

DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA

Material Utilizado:

(Parte C - Difração por Rede)

- um conjunto (PASCO OS-8500) constituído de um banco óptico, uma fonte de luz incandescente, dois porta-componentes, uma escala de difração, uma máscara de fenda, uma placa de difração com padrões diversos de aberturas, uma rede de difração, um conjunto de filtros (vermelho, verde, azul)

Objetivo do Experimento: Investigar qualitativamente e quantitativamente (teoria escalar) a difração da luz por diversos objetos. Introduzir aplicações do fenômeno da difração como a medição do comprimento de onda ou da dimensão de um objeto pequeno.

INTRODUÇÃO

A difração constitui uma manifestação de um certo regime da Óptica em que as leis da Óptica Geométrica perdem sua validade. A difração ocorre quando a luz incide sobre um objeto (obstáculo ou uma abertura) de dimensões não muito superiores ao do comprimento de onda da mesma. O feixe difratado, quando incidente sobre uma tela produz um padrão de máximos e mínimos de intensidade luminosa que de alguma forma reflete a simetria do objeto em questão.

Uma teoria escalar simples para o fenômeno de difração está fundamentada no *princípio de Huygens*, que estabelece que cada elemento de superfície de uma frente de onda (emitida por uma dada fonte primária) atua como uma fonte (secundária) puntiforme de ondas.

Quando uma frente de onda atinge um anteparo com uma abertura, considera-se que a perturbação ondulatória resultante em um certo ponto de observação no espaço resulta da superposição das contribuições de cada elemento de superfície da abertura, sendo cada elemento considerado uma fonte secundária puntiforme, cuja amplitude e fase em certo instante é determinada somente pela posição do mesmo à fonte primária. Esta última idéia é claramente uma aproximação, uma vez que não leva em conta a contribuição do próprio obstáculo à perturbação ondulatória nas vizinhanças da abertura. Esta aproximação é válida na condição em que o ponto de observação está suficientemente distante da abertura e que a dimensão desta é muito maior que o comprimento de onda. Uma outra simplificação comumente adotada consiste em admitir que as fontes puntiformes secundárias na abertura estão em fase umas com as outras (o que é aceitável somente se a fonte primária estiver suficientemente distante da abertura). Em uma teoria escalar para a difração, a superpoem-se as contribuições de cada fonte secundária, e os possíveis caracteres vetoriais de cada contribuição são

desprezados. Uma tal teoria claramente não pode ser rigorosamente correta para caso de onda eletromagnéticas, mas fornece resultados satisfatórios em muitas circunstâncias, e será aqui adotada.

A seguir consideraremos a difração da luz alguns casos especiais.

(i) Fenda Retangular

Considere um anteparo dotado de uma fenda retangular, bastante comprida e estreita (de largura a) de forma que possamos ignorar os efeitos de extremidade. Suponhamos que uma onda plana (de comprimento de onda λ) incide perpendicularmente sobre o plano da fenda. Observando as onda difratadas em diferentes ângulos θ , relativamente à direção de incidência, obtém-se que, em certas direções, sua intensidade é nula. Tais direções são dadas pela relação

$$\text{sen } \theta = n (\lambda / a), \quad (1)$$

onde n é um número inteiro (denominado ordem de difração), diferente de zero. O valor $n = 0$ está excluído porque corresponde à observação na direção de incidência, para a qual deve, obviamente, ocorrer um máximo de iluminação. Para compreender completamente a relação (1), é conveniente dividir a frente de onda na fenda (paralelamente à aresta de maior dimensão desta) em um número de elementos de frente de onda com uma mesma largura elementar. Tais elementos atuam como uma fontes de luz, gerando no ponto de observação perturbações ondulatórias de igual magnitude mas sucessivamente defasadas umas das outras de um mesmo ângulo de fase (construa um diagrama fasorial para representar a superposição de todas as perturbações). É simples mostrar por argumentos geométricos que a diferença entre as distâncias dos elementos de frente de onda nas extremidades esquerda e direita da fenda (correspondentes ao primeiro e último fasor no diagrama fasorial) ao ponto de observação é dada aproximadamente por $a \text{ sen } \theta$, desde que o ponto de observação esteja suficientemente distante da fenda. Então a diferença de fase entre as perturbações ondulatórias geradas por tais elementos é $(2\pi / \lambda) a \text{ sen } \theta$. Se ocorrer de a condição $\text{sen } \theta = n (\lambda / a)$ ser obedecida, então esta diferença de fase será igual a $n (2\pi)$, o que significa que o diagrama fasorial completo consistirá de um (grande) número de fasores perfazendo n voltas completas ao longo de uma circunferência. Neste caso, para cada fasor no diagrama haverá um outro exatamente em oposição de fase (diametralmente oposto na circunferência). Consequentemente, a contribuição de qualquer elemento de frente de onda é exatamente cancelada por um outro elemento de frente de onda na fenda, resultando em uma perturbação resultante nula.

A montagem a ser utilizada nesta parte do experimento (veja Figura 1) será diferente daquela comumente representada em livros-texto, onde a figura de difração é apresentada sobre uma tela, requerendo uma fonte de luz de alta intensidade. Em nossa montagem a figura de difração será formada diretamente em nossa retina.

Uma escala de difração (uma régua dotada de um orifício em seu centro e de uma escala milimetrada) é interposta entre a fonte e a fenda. Orientando adequadamente nosso olhar através da fenda, é possível ver sobre a escala de difração a figura de difração e a escala iluminada, permitindo uma identificação precisa das posições dos mínimos de difração.

Se a radiação utilizada for monocromática, este arranjo permitirá uma aplicação interessante que é medição de seu comprimento de onda, caso a dimensão a da fenda seja conhecida. De fato denotemos por x_n a posição na escala do um mínimo de difração de ordem n , correspondente a uma direção θ_n dada pela relação (1) e seja L a distância da escala de difração à fenda. Então tem-se $\text{tg } \theta_n = x_n / L$. Combinando-se esta última relação com (1) tem-se

$$\lambda = \left(\frac{a}{n}\right) \text{sen} \left[\text{arctg} \left(\frac{x_n}{L} \right) \right]. \quad (2)$$

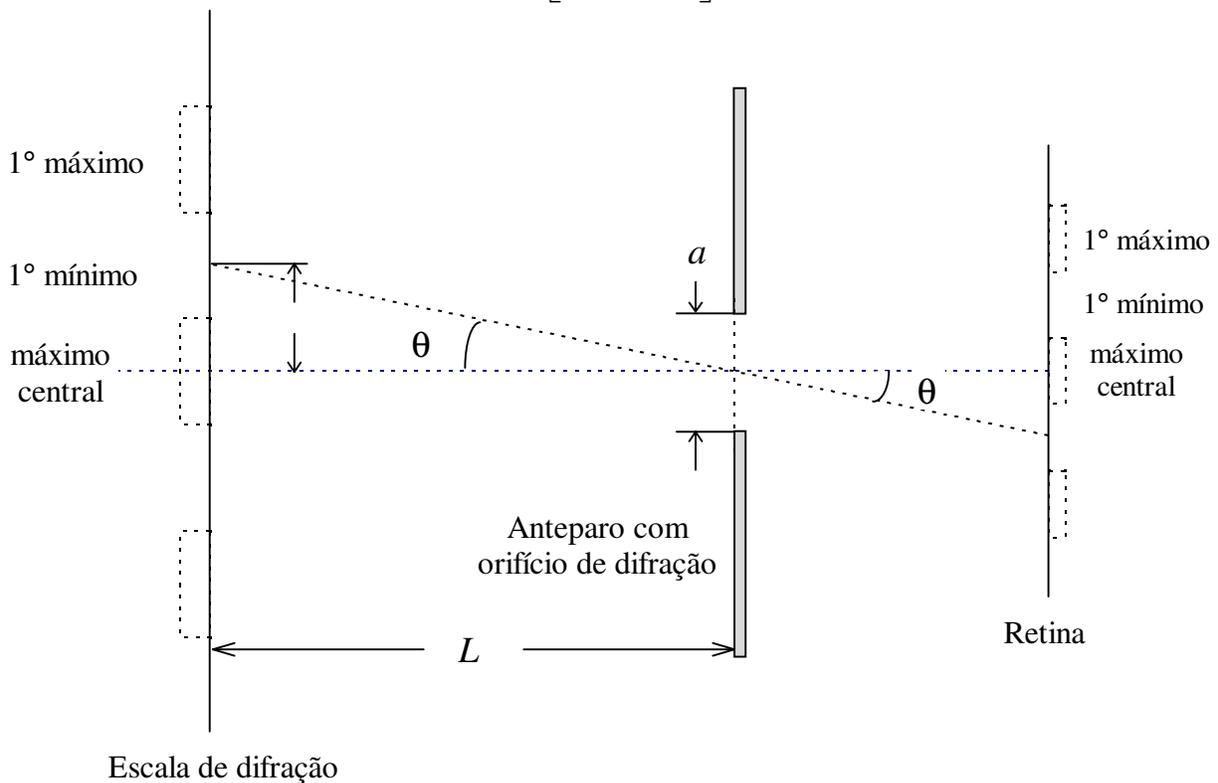


Figura 1 - Representação esquemática da montagem para difração em fenda retangular

(ii) Rede de Difração

Um arranjo regular de N fendas retangulares de largura a , paralelas e igualmente espaçadas por uma distância d (entre fendas adjacentes) constitui o que é chamado de *rede de difração*. Uma tal rede de difração possui aplicações práticas importantes como se verá a seguir.

Pode-se mostrar (a partir do princípio de Huygens) que a distribuição de intensidade na figura de difração gerada por uma tal rede (para a montagem da Figura 1) é dada por

$$I(\theta) = I_0 \left[\frac{\text{sen}(\pi a \text{sen} \theta / \lambda)}{\pi a \text{sen} \theta / \lambda} \right]^2 \left[\frac{\text{sen}(N \pi d \text{sen} \theta / \lambda)}{\text{sen}(\pi d \text{sen} \theta / \lambda)} \right]^2. \quad (3)$$

A distribuição de intensidade é dada pela multiplicação duas funções do ângulo θ

$$f_D(\theta) = \left[\frac{\text{sen}(\pi a \text{sen} \theta / \lambda)}{\pi a \text{sen} \theta / \lambda} \right]^2 \quad (4a) \quad \text{e} \quad f_I(\theta) = \left[\frac{\text{sen}(N \pi d \text{sen} \theta / \lambda)}{\text{sen}(\pi d \text{sen} \theta / \lambda)} \right]^2 \quad (4b),$$

denominados *fator de difração* e *fator de interferência*, respectivamente. O fator de difração reflete a contribuição de cada fenda ao fenômeno de difração. O fator de interferência resulta da interferência dessas N fontes (fendas retangulares).

Não é difícil mostrar que o fator de interferência $f_I(\theta)$ é uma função oscilante do ângulo θ , assumindo valores entre 0 e N^2 e apresentando máximos locais nas direções dadas por $\text{sen} \theta = (n / N) \lambda / d$, onde n é um número inteiro. Para as direções particulares tais que n / N é um inteiro, $f_I(\theta)$ apresenta máximos iguais a N^2 . Estes máximos são tão mais pronunciados quanto maior for o número N de fendas.

O fator de difração $f_D(\theta)$ é também uma função oscilante do ângulo θ , mas cuja amplitude decresce à medida que $|\theta|$ aumenta, apresentando um máximo absoluto (igual a 1) em $\theta = 0$, mínimos (iguais a zero) em $\text{sen} \theta = n \lambda / a$ (onde n é um número inteiro diferente de zero) e tendendo a zero quando $|\theta|$ tende para infinito. Observe que se a largura da fenda for suficientemente pequena ($a < \lambda$), $f_D(\theta)$ não apresentará nenhum mínimo (ou equivalentemente, nenhuma oscilação) e será uma função suavemente decrescente de $|\theta|$. No limite em que $a / \lambda \rightarrow 0$, $f_D(\theta)$ tende a ser uma função identicamente igual à unidade, o que fisicamente significa que o efeito de difração na fenda contribui para uma distribuição homogênea (isotrópica) de intensidade.

Uma vez que $N d > a$, o fator de interferência oscila mais rapidamente que o fator de difração. De fato a distribuição de intensidades $I(\theta)$ é uma função rapidamente oscilante, o fator de interferência, modulada por uma função lentamente oscilante, o fator de difração.

O caso particular $N = 1$ corresponde à difração por fenda única, para o qual a distribuição de intensidades $I(\theta)$ se anula nas direções dadas por $\text{sen} \theta = n \lambda / a$, como havíamos antecipado na relação (2).

O caso particular $N = 2$ corresponde ao problema clássico de difração por fenda dupla.

Uma rede de difração tem uma aplicação importante quando composta de um número grande N de fendas. Neste caso resulta em que os máximos de difração localizados nas direções dadas por $\text{sen } \theta = n \lambda / d$ (onde n é um número inteiro) são bem definidos, e a identificação de um máximo de difração de ordem n fornece a possibilidade da medição precisa do comprimento de onda λ de uma radiação (quase) monocromática, se o número de fendas por unidade de comprimento ($1 / d$) da rede for conhecido.

(iii) Orifício Circular

Verifica-se experimentalmente que os mínimos de difração produzidos por um orifício circular se distribuem ao longo de superfícies cônicas cujos vértice e eixo coincidem com o orifício e a direção do feixe incidente, respectivamente. O cálculo da difração por um orifício circular é mais complexo e aqui apresentaremos apenas os resultados. Para um orifício circular de diâmetro D resulta que as posições de mínimo são dadas por ângulos de cone θ que satisfazem a relação:

$$\text{sen } \theta = \alpha_n \lambda / D \quad (5)$$

onde λ é o comprimento de onda da luz e α_n assume diversos valores ordenados pelo número de ordem de difração $n = 1, 2, 3, \dots$. Para os três primeiros mínimos, tem-se:

$$\alpha_1 = 1,2197, \quad \alpha_2 = 2,2331 \quad \text{e} \quad \alpha_3 = 3,2383.$$

Seja L a distância entre o orifício e a tela, e d_n o diâmetro de um certo anel (de mínimo) de difração produzido sobre a tela. Então, se a tela estiver orientada perpendicularmente à direção do feixe incidente, tem-se:

$$\text{tg } \theta_n = (d_n / 2) / L \quad (6)$$

Para ângulos suficientemente pequenos $\text{sen } \theta_n \approx \text{tg } \theta_n$. Combinando as relações (5) e (6), dentro da última aproximação, obtém-se:

$$D = (2 \lambda L) (\alpha_n / d_n) \quad (7)$$

Pode-se então determinar o diâmetro D do orifício, medindo-se a distância L e o diâmetro d_n de um dado anel, se a luz utilizada for monocromática com um comprimento de onda conhecido λ .

PROCEDIMENTO

Parte C - Difração por Rede

1. Faça a montagem de forma a posicionar a fonte de luz em um extremo do banco óptico e um porta-componentes no outro extremo. Neste porta-componentes fixe a máscara de fenda, no lado voltado para a fonte.
2. Após verificar a voltagem de alimentação da fonte, conecte-a à rede e ligue-a.
3. Posicione um segundo porta-componentes sobre o banco óptico e nas proximidades da fonte. Sobre este porta-componentes fixe a escala de difração. Olhando através da máscara de fenda ajuste a posição da escala de difração de forma que você possa ver através do orifício desta escala o filamento da fonte.
4. Posicione o filtro verde ou azul na abertura da fonte de luz. Fazendo isto ficará mais fácil distinguir detalhes nas figuras de difração.
5. Fixe a placa de difração no porta-componentes situado na extremidade do banco óptico e do lado oposto ao da máscara de fenda. Centralize o padrão de aberturas D (fenda retangular dupla com largura de 0,04 mm e espaçamento de 0.125 mm) na fenda da máscara. Orientando a sua visão de forma a olhar através do padrão de aberturas escolhido e da janela da placa de difração (um pouco acima do padrão), você deverá ser capaz ver o padrão de difração e a escala iluminada na escala de difração. É possível que você tenha que ajustar um pouco a posição da placa de difração para fazer com que a figura de difração fique o mais justaposta possível à escala iluminada. Descreva qualitativamente a figura de difração observada.
6. Centralize agora o padrão E (fenda retangular dupla com largura de 0,04 mm e espaçamento de 0.250 mm) como descrito no item 5 e observe a figura de difração gerada pelo mesmo. Qualitativamente, que efeito a modificação do espaçamento entre fendas produz sobre a figura de difração?
7. Repita a ação descrita no item anterior para o padrão F (fenda retangular dupla com largura de 0,08 mm e espaçamento de 0.250 mm). Qualitativamente, que efeito a modificação da largura da fendas produz sobre a figura de difração?

8. Repita esta mesma ação para o padrão G (conjunto de 10 fendas retangulares, paralelas, com largura de 0,06 mm, e espaçamento de 0.250 mm). Qualitativamente, que efeito a introdução de um grande número de fendas produz sobre a figura de difração?
9. Remova a placa de difração e a máscara de fenda do porta-componentes e fixe neste a rede de difração (600 fendas / mm). Remova também o filtro da fonte de luz.
10. Olhe (*) através da rede de difração e identifique o espectro de primeira ordem.

(*) Nota: Evite olhar na direção do filamento.

11. Observando o espectro de difração ao longo da escala de difração, registre, para cada cor, os extremos inferior e superior, $x_{1(-)}$ e $x_{1(+)}$, da faixa de posições da franja correspondente.
12. Meça com o auxílio da escala do banco óptico a distância L entre a escala de difração e a rede de difração, registrando o seu valor.
13. Fazendo uso da expressão

$$\lambda = d \operatorname{sen} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{x_1}{L} \right) \right],$$

que relaciona o comprimento de onda λ com a posição x_1 do máximo de difração de primeira ordem ($n = 1$) gerado por uma rede de difração de espaçamento d , obtenha os limites inferior e superior, $\lambda_{(-)}$ e $\lambda_{(+)}$, da faixa de comprimentos de onda para cada cor do espectro visível.

FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

Experimento: Difração da Luz

Data ____/____/____

COMPONENTES DO GRUPO

NOME _____

NOME _____

NOME _____

NOME _____

C. DIFRAÇÃO POR REDE

Espaçamento entre fendas: $d =$ _____ mm

Distância da fenda à escala de difração: $L =$ (_____ \pm _____) mm

Identificação das franjas de difração e cálculo da faixa de comprimento de onda

Cor	$x_{1(-)}$ (mm)	$x_{1(+)}$ (mm)	$\lambda_{(-)}$ (Å)	$\lambda_{(+)}$ (Å)
Violeta				
Azul				
Verde				
Amarelo				
Laranja				
Vermelho				