

Física Experimental IV - 6ª aula
<http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/>

Alexandre Suaide
Ed. Oscar Sala

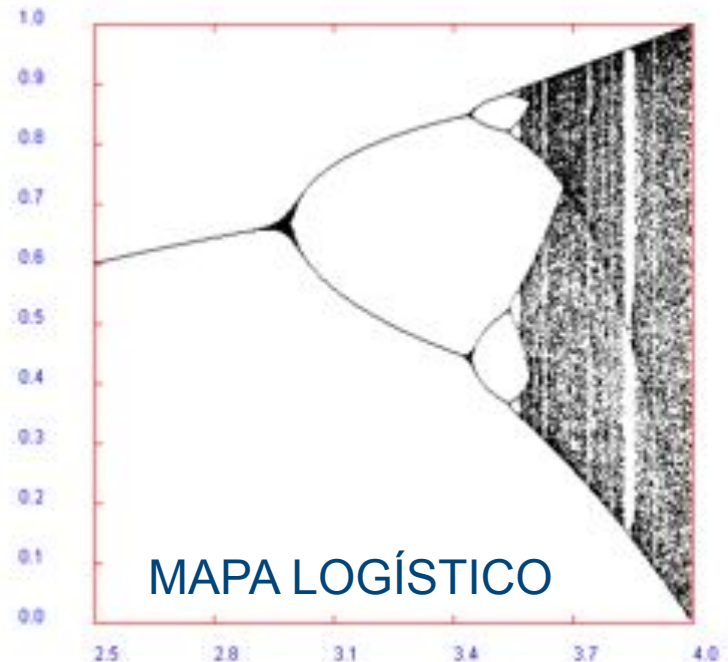
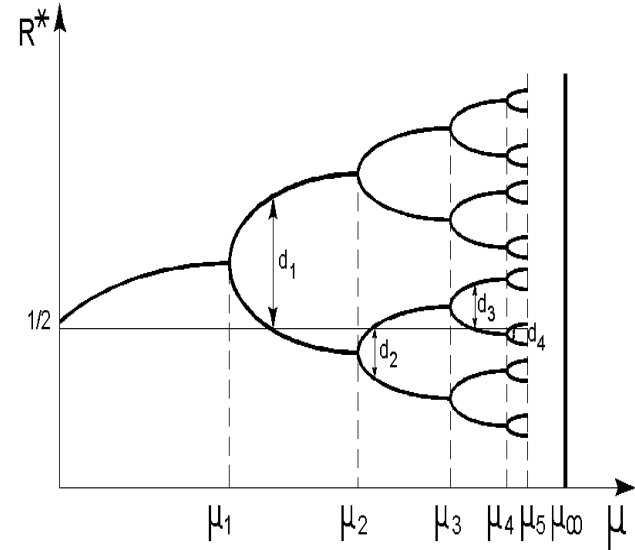
sala 246
ramal 7072

Como se chega ao caos?

- Bifurcações de período
 - Rota mais comum para o caos (**cenário de Feigenbaum**)
 - Duplicação dos atratores

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(\mu_n - \mu_{n-1})}{(\mu_{n+1} - \mu_n)} = \delta$$

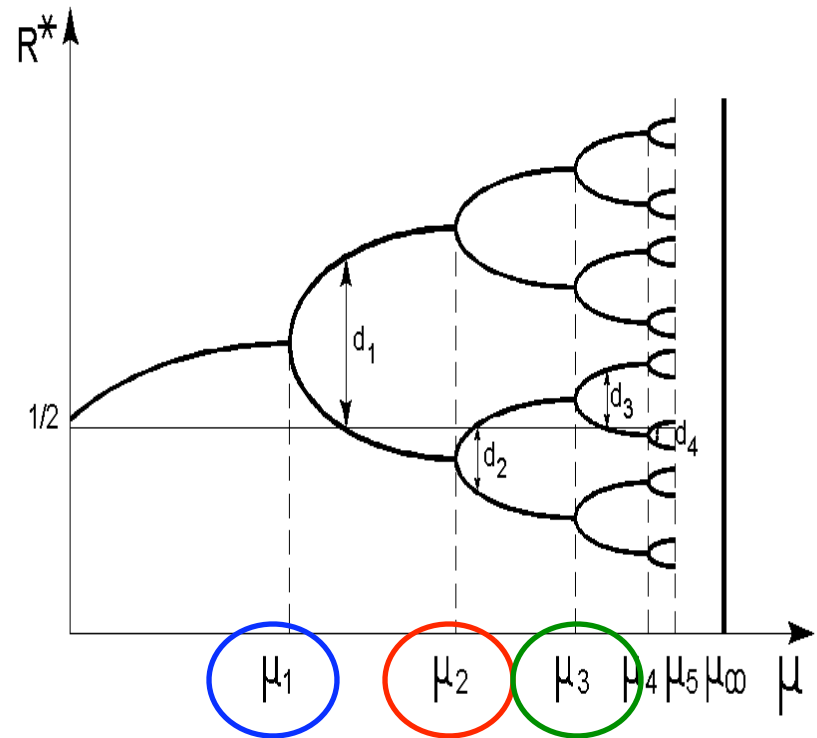
$$\delta = 4,6692016091029909....$$

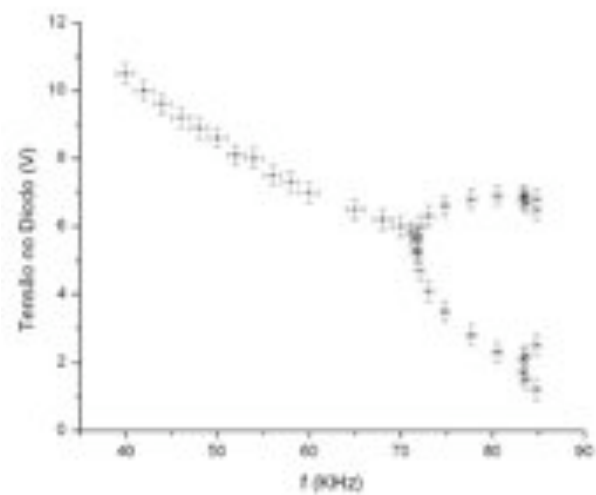
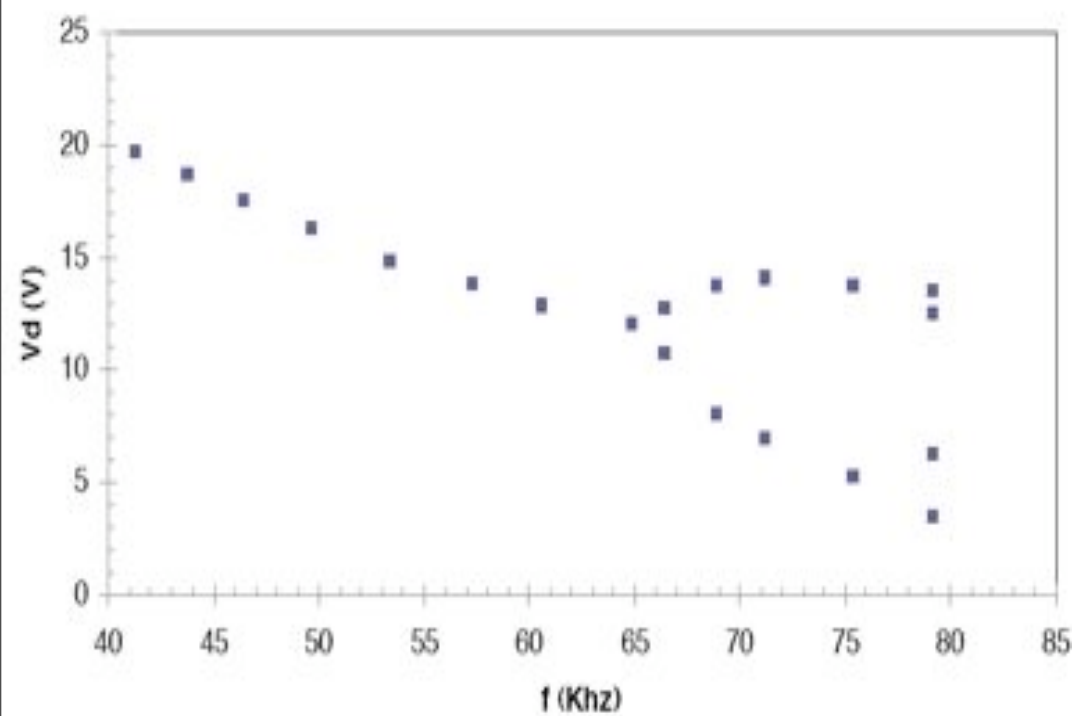
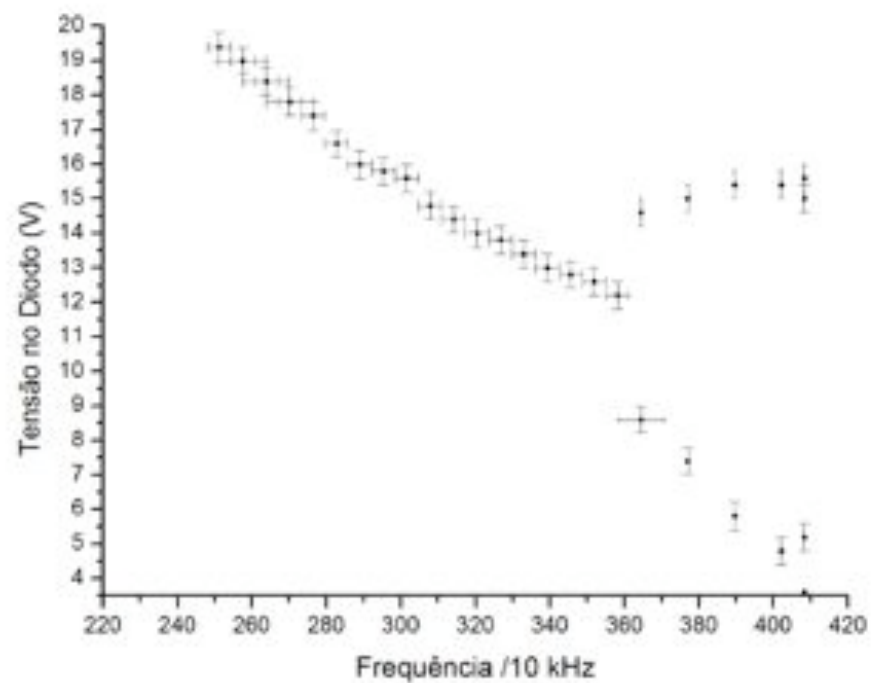
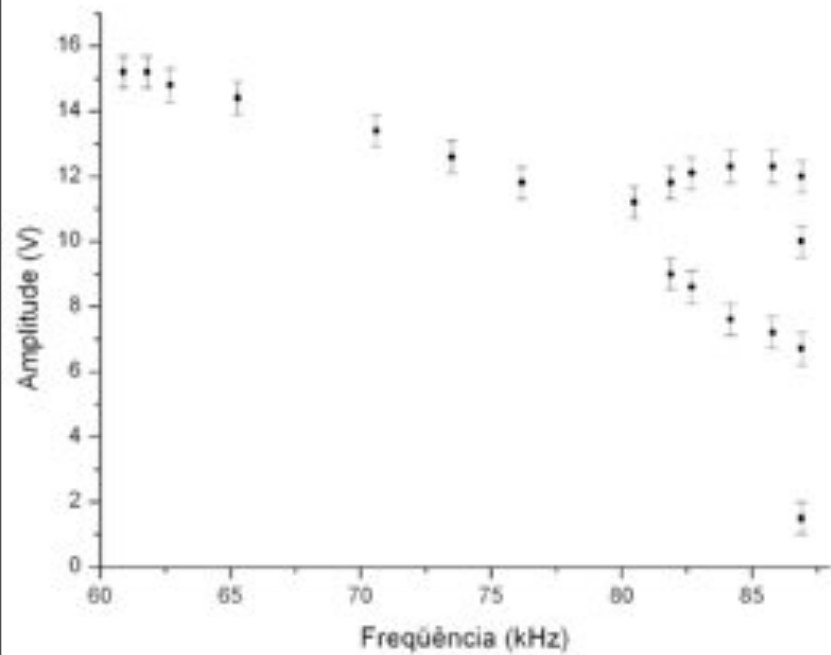


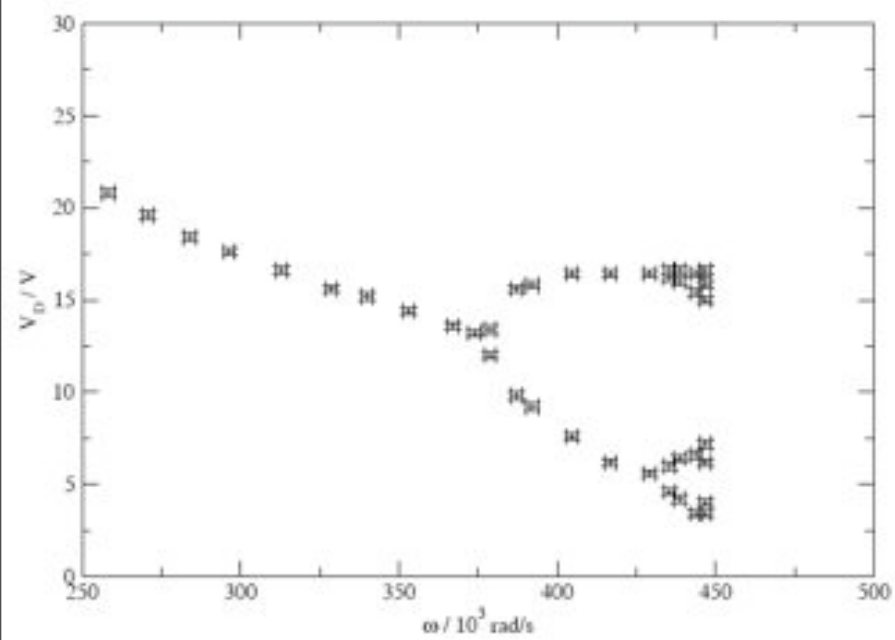
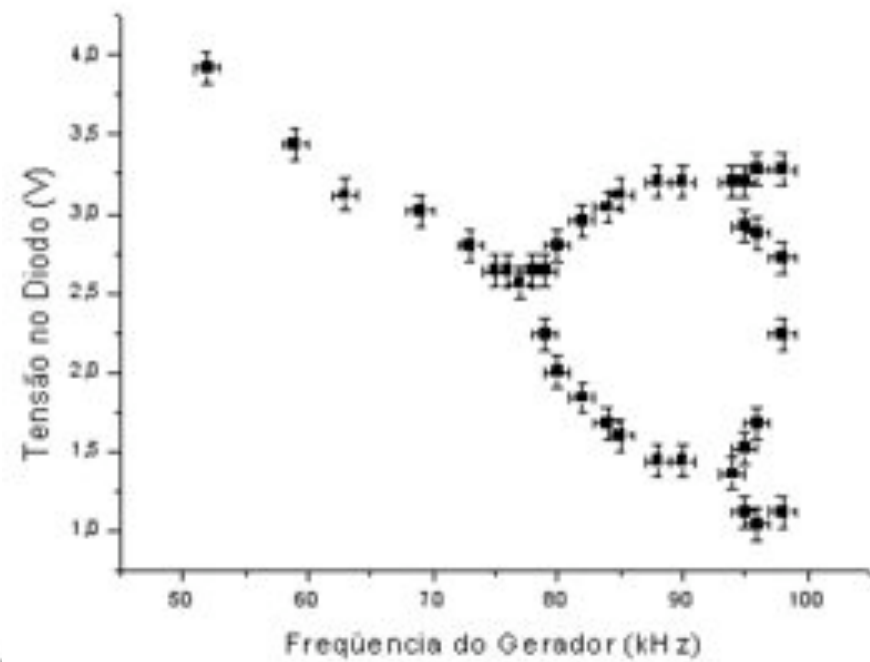
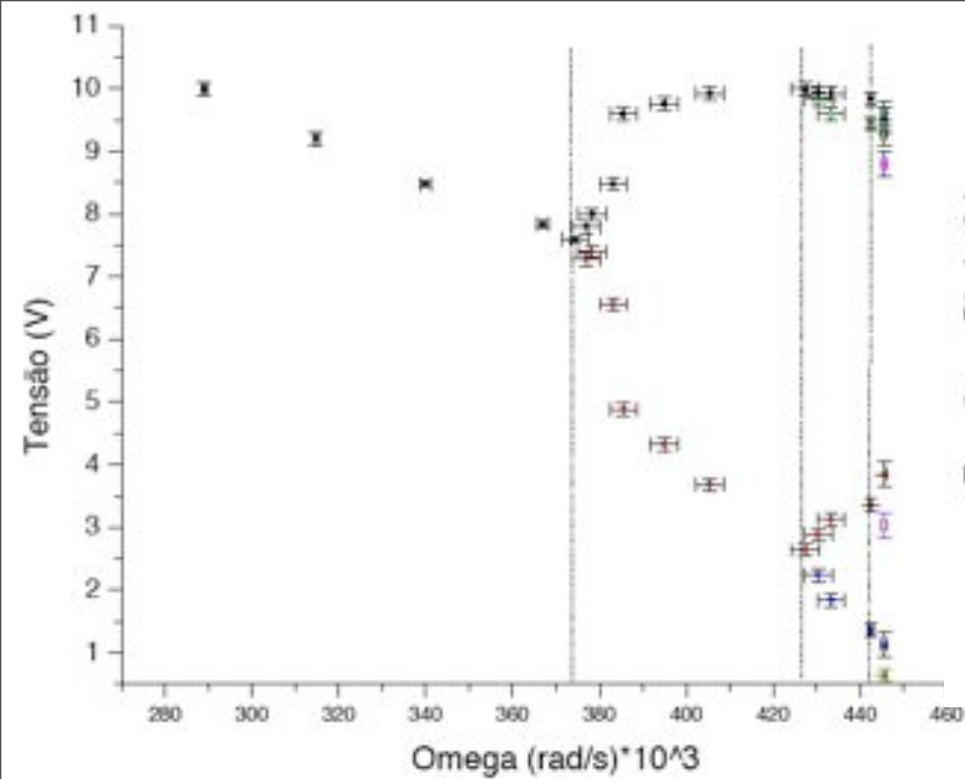
Detalhe

- Precisa de pelo menos três bifurcações bem definidas

$$\frac{(\mu_n - \mu_{n-1})}{(\mu_{n+1} - \mu_n)} = \delta$$







Relatório

- Dia 25/abril
- Em grupo
- No MÁXIMO 10 páginas

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



O que é óptica geométrica?

O que é óptica geométrica?

- Luz é uma onda eletromagnética, assim todos os fenômenos ondulatórios se aplicam
 - Interferência, difração, etc.
- Contudo, os efeitos ondulatórios se fazem mais evidentes quando o sistema possui dimensões compatíveis com os comprimentos de onda envolvidos

O que é óptica geométrica?

- Luz é uma onda eletromagnética, assim todos os fenômenos ondulatórios se aplicam
 - Interferência, difração, etc.
- Contudo, os efeitos ondulatórios se fazem mais evidentes quando o sistema possui dimensões compatíveis com os comprimentos de onda envolvidos
- A óptica geométrica é uma aproximação para sistemas cujas dimensões são muito maiores que os comprimentos de onda da luz

O que é óptica geométrica?

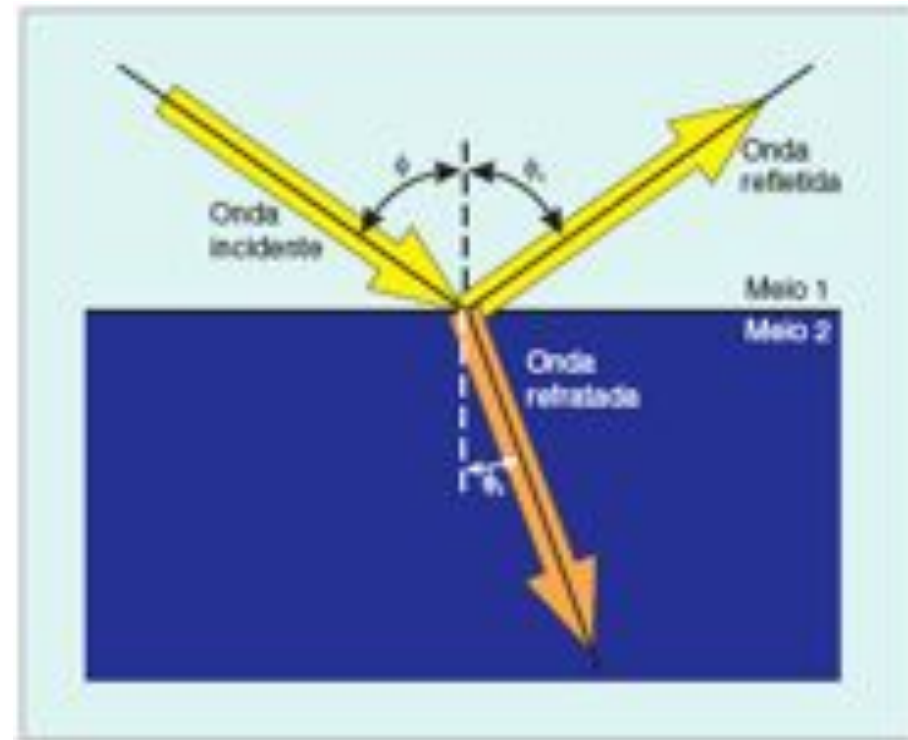
O que é óptica geométrica?

- Os comprimentos de onda típicos da luz visível estão entre 400 a 700 nm.
 - Sistemas macroscópicos simples, do dia a dia, neste caso, possuem dimensões tais que $\lambda/d < 10^{-3}$, ou seja, os efeitos ondulatórios são muito pequenos
- Neste caso, a óptica geométrica é aquela onde:
 - Podemos aproximar a luz por raios luminosos que se propagam de forma retilínea de um ponto a outro e os fenômenos ondulatórios podem ser desprezados.

Propagação de um raio luminoso em uma superfície

- O que acontece quando um raio luminoso atinge uma superfície entre meios de propriedades ópticas diferentes?
 - Reflexão e refração
 - Índice de refração: razão entre a velocidade da luz no vácuo e no meio

$$n = \frac{c}{v}$$

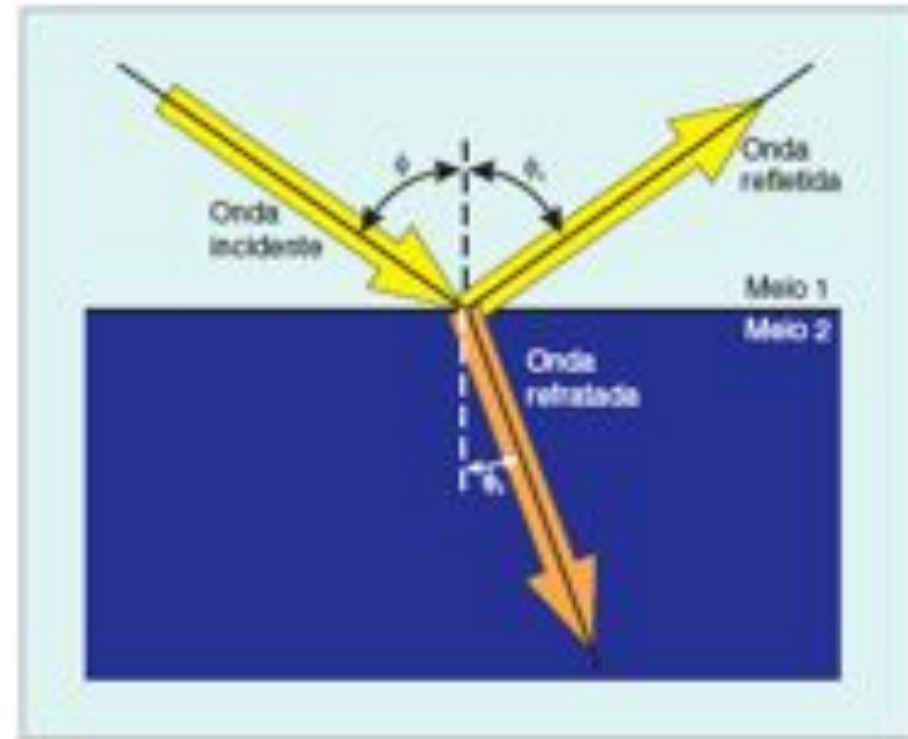


Refração em um meio

- A raio luminoso refratado em uma superfície muda de direção de acordo com a lei de Snell

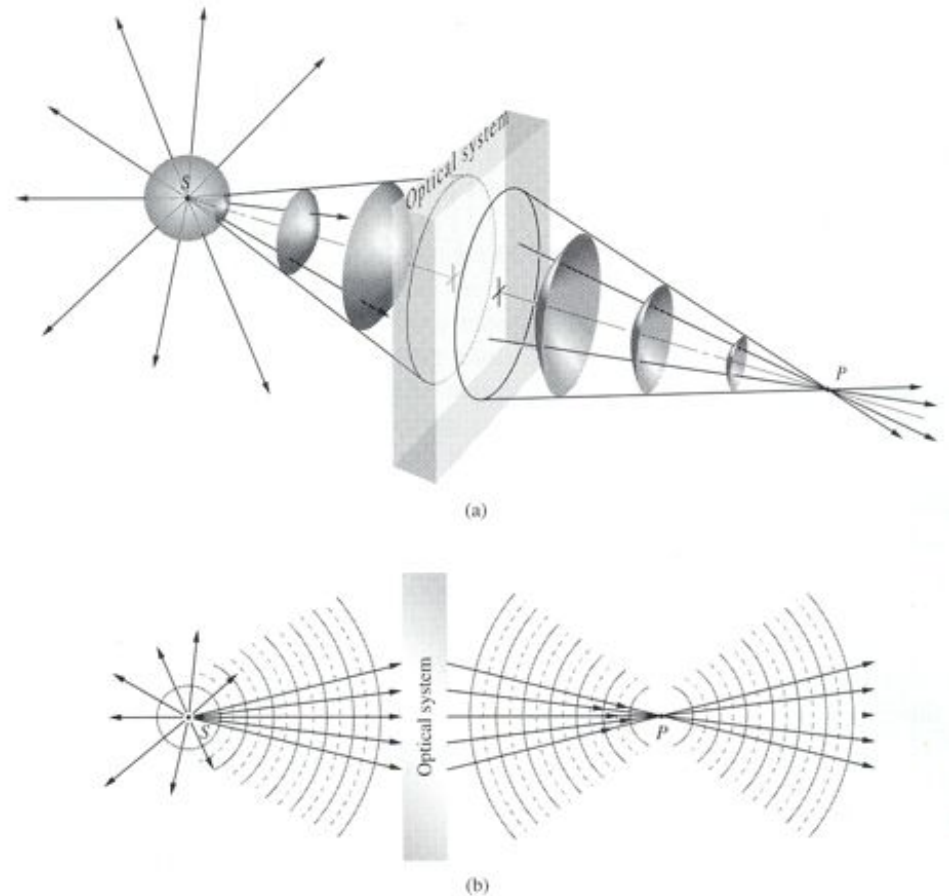
$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

- Princípio básico para a construção de lentes

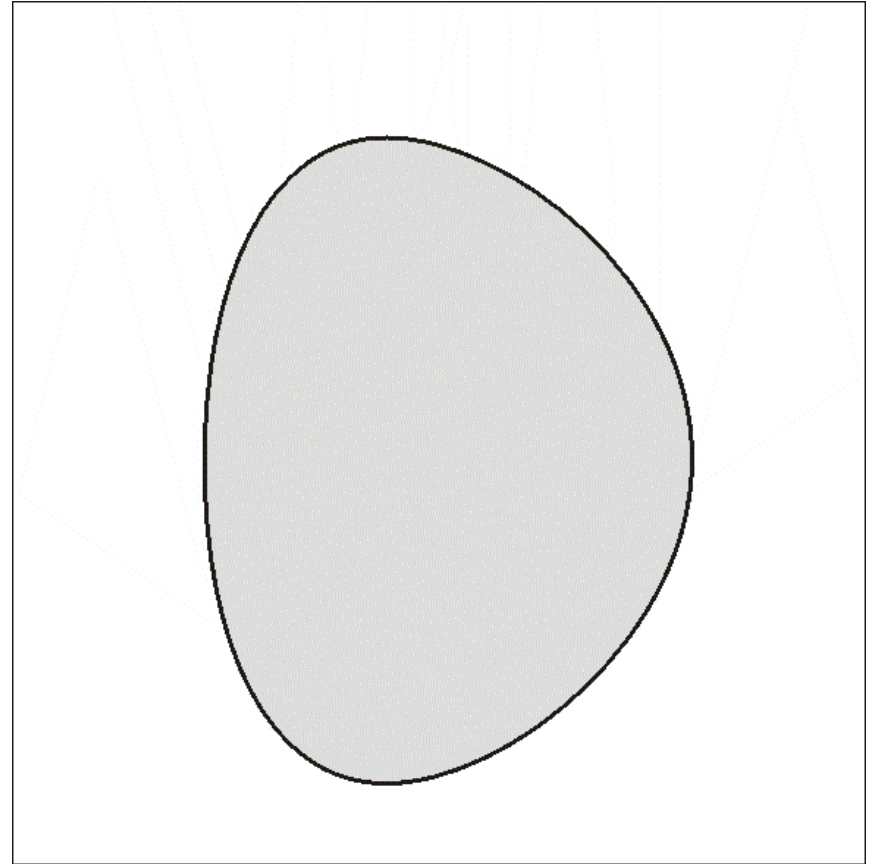


Lentes

- Sistema refrator imerso em um meio.
- O índice de refração da lente é diferente do meio e o seu formato é construído de forma a alterar a direção dos raios luminosos incidentes

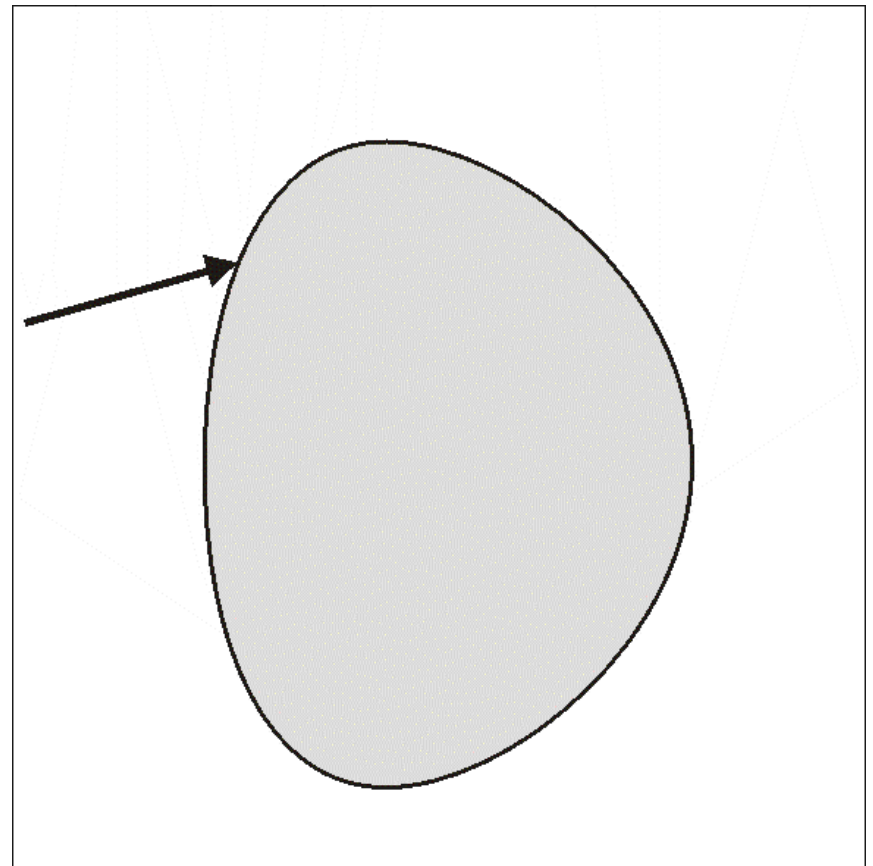


Lentes: funcionamento



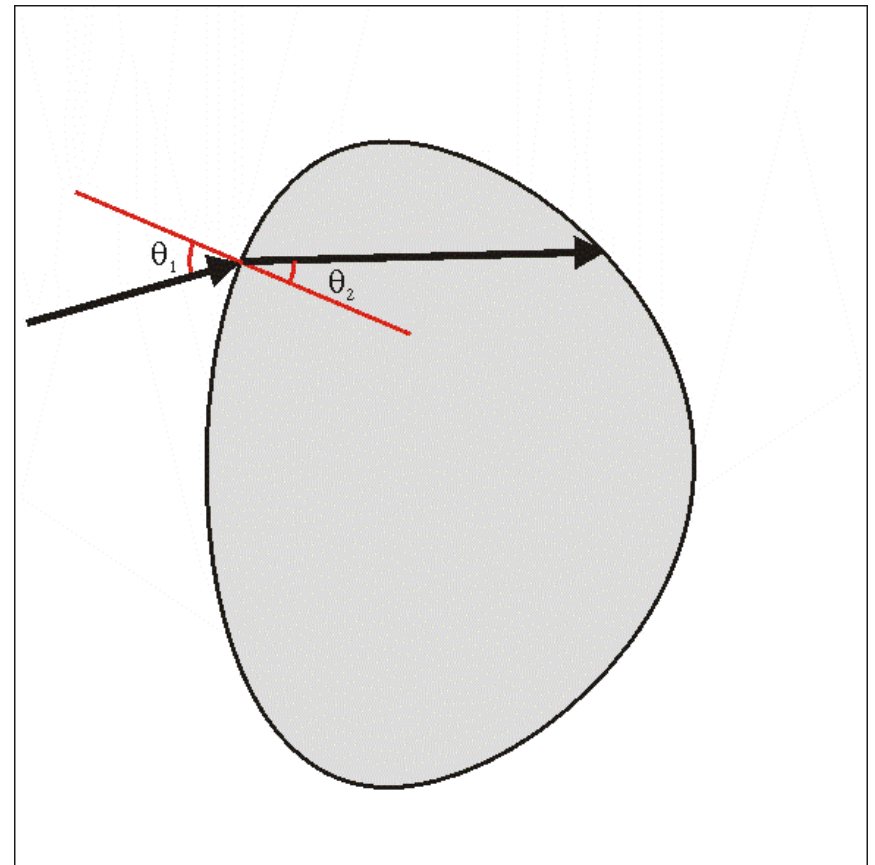
Lentes: funcionamento

- Luz incide em uma superfície



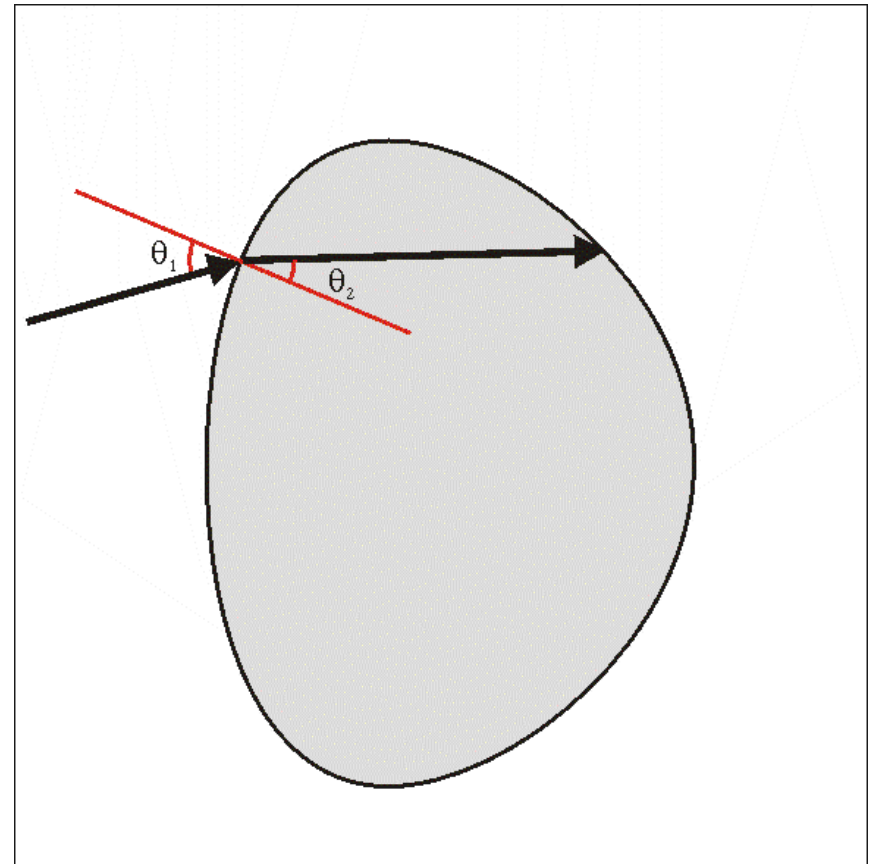
Lentes: funcionamento

- Luz incide em uma superfície



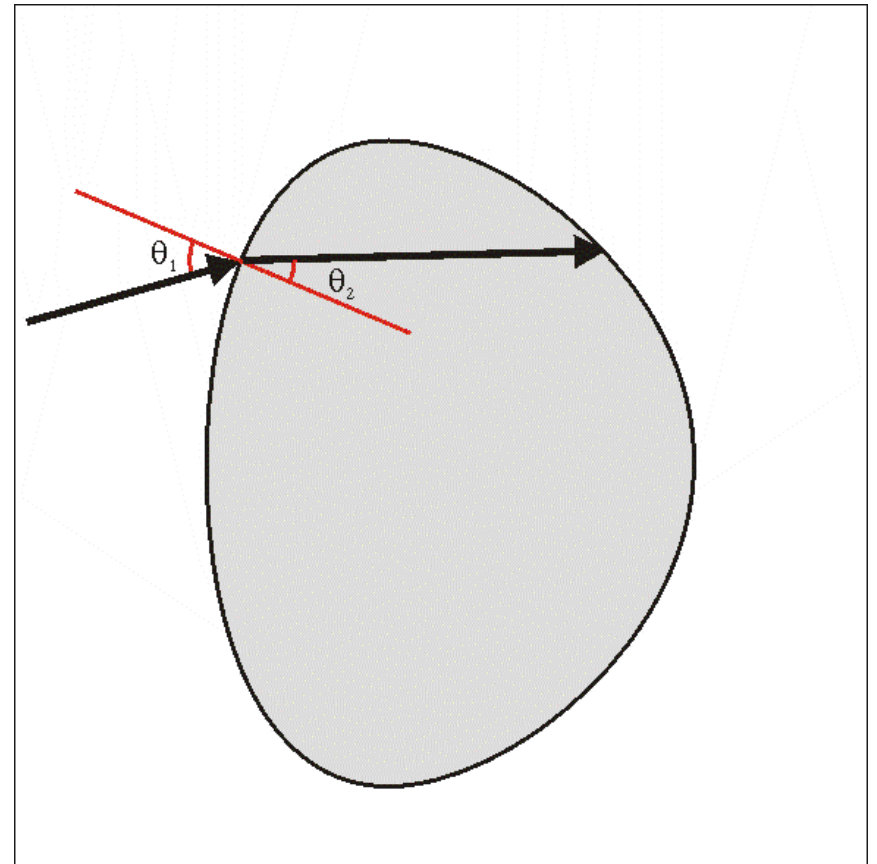
Lentes: funcionamento

- Luz incide em uma superfície
- Ocorre refração nesta superfície



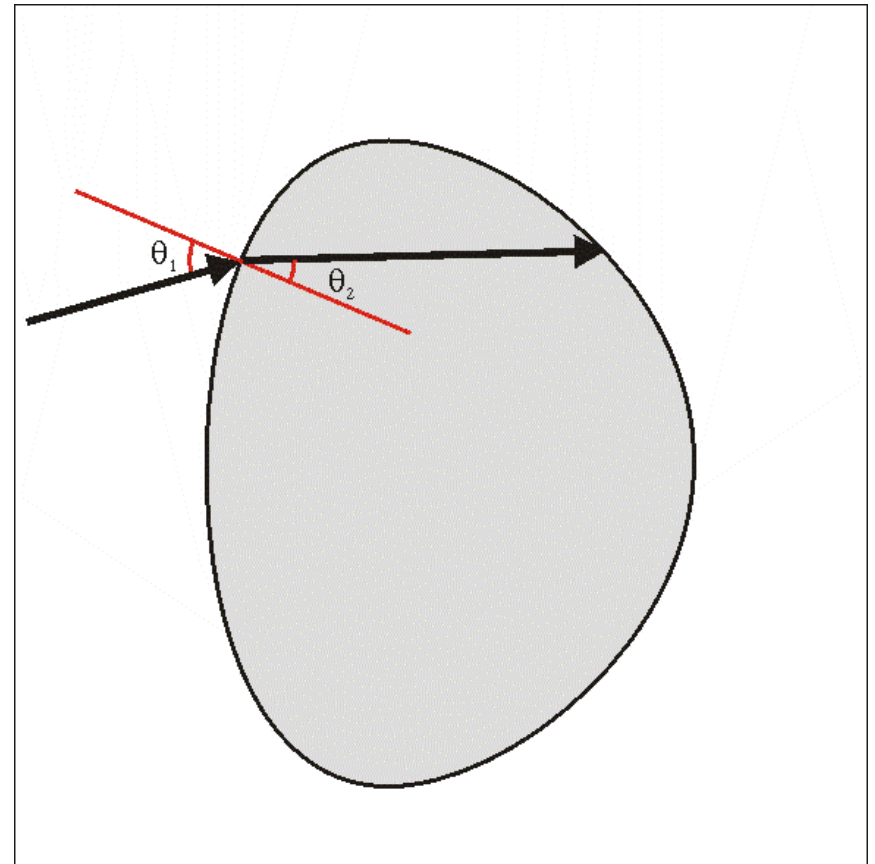
Lentes: funcionamento

- Luz incide em uma superfície
- Ocorre refração nesta superfície



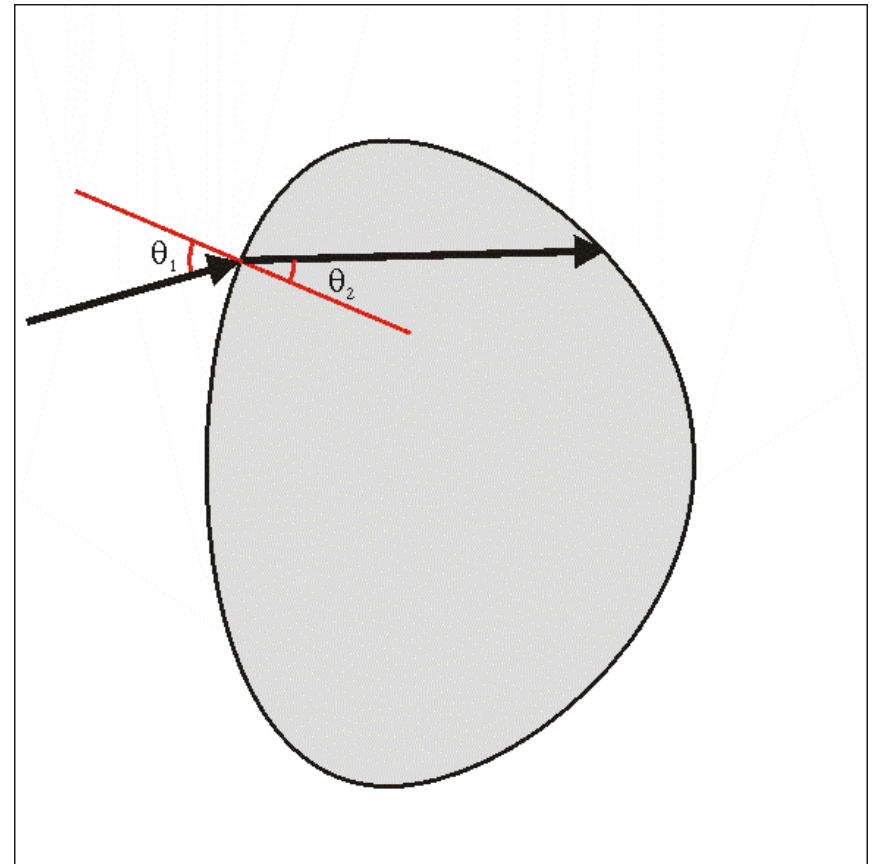
Lentes: funcionamento

- Luz incide em uma superfície
- Ocorre refração nesta superfície
- A luz se propaga para a segunda superfície



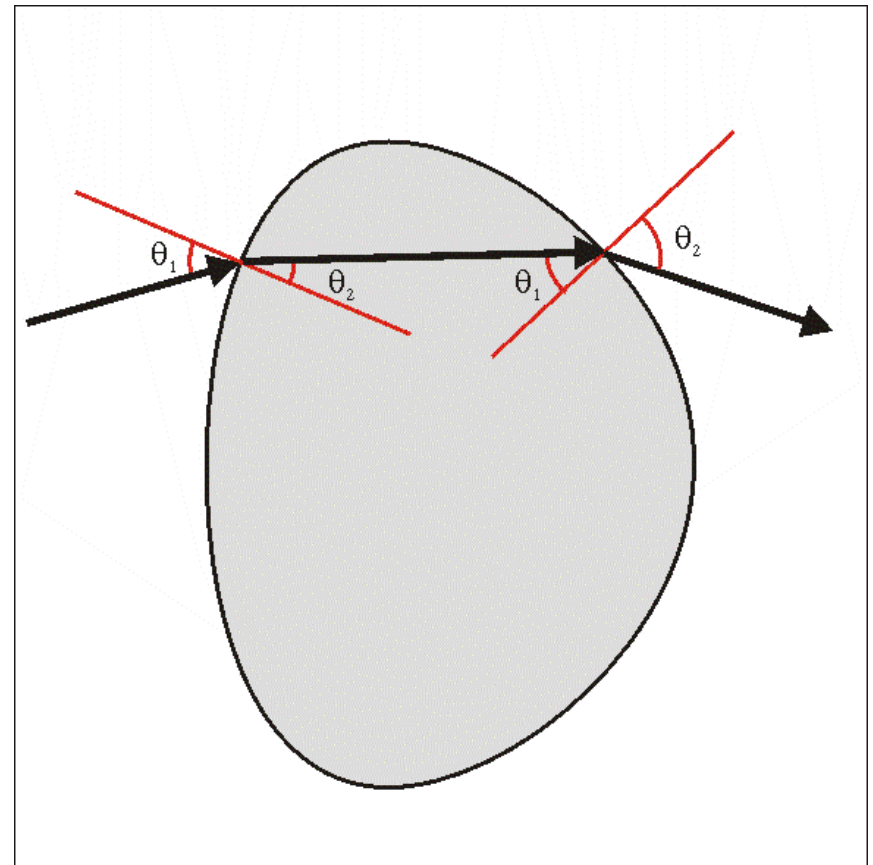
Lentes: funcionamento

- Luz incide em uma superfície
- Ocorre refração nesta superfície
- A luz se propaga para a segunda superfície



Lentes: funcionamento

- Luz incide em uma superfície
- Ocorre refração nesta superfície
- A luz se propaga para a segunda superfície
- Ocorre nova refração



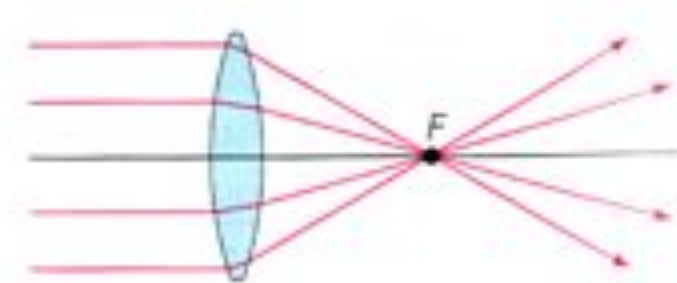
Tipos de lentes: quanto à complexidade

Tipos de lentes: quanto à complexidade

- Lentes podem ser simples ou complexas

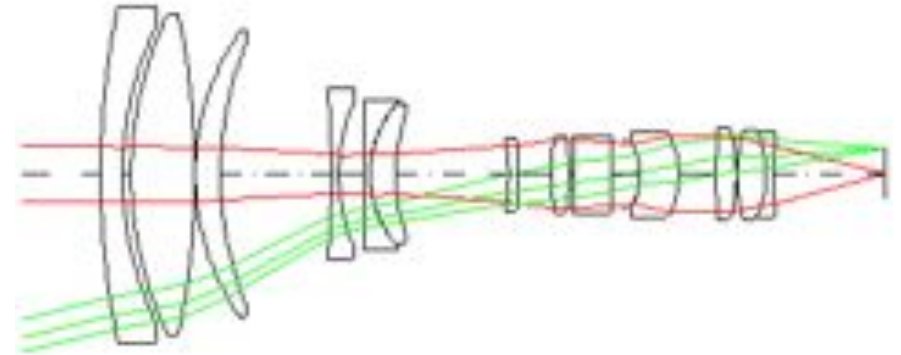
Tipos de lentes: quanto à complexidade

- Lentes podem ser simples ou complexas
 - Lentes simples são aquelas onde há somente 1 elemento óptico



Tipos de lentes: quanto à complexidade

- Lentes podem ser simples ou complexas
 - Lentes simples são aquelas onde há somente 1 elemento óptico
 - Lentes complexas possuem mais de um elemento óptico



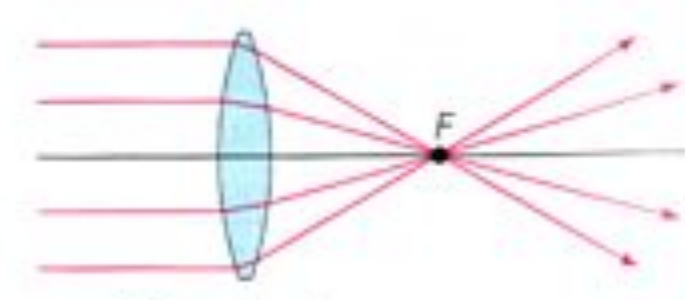
Tipos de lentes: quanto à convergência dos raios

Tipos de lentes: quanto à convergência dos raios

- Lentes podem ser convergentes ou divergentes

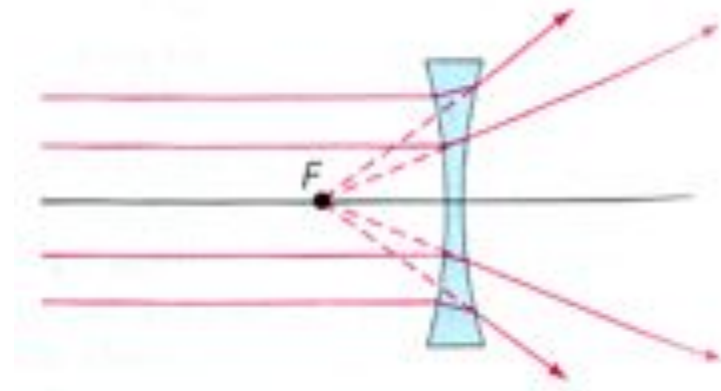
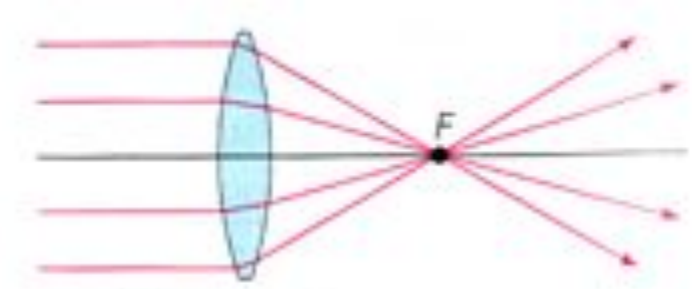
Tipos de lentes: quanto à convergência dos raios

- Lentes podem ser convergentes ou divergentes
 - Convergentes (positivas) aproximam os raios luminosos



Tipos de lentes: quanto à convergência dos raios

- Lentes podem ser convergentes ou divergentes
 - Convergentes (positivas) aproximam os raios luminosos
 - Divergentes (negativas) afastam os raios luminosos



Tipos de lentes: quanto às dimensões da lente

Tipos de lentes: quanto às dimensões da lente

- Lentes podem ser delgadas ou espessas

Tipos de lentes: quanto às dimensões da lente

- Lentes podem ser delgadas ou espessas
 - Lentes delgadas são aquelas que as suas dimensões não importam, ou seja, não importa onde o raio de luz atinge a lente, o efeito será sempre o mesmo.

Tipos de lentes: quanto às dimensões da lente

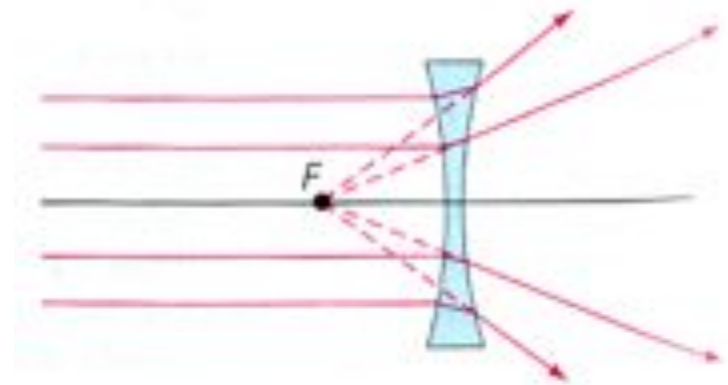
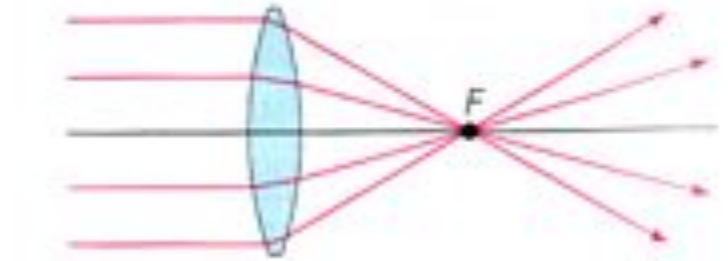
- Lentes podem ser delgadas ou espessas
 - Lentes delgadas são aquelas que as suas dimensões não importam, ou seja, não importa onde o raio de luz atinge a lente, o efeito será sempre o mesmo.
 - Lentes espessas são aquelas que as dimensões e posição de incidência dos raios são importantes

Tipos de lentes: quanto às dimensões da lente

- Lentes podem ser delgadas ou espessas
 - Lentes delgadas são aquelas que as suas dimensões não importam, ou seja, não importa onde o raio de luz atinge a lente, o efeito será sempre o mesmo.
 - Lentes espessas são aquelas que as dimensões e posição de incidência dos raios são importantes
- Lentes delgadas são muito mais simples de fazer previsões.

Lentes delgadas: algumas definições

- Toda lente delgada é caracterizada por uma distância focal, única e **independente da face que o raio luminoso atinge a lente**
- A distância focal (f) é a distância entre o centro da lente e o ponto no qual todos os raios luminosos incidentes paralelo ao eixo da lente convergem (ou divergem)
 - Lentes convergentes: $f > 0$
 - Divergentes: $f < 0$

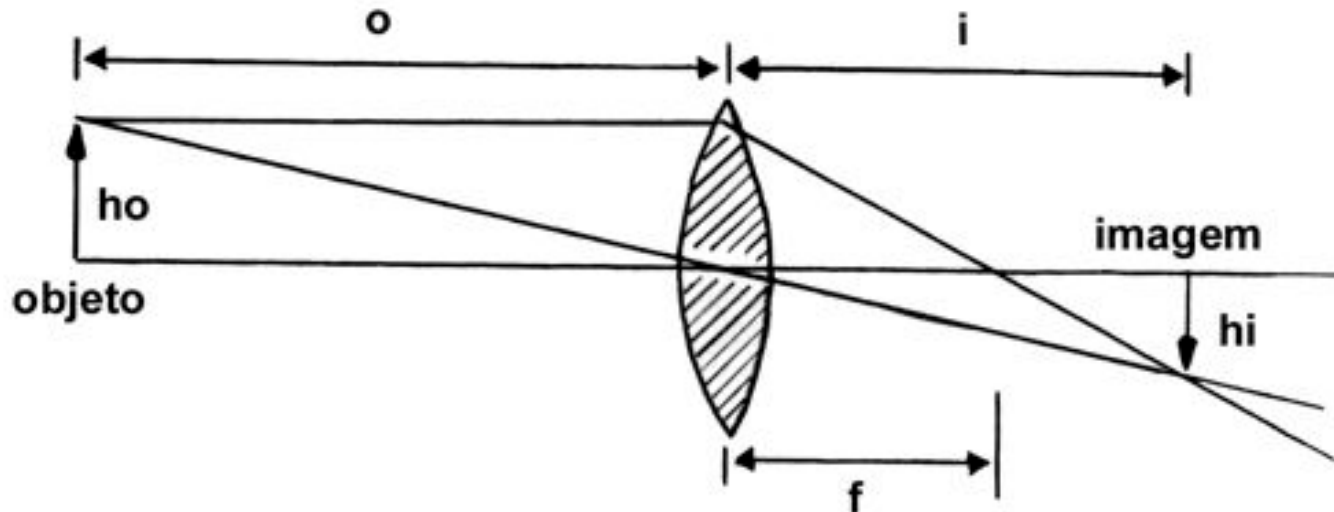


Objetivos da semana

- Medir, com a maior precisão possível, a distância focal de duas lentes a sua escolha
 - Uma lente convergente e outra divergente!
- Com base na análise dos dados, quantifique se a aproximação de lente delgada pode ser utilizada. Discuta os resultados.
- Como fazer isto?
 - Background teórico e definições, planejando um experimento.

Lentes delgadas: algumas definições

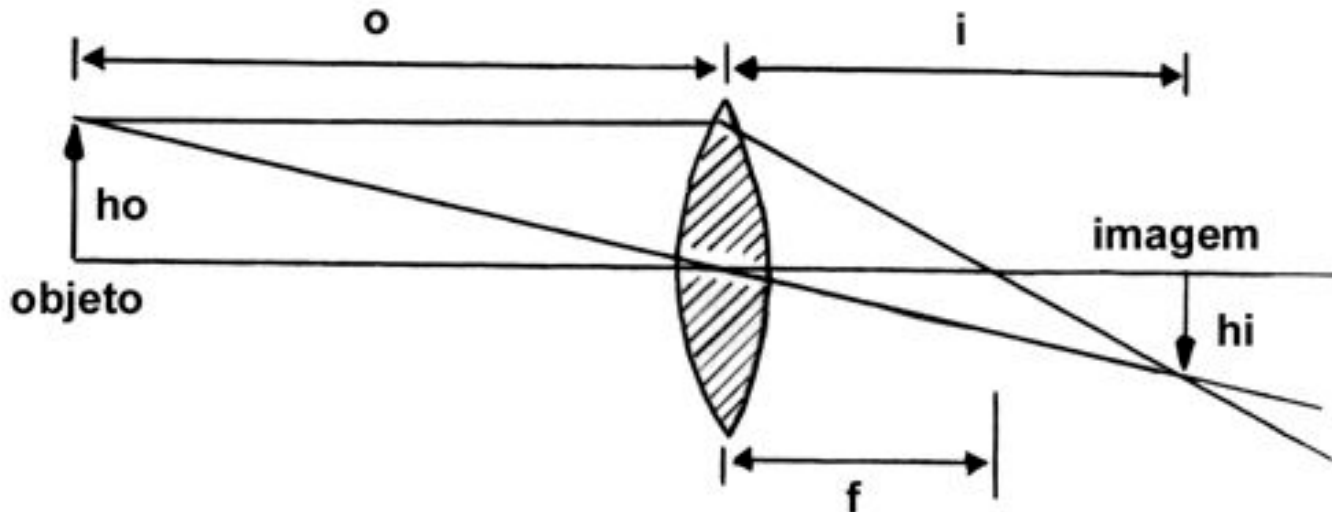
- Objeto e imagem de uma lente
- Distância objeto (o) é a distância entre a posição do objeto e o centro da lente
- Distância imagem (i) é a distância entre a posição da imagem e o centro da lente



Lentes delgadas: algumas definições

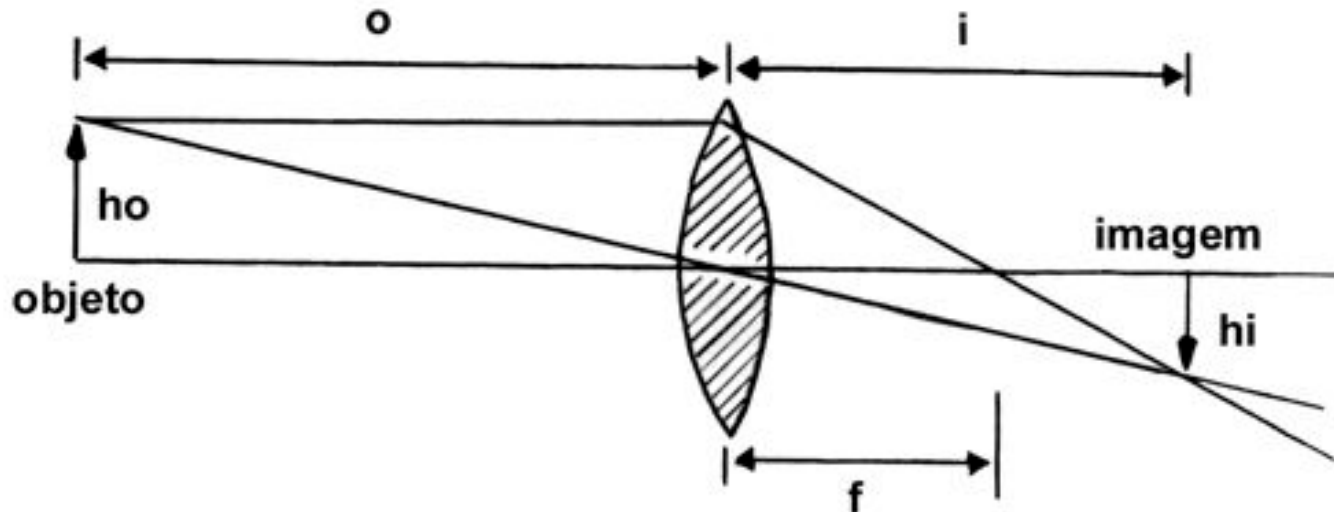
Se objeto e imagem estão em lados opostos, ambos têm o mesmo sinal (positivo). Se estão no mesmo lado, um é negativo em relação ao outro

- Objeto e imagem de uma lente
- Distância objeto (o) é a distância entre a posição do objeto e o centro da lente
- Distância imagem (i) é a distância entre a posição da imagem e o centro da lente



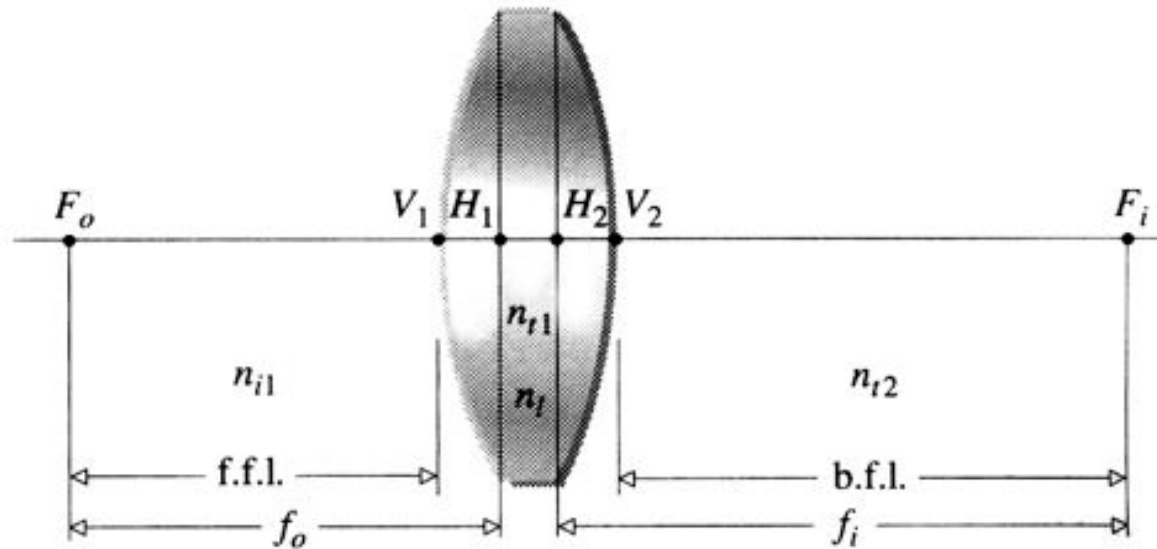
Lentes delgadas: algumas definições

- Objeto e imagem de uma lente
- Tamanho do objeto (h_o)
- Tamanho da imagem (h_i)
- Magnificação de uma lente $m = h_i/h_o = i/o$



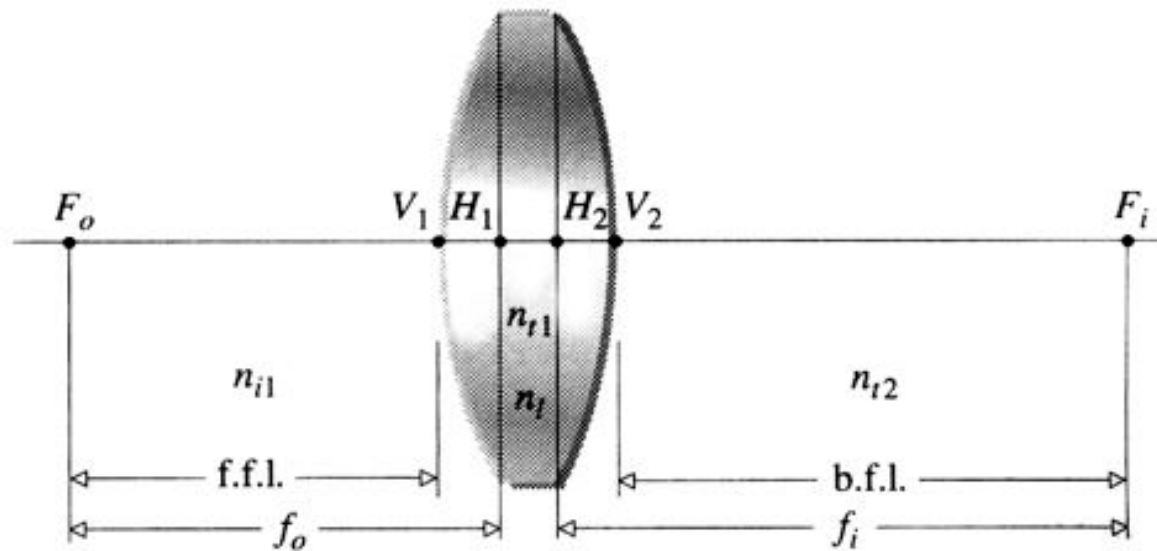
Lentes espessas: algumas definições

- Na lente espessa muitas aproximações adotadas para lente delgada não são válidas. Neste caso, tanto a espessura como a forma da superfície da lente são importantes para estabelecer as relações entre objeto e imagem.



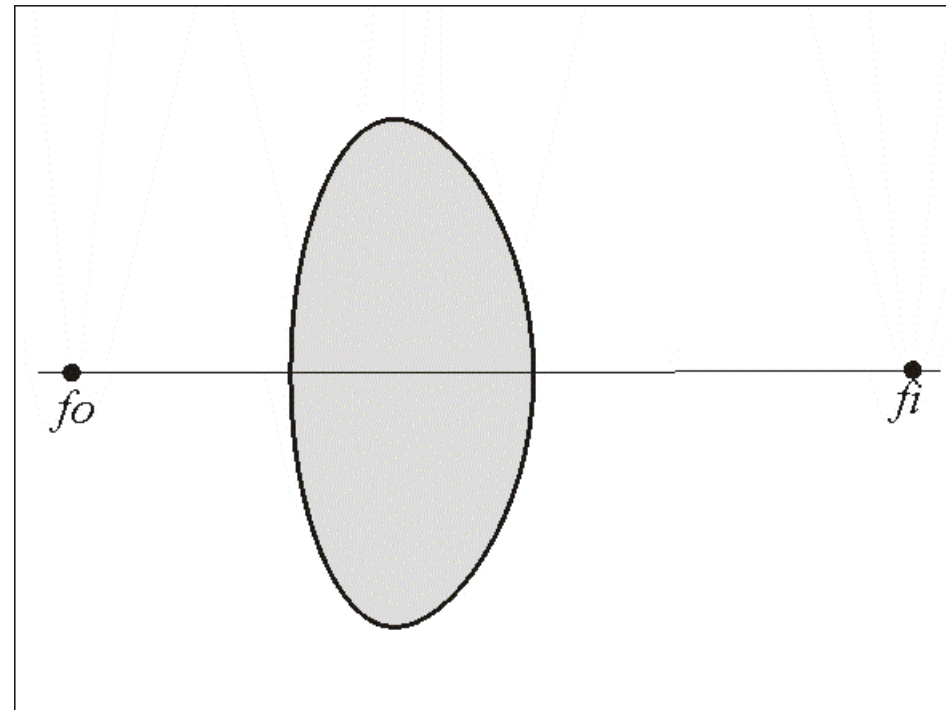
Lentes espessas: algumas definições

- As distâncias focais dependem do lado da lente. Costuma-se ter duas distâncias focais, f_o , ou foco objeto; e f_i , ou foco imagem.
- Estas distâncias são obtidas a partir dos planos principais da lente (H_1 e H_2)



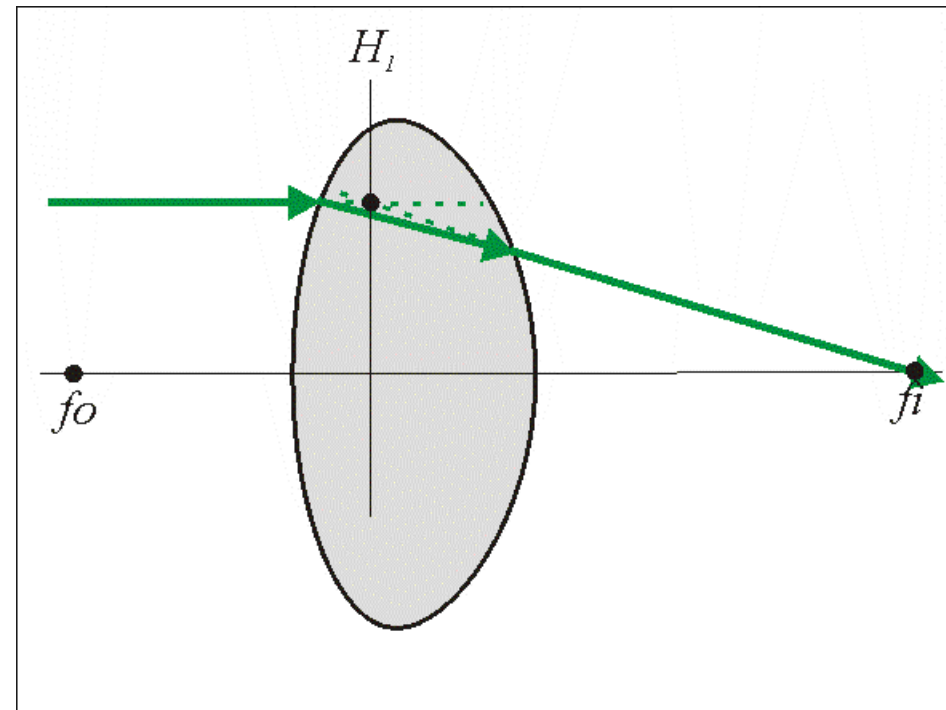
Lentes espessas: planos principais

- A determinação dos planos principais corresponde ao cruzamento das extrapolações dos raios paralelos que convergem para o foco da lente. Isso é feito para os dois focos da lente (f_o e f_i)



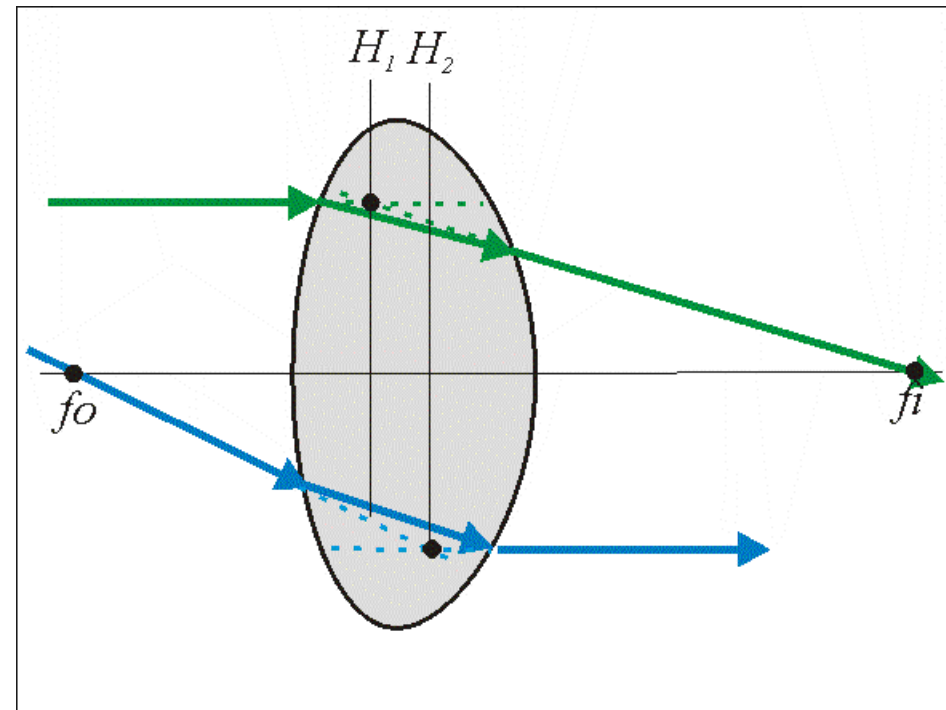
Lentes espessas: planos principais

- A determinação dos planos principais corresponde ao cruzamento das extrapolações dos raios paralelos que convergem para o foco da lente. Isso é feito para os dois focos da lente (f_o e f_i)



Lentes espessas: planos principais

- A determinação dos planos principais corresponde ao cruzamento das extrapolações dos raios paralelos que convergem para o foco da lente. Isso é feito para os dois focos da lente (f_o e f_i)



Como calcular a trajetória de raios luminosos em um sistema óptico?

- O cálculo das trajetórias de raios luminosos é bastante complexo e trabalhoso
- Necessita-se saber os ângulos de incidência em cada uma das superfícies, os respectivos índices de refração e as distâncias/formas das superfícies
- Uma técnica utilizada para estes cálculos é o método matricial

Como calcular a trajetória de raios luminosos em um sistema óptico?

- Para aplicar o método matricial nos moldes que iremos discutir, é necessário que os raios luminosos sejam paraxiais
- Um raio paraxial é aquele que os raios incidem na lente em ângulos pequenos, de tal modo que:

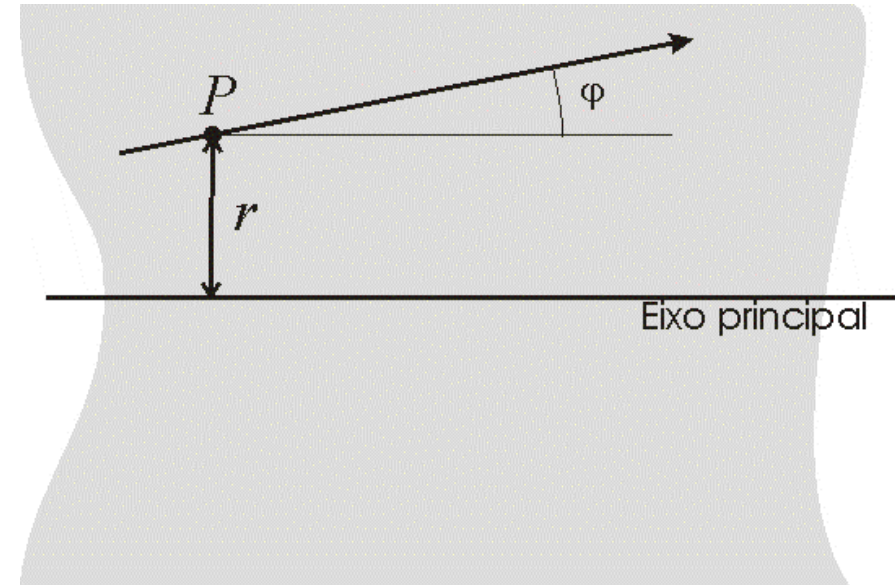
$$\cos \phi \sim 1$$

– Razoável para $\phi < 10^\circ$

$$\sin \phi \sim \phi$$

O método matricial

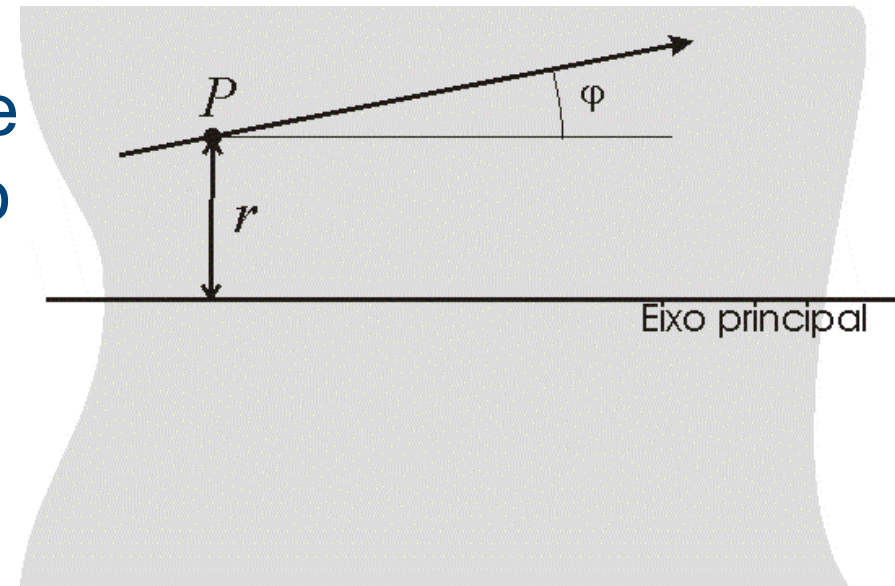
- Seja um raio luminoso R em um meio óptico qualquer. Podemos caracterizar, em qualquer ponto P , este raio luminoso pela distância ao eixo óptico principal e o ângulo com este eixo



O método matricial

- O método matricial estabelece uma transformação entre de um ponto P_1 para outro ponto P_2 de um meio através de uma matriz de transformação M

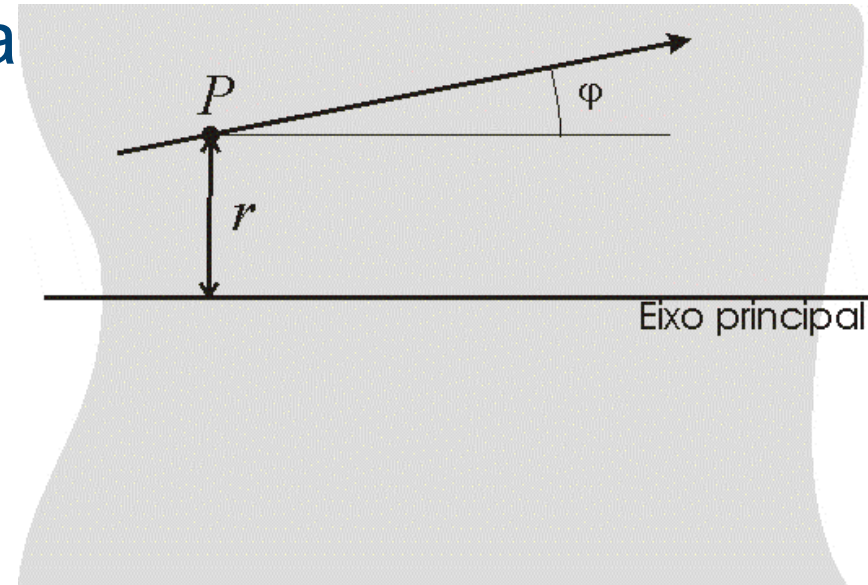
$$P_2 = M \cdot P_1$$



O método matricial

- Os pontos P_1 e P_2 dependem da distância (r_1 e r_2) e dos ângulos (φ_1 e φ_2) através de:

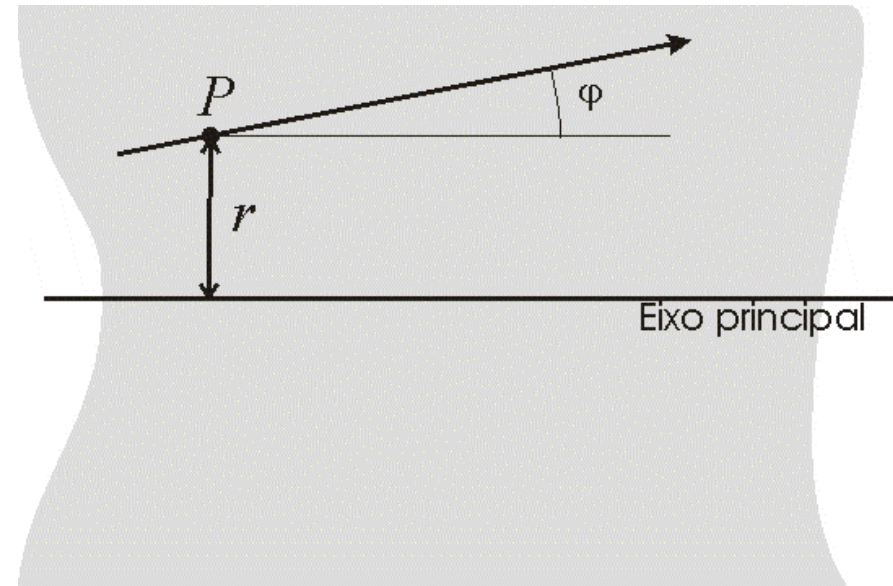
$$P_i = \begin{pmatrix} r_i \\ \varphi_i \end{pmatrix}$$



O método matricial

- A matriz de transformação é dada por:

$$M = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$$



O método matricial

- Assim, a transformação de um ponto P_1 para outro ponto P_2 em um meio pode ser escrita como

$$P_2 = M \cdot P_1$$

O método matricial

- Assim, a transformação de um ponto P_1 para outro ponto P_2 em um meio pode ser escrita como

$$P_2 = M \cdot P_1$$

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

O método matricial

- Assim, a transformação de um ponto P_1 para outro ponto P_2 em um meio pode ser escrita como

$$P_2 = M \cdot P_1$$

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} r_2 &= Ar_1 + B\varphi_1 \\ \varphi_2 &= Cr_1 + D\varphi_1 \end{aligned}$$

O método matricial

- A transformação inversa é feita através do inverso da matriz de transformação, ou seja:

$$P_1 = M^{-1} \cdot P_2$$

- Devido à reversibilidade de um raio luminoso, toda matriz de transformação, neste método, tem que ser inversível.

O método matricial

- O determinante de uma matriz de transformação tem que ser unitário, ou seja

$$\det(M) = 1$$

- Isto é consequência do teorema de Liouville que diz que a área de um feixe luminoso é conservada no espaço de fase

Propagadores em vários meios diferentes

Propagadores em vários meios diferentes

- A vantagem do método matricial é poder escrever a propagação de um raio luminoso por matrizes independentes para cada meio envolvido e combiná-las.

Propagadores em vários meios diferentes

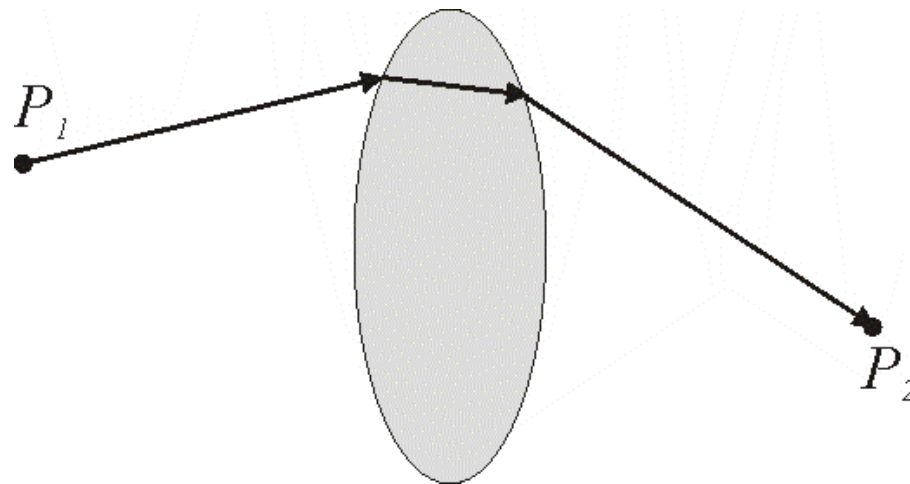
- A vantagem do método matricial é poder escrever a propagação de um raio luminoso por matrizes independentes para cada meio envolvido e combiná-las.
- Seja, por exemplo, uma propagação do ponto P_1 para P_2 que passa por vários meios distintos. A transformação, neste caso, é:

$$P_2 = M_n \cdot M_{n-1} \cdot \dots \cdot M_2 \cdot M_1 \cdot P_1$$

Exemplo: lente simples

- A transformação do ponto P_1 para P_2 é dada por:

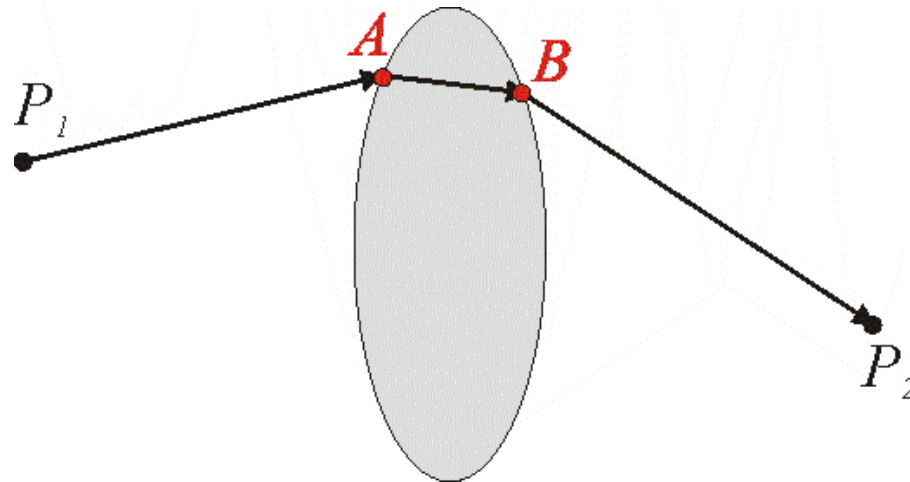
$$P_2 = M_{P_1 \rightarrow P_2} \cdot P_1$$



Exemplo: lente simples

- A matriz de transformação M é a composição de três matrizes diferentes:

$$M_{P_1 \rightarrow P_2} = M_{B \rightarrow P_2} \cdot M_{A \rightarrow B} \cdot M_{P_1 \rightarrow A}$$



Exemplo: lente simples

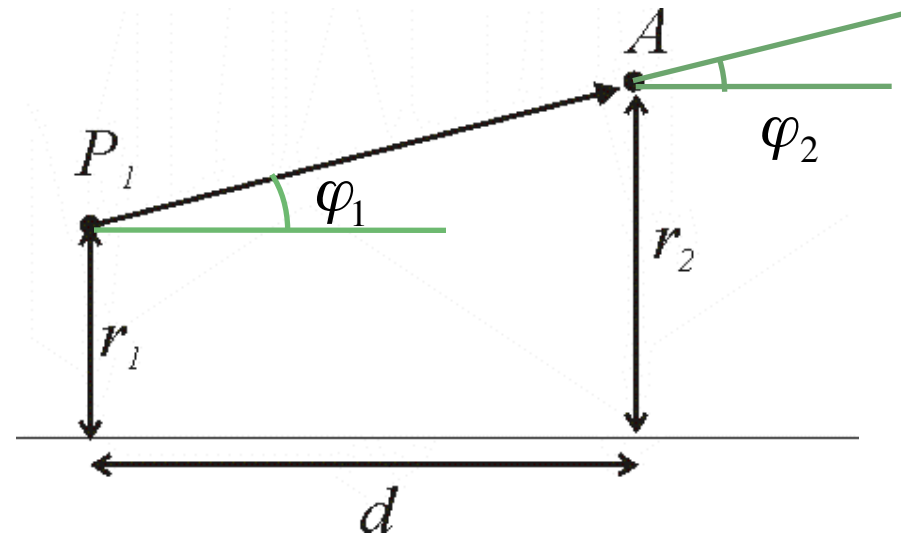
- Como fazer a matriz de propagação de P_1 para A ?
 - Propagação em linha reta

$$\varphi_2 = \varphi_1$$

$$r_2 = r_1 + d \tan \varphi_1$$

$$\tan \varphi_1 \sim \varphi_1$$

$$r_2 = r_1 + d\varphi_1$$

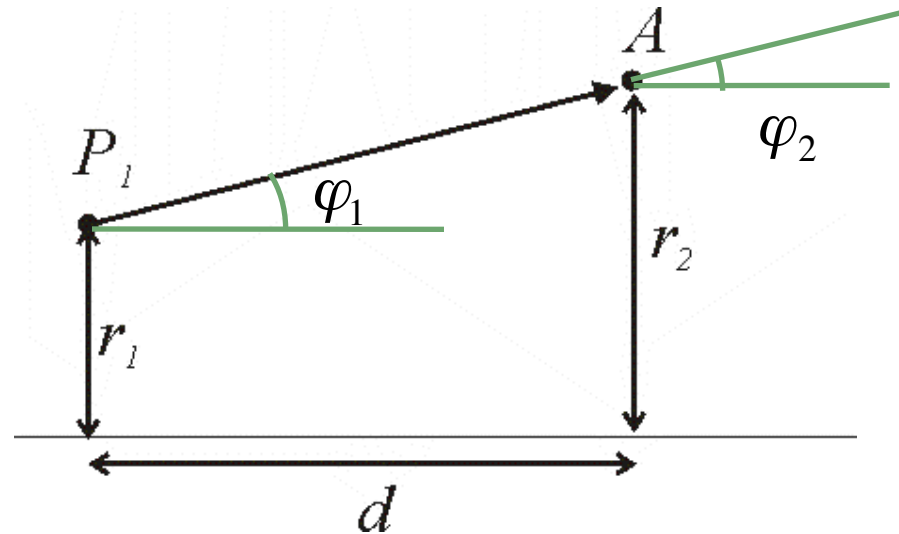


Exemplo: lente simples

- Assim, a partir das equações $\varphi_2 = \varphi_1$ e $r_2 = r_1 + d\varphi_1$ podemos escrever:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

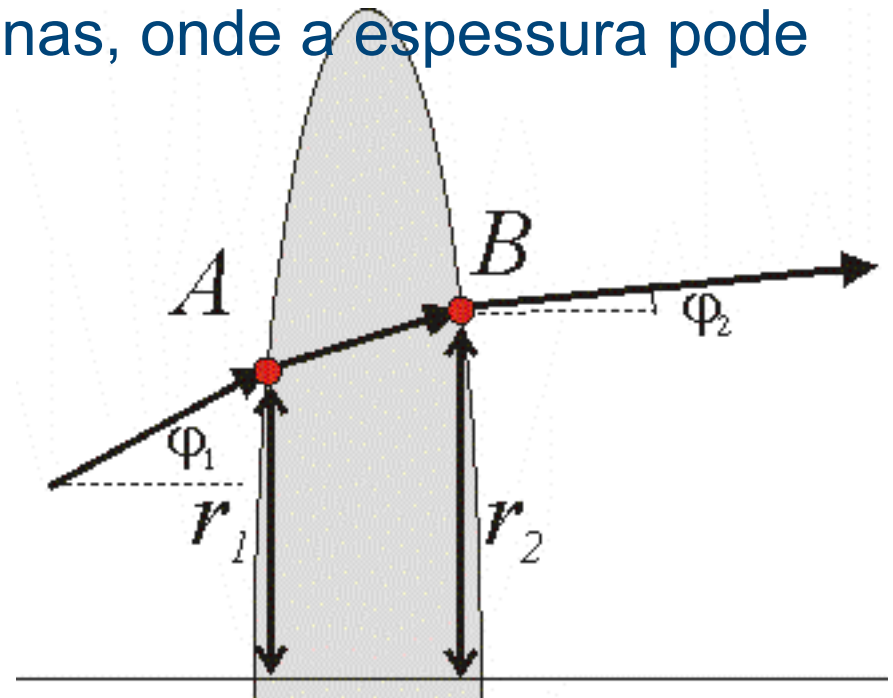
$$M = \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

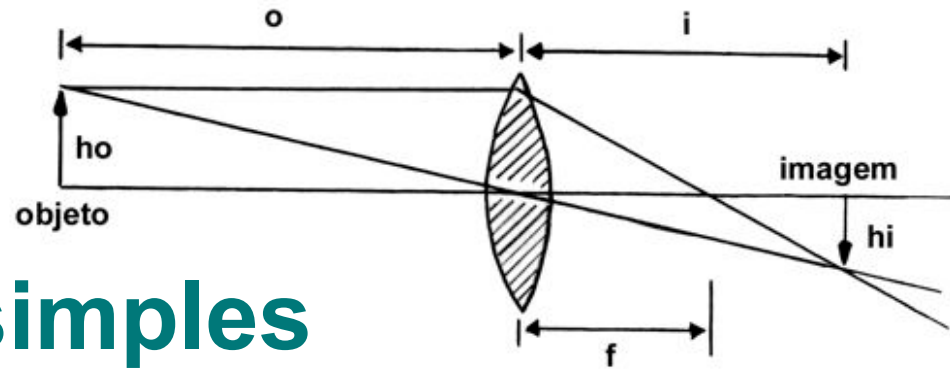


Exemplo: lente simples

- Para a transformação dentro da lente (ver apostila de 2007, em detalhes):
 - Lentes delgadas apenas, onde a espessura pode ser desprezada

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

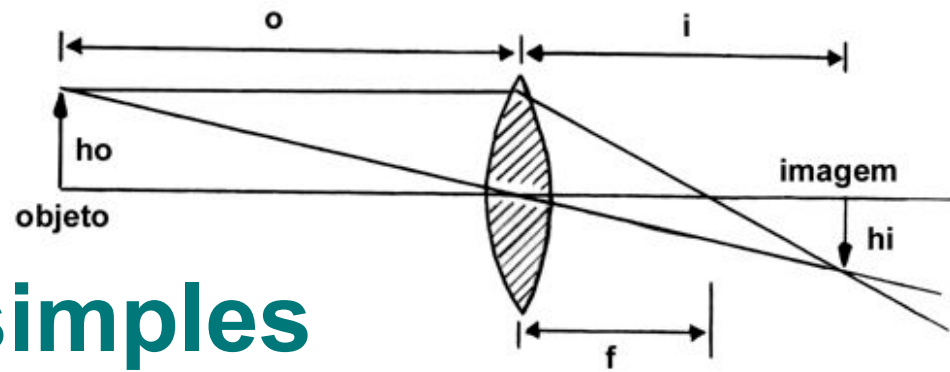




Exemplo: lente simples

- Assim, a transformação completa para uma lente simples, delgada vale:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & o \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

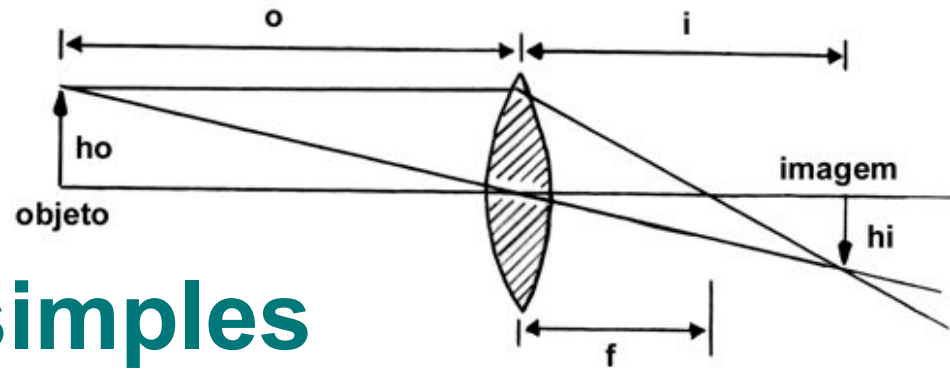


Exemplo: lente simples

- Assim, a transformação completa para uma lente simples, delgada vale:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & o \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

Transformação
Ponto objeto (o) até a
lente (A)



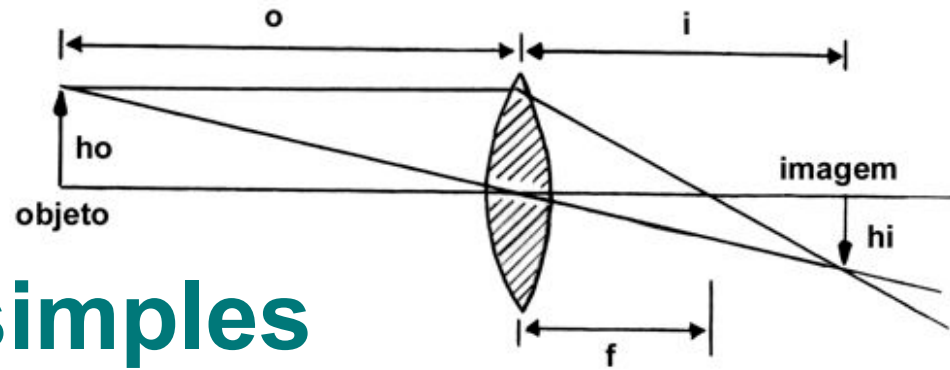
Exemplo: lente simples

- Assim, a transformação completa para uma lente simples, delgada vale:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & o \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

Transformação
Dentro da lente

Transformação
Ponto objeto (o) até a
lente (A)



Exemplo: lente simples

- Assim, a transformação completa para uma lente simples, delgada vale:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & o \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

Transformação
Saída da lente (B) até
O ponto imagem (i)

Transformação
Dentro da lente

Transformação
Ponto objeto (o) até a
lente (A)

Exemplo: lente simples

- Assim, a transformação completa para uma lente simples, delgada vale:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{i}{f} & 0 - \frac{i0}{f} + i \\ -\frac{1}{f} & 1 - \frac{0}{f} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{i}{f} & o - \frac{io}{f} + i \\ -\frac{1}{f} & 1 - \frac{o}{f} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$

Exemplo: lente simples

- Ou seja

$$r_2 = \left(1 - \frac{i}{f}\right)r_1 + \left(o - \frac{io}{f} + i\right)\varphi_1$$

$$\varphi_2 = -\frac{1}{f}r_1 + \left(1 - \frac{o}{f}\right)\varphi_1$$

Exemplo: lente simples

- Ou seja

$$r_2 = \left(1 - \frac{i}{f}\right)r_1 + \left(o - \frac{io}{f} + i\right)\varphi_1$$

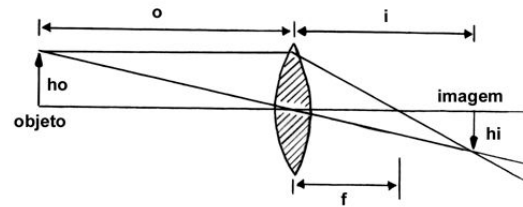
- Em uma lente delgada, qualquer raio saindo de r_1 deve chegar a r_2 , independente de φ_1 , ou seja, o segundo termo da expressão acima tem que ser nulo

Exemplo: lente simples

- Ou seja

$$\left(o - \frac{io}{f} + i \right) \varphi_1 = 0 \quad \boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}}$$

- Equação de Gauss para lentes delgadas
- O método matricial é muito útil para resolver associação de lentes e lentes espessas (ver apostila)

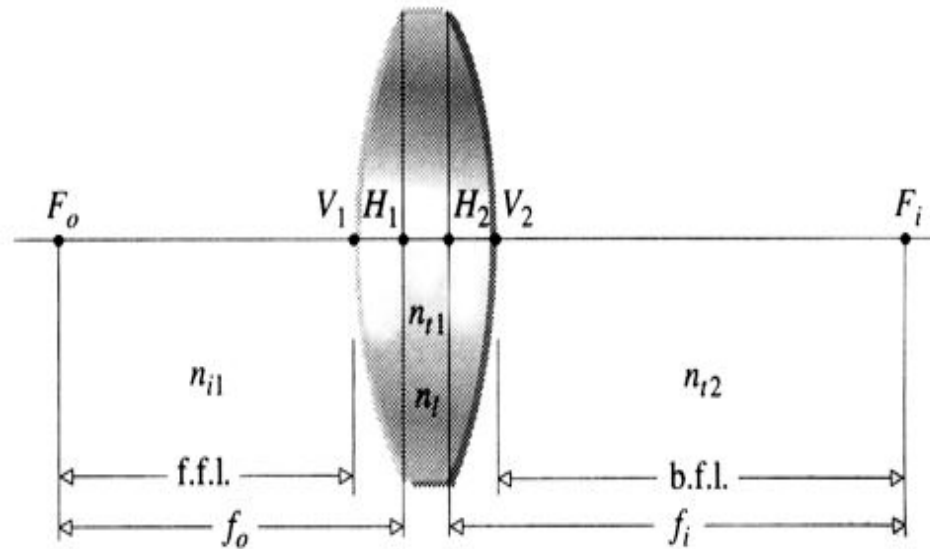


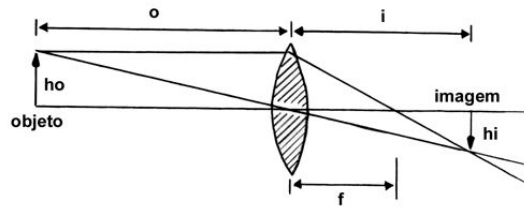
$$M_{\text{delgada}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

No caso da lente espessa...

- Neste caso, a matriz de propagação é mais complexa, porém pode ser demonstrada (ver apostila de 2007) e vale:

$$M = \begin{pmatrix} 1 - \frac{tP_1}{n} & \frac{t}{n} \\ \frac{t}{n} P_1 P_2 - P_1 - P_2 & 1 - \frac{tP_2}{n} \end{pmatrix}$$





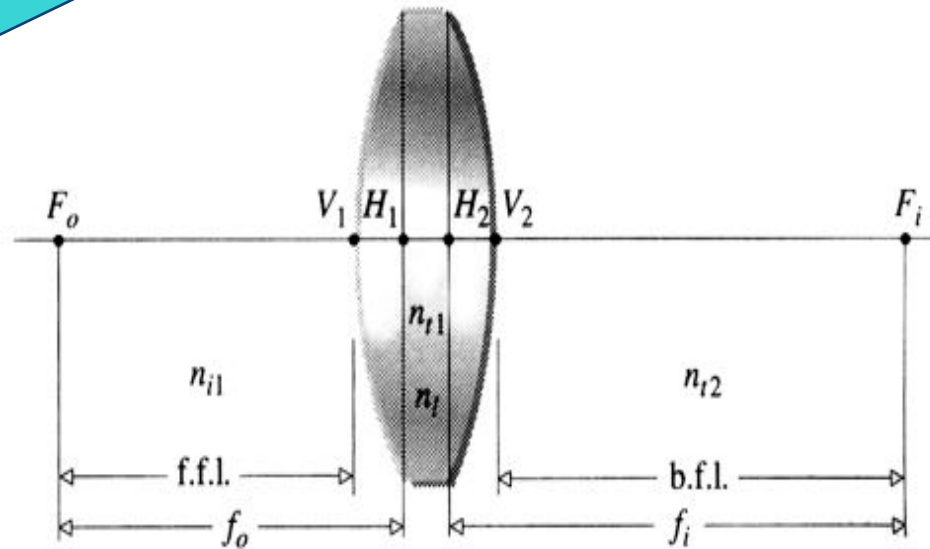
$$M_{\text{delgada}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

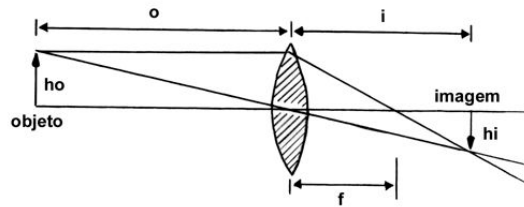
No caso da lente espessa...

- Neste caso, a matriz de propagação é mais complexa, porém pode ser demonstrada (ver apostila de 2007) e

t é a espessura da lente

$$M = \begin{pmatrix} 1 - \frac{tP_1}{n} & \frac{t}{n} \\ \frac{t}{n} P_1 P_2 - P_1 - P_2 & 1 - \frac{tP_2}{n} \end{pmatrix}$$





$$M_{\text{delgada}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

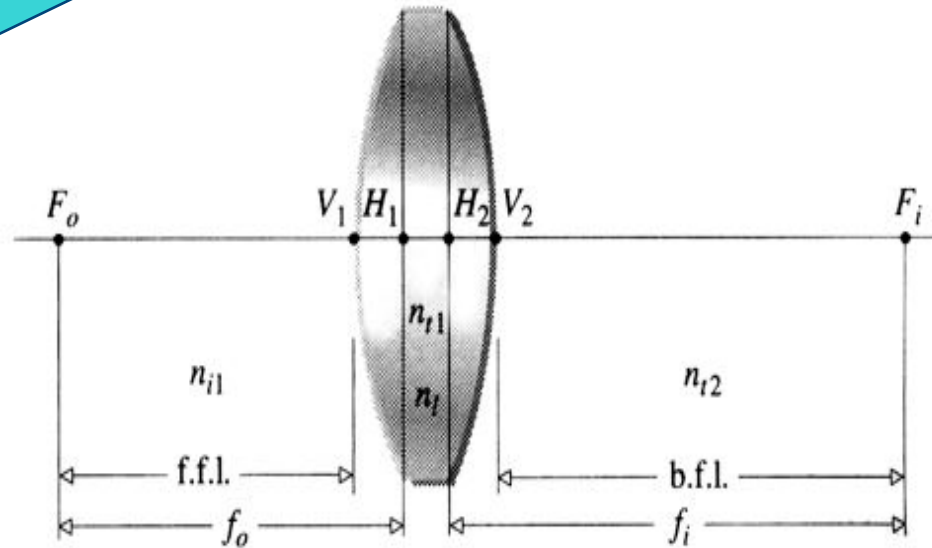
P_i é a potência da superfície i , caso, a matriz de propagação é mais complexa, porém pode ser demonstrada (ver a revista de 2007) e t é a espessura da lente

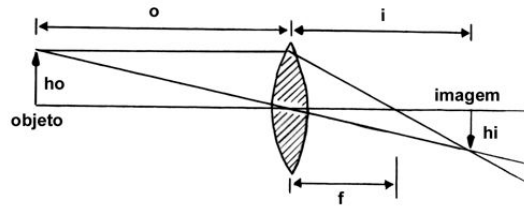
P_i é a potência da superfície i ,

$$P_i = \frac{n - 1}{R_i}$$

caso, a matriz de propagação é mais complexa, porém pode ser demonstrada (ver a revista de 2007) e t é a espessura da lente

$$M = \begin{pmatrix} 1 - \frac{tP_1}{n} & \frac{t}{n} \\ \frac{t}{n} P_1 P_2 - P_1 - P_2 & 1 - \frac{tP_2}{n} \end{pmatrix}$$





$$M_{\text{delgada}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

Potência da lente espessa...

P_i é a potência da superfície i ,

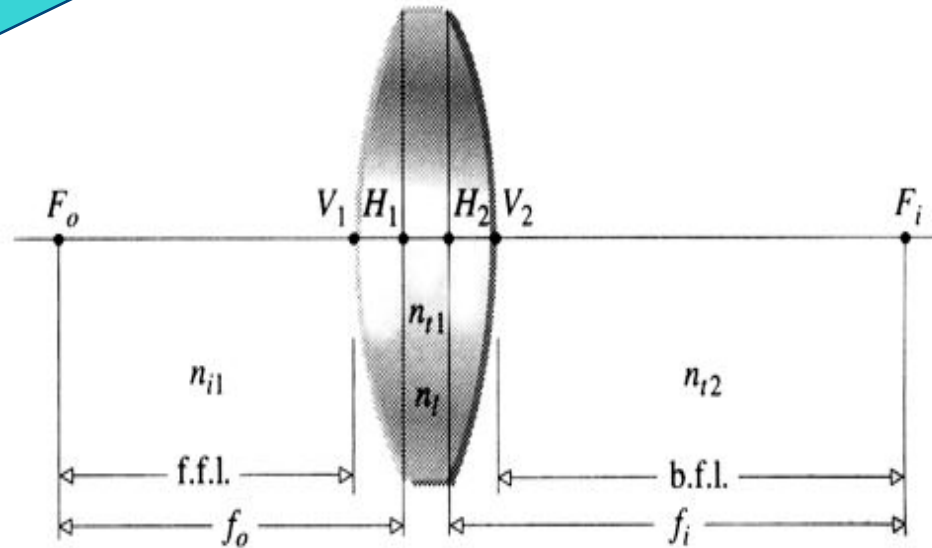
$$P_i = \frac{n - 1}{R_i}$$

...neste caso, a matriz de propagação é mais complexa, porém pode ser demonstrada (ver a apostila de 2007) e

t é a espessura da lente

$$M = \begin{pmatrix} 1 - \frac{tP_1}{n} & \frac{t}{n} \\ \frac{t}{n} P_1 P_2 - P_1 - P_2 & 1 - \frac{tP_2}{n} \end{pmatrix}$$

$-1/f$ fornece o foco médio da lente



No caso da lente espessa...

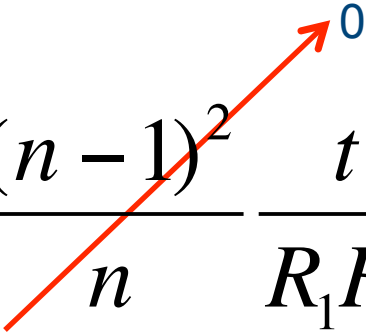
- Uma consequência desta matriz de transformação é que:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{(n - 1)^2}{n} \frac{t}{R_1 R_2}$$

- Denominada equação do fabricante de lentes

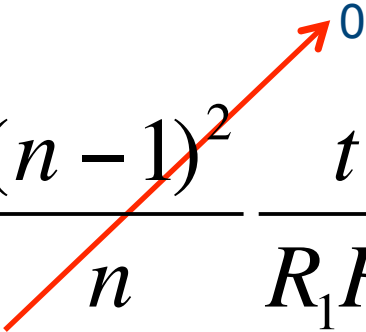
No caso da lente espessa...

- Caso a espessura seja desprezível (lentes delgadas), podemos fazer que

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{(n - 1)^2}{n} \frac{t}{R_1 R_2}$$


No caso da lente espessa...

- Caso a espessura seja desprezível (lentes delgadas), podemos fazer que

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{(n - 1)^2}{n} \frac{t}{R_1 R_2}$$


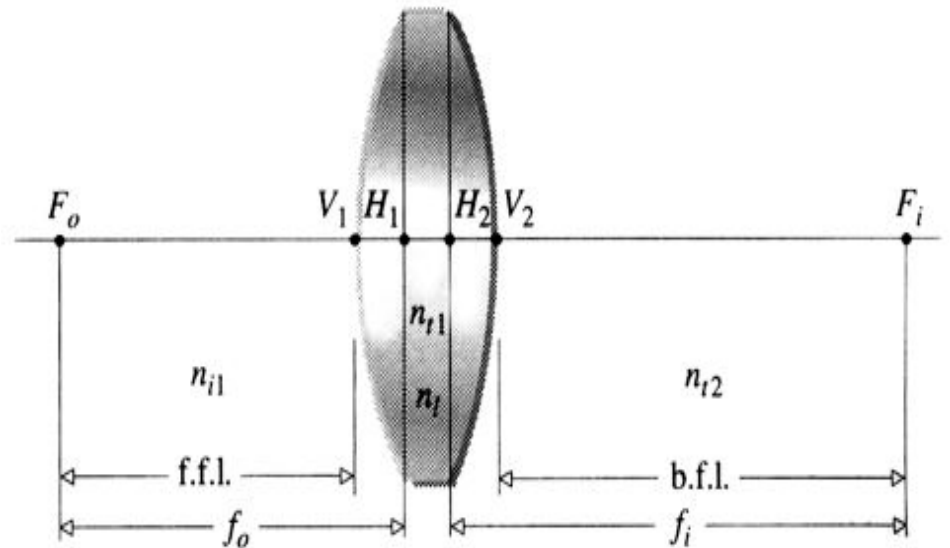
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

No caso da lente espessa...

- E que os planos principais da lente são dados por:

$$H_1 = \frac{t}{n \left(1 + \frac{P_1}{P_2} - t \frac{P_1}{n} \right)}$$

$$H_2 = \frac{t}{n \left(1 + \frac{P_2}{P_1} - t \frac{P_2}{n} \right)}$$



Objetivos da semana

- Medir, com a maior precisão possível, a distância focal de duas lentes a sua escolha
 - Uma lente convergente e outra divergente!
 - $f \sim 5, 10$ e 20 cm
 - Dica: Para a divergente, deve-se fazer associação com uma convergente.
 - Anote as lentes utilizadas
- Com base na análise dos dados, quantifique se a aproximação de lente delgada pode ser utilizada. Discuta os resultados.
 - Dica: observe as equações que relacionam foco com dimensões da lente
- Na síntese, descreva brevemente o método e procedimentos adotados.

Objetivos da semana

- Materiais a disposição:
 - Bancada óptica milimetrada
 - Lentes diversas
 - Objetos luminosos
 - Anteparos
 - Lasers, etc.

