

Universidade de São Paulo  
FGE 160 – Ótica - Primeiro semestre 2013 - IME

**BOM DIA**

**E**

**BEM VINDOS!**

Universidade de São Paulo  
FGE 160 – Ótica - Primeiro semestre 2013 - IME

# **AULA V**

## **ÓTICA (FGE 160)**

**Prof. Sidney Leal da Silva**

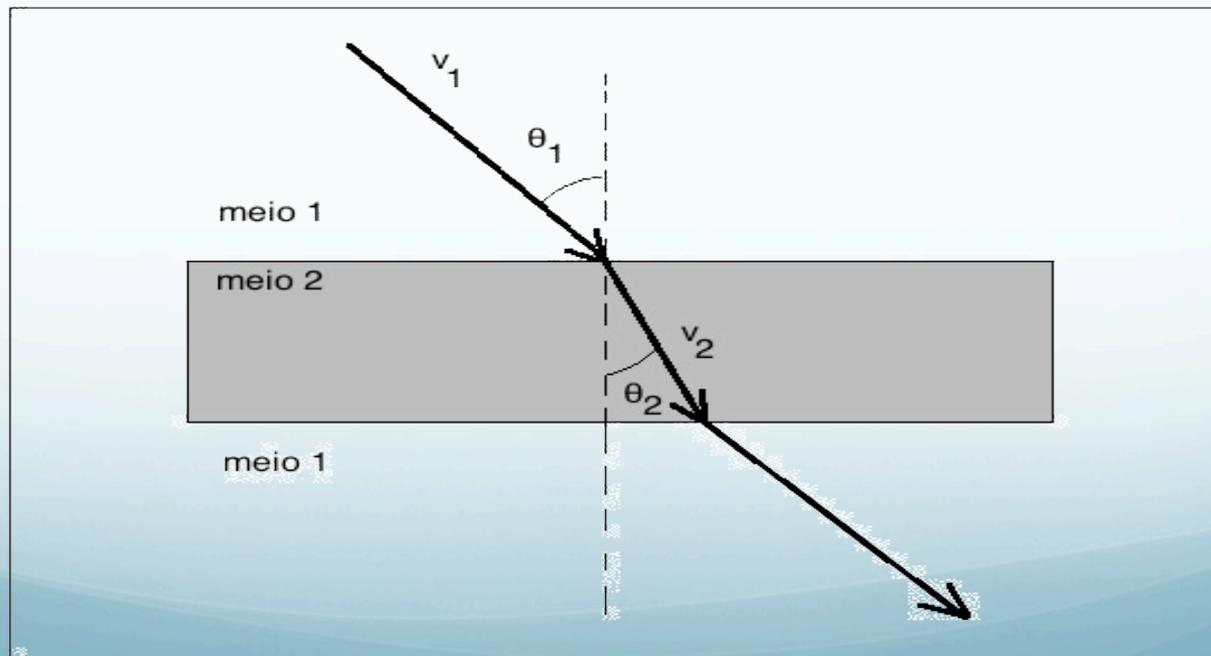
**Universidade de São Paulo**  
**FGE 160 – Ótica - Primeiro semestre 2013 - IME**

## **Conteúdos (17/04/2013)**

**REFRAÇÃO DA LUZ**

## # DEFINIÇÃO

- ❑ Fenômeno que ocorre com a luz quando ela passa de um meio homogêneo e transparente para outro meio também homogêneo e transparente, porém diferente do primeiro.
- ❑ Nessa passagem de meio, podem ocorrer mudanças na velocidade de propagação e na direção de propagação.





## # DESVIO DO FEIXE DE LUZ

- ❑ Consideração: meio 2 é mais refringente que o meio 1.
- ❑ Os raios a e b seguem no meio 1 com a mesma frente de onda  $\alpha$ .
- ❑ O raio a atinge o ponto  $A_1$ , da superfície  $\Pi_1$ , quando o raio b ainda está em  $B_1$ , a uma distância  $d_1$  do ponto  $B_2$  da superfície  $\Pi_1$ .
- ❑ Como a velocidade do raio a é menor no meio 2, para manter o mesmo tempo de deslocamento do raio b, a distância  $d'_1$  deve ser menor que a distância  $d_1$ .
- ❑ Assim, quando o raio b atinge o ponto  $B_2$ , da superfície  $\Pi_1$ , o raio a atinge o ponto  $A_2$  e ambos os raios voltam a manter a mesma frente de onda b, no meio 2.

## # DESVIO DO FEIXE DE LUZ

- ❑ Analogamente, Os raios  $a$  e  $b$  seguem no meio 2 com a mesma frente de onda  $\beta$ .
- ❑ O raio  $a$  atinge o ponto  $A_3$ , da superfície  $\Pi_2$ , quando o raio  $b$  ainda está em  $B_3$ , a uma distância  $d'_1$  do ponto  $B_4$  da superfície  $\Pi_2$ .
- ❑ Como a velocidade do raio  $a$  é maior no meio 1, para manter o mesmo tempo de deslocamento do raio  $b$ , a distância  $d'_2$  deve ser menor que a distância  $d_2$ .
- ❑ Assim, quando o raio  $b$  atinge o ponto  $B_4$ , da superfície  $\Pi_2$ , o raio  $a$  atinge o ponto  $A_4$  e ambos os raios voltam a manter a mesma frente de onda  $\alpha$ , no meio 1.

## # ÍNDICE DE REFRAÇÃO ABSOLUTO

- ❑ A velocidade da luz em um meio transparente como o ar, a água ou o vidro é menor que sua velocidade no vácuo ( $c \sim 3 \cdot 10^8$  m/s).
- ❑ Um meio transparente é caracterizado por um índice de refração,  $n$ , o qual é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo,  $c$ , e a velocidade no meio,  $v$ .

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

- ❑ Para a água,  $n = 1,33$ , enquanto para o vidro,  $n$  varia aproximadamente entre 1,50 e 1,66, dependendo do tipo de vidro. O diamante tem um alto índice de refração,  $n = 2,4$ . O índice de refração do ar é  $n = 1,0003$  (nesse caso pode assumir que a velocidade da luz no ar é praticamente a mesma que a do vácuo).

## # ÍNDICE DE REFRAÇÃO

- Tabela com índices de refração para alguns materiais:

Índices de refração absolutos	
Material	Índices de refração
Gases a 0 °C e 1 atm	
Hidrogênio	1,00013
Ar	1,00029
Dióxido de carbono	1,00045
Líquidos a 20 °C	
Água	1,33
Alcool etílico	1,36
Óleo	1,48
Benzeno	1,50
Bissulfeto de carbono	1,63
Sólidos a 20 °C	
Quartzo fundido	1,46
Poliestireno	1,49
Vidro (crown)	1,52
Vidro (flint)	1,66
Diamante	2,42

## # ÍNDICE DE REFRAÇÃO RELATIVO

- ❑ É o valor associado à comparação entre os índices de refração entre dois meios (exemplo: ar e água).
- ❑ Então, o índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1 é:

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2}$$

- ❑ No caso do ar (meio 1) e da água (meio 2), tem-se:

$$n_{ar} = n_1 \cong 1,003 \text{ e } n_{ar} = n_{\text{água}} \cong 1,330$$

$$\text{Então, } n_{12} = \frac{n_2}{n_1} \cong \frac{1,330}{1,003} \Rightarrow n_{12} \cong 1,326$$

## # PRINCÍPIO DE FERMAT

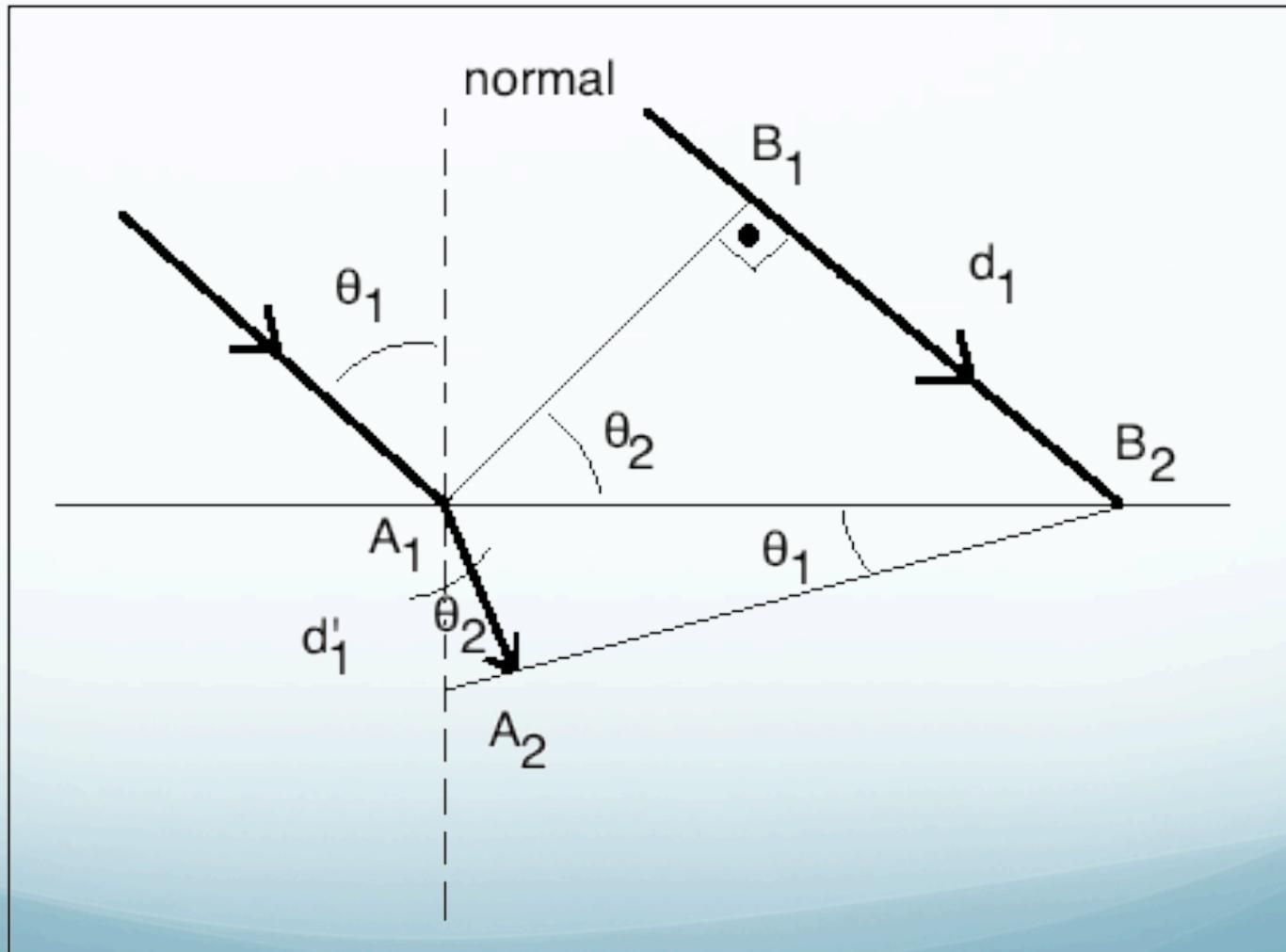
- ❑ A trajetória seguida pela luz viajando de um ponto a outro é tal que o tempo de viagem é o mínimo. Isto é, a luz percorre o caminho mais rápido.

## # LEI DE SNELL

- ❑ O raio refratado, assim como o raio refletido, também permanece no plano de incidência.
- ❑ A refração altera a componente normal da velocidade (por mudar de meio), mas mantém sua componente tangencial (por se manter no mesmo meio). Consequência: o tempo de deslocamento no meio 1 e 2 é o mesmo, para a mesma distância percorrida.

Universidade de São Paulo  
FGE 160 – Ótica - Primeiro semestre 2013 - IME

# LEI DE SNELL



## # LEI DE SNELL

*O tempo para o raio percorrer o caminho  $d_1 = \overline{B_1B_2}$ , deve ser o mesmo para percorrer o caminho  $d'_1 = \overline{A_1A_2}$ .*

*Então,*

$$t = \frac{d_1}{v_1} = \frac{d'_1}{v_2} \Rightarrow d_1 \cdot v_2 = d'_1 \cdot v_1$$

*Mas, do triângulo  $\Delta A_1B_1B_2$ :  $d_1 = \overline{A_1B_2} \cdot \text{sen}\theta_1$*

*e do triângulo  $\Delta A_1A_2B_2$ :  $d'_1 = \overline{A_1B_2} \cdot \text{sen}\theta_2$*

*Logo,*

$$d_1 \cdot v_2 = d'_1 \cdot v_1 \Rightarrow \overline{A_1B_2} \cdot \text{sen}\theta_1 \cdot v_2 = \overline{A_1B_2} \cdot \text{sen}\theta_2 \cdot v_1 \Rightarrow$$

$$v_2 \cdot \text{sen}\theta_1 = v_1 \cdot \text{sen}\theta_2 \Rightarrow \left( n = \frac{c}{v} \right)$$

$$\frac{c}{n_2} \cdot \text{sen}\theta_1 = \frac{c}{n_1} \cdot \text{sen}\theta_2 \Rightarrow n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$$

## # LEI DE SNELL

### EXEMPLO:

*Um feixe de luz, vindo do ar (índice de refração  $n \cong 1,003$ ), meio 1, incide numa superfície de vidro, meio 2, e penetra nesse meio. Sabendo que os ângulos de incidência e refração são, respectivamente,  $\theta_1 = 20,0^\circ$  e  $\theta_2 = 13,2^\circ$ , determinar o índice de refração do vidro. Qual o índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1?*

### Solução:

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2 \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} \cong \frac{1,003 \cdot \text{sen}(20^\circ)}{\text{sen}(13,2^\circ)} \Rightarrow$$

$$n_2 \cong 1,50$$

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} \Rightarrow n_{12} \cong 1,498$$

## Bibliografia

Halliday, R. Resnick, Física 4, LTC Editora

Tipler, P. Física, v4, 3ª. Edição - Livros Técnicos e Científicos Editora (1995)

Hecht, E. Óptica – Fundação Calouste Gulbenkian, (1991)

Hewitt, P. “Física Conceitual”, Bookman (2002)

Trefil J., Hazen, R.M. “Física Viva”, vol.2, LTC (2006)

# Conteúdos para próxima aula (24/04/2013)

Prova P1

Universidade de São Paulo  
FGE 160 – Ótica - Primeiro semestre 2013 - IME

**OBRIGADO**

**E**

**ATÉ A PRÓXIMA AULA!**