

LABORATÓRIO DE ÓPTICA - DETERMINANDO O ÂNGULO DE DIFRAÇÃO DE UMA ONDA MONOCROMÁTICA VERMELHA

Reinaldo Freire da Fonseca¹
Ketly dos Santos Nascimento²
Damião Franceilton Marques de Sousa³
Ruam Adelmo Macedo da Silva⁴

RESUMO

O experimento consiste em visualizar o fenômeno da difração experimentalmente em laboratório, o fenômeno está diretamente associado a incidência de um feixe de luz monocromática (um laser) de cor vermelha com comprimento de onda de aproximadamente 650 nm, que passa por um obstáculo opaco, contornando-o e formando franjas, regiões claras e escuras são observadas em um anteparo situado no lado oposto do objeto da incidência do laser. Utilizando a literatura, também será verificado através dos dados coletados, as equações das leis que tratam da difração para calcular os pontos de máximos e mínimos das franjas e os ângulos formados por elas.

Palavras-chave: Difração, Franjas, Máximos, Mínimos.

INTRODUÇÃO

A difração aqui analisada é referente a onda monocromática de cor vermelha com comprimento de onda de aproximadamente 650 nm. A difração acontece com intensidades distintas na maneira que se tem diferentes comprimentos da onda. É bem mais simples verificar os efeitos da difração por exemplo em ondas sonoras, devido ao maior comprimento de onda, o som consegue contornar facilmente os mais variados obstáculos diferente da luz, que é um pouco mais complicada para observar devido ao menor comprimento de onda.

Uma figura de interferência é formada pela luz que é transmitida por fendas. Uma rede de difração pode conter centenas ou milhares de fendas, como é o caso deste experimento. A distância d entre o centro de duas fendas consecutivas pode ser dito por espaçamento de rede. Foi incidida uma luz monocromática de cor vermelha em todas as quatro redes de difração, e

¹ Graduando do Curso de Licenciatura plena em Física da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, reynaldofreire@gmail.com;

² Graduando do Curso de Licenciatura plena em Física da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, Ketlygirls@gmail.com;

³ Graduando do Curso de Licenciatura plena em Física da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, franceiltonmarques@gmail.com;

⁴ Graduando do Curso de Licenciatura plena em Física da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, ruammacedo1@gmail.com.

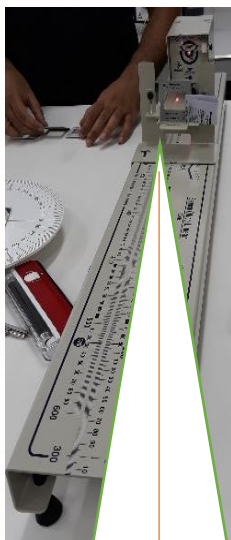
será considerada a condição de Fraunhofer, que acontece quando a tela está distante do objeto que está sendo iluminado. O objeto são as redes de difração e a tela é a parede do laboratório de física IV da UFCG-CES. O experimento tem como objetivos observar as mudanças das distâncias entre dois máximos em cada uma das quatro redes de difração; determinar os ângulos formados pelas redes de difração; comparar os ângulos encontrados em cada rede de difração.

METODOLOGIA

Inicialmente foi feita a montagem do equipamento, o qual é formado por um laser, uma haste horizontal (que dá suporte para o laser) e quatro redes de difração. Na montagem, o equipamento foi posicionado com a frente voltada à parede do laboratório, pois a parede serviu como tela para verificar onde os pontos luminosos ou máximos luminosos estariam localizados para fazer as medições das distâncias, e para isto foi utilizada uma trena (fita métrica). Na medição, foi feita a medida da distância entre o ponto onde as redes de difração ficam acopladas na haste até a parede, especificamente até o ponto central de luz. Após isso, foram medidas as distâncias do ponto onde ficam as redes de difração na haste, até os pontos luminosos 1 e 2 (diagonais), que eram os máximos luminosos $m = \pm 1$. Para finalizar, mediu-se as distâncias entre os pontos de luz 1 e 2 até o ponto luminoso central. Este procedimento foi realizado quatro vezes, uma vez para cada rede de difração. As redes de difração tinham especificações diferentes. Na primeira medida, a rede continha, 1000 fendas por milímetro. Na segunda medida, 600 fendas por milímetro. Na terceira medida, 530 fendas por milímetro. Na quarta medida, 140 fendas por milímetro. A seguir algumas imagens registradas no laboratório e um desenho ilustrativo:



Figura 3: Redes de difração. Fonte: acervo pessoal do autor.



Ponto 1

Centro luminoso

Ponto 2

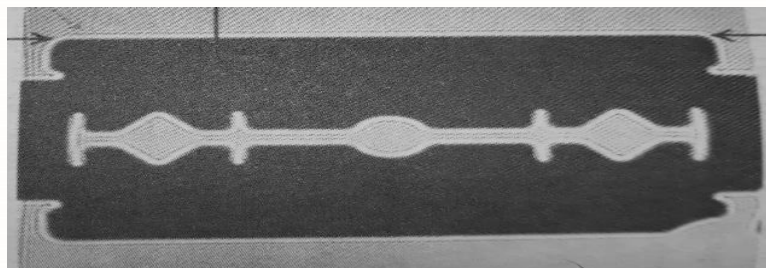
Esquema do diagrama experimental. Fonte: acervo pessoal do autor.

DESENVOLVIMENTO

O fenômeno da difração pode ser dito como a interferência resultante da superposição de várias ondas luminosas. A luz quando analisada como de natureza ondulatória, traz consigo efeitos que não são compreendidos através da ótica geométrica.

Um desses efeitos acontecem quando uma luz é voltada a um objeto que tenha extremidade ou possua uma abertura no seu corpo, desta forma produzindo figuras de interferências estas que chamamos de difração. (YOUNG, H. D. e FREEDMAN R.A., 2009)

Para facilitar a compreensão, será mostrado um exemplo de difração. Colocando uma lâmina de barbear no centro da distância entre uma tela e um anteparo, o anteparo tem um pequeno furo, por onde é iluminado com uma luz monocromática, podemos chamar de fonte puntiforme. Veja a figura 1 a seguir:



A figura 1: sombra da lâmina de barbear projetada na tela. Fonte: YOUNG, Hugh D. Física IV: ótica e física moderna/Young e Freedman; [colaborador A. Lewis Ford] ; tradução Cláudia Martins; revisão técnica Adir Moysés Luiz. - 12. ED. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

Dando um zoom na sombra geométrica da figura 1, esta que está indicada por duas pequenas setas, poderemos ver várias franjas claras e escuras. Vaja a figura 2 a seguir:

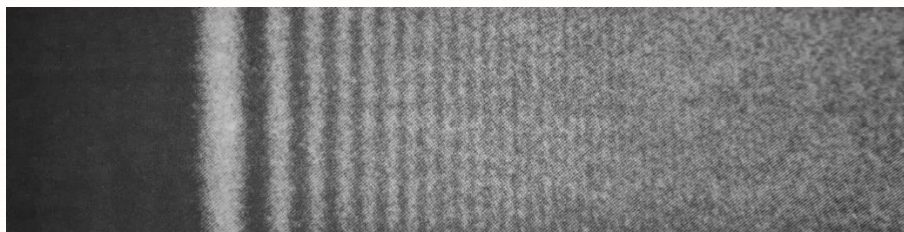


Figura 2: Ampliação da sombra geométrica da figura 1. Fonte: YOUNG, Hugh D. Física IV: ótica e física moderna/Young e Freedman; [colaborador A. Lewis Ford] ; tradução Cláudia Martins; revisão técnica Adir Moysés Luiz. - 12. ED. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

A sombra geométrica pode ser dita como o limite entre a sombra da lâmina de barbear e a primeira linha clara. A primeira linha apresenta uma maior claridade com relação as demais linhas.

De acordo com o princípio de Huygens, os pontos de uma frente de onda podem se tornar fontes de ondas secundárias, estas tendo a mesma velocidade que a onda primária naquele meio. O deslocamento de um ponto da frente de onda é calculado a partir da combinação dos deslocamentos individuais destas fontes secundárias e para isso são utilizados o princípio da superposição, amplitude e fases relativas.

Imaginando um objeto que está bem próximo de uma fonte de um lado, e do outro está também muito próximo de uma tela, como sabemos, será formada uma figura de difração que é conhecida como difração de campo próximo ou também difração de Fresnel.

Agora, considerando que um objeto está relativamente distante da fonte e também da tela, esta distância sendo adequada para considerar que as linhas possam ser consideradas retas, ligando o objeto a fonte sendo ditas como paralelas. Da mesma forma, pontos do objeto e pontos da tela possam ser consideradas ligados por retas paralelas, temos então uma difração de Fraunhofer.

Falando um pouco sobre figuras produzidas a partir de diversas fendas, antes de ser tratado o conceito de rede de difração. Suponha uma rede de difração composta por oito fendas igualmente espaçadas com uma distância d entre duas fendas. Quando os raios formam um ângulo θ com a normal temos uma interferência construtiva, pois existe uma diferença de caminho entre os raios de duas fendas adjacentes com relação ao ponto P, e essa diferença é dada pela equação 1 abaixo:

$$d \sin(\theta) = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (1)$$

A partir disto, pode-se dizer que quando a diferença de fase ϕ no ponto P for um múltiplo inteiro de 2π teremos interferência construtiva. A figura formada é similar à que é formada na interferência com fenda dupla. De maneira geral para o caso de oito fendas, quando a diferença de fase for um múltiplo inteiro de $\pi/4$ a intensidade será igual a zero, isto é, quando a diferença de fase for diferente de 2π , as fendas estarão fora de fase.

Sobre rede de difração, esta que vem a ser a essência do experimento, ou principal fenômeno. Rede de difração pode ser definida da seguinte maneira: “como um conjunto que contém um número grande de fendas paralelas, todas com a mesma largura a e com a mesma distância d entre os centros de duas fendas consecutivas”, (YOUNG, H. D. e FREEDMAN R.A., 2009, p.120).

“Para uma rede de difração, o termo *fenda* geralmente pode ser substituído por *ranhura* ou *linha*”, (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p.120).

Estas fendas podem ser produzidas por lâminas de diamantes, através de ranhuras em materiais como metal e vidro, sendo que estas ranhuras devem ter espaçamentos iguais.

As localizações dos máximos centrais no experimento de rede de difração estão na mesma direção da experiência com fendas múltiplas. Desta forma, as direções são dadas pela condição de que a diferença de caminho entre duas fendas adjacentes seja igual a um número

inteiro de comprimentos de onda. E pode-se calcular as localizações pela equação 1, escrita anteriormente.

Ao incidir um feixe de raios paralelos de luz monocromática em uma rede com numerosas fendas, obtêm-se uma figura que é composta por uma série de linhas e ângulos, que podem ser encontrados através da equação 1. Destas linhas, são chamadas de linhas de primeira ordem as que são dadas por $m = \pm 1$ e as linhas de segunda ordem que são dadas por $m = \pm 2$. Cada cor de luz (monocromática) tem um ângulo específico, que novamente podem ser definidas pela equação 1. Os comprimentos de onda mais longos têm ângulos maiores para qualquer valor de m assim como os menores comprimentos de onda têm menores ângulos para qualquer valor de m , os ângulos dizem a respeito ao desvio na direção do feixe, quanto maior o ângulo, maior o desvio.

É importante ressaltar que os senos dos ângulos de desvio são proporcionais a razão λ/d como é fácil ver observando a equação 1. Além disso para que ocorra um desvio relevante, o comprimento de onda λ deve ser da mesma ordem de grandeza que a distância d , referente aos centros de duas fendas consecutivas. As redes as quais foram usadas no experimento tinham entre 140 a 1000 fendas por milímetros, logo a distância d é dada por: $1 \times 10^{-3} \text{ m} / (n^\circ \text{ de fendas})$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados registrados foram os seguintes:

	1000 f/mm	600 f/mm	530 f/mm	140 f/mm
D. Central	3,66 m	3,66 m	3,66 m	3,66 m
Distância ponto 1	4,40 m	3,98 m	3,82 m	3,67 m
Distância ponto 2	4,60 m	3,93 m	3,91 m	3,68 m
Centro → Ponto 1	2,69 m	1,42 m	1,26 m	0,340 m
Centro → Ponto 2	2,54 m	1,49 m	1,29 m	0,340 m
Espaçamento de rede	$1 \times 10^{-6} \text{ m}$	$1,666 \times 10^{-6} \text{ m}$	$1,887 \times 10^{-6} \text{ m}$	$7,143 \times 10^{-6} \text{ m}$

Tabela 1: Dados calculados durante o experimento.

No experimento foi utilizado um laser de cor vermelha, logo seu comprimento de onda λ é de aproximadamente 650 nm , ou $650 \times 10^{-9} \text{ m}$. Para o ponto 1, temos $m = 1$ e para o ponto 2 temos $m = -1$. Os ângulos são encontrados a partir da equação 1, veja:

$$d \operatorname{sen}(\theta) = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (1)$$

Para a rede de difração de *1000 fendas por mm* com $m = 1$, o ângulo θ é:

$$\operatorname{sen}(\theta) = \frac{650 \times 10^{-9}}{1 \times 10^{-6}} = 0,65$$

$$\theta = 40,541^\circ$$

Fazendo o cálculo para $m = -1$

$$\theta = -40,541^\circ$$

Para a rede de difração de *600 fendas por mm*, com $m = 1$, o ângulo θ é:

$$\operatorname{sen}(\theta) = \frac{650 \times 10^{-9}}{1,666 \times 10^{-6}} = 0,39$$

$$\theta = 22,955^\circ \text{ para } m = -1, \theta = -22,955^\circ$$

Para a rede de difração de *530 fendas por mm*, com $m = 1$, o ângulo θ é:

$$\operatorname{sen}(\theta) = \frac{650 \times 10^{-9}}{1,887 \times 10^{-6}} = 0,34$$

$$\theta = 19,877^\circ \text{ para } m = -1, \theta = -19,877^\circ$$

Para a rede de difração de *140 fendas por mm*, com $m = 1$, o ângulo θ é:

$$\operatorname{sen}(\theta) = \frac{650 \times 10^{-9}}{7,143 \times 10^{-6}} = 0,091$$

$$\theta = 5,221^\circ \text{ para } m = -1, \theta = -5,221^\circ$$

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados finais encontrados no experimento atingiram valores muito próximos aos esperados, foi observado que as variações dos resultados se deviam a parte de medir as posições das franjas uma vez que essas se formaram no anteparo e não atingia uma nitidez para observar de fato a posição exata das mesmas, levando o observador a marcar um ponto mais próximo daquele que foi considerado como ideal, além de utilizar meios para medir não muito preciso, a trena e um paquímetro. A leitura foi o principal obstáculo para garantir um resultado preciso,

porém os resultados encontrados se mostraram muito próximo do esperado e por isso consideramos os dados apresentados.

Os resultados são considerados satisfatórios, pois é necessário levar em consideração uma margem de erro na coleta dos dados, ocasionada por erro humano na leitura das medidas das distâncias das franjas e da distância da rede de difração até o anteparo. Outro fator que pode causar alteração na precisão são os instrumentos utilizados para estas medições.

A aprendizagem com a realização dos experimentos aproxima o estudante do real significado do fenômeno físico, e desta maneira a compreensão torna-se mais sólida e proveitosa. A teoria e a prática devem andar juntas para que o conhecimento científico seja alcançado. Mais que isso, é primordial que seja possível visualizar a forma como a natureza se comporta, pois, o conhecimento cotidiano parte da simples observação da natureza.

Muitos dos fenômenos naturais não são compreendidos devido o distanciamento entre a teoria e a prática. As aulas de laboratório tornam-se possibilidades por abordarem diferentes metodologias, estas que se aproximam das situações reais encontradas no cotidiano das pessoas. As metodologias experimentais são apropriadas para poder relacionar o conhecimento científico e o senso comum, de forma mais natural, criativa e empolgante para todos que estão participando da aula de laboratório.

REFERÊNCIAS

YOUNG, Hugh D. **Física IV: ótica e física moderna/Young e Freedman;** [colaborador A. Lewis Ford] ; tradução Cláudia Martins; revisão técnica Adir Moysés Luiz. - 12. ED. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

HALLIDAY, David. **Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna/Halliday, Resnick, Jearl Walker;** tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.