



Teoria - Difração e Interferência

Objetivos

- Observar os fenômenos de difração e interferência da luz;
- Medir o diâmetro de um fio de cabelo.

Introdução

Um feixe de luz coerente, ao atravessar uma fenda muito estreita, produz num anteparo uma figura constituída de regiões iluminadas e escurecidas. Este efeito, que ocorre sempre que as dimensões do obstáculo (fenda) forem comparáveis ao comprimento de onda da luz incidente, é conhecido como **difração**, e evidencia claramente a natureza ondulatória da luz.

O efeito de **interferência** é semelhante ao de difração, porém está relacionado com luz coerente atravessando *duas* (ou mais) fendas. Rigorosamente, a interferência se dá para fendas que são muito menores que o comprimento de onda da luz. Como isto não é uma realização possível, *na prática, sempre temos o efeito de interferência associado ao de difração*.

Nesta apresentação, apenas revisamos as expressões para a localização dos mínimos de difração e de interferência, para uma fenda simples e para uma fenda dupla, obtidas a partir da aproximação de que a observação se faz num anteparo muito distante, comparado com as demais dimensões envolvidas. Esta condição é conhecida como **Difração de Fraunhofer**. (Um conjunto mais extenso de fórmulas e conceitos pode ser encontrado em [1].)

Difração em Fenda Simples

Quando um feixe de luz atravessa uma fenda de dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda, os raios de luz proveniente de regiões diferentes da fenda, devido à diferença de percurso, podem atingir um ponto do anteparo com fases distintas, causando interferência construtiva ou destrutiva neste ponto. As regiões da figura gerada no anteparo onde ocorre interferência construtiva total são chamadas de **máximos de difração**, enquanto que as regiões nas quais ocorre interferência destrutiva total são chamadas de **mínimos de difração** (regiões escuras).

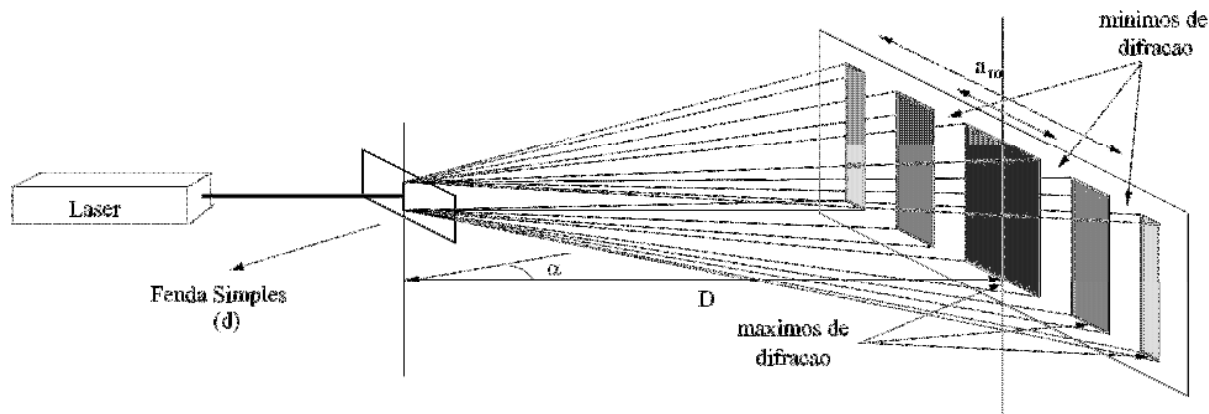


Figura 1 - Figura de difração formada por luz atravessando uma fenda.

A figura 1 ilustra o padrão de difração obtido para o caso de uma fenda simples. Os **mínimos de difração** ocorrem para ângulos nos quais a projeção da largura da fenda (d) sobre o eixo de propagação da onda difratada (Fig. 2) é um **múltiplo inteiro** do comprimento de onda:

$$d \cdot \text{sen} \alpha_m = m \lambda \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \quad (\text{Eq. 1})$$

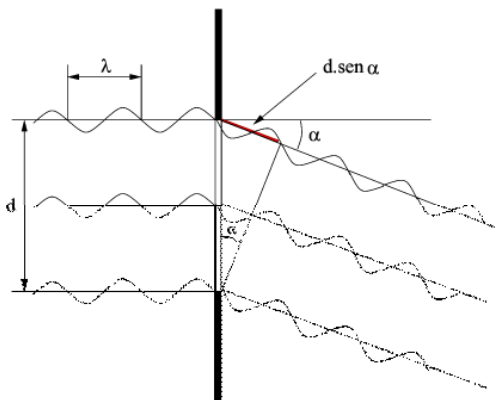


Figura 2 - Para ocorrência de mínimos de difração, a diferença de trajeto entre os raios provenientes das duas extremidades da fenda deve ser um múltiplo inteiro do comprimento de onda da radiação.

A distância a_m entre dois mínimos de difração simétricos em relação ao máximo principal (α_m e α_{-m}) está relacionada com o ângulo de difração segundo

$$\tan \alpha_m = \frac{1}{2} \left(\frac{a_m}{D} \right), \quad m = 1, 2, 3 \dots \quad (\text{Eq. 2})$$

onde D é a distância entre a fenda e o anteparo (Fig. 1).

Fazendo a aproximação $\tan \alpha \approx \text{sen} \alpha$, válida para valores pequenos de α e substituindo na Eq. (1),

$$a_m = \frac{2D\lambda}{d} m, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{Eq. 3})$$

onde d é a largura da fenda e λ é o comprimento de onda da luz incidente.

Difração e Interferência com Fenda Dupla

No caso de uma fenda dupla, além do efeito de difração visto com uma fenda, haverá interferência entre os feixes de luz provenientes de cada uma das fendas. Com isso, a figura obtida no anteparo será formada de uma figura de difração, sobreposta por **franjas de interferência**, como mostra a Fig. 3.

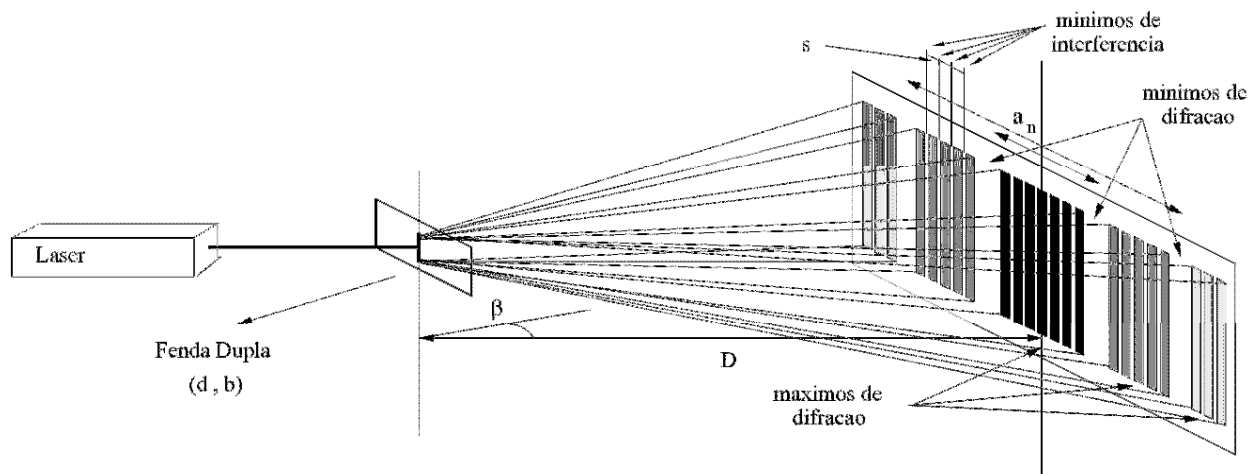


Figura 3 - Figura de difração e interferência gerada por um laser atravessando uma fenda dupla.

O padrão de difração de uma fenda coincide com o da outra fenda e, portanto, os mínimos de difração só dependem da largura das fendas. Assim a condição $d \cdot \text{sen} \alpha = m\lambda$ permanece válida e a distância entre os mínimos de difração pode ser calculada pela Eq. (3).

Os **mínimos de interferência** ocorrem para ângulos nos quais a diferença de trajetória de raios provenientes de cada fenda (b) é **múltiplo ímpar** de *meio* comprimento de onda:

$$b \cdot \text{sen} \beta_n = n \frac{\lambda}{2} \quad m = \pm 1, \pm 3, \pm 5 \dots \quad (\text{Eq. 4})$$

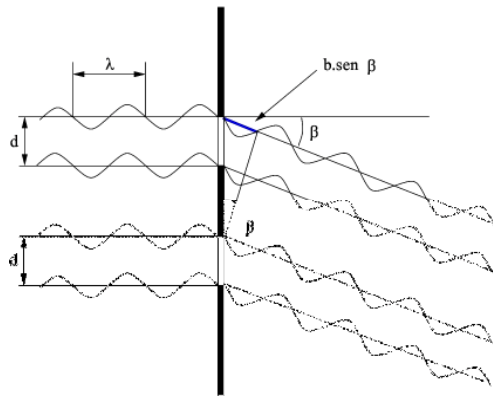


Figura 4 - Condições para ocorrência de mínimos de interferência.

A distância entre dois mínimos de interferência simétricos s_n é obtida de maneira análoga a do caso da difração. Com a aproximação $\tan \alpha \approx \text{sen} \alpha$, obtemos

$$s_n = \frac{D\lambda}{b} n, \quad m = 1, 3, 5 \dots \quad (\text{Eq. 5})$$

A distância entre *dois mínimos consecutivos* será então

$$s = \frac{D\lambda}{b} \quad (\text{Eq. 6})$$

onde b é a separação das fendas e D é a distância em relação ao anteparo (Fig. 3).

Note que a separação dos *mínimos de interferência* não depende da largura das fendas, assim como a *separação dos mínimos de difração* não depende da distância entre as fendas.

Princípio de Babinet

Dois obstáculos difratores são *complementares* quando a região *transparente* de um superpõe-se exatamente à região *opaca* do outro e vice-versa. Quando tais objetos são sobrepostos, o resultado é evidentemente uma tela completamente opaca (Fig. 5). Se, ao invés, ambas as *aberturas* estão presentes, não haverá regiões opacas na tela e teremos o campo elétrico \vec{E}_0 sem obstrução, que podemos interpretar como formado por

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (\text{Eq. 7})$$

onde \vec{E}_1 e \vec{E}_2 são os campos devidos à fenda e à sua tampa, respectivamente. A Eq. (7) constitui o enunciado matemático do **Princípio de Babinet**. Ora, quando consideramos a soma de regiões opacas, temos $\vec{E}_0 = 0$, decorrendo $\vec{E}_1 = -\vec{E}_2$. Isto implica que os efeitos provocados por uma tampa e seu complemento são *precisamente iguais e fora de fase 180°*! Como $I \propto E^2$, isto é, a intensidade luminosa é proporcional ao campo elétrico *ao quadrado*, os efeitos que observamos no anteparo, devido à fenda e aquele devido a seu complemento *são iguais*. Logo, o mesmo padrão gráfico (Fig. 1) será obtido *quando a fenda for substituída por seu complemento*. (Veja uma dedução mais rigorosa do Princípio de Babinet em [2].)

Vamos utilizar deste efeito para medir o diâmetro de um fio de cabelo, como um exemplo do uso da técnica de interferometria de luz para determinação das dimensões de objetos pequenos.

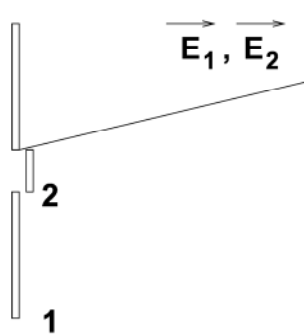


Figura 5 - A superposição de dois obstáculos complementares produz um obstáculo opaco; se ambas as aberturas estão presentes ao mesmo tempo, o campo elétrico resultante num ponto do anteparo será dado por $\vec{E}_0 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Este é o Princípio de Babinet.

A técnica a ser utilizada foi proposta por Curry e Schawlow [3], que construíram uma figura de interferência para um valor padronizado do comprimento de onda ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$). De posse da figura, para praticar a medida tudo que se deve fazer é ajustar a distância entre o objeto e o anteparo *fazendo coincidir* os mínimos da figura de interferência do objeto com os do desenho gráfico. Nestas condições, o *diâmetro* do objeto medido em μm equivale à distância do objeto ao anteparo em cm.

Referências

- [1] Serway, Física 3 - Eletricidade, Magnetismo e Ótica 3a ed. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.
- [2] Hecht, Optics, 2a ed. Addison-Wesley Publishing Co. 1987.
- [3] Curry, S. M.; Schawlow, A. L. American Journal of Physics, p.413, vol.42, 1974.