

## DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA DA LUZ

Inicialmente lançaremos o seguinte desafio: por que vemos o CD colorido com as cores do arco-íris? A disposição destas cores é igual ao do prisma? E as 80 cores na bolha de sabão, são iguais? Por que algumas asas de borboleta e de alguns pássaros mudam de cor quando o sol incide nelas? Todas estas perguntas tem relação com a característica ondulatória da luz, principalmente com os fenômenos explicados pelas teorias de Huygens de Young, que veremos a seguir.

### *Difração*

A difração é uma propriedade característica de fenômenos ondulatórios e que consiste no fato da onda ser capaz de contornar pequenos obstáculos ou aberturas de pequenas dimensões, comparáveis ao comprimento de onda. Para compreender o fenômeno, precisamos fazer uso do princípio de Huygens-Fresnel, segundo o qual todos os pontos de um pulso se comportam como novas fontes (ondículas) e a superposição dessas ondículas determina a posição subsequente do pulso. Assim a onda contorna o obstáculo. Com a cuba de ondas você pode produzir uma difração, fazendo os pulsos atravessarem um obstáculo de uma dada largura  $a$ . Produzindo ondas de comprimentos de onda cada vez menores, você pode perceber que a difração aumenta.

Variando o tamanho do obstáculo, você também pode perceber que a difração aumenta à medida que o tamanho da fenda diminui. Em outras palavras, o fenômeno da difração é percebido de uma forma melhor quando o tamanho do orifício ou obstáculo for da ordem do comprimento da onda de luz emitida. No cotidiano, a difração do som (onda mecânica) é fácil de ser observada, pois o comprimento de onda médio é da ordem de centímetros (é o que ocorre, por exemplo, quando ouvimos a buzina de um carro numa esquina, sem ver o carro!), ao passo que a observação da difração da luz é mais difícil, pois o comprimento de onda médio da luz visível é da ordem de 0.5 micrômetros, dimensões não comum no dia-a-dia (mas que pode ser observada na difração da luz nas trilhas de um CD, cujo espaçamento é da ordem de 1.8 micrômetros, resultando em faixas coloridas, devido à difração e posterior interferência da luz).

### Difração de uma fenda simples

Considere uma onda de comprimento de onda  $\lambda$  atingindo uma fenda de largura  $a$ . De acordo com o princípio de Huygens, podemos considerar que as ondas após o orifício são provenientes de minúsculas fontes no interior da fenda, separadas pela distância  $d$ .

A difração pode ser entendida como a interferência das ondas provenientes dessas pequenas fontes. Considerando o anteparo a uma distância  $D$  das fendas, podemos determinar a intensidade luminosa num ponto  $y$  no anteparo, além das relações entre as contribuições das ondículas que sofrem interferência uma das outras, formando as regiões de máximo e de mínimo de difração.

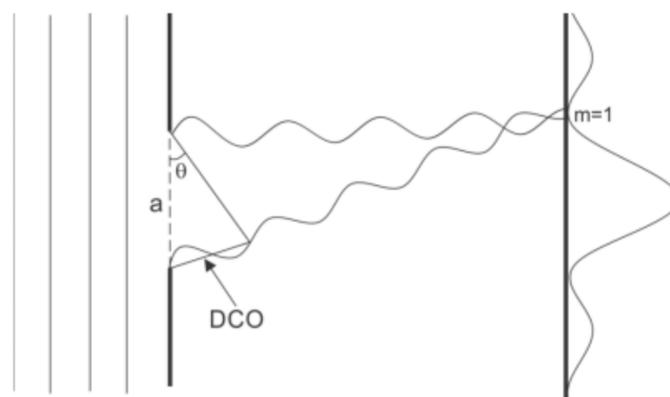


Figura 46

A partir da figura anterior podemos ver que há uma relação geométrica entre a fenda que as frentes de onda da luz passam. Considerando o princípio de Huygens, onde cada ponto da frente de onda emite pequenas ondas que se somam, formando as próximas frentes, vê-se que há uma diferença de fase entre uma onda e outra, que se mantém até o anteparo. Este tipo de difração, quando o anteparo é distante com relação à distância entre máximos e mínimos, é chamada de difração de campo distante, ou difração de Fraunhofer. Os máximos e mínimos nesse caso são causados pela diferença de caminho óptico (DCO) entre as ondas que se encontram no anteparo. Na difração por uma fenda simples os máximos acontecem quando as ondas então em fase, ou seja, cristas interferem com cristas ou vales com vales, o que ocorre quando a DCO é de múltiplos de  $2\lambda$ . Então, podemos dizer que a DCO para os mínimos é, conseqüentemente, múltiplo de  $\lambda$ , como descrito na equação abaixo:

- $a \cdot \text{sen}\theta = m\lambda$  para  $m = 1, 2, 3, \dots$  (mínimo de difração – franjas escuras)

A intensidade da onda difratada na direção  $\theta$  é:

$$I = I_0 \cdot \left( \frac{\text{sen}\varphi}{\varphi} \right)^2 \quad \text{e} \quad \varphi = \left( \frac{\pi}{\lambda} \right) a \text{sen}\theta$$

Deve-se notar que para  $m=1$  temos  $\text{sen}\theta = \lambda/a$ , o que nos dá valor máximo para  $\theta=90^\circ$ , com  $\lambda = a$ . Isto explica que a onda será mais difratada para  $\theta=90^\circ$ . Quando fazemos luz branca incidir num CD, vemos um espectro de cores semelhante ao que se vê num prisma, quando também é iluminado por luz branca. Eles se identificam?

A resposta é não, pois são fenômenos diferentes. No caso do prisma, o que está envolvido é a separação da luz branca em cores primárias devido à refração, que produz em cada cor primária um desvio angular diferente, chamado como vimos de dispersão. Já no CD, ocorre difração e posterior interferência da luz.

Uma observação importante é que no caso da luz branca a difração é seletiva, de tal forma que o desvio se mostrará mais acentuado quanto maior o comprimento da onda, por isso o vermelho ( $\lambda = 7000\text{Å}$ ) desvia mais do que o violeta ( $\lambda = 4000\text{Å}$ ), o contrário do que acontece no prisma, onde o desvio maior acontece com a luz violeta, pois o índice de refração para essa cor é maior do que para o vermelho.

## **Oficina 8: espectroscópio**

### *Interferência*

A interferência é uma propriedade também característica de fenômenos ondulatórios e que consiste na combinação de duas ou mais ondas num mesmo ponto do espaço, através do princípio da superposição. Suponha que duas ondas sejam produzidas em fase, isto é, no momento em que é produzida a crista de uma, também é produzida a crista da outra. Num certo ponto do espaço a superposição dessas duas ondas será construtiva se a diferença de caminhos entre o espaço percorrido por uma das ondas e o caminho percorrido pela outra, até o ponto, for um múltiplo inteiro do comprimento de onda. Se a diferença de caminhos for um múltiplo de meio comprimento de onda, a interferência será destrutiva.

O modelo corpuscular de Newton parecia estar de acordo com a experiência e foi aclamado na época, apesar das críticas do seu contemporâneo Huygens. Surgiu, então, uma polêmica entre os adeptos da teoria corpuscular de Newton e a de Huygens, que lançava as bases de uma teoria ondulatória da luz, que além de explicar a reflexão e refração, explicava também a difração e a interferência. Mas o experimento proposto por Young foi a mais séria contribuição experimental a favor do modelo ondulatório da luz. Com a luz incidindo sobre duas fendas F1 e F2, teremos, assim, duas fontes que irão formar um padrão de interferência, num anteparo colocado após as fendas, semelhante ao das ondas na água. As duas fontes deverão manter uma diferença de fase constante (fontes coerentes) para que seja possível a observação do padrão. Com isso, justifica-se por que com a luz branca (incoerente) é muito difícil a obtenção do padrão, enquanto que com o laser (coerente) isto se torna muito fácil.

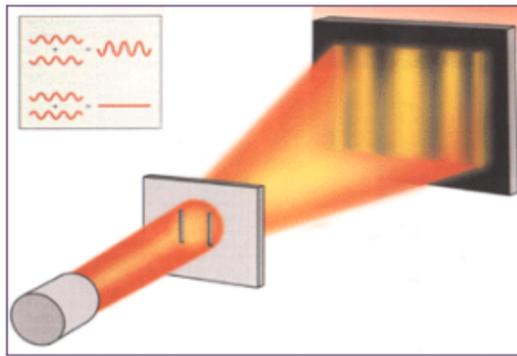


Figura reproduzindo a interferência de fenda dupla, mostrando regiões de reforço (interferência construtiva) e cancelamento (Interferência destrutiva)

Embora o experimento de Young tenha sido um marco para o estudo da interferência, na natureza este fenômeno se apresenta de formas diferentes desse experimento, já que fendas paralelas com espessuras da ordem dos comprimentos de onda da luz visível separados a distâncias também muito pequenas são mais raras.

Um exemplo característico de interferência luminosa são as belas manchas coloridas que se formam na bolha de sabão, ou nas manchas de óleo nos postos de gasolina, ou até mesmo nas asas de alguns besouros, aves e borboletas. Estes materiais possuem sobre um substrato uma película transparente de espessura  $d$  muito pequena que, ao ter a luz incidida sobre ela, acontecem entre as duas interfaces reflexões que podem, dependendo dos índices de refração de cada um dos materiais que os compõem, inverterem ou não as fases da onda incidente.

Suponhamos uma película de determinado material de índice de refração  $n$  maior que o do ar, sobre uma superfície qualquer. Ao incidir sobre a primeira interface ocorre uma refração, além de uma reflexão da onda com inversão de fase. A parte da onda refratada na película incide na segunda, invertendo a fase também se a película estiver sobre uma superfície opaca ou sobre outra superfície refrativa com seu índice de refração maior que o da película, ou não invertendo, se o índice de refração for menor que o da película.

*Figura: relações na película fina*

O importante é que a DCO da onda entre a primeira reflexão e a saída da onda após a segunda reflexão pode causar uma interferência construtiva ou destrutiva, tomando-se a diferença de fase na superposição das duas ondas, que depende diretamente da espessura da película.

Conhecendo-se então os parâmetros geométricos e ópticos da onda incidente e do material da película, além das condições em que ela é observada, podemos ter as seguintes relações:

Numa película imersa no ar:

- $2 \cdot d = m \cdot \lambda'$   $m=1, 2, 3, \dots$  (para interferência destrutiva)
- $2 \cdot d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda'$   $m=1, 2, 3, \dots$  (para interferência construtiva)

Mantendo a relação  $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$ , vemos que com o conhecimento do índice de refração da película, pode-se determinar a sua espessura, ou o contrário.

Atividade: determinação da espessura de uma película de vidro

Um exemplo característico de interferência luminosa são as belas manchas coloridas que se formam na bolha de sabão, ou nas manchas de óleo nos postos de gasolina, ou até mesmo nas asas de alguns besouros, aves e borboletas.

**Atividade: determinação da espessura de uma película de vidro**

