

## Difração

Nesta prática, estudaremos o fenômeno de difração. Em particular, analisaremos fendas retangulares simples e duplas e redes de difração. Medidas quantitativas do padrão de difração nos permitirão, entre outras coisas, determinar o comprimento de onda da luz.

**Sempre que surgir uma dúvida quanto à utilização de um instrumento, o aluno deverá consultar o professor, o monitor ou o técnico do laboratório para esclarecimentos.**

**Importante: Neste experimento será utilizado um laser. Cuidado para não direcioná-lo para seu próprio olho ou para o olho dos demais em sala!!!**

### I. Difração como consequência do princípio de Huygens-Fresnel

De acordo com o princípio de Huygens, para calcular a frente de onda em um instante é necessário tomar a frente de onda em um instante anterior e considerar as ondas secundárias emitidas por cada ponto; a frente de onda desejada é o resultado da interferência entre essas ondas secundárias. O princípio de Huygens foi posteriormente modificado por Fresnel, que propôs que as ondas secundárias não têm a mesma intensidade em qualquer direção, mas são mais fortes na direção original de propagação e se anulam na direção perpendicular. Isso ficou conhecido como princípio de Huygens-Fresnel.

Quando há um obstáculo ou uma abertura, temos que considerar apenas as ondas secundárias que não são obstruídas, ou seja, que tem como se propagar livremente até o observador. A resultante desse processo é claramente diferente do que seria obtido se todas as ondas secundárias fossem consideradas. Por exemplo, a propagação retilínea da luz não é mais válida. Esse desvio da luz quando atravessa um obstáculo ou abertura é chamado de *difração*, e torna-se mais evidente quando as dimensões da abertura são da ordem do comprimento de onda.

## II. A integral de difração

O formalismo matemático da difração é simples de ser compreendido à luz do princípio de Huygens-Fresnel, e é chamado de integral de difração de Fresnel-Kirchhoff:

$$\nu(P) = \frac{1}{i\lambda} \int_S \nu_o(P') \cos \theta' \frac{e^{ikr}}{r} dS \quad (1)$$

O integrando é uma onda esférica, de intensidade  $\nu_o(P')dS$ , partindo do ponto  $P'$ , onde  $\nu_o(P')$  é a amplitude da onda incidente em  $P'$  e  $r$  é a distância entre  $P$  e  $P'$ . O fator  $\cos \theta'$ , onde  $\theta'$  é o ângulo entre o vetor de onda em  $P'$  e o vetor de  $P$  a  $P'$ , é o fator de obliquidade proposto por Fresnel. A integração deve ser feita sobre todos os  $P'$  na porção não obstruída de uma frente de onda.

Um caso importante e que será estudado nos experimentos é a *difração de Fraunhofer*, que ocorre quando a distância até o anteparo é muito maior do que as dimensões da abertura ou do comprimento de onda. Podemos então fazer algumas aproximações na integral de difração:

- O ângulo  $\theta'$  é constante durante a integração e igual a  $\theta$ ;
- O fator  $r$  é aproximado por  $R = z \sec \theta$ , onde  $z$  é a distância do obstáculo ao anteparo
- O argumento da exponencial fica então  $r = R - r' \sin \theta$ , onde  $r'$  é a distância até um ponto arbitrário sobre a frente de onda, definido como a origem.

Vamos considerar uma onda plana incidindo na direção do versor  $\hat{u}_o$ . A direção da origem ao ponto  $P$  é dada por  $\hat{u}$ . Temos então:

$$\nu_o(P') = a_o \exp(ik\hat{u}_o \cdot \vec{r}') \quad (2)$$

$$\nu(P) = \frac{a_o \cos^2 \theta}{i\lambda} \frac{e^{ikR}}{z} \int_S \exp(ik(\hat{u}_o - \hat{u}) \cdot \vec{r}') dS \quad (3)$$

A intensidade é proporcional a  $|\nu(P)|^2$ . Estamos interessados apenas na distribuição relativa das intensidades, então vamos comparar as intensidades com a intensidade na direção original de propagação  $\hat{u}_o$ :

$$\frac{I(\hat{u})}{I(\hat{u}_o)} = \frac{1}{S^2} \frac{\cos^4 \theta}{\cos^4 \theta_o} \left| \int_S \exp(ik(\hat{u}_o - \hat{u}) \cdot \vec{r}') dS \right|^2 \quad (4)$$

Onde  $S$  é a área da abertura (parte não obstruída) da onda. Uma última aproximação comumente feita é que  $\cos^4 \theta = \cos^4 \theta_o$ . Essa aproximação se justifica porque usualmente a figura de difração se concentra na região próxima a direção de propagação; em direções mais afastadas, a intensidade é muito pequena e não é observada. Portanto:

$$\frac{I(\hat{u})}{I(\hat{u}_o)} = \frac{1}{S^2} \left| \int_S \exp(ik(\hat{u}_o - \hat{u}) \cdot \vec{r}') dS \right|^2 \quad (5)$$

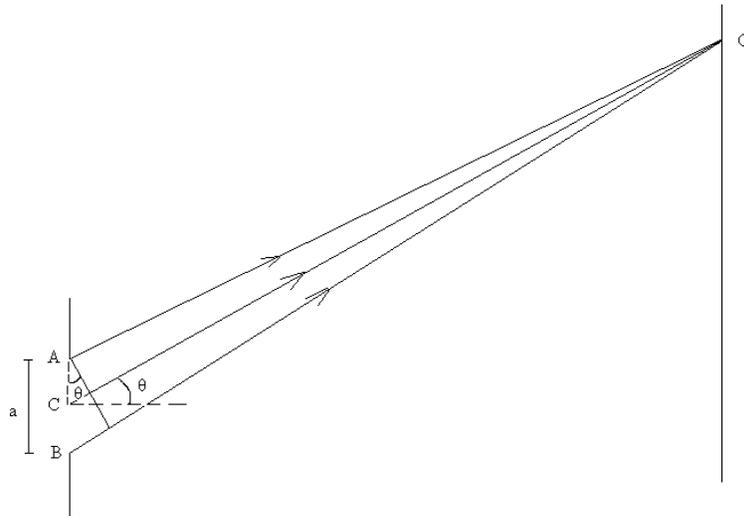
### III. Difração por fenda simples

Como primeiro exemplo de difração da luz, vamos considerar uma fenda de largura  $a$  da ordem do comprimento de onda  $\lambda$ .

Na figura 1, consideramos uma onda plana incidindo perpendicularmente a fenda, e três raios saindo da fenda (AO, BO e CO; o ponto C é o centro da fenda). No limite de Fraunhofer a distância da fenda ao anteparo é muito maior do que a abertura da fenda, de modo que esses raios sejam aproximadamente paralelos.

Quando  $\theta = 0$ , todos os raios saindo da fenda chegam ao anteparo em fase e interferem construtivamente, gerando um máximo de intensidade. Se  $\theta \neq 0$ , a diferença de fase entre AO e CO é dada por:

$$\Delta\varphi = k \frac{a}{2} \sin \theta = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (6)$$



**Figura 1 – Difração por fenda simples**

Se esse valor for múltiplo de  $\pi$ , a interferência será destrutiva. No caso de ser um múltiplo ímpar, isso é imediato: cada ponto na parte superior da fenda (AC) interfere destrutivamente com o ponto localizado a uma distância  $a/2$  abaixo, uma vez que a diferença de fase é proporcional à distância entre os pontos da fenda. No caso de ser um múltiplo par ( $\Delta\varphi = 2n\pi$ ), podemos dividir a fenda em  $n$  partes de modo que em cada parte a diferença de fase entre uma onda partindo do extremo e uma partindo do meio seja igual a  $\pi$ , e então aplicamos o mesmo raciocínio. Para cada par de pontos assim considerado, a intensidade resultante é nula, logo a intensidade total é nula.

Igualando a equação 6 a  $n\pi$  (com  $n \neq 0$ ), obtemos a condição para a formação dos mínimos (zeros) de difração:

$$\sin \theta_{min} = n \frac{\lambda}{a} \quad (7)$$

Essa análise fornece as posições dos zeros, mas não permite obter o padrão de intensidades (ou padrão de difração). Para isso, precisamos utilizar a integral de difração de Fresnel-Kirchoff, na forma da equação 5. Então, calcularemos primeiro para uma abertura retangular de lados  $a$  e  $b$ .

Os eixos são orientados de modo que o eixo  $z$  coincida com a direção original de propagação, e o plano  $xy$  esteja sobre a fenda. Na figura 1, o eixo  $z$  está para a direita, o eixo  $x$  para cima, e o eixo  $y$  saindo do plano do papel. Dessa forma,  $\hat{u}_o = \hat{z}$  e  $k\hat{u} \cdot \hat{r}' = k_x x + k_y y$ , e a integral de difração fica:

$$\frac{I(\hat{u})}{I(0)} = \frac{1}{(ab)^2} \left| \int_{-a/2}^{a/2} dx' \exp(ik_x x') \int_{-b/2}^{b/2} dy' \exp(ik_y y') \right|^2 \quad (8)$$

Para resolvê-la, vamos usar o seguinte resultado:

$$\int_{-a/2}^{a/2} dx' \exp(ik_x x') = \frac{\sin(k_x a/2)}{k_x/2} \quad (9)$$

Portanto:

$$\frac{I(\hat{u})}{I(0)} = \left( \frac{\sin(k_x a/2)}{k_x a/2} \right)^2 \left( \frac{\sin(k_y b/2)}{k_y b/2} \right)^2 \quad (10)$$

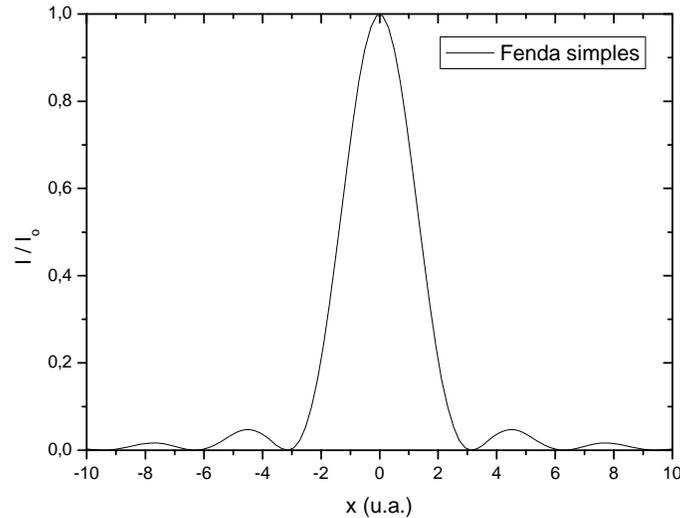
Tomando agora o limite  $k_y \rightarrow 0$ , ou seja, que o vetor de onda está no plano  $xz$  (o plano do papel na figura 1).

$$I(\theta) = I(0) \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (11)$$

$I(0)$  é a intensidade no centro do padrão e  $\alpha$  é dado por:

$$\alpha = \frac{k_x a}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (12)$$

Esse é o padrão de difração de uma fenda única, e está mostrado na figura 2:



**Figura 2 – Padrão de difração de uma fenda simples**

Para achar as posições dos máximos e mínimos, temos que derivar a equação 3 com relação a  $\theta$  e igualar a zero. Fazendo isso, vemos que há duas alternativas para a derivada se anular:

$$\sin \alpha = 0 \quad (13a)$$

$$\alpha = \tan \alpha \quad (13b)$$

A primeira condição fornece os mínimos e é fácil de ser expressa em função de  $\theta$  (e recai na equação 7), enquanto a segunda fornece os máximos e não tem uma solução analítica. Os pontos de mínimo são mais fáceis de serem medidos experimentalmente.

#### IV. Difração por fenda dupla

Vamos agora considerar duas fendas de largura  $a$ , com seus centros separados por uma distância  $d$ . Obviamente, devemos ter  $d > a$ , caso contrário as duas fendas seriam na verdade apenas uma.

Inicialmente, vamos fazer a aproximação de que a largura das fendas é desprezível ( $a \ll d$ ), e então consideramos apenas a interferência de dois raios, um partindo de cada fenda. A diferença de fase entre essas ondas é:

$$\Delta\varphi = kd \sin \theta = \frac{2\pi \cdot d}{\lambda} \sin \theta \quad (14)$$

Novamente, estamos assumindo  $L \gg d$ , onde  $L$  é a distância da fenda ao anteparo. Os mínimos de intensidade ocorrem quando  $\Delta\varphi$  é um múltiplo ímpar de  $\pi$ , o que implica em:

$$\sin \theta_{min} = \left( n + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{d} \quad (15)$$

Os máximos de intensidade ocorrem quando  $\Delta\varphi$  é um múltiplo de  $2\pi$ , ou seja:

$$\sin \theta_{max} = n \frac{\lambda}{d} \quad (16)$$

Esses máximos e mínimos são devido apenas à **interferência** entre as duas fendas; não consideramos o efeito de **difração** que ocorre em cada fenda.

Para calcular o padrão de **difração**, o processo é semelhante ao da fenda simples, mas agora os limites de integração em  $x'$  vão de  $-a/2$  a  $a/2$  e de  $d - a/2$  a  $d + a/2$ . Na segunda integral podemos fatorar  $\exp(ik_x d)$  e ficar com o produto da integral da **difração** de uma fenda, já calculada, e um termo que depende apenas da distância entre as fendas:

$$\frac{I(\theta)}{I_o} = |1 + \exp(ik_x d)|^2 \left| \int_{-a/2}^{a/2} dx' \exp(ik_x x') \right|^2 \quad (17)$$

Na equação acima,  $I_o$  é a intensidade que se obtém a partir de cada fenda. O primeiro termo pode ser desenvolvido:

$$|1 + \exp(i.k_x.d)|^2 = 4 \cos^2(k_x.d/2) \quad (18)$$

Esse é um termo de **interferência**. Substituindo a 18 em 17, o resultado é:

$$I(\theta) = 4I_o \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \cos^2 \beta \quad (19)$$

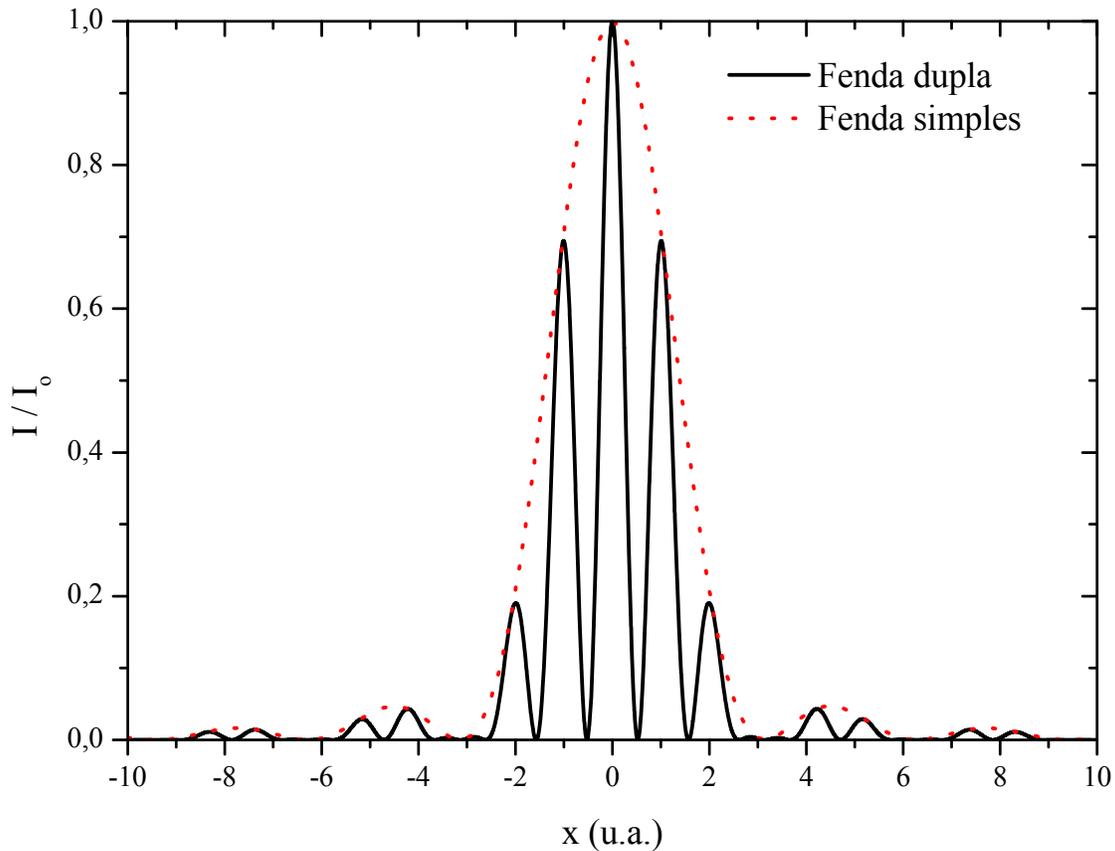
Onde  $\alpha$  é dado pela equação 12 e:

$$\beta = \frac{k_x.d}{2} = \frac{\pi.d}{\lambda} \sin \theta \quad (20)$$

O fator dependente de  $\alpha$  é o fator de **difração** (e depende apenas da largura das fendas), e o fator que envolve  $\beta$  é o fator de **interferência** (e depende apenas da separação entre as fendas).

A figura 3 mostra o padrão de **difração** de fenda dupla, e no mesmo gráfico mostra o padrão de uma fenda simples de mesmo tamanho que cada uma das fendas. Perceba que o padrão de fenda dupla é igual ao padrão de fenda simples modulado por uma função cosseno quadrado.

De acordo com a equação 19, o perfil de intensidades apresenta dois tipos de mínimos (zeros): os zeros de **interferência**, dados pela equação 15, e os zeros de **difração**, dados pela equação 7. Isso justifica a análise feita de desprezar a **difração** e considerar os mínimos e máximos de **difração**. Como  $d > a$ , os zeros de **interferência** são mais próximos do que os zeros de **difração**.



**Figura 3 – Padrão de difração de uma fenda dupla, e padrão de difração de uma fenda simples de mesmo tamanho**

## V. Difração em múltiplas fendas

A próxima situação a ser considerada é quando temos  $N$  fendas de largura  $a$ , com seus centros separados por uma distância  $d$ . Seguindo a análise anterior, vamos inicialmente desprezar a largura das fendas, e considerar a **interferência** dos raios que saem de cada uma delas até o ponto de observação. Como nos exemplos anteriores, a distância até o anteparo é muito maior do que as dimensões do aparato difrator ( $L \gg Nd$ ).

A diferença de fase entre as ondas emitidas por duas fendas consecutivas é

$$\Delta\varphi = kd \sin \theta = \frac{2\pi \cdot d}{\lambda} \sin \theta \quad (21)$$

Essa equação é idêntica a equação 14. Os máximos de intensidade ocorrem quando essa diferença de fase for múltiplo de  $2\pi$ , porque nessa situação todas as ondas interferem construtivamente:

$$\sin \theta_{\text{máx}} = m \frac{\lambda}{d} \quad (22)$$

Para calcular analiticamente o padrão de **difração**, o procedimento aqui é idêntico ao processo para duas fendas, mas agora o termo de **interferência** (análogo ao primeiro membro da equação 18) é uma soma de  $N$  termos, cada um igual ao anterior multiplicado por  $\exp(ik_x d)$ , ou seja, uma progressão geométrica finita. Logo, o fator de **interferência** é fácil de ser calculado:

$$\left| \sum_{j=0}^{N-1} \exp(ijk_x d) \right|^2 = \frac{\sin^2(Nk_x d / 2)}{\sin^2(k_x d / 2)} \quad (23)$$

Essa função apresenta máximos principais que ocorrem quando  $\sin(k_x d / 2) = 0$ . Nessa situação, o numerador também vale zero, e o termo de **interferência** tende a  $N^2$ .

O padrão de **difração** é, portanto:

$$I(\theta) = I_o \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta} \quad (24)$$

Onde  $\beta$  é o mesmo da equação 20. Para  $N = 2$ , essa equação se reduz à equação 19, como era esperado.

Novamente, há dois tipos de mínimos, os de **difração** e os de **interferência**. Os mínimos de **interferência** são mais próximos que os mínimos de **difração**.

O máximo principal (máximo de maior intensidade) da equação 24 ocorre quando  $\theta = 0$  (ou seja,  $\alpha = 0$  e  $\beta = 0$ ), e vale  $N^2 I_o$ . A intensidade no centro é proporcional a  $N^2$ , onde  $N$

é o número total de fendas. O primeiro mínimo de intensidade ocorre quando  $N\beta = \pi$ , ou seja,  $\beta = \pi / N$ . Em termos de  $\theta$ , a posição do primeiro mínimo de **interferência** é:

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{Nd} \quad (25)$$

Quando  $N$  aumenta, a largura do máximo diminui, tornando-o mais definido. No limite de  $N \gg 1$ , o termo de **interferência** (equação 23) vale  $N^2$  nos máximos principais e 0 nos demais pontos.

A figura 4 mostra o padrão de **difração** gerado por 5 fendas. Veja a grande diferença na intensidade relativa entre os máximos principais e os máximos secundários.

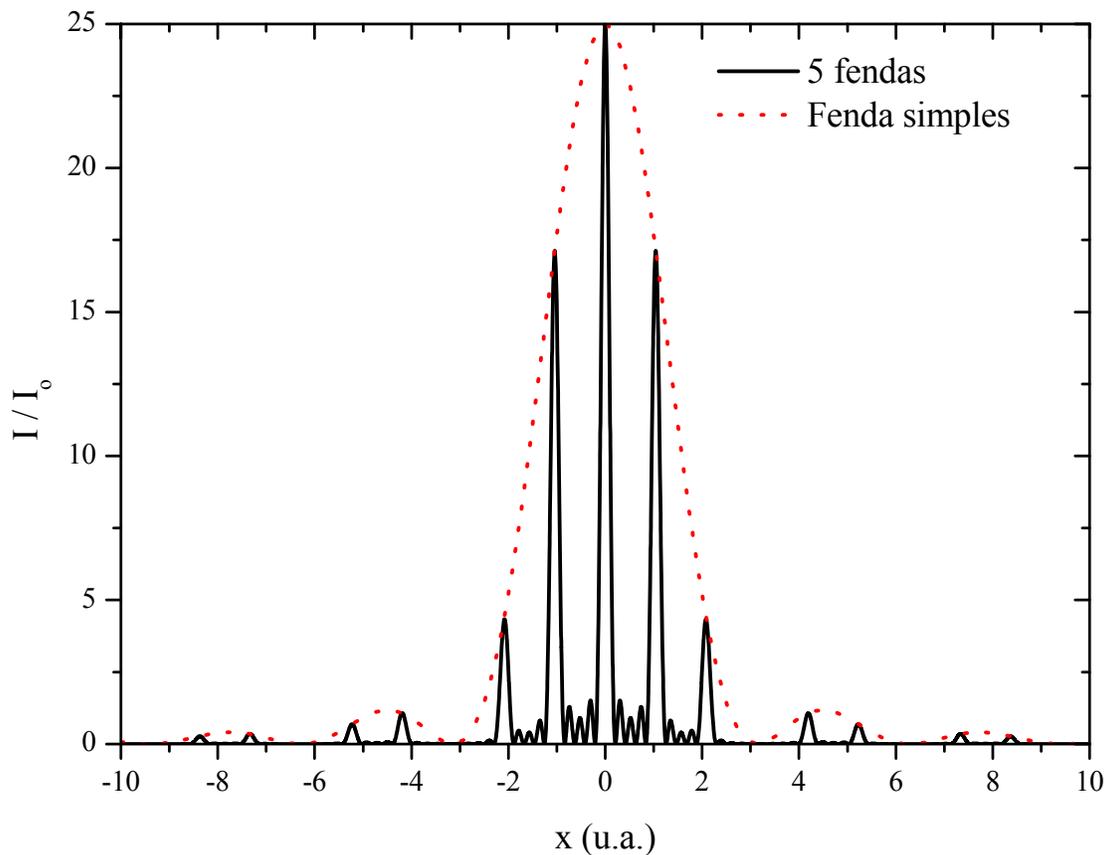


Figura 4 – Padrão de difração de uma rede de 5 fendas, e padrão de difração de uma fenda simples de mesmo tamanho

## VI. Redes de difração

Uma rede de difração é um conjunto de fendas paralelas; com da ordem de centenas de fendas por milímetro. A difração por uma rede é dada pela equação 24 com  $N$  da ordem de centenas ou milhares ( $N$  deve ser igual ao número de fendas na região iluminada da fenda). Isso faz com que os máximos principais sejam bastante intensos e estreitos. A intensidade fora dos máximos principais é muito pequena, e o padrão de difração, na prática, se torna um conjunto de pontos, cuja posição é dada pela equação 22.

Como o número de fendas é da ordem de centenas por milímetro, a distância entre elas é da ordem de micrômetros, apenas uma ordem de grandeza a mais do que o comprimento de onda da luz visível. Sendo a distância até o anteparo da ordem de um metro, a equação 22 diz que a diferença entre os máximos será da ordem de vários centímetros, e portanto pode ser medida sem grandes dificuldades.

## Experimentos

### 1. Difração por fenda simples e duplas utilizando o método de projeção

- Alinhe o feixe de um laser He/Ne em relação ao trilho óptico.
- Na frente do laser coloque uma fenda simples de abertura desconhecida em um suporte com parafuso micrométrico.
- Posicione um anteparo fixo a cerca de 1 metro de distância. Certifique-se que o anteparo de projeção está posicionado paralelamente à fenda, Figuras 5 e 6.
- Observe o padrão de difração formado no anteparo e certifique que os máximos positivos ( $m= 1, 2, \dots$ ) e negativos ( $m= -1, -2, \dots$ ) estão equidistantes do máximo central. Caso não esteja gire o anteparo para obter essa situação.

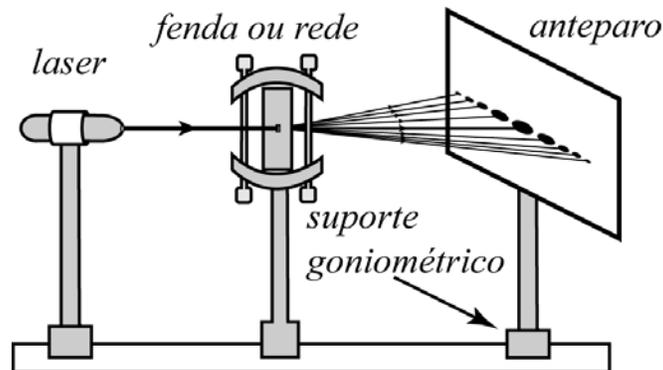


Figura 5 – Esquema experimental para medida do padrão de difração por redes e fenda utilizando a projeção.

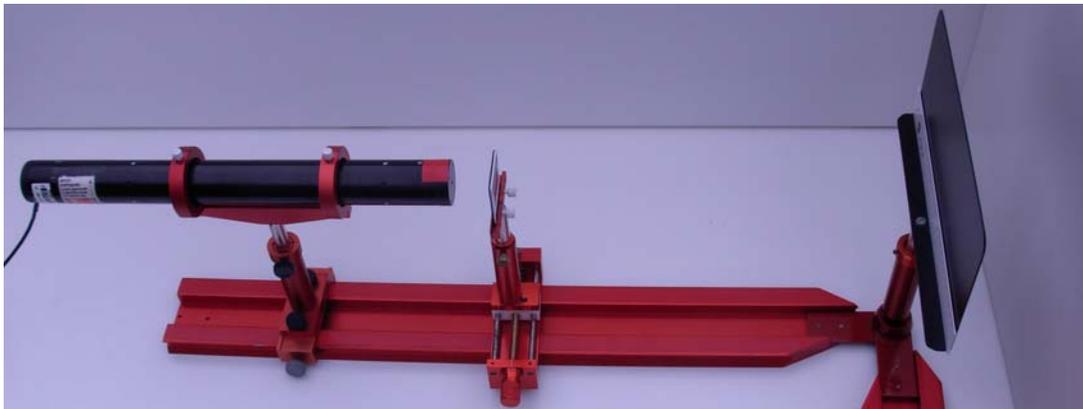


Figura 6 – Fotografia da montagem experimental para medida do padrão de difração por redes e fenda

utilizando a projeção.

- e) Determine a posição dos mínimos de intensidade e calcule os respectivos ângulos  $\theta$ .
- f) Faça um esboço em escala do padrão de difração observado.
- g) Utilizando a equação 7 e o comprimento de onda do laser (632.8 nm), determine a abertura da fenda para cada um dos mínimos de difração. Tome como resultado da medida a média dos valores obtidos.
- h) Repita o procedimento para a outra fenda simples.

**Resultados da difração por uma fenda simples desconhecida (fenda 1)**

m	Posição	Ângulo de difração	Largura da fenda
<b>Distância fenda-anteparo:</b>			
<b>Abertura da fenda:</b>			

**Resultados da difração por uma fenda simples desconhecida (fenda 2)**

m	Posição	Ângulo de difração	Largura da fenda
<b>Distância fenda-anteparo:</b>			
<b>Abertura da fenda:</b>			

i) Substitua a fenda simples por uma fenda dupla e ajuste o sistema para observar um padrão de difração simétrico.

j) Determine a posição dos mínimos de intensidade difração e máximos de interferência observados. Calcule os respectivos ângulos  $\theta$ .

k) Faça um esboço em escala do padrão observado.

l) Utilizando o comprimento de onda do laser (632.8 nm) e utilizando respectivamente a equação 7 e 16, determine a abertura das fendas e a separação entre elas para cada um dos mínimos de difração e máximos de interferência observados. Tome como resultado da medida a média dos valores obtidos. A interferência fica bem difícil de ver, mas ainda é possível estimar.

**Resultados da difração por uma fenda dupla desconhecida**

<b>m</b>	<b>Posição</b>	<b>Ângulo de difração</b>	<b>Largura das fendas</b>	<b>Separação entre fendas</b>
<b>Distância fenda-anteparo:</b>				
<b>Abertura da fenda:</b>				

m) Substitua a fenda dupla uma rede de difração e ajuste o sistema para observar um padrão de difração simétrico. Dica: é de fundamental importância que o laser atinja a grade de forma normal. Para garantir isso, observe a retro-reflexão da grade onde também é observado um padrão de difração. Note ainda que o máximo central nesse caso varia com a orientação da grade. Para garantir uma incidência normal, faça com que o máximo central da difração originada da reflexão coincida com o laser incidente (“retro-difração”).

n) Determine a posição dos máximos de interferência observados. Calcule os respectivos ângulos  $\theta$ .

- o) Faça um esboço em escala do padrão observado.
- p) Utilizando a equação 7 e o comprimento de onda do laser (632.8 nm), determine o número de linhas por mm da rede de difração para cada um dos máximos de interferência observados. Tome como resultado da medida a média dos valores obtidos.

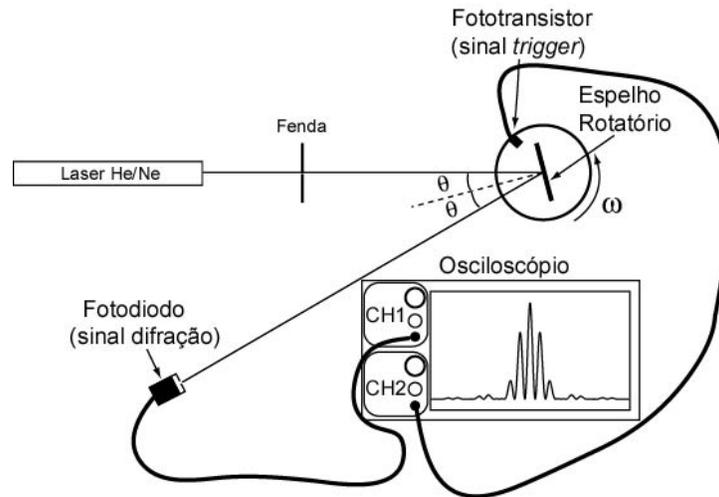
**Resultados da difração por uma rede de difração com número de linhas desconhecido.**

<b>m</b>	<b>Posição</b>	<b>Ângulo de difração</b>	<b>Linhas/mm</b>
<b>Distância rede-anteparo:</b>			

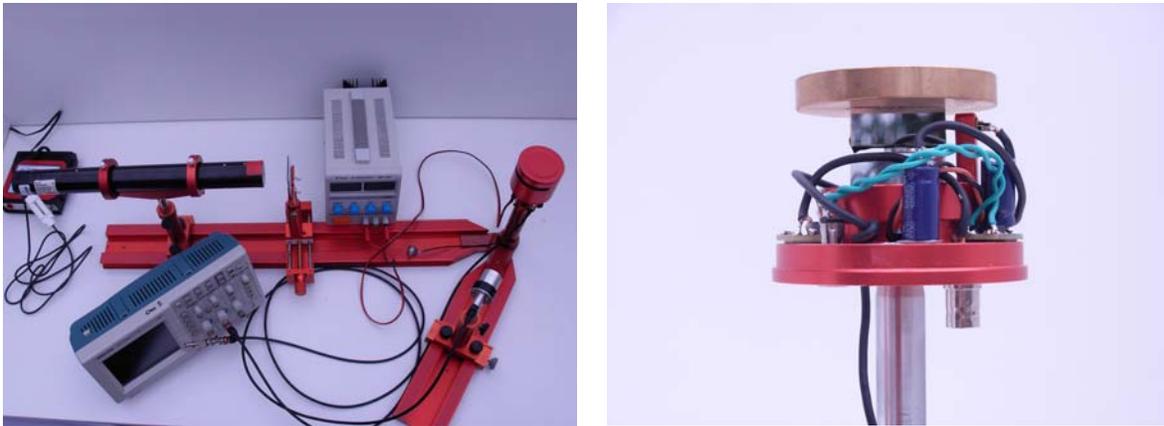
- q) Solicite um fio de cabelo de um membro do grupo e determine a sua espessura (diâmetro) utilizando o que você aprendeu com os experimentos de difração realizados.

**2. Medida do perfil de intensidade do padrão de difração por fendas**

- a) Com o objetivo de medir o perfil de intensidade faça a montagem descrita nas figuras 7 e 8.
- b) Analise a montagem e descreva o princípio de funcionamento do experimento, explicitando a função de cada elemento.



**Figura 7 – Esquema da montagem experimental para observação e quantificação do perfil de intensidades da difração por fendas.**



**Figura 8 – Fotografia do esquema da montagem experimental para observação e quantificação do perfil de intensidades da difração por fendas.**

c) Coloque uma fenda dupla no suporte em frente ao laser. Translade a fenda para ter o máximo de intensidade transmitida. Ligue o espelho rotativo e aguarde até que a velocidade de rotação do mesmo estabilize. Posicione o fotodetector tal como mostrado na figura 8 (utilizando uma fita adesiva preta construa uma fenda de  $\sim 1$  mm na entrada do fotodetector). Conecte o sinal de disparo (*trigger*) do espelho giratório no canal 2 de osciloscópio digital. Ajuste o osciloscópio de modo a visualizar o sinal de disparo do espelho rotativo. Meça o período de rotação do espelho e determine a velocidade angular de rotação do mesmo.

d) Conecte o fotodetector no canal 1 do osciloscópio. Ajuste o osciloscópio para que o *trigger* seja feito pelo canal 2 (modo normal) e o sinal do detector seja visualizado no canal 1. Ajuste o nível de *trigger* do osciloscópio do espelho rotativo até obter uma imagem estática do padrão de difração. Para melhorar a observação deste padrão, isto é observá-lo de uma maneira mais expandida, você pode utilizar o potenciômetro que ajusta o atraso entre o disparo da medida (sinal de disparo – canal 2) e o sinal a ser enviado ao osciloscópio (sinal do detector – canal 1). Ajuste simultaneamente o potenciômetro e a base de tempo do osciloscópio até obter um padrão de difração estático que ocupe toda a tela do osciloscópio.

e) Observe o padrão de difração da fenda dupla. Com máquina fotográfica digital, tire uma fotografia da tela do osciloscópio, de modo a visualizar o padrão e as escalas. Utilizando essa fotografia, meça a posição e intensidade dos máximos de interferência e de difração.

f) Meça também a posição dos mínimos de difração e a largura do máximo central de interferência.

g) Utilizando as características geométrica da montagem (Distâncias fenda-espelho rotativo e espelho rotativo-detector e velocidade do espelho) deduza uma expressão que relacione os ângulo de difração com a medida da posição observada no osciloscópio.

h) Determine as características da fenda e compare com os valores nominais.

i) Repita o procedimento utilizando uma fenda tripla e uma fenda quádrupla.

j) Utilizando a equação 24 calcule a intensidade relativa dos máximos de interferência e difração e a largura do máximo central para as fendas dupla, tripla e quádrupla utilizadas. Compare com os valores medidos e estime o desvio %.

k) O que você conclui sobre o que acontece sobre o que acontece quando se varia o número de fendas? O que acontecerá quando o número de fenda for muito grande?

**Resultados da análise do perfil de intensidades da difração por uma fenda dupla**

<b>m</b>	Posição dos máximos de interferência medidos no osciloscópio (ms)	Ângulo correspondente aos máximos de interferência (°)	<b>m'</b>	Posição dos máximos de difração medidos no osciloscópio (ms)	Ângulo correspondente aos máximos de difração (°)
<b>Distância fenda-espelho rotativo: Distância espelho rotativo-detector: Velocidade Angular do espelho rotativo:</b>			<b>Separação entre as fendas: Largura das fendas:</b>		

**Resultados da análise do perfil de intensidades da difração por uma fenda tripla**

<b>m</b>	Posição dos máximos de interferência medidos no osciloscópio (ms)	Ângulo correspondente aos máximos de interferência (°)	<b>m'</b>	Posição dos máximos de difração medidos no osciloscópio (ms)	Ângulo correspondente aos máximos de difração (°)
<b>Distância fenda-espelho rotativo: Distância espelho rotativo-detector: Velocidade Angular do espelho rotativo:</b>			<b>Separação entre as fendas: Largura das fendas:</b>		

**Resultados da análise do perfil de intensidades da difração por uma fenda quádrupla**

<b>m</b>	<b>Posição dos máximos de interferência medidos no osciloscópio (ms)</b>	<b>Ângulo correspondente aos máximos de interferência (°)</b>	<b>m'</b>	<b>Posição dos máximos de difração medidos no osciloscópio (ms)</b>	<b>Ângulo correspondente aos máximos de difração (°)</b>
<b>Distância fenda-espelho rotativo:</b> <b>Distância espelho rotativo-detector:</b> <b>Velocidade Angular do espelho rotativo:</b>			<b>Separação entre as fendas:</b> <b>Largura das fendas:</b>		