

Física Experimental IV – FAP214

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

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

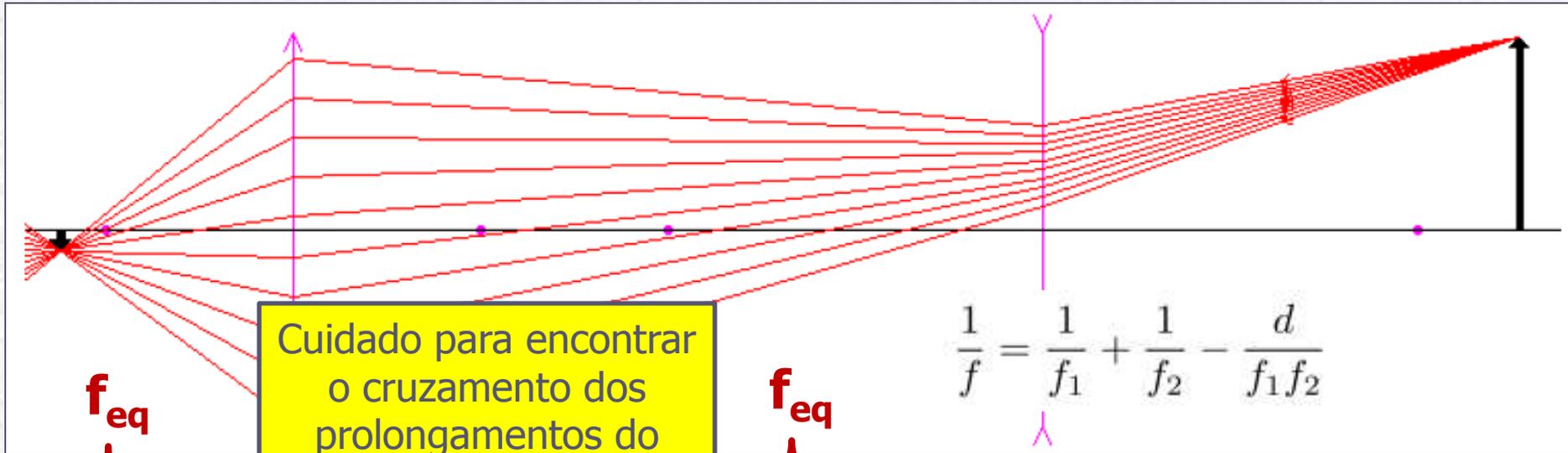
Aula 3, Experiência 2

Aumento do Diâmetro do Laser E Difração

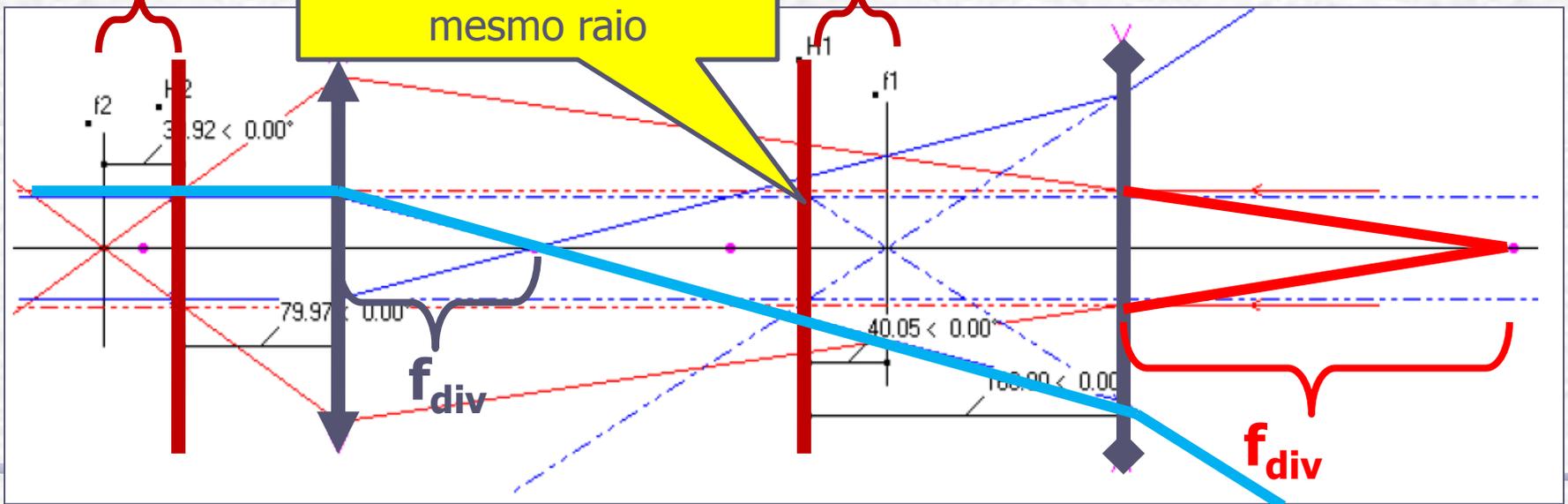
Para entregar – Parte 1 (simulação)

- No **programa RayTrace** simule uma associação de **2** lentes delgadas:
 - **1** divergente de distância focal **-100mm**
 - **1** convergente de distância focal **200mm**
 - Distância entre elas **400mm**
- Depois:
 - Identifique os planos principais e os focos da associação (os focos são medidos a partir de onde?).
 - Compare com os valores previstos pelo formalismo matricial.
 - Compare com os valores obtidos pelos seus colegas.

Simulação



Cuidado para encontrar o cruzamento dos prolongamentos do mesmo raio



Simulação: $f_1 = -100\text{mm}$, $f_2 = 200\text{mm}$, $d = 400\text{mm}$

$f_{eq} = 66.7\text{mm}$ $h_1 = 133.3\text{mm}$ $h_2 = -266.7\text{mm}$

	F_equivalente (mm)		h1 (mm)	h2 (mm)
H1	67.00		-133.00	266.00
H2	66.6 (2)	66.6 (2)	133.24 (10)	-266.47 (10)
H3	40.05	39.92	-79.97	160
H4	-69.2 (20)	64.6 (20)		
H5	67.13	67.13	132.61	271.03
H6				
H8	66.6		133.3	-267.7
H9				
H10	66.07		132.59	264.62
H11	66.27		133.25	266.49
	66.7 (11)		133.0 (3)	-267.1 (22)

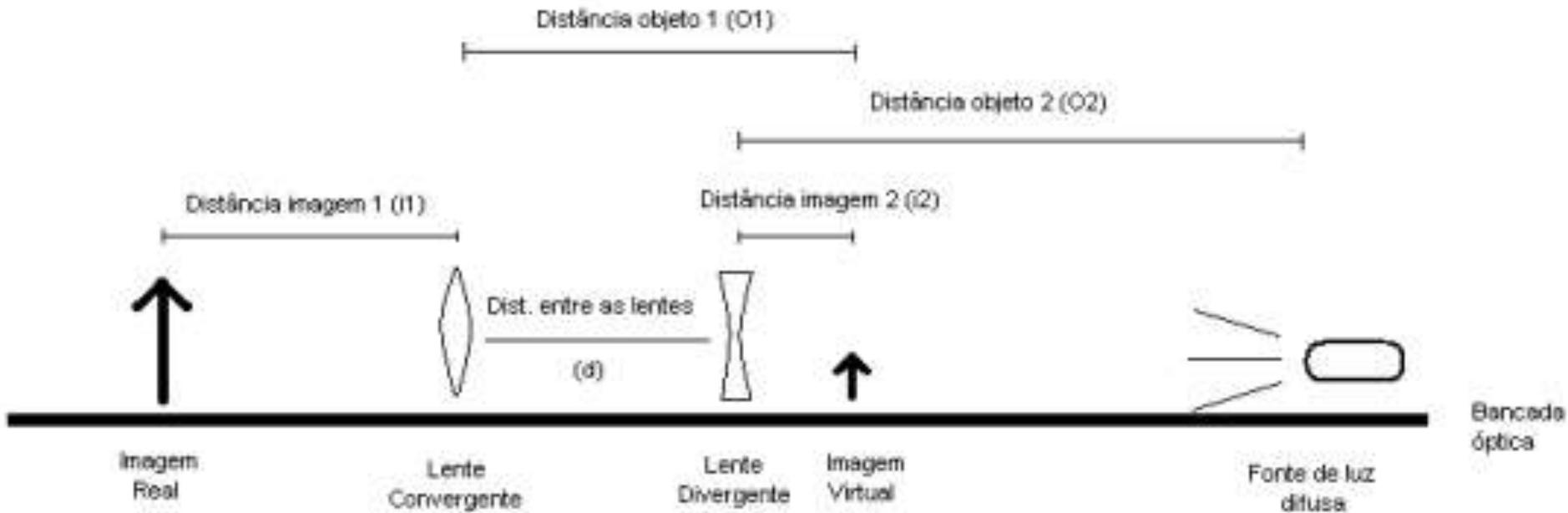
Para entregar – Parte 2 (medidas)

- Determine a distância focal de uma lente divergente desconhecida:
 - Planeje a medida, a partir dos resultados anteriores, antes de ir no laboratório!
 - Você pode ver a imagem da lente divergente? Experimente olhar...
- Lembre-se você sabe da semana anterior que pode considerar as lentes delgadas

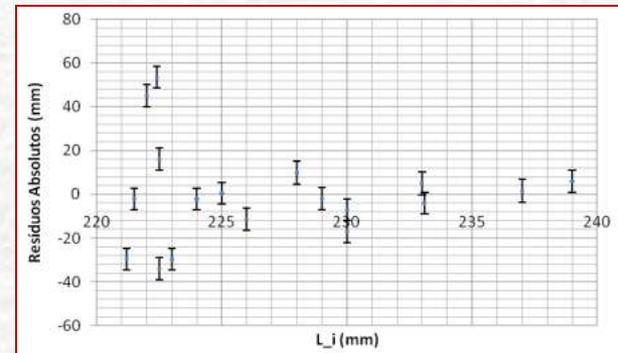
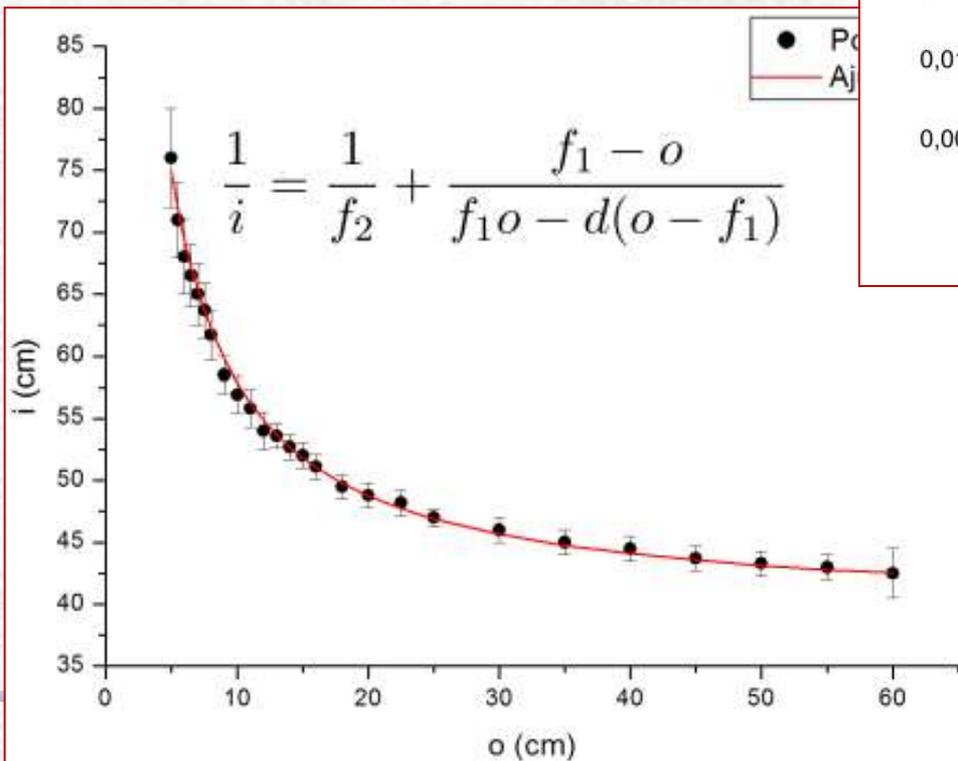
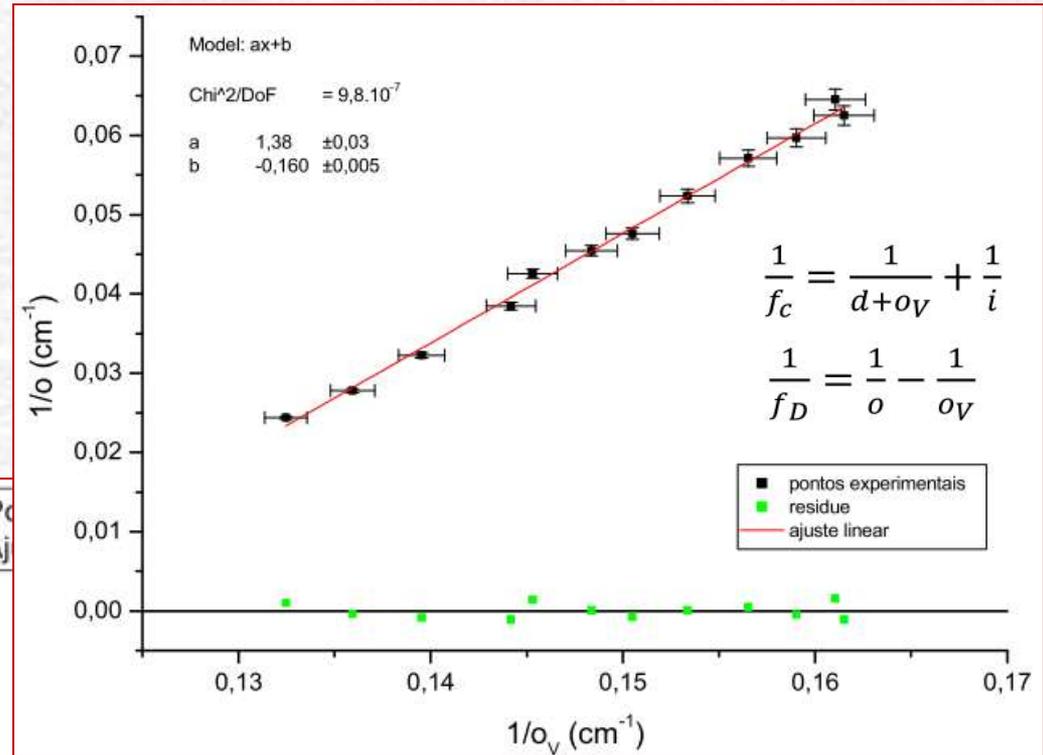
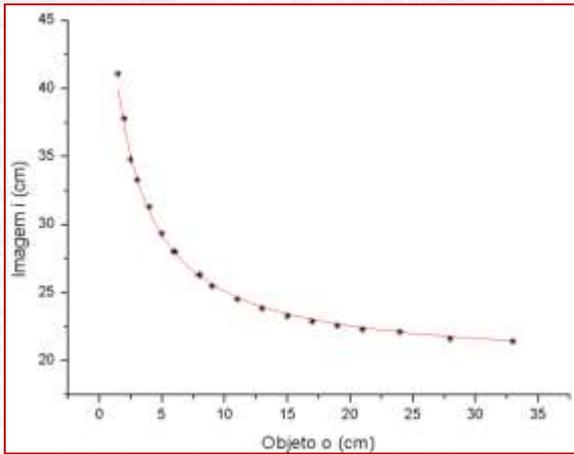
Eq. de Gauss

- A imagem virtual da lente divergente é o objeto da lente convergente.

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{d - d'} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{d - (f_2^{-1} - o^{-1})^{-1}}$$



Ajuste experimental



Medidas do foco da divergente

	F_div (mm)
H1	-62.5 (20)
H2	-81.7 (8)
H3	-82.2 (12)
H4	-94.8 (18)
H5	
H6	120 (30)
H8	-51.5 (98)
H9	
H10	-106 (14)
H11	-84.4 (25)

Só haviam 2 tipos de lente divergente: -94mm ou -105mm

Programação da Exp. 2

- Aula 1: óptica geométrica
 - Medidas com lentes convergente
- Aula 2: óptica geométrica
 - Medidas com lentes divergente
- Aula 3: laser
 - Aumento do diâmetro do laser e figuras de difração
- Aula 4: difração
 - Espectrofotômetro e transformada de Fourier
- Aula 5: computador ótico
 - Iluminar um objeto com o Laser, aplicar um filtro na transformada de Fourier e recompor a imagem filtrada
- Aula 6: ImageJ
 - Tratamento de imagem no computador

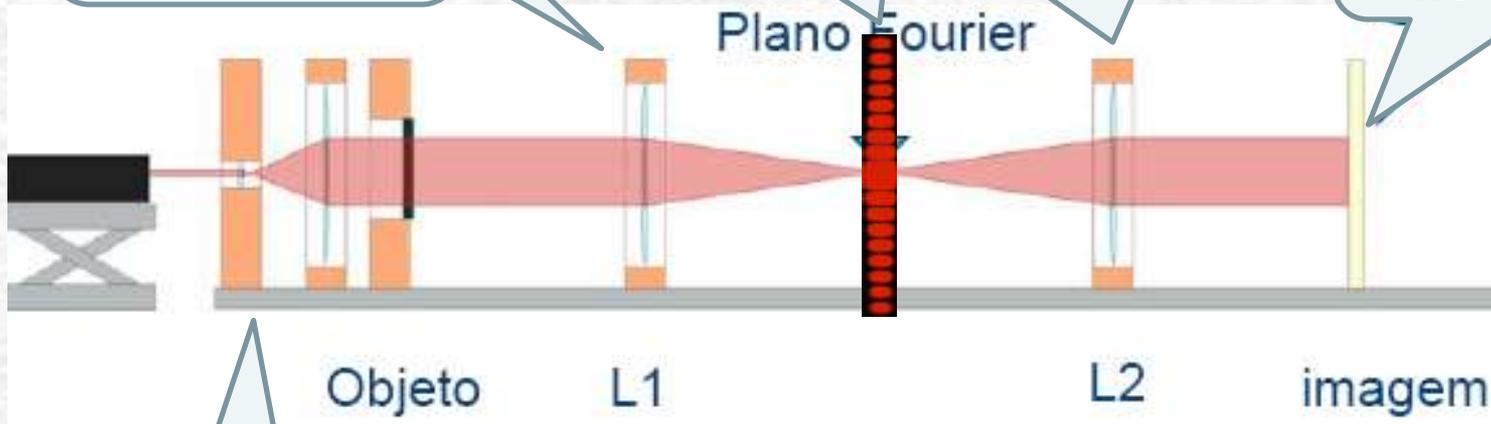
Como funciona?

A 1ª lente faz a transformada de Fourier

... que aparece no plano de Fourier e pode ser filtrada

A 2ª lente faz a transformada inversa

Projetamos a imagem filtrada no anteparo



o laser ilumina o objeto

COMPUTADOR
ÓTICO



Experiência II - Óptica Geométrica e Física

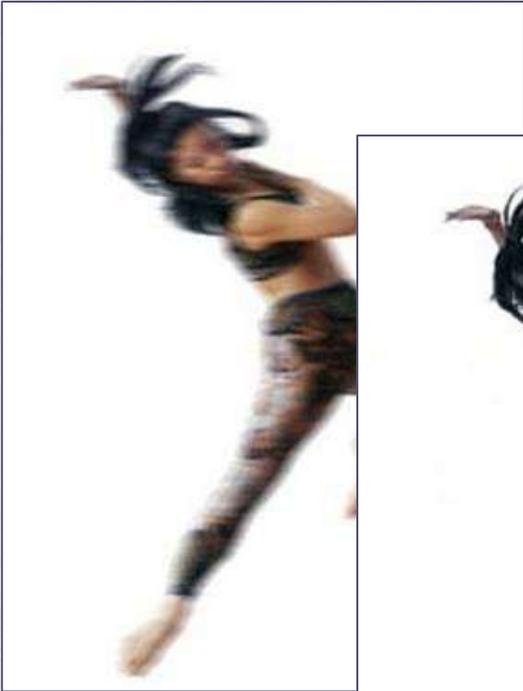
- Objetivos – Estudar alguns fenômenos de óptica física e geométrica
 - Estudo de lentes simples, sistemas de lentes e construção de imagens
 - Interferência e difração
 - Computador óptico
 - Análise de Fourier bi-dimensional
 - Processamento de imagens

Processamento de Imagem

- Processamento de imagem é a técnica de alterar a imagem de maneira controlada:
 - aumentar ou diminuir a nitidez,
 - aumentar ou diminuir contraste,
 - alterar brilho,
 - eliminar detalhes, etc
- Imagem = Informação ótica, i.e, distribuição bidimensional de fluxo luminoso.

O fluxo pode ser descrito por uma função $I(\mathbf{y}, \mathbf{z})$, que atribui um valor de irradiância I para cada ponto do espaço onde se distribui a imagem.

Exemplos



Before



After

Great Orion Nebula
processed using Caron

Processamento de imagem

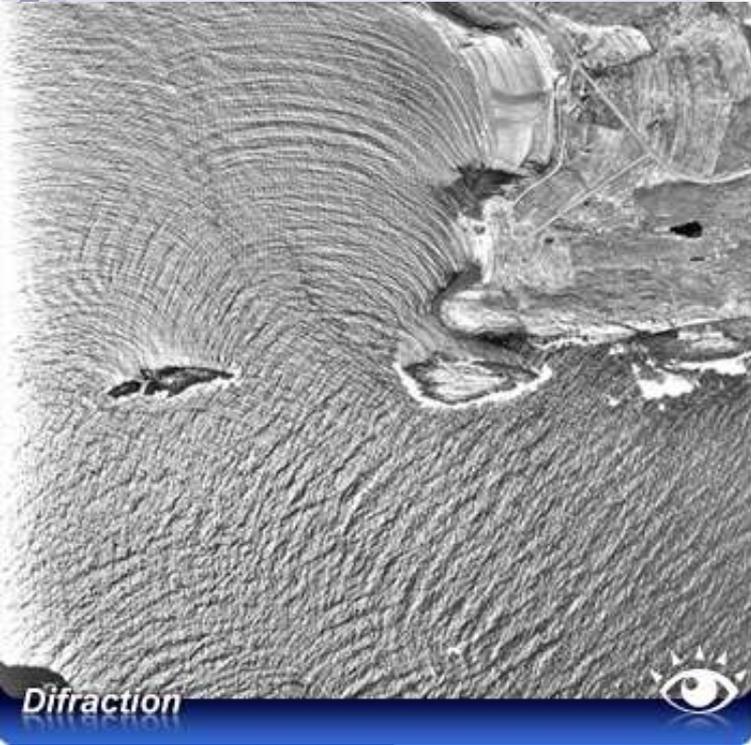
- Para processar uma imagem é preciso, de alguma forma, decompô-la numa somatória de funções simples sobre as quais temos controle.
- Essas funções serão as transformadas de Fourier bidimensionais da imagem e vamos ter que aprender como encontrá-las.
- Há duas maneiras de fazê-lo:
 - uma é através de cálculo
 - outra através de um computador ótico
- **Vamos optar pelo computador ótico**

Computador ótico

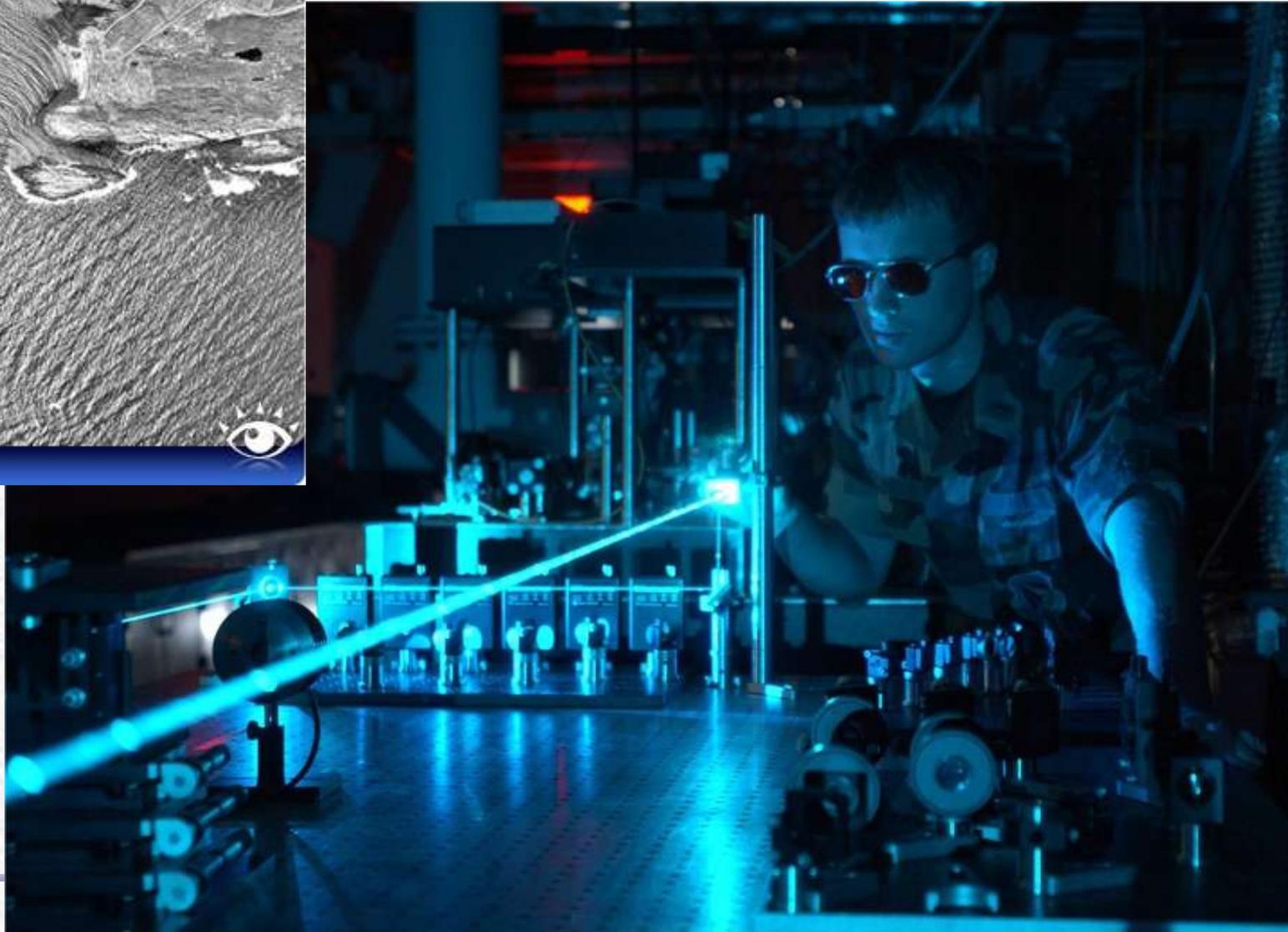
- **Computador ótico** é um dispositivo que permite a manipulação de imagem de maneira controlada sem a necessidade de efetuar cálculos complicados.
- Esse dispositivo pode e vai ser construído e estudado no laboratório e vamos, nas próximas aulas, discutir como fazê-lo em detalhe.
- Entretanto essa construção requer que:
 - **o objeto cuja imagem se quer manipular seja iluminado por uma fonte de luz coerente**
 - **familiarização com padrões de difração**

AULA DE HOJE

Difração



LASER



Aula de Hoje

Para o Computador Óptico precisamos:

- **Iluminar o objeto com luz coerente:**
 - **Problema:** a fonte de laser disponível só permite iluminar objetos muito pequenos, porque o diâmetro do feixe é da ordem de **1 a 2mm**
 - **Solução:** temos que aumentar o diâmetro desse feixe para iluminar objetos da ordem de alguns cm
- **Estudar o padrão de difração:**
 - Pode-se fazê-lo utilizando o laser e vários objetos de formas diferentes e estudar as figuras de difração que eles produzem

Estas são as tarefas desta semana!

LASER: Histórico



- **1917** ► Einstein demonstrou que a emissão estimulada de radiação era possível
- **1939** ► V. A. Fabricant apresenta a idéia de amplificar a radiação emitida através de emissão estimulada
- **1952** ► N. G. Basov + A. M. Prokhorov e C. H. Townes apresentam independentemente a idéia de amplificador para microondas. Nos dois anos seguintes eles construíram (no Inst. Lebedev (URSS) e Univ. Columbia (USA)) o primeiro Maser.
- **1964** ► Os físicos acima receberam o prêmio Nobel por esses trabalhos.

LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation



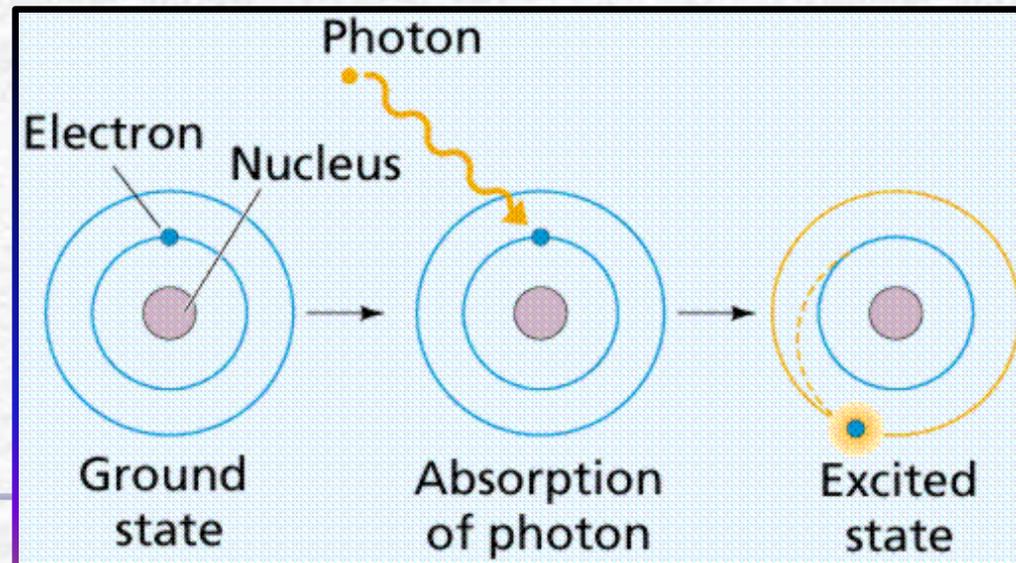
LASER: características



- **Monocromática:** ela consiste de uma única cor ou comprimento de onda. Embora haja atualmente lasers que geram mais de um comprimento de onda, a luz de um laser comum é muito pura, ou seja, ela consiste de um intervalo muito estreito de comprimentos de onda
- **Direcional:** o feixe é bem colimado (ou paralelo), e atravessa longas distâncias com pouca divergência
- **Coerente:** todos os trens de onda que compõem o feixe, estão se movendo juntos no espaço e no tempo: estão em fase.

Um pouco de Quântica...

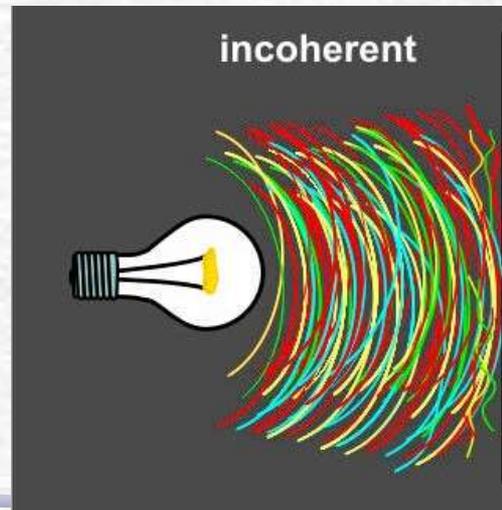
- A radiação eletromagnética é quantizada, e o “quantum” de energia eletromagnética é o **fóton**.
- Energia também é quantizada e por isto apenas algumas órbitas são possíveis para os elétrons ligados aos núcleos.
- Como os elétrons podem mudar de órbita?
 - Para uma órbita de **maior** energia: por **absorção** de energia (radiação, colisões térmicas, etc.)
 - Para uma órbita de **menor** energia: por **emissão** de um quantum de radiação (fóton)
- A energia trocada é exatamente a diferença de energia entre as órbitas, ou seja os fótons tem a mesma frequência e comprimento de onda.



Luz incoerente

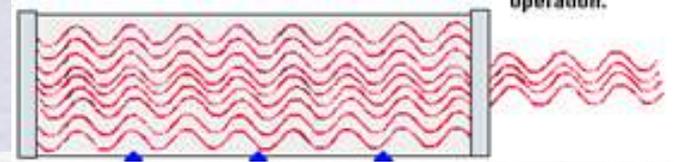


- Lâmpada comum: átomos são excitados por colisões térmicas e voltam às órbitas de menor energia depois de um intervalo de tempo emitindo um fóton.
 - Tanto a excitação como a emissão são randômicas

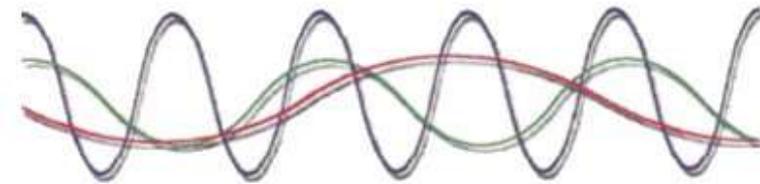


A luz da lâmpada é uma combinação de muitos trens de ondas sem uma direção de propagação definida (diverge) e sem relações de fase definidas (incoerente)

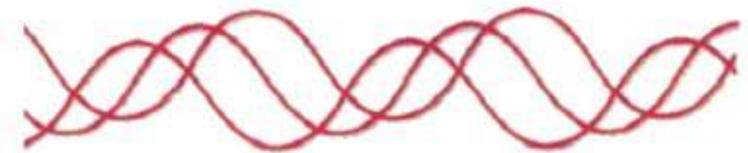
Luz laser



- No laser os elétrons dos átomos emitem na mesma direção e ou ao mesmo tempo ou com diferença de tempo igual a um ou mais períodos de oscilação da onda:.
- O resultado é uma combinação coerente de ondas, colimadas e com uma intensidade muitíssimo maior que a da emissão incoerente.



Sunlight (many different colors)



LED: one color (monochromatic) and waves not in phase (non-coherent)



LASER: One color (monochromatic) and waves in phase (coherent)

Para saber mais veja a apostila de Complementos 2, (Vuolo), p.194 ou "Physics" de Ohanian p.942



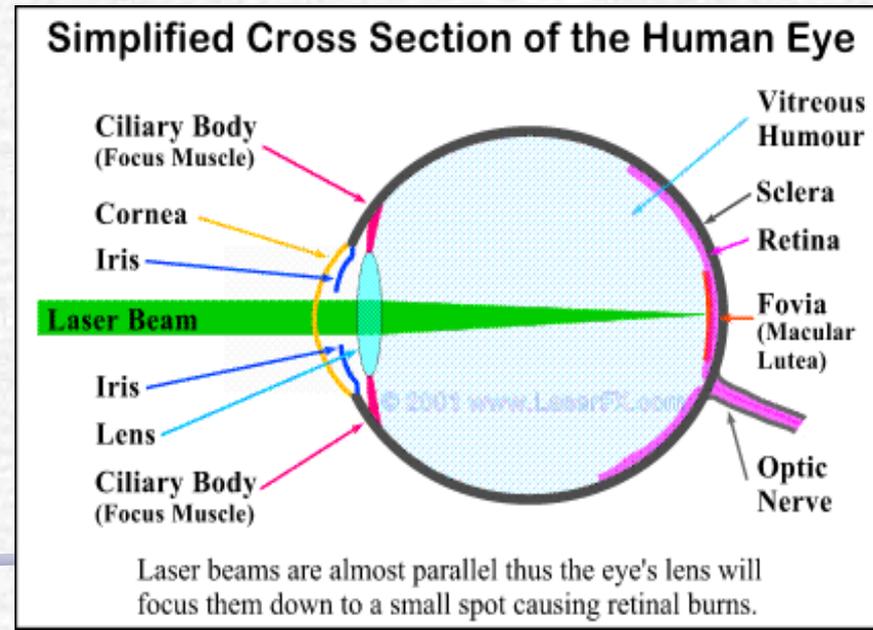
Atenção



- O laser representa grande perigo para os olhos porque a retina é extremamente sensível à luz.
- Você sabe que luz proveniente do sol, focalizada por uma lente pode matar formigas, o laser que é um feixe intenso de luz coerente, ao ser focalizado pelas lentes oculares na retina, queima as células do ponto atingido.

- **O dano é irreversível**

portanto jamais olhe ou aponte um laser para os olhos de alguém, mesmo lasers de chaveirinhos



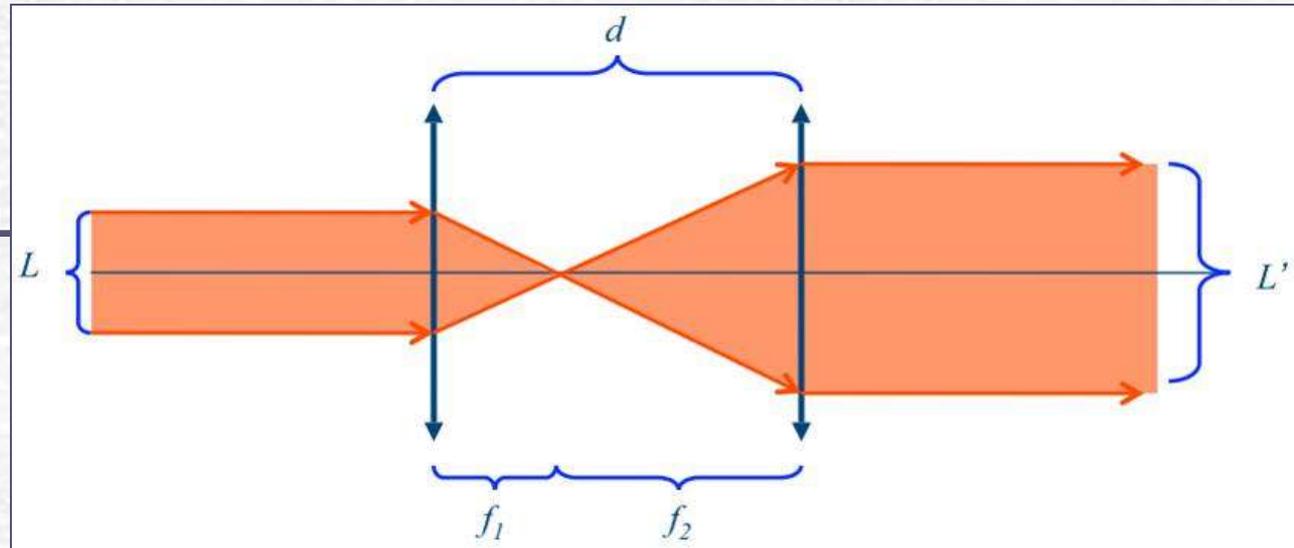
Aumento do diâmetro do feixe do laser

- Construir um **sistema de lentes** para aumentar o diâmetro de um feixe de laser sem perda do paralelismo do feixe.
- Medir a magnificação do sistema
 - Razão entre o diâmetro de entrada e de saída
- **Duas opções:**
 - Sistema convergente + convergente
 - Sistema divergente + convergente

Opções

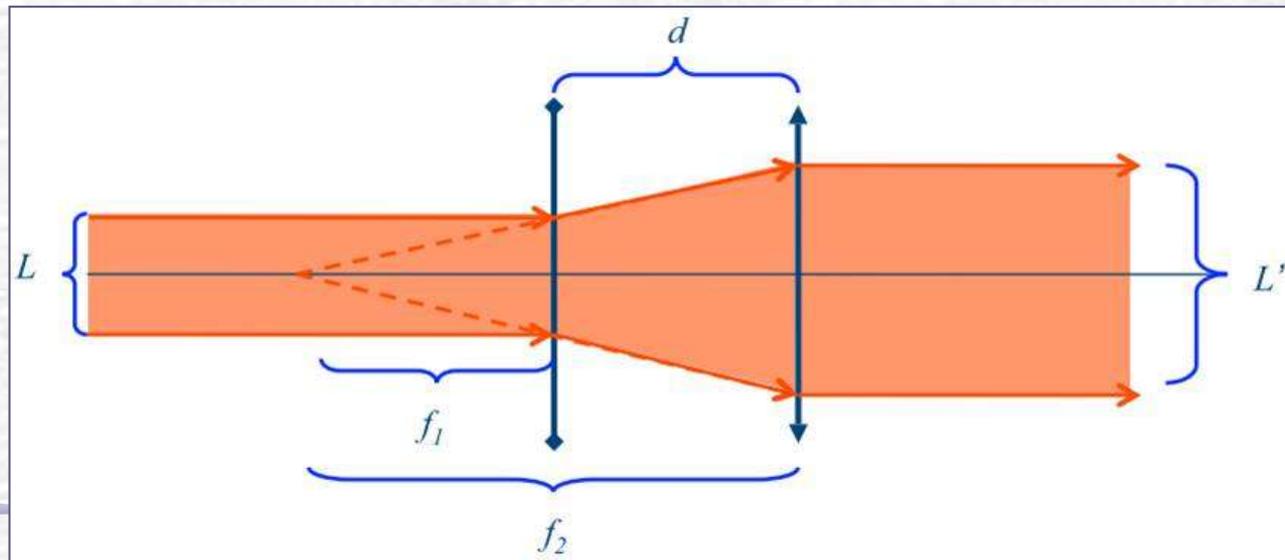
- Sistema convergente + convergente

Vamos usar esta opção!



Os raios entram e saem paralelos!

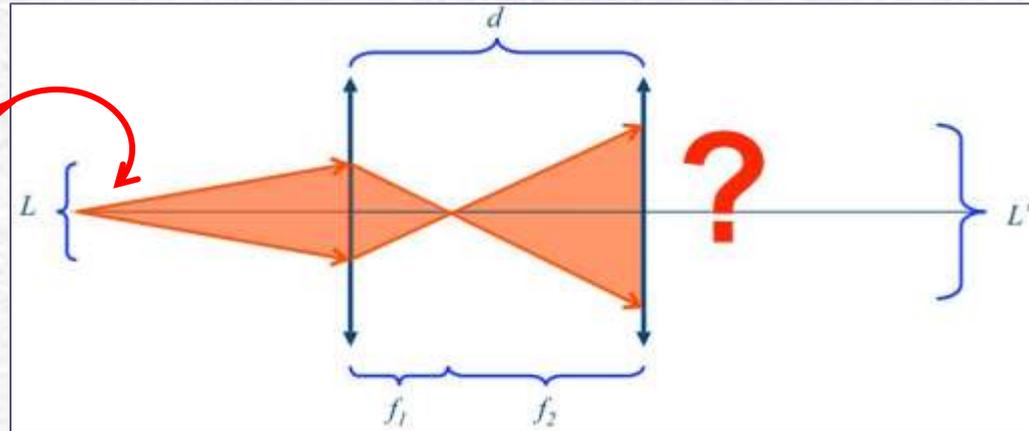
- Sistema divergente + convergente



Possíveis Problemas

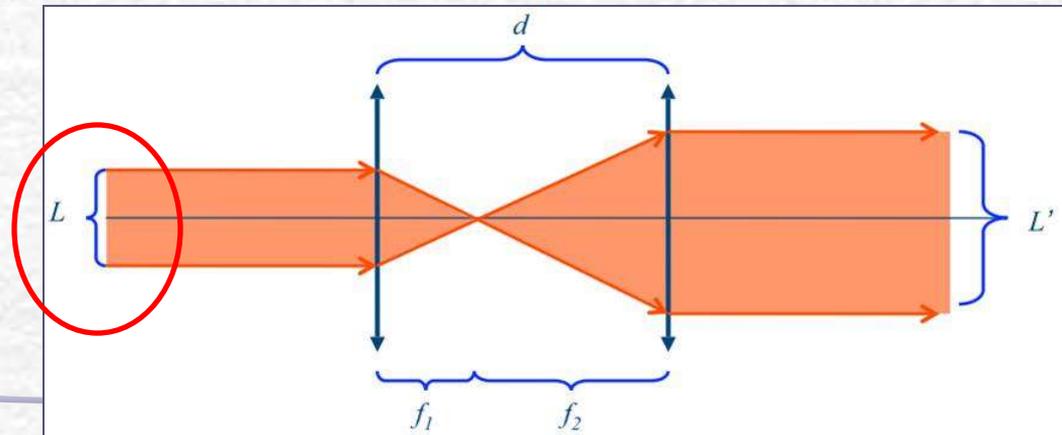
- E o feixe incidente tiver divergência não nula? O que muda?

Define-se a divergência como sendo o ângulo de abertura do feixe



- Como medir o tamanho inicial, L , do laser?
 - Quase pontual
 - Muito brilhante

$$M = \frac{L'}{L}$$



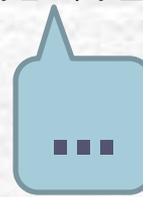
Dicas: Método Matricial

- Sejam duas lentes de foco f_1 e f_2 , separadas de uma distância d . Basta multiplicar as matrizes:

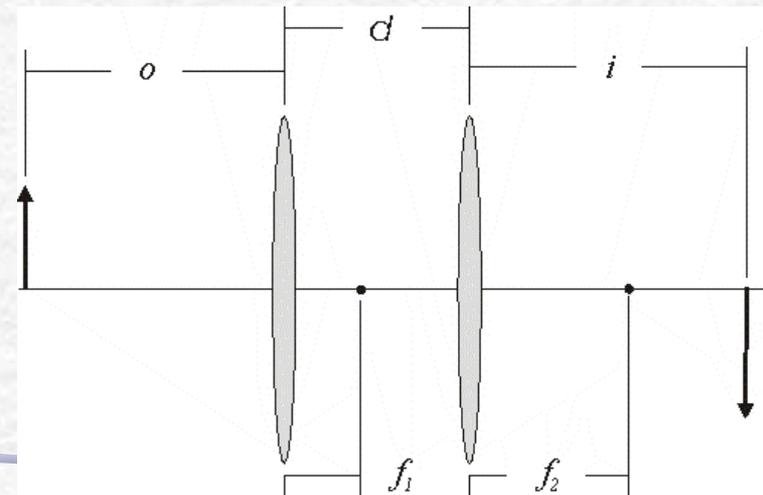
$$M_{o \rightarrow i} = M_{l_2 \rightarrow i} \cdot M_{l_2} \cdot M_{l_1 \rightarrow l_2} \cdot M_{l_1} \cdot M_{o \rightarrow l_1}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & i \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{pmatrix}$$



- O raio entra e sai paralelo, portanto $\phi_1 = \phi_2 = 0$
- Magnificação = r_2/r_1

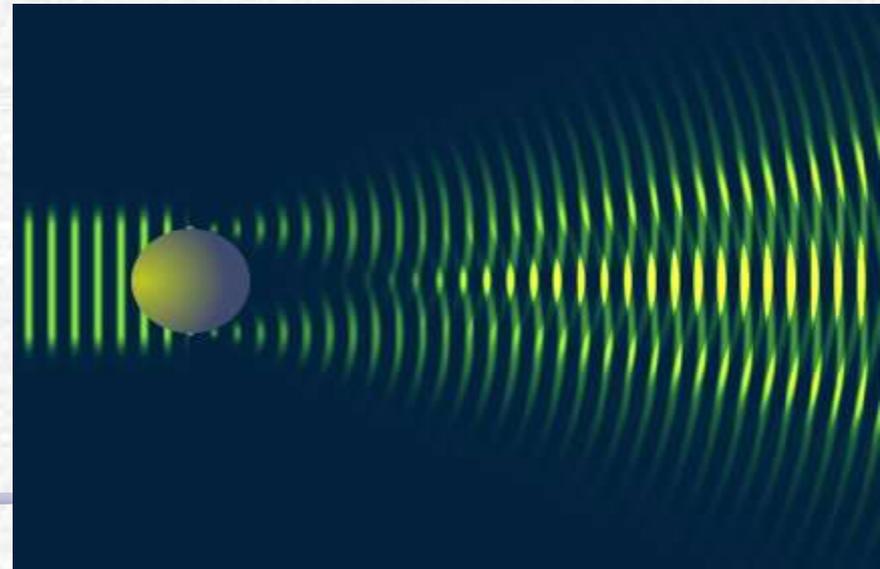
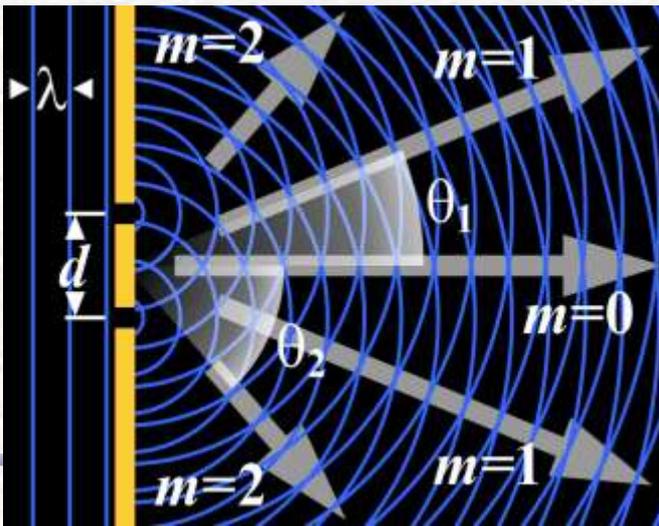


Para esta Semana: Parte 1

- 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.

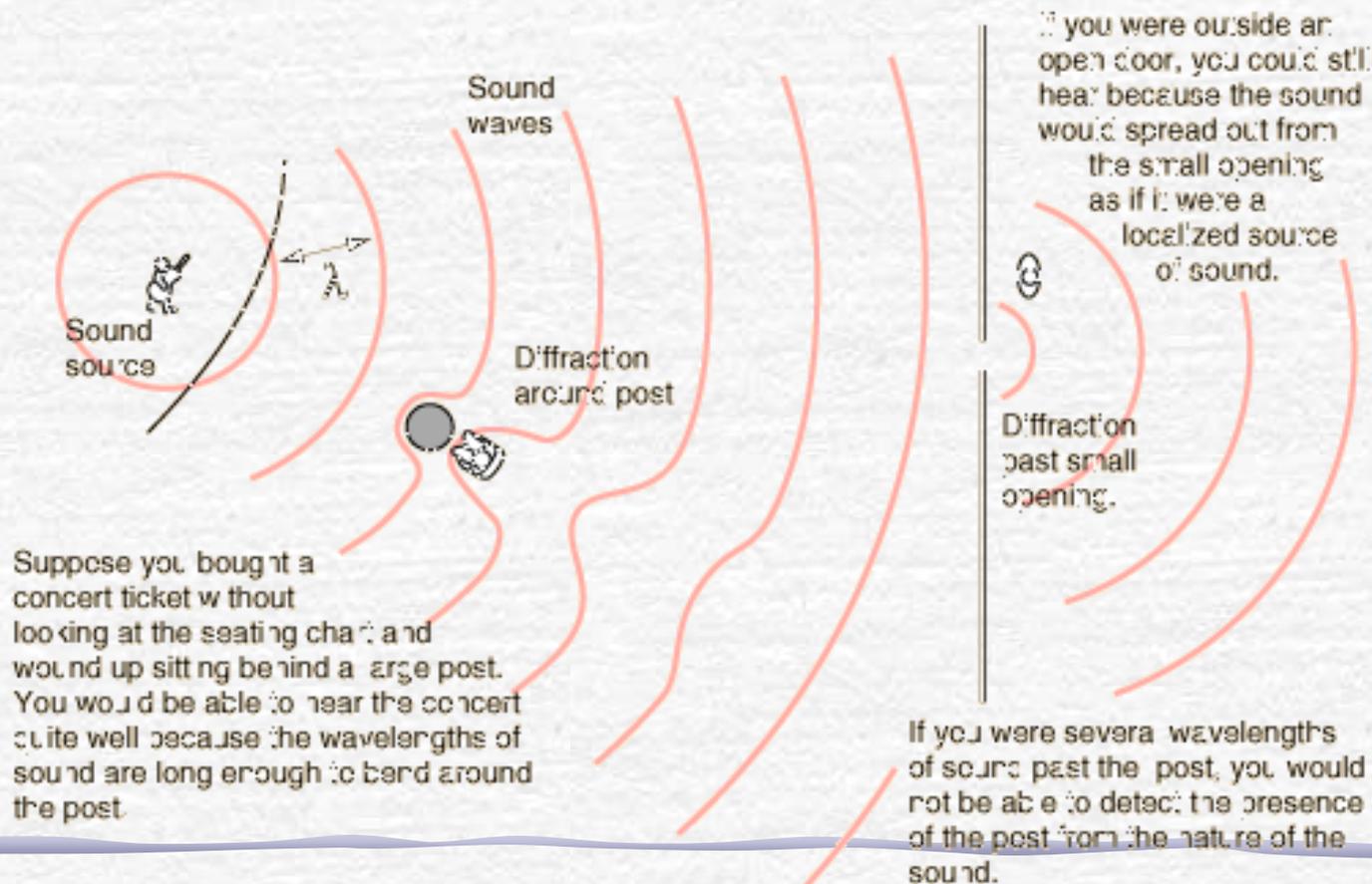
Difração

- Em meados do século **XVII** foi publicado um trabalho, de autoria de **Francesco Grimaldi** descrevendo o fenômeno que o autor chamou de "**Diffractio**". Esse fenômeno era a propagação não retilínea da luz, que é percebido a olho nu, sob determinadas circunstâncias.



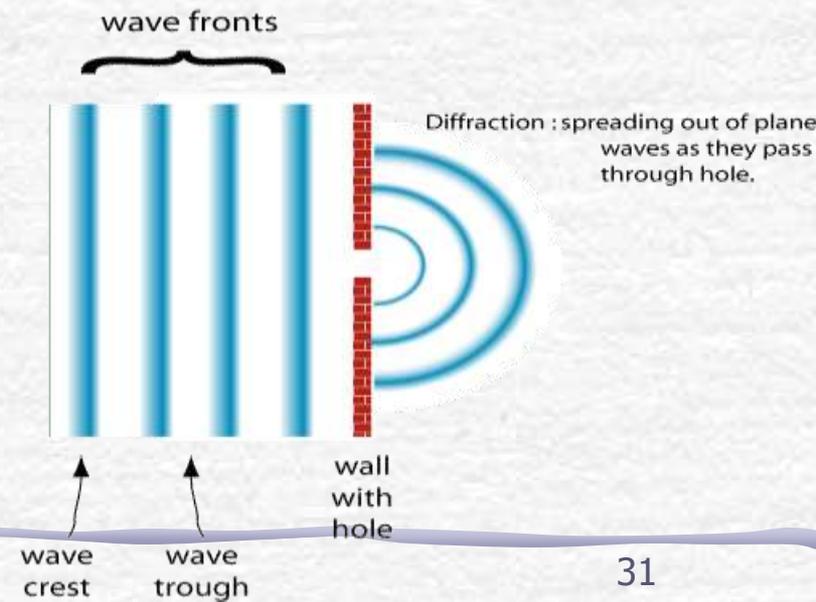
O que é Difração

- Como um espectador, atrás de uma porta, por exemplo, é capaz de ouvir um som mas não é capaz de enxergar a pessoa falando?



Difração

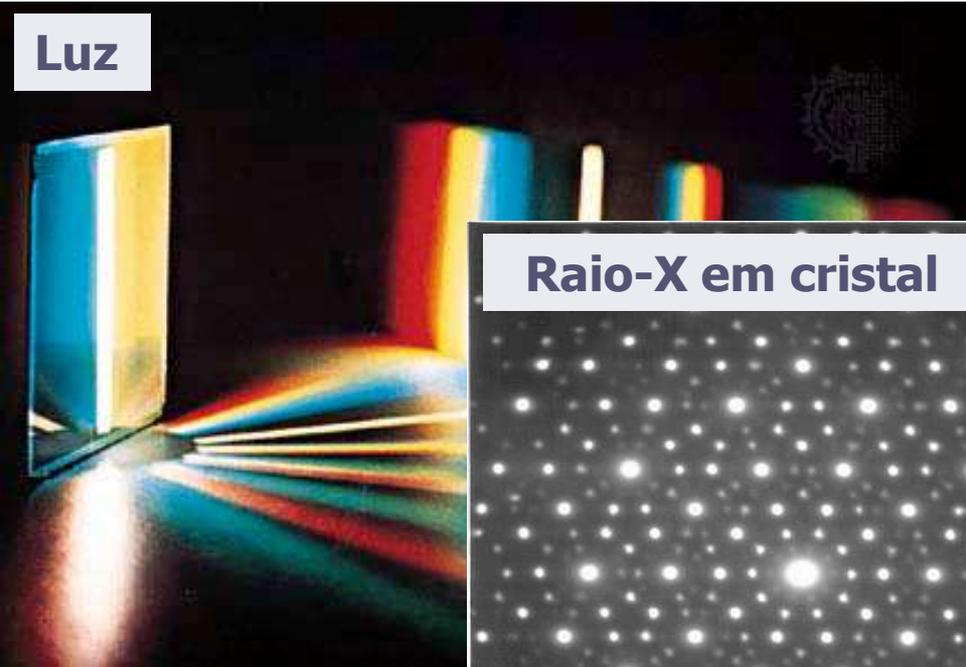
- Fenômeno comum com todos os tipos de ondas
- Desvio sofrido por uma onda ao se deparar com um obstáculo de dimensões similares ao comprimento de onda.
 - A onda se espalha em torno desse objeto como se o mesmo fosse uma nova fonte de emissão da onda
 - Se a dimensão do objeto for muito maior (ou menor) que o comprimento de onda, não ocorre difração.
- Pode ocorrer em ondas:
 - Mecânicas
 - Sonoras
 - Oceano, etc...
 - Eletromagnéticas
 - Luz
 - Raios-X, etc...



Exemplos

Difração de elétrons em estruturas microscópicas

Luz



Raio-X em cristal



Luz do sol



Ondas na água

Difração

- Ondas de comprimento muito menor que as dimensões do obstáculo sofrem pouca difração
 - <http://sampa.if.usp.br/~suaide/applets/falstad/mirror1/ripple/>

Para mais detalhes da parte teórica veja o capítulo 10 do livro **Optics** de **E. Hecht** e a apostila de difração do curso de 2007 na página do Labflex.

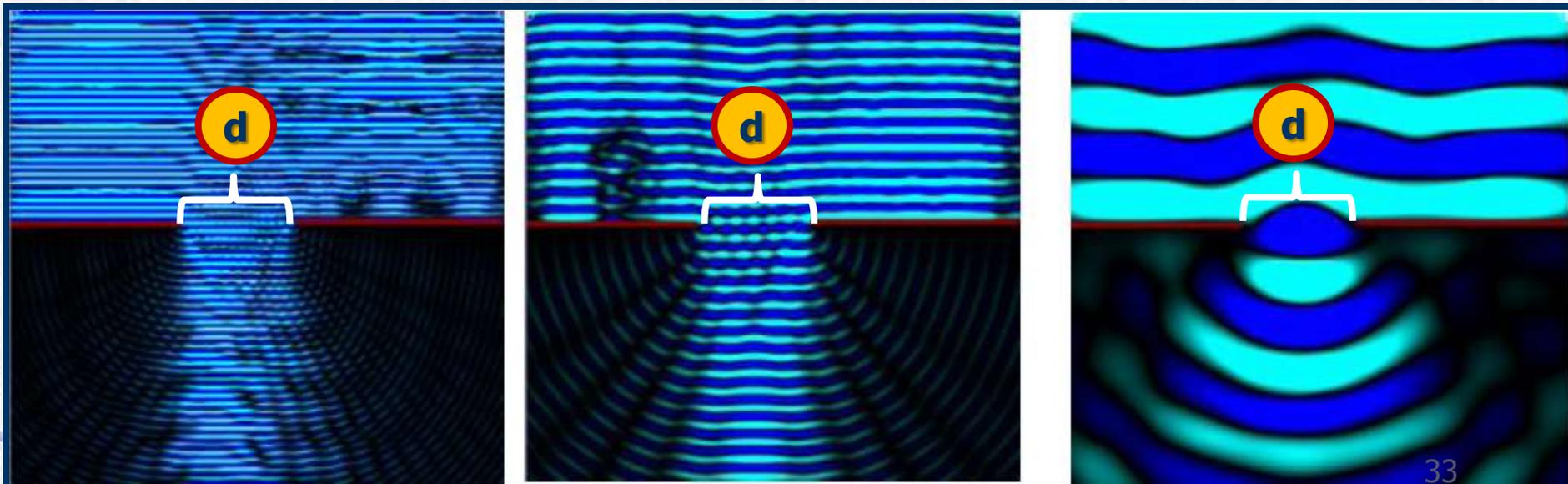
λ_1

\ll

λ_2

\ll

λ_3

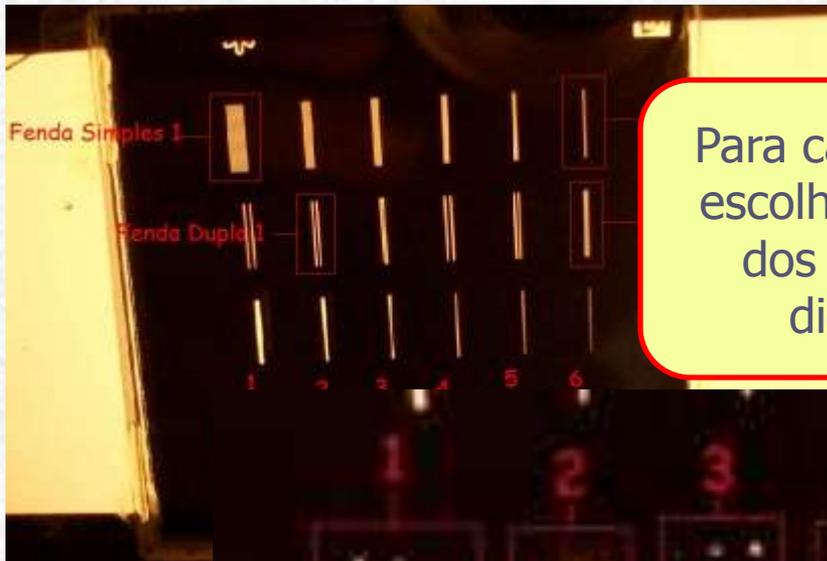


Para esta Semana: Parte 2

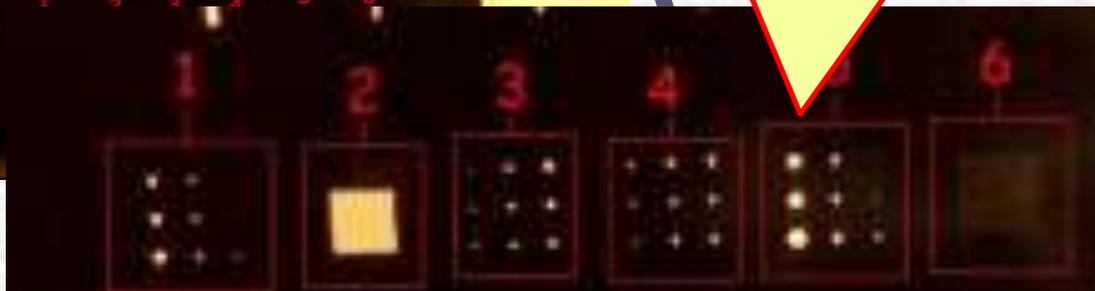
- Fotografe figuras de difração para os seguintes objetos:
 - fendas simples (pelo menos duas fendas)
 - fenda dupla (pelo menos duas fendas)
 - fio de cabelo
 - Para os objetos diferentes da linha superior, escolha apenas um dos tamanhos
- Discuta os resultados obtidos.
 - Para as fendas simples e duplas 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.

Medidas de Difração

- Montar no trilho o laser, o slide de fendas e o anteparo.
- Cuidado com o alinhamento!
- Escolha a melhor situação possível para observar as figuras desejadas e fotografe todas



Para cada um dos 6, escolher apenas um dos 9 tamanhos disponíveis.



Laser

Objeto

Camera

anteparo

Dicas para a montagem

- **Dicas:**

1. **O alinhamento do laser com a fenda é fundamental para uma boa figura de difração.**
2. Você deve relacionar cada figura de difração com o objeto difrator – cuidado para não fazer confusão.
3. Há papel preto ou branco que pode ser preso ao anteparo, veja qual produz a melhor foto, o comprimento de onda da luz desse laser é **628nm** (vermelho).
4. As câmeras disponíveis no laboratório são as câmeras CCD, se quiser pode trazer uma máquina fotográfica melhor.
5. Por favor não coloque o dedo sobre as fendas do slide, (elas não estão protegidas) segure-o pelas bordas.