Física Experimental IV

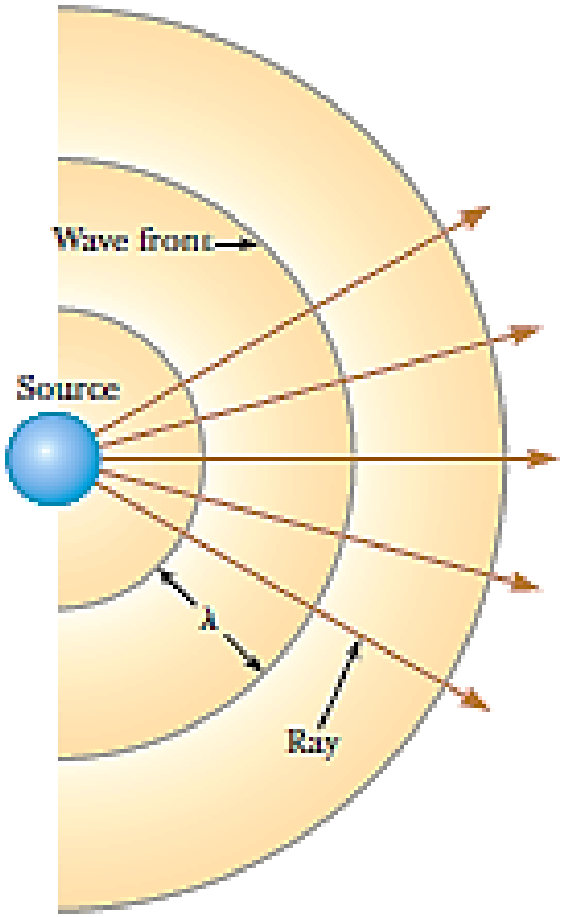
2º Semestre de 2018

Prof. Dr. Lucas Barboza Sarno da Silva

Introdução à Óptica Geométrica

- Ondas esféricas e ondas planas
- Aproximação retilínea
- Reflexão e refração
- Dispersão em prisma
- Reflexão interna total
- Espelhos e lentes esféricos
- Imagens formadas pelos espelhos
- Lentes esféricas delgadas
- Experimentos a serem realizados

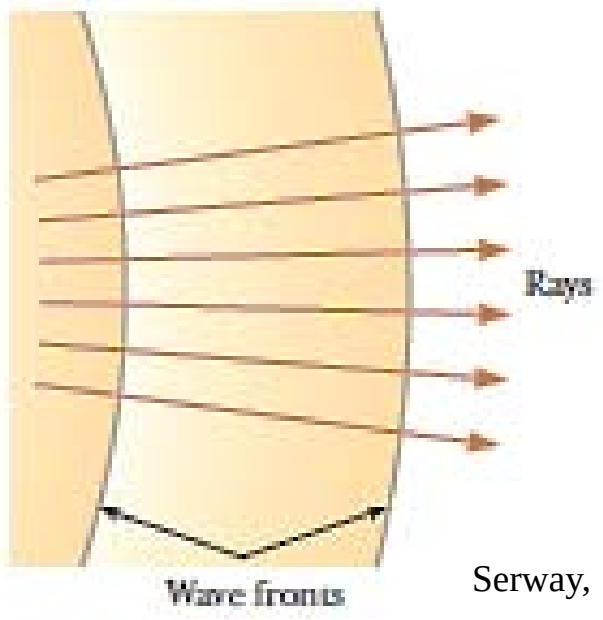
Ondas esféricas e ondas planas



Serway, 1992

- **Representação:** arcos circulares concêntricos à fonte
- Cada arco representa uma superfície onde a fase da onda é uma constante. Essa superfície é a frente de fase, ou **frente de onda**.
- A distância entre frentes de fase adjacentes é igual ao **comprimento de onda** λ.
- As retas radiais que saem da fonte são os **raios**.

Ondas esféricas e ondas planas

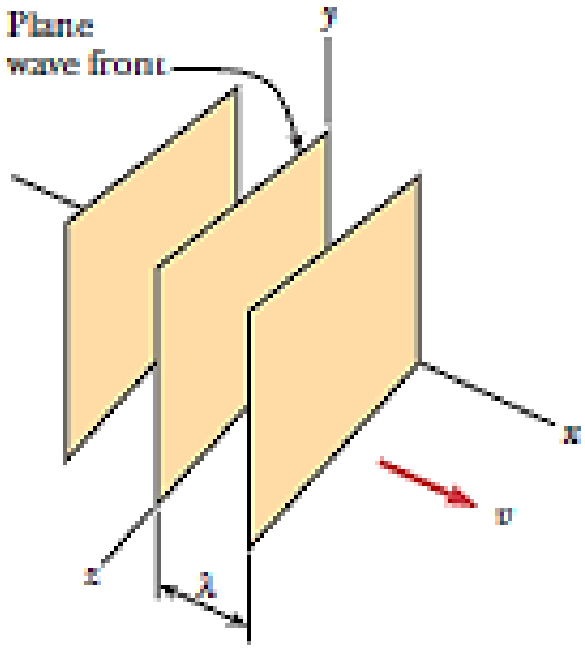


Serway, 1992

Pequena parte das frentes de onda a grande distância da fonte.

- Raios quase paralelos
- Frentes de onda quase planas

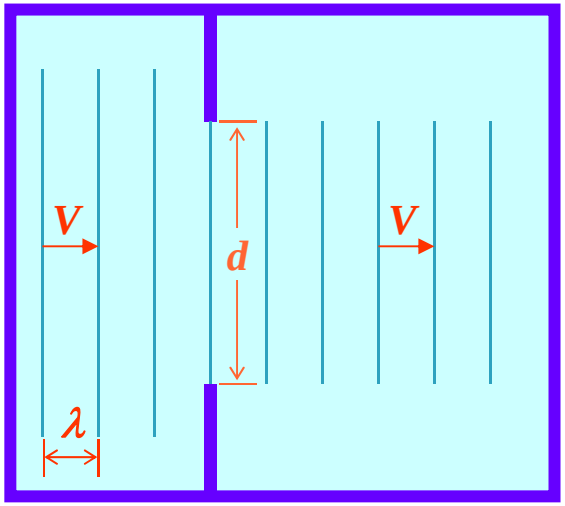
Frente de onda plana



Serway, 1992

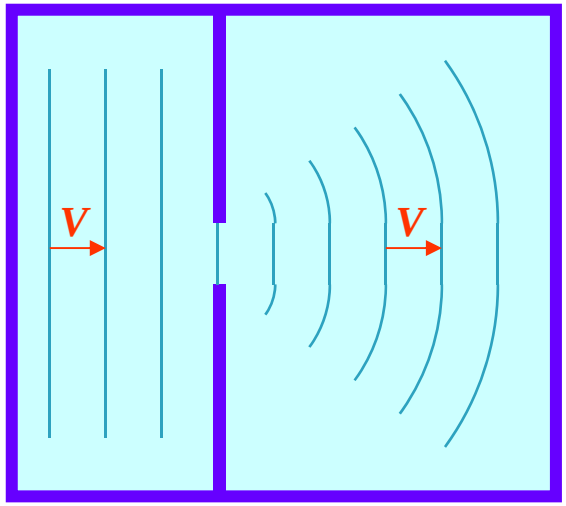
Aproximação retilínea da Óptica Geométrica

$\lambda << d$



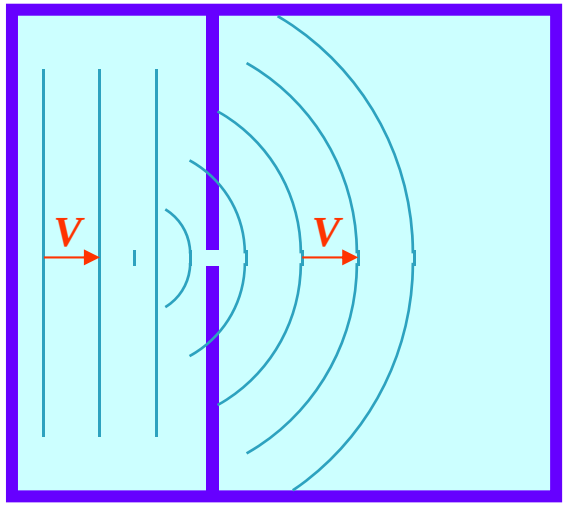
Não ocorre difração

$\lambda \cong d$



Ocorre difração

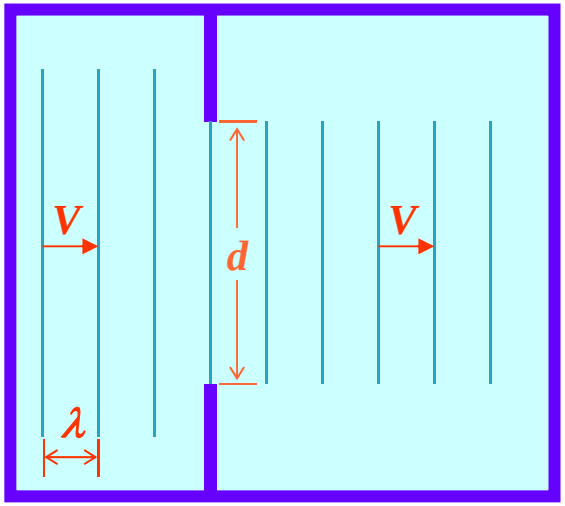
$\lambda >> d$



Ocorre difração acentuada

Aproximação retilínea da Óptica Geométrica

$\lambda \ll d$



Não ocorre difração

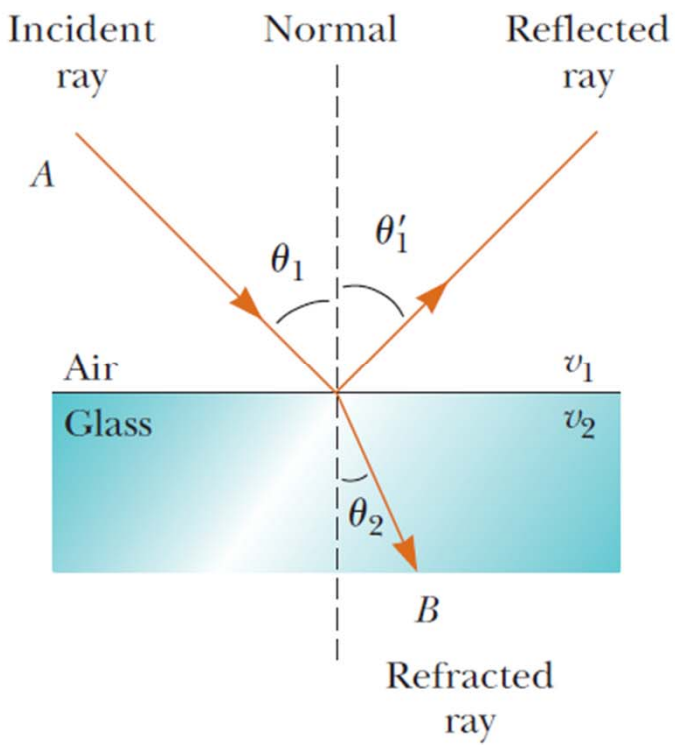
- Na aproximação retilínea, admitimos que uma onda que se propaga através de um meio avança sobre uma reta, na direção dos seus raios.

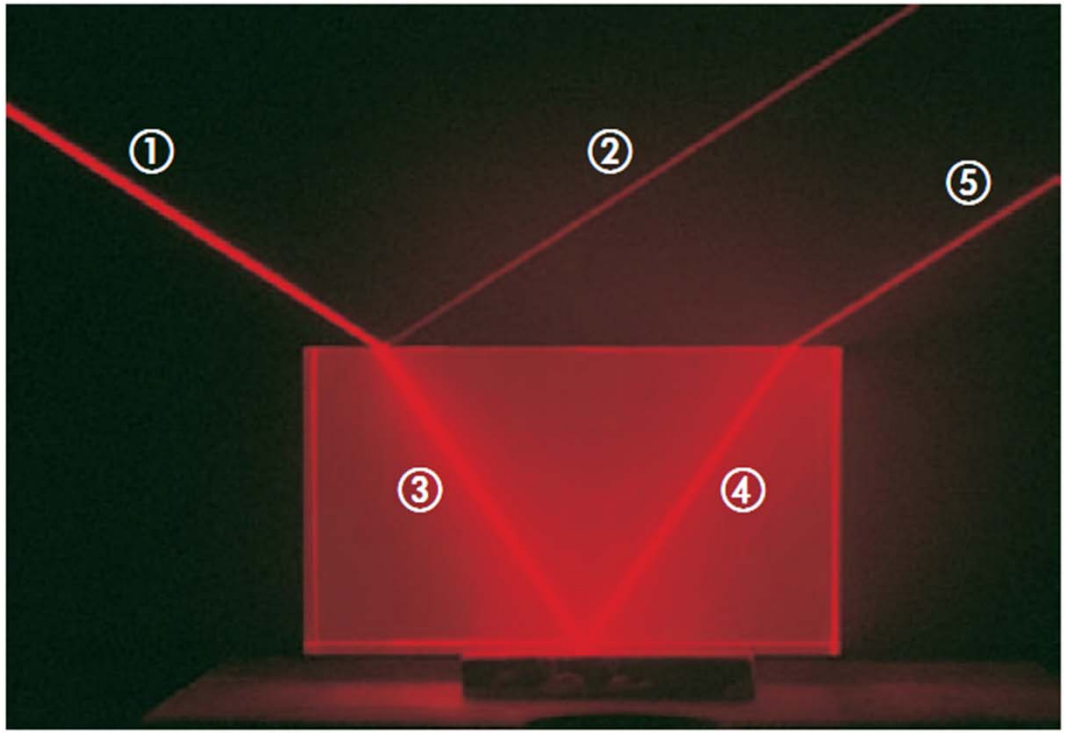
- Isto é, um raio é uma reta traçada na direção da propagação da luz.

Óptica Geométrica

$\lambda \ll d$

Reflexão e refração da Luz

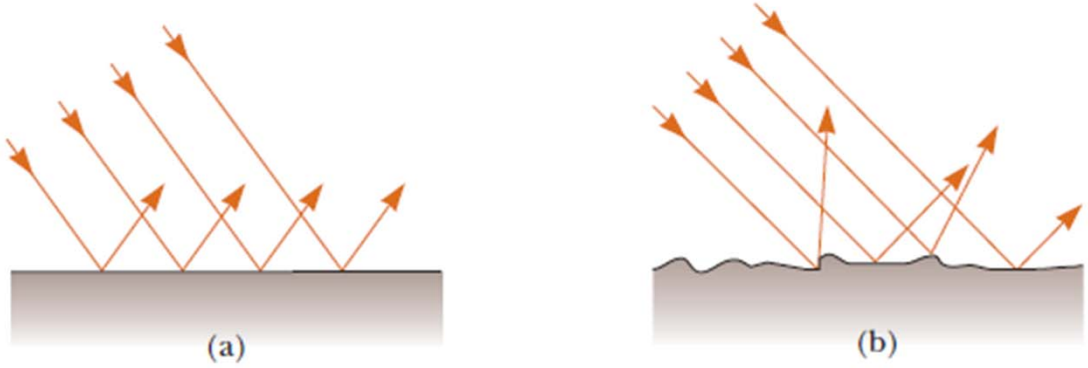


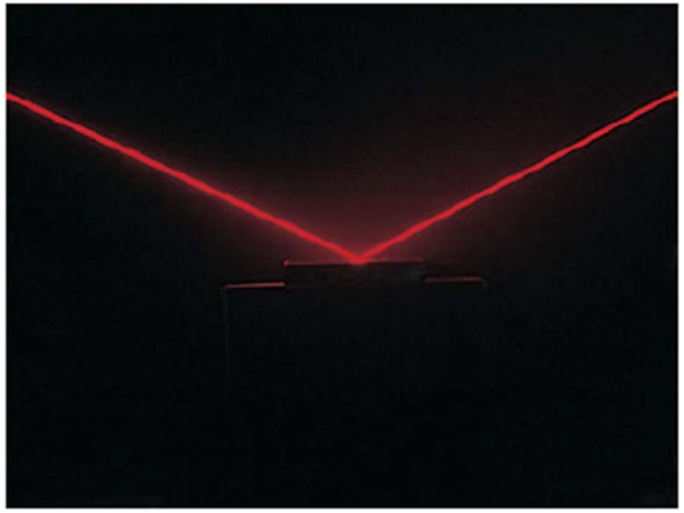


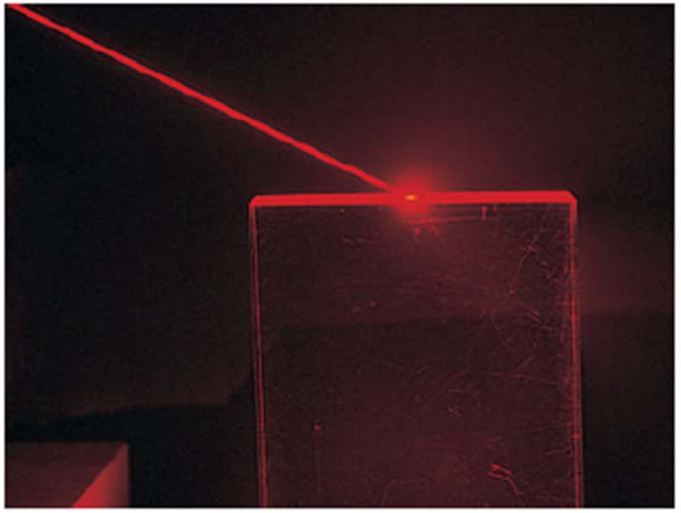
Courtesy of Henry Leap and Jim Lehman

Serway, 1992

Reflexão da Luz







Photographs Courtesy of Henry Leap and Jim Lehman

Serway, 1992

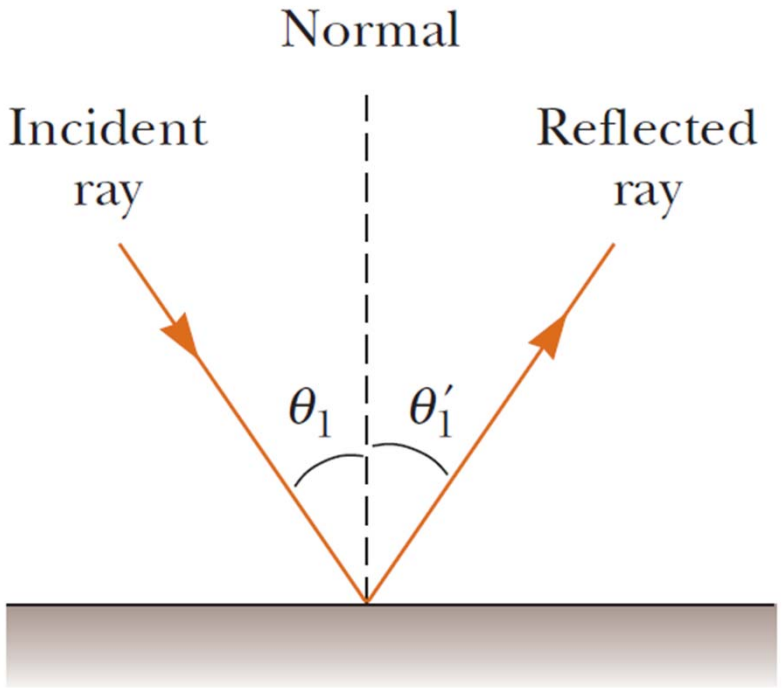
Reflexão especular

Reflexão difusa

Reflexão da Luz

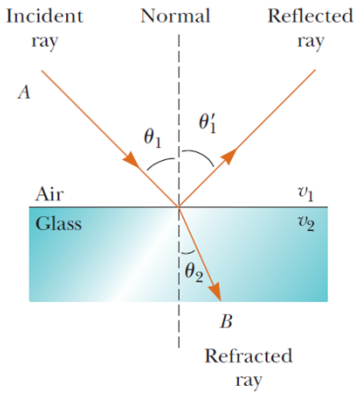
Experimentos mostram que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

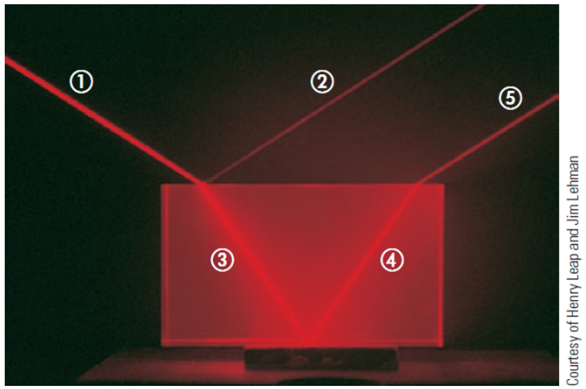
$$\theta_1 = \theta'_1$$



Serway, 1992

Refração da Luz





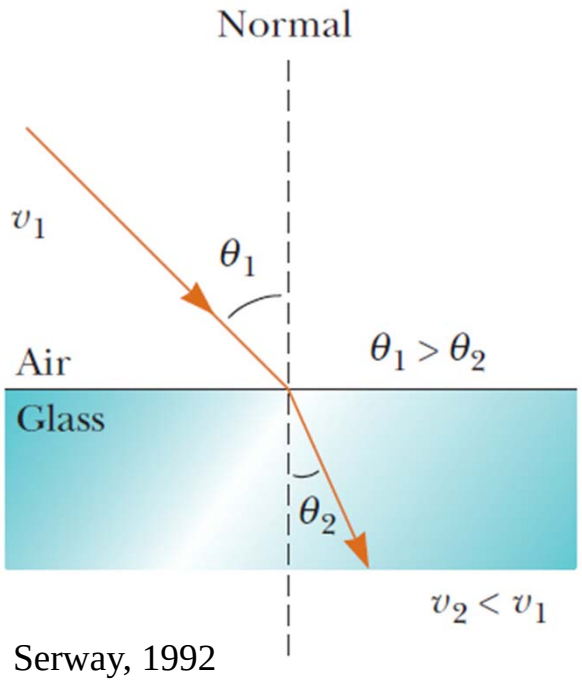
Serway, 1992

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = constante$$

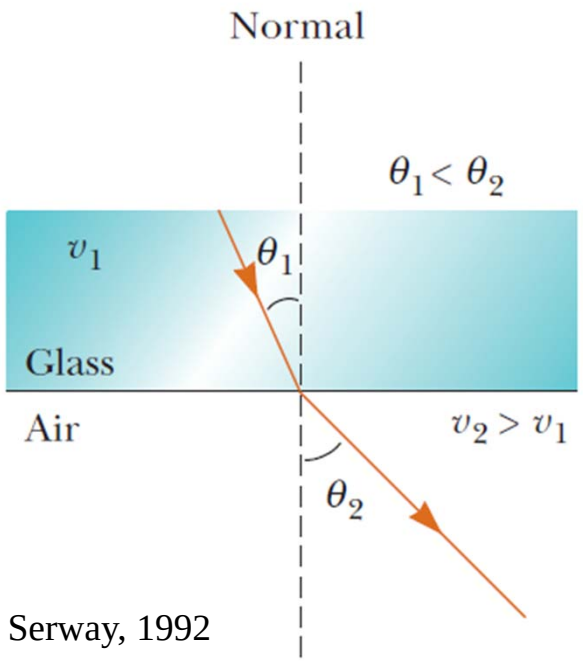
Índice de refração: $$n = \frac{velocidade\ da\ luz\ no\ vácuo}{velocidade\ da\ luz\ no\ meio} = \frac{c}{v} \qquad n \geq 1$$

Quando a luz passa de um meio para outro, é refratada em virtude de a velocidade da luz ser diferente nos dois meios.

A velocidade da luz em qualquer material é menor que a velocidade da luz no vácuo.



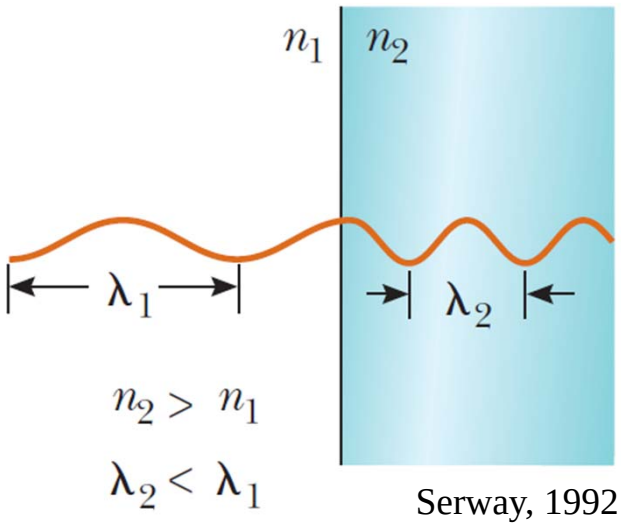
Serway, 1992



Serway, 1992

Quando a luz passa de um meio onde a sua velocidade é alta para um meio no qual a sua velocidade é mais baixa, o ângulo de refração $\theta_2 < \theta_1$.

Se o raio passa de um meio em que se propaga lentamente para um outro meio em que se propaga com maior velocidade, o raio refratado é desviado afastando-se da normal.



Serway, 1992

Velocidade de propagação de uma onda:

$$v = \lambda f$$

- $v_1 = \lambda_1 f$
- $v_2 = \lambda_2 f$

Dividindo estas duas equações e usando o índice de refração:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

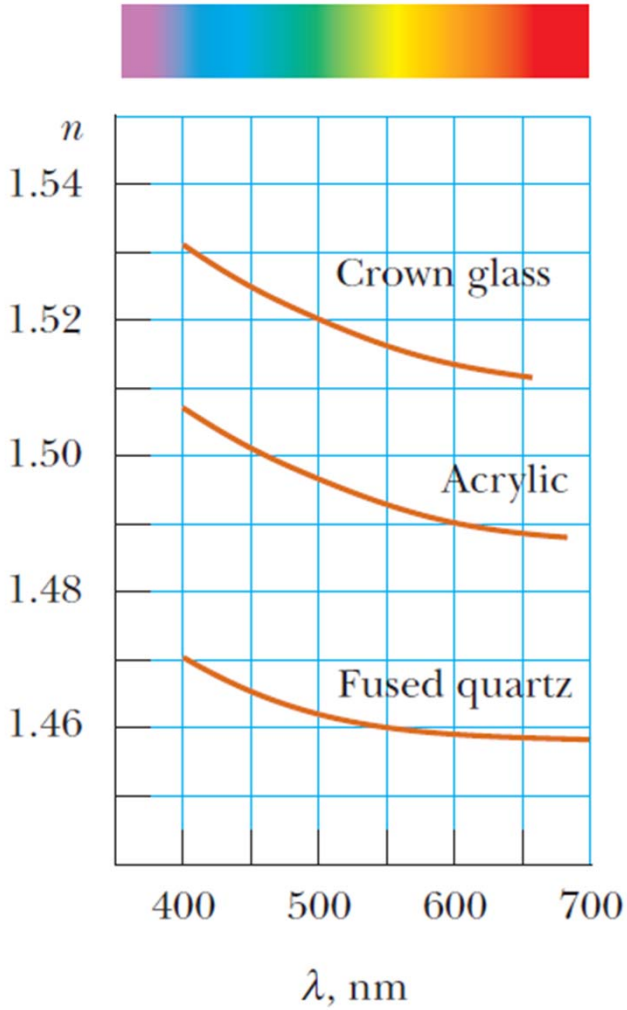
$$n = \frac{velocidade\ da\ luz\ no\ vácuo}{velocidade\ da\ luz\ no\ meio} = \frac{c}{v}$$

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = constante$$

Temos:

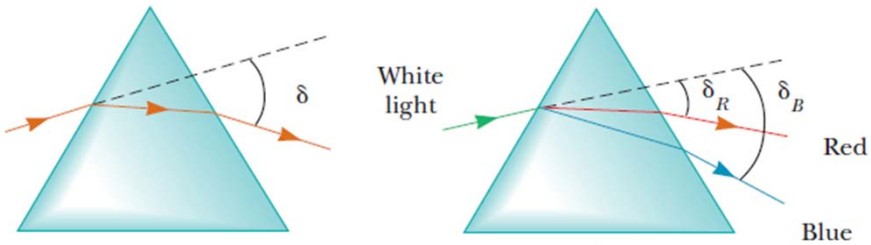
Lei de Snell: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

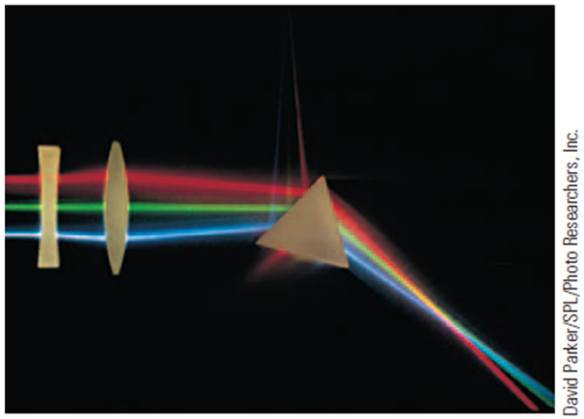
Dispersão e prismas



Serway, 1992

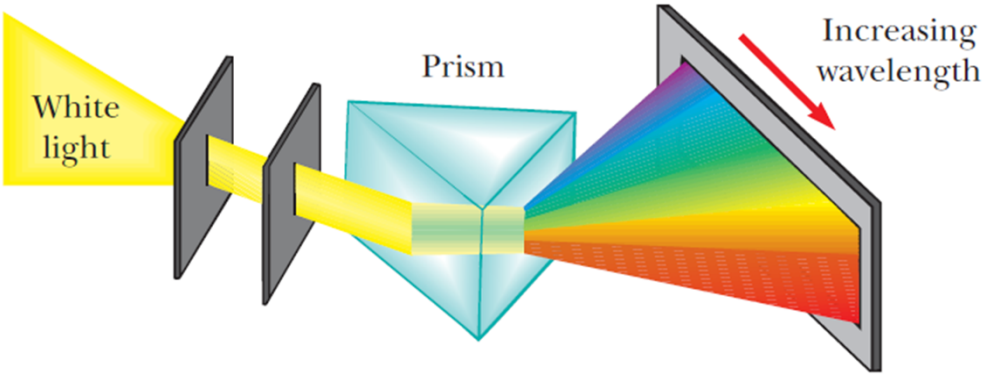
Uma importante propriedade do índice de refração é a de ser diferente para diferentes comprimentos de onda da luz incidente.

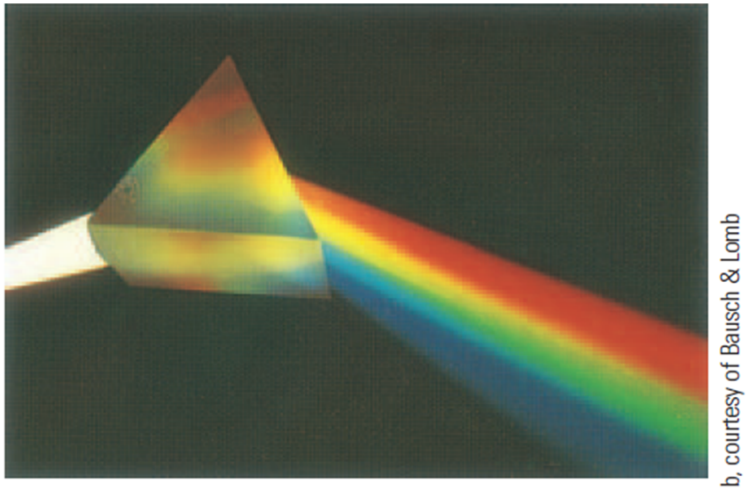




Serway, 1992

Esta importante propriedade pode ser usada de forma prática em espectroscopia óptica.

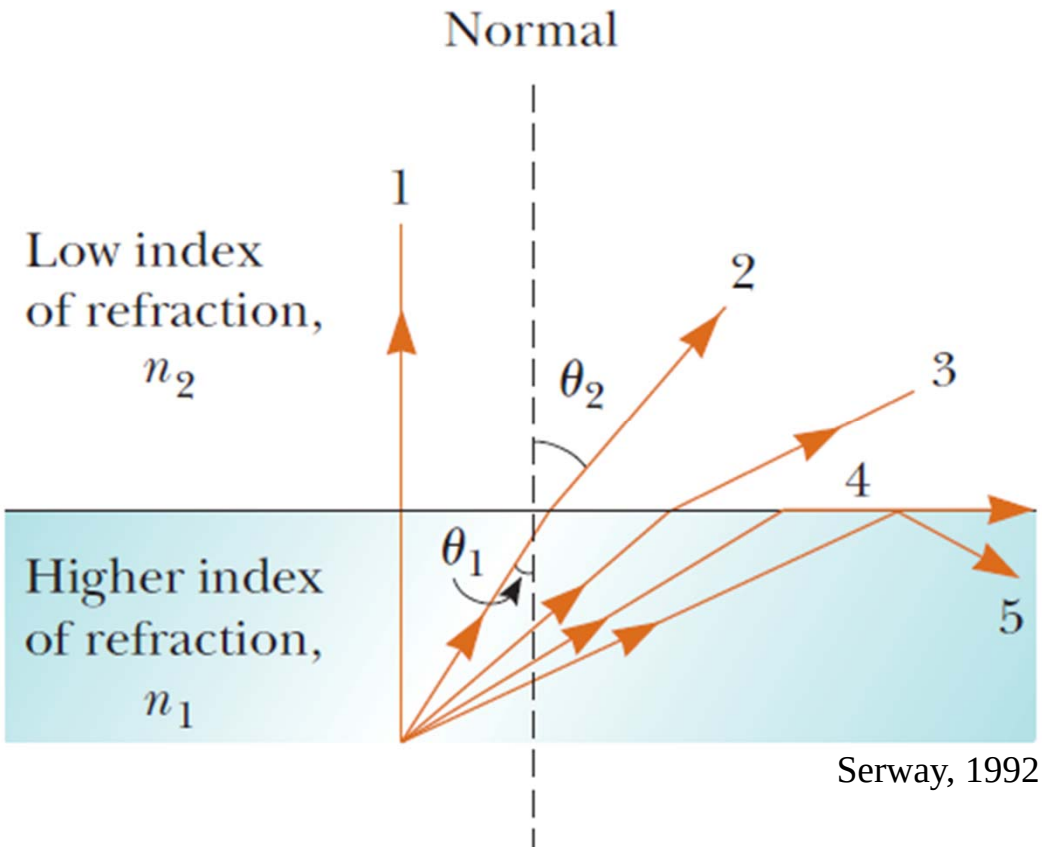




Serway, 1992

Reflexão Interna Total

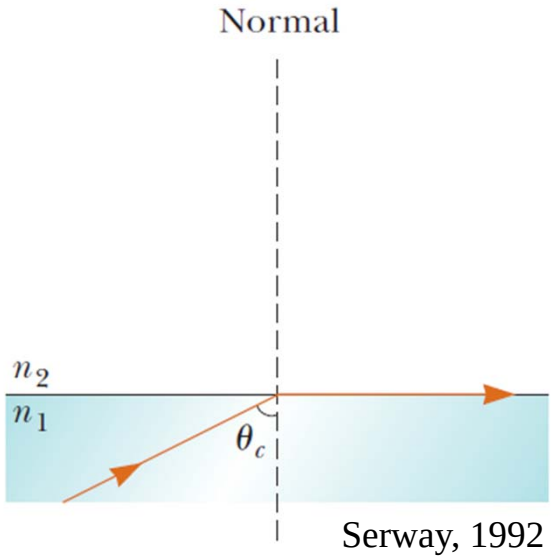
A reflexão interna total pode ocorrer quando a luz passa de um meio com um certo índice de refração para outro meio que tem índice de refração mais baixo.



Serway, 1992

Reflexão Interna Total

A reflexão interna total pode ocorrer quando a luz passa de um meio com um certo índice de refração para outro meio que tem índice de refração mais baixo.



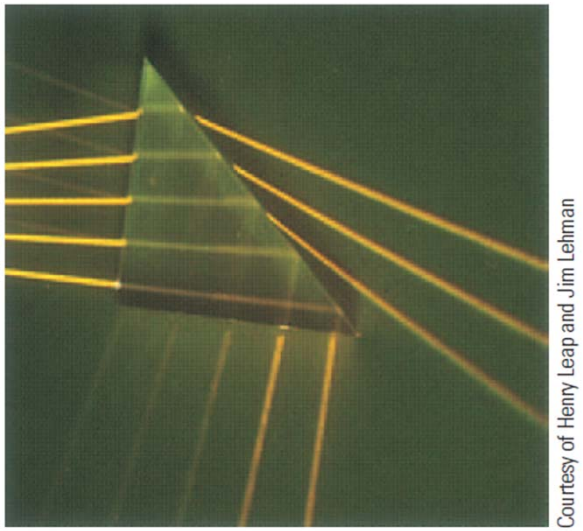
Serway, 1992

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90°$$

$$\boxed{\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \qquad \text{para } n_1 > n_2}$$

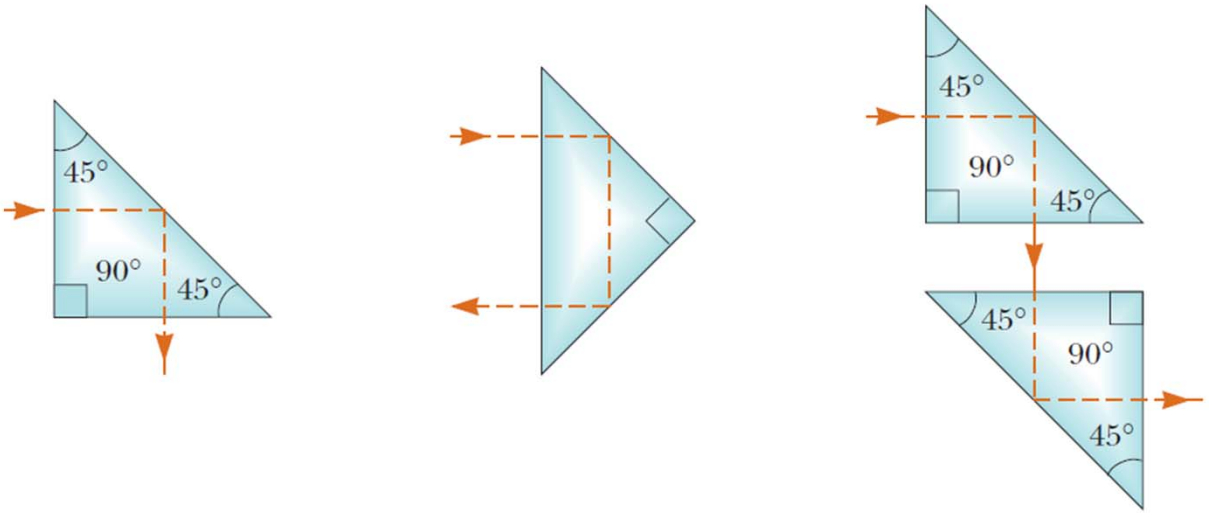
A reflexão interna total só acontece quando a luz tenta se propagar de um meio com um certo índice de refração para um outro meio com índice de refração mais baixo.

Feixe de raios não paralelos que entram em um prisma de vidro.



Serway, 1992

Representação esquemática da reflexão interna em um prisma:



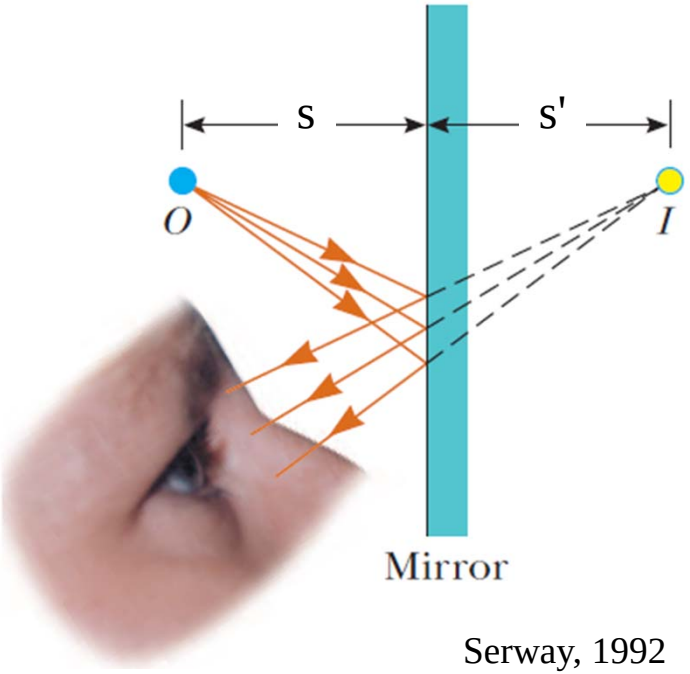
Serway, 1992

Espelhos e lentes esféricos

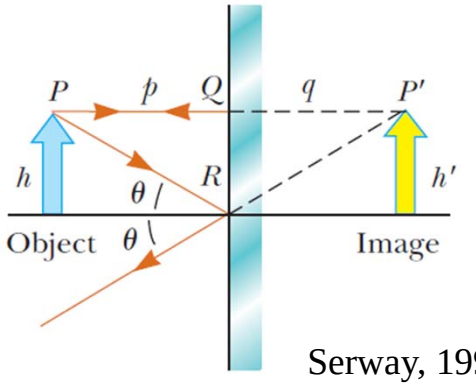
Do ponto de vista prático, os espelhos e as lentes são elementos ópticos que operam na base de formação de imagens pela reflexão e refração.

- Espelhos planos, côncavos ou convexos
- Lentes esféricas

Imagens formadas pelos espelhos planos



Serway, 1992



Serway, 1992

1) A imagem está tão afastada do espelho para trás, quanto o objeto está afastado do espelho para frente.
2) A imagem é virtual, direita e sem ampliação.
3) A imagem troca a direita pela esquerda.

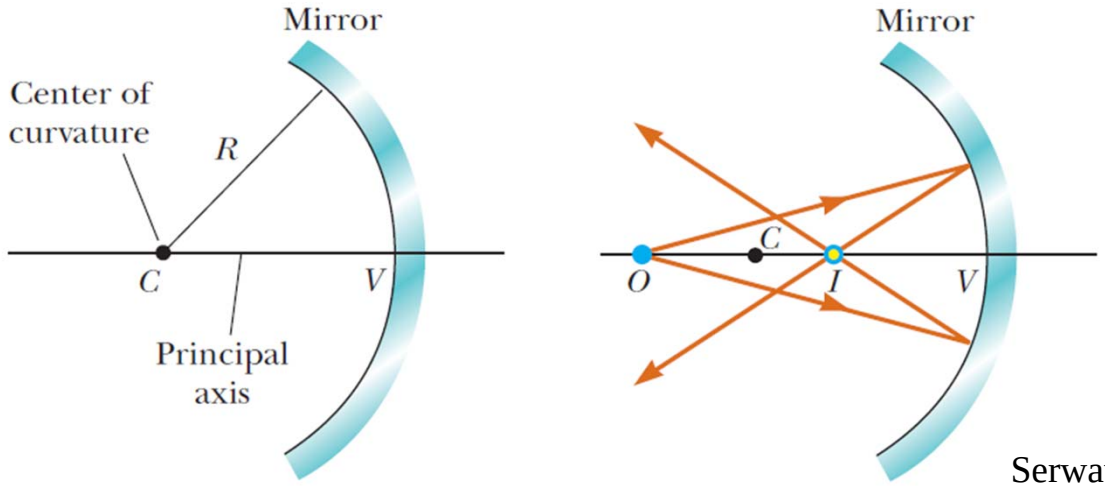
Ampliação

$$M = \frac{altura\ da\ imagem}{altura\ do\ objeto} = \frac{h'}{h}$$

A imagem virtual é uma imagem em que a luz não passa, realmente, pelo ponto imagem, mas parece divergir deste ponto.

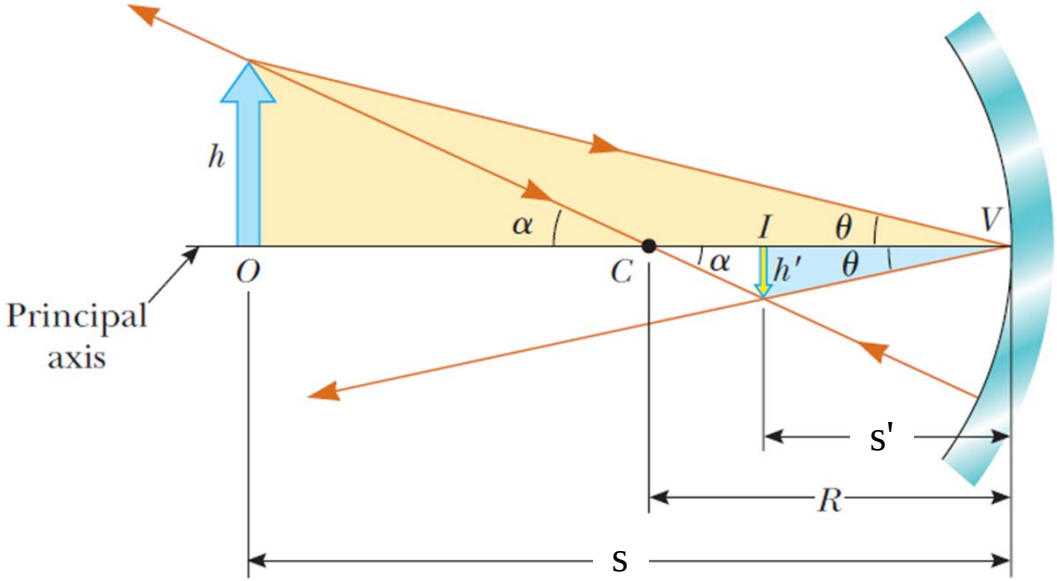
Imagens formadas pelos espelhos esféricos

Espelhos Côncavos



Serway, 1992

Imagens reais sempre se formam num ponto por onde a luz refletida passa realmente.



Serway, 1992

Ampliação

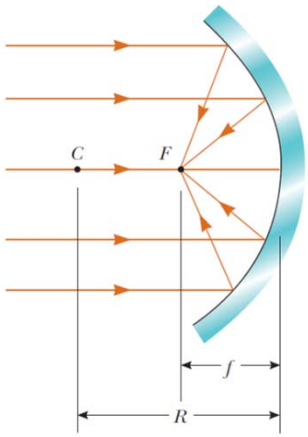
$$M = \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s}$$

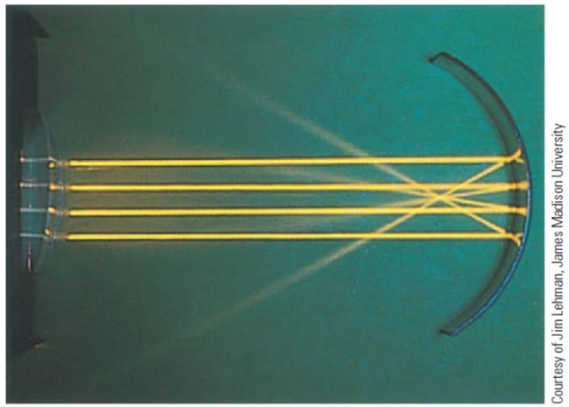
Equação do espelho

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

- Se o objeto estiver muito longe do espelho, s tende ao infinito e $^1/_s \approx 0$, então:

$$f = \frac{R}{2}$$





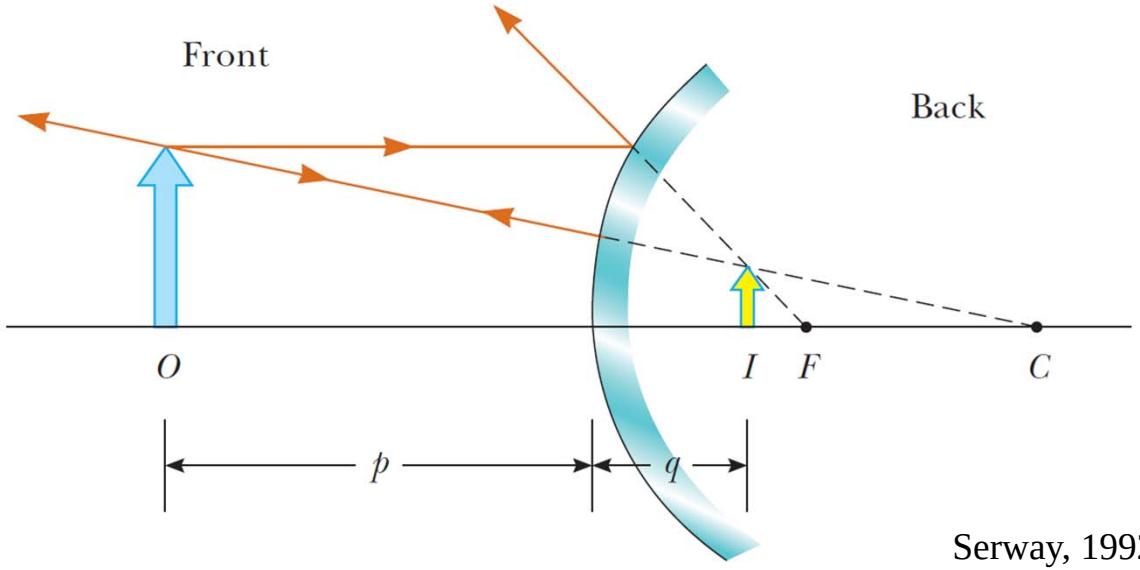
Serway, 1992

Equação do espelho

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

Imagens formadas pelos espelhos esféricos

Espelhos Convexos ou espelho divergente

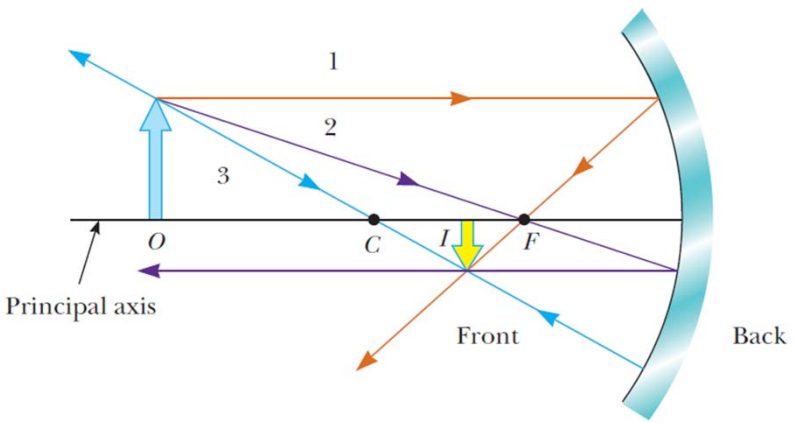


Serway, 1992

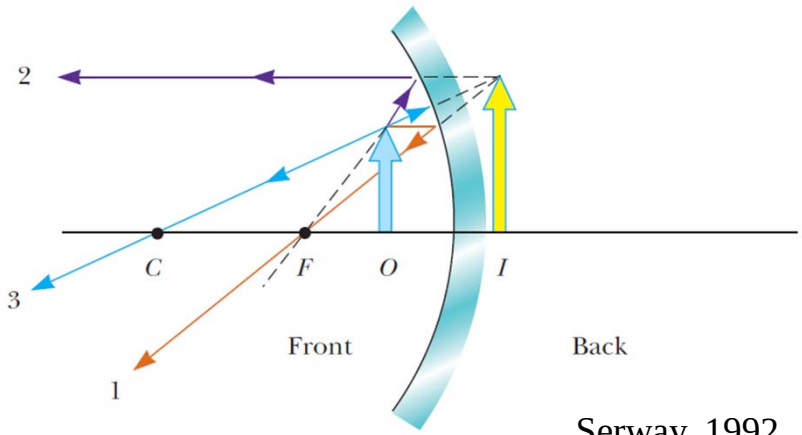
A imagem é sempre virtual, direita e menor que o objeto.

Construção geométrica

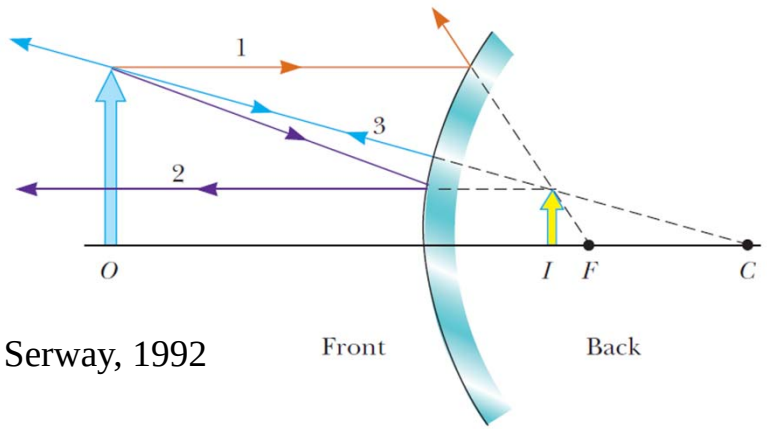
1) O primeiro raio, identificado por 1, é traçado do topo do objeto paralelamente ao eixo ótico e se reflete passando pelo ponto focal *F*.
2) O segundo raio, identificado por 2, parte do topo do objeto, passa pelo ponto focal e se reflete paralelamente ao eixo ótico.
3) O terceiro raio, identificado por 3, é traçado do topo do objeto, passando pelo centro de curvatura *C*, e se reflete sobre si mesmo.



Serway, 1992



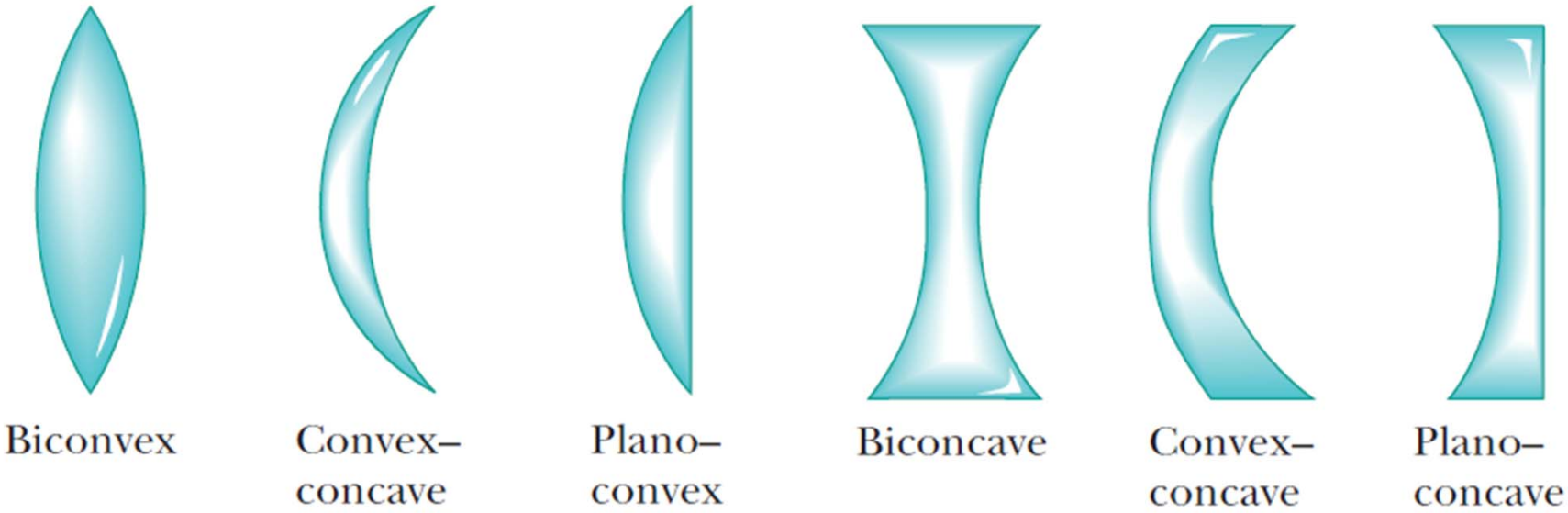
Serway, 1992



Serway, 1992

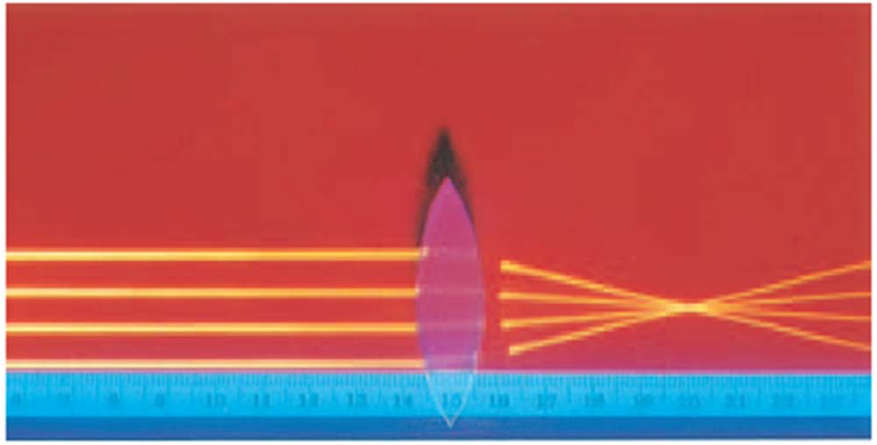
Lentes esféricas delgadas

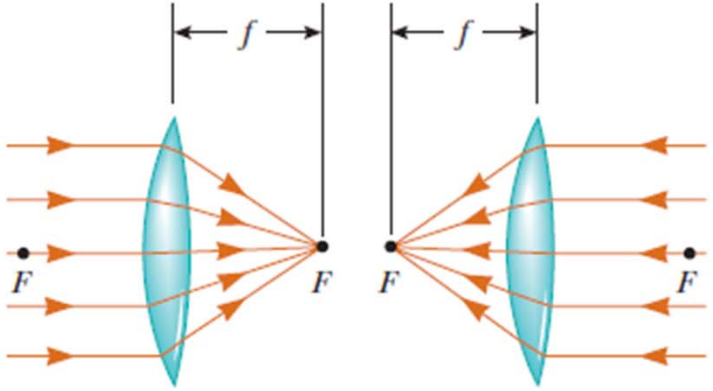
Uma lente esférica é composta por um material com índice de refração diferente do meio que o circunda delimitado por duas superfícies esféricas (ou planas, em alguns casos). Devido à diferença de curvatura entre as faces, o raio de luz sofre desvio.



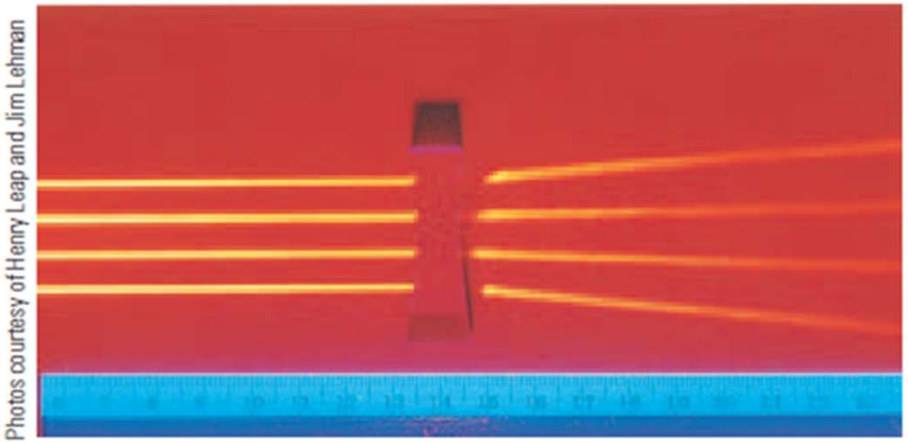
Serway, 1992

Lentes convergentes

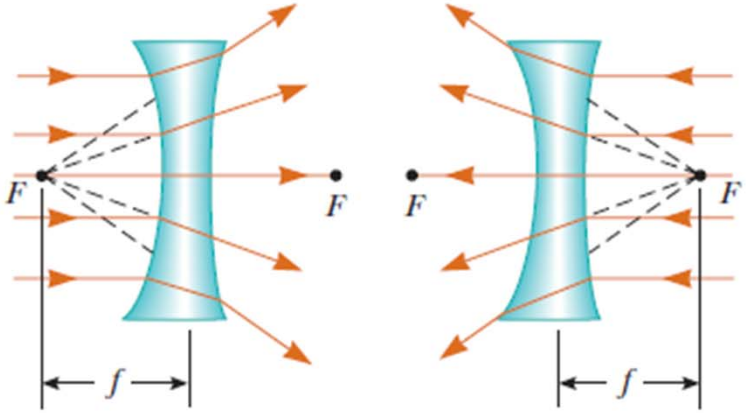




(a)



Photos courtesy of Henry Leap and Jim Lehman



Lentes divergentes

Serway, 1992

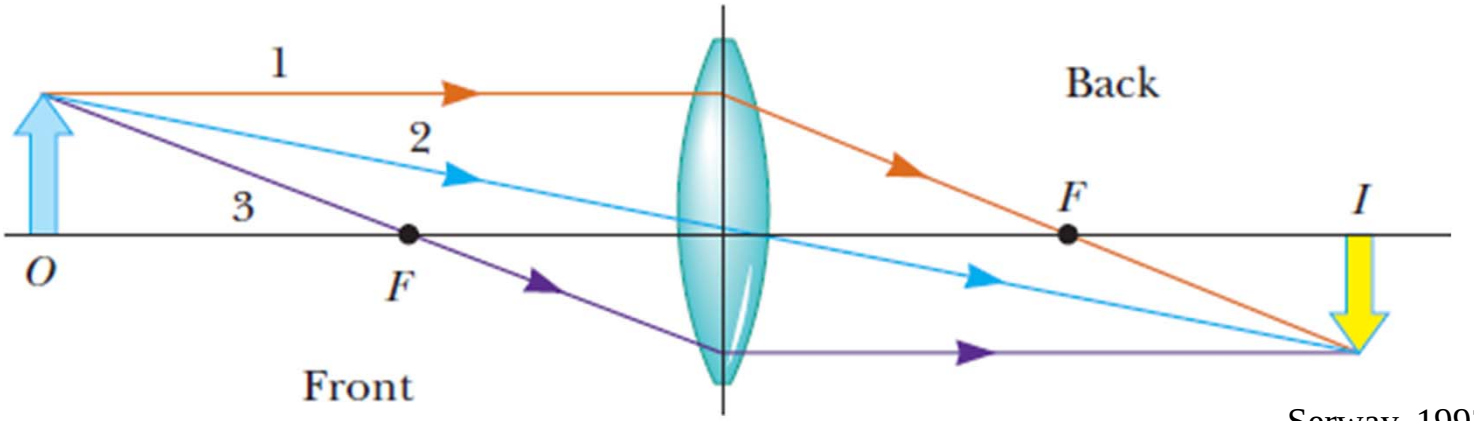
A equação dos fabricantes de lentes

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

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

Ampliação

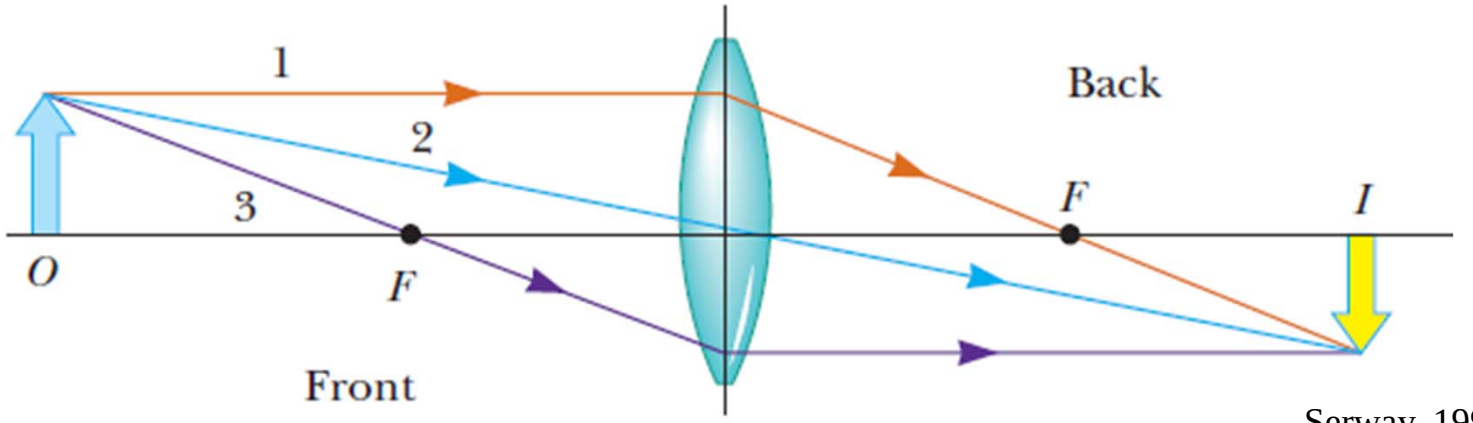
$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s}$$



Serway, 1992

Determinação das imagem formada por uma lente esférica (método geométrico)

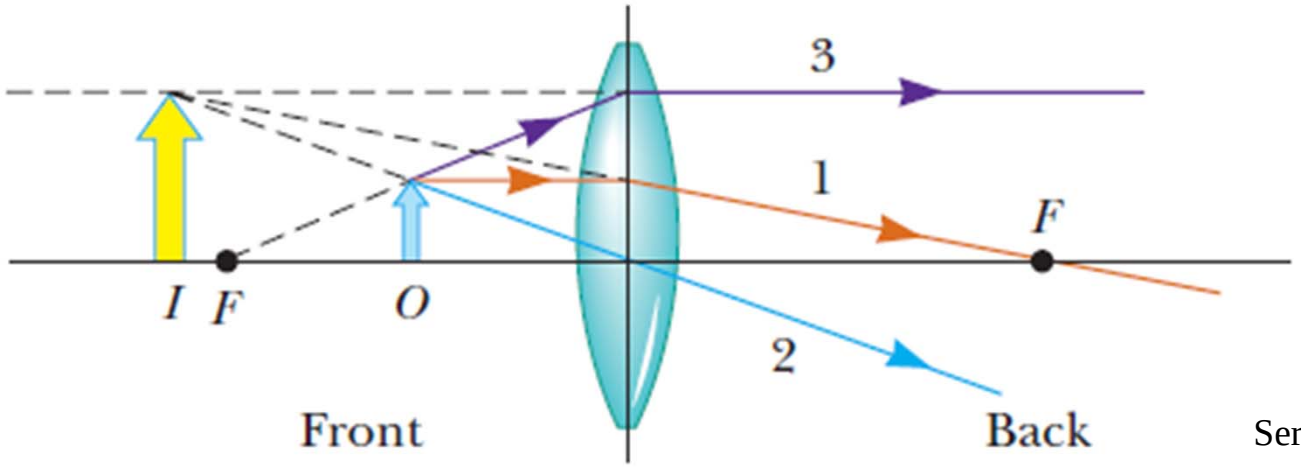
1) O Primeiro raio é traçado paralelamente ao eixo óptico. Depois de refratar-se na lente, este raio passa por um dos pontos focais (ou então, provém de um dos pontos focais).
2) O segundo raio é traçado pelo centro da lente. Este raio não se refrata e segue em linha reta.
3) O terceiro raio é traçado por um ponto focal F e emerge da lente paralelamente ao eixo óptico.



Serway, 1992

Determinação das imagem formada por uma lente esférica (método geométrico)

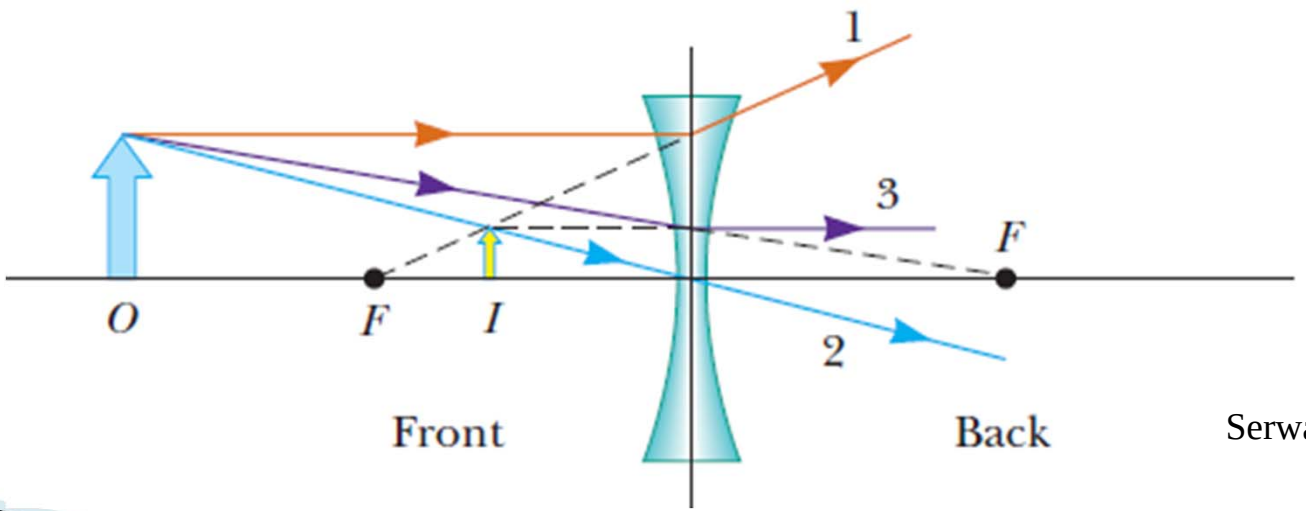
1) O Primeiro raio é traçado paralelamente ao eixo óptico. Depois de refratar-se na lente, este raio passa por um dos pontos focais (ou então, provém de um dos pontos focais).
2) O segundo raio é traçado pelo centro da lente. Este raio não se refrata e segue em linha reta.
3) O terceiro raio é traçado por um ponto focal F e emerge da lente paralelamente ao eixo óptico.



Serway, 1992

Determinação das imagem formada por uma lente esférica (método geométrico)

1) O Primeiro raio é traçado paralelamente ao eixo óptico. Depois de refratar-se na lente, este raio passa por um dos pontos focais (ou então, provém de um dos pontos focais).
2) O segundo raio é traçado pelo centro da lente. Este raio não se refrata e segue em linha reta.
3) O terceiro raio é traçado por um ponto focal F e emerge da lente paralelamente ao eixo óptico.



Serway, 1992

Experimentos a serem realizados

- Reflexão interna total em um bloco de acrílico semicircular
- Ângulo de desvio mínimo em um prisma
- Medida do raio de curvatura e da distância focal de um espelho côncavo
- Medida da distância focal de uma lente convergente
- Medida da distância focal de uma lente divergente
- Observação da formação de imagens geradas por lente convergentes
- Observação da formação de imagens geradas por um espelho côncavo

Referências

Raymond A. Serway, Física 3 para Cientistas e Engenheiros, 3ª Edição, LTC, 1992.
(Todas as figuras dessa apresentação foram extraídas dessa referência)

Instituto de Física de São Carlos, Laboratório de Óptica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.