



Física Experimental IV – FAP214

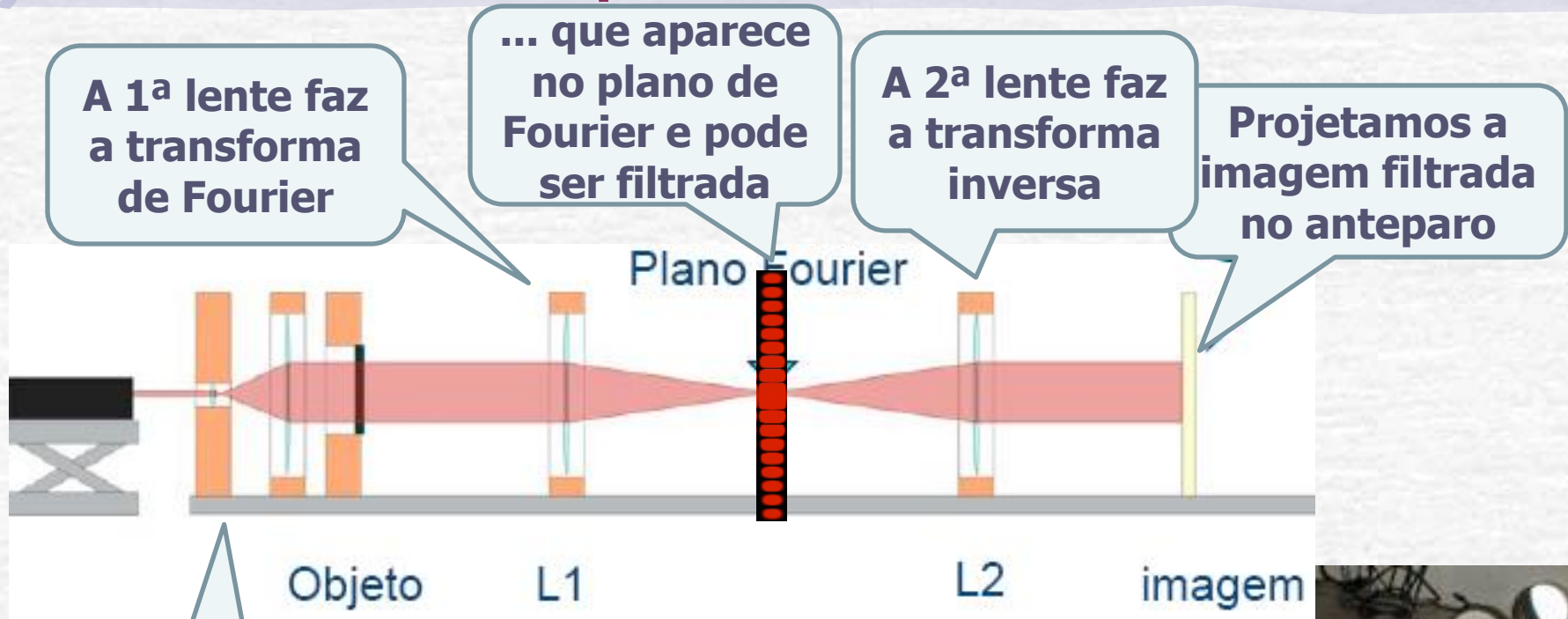
www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex

www.fap.if.usp.br/~hbarbosa

Aula 4, Experiência 2

Fourier e Difração

Computador Ótico



o laser ilumina o objeto

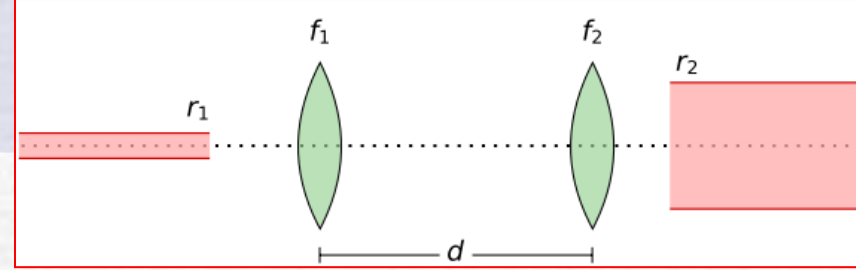
COMPUTADOR ÓTICO



Para esta Semana: Parte 1

- Utilizando duas lentes convergentes de foco f_1 e f_2 , separadas de uma distância d , obtenha, utilizando o método matricial:
 - Qual a distância de separação entre elas (d) para que o feixe de laser saia sem divergência?
 - Qual a magnificação obtida por este sistema?
 - Verifique os resultados com o Raytrace
 - Monte um sistema de duas lentes para magnificar o feixe de laser em 20 vezes, mantendo-o paralelo na saída
 - meça a magnificação. Compare com a expectativa teórica.
 - meça a distância entre as lentes e compare com a expectativa teórica.
- Problemas:
- O feixe emergente do sistema tem divergência nula? Verifique.
 - O feixe incidente no sistema possui divergência? O que muda, do ponto de vista teórico se a divergência inicial do laser não é nula? O experimento é sensível a isto? Discuta.

Método matricial



- Aplicando o método matricial:

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ \phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix}$$

Notem que não era preciso incluir as posições do objeto e da imagem!

- E portanto:

$$\begin{cases} r_2 = \left(1 - \frac{d}{f_1}\right) r_1 + d \phi_1 \\ \phi_2 = \left(\frac{d}{f_1 f_2} - \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}\right)\right) r_1 + \left(1 - \frac{d}{f_1}\right) \phi_1 \end{cases}$$

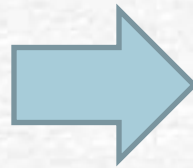
- $\phi_1 = \phi_2 = 0$ (ou seja $f_{\text{eq}} \rightarrow \infty$) implica:

$$r_1 \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \right) = 0 \quad \Rightarrow \quad d = f_1 + f_2$$

Aumento do Diâmetro

- Substituindo $d=f_1+f_2$ nas equações para r_2 e ϕ_2 , temos:

$$\begin{cases} r_2 = \left(1 - \frac{d}{f_1}\right) r_1 + d \phi_1 \\ \phi_2 = \left(\frac{d}{f_1 f_2} - \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}\right)\right) r_1 + \left(1 - \frac{d}{f_1}\right) \phi_1 \end{cases}$$



$$\begin{cases} r_2 = -\frac{f_2}{f_1} r_1 + (f_1 + f_2) \phi_1 \\ \phi_2 = -\frac{f_1}{f_2} \phi_1 \end{cases}$$

- Como $\phi_1=0$ então temos:

$$M = \frac{r_2}{r_1} = -\frac{f_2}{f_1}$$

- ... e $\phi_2=0$

E se a divergência $\phi_1 \neq 0$?

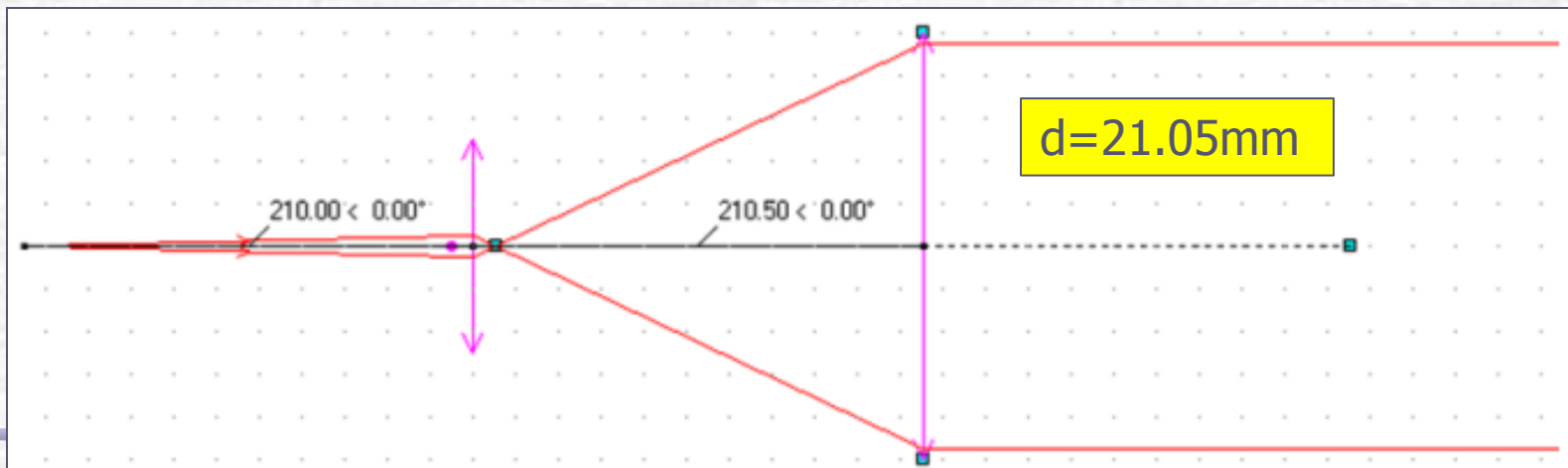
- Se mantivermos a distância $d=f_1+f_2$:

Para o conjunto de lentes utilizadas, $d=21,0(2)$ cm. Porém, na prática, o feixe incidente possui um pequeno ângulo de incidência, considerando a distância entre as lentes de 21 cm, temos que a relação entre os ângulos é:

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = -\frac{f_1}{f_2}$$

Ou seja, o ângulo emergente é 20 vezes menor que o de incidência.

- Mas se queremos que $\phi_2=0$, então **não** podemos usar $d=f_1+f_2$



E se a divergência $\phi_1 \neq 0$?

- Neste caso, devemos usar a equação completa:


$$\phi_2 = \left(\frac{d}{f_1 f_2} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right) r_1 + \left(1 - \frac{d}{f_2} \right) \phi_1 = 0$$

- Resolvendo a equação para d , temos:

$$d = f_2 + \frac{f_1}{1 - f_1 \phi_1 / r_1} = f_2 + f_1 \left(1 + f_1 \frac{\phi_1}{r_1} \right)$$

- Ou seja, a correção é pequena!

$$d \approx 20\text{cm} + 1\text{cm} * 1.01 \approx 21.01\text{cm}$$


$$10^{-2} \Leftarrow \begin{cases} f_1 = 1\text{cm} \\ \phi_1 = 1\text{mrad} \\ r_1 = 1\text{mm} \end{cases}$$

- Analogamente p/ a magnificação:

$$\frac{r_2}{r_1} \approx \frac{-f_2}{f_1} \left(1 - f_1 \phi_1 / r_1 \right) \approx \frac{-f_2}{f_1} * 0.99 \approx 19.8$$

E se a divergência $\phi_1 \neq 0$?

- Alguns mediram a divergência do feixe:

Os resultados experimentais da medida da divergência do laser encontram-se na figura 4.1, em que se ajustou o diâmetro do feixe em função da distância ao ponto de emissão ⁴.

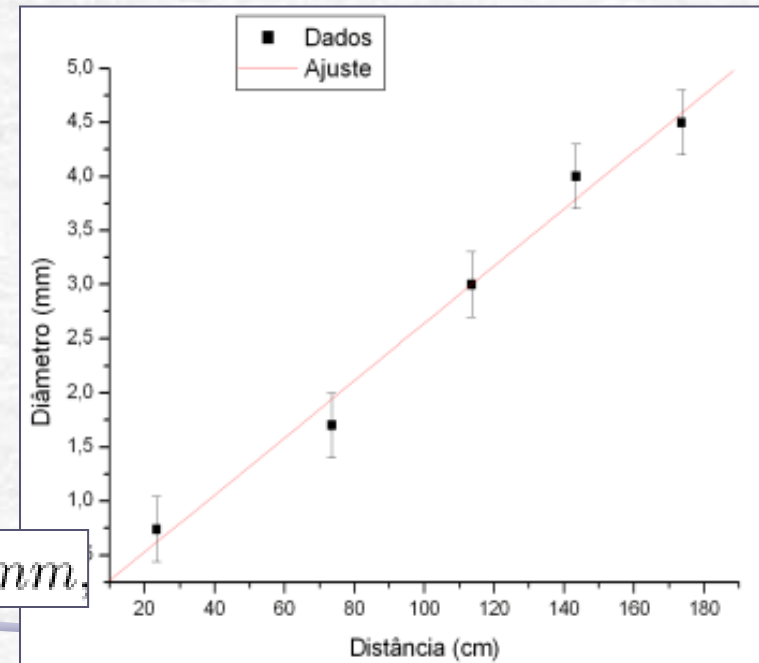
Obteve-se o coeficiente linear $b = (-0,22 \pm 20) \cdot 10^{-2} \text{ mm}$, que está relacionado ao diâmetro do laser, e o coeficiente angular $a = (0,0264 \pm 0,0017) \cdot 10^{-1}$. Apesar da razoável incerteza, devida a imprecisão da medida, obtivemos a partir do ajuste um ângulo de divergência de $\phi_1 = \arctan(a) = (2,64 \pm 0,17) \cdot 10^{-3} \text{ rad}$, que é pequeno em relação as dimensões do nosso experimento.

$$\text{angular } a = (0,0264 \pm 0,0017) \cdot 10^{-1}.$$

$$\phi_1 = \arctan(a) = (2,64 \pm 0,17) \cdot 10^{-3} \text{ rad},$$

O coeficiente linear era o diâmetro do feixe na origem, mas com poucos pontos é difícil de medir:

$$\text{coeficiente linear } b = (-0,22 \pm 20) \cdot 10^{-2} \text{ mm},$$



Magnificação

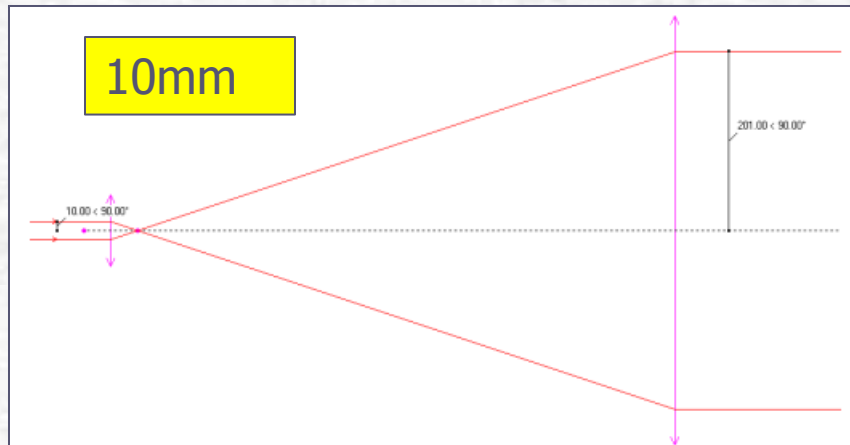
O ajuste linear dos dados da tabela 4.2 teve como coeficiente angular $a = (0,0042 \pm 0,0028) \cdot 10^{-1}$, que é compatível com zero. Consideraremos, assim, o diâmetro emergente médio dado por $\bar{D} = 30,92 \pm 1,0 \text{ mm}$ e o diâmetro incidente⁶ do laser na primeira lente dado pelo ajuste do gráfico da divergência do laser, que vale $d_1 = 1,80 \pm 0,21 \text{ mm}$. Obteve-se, então

$$M = \frac{\bar{D}}{d_1} = 17,2 \pm 2,1$$

Distância r (cm)	Diâmetro D (mm)
$9,10 \pm 0,05$	$30,9 \pm 1,0$
$19,10 \pm 0,05$	$30,6 \pm 1,0$
$24,10 \pm 0,05$	$30,8 \pm 1,0$
$39,10 \pm 0,05$	$31,0 \pm 1,0$
$49,10 \pm 0,05$	$31,1 \pm 1,0$
$59,10 \pm 0,05$	$30,8 \pm 1,0$
$69,10 \pm 0,05$	$31,1 \pm 1,0$

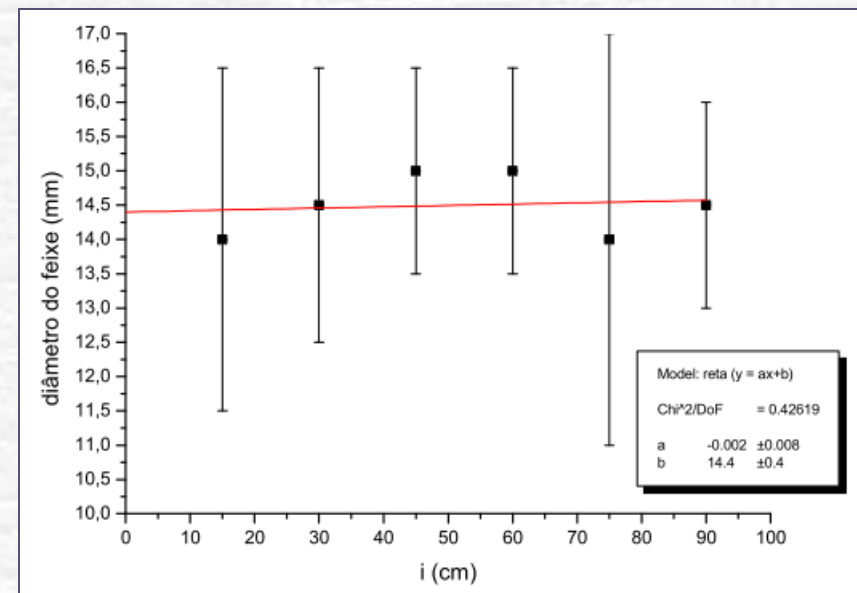
Não era necessário fazer várias medidas do diâmetro do feixe em função da distância, mas assim temos maior confiança que o feixe de saída é paralelo e é possível calcular um valor médio para a magnificação.

Outros resultados



201mm

$M \sim 20.1$



Desta forma obtivemos que o diâmetro médio é igual a 14,4(4) mm, dado o resultado obtido anteriormente, temos que $M = 18,7(2,0)$ que é compatível com o modelo teórico em 63% através do teste T de Student.

Resultados da turma

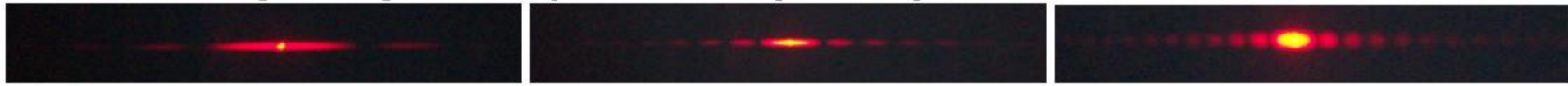
		Entrada		Saída		
	d (cm)	∅ (mm)	div (mrad)	∅ (mm)	div (mrad)	M
H1	20.3 (13)		1.07 (4)	14.4 (4)	~0	18.7±2.0
H2		1.6 (3)	-3.2 (40)	32.1 (20)		20 (4)
H3	20.80 (5)	1.80 (21)	2.64 (17)	30.92 (100)	~0	17.2 (21)
H4	21.52 (5)	1.95 (4)	5.7 (1.9)	16.4 (22)	~0	8.391 (10) 22.466 (6)
H5		0.56 (14)	3.96 (10)	21.5		21.5 (11)
H6		2 (2)		23 (2)		
H8	22.41 (5)	0.9 (5)		19.2 (5)		21.23 (32)
H9						
H10	21.10 (5)		>0		~0	19 (4)
H11			3.1 (7)	17.44 (28)	0.41 (178)	19.6 (14)

Como o erro em d pode ser 0.5mm? Se é a diferença entre duas posições no trilho, devia ser pelo menos $0.5 \cdot \text{raiz}(2) \sim 0.7\text{mm}$

Para esta Semana: Parte 2

- Fotografe figuras de difração para os seguintes objetos:
 - fendas simples (pelo menos duas fendas)
 - fenda dupla (pelo menos duas fendas)
 - fio de cabelo
 - todos os objetos na linha superior do slide de fendas
- Discuta os resultados obtidos.
 - Para as fendas simples e duplas tente relacionar as figuras observadas com as dimensões dos objetos.
 - Tente identificar a forma geométrica dos objetos na linha superior do slide de fendas a partir das figuras de difração observadas. Discuta.

Fenda Simples



d1

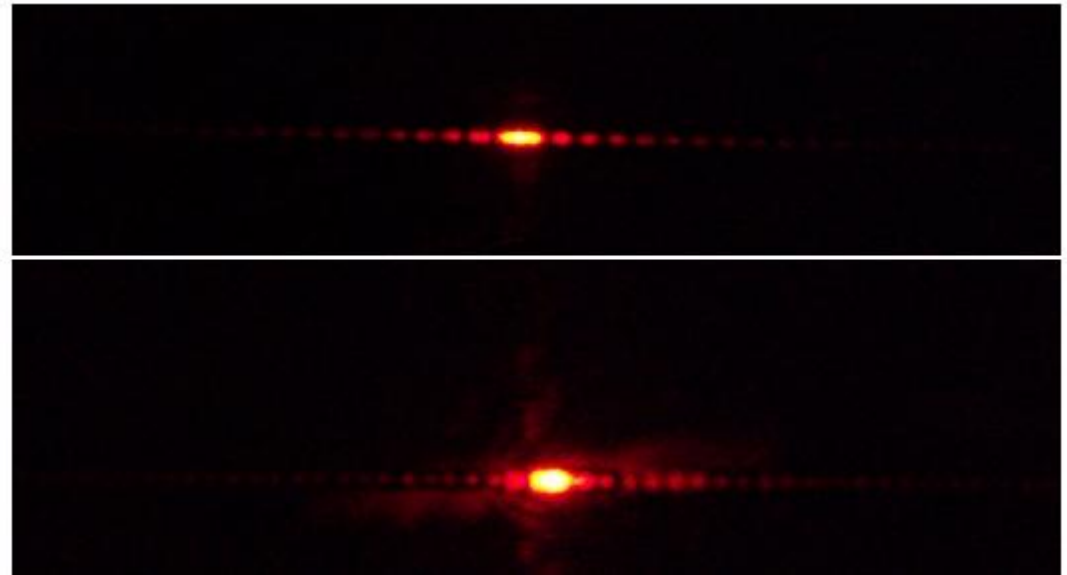
<

d2

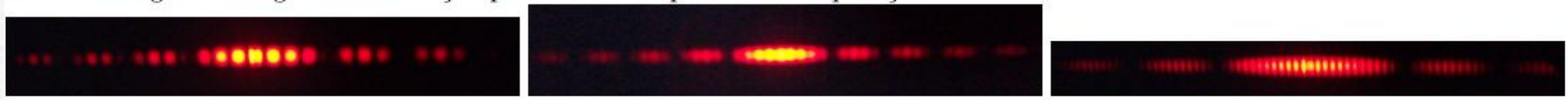
<

d3

As fendas mais estreitas separam mais o feixe e assim vemos apenas o máximo central e os primeiros secundários.



Fenda Dupla



Algo semelhante acontece com as fendas duplas, mas nesse caso o que está variando é a separação e temos um aumento dos pequenos máximos...

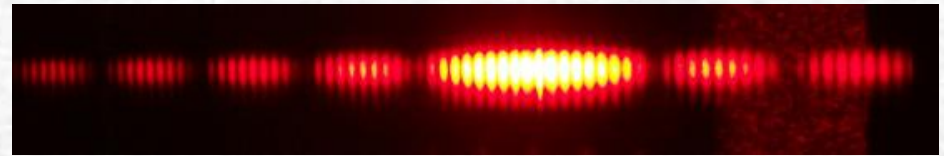


Figura 5

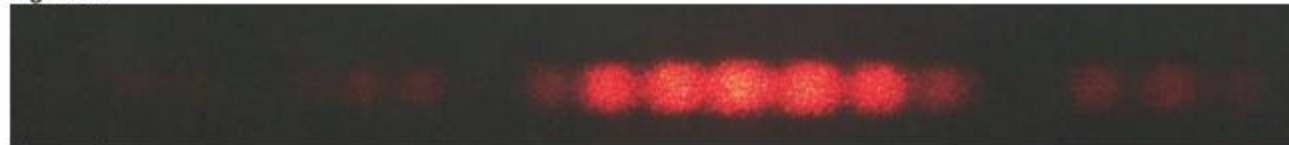
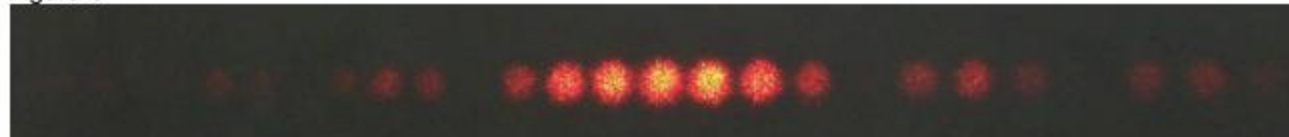
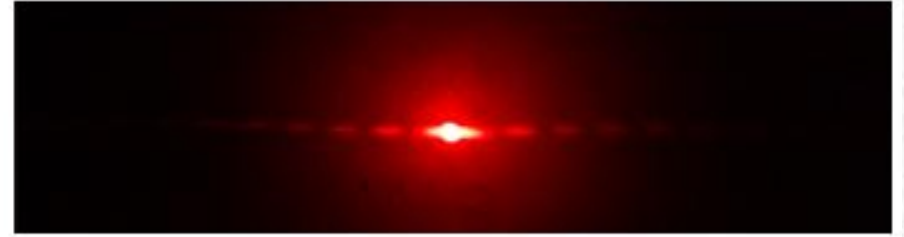
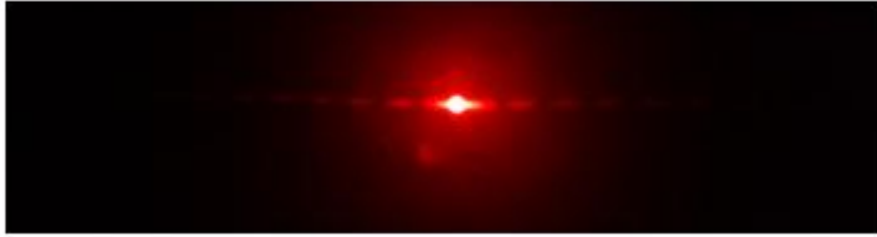


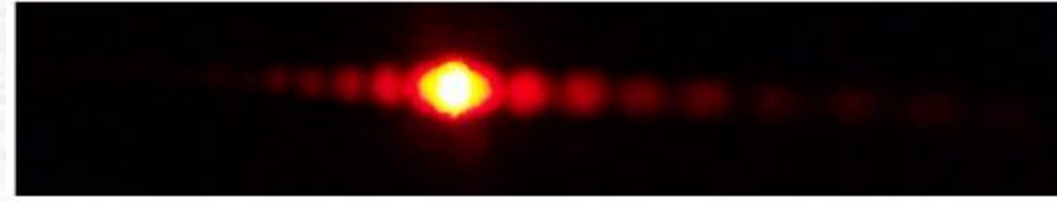
Figura 6



Fio de cabelo

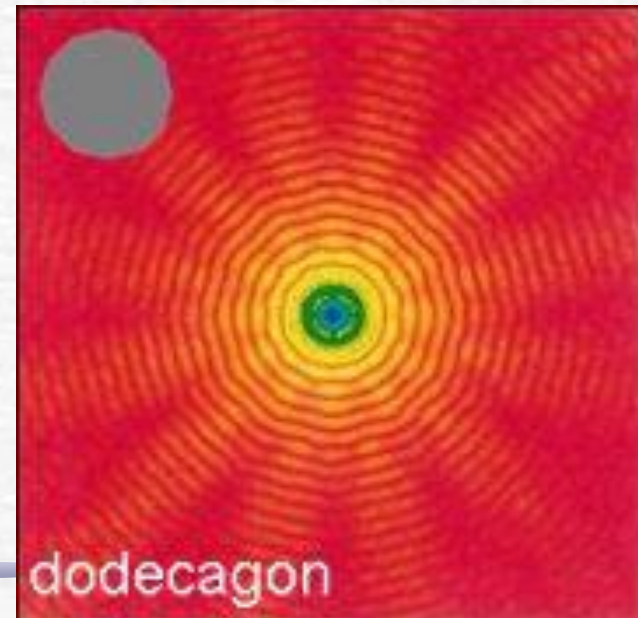
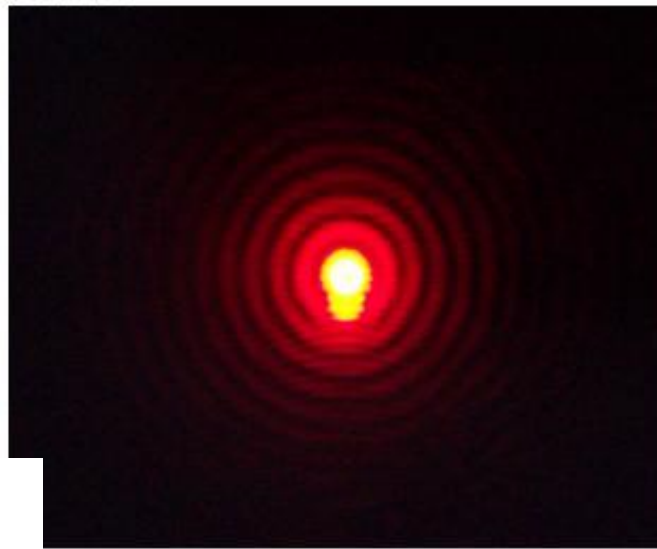


No caso do fio de cabelo, que é um obstáculo e não uma fenda, vemos um padrão similar ao da fenda.



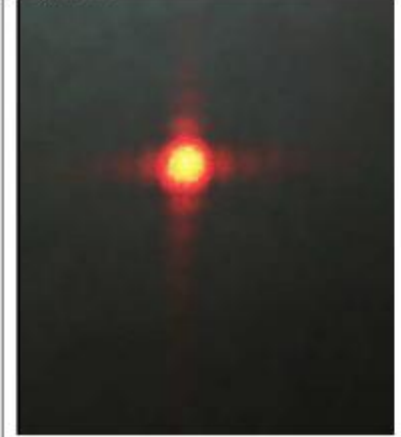
Na verdade devíamos ter uma mancha sem luz no centro, mas o tamanho do feixe e a dificuldade de fotografar nos impede de vê-la.

Círculos

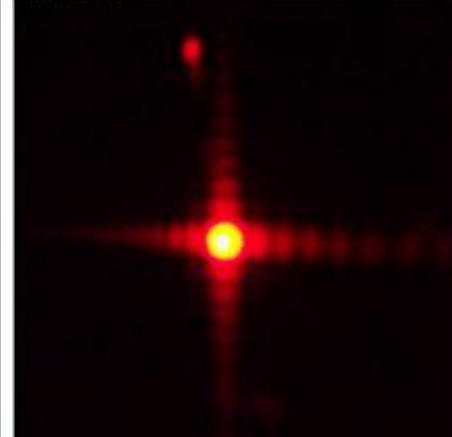


Quadrados

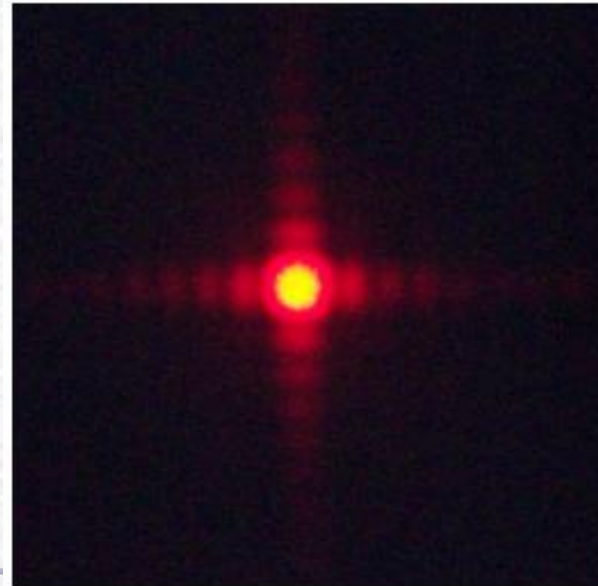
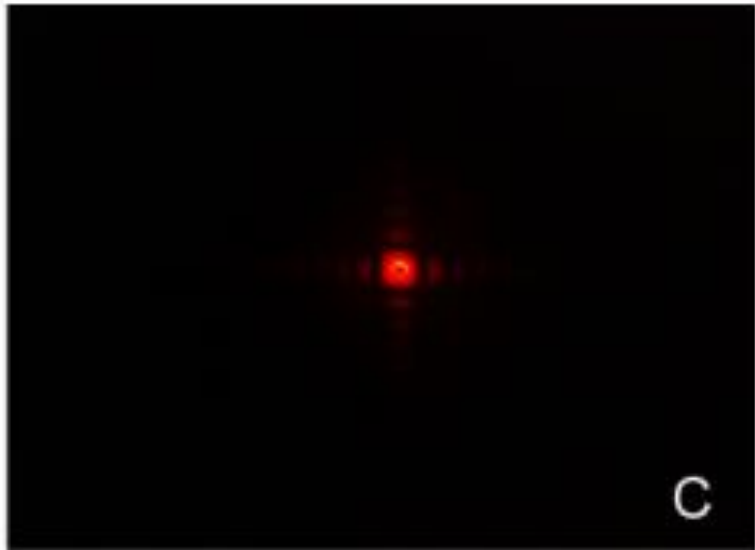
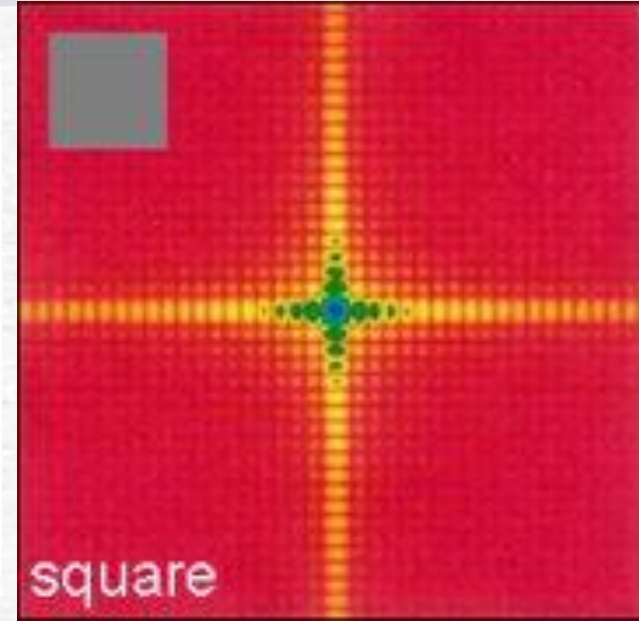
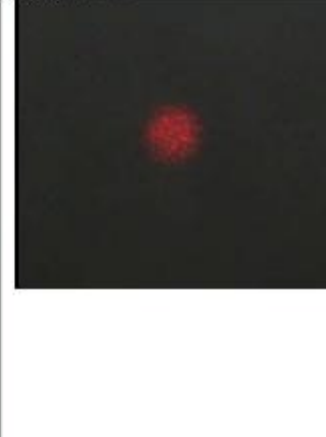
Quadrado
Figura 9



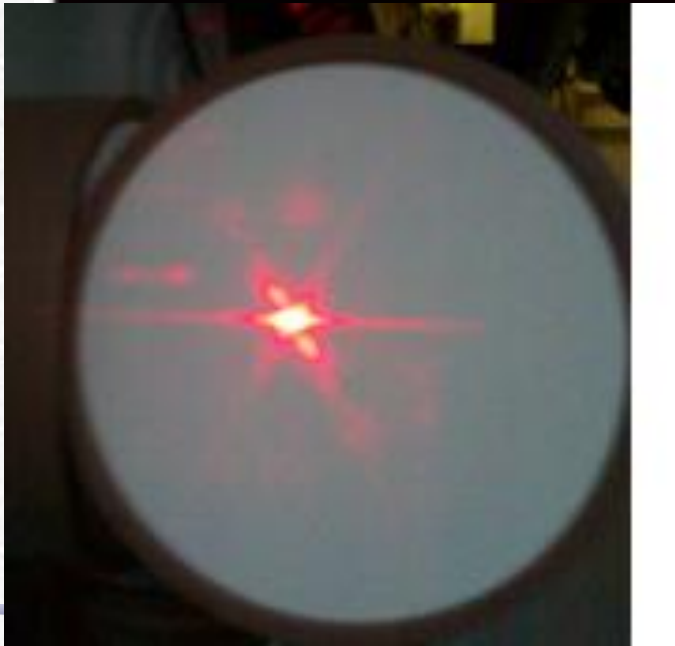
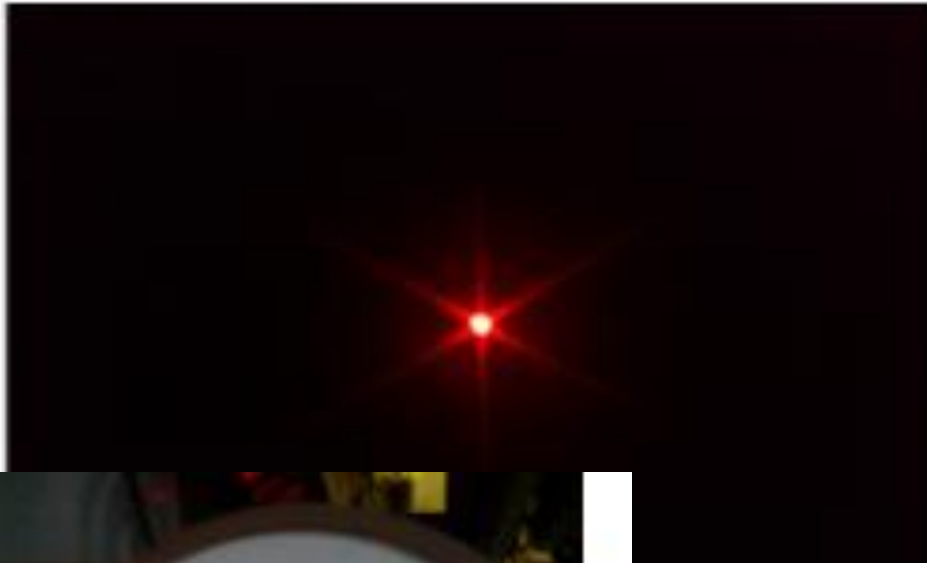
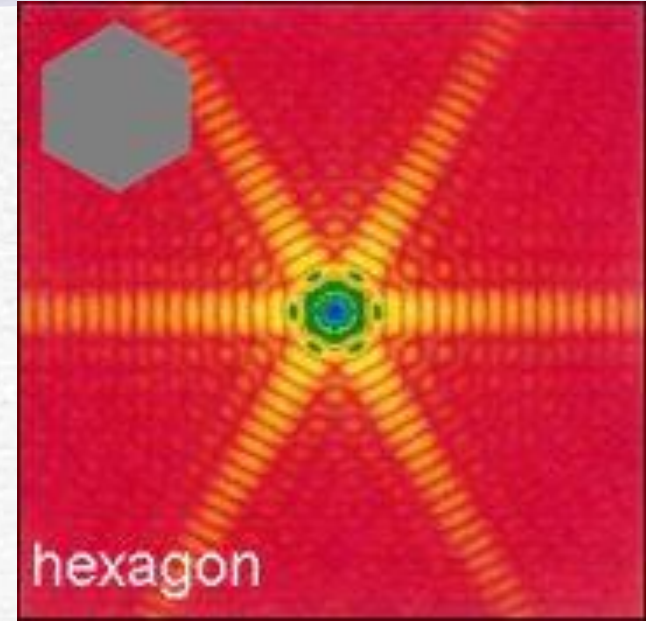
Quadrado
Figura 10



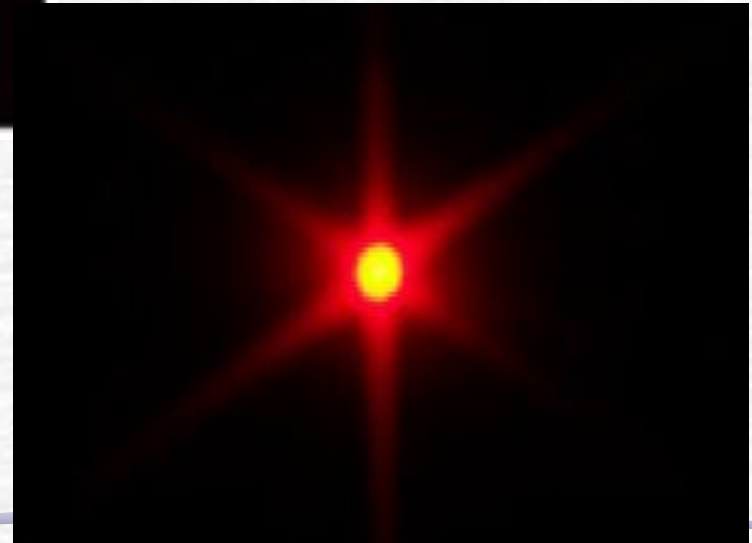
Circulo
Figura 12



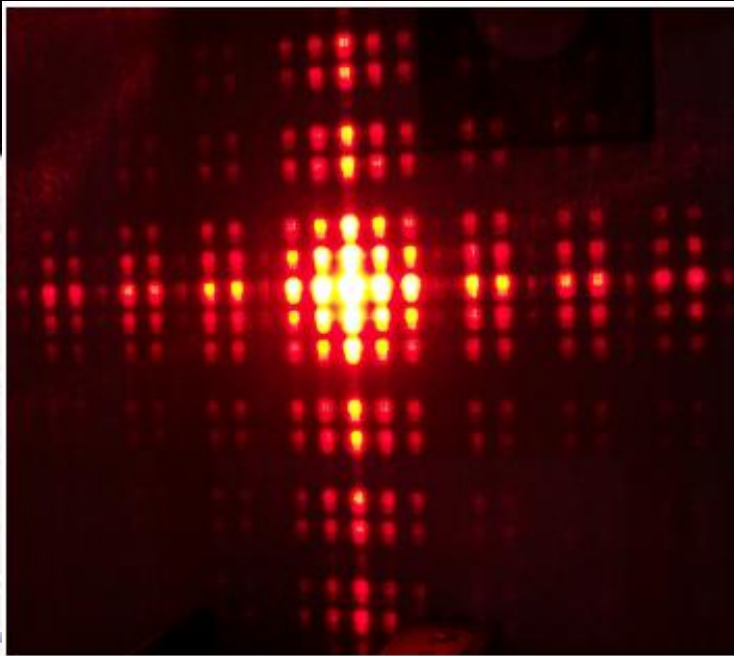
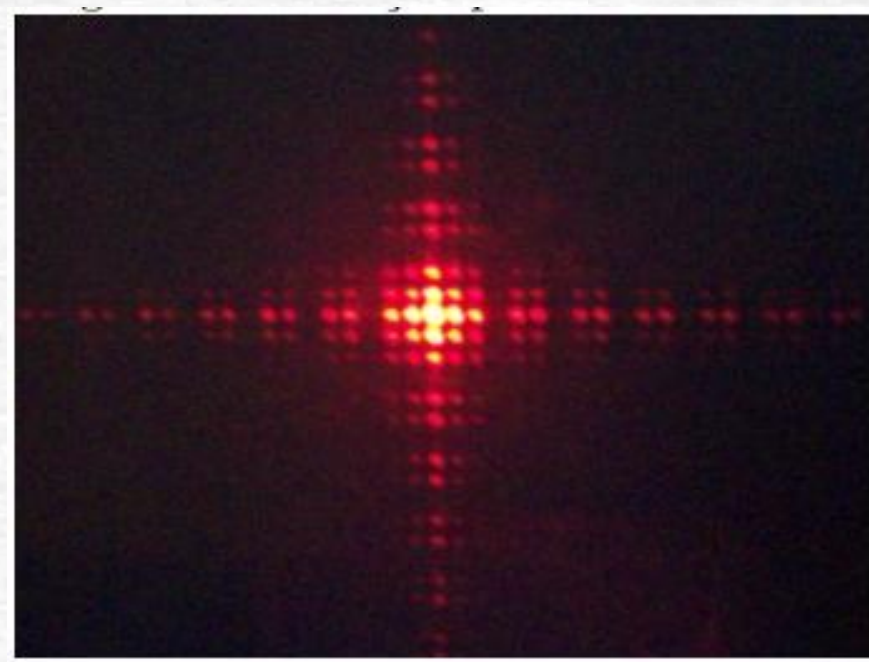
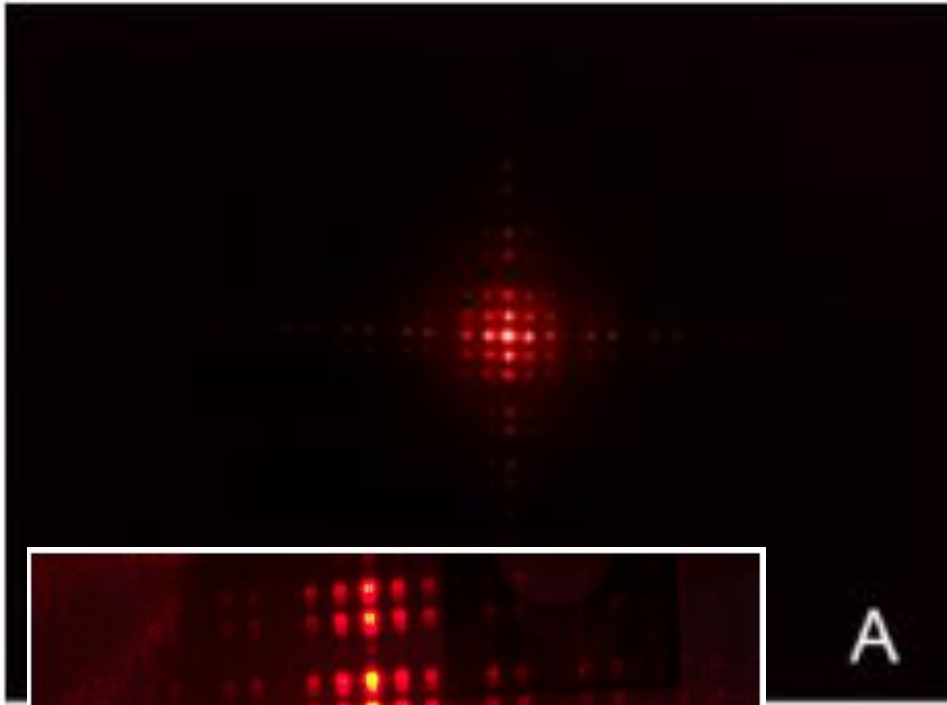
Hexágonos



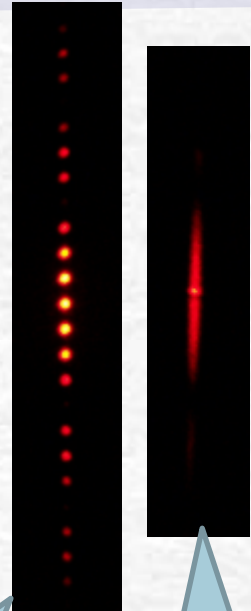
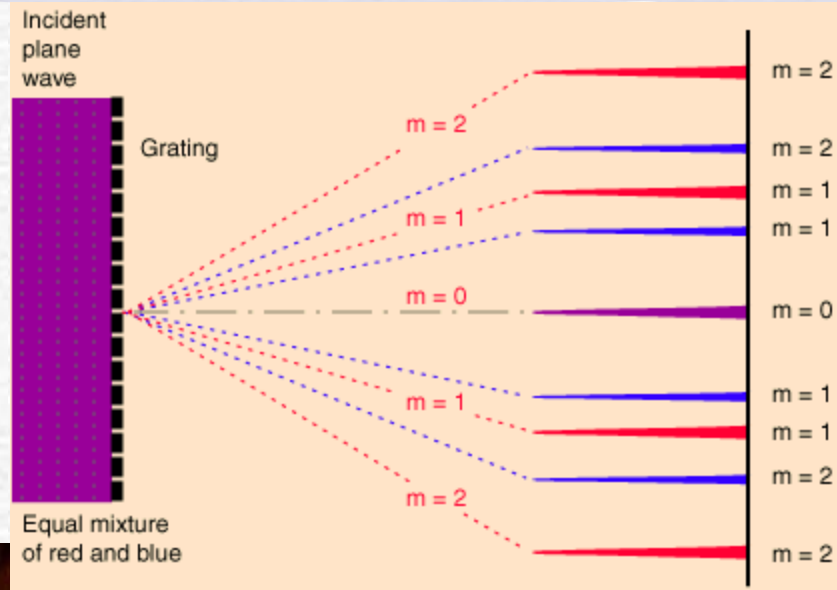
B



Rede

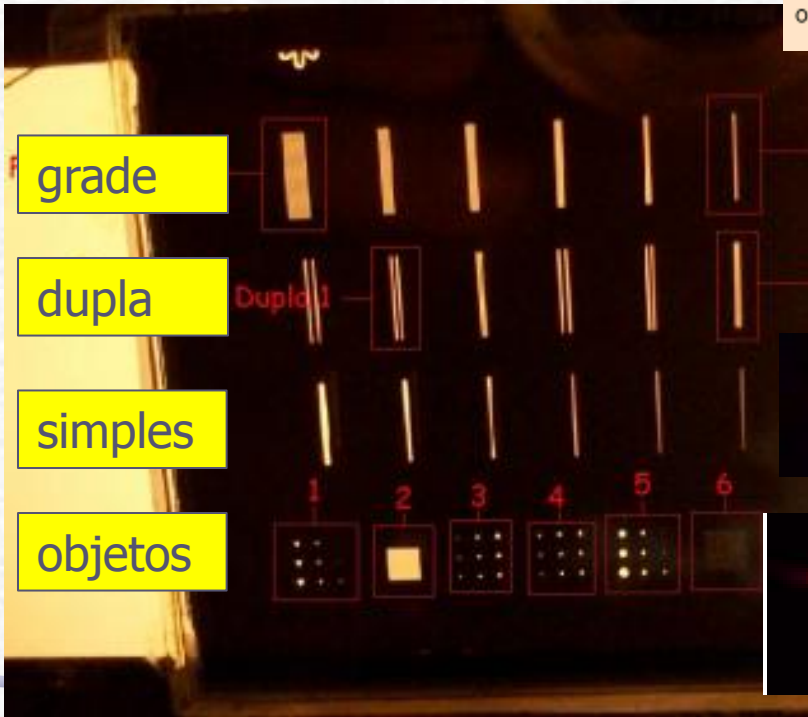


Confusão entre Fenda e Grade

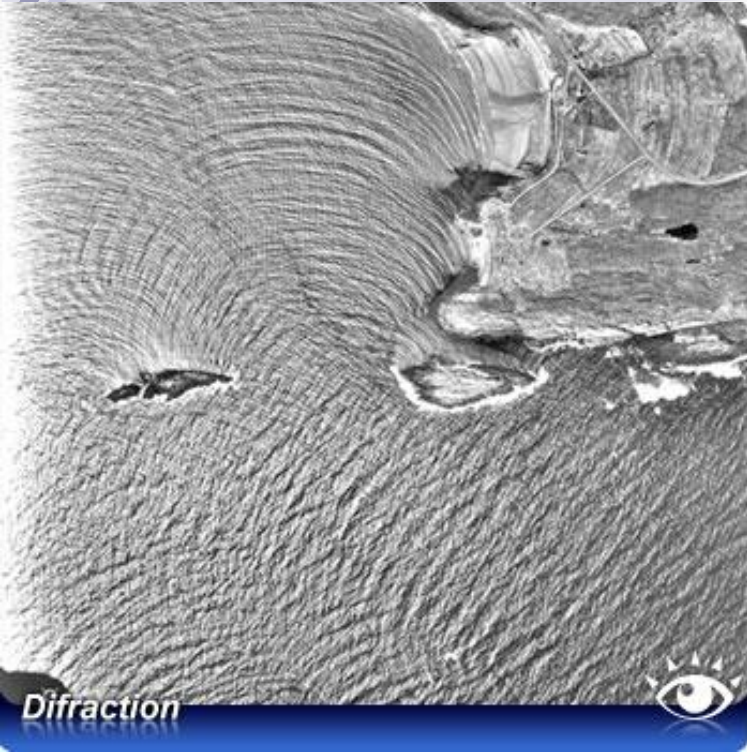


grade

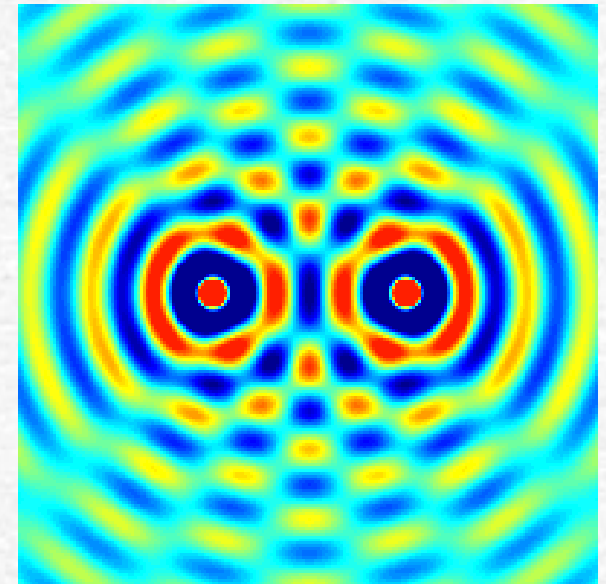
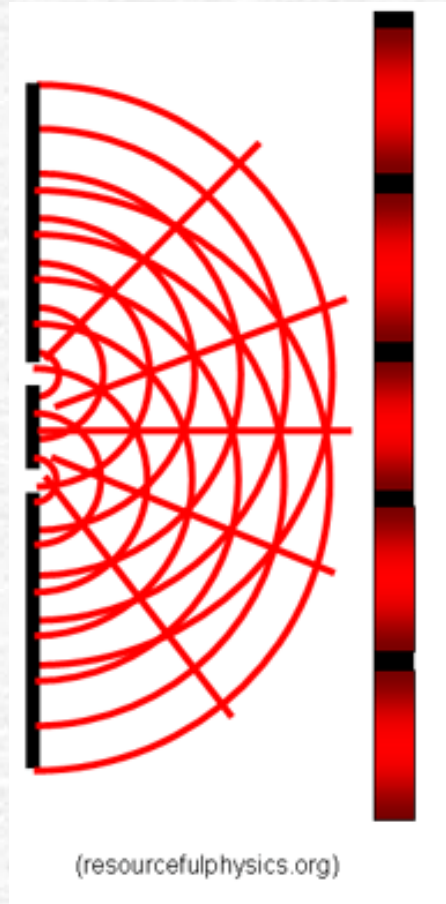
fenda



AULA DE HOJE



Difração e Interferência



Difração

- O quanto as ondas se espalham após o obstáculo ou fenda, depende da relação entre o comprimento de onda incidente (λ) e a dimensão da abertura (d):
 - <http://sampa.if.usp.br/~suaide/applets/falstad/mirror1/ripple/>

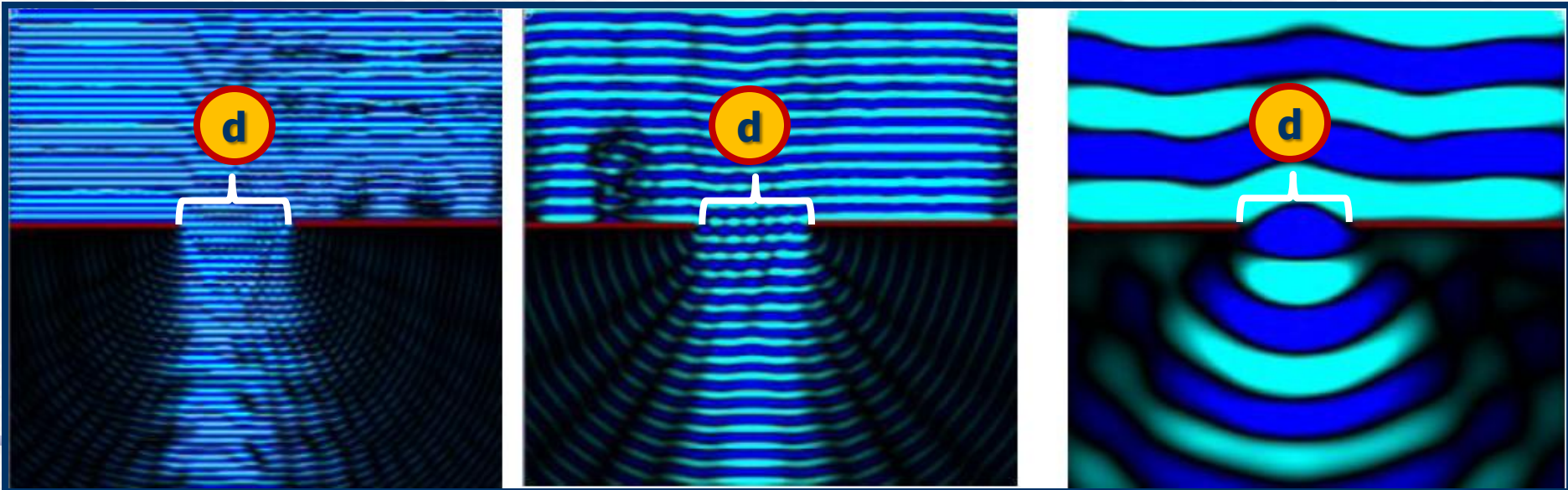
λ_1

\ll

λ_2

\ll

λ_3



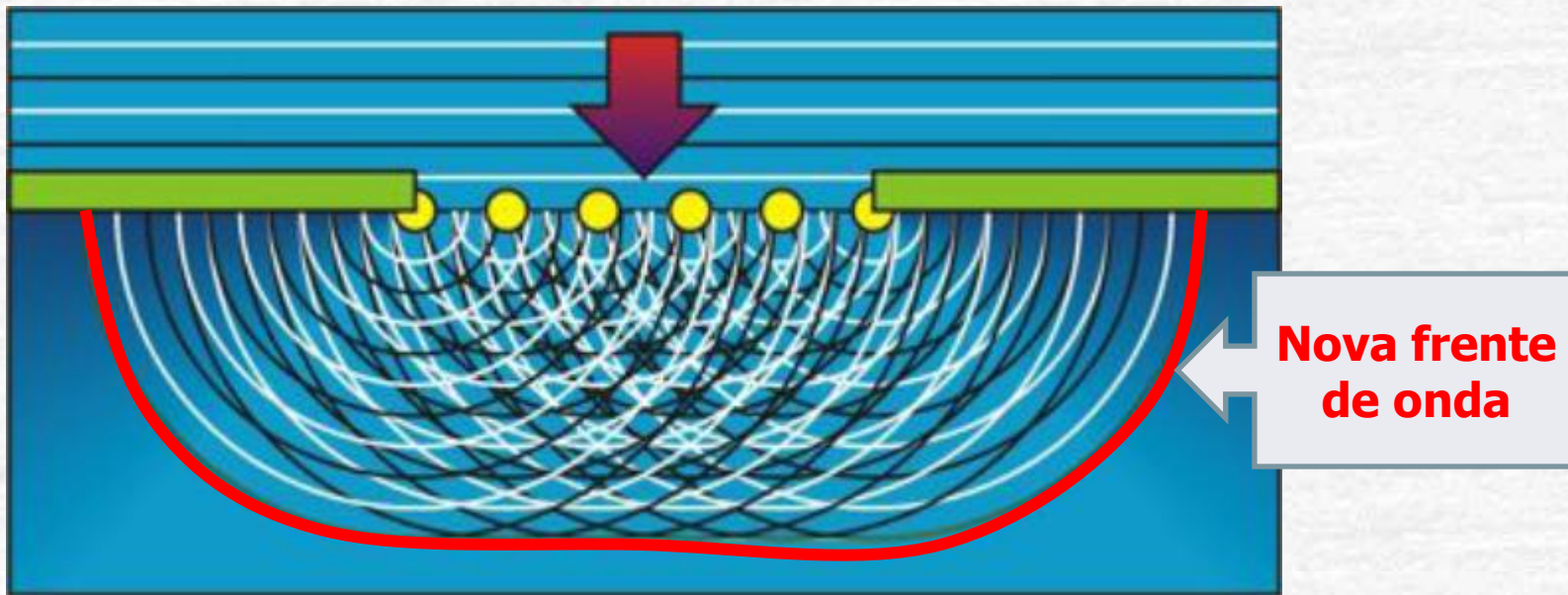
Difração: tratamento

Esse comportamento, apesar de ocorrer sempre, pode não ser notado. O **domínio da Óptica Geométrica** ou os fenômenos ópticos que podem ser explicados por essa teoria são aqueles que ocorrem em condições tais que os **efeitos da difração são desprezíveis**.

O tratamento completo da difração deve ser realizado através da teoria da eletrodinâmica quântica, entretanto, para as experiências que estamos propondo, a teoria eletromagnética clássica, que possibilita um tratamento extremamente mais simples, é mais que suficiente.

Difração: Princípio de Huygens

Princípio de Huygens. Esse princípio diz que **cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado como uma fonte secundária de ondas esféricas**.



Esse princípio **independe do comprimento** de onda e prevê o mesmo comportamento para ondas de diferentes comprimentos de onda ao encontrarem o mesmo obstáculo.

Isso não é verdadeiro.

Difração: Princípio de Huygens-Fresnel

Fresnel, resolveu o problema adicionando a esse princípio, o conceito de interferência

Princípio de Huygens-Fresnel:

- Qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária.
- A amplitude do campo elétrico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo, é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases relativas.

Ou seja, considera-se a interferência!

Difração de Fraunhofer e de Fresnel

Se o plano de observação está a uma distância grande do obstáculo que contém a abertura, o princípio de **Huygens-Fresnel** funciona bem. Essa é a **difração de Fraunhofer** ou **difração de campo distante**.

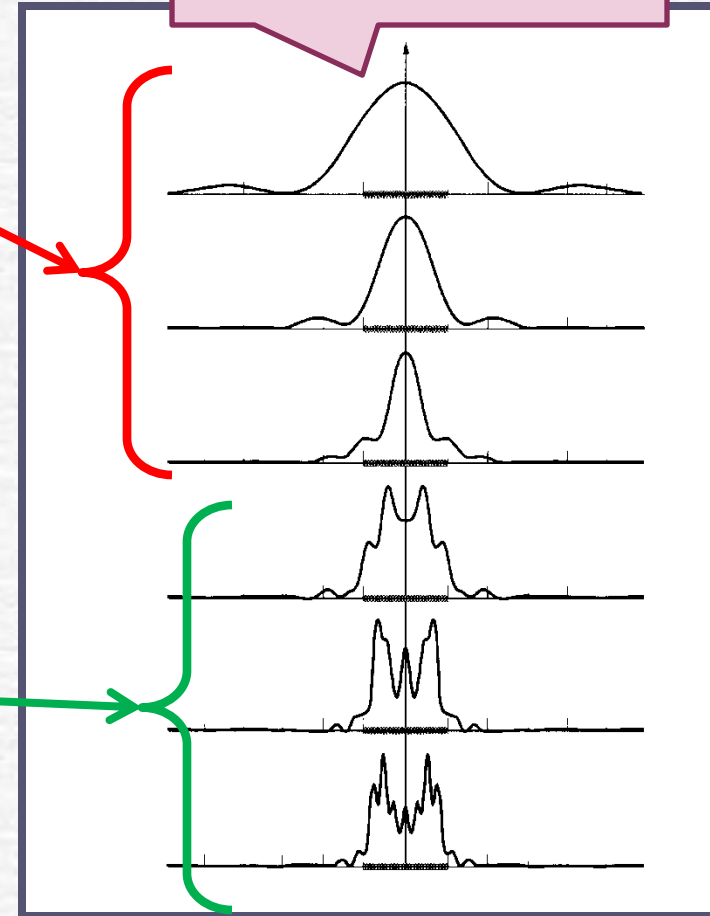
Se o plano de observação é movido para uma distância um pouco maior que a dimensão da abertura, a imagem projetada ainda será reconhecível, mas terá estruturas bem visíveis, à medida que as franjas de difração ficam mais proeminentes. Esse fenômeno é conhecido como **difração de Fresnel** ou **difração de campo próximo**.

Número de Fresnel

- $F \ll 1$ (Fraunhofer)
- $F \gg 1$ (Fresnel)

$$F = \frac{d^2}{\lambda L}$$

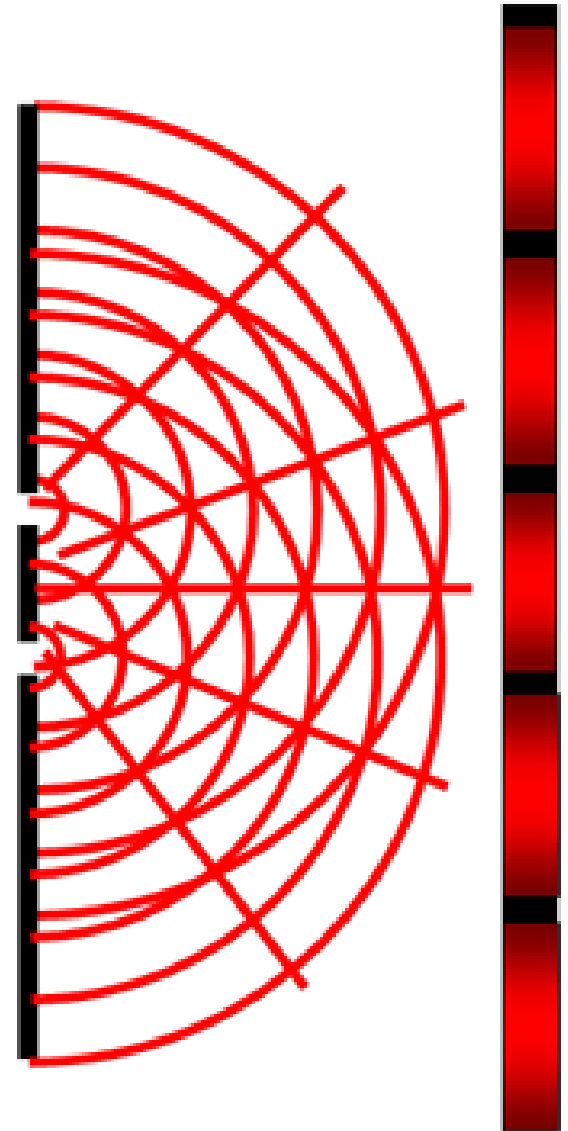
Vamos trabalhar neste limite!



Interferência

- Seja **duas fendas ideais**, separadas de uma distância ***a***.
- Como cada fenda funciona como uma fonte puntiforme radial, o campo elétrico gerado por uma delas vale:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{R} \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \delta)$$



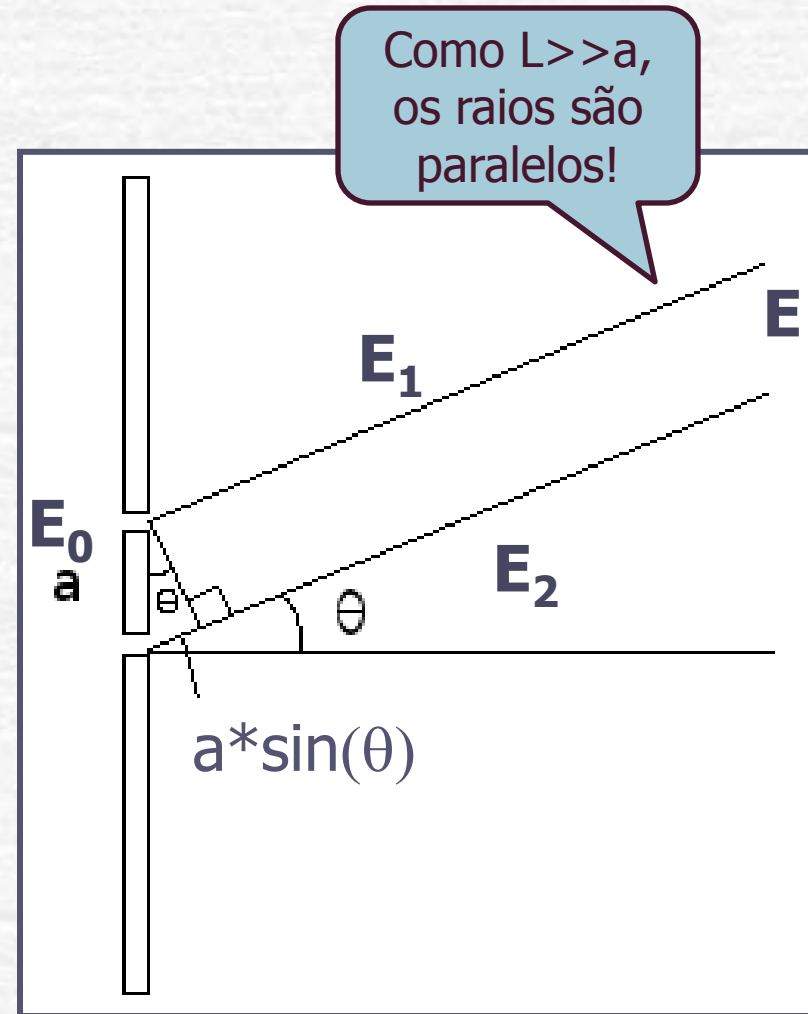
Duas fendas ideais

- Assim o campo total em um ponto distante qualquer vale:

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \\ &= \frac{\vec{E}_0}{R} \left[\begin{array}{l} \cos(kr - \omega t) \\ + \cos(kr - \omega t + \delta) \end{array} \right]\end{aligned}$$

- Sendo δ a diferença de fase entre as duas ondas, que vale

$$\delta = ka \sin \theta$$



Duas Fendas: **Interferência**

- O campo elétrico será nulo, i.e., há interferência destrutiva, quando:

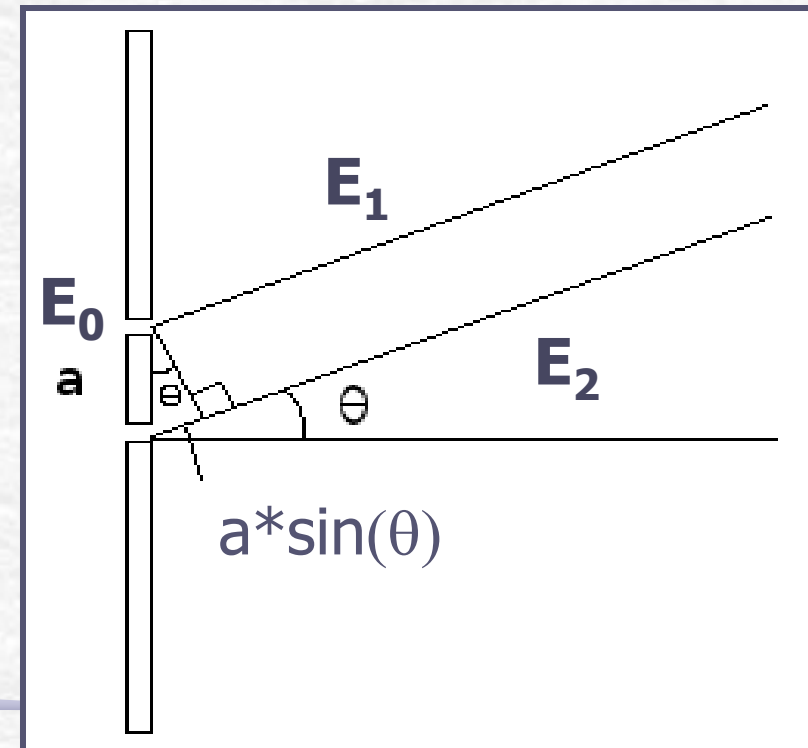
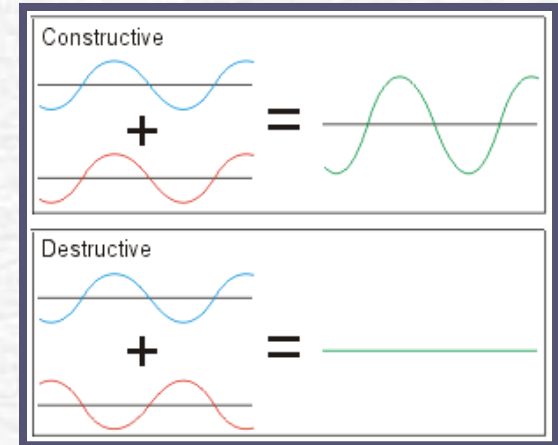
$$\delta = k a \sin \theta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$$

$$k a \sin \theta = (2m + 1)\pi, m = 0, 1, 2, \dots$$

- Ou seja, quando:

$$\frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta = (2m + 1)\pi$$

$$a \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda, m = 0, 1, 2, \dots$$



Duas Fendas: **Intensidade**

Irradiância (I) de uma fonte de ondas eletromagnéticas: é a energia média emitida por unidade de área, por unidade de tempo. É proporcional ao quadrado do campo elétrico da onda eletromagnética.

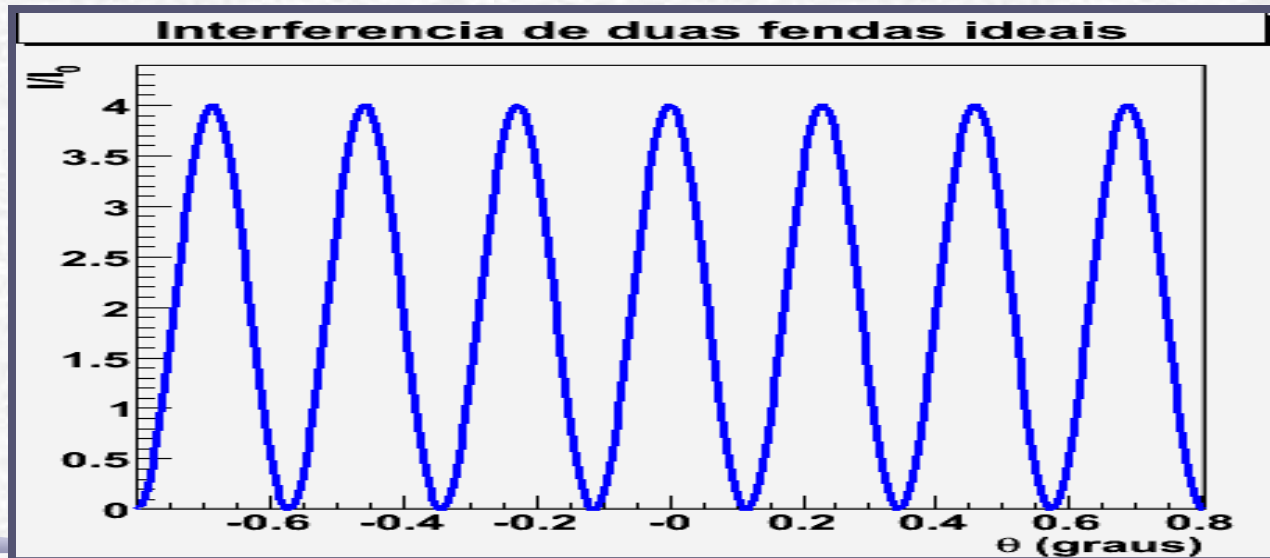
$$\begin{aligned}\vec{E}_1 + \vec{E}_2 &= \frac{\vec{E}_0}{R} \left[\cos(kr - \omega t) + \cos(kr - \omega t + \delta) \right] \\ &= \frac{\vec{E}_0}{R} \left[2 \cos\left(\frac{(kr - \omega t) + (kr - \omega t + \delta)}{2} \right) \cos\left(\frac{(kr - \omega t) - (kr - \omega t + \delta)}{2} \right) \right] \\ &= \frac{\vec{E}_0}{R} \left[2 \cos\left(kr - \omega t + \frac{\delta}{2} \right) \cos\left(\frac{-\delta}{2} \right) \right]\end{aligned}$$

Duas Fendas: **Intensidade**

- Portanto o campo e a intensidade são

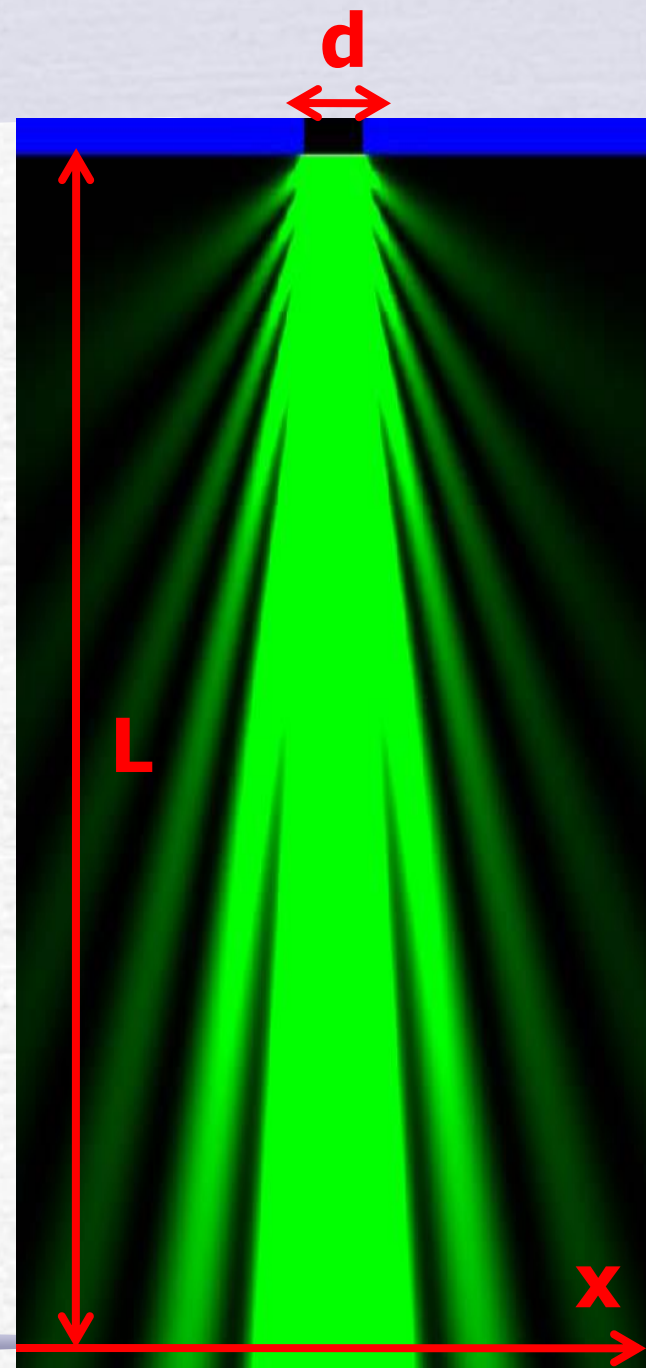
$$\vec{E} = \left(\frac{\vec{E}_0}{R} 2 \cos(\delta / 2) \right) \cos(kr - \omega t + \delta / 2)$$

$$I = 4I_0 \cos^2 \alpha, \quad \alpha = \frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta, \quad I_0 = \frac{E_0^2}{R^2}$$



Difração

- Seja uma fenda de largura d .
- Se a largura d for comparável com o comprimento de onda λ , ocorre difração.
- Se colocarmos um anteparo a uma distância L , *muito maior que d* , qual é a intensidade luminosa ao longo do eixo x ?



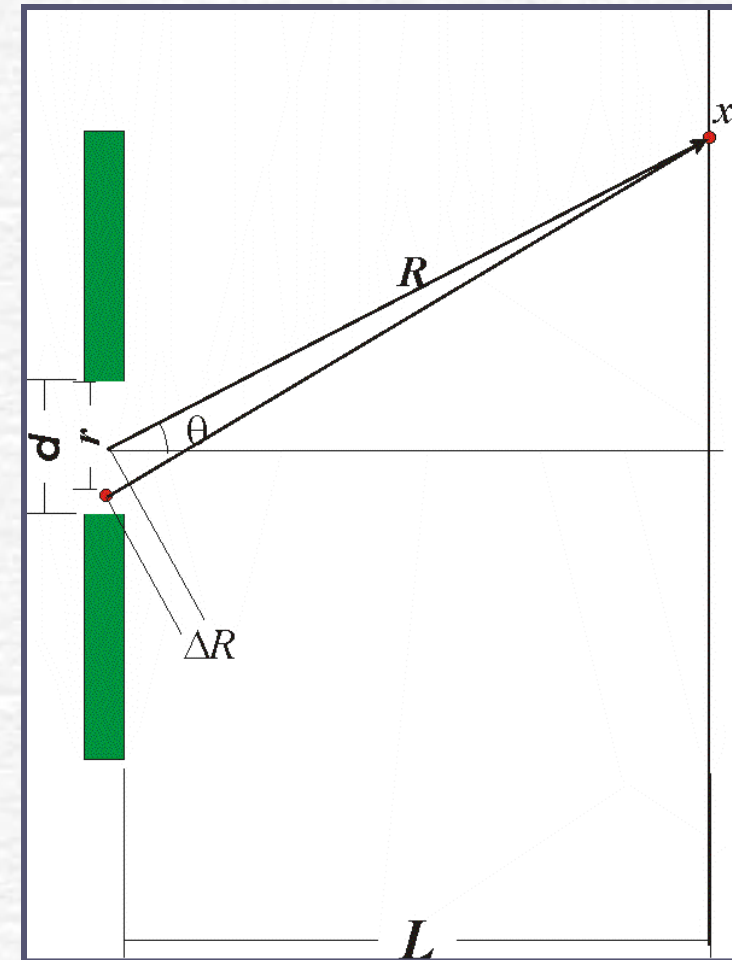
Fenda Simples

Neste caso consideramos **cada pedaço** da fenda como uma fonte pontual.

- Seja um pedaço qualquer da fenda, distante de r de uma das extremidades
- Seja uma onda de frequência f e comprimento de onda λ .
- Em um instante t qualquer a intensidade da onda no ponto x vale:

$$\vec{E}(r) = \frac{\vec{E}_0}{R} \cos(kR - \omega t + \delta)$$

$$\delta = k\Delta R = kr \sin \theta$$



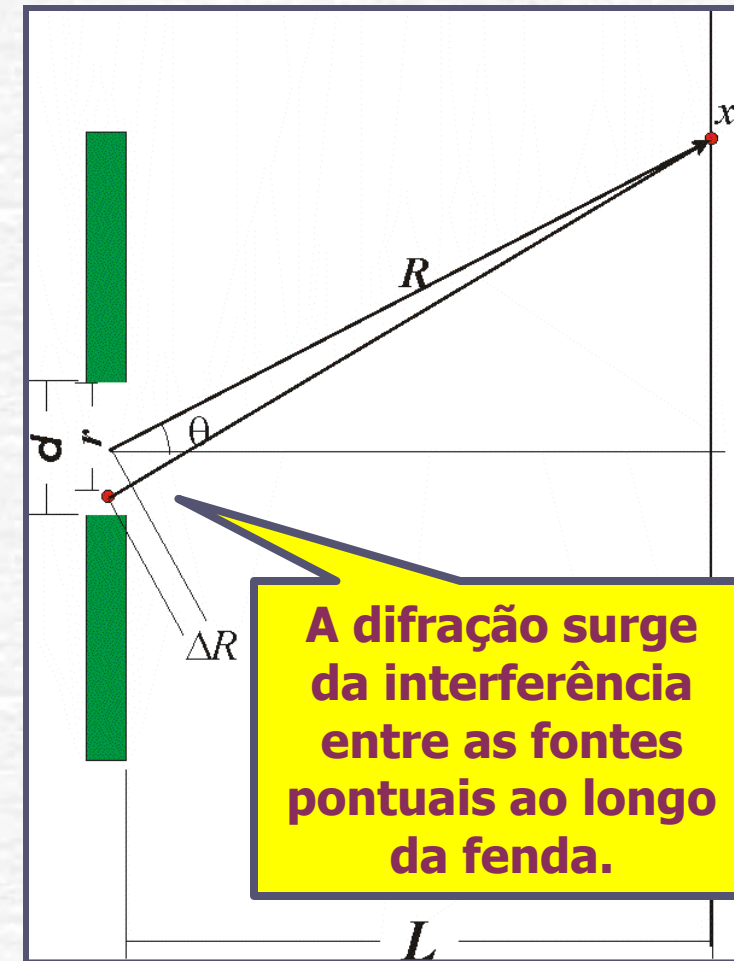
Fenda Simples: Difração

- Para saber o campo total, é preciso somar todos os pedaços da fenda:

$$\vec{E}(x) = \int_{-d/2}^{d/2} \vec{E}(r) dr$$
$$\propto \left[\frac{\sin(kR - \omega t + kr \sin \theta)}{k \sin \theta} \right]_{-d/2}^{d/2}$$
$$\propto \frac{\sin(\beta)}{\beta}, \text{ onde : } \beta = k \frac{d}{2} \sin \theta$$

- Assim a intensidade fica:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2, \quad \beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$$



Fenda Simples: **Intensidade**

- A intensidade para o caso da fenda simples também apresenta mínimos:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2, \quad \beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$$

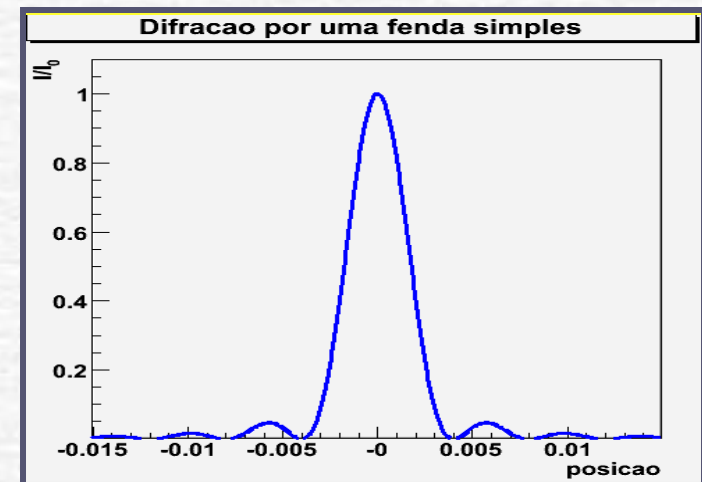
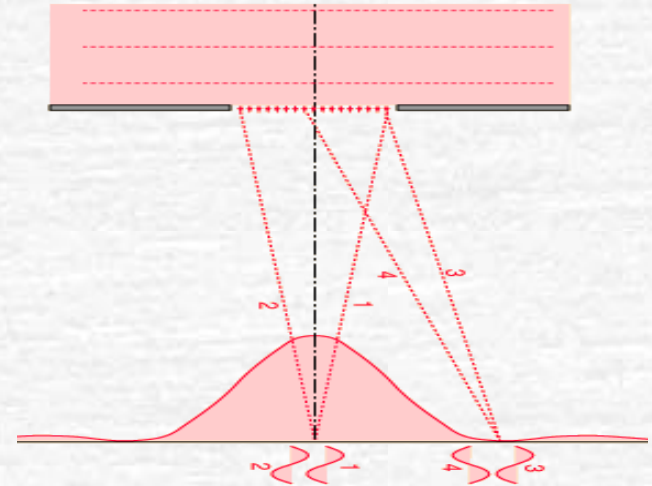
- Que ocorrem quando:
 $\sin \beta = 0 \Rightarrow \beta = \pm m\pi, m = 0, 1, 2, 3, \dots$

- Ou seja:

$$d \sin \theta = \pm m\lambda, m = 1, 2, 3, \dots$$

- Para $m=0$ temos um máximo pois:

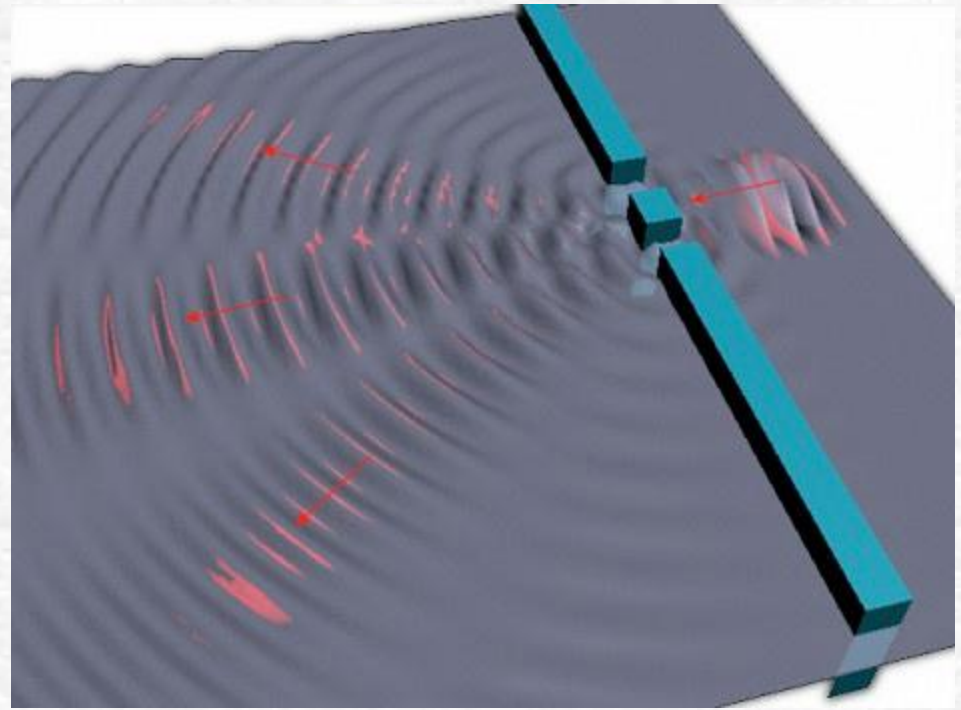
$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$$



Fenda Dupla REAL

- Vamos voltar ao caso da fenda dupla e considerá-la real, isto é, vamos considerar que cada abertura tem uma dimensão não pontual.
- Seja uma fenda dupla de separação, centro a centro, ***a***, e largura de fenda ***b***.
- Além da difração em cada fenda separadamente, temos a interferência entre as duas fendas.

$$I = I_{\text{difrac}} * I_{\text{interf}}$$

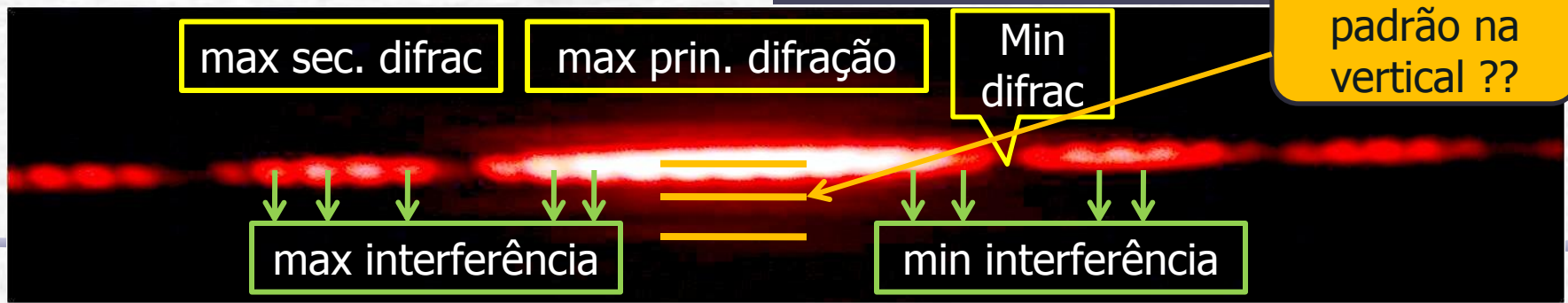
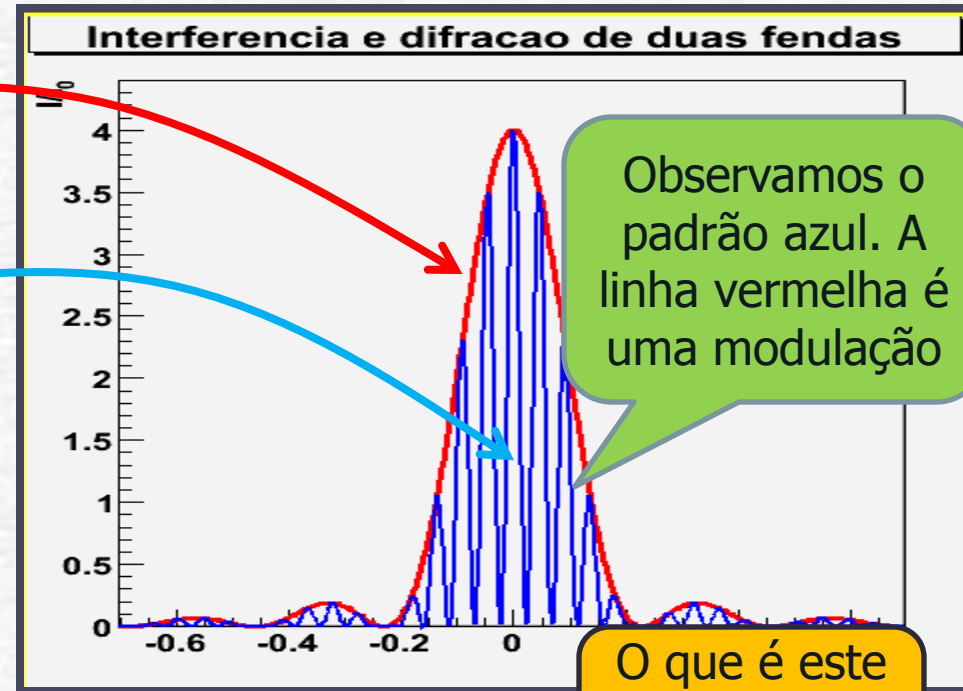


Fenda Dupla: Difração e Interferência

- Assim, sendo a distância entre as fendas e d a largura de cada fenda, podemos escrever que:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \cos^2 \alpha$$

$$\beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \quad \alpha = \pi \frac{a}{\lambda} \sin \theta$$



Difração em duas dimensões

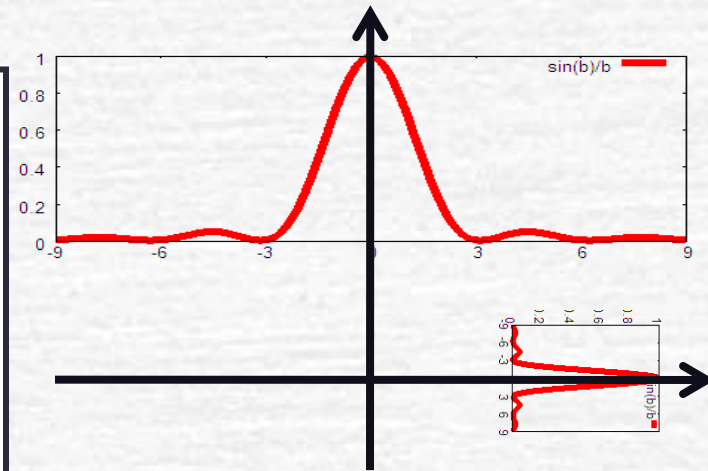
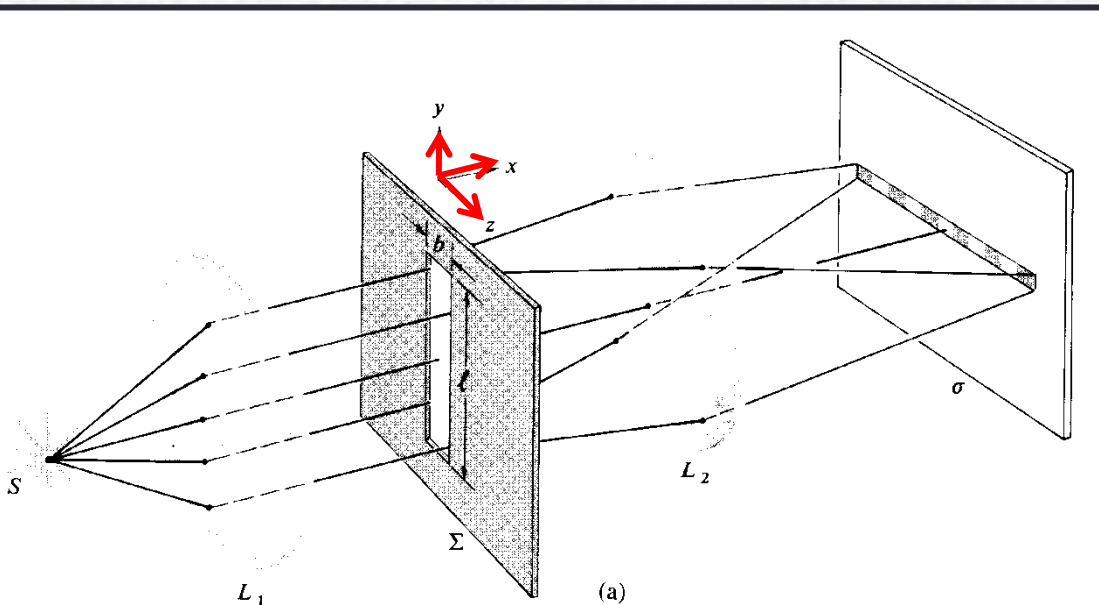
Uma fenda real, tem um comprimento D e uma largura d , e a difração acontece nas duas direções! Contudo, ao longo do comprimento, a intensidade cai muito rapidamente pois $D \gg \lambda$ enquanto que $d \sim \lambda$.

Como:

Então:

$$\beta = \frac{\pi D}{\lambda} \operatorname{sen} \theta \quad \beta \gg 1 \rightarrow \frac{\operatorname{sen} \beta}{\beta} \ll 1$$

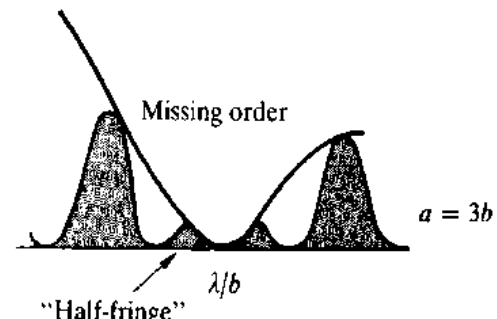
Na direção do comprimento, a intensidade é muito pequena para valores de $\beta > 0$.



Difração de fenda dupla

Na prática, uma fenda real, com comprimento e largura, só difrata "na largura" pois é o tamanho que é da ordem do comprimento de onda!

O padrão de difração/interferência de uma fenda dupla aparece no plano x/z , perpendicular ao comprimento da fenda



Características do objeto

Como vimos, a razão entre as dimensões do objeto e comprimento de onda determinam o padrão de difração.

- A partir da separação entre os mínimos da figura de difração pode-se calcular a largura da fenda.
- A partir da separação entre os máximos (ou mínimos) do padrão de interferência pode-se calcular a separação entre elas.

Nos dois casos, é preciso conhecer a **distância entre as fendas e o anteparo** e que as condições para a ocorrência da **difração de Fraunhofer estejam satisfeitas**.



Difração: orifício circular

- Da mesma forma que para a fenda simples, podemos observar figuras de difração para um orifício circular de diâmetro a . Neste caso, os mínimos de intensidade correspondem à:

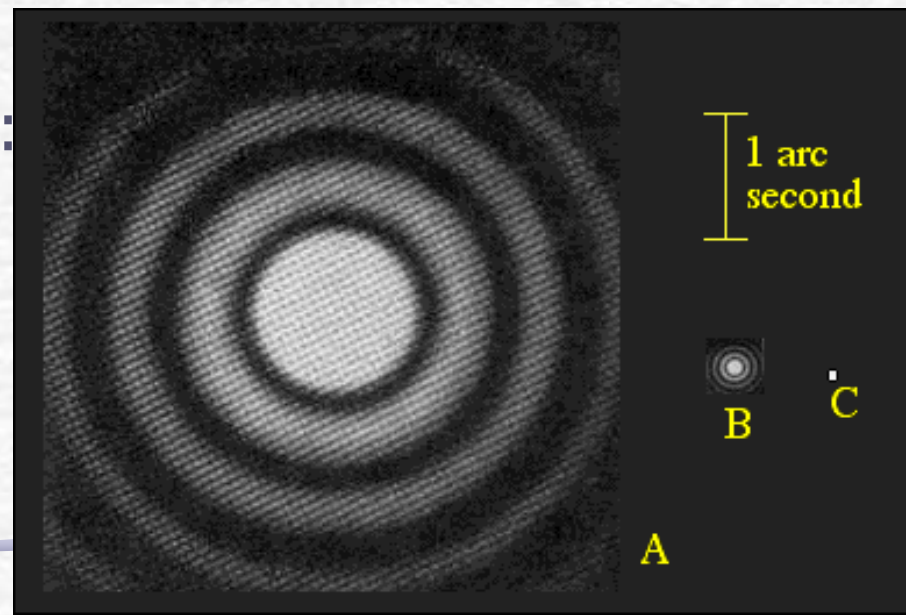
$$\frac{\text{sen}\theta}{\lambda/a} = 1,22; \quad 2,23; \quad 3,24; \quad \dots$$

Imagens de uma estrela com telescópios de aberturas diferentes:

A=espelho de 10cm de diâmetro

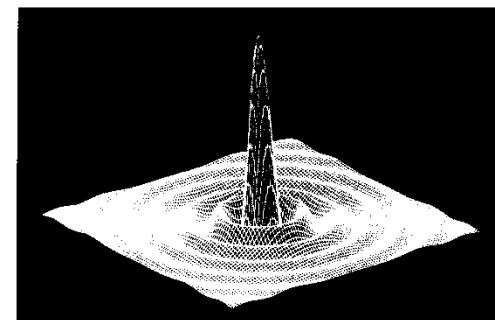
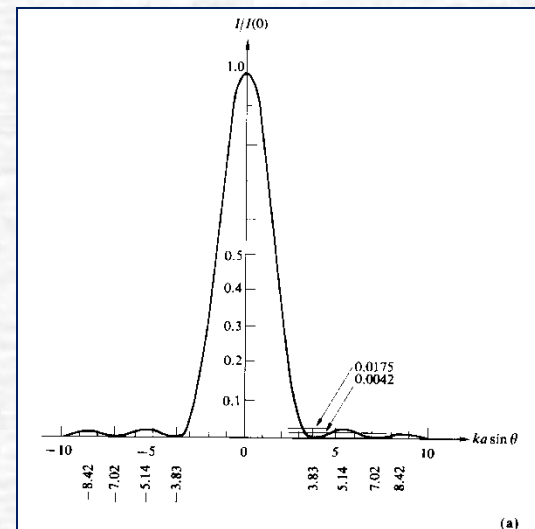
B= espelho de 1m de diâmetro

C= espelho de 10m de diâmetro

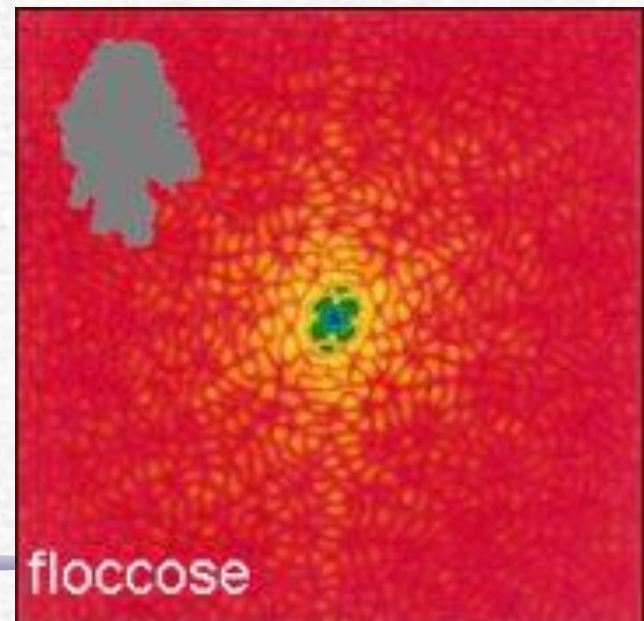
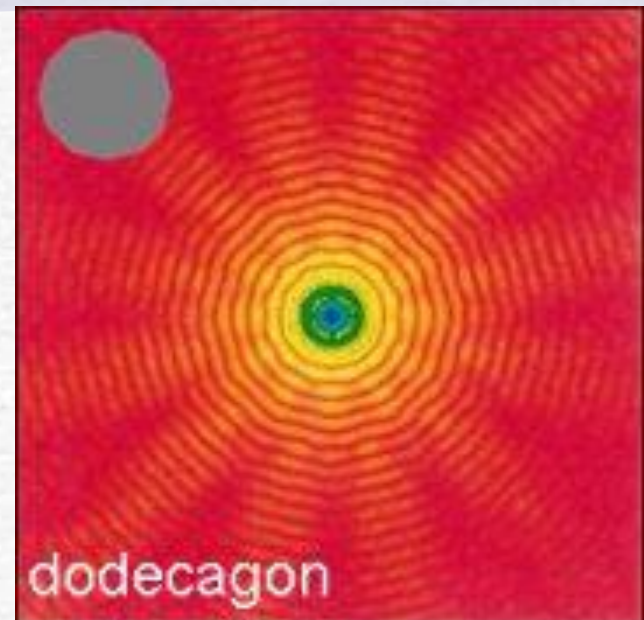
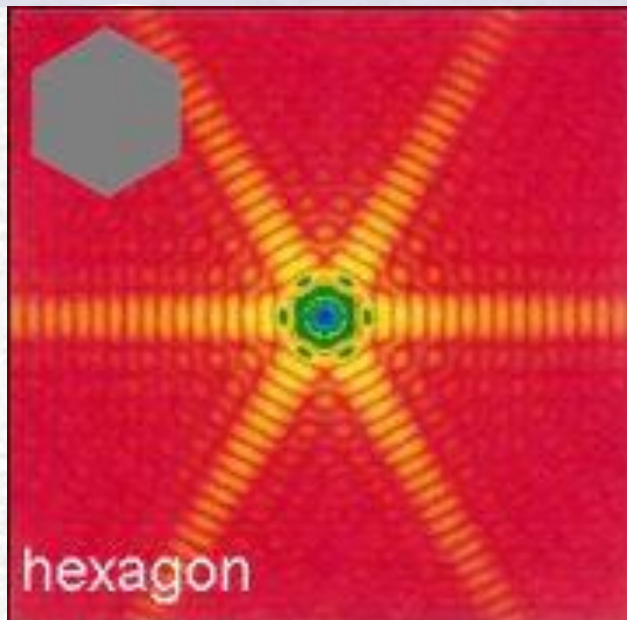
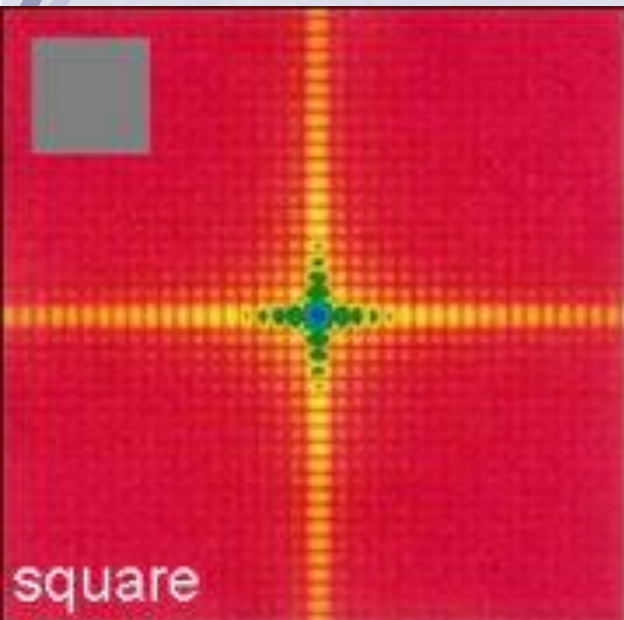


Difração: orifício circular

- A imagem de uma fonte pontual formada por uma lente convergente, totalmente livre de aberrações, nunca é um ponto, ela é o máximo principal correspondente a algum tipo de difração.
- Os máximos, neste caso, são chamados de **discos de Airy**, porque foi Sir George Biddell Airy quem primeiro derivou a fórmula que descreve a distribuição de intensidade para a abertura circular.
- **E aí está incluído o seu olho! Portanto o que se enxerga é sempre uma figura de difração.**



Difração orifícios de formas diversas



Para Esta Semana

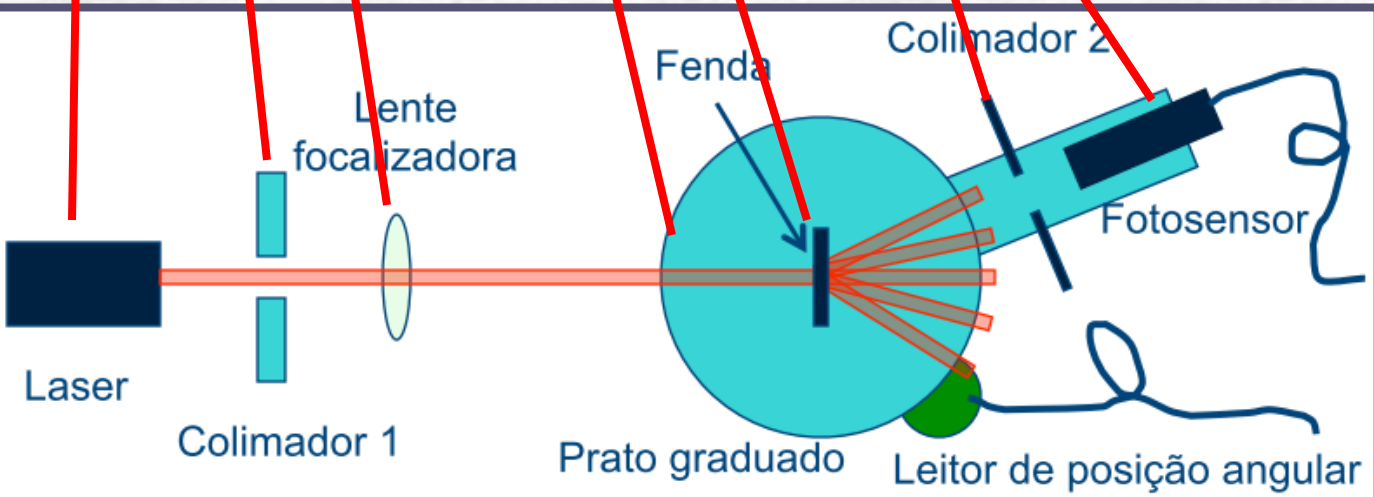
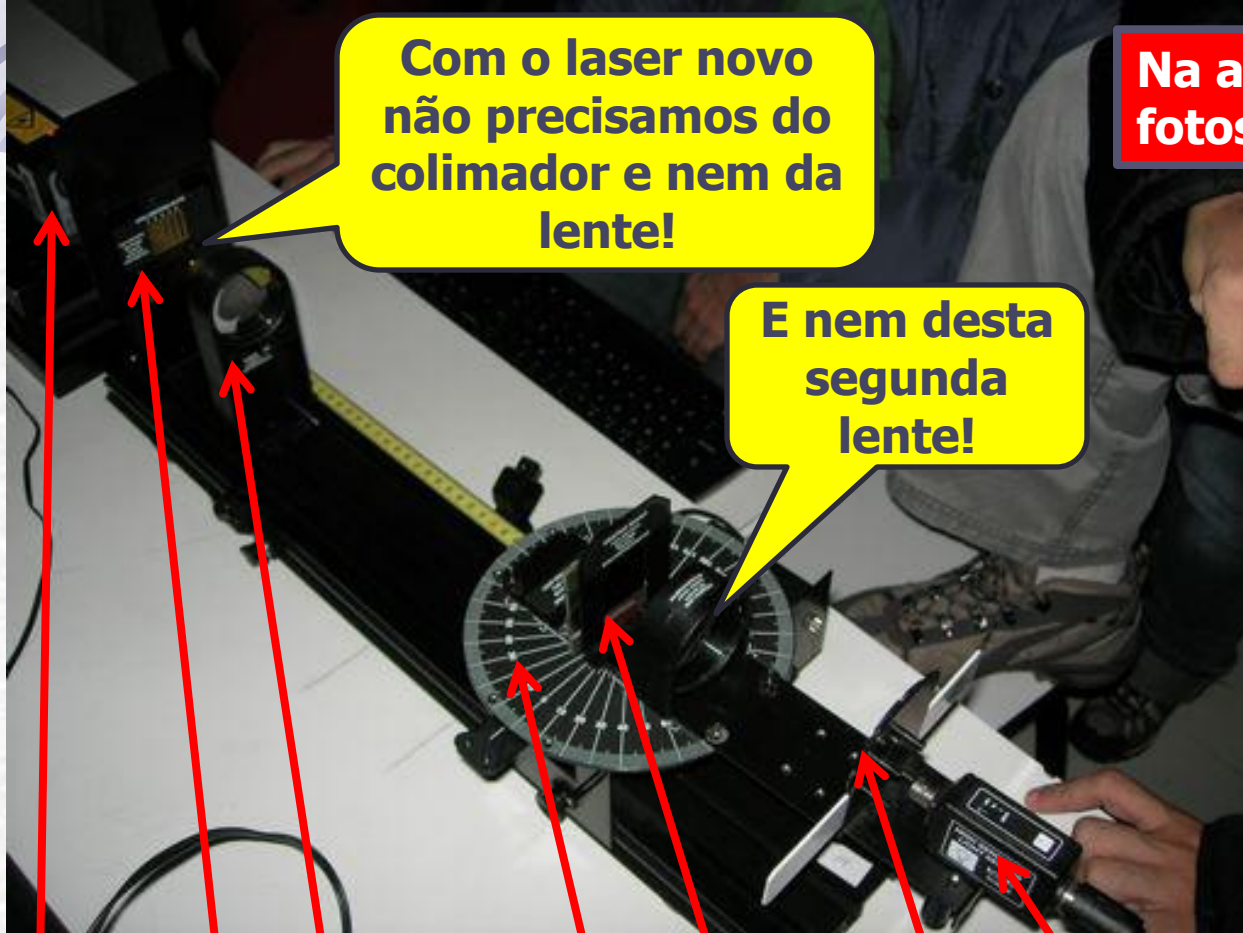
Estudar a difração e interferência da **Fenda simples**:

- ❖ Medir as intensidades da figura de difração da fenda simples com o espectrofotômetro.
- ❖ Com $g=1$ dá pra medir todos os picos, mas os secundários ficam muito pequenos
- ❖ Com $g=10$ satura o máximo central mas os outros ficam mais visíveis.
- ❖ Qual é melhor usar? Dá para juntar as duas medidas ??
- ❖ Superpor a curva teórica à experimental
- ❖ Da distância entre os mínimos nesse espectro obtenha a largura da fenda e compare com o valor nominal.
- ❖ Obter a razão entre **as amplitudes dos campos elétricos** de cada máximo secundário e a do máximo principal
- ❖ Comparar as razões obtidas com os coeficientes da transformada de Fourier de uma onda quadrada. (vamos ver o porque disso na próxima aula)

Com o laser novo não precisamos do colimador e nem da lente!

Na aula da Profa. Eloisa as fotos estão atualizadas!

E nem desta segunda lente!



O espectrofotômetro

Fotosensor

Colimador 2

Retirar esta segunda lente do arranjo

Fendas

Mover devagar, sem fazer força
1-2 graus/segundo

Movimento manual

Leitor de posição

A fenda escolhida deve estar bem centralizada no prato para garantir a correta medida angular

Fotosensor

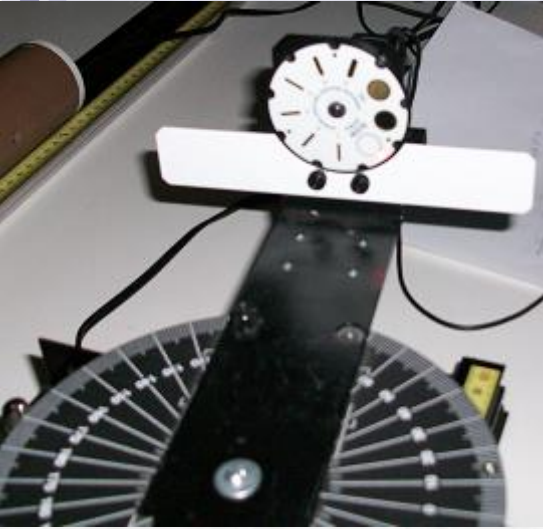
Colimador 2

A largura da abertura do colimador 2 define a precisão angular na qual a medida é feita. Quanto menor a abertura, maior é a precisão angular

Espectrofotômetro: funcionamento

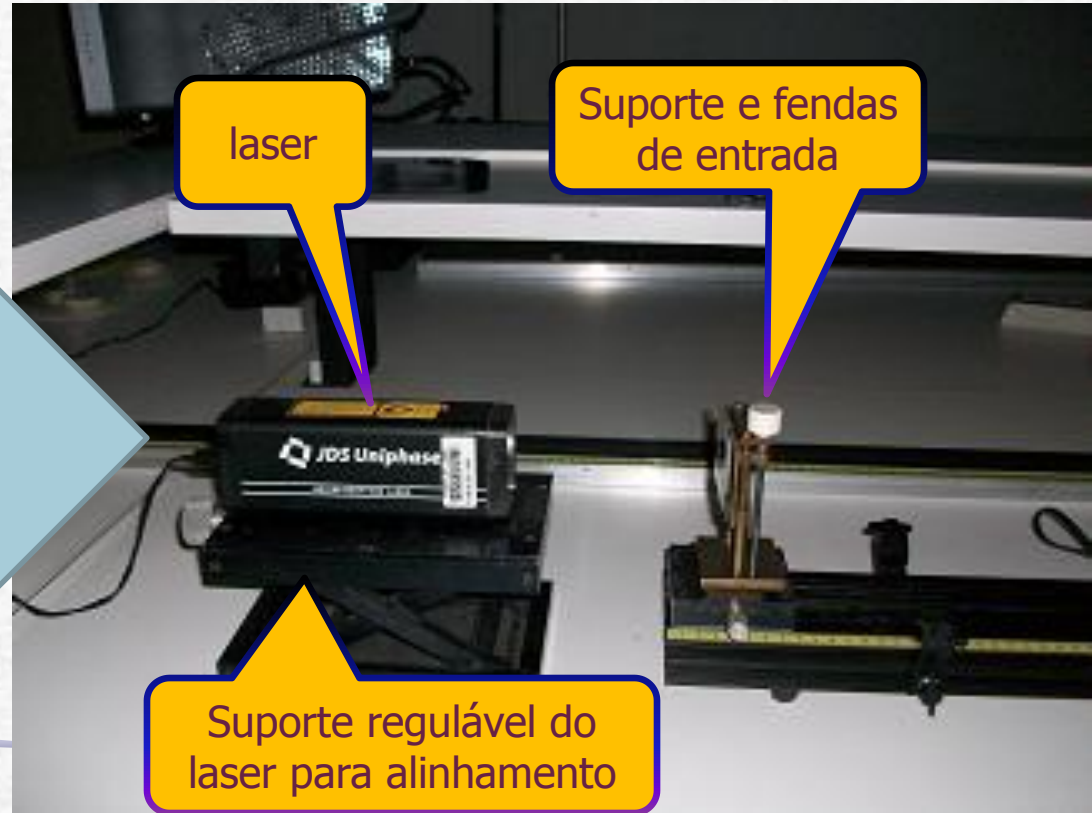
- Esse instrumento funciona com o **DataStudio**:
 - Ligue o **light sensor** no **canal A**
 - Ligue o **rotary motion sensor** (é só clicar)
- Clique no **rotary motion** e abre-se a janela do **set up**:
 - ajuste a resolução do **rotary motion** para **1440 divisão/grau**
 - ajuste a frequência de amostragem para **50Hz**
- Coloque o ganho do sensor ótico igual a **1**. (No próprio sensor).
- Com a função **Calculate** definir o ângulo correto:
 - Quando o disco calibrado dá uma volta, o pino gira 60 voltas. Como o instrumento dá o ângulo do pino, o ângulo correto é a leitura do instrumento(ângulo do pino) dividido por 60.
 - No **Calculate** definir **ângulo=x/60**.
- Comece as medidas movimentando o **light sensor** de forma contínua e pausada.

Espectrofotômetro: funcionamento



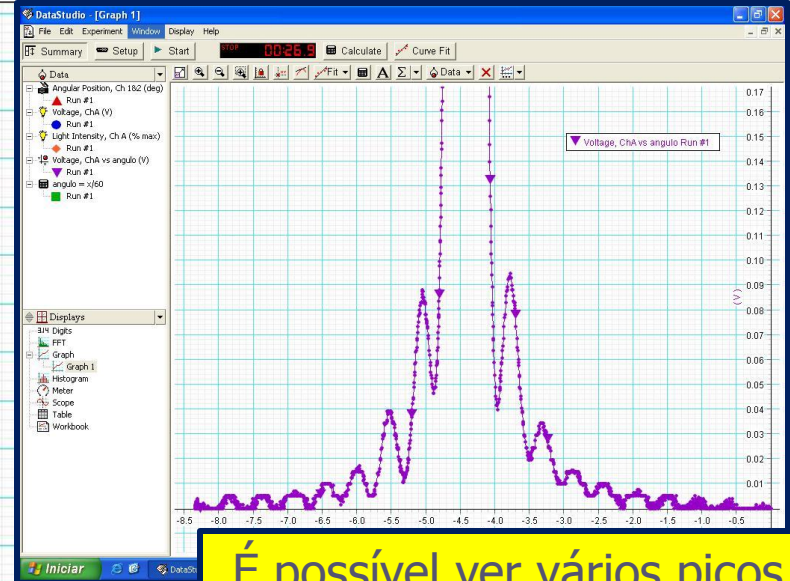
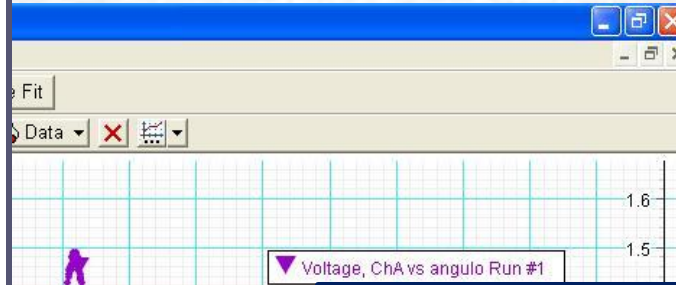
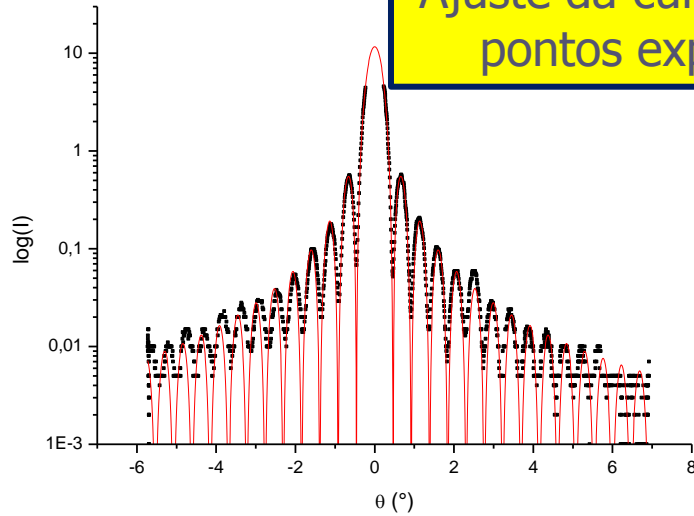
Use a fenda de saída número **1** (a mais estreita), pois queremos a melhor resolução angular possível..

- Use a segunda **fenda simples** mais larga do slide de fendas de entrada.
- Usar o slide de fendas de alumínio, na entrada (ele é prateado).
- O alinhamento do laser é muito importante, se não estiver bem alinhado o espectro não fica simétrico.



Dados

Ajuste da curva teórica aos pontos experimentais



É possível ver vários picos.

