

# INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO DA LUZ

## INTRODUÇÃO

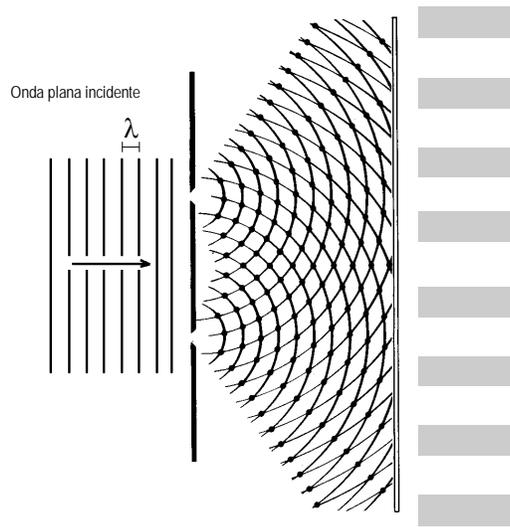
A luz é uma onda eletromagnética; portanto é constituída por campos elétrico e magnético que oscilam, periodicamente, no tempo e no espaço, perpendiculares entre si. A natureza ondulatória da luz fica evidente, quando seu comprimento de onda é comparável às dimensões de obstáculos ou aberturas existentes em seu caminho. Fenômenos de interferência e difração da luz são exemplos de sua natureza ondulatória.

O efeito de duas ou mais ondas ao se encontrarem em um ponto do espaço, em certo instante, é determinado pelo princípio da superposição. Se elas encontram-se em fase — ou seja, se os máximos das ondas coincidem —, elas produzem uma onda resultante, cuja amplitude é igual à soma das amplitudes de cada uma — nesse caso, diz-se que ocorre interferência construtiva das ondas. Por outro lado, se as ondas, ao se encontrarem, estão fora de fase — ou seja, se o máximo de uma coincide com o mínimo da outra —, ocorre interferência destrutiva e a amplitude da onda produzida é igual à diferença entre as amplitudes das duas ondas.

### **Experiência de Young — interferência em fenda dupla**

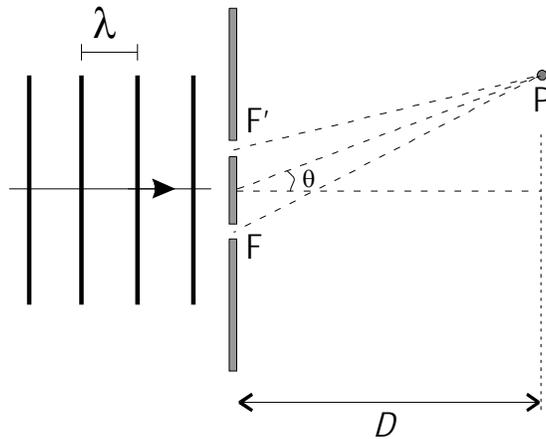
O experimento de interferência com a luz, feito pela primeira vez por Thomas Young, em 1801, foi determinante para estabelecer-se a natureza ondulatória da luz — somente ondas podem interferir ou difratar. Nesse experimento, uma onda plana incide sobre uma placa opaca, que tem duas fendas estreitas e difrata-se em cada fenda, divergindo radialmente, como mostrado na Fig. 1. As ondas provenientes de cada fenda superpõem-se e interferem construtiva ou destrutivamente, em um certo ponto, dependendo da diferença de fase entre elas. Devido a esse efeito, observam-se, em um anteparo colocado na frente das fendas, regiões em que a intensidade da luz é máxima, alternadas com outras em que a intensidade é mínima, como mostrado, esquematicamente, na Fig. 1.

Para se obter esse padrão de interferência, com franjas claras e escuras, as ondas provenientes de cada fenda devem ser monocromáticas — ou seja, de mesma frequência — e coerentes — ou seja, a diferença de fase entre elas deve permanecer constante no tempo. A luz de um *laser* tem essa característica tornando-se assim adequada para a obtenção de padrões de interferência.



**Figura 1** - Uma onda plana de luz coerente, de comprimento de onda  $\lambda$ , incide em uma placa, em que há duas fendas estreitas; as ondas difratadas pelas fendas superpõem-se e produzem, no anteparo, o padrão de franjas claras e escuras, alternadas, mostrado esquematicamente à direita; as cristas das ondas estão representadas por linhas cheias.

Na Fig. 2, está representada uma onda plana que incide em uma placa com duas fendas. Nessa figura estão indicadas a separação  $d$  entre as fendas, a distância  $D$  da placa ao anteparo e o comprimento de onda  $\lambda$  da luz. Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição determinada pelo ângulo  $\theta$ . Para atingir esse ponto, as ondas provenientes de cada fenda percorrem distâncias diferentes. Se a diferença entre essas distâncias é igual a um número inteiro de comprimentos de onda, essas ondas chegam em fase em P e a intensidade da luz, nesse ponto, será máxima. Se, por outro lado, a diferença entre essas distâncias é igual a um número ímpar de meios comprimentos de onda, as ondas chegam fora de fase em P e a intensidade, nesse ponto, será mínima.



**Figura 2** - A separação entre as fendas F e F' é  $d$  e a placa está a uma distância  $D$  do anteparo; o resultado da interferência no ponto P depende da diferença entre as distâncias FP e F'P.

Se  $D \gg d$ , as retas FP e F'P são praticamente paralelas e a diferença entre esses dois percursos é, aproximadamente,  $d \sin \theta$ . Assim, as condições para haver um máximo ou um mínimo de interferência em P são:

$$\begin{aligned}
 \text{máximos} \quad d \sin \theta &= m\lambda, & m &= 1, 2, 3, \dots \\
 \text{mínimos} \quad d \sin \theta &= \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, & m &= 0, 1, 2, \dots
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

### Difração em fenda simples

Na Fig. 3, está representada uma onda plana que incide sobre uma fenda em uma placa opaca. Se a largura dessa fenda é da ordem do comprimento de onda da luz, observam-se, no anteparo, regiões claras alternadas com regiões escuras. Esse efeito pode ser analisado de acordo com o modelo de Huygens — cada porção da fenda atua como uma fonte de luz. As ondas provenientes de cada ponto da fenda podem chegar ao anteparo em fase ou fora de fase, produzindo regiões respectivamente claras ou escuras.

Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição indicada pelo ângulo  $\theta$ . Pode-se mostrar que a condição para haver um mínimo de difração nesse ponto é dada por

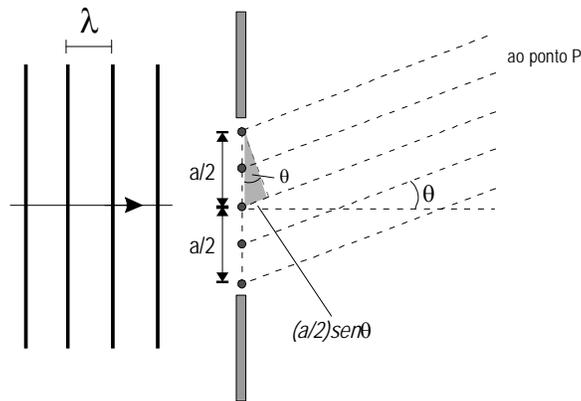
$$a \sin \theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots
 \tag{2}$$

em que a intensidade  $I$  da luz no anteparo em função de  $\theta$  é dada por

$$I(\theta) = I_m \left( \frac{\text{sen} \frac{\pi a \theta}{\lambda}}{\frac{\pi a \theta}{\lambda}} \right)^2, \quad (3)$$

em que  $a$  é a largura da fenda e  $I_m$  é a intensidade máxima observada no padrão de difração.

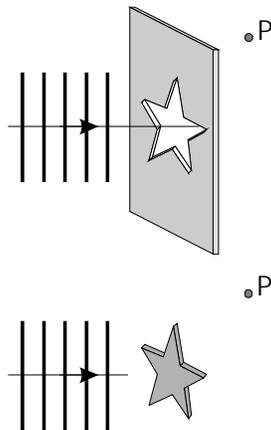
Verifique, com base na equação 3, que o centro do padrão de difração,  $\theta = 0$ , é um ponto de intensidade máxima. Com o modelo de Huygens, tente explicar, fisicamente, por que isso ocorre.



**Figura 3** - Uma onda plana incide sobre uma fenda de uma placa opaca; as ondas provenientes de cada ponto da fenda atingem o ponto P em um anteparo distante.

### PRINCÍPIO DE BABINET

“O padrão de difração observado quando a luz incide sobre uma abertura de qualquer forma é o mesmo obtido quando a luz incide sobre um objeto que é o complemento da abertura.” Essa é uma das formas de se enunciar o chamado princípio de Babinet. Isso quer dizer, por exemplo, que, se for recortada uma parte de uma placa opaca, deixando uma abertura de qualquer forma, tanto a placa quanto a parte removida, individualmente, produzirão o mesmo padrão de difração. Essa situação está representada esquematicamente na Fig. 4. Esse resultado não se aplica a pontos situados na região central do anteparo — sombra geométrica do objeto.



**Figura 4** - Princípio de Babinet: A figura de difração produzida por uma abertura é a mesma que a produzida por seu complemento em qualquer ponto P, situado fora da região central.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Objetivos

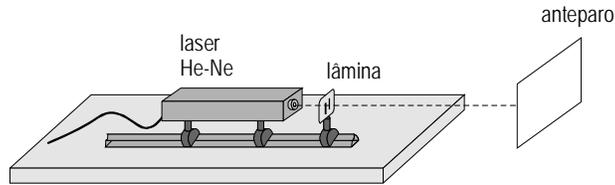
- Analisar padrões de difração e de interferência da luz.
- Determinar a largura e a distância entre fendas a partir dos padrões de interferência e de difração produzidos por elas.
- Determinar a espessura de um fio de cabelo analisando o padrão de difração que ele produz.

### Material utilizado

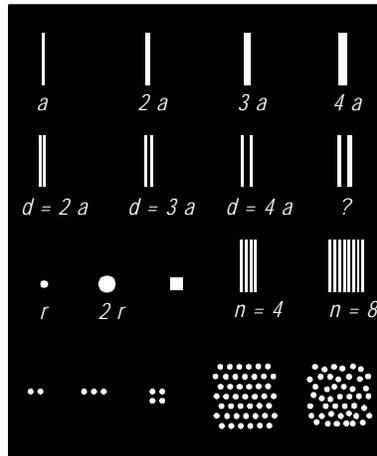
- *Laser* de He-Ne, lâmina com fendas e orifícios de várias dimensões, suporte para lâmina, anteparo, trena, detector de luz, computador com interface para aquisição de dados.

**ATENÇÃO:** NUNCA OLHE DIRETAMENTE PARA O FEIXE DO *LASER*, POIS ISSO PODERÁ CAUSAR DANOS SÉRIOS E PERMANENTES NA SUA RETINA.

O esquema utilizado neste experimento para obtenção dos padrões de interferência e de difração está mostrado na Fig. 5. A luz emitida por um *laser* passa por aberturas em uma lâmina e produz um padrão de interferência ou de difração sobre um anteparo. A lâmina consiste em um diapositivo fotográfico, que contém fendas e orifícios de diversas dimensões, como representado na Fig. 6.



**Figura 5** - Equipamento utilizado nos experimentos de interferência e de difração.



**Figura 6** - Reprodução ampliada da lâmina utilizada nos experimentos de interferência e de difração.

### PADRÃO DE DIFRAÇÃO DE FENDA RETANGULAR

#### **Procedimentos**

- Faça a montagem ilustrada na Fig. 5, colocando o suporte das fendas próximo ao *laser*, em um dos lados da mesa e o anteparo no lado oposto. Meça a distância da fenda ao anteparo. Direcione o feixe do *laser* para a fenda identificada com um "a" na lâmina mostrada na Fig. 6.

- Prenda uma folha de papel ao anteparo e, cuidadosamente, copie nela a figura de difração observada. Todas as análises posteriores serão feitas com base nas anotações contidas nessa folha, portanto faça-as com cuidado e atenção.
- Desloque verticalmente a folha de papel, no anteparo, de cerca de 2 cm; posicione a fenda identificada como “2a” na frente do feixe do *laser* e copie a figura de difração correspondente.

Observe as duas figuras de difração registradas no papel e discuta as seguintes questões:

- ✓ Determine qual das fendas produz uma figura de difração com o máximo central mais largo. Explique por que isso ocorre.
  - ✓ Considerando a tendência observada nas figuras registradas, como deverá ser a figura de difração se a fenda for muito estreita. E, Também, se ela for muito larga. Verifique se suas conclusões estão de acordo com a equação 2.
- Na figura de difração que você desenhou para a fenda “a”, meça as distâncias dos quatro primeiros mínimos de intensidade ao centro do padrão de difração ( $\theta = 0$ ). Sugestão: Para minimizar erros, meça a distância entre dois mínimos simétricos em relação a  $\theta = 0$  e tome a metade desse valor. Em uma tabela, anote essas medidas e os índices  $m$  correspondentes a cada mínimo (veja equação 2). Com base nesses resultados, determine o melhor valor para largura “a” da fenda.

## INTERFERÊNCIA EM FENDA DUPLA

### **Procedimentos**

- Direcione o feixe do *laser* para a fenda dupla identificada na lâmina com “d = 2a” (veja Fig. 6). Prenda novamente a folha ao anteparo e, cuidadosamente, copie nela, abaixo das figuras de difração, a figura de interferência observada.
- Desloque verticalmente a folha de papel, no anteparo, de cerca de 2 cm; posicione a fenda dupla identificada como “d = 3a” na frente do feixe do *laser* e copie a figura de interferência correspondente.

- Com base na equação 1, determine qual das duas fendas duplas deve produzir uma figura de interferência com os máximos de intensidade mais próximos um do outro. Verifique se seu resultado está de acordo com as figuras copiadas.
- Como as fendas têm uma certa largura, a figura observada no anteparo consiste em um padrão de difração – determinado pela largura das fendas – superposto a um padrão de interferência – determinado pela separação entre as fendas. Para verificar isso, compare as duas figuras de interferência com a figura de difração foi obtida com a fenda simples "a". Procure identificar, nas figuras de interferência, os mínimos que são devidos à difração. Justifique por que esses mínimos estão na mesma posição que na situação da fenda simples.
- Para o padrão de interferência de fenda dupla " $d = 2a$ ", meça as distâncias dos três primeiros mínimos de intensidade ao centro do padrão de interferência ( $\theta=0$ ). Em uma tabela, anote essas medidas e os índices  $m$  correspondentes (veja equação 1). Com base nesses resultados, determine o melhor valor para a separação entre as fendas. Compare-o com o valor " $d = 2a$ " especificado.

**MEDIDA DA ESPESSURA DE UM FIO DE CABELO ATRAVÉS DO PADRÃO DE DIFRAÇÃO PRODUZIDO POR ELE**

**Procedimentos**

- Substitua o suporte para as fendas por outro a que possa prender um fio de cabelo.
- Prenda um fio de cabelo ao suporte; alinhe-o adequadamente com o *laser* até observar um padrão de difração no anteparo.
- Na folha em que foram traçados os padrões anteriores, registre o padrão de difração produzido pelo fio de cabelo.
- Determine o diâmetro do fio de cabelo.