

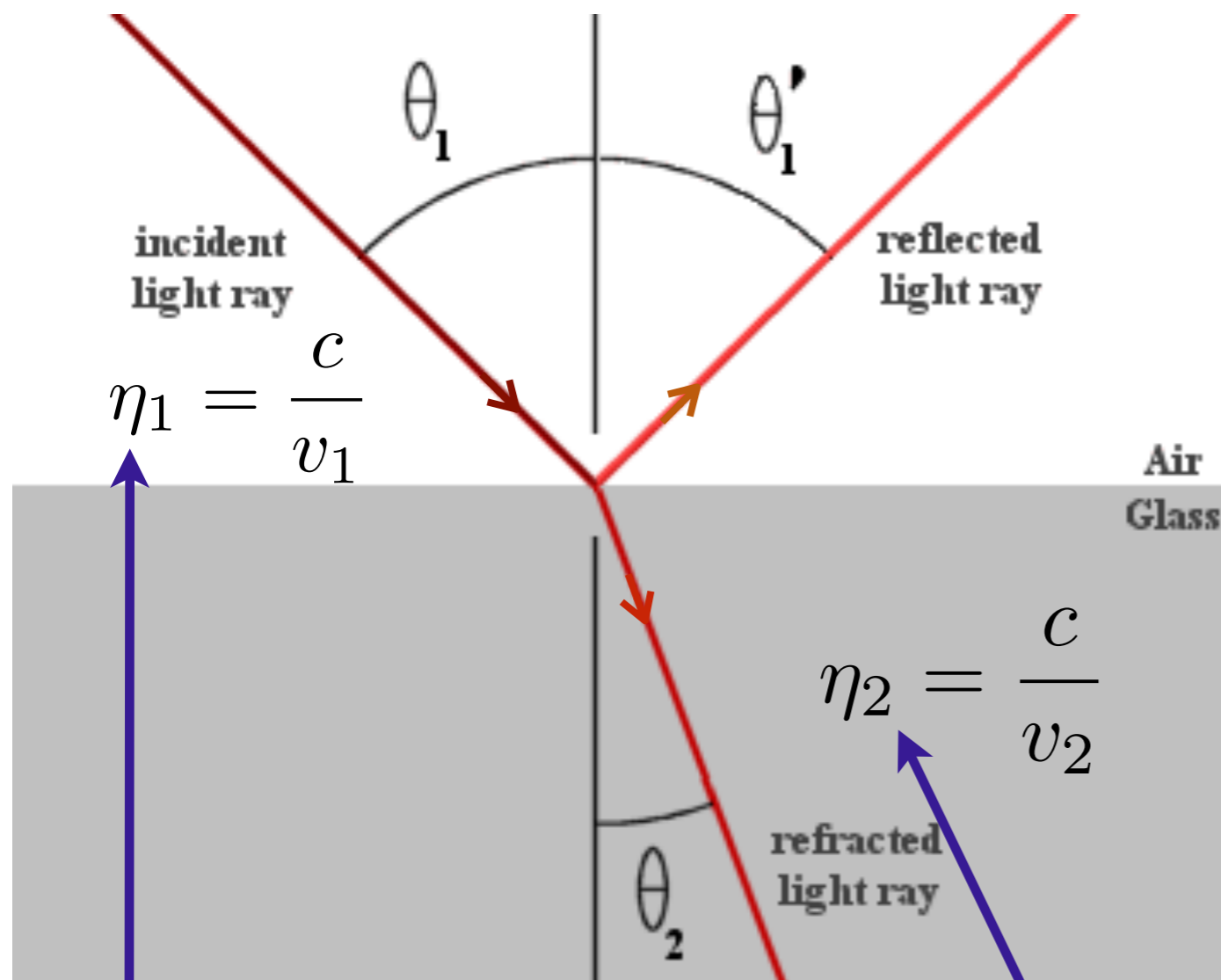
Física VIII

Ondas eletromagnéticas e Física Moderna

Aula 3: Reflexão, refração e polarização por reflexão

Baseado no material preparado por
Sandro Fonseca de Souza
Helena Malbouisson

Reflexão e Refração



Índices de refração dependem do meio

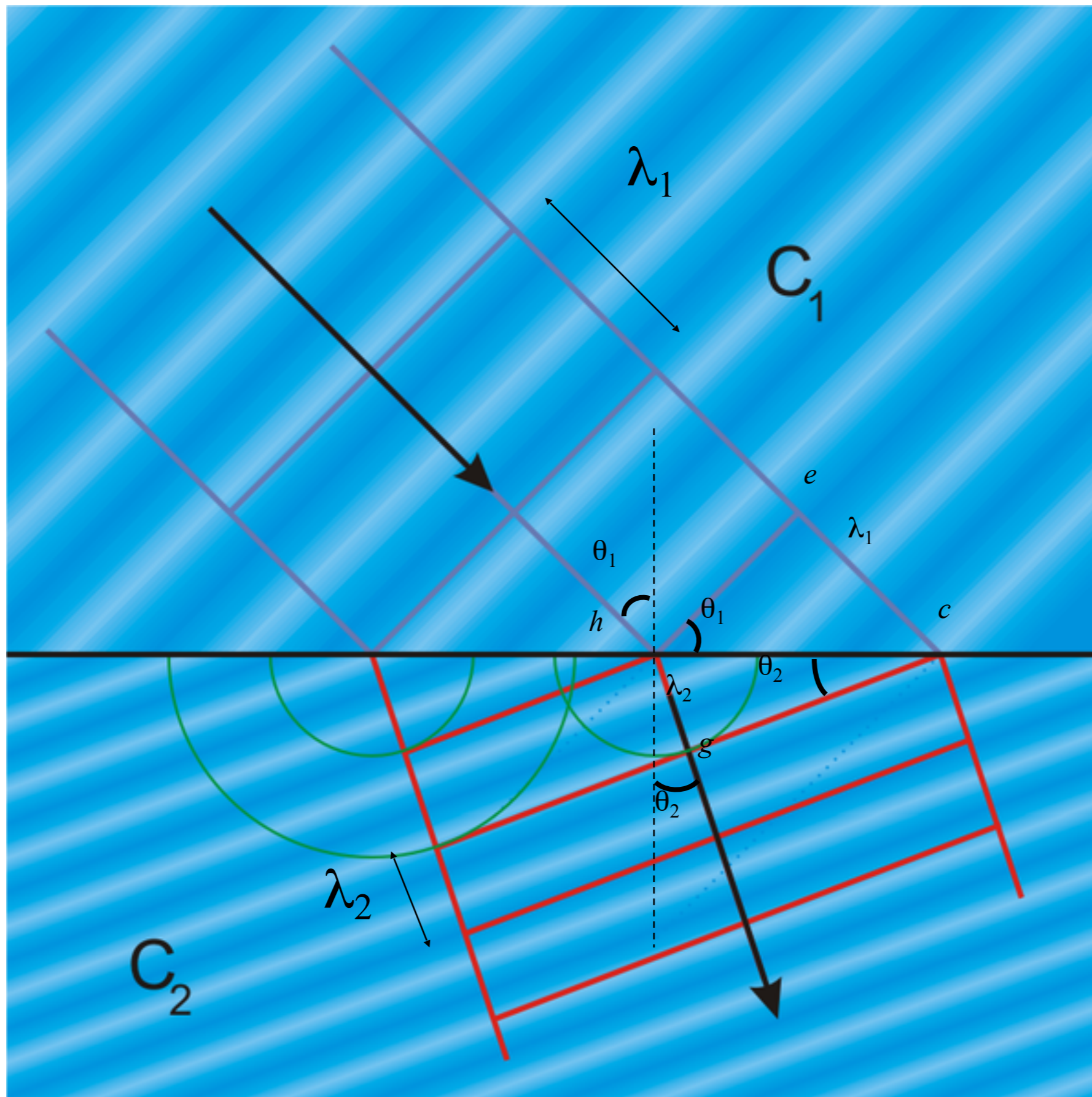
$$\theta_1 = \theta'_1$$

- **Reflexão:** consiste na mudança de direção de propagação de luz.
- **Refração:** Passagem de luz por um meio com coeficientes de refração distintos.

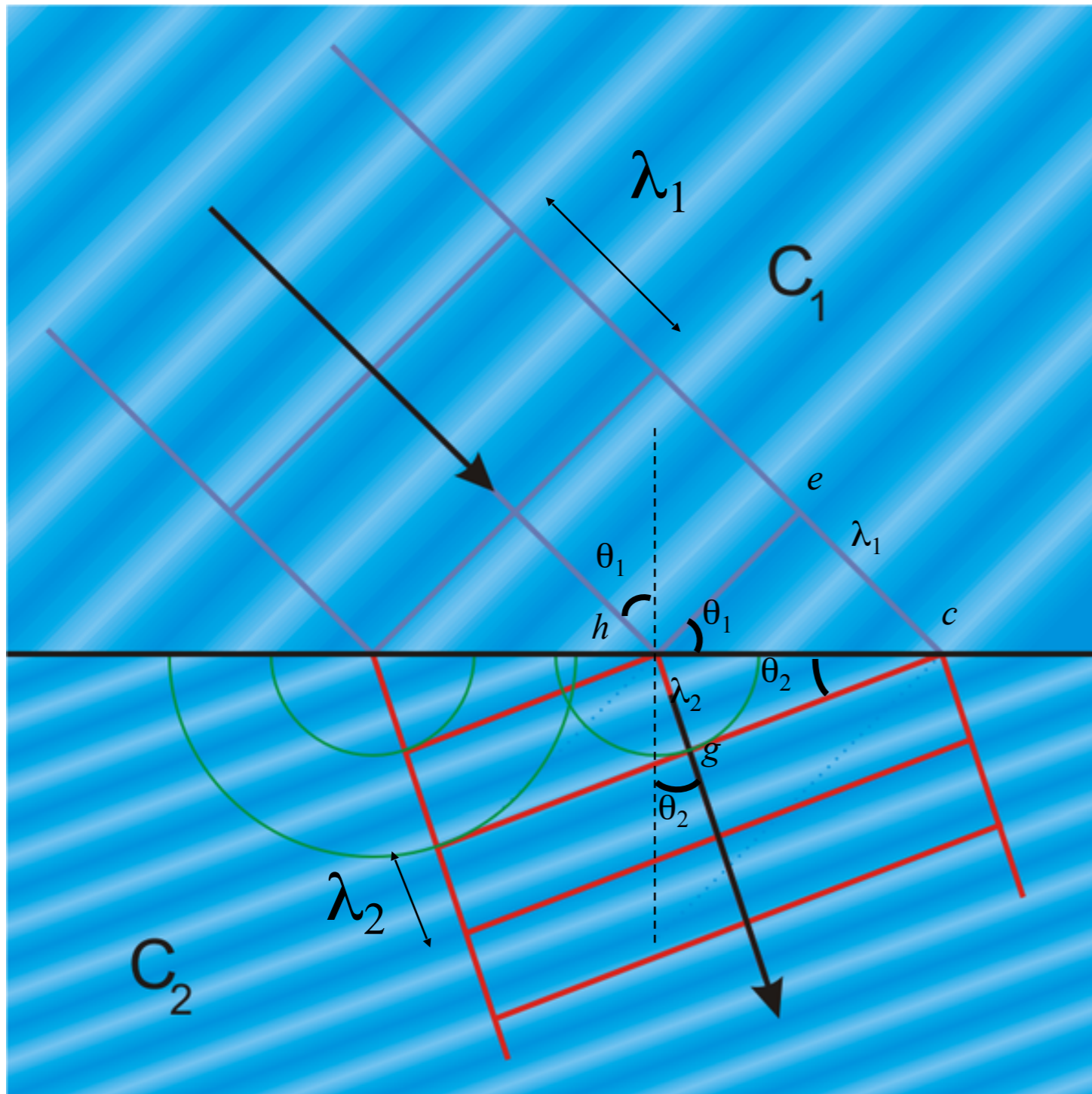
A Lei de Snell é definida por:

$$\eta_1 \cdot \text{sen} \theta_1 = \eta_2 \cdot \text{sen} \theta_2$$

Refração - Lei de Snell



Refração - Lei de Snell



$$\Delta t_1 = \Delta t_2$$

$$\frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{\lambda_2}{v_2} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\text{sen } \theta_1 = \frac{\lambda_1}{hc}$$

$$\text{sen } \theta_2 = \frac{\lambda_2}{hc}$$

$$\Rightarrow \frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Refração - Lei de Snell

Definição de índice de refração:

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

No nosso caso:

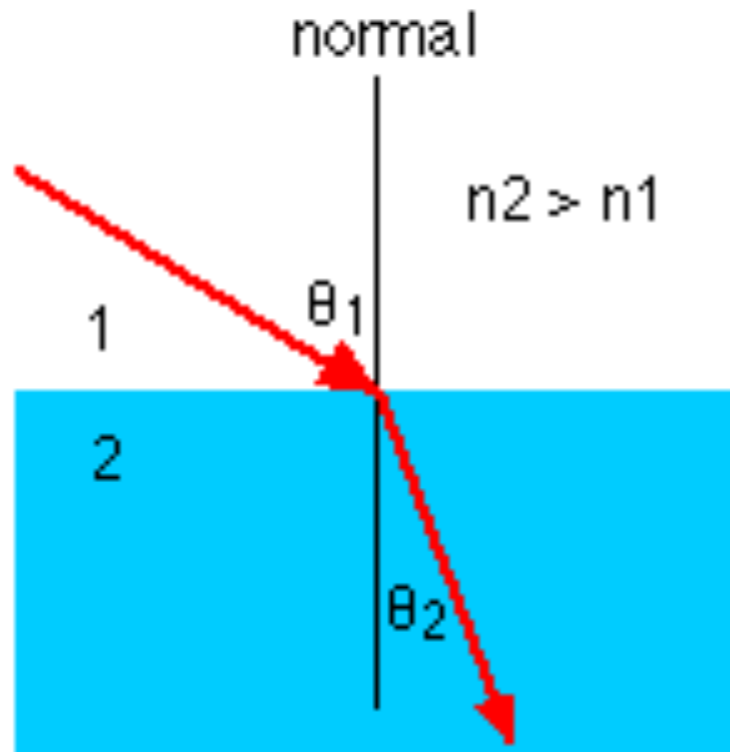
$$n_1 = \frac{c}{v_1} \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

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

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Lei de Snell

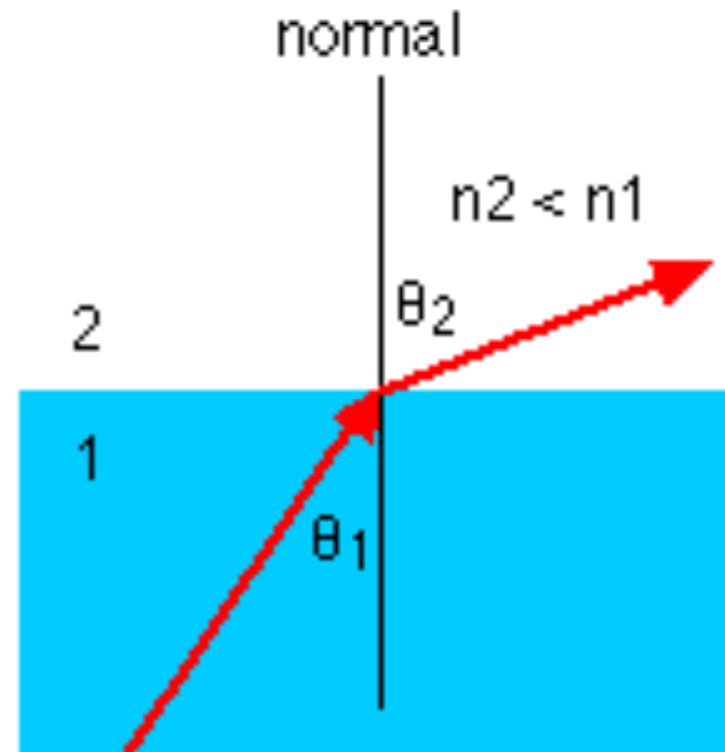
Lei de Snell



Snell's law : $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

$$\eta_2 > \eta_1 \implies \theta_2 < \theta_1$$

**raio luminoso
aproxima-se da
normal**



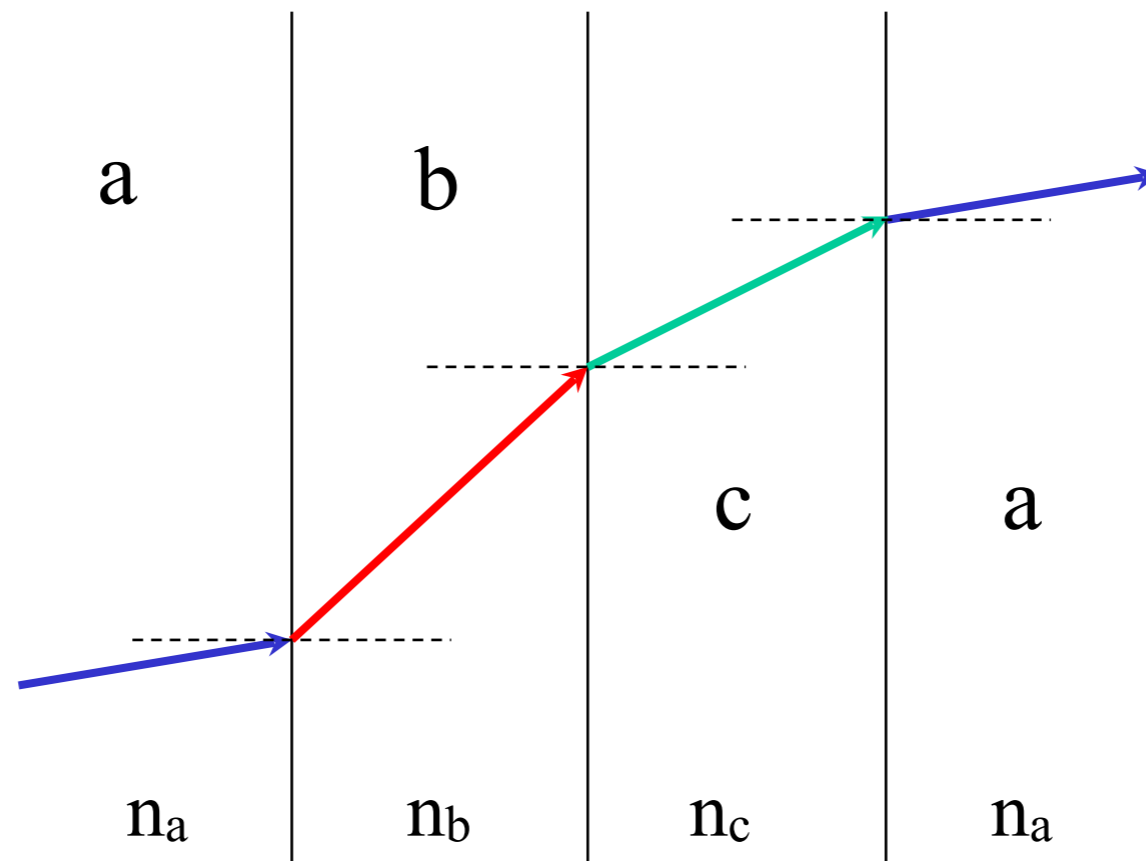
or, equivalently, $\sin\theta_1 / \sin\theta_2 = v_1 / v_2$

$$\eta_2 < \eta_1 \implies \theta_2 > \theta_1$$

**raio luminoso
afasta-se da
normal**

Exercício

A figura abaixo mostra um raio de luz monocromática atravessando um material inicial (a), materiais intermediários (b) e (c) e voltando a atravessar um material a. Coloque os materiais na ordem das velocidades com que a luz se propaga em seu interior, da maior velocidade para a menor.



Comprimento de onda e índice de refração

Velocidade varia \longrightarrow *Comprimento de onda λ varia*

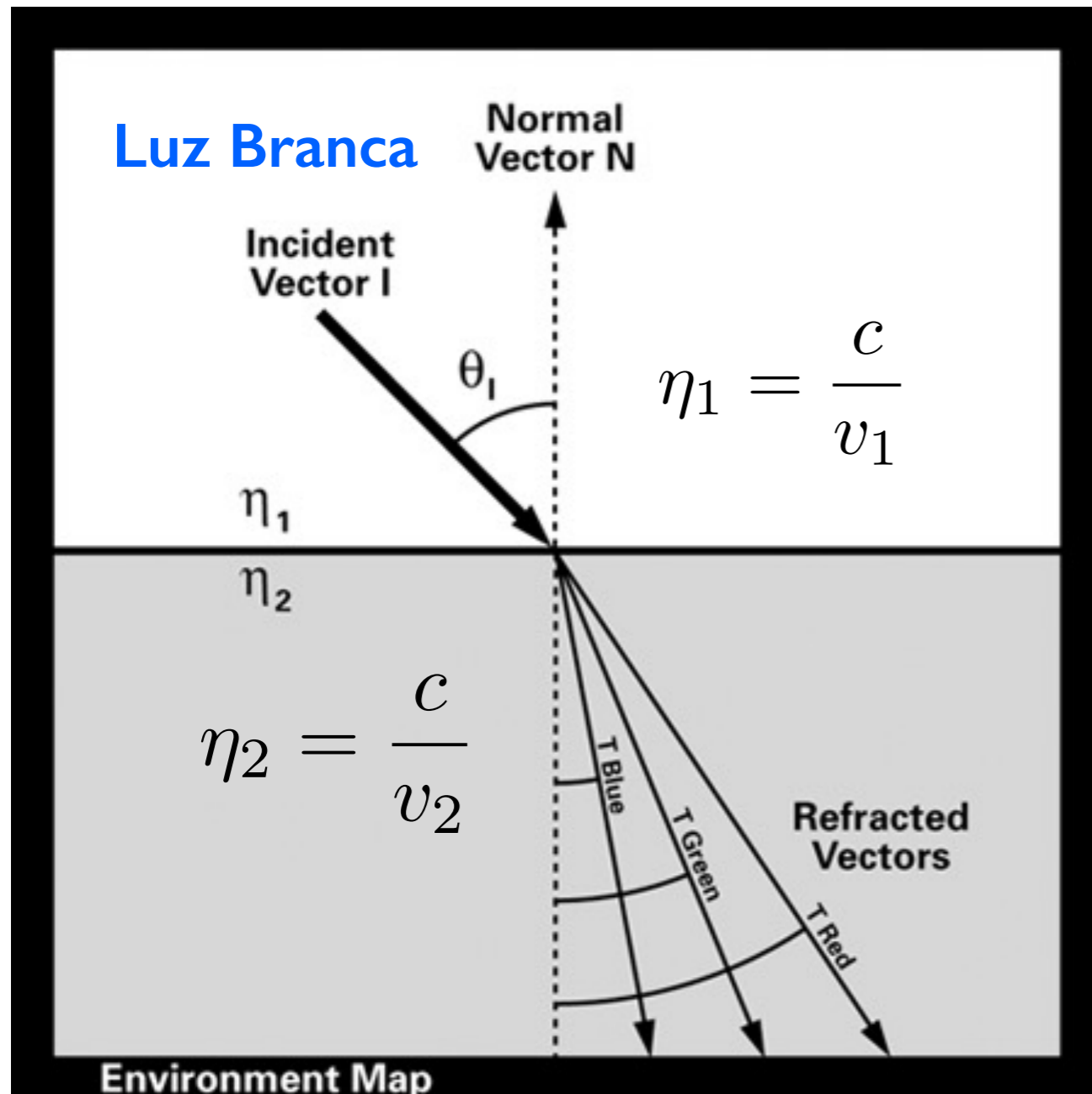
$$v \longleftrightarrow n$$

$$\frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{\lambda_2}{v_2} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \lambda_n = \lambda \frac{v}{c} = \frac{\lambda}{n}$$

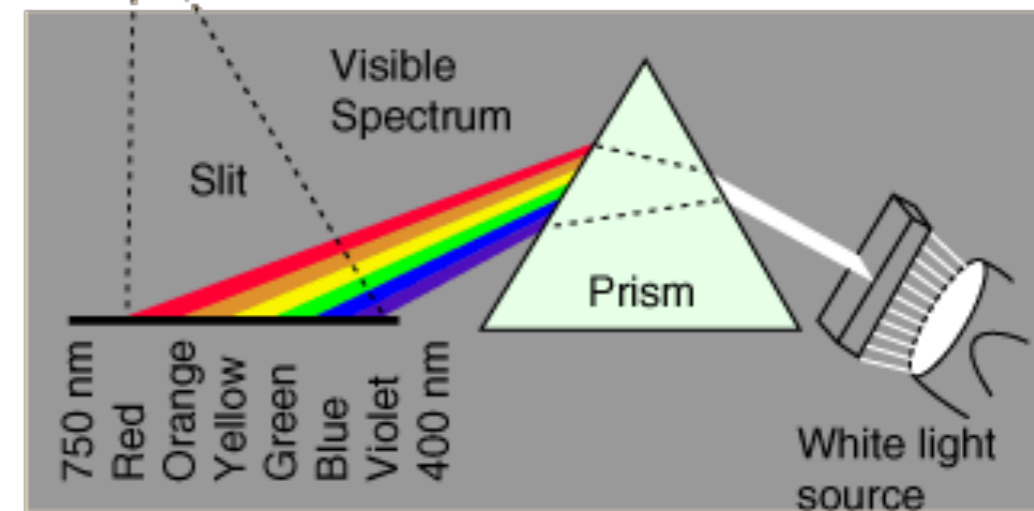
Frequência:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{c/n}{\lambda/n} = f \longrightarrow \underline{\text{Constante}}$$

Dispersão Cromática

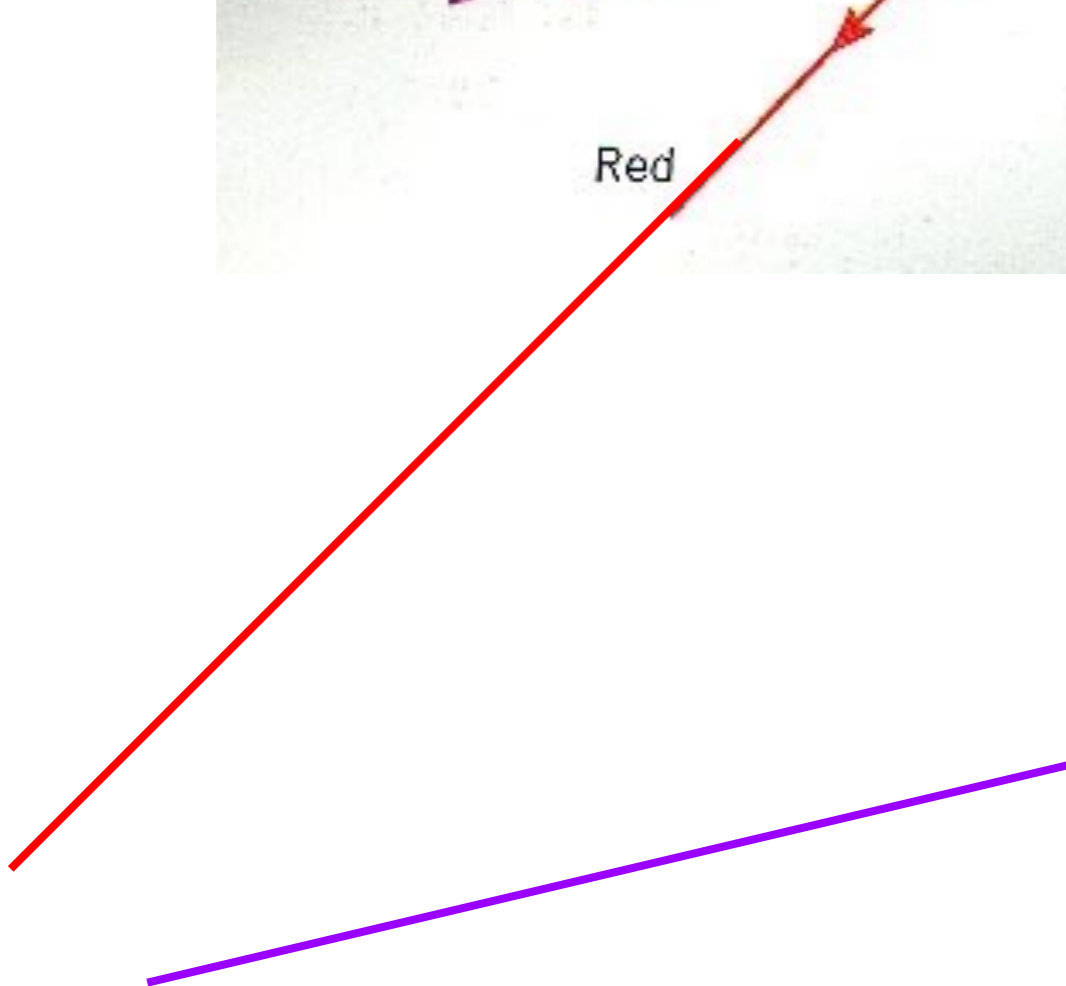
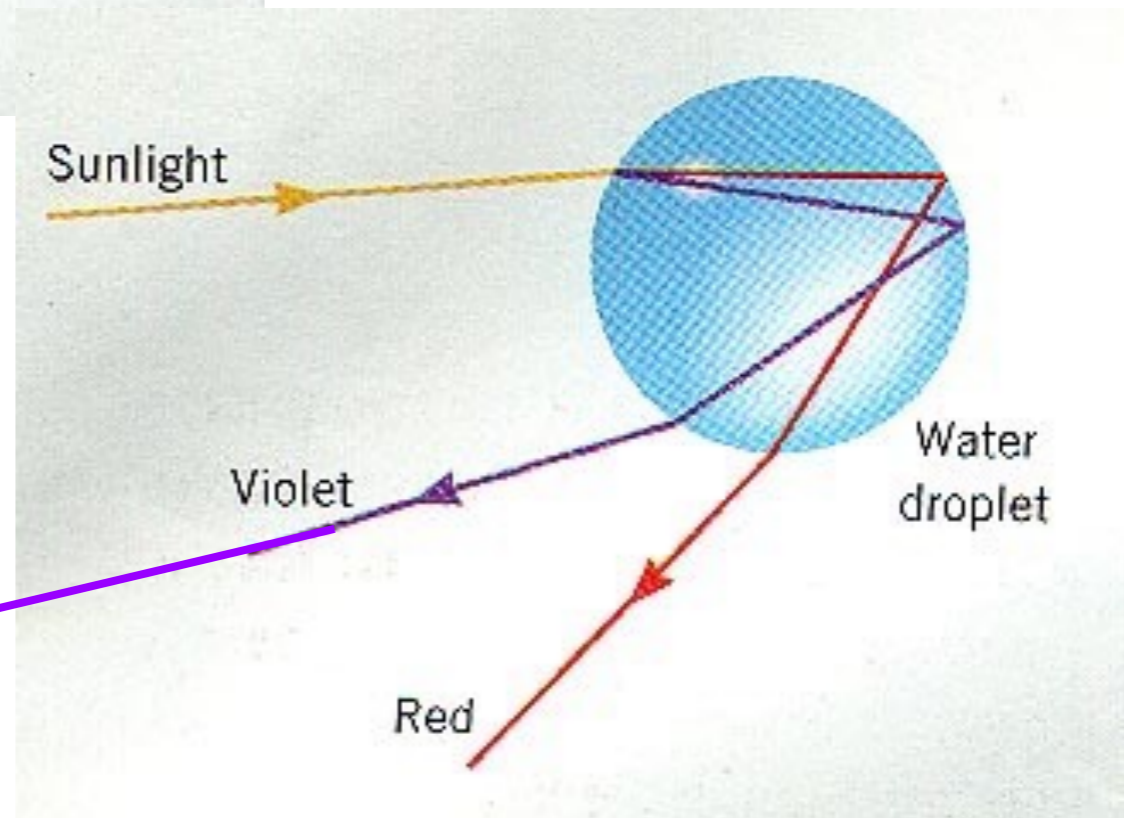
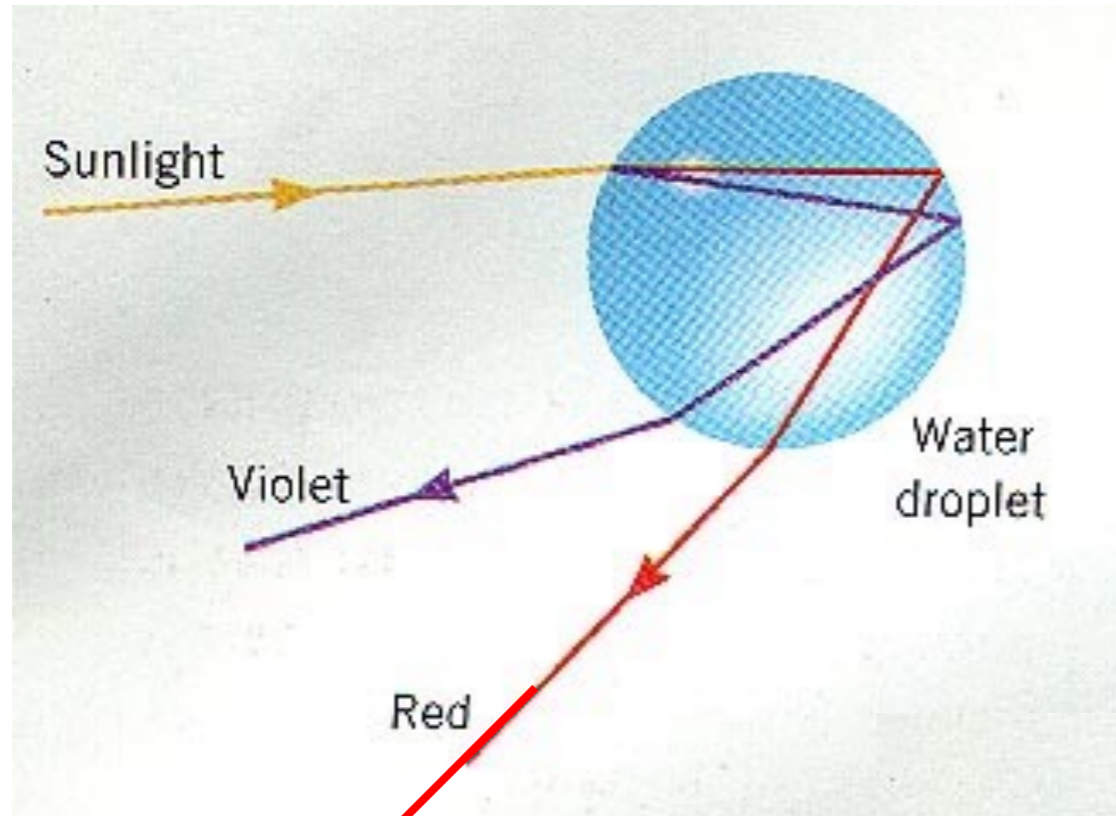


Radio	Far IR, Micro-wave	IR	UV	x-ray γ-ray
-------	-----------------------	----	----	----------------



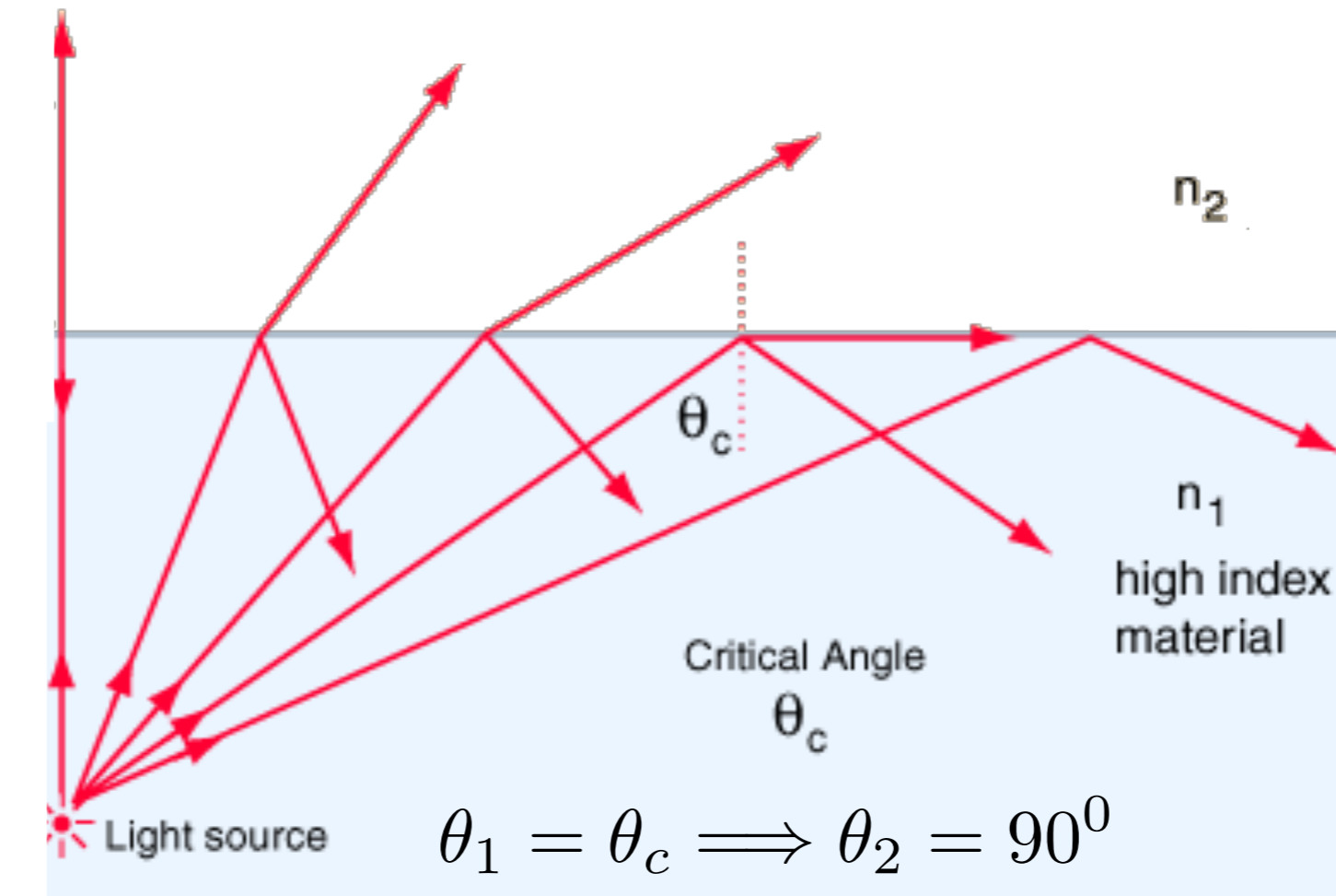
Por que o ângulo de cada uma das cores é diferente para o mesmo índice de refração?

Arco-Íris



Reflexão Interna Total

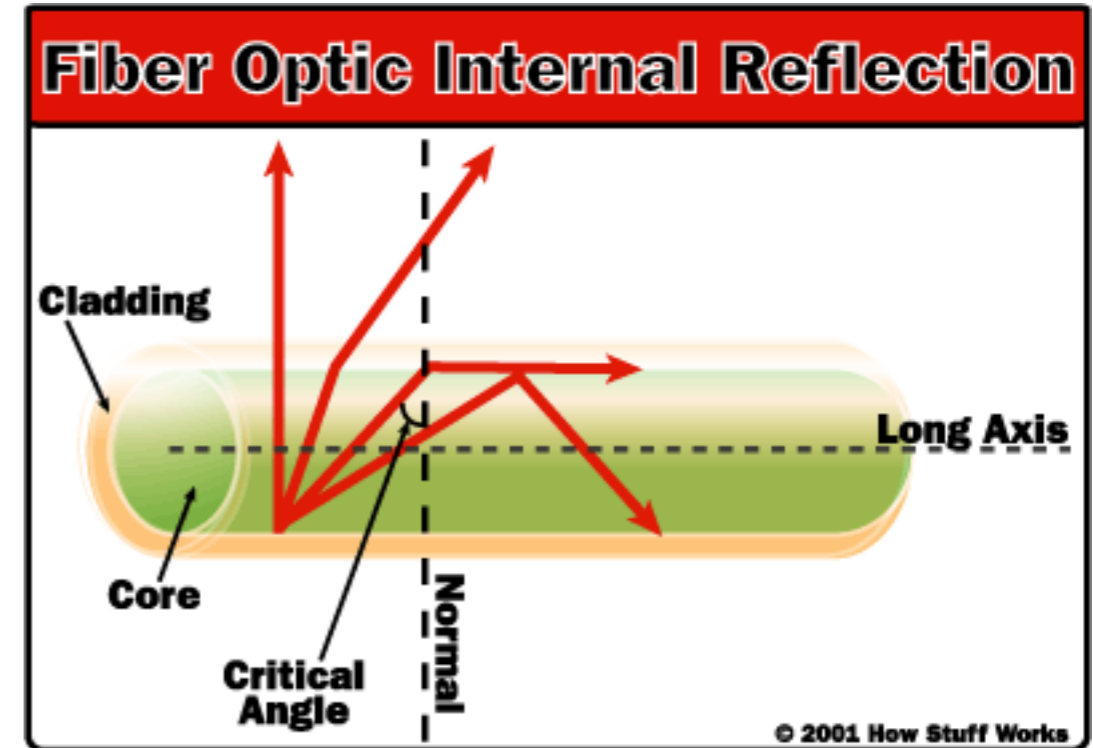
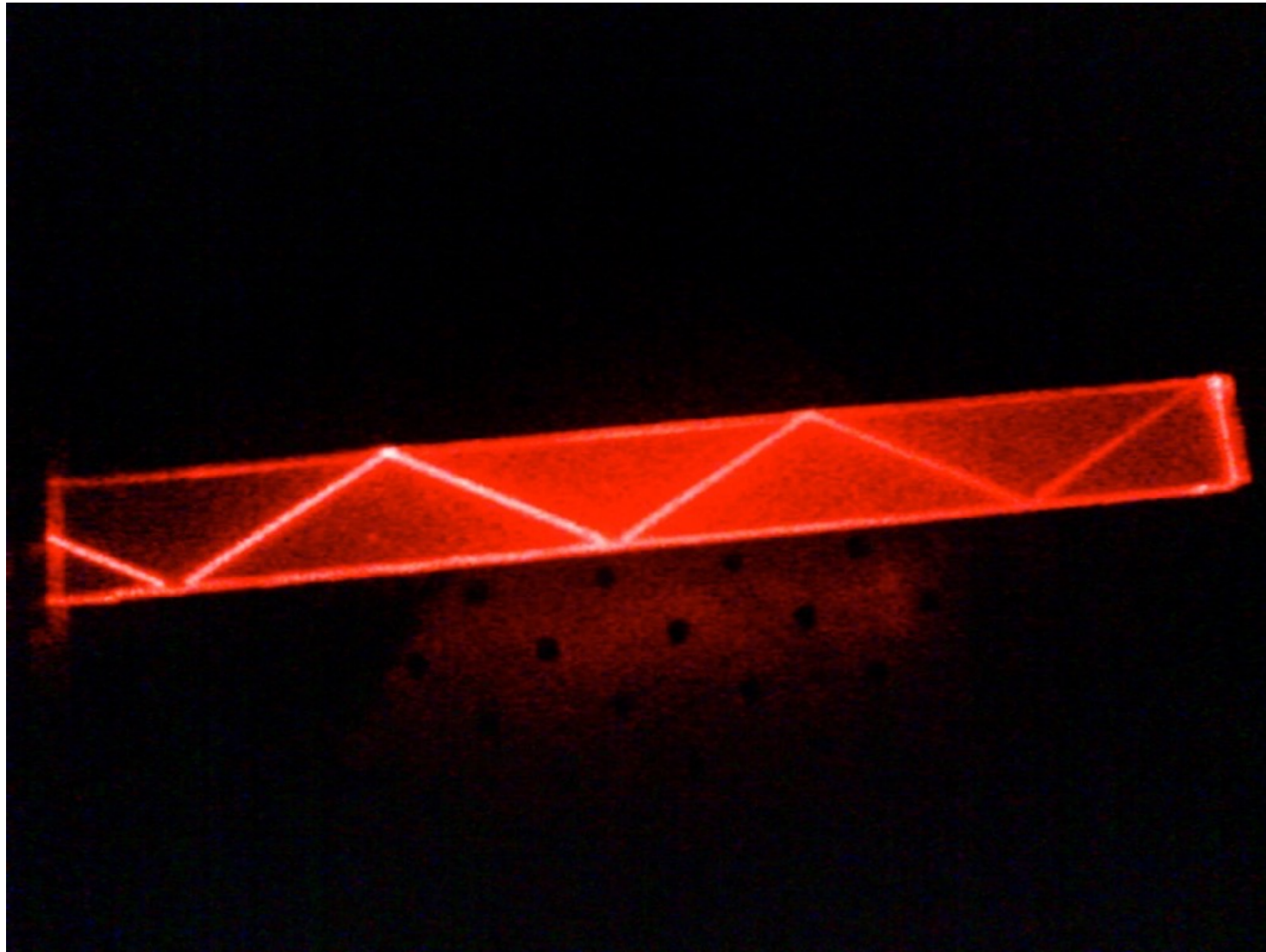
Quando não existe o raio refratado, ocorre o fenômeno de reflexão total interna.



$$n_1 \cdot \text{sen} \theta_c = n_2 \cdot \text{sen}(90^\circ)$$

Ângulo crítico $\longrightarrow \theta_c = \text{sen}^{-1} \frac{n_2}{n_1}$

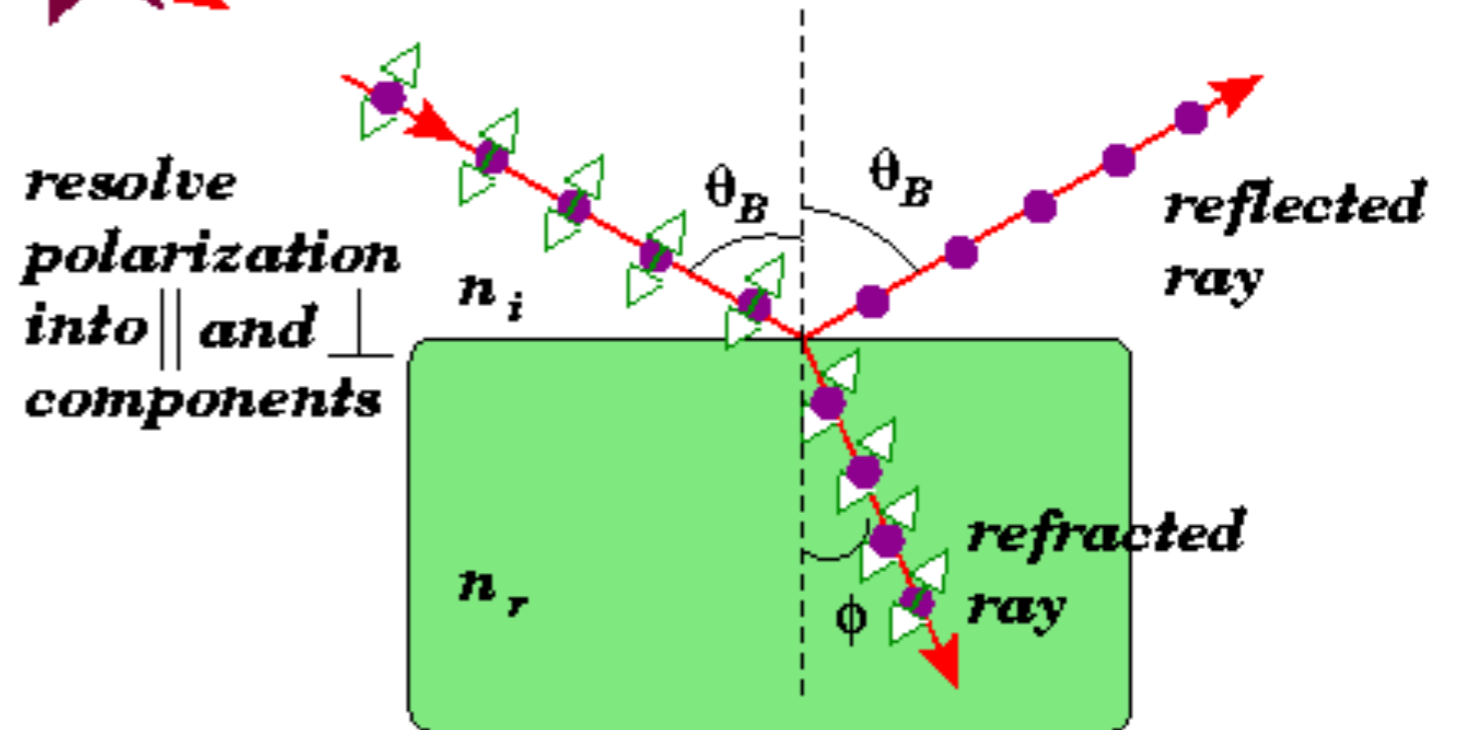
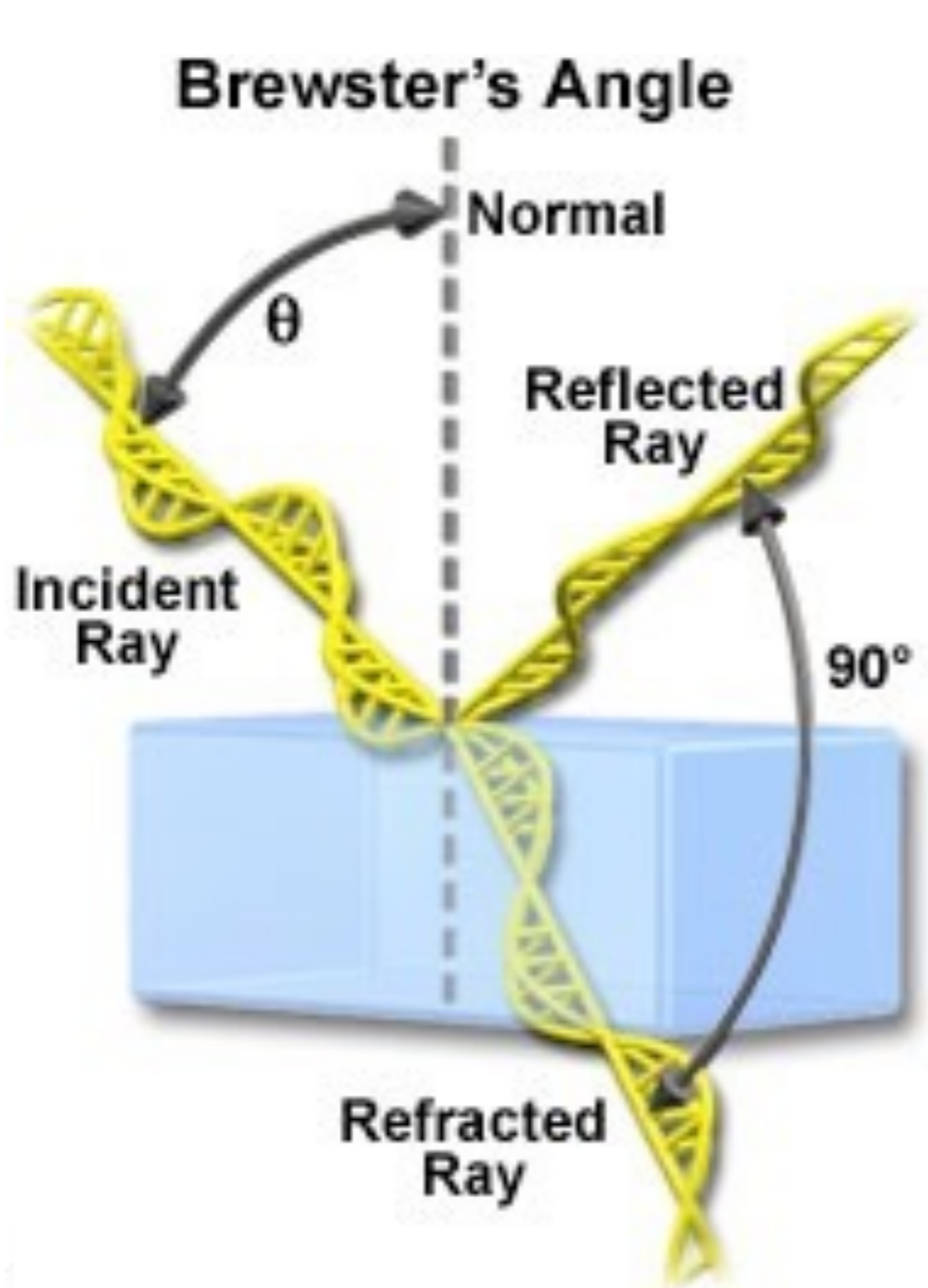
Reflexão Interna Total



$$\eta_1 \cdot \text{sen} \theta_c = \eta_2 \cdot \text{sen}(90^\circ)$$

$$\theta_c = \text{sen}^{-1} \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

Polarização por Reflexão

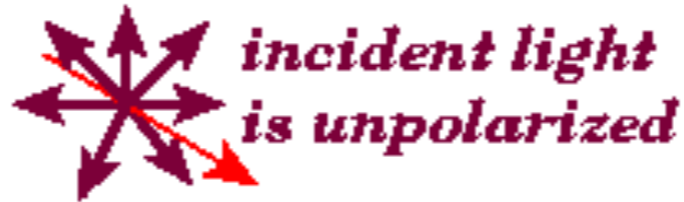
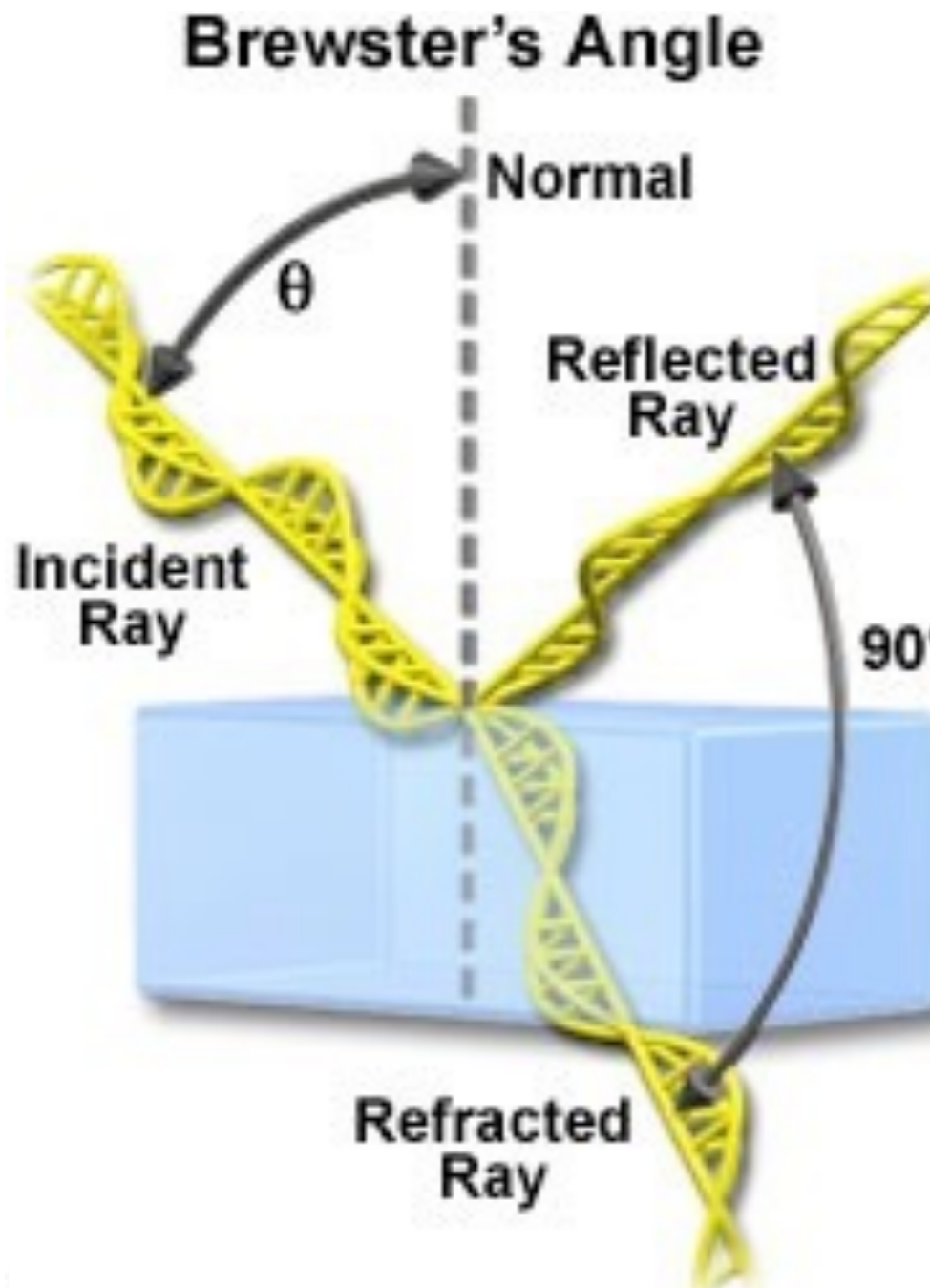


A luz refletida por uma superfície é totalmente polarizada na direção perpendicular ao plano de incidência quando:

Ângulo de Brewster

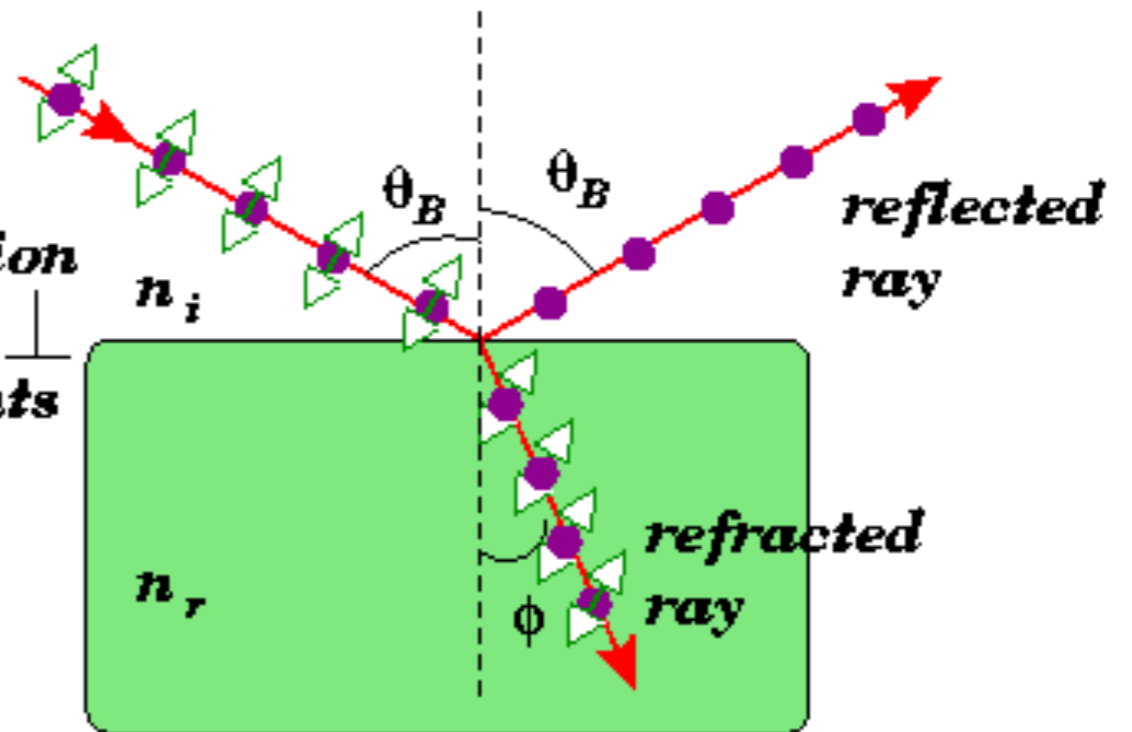
$$\theta_B + \phi_r = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$

Polarização por Reflexão



$$\text{sen}(A - B) = \text{sen}A \cos B - \text{sen}B \cos A$$

resolve polarization into || and \perp components



$$\theta_B + \phi_r = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$

$$\eta_1 \cdot \text{sen} \theta_B = \eta_2 \cdot \text{sen} \phi_r$$

(Lei de Snell)

$$\theta_B = \text{tg}^{-1} \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

$$\eta_1 \cdot \text{sen} \theta_B = \eta_2 \cdot \cos \theta_B$$

Aplicações

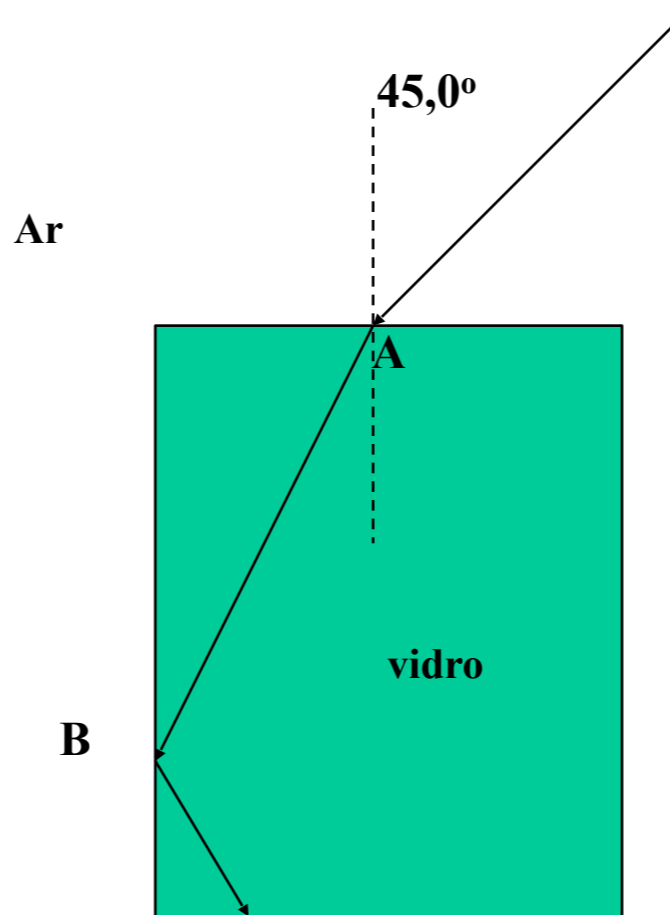


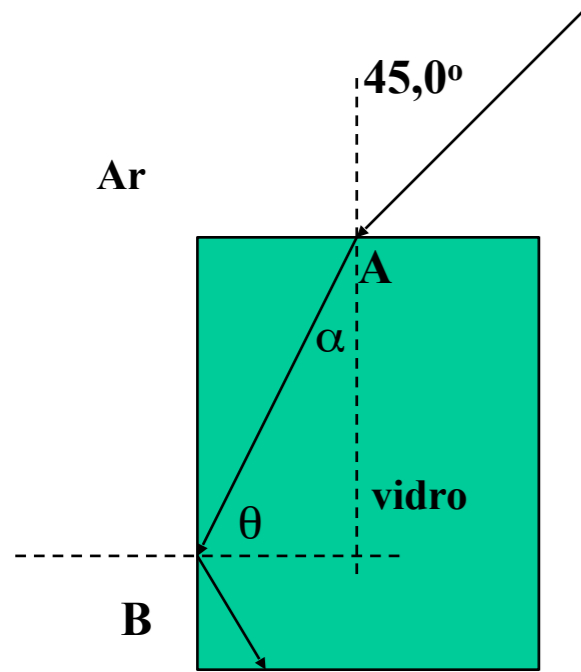
Ângulo Brewster: Fotografia tirada de uma janela com um filtro polarizador a dois ângulos diferentes. Na esquerda, o polarizador está alinhado com o ângulo de polarização da reflexão janela. Na foto à direita, o polarizador foi girado 90° eliminando a luz solar refletida fortemente polarizada.

Exercícios

Exercício

Na figura abaixo, um raio luminoso penetra em uma placa de vidro no ponto A e sofre reflexão interna total no ponto B. Qual o menor valor do índice de refração do vidro que é compatível com esta situação?





$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

$$n_{ar} \text{ sen } 45^{\circ} = n_v \text{ sen } \alpha$$

$$n_v = \frac{\text{sen } 45^{\circ}}{\text{sen } \alpha} = \frac{\text{sen } 45^{\circ}}{\cos \theta} \quad (n_{ar} = 1)$$

$$\text{sen } \theta_c = \frac{n_{ar}}{n_v}$$

$$\text{sen } \alpha = \cos \theta = \sqrt{1 - \text{sen}^2 \theta} = \sqrt{1 - \frac{1}{n_v^2}}$$

$$n_v^2 = \left(\frac{\text{sen } 45^{\circ}}{\cos \theta} \right)^2 = \frac{\text{sen}^2 45^{\circ}}{1 - \frac{1}{n_v^2}}$$

$$n_v^2 - 1 = \text{sen}^2 45^{\circ} \Rightarrow n_v^2 = 1,5 \Rightarrow n_v > 1,2247$$

$$(n_v^2 > 1,5 n_{ar}^2)$$