

Difração

O que é a difração?

O que acontece quando a luz passa por um orifício (ou encontra um obstáculo)?

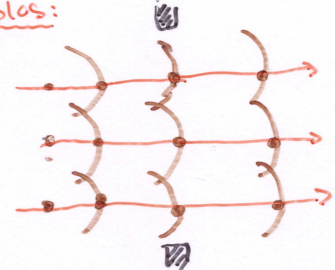
Isto pode ser deduzido usando o Princípio de Huygens e depende do tamanho do orifício.

Princípio de Huygens (físico holandês do XVIII)
Todos os pontos de uma certa frente de ondas são fontes puntiformes de ondas esféricas secundárias, pequeninas, que se propagam para a frente com a velocidade característica das ondas no meio. Depois de um certo tempo, a nova posição da frente é a superfície tangente a todas estas pequeninas ondas.

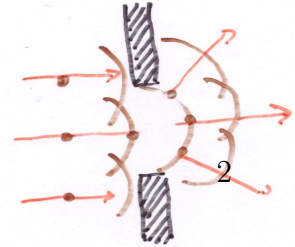


Obs.: todos os resultados obtidos a partir da aplicação do princípio de Huygens também podem ser conseguidos com as equações de Maxwell.

Exemplos:

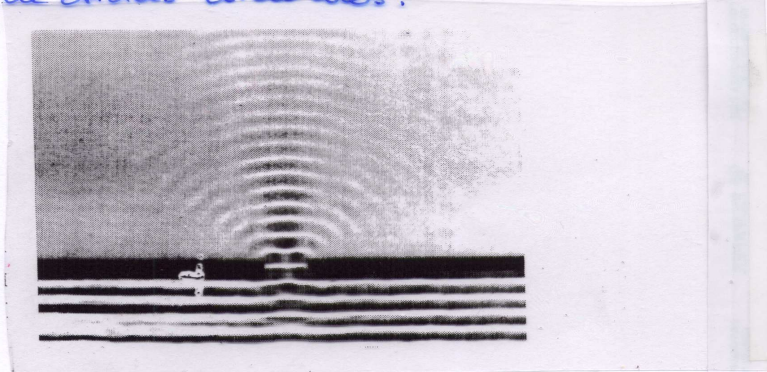


Orifício grande => propagação em linha reta



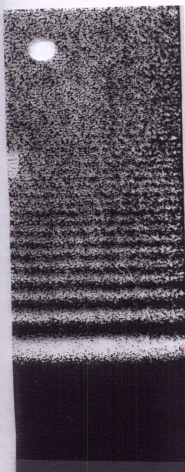
Orifício pequeno => a luz não se propaga em linha reta. Este desvio da propagação em linha reta é a DIFRAÇÃO.

A difração ocorre para qualquer tipo de ondas. Na figura embaixo, uma onda plana num tanque de água incide sobre uma barreira que tem uma pequena abertura. A abertura age como se fosse uma fonte de ondas circulares.

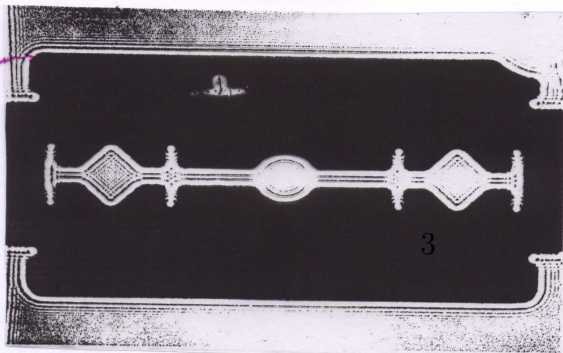


Na difração:

... cada ponto de uma fenda age como fonte pontual \Rightarrow pode ter interferência construtiva ou destrutiva entre as várias ondas (ex-^{pl} fenda simples).
O mesmo ocorre para obstáculos.



amplificação

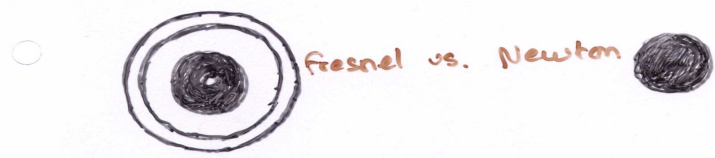


iluminação com fonte pontual e monocromática.
Uma experiência similar pode ser feita com fio de cabelo e a pontada laser.

[Obs.: a razão pela qual não se encontra comumente figuras de difração quando se olha a sombra de objetos é porque a maioria das fontes luminosas não é pontiforme e monocromática.]

Os fenômenos de difração como os de interferência aos quais são ligados, são característicos de uma teoria ondulatória.

[No início do século XIX, a maior parte dos físicos ^{franceses} influenciados por Newton, acreditava que a luz era um feixe de partículas. Mas Fresnel, um jovem engenheiro militar que fazia ótica no seu tempo livre, acreditava na natureza ondulatória da luz. Poisson, um defensor do modelo de partículas, disse que se Fresnel fosse certo, a luz ao passar por uma pequena esfera, levaria a observar um ponto luminoso no meio da sombra da esfera.



isto parecia absurdo. Mas quando foi realizada a experiência ^{por Arago}, o ponto brilhante foi visto. Com isto, o modelo ondulatório ficou muito reforçado.]

[demo.physics.uiuc.edu/LectDemo/descript/749/More Info.html](http://demo.physics.uiuc.edu/LectDemo/descript/749/More%20Info.html)

Difração de Fresnel e difração de Fraunhofer

Os fenômenos de difração são usualmente divididos em:

- Fraunhofer: os raios são considerados paralelos (acontece quando a distância fenda-anteparo é grande ou usar-se lente convergente). É mais fácil de tratar matematicamente e é este caso que estudaremos.
- Fresnel: outros casos.

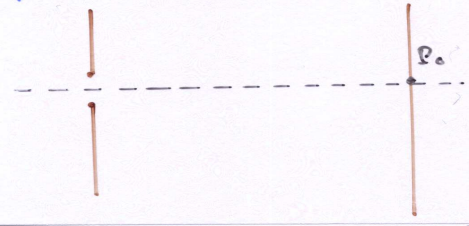
Difração produzida por uma fenda simples

Observamos neste caso, uma franja brilhante e larga no centro, e uma sucessão de franjas menos brilhantes enfiada e estreita.



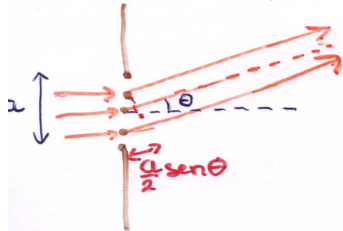
Nas aulas de interferometria, com fendas duplas, admitimos que as fendas eram fontes pontiformes ou lineares de luz.

Nesta aula, veremos que a largura da fenda é a base para o entendimento da figura de difração de Fraunhofer, formada por uma fenda simples.



Em P_0 , esperamos uma franja brilhante porque a luz percorre aproximadamente o mesmo caminho para chegar em P_0 , saindo de qualquer ponto

da fenda. Para as outras franjas brilhantes só podemos dizer que elas estão aproximadamente a meia distância entre as franjas escuras. Estas podem ser localizadas.



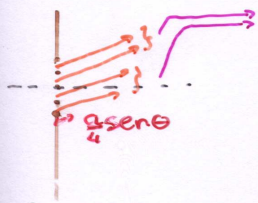
• Dividimos a fenda em 2. Cada segmento atua como se fosse um a fonte de ondas. Então a luz de um pode interferir com a do outro.

Para ter interferência destrutiva num ponto P do anteparo, a diferença de caminho entre os dois raios tem que satisfazer:

$$\frac{a}{2} \sin \theta = \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow a \sin \theta = \lambda$$

isto é a localização da 1ª franja escura acima ou abaixo da franja brilhante central. Há cancelamento entre a luz vindo da parte de cima e a de cima.

• Se dividirmos a fenda em 4, encontramos uma franja escura se



$$\frac{a}{4} \sin \theta = \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow a \sin \theta = 2\lambda$$

De modo geral, a condição para interferência destrutiva é: $\sin \theta = m \frac{\lambda}{a}$ com $m = \pm 1, \pm 2, \dots \neq 0$

6

Obs (1) $m \neq 0$ nesta fórmula. $\theta = 0$ corresponde à feixe brilhante central

(2) cuidado para não misturar:

condição de interf. construtiva p/ fenda dupla e fontes em fase com espaçamento d

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d} \text{ com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

condição de interf. destrutiva p/ fenda simples de largura a

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{a} \text{ com } m = \pm 1, \pm 2, \dots$$

Experiências na aula

- ① Observar sobre a parede, a figura de difração p/ laser + 1 fenda
→ obter λ

$$\Delta y = 2 \frac{\lambda L}{a} \Rightarrow \lambda = \dots$$

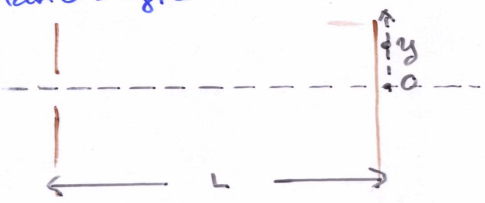
←
→
largura
do pico
central

- ② Trocar o laser por uma lanterna
→ o que acontece?

- ③ Observar a figura de interferência p/ laser + fenda dupla
→ notar a subestrutura nas franjas brilhantes. Porquê?

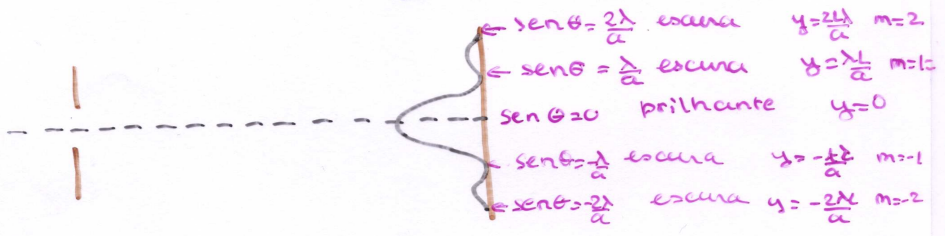
- ④ Observar a figura de difração para fio de cabelo + apontador laser
→ obter o diâmetro do cabelo
(A figura de difração é a mesma do que p/ 1 fenda de largura equivalente)

Podemos também fazer a hipótese $a \gg \lambda$ daí os θ da fórmula de franja escuras são pequenos (m não muito grande) e $\text{sen } \theta \approx \tan \theta = y/L$



Combinando com a fórmula de interferência destrutiva, temos

$$y = m \frac{\lambda L}{a}$$



Exemplo:

Um feixe de laser de 633 nm, incide sobre uma fenda de largura desconhecida. O anteparo está a 60m. Tem 32mm entre o meio do primeiro mínimo acima da franja brilhante central e o meio do primeiro mínimo abaixo. Qual é a largura da fenda?

$$\frac{2\lambda L}{a} = 32 \text{ mm} \Rightarrow a = \frac{2 \times 633 \cdot 10^{-9} \times 6}{32 \cdot 10^{-3}} = 0,24 \text{ mm} \quad 8$$

[Faded handwritten notes in red ink, likely a student's reflection or additional calculations.]

2003

Questão 2

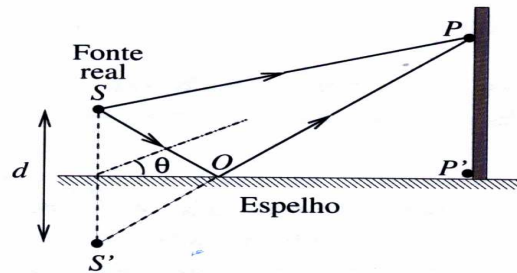
Uma fenda de largura a é iluminada por luz branca, emitida por uma fonte coerente situada a uma grande distância da fenda. A luz difratada é observada em uma tela distante (as condições de *difração de Fraunhofer* são satisfeitas).

- (a) (1,0 ponto) Para qual valor de a o *primeiro mínimo* de uma componente vermelha ($\lambda = 628$ nm) ocorrerá em um ângulo $\theta = \pi/100$ rad? Lembre-se que para $\theta \ll 1$, $\text{sen}\theta \approx \theta$.
- (b) (1,0 ponto) Uma componente da luz branca, de comprimento de onda λ' , produz o *primeiro máximo lateral* de difração em $\theta = \pi/100$ rad. Utilizando o valor da largura da fenda determinado no item (a), calcule o comprimento de onda λ' . Observação: use a aproximação de que um máximo lateral está situado à meia distância de dois mínimos adjacentes.
- Qual é a energia dos fótons individuais da componente λ' ? Dado: constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s.
- (c) (0,5 ponto) Determine a razão entre a intensidade do primeiro máximo lateral e a intensidade I_0 do máximo central produzidos por λ' .

2005
Revisão

Questão 2

No arranjo conhecido como espelho de Lloyd, uma fonte de luz puntiforme monocromática de comprimento de onda λ é colocada em S perto de um espelho como mostrado na figura.



As ondas podem atingir um ponto P do anteparo tanto pela trajetória direta SP como pela trajetória indireta SOP envolvendo a reflexão no espelho. Neste último caso, o raio refletido atinge o anteparo como se fosse originado por uma fonte em S' localizada sob o espelho. Em pontos distantes da fonte, sobre um anteparo, observa-se uma figura de interferência devido às ondas provenientes de S e S' .

- (1.0 ponto) (a) A franja em P' (muito próximo do espelho, veja na figura) será clara ou escura? Justifique.
- (1.0 ponto) (b) Escrever as condições para haver interferência destrutiva e construtiva como função de θ .
- (0.5 ponto) (c) Fazer um esboço da intensidade luminosa em função de $d \sin \theta$, indicando o valor da abscissa de alguns mínimos e máximos.