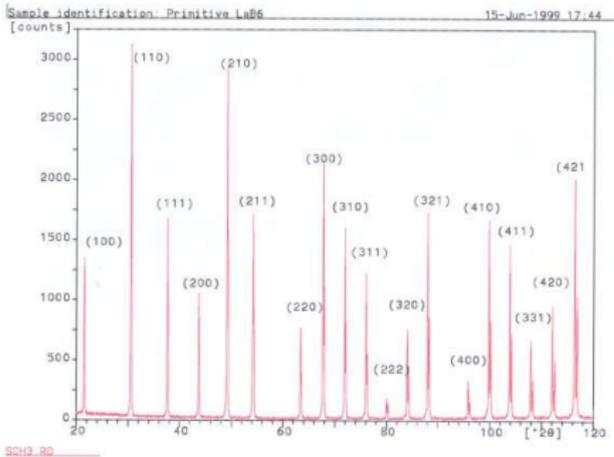
$$\frac{d_{hkl}}{\sin\theta} (1 - \cos(2\theta)) = m\lambda$$



$$\blacktriangleright d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + j^2}}$$

$$\begin{aligned} BC' - BC &= m\lambda \\ BC' - BC' \cos(2\theta) &= m\lambda \\ BC' (1 - \cos(2\theta)) &= m\lambda \\ \frac{d_{hkl}}{\sin \theta} (1 - \cos(2\theta)) &= m\lambda \\ 2d_{hkl} \sin \theta &= m\lambda \end{aligned}$$

Cúbico



3.091 Screenshot

INDEXING DIFFRACTION PATTERNS

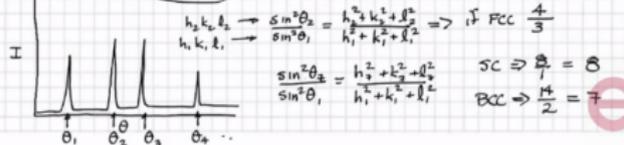
$$\lambda = 2d \sin \theta$$

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

$$\frac{\lambda^2}{4a^2} = \frac{\sin^2 \theta_{hkl}}{h^2 + k^2 + l^2}$$

Const.
Structure factors
sc all hkl
BCC h+k+l = even
FCC h, k, l are all odd or all even

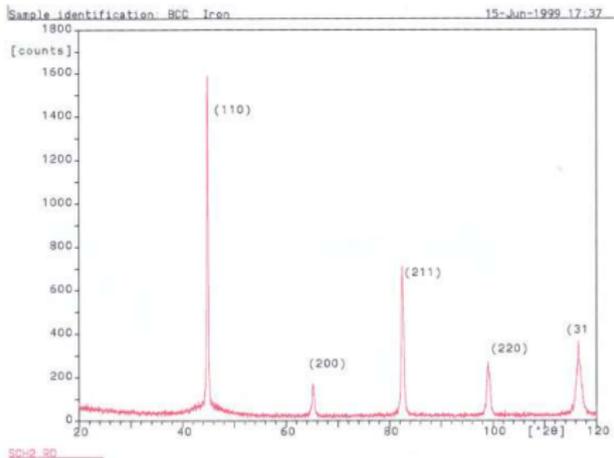
h k l	h ² +k ² +l ²	Crystal system
(100)	1	sc BCC FCC
(110)	2	sc (B) BCC (B) FCC (B)
(111)	3	sc (B) BCC (B) FCC (B)
(200)	4	sc (A) BCC (A) FCC (A)
(102)	5	sc (B) BCC (B) FCC (B)
(112)	6	sc (A) BCC (A) FCC (A)
(202)	8	sc (A) BCC (A) FCC (A)
(300)	9	sc (B) BCC (B) FCC (B)
(221)	9	sc (B) BCC (B) FCC (B)
(301)	10	sc (B) BCC (B) FCC (B)
(311)	11	sc (B) BCC (B) FCC (B)
(222)	12	sc (A) BCC (A) FCC (A)
(402)	16	sc (A) BCC (A) FCC (A)
(321)	14	sc (B) BCC (B) FCC (B)



$$2d_{hkl} \sin \theta = m\lambda$$

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

BCC



3.091 Screenshot

INDEXING DIFFRACTION PATTERNS

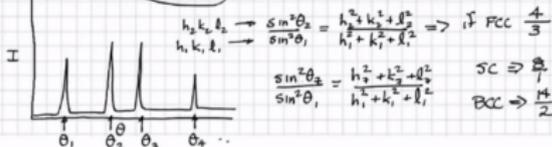
$$\lambda = 2d \sin \theta$$

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

$$\frac{\lambda^2}{4a^2} = \frac{\sin^2 \theta_{hkl}}{h^2 + k^2 + l^2}$$

Const.
Structure factors
sc all hkl
BCC $h+k+l = \text{even}$
FCC $h, k, l = \text{are all odd or all even}$

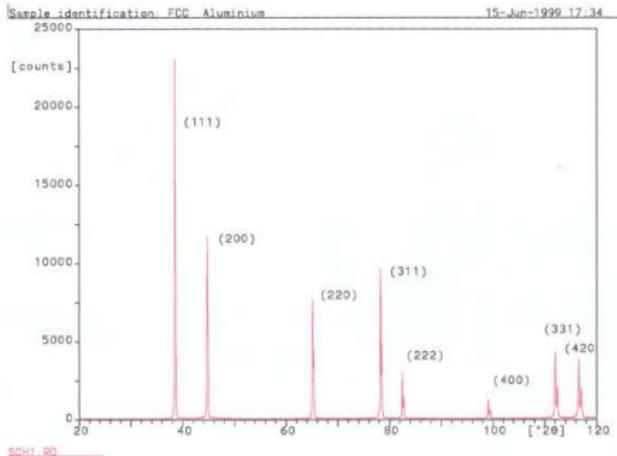
h k l	$h^2+k^2+l^2$	Crystal system	BCC	FCC
(100)	1	sc	—	—
(110)	2	sc	—	—
(111)	3	sc	—	—
(200)	4	sc	—	—
(102)	5	sc	—	—
(112)	6	sc	—	—
(202)	8	sc	—	—
(210)	5	sc	—	—
(221)	9	sc	—	—
(201)	5	sc	—	—
(211)	6	sc	—	—
(222)	12	sc	—	—
(302)	13	sc	—	—
(321)	14	sc	—	—



$$2d_{hkl} \sin \theta = m\lambda$$

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + j^2}}$$

FCC



3.091 Screenshot

INDEXING DIFFRACTION PATTERNS

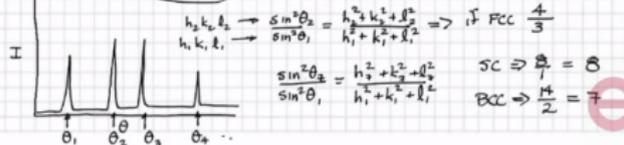
$$\lambda = 2d \sin \theta$$

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

$$\frac{\lambda^2}{4a^2} = \frac{\sin^2 \theta_{hkl}}{h^2 + k^2 + l^2}$$

Const.
Structure factors
SC all hkl
BCC $h+k+l = \text{even}$
FCC $h, k, l = \text{are all odd or all even}$

h	k	l	$h^2+k^2+l^2$	Crystal system	SC	BCC	FCC
1	0	0	1	SC	—	—	—
1	1	0	2	SC	—	—	—
1	1	1	3	SC	—	—	—
2	0	0	4	SC	—	—	—
2	0	2	8	SC	—	—	—
2	2	0	8	SC	—	—	—
2	2	2	12	SC	—	—	—
3	0	0	9	SC	—	—	—
3	0	3	18	SC	—	—	—
3	3	0	18	SC	—	—	—
3	3	3	27	SC	—	—	—
4	0	0	16	SC	—	—	—
4	0	4	32	SC	—	—	—
4	4	0	32	SC	—	—	—
4	4	4	48	SC	—	—	—
5	0	0	25	SC	—	—	—
5	0	5	50	SC	—	—	—
5	5	0	50	SC	—	—	—
5	5	5	75	SC	—	—	—



$$2d_{hkl} \sin \theta = m\lambda$$

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

