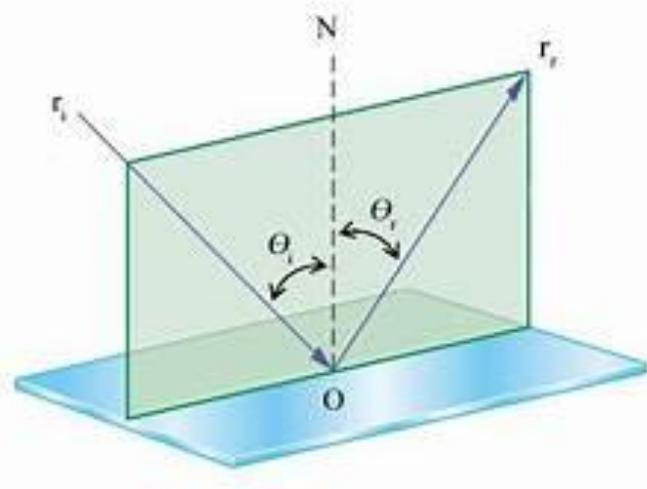


**Prática 1:**  
Refração e reflexão da luz em superfícies planas

09/08/2023

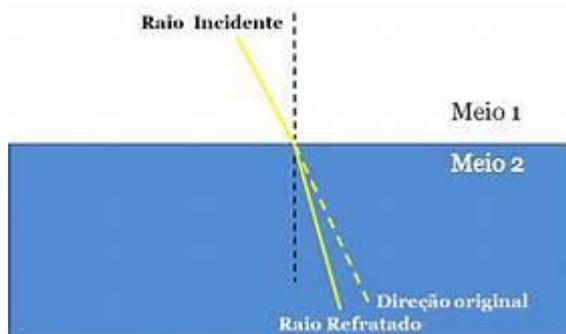
## Reflexão em superfícies planas



$$\theta_i = \theta_r$$

(Não será abordada experimentalmente, exceto na reflexão interna total)

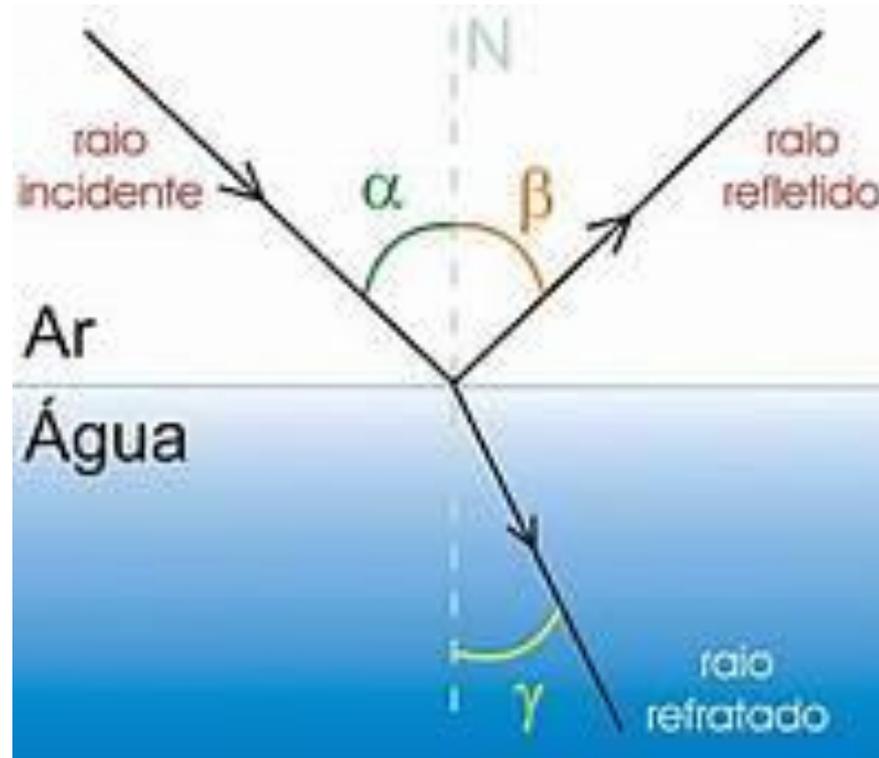
## Refração em superfícies planas



Lei de Snell

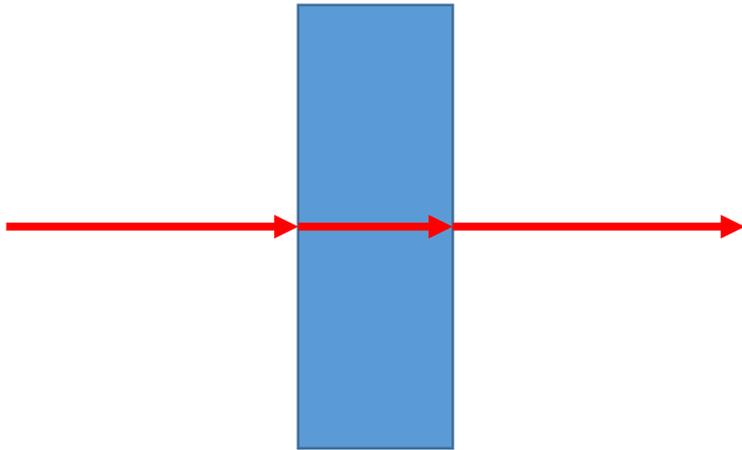
$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

## Reflexão e refração na interface de dois meios

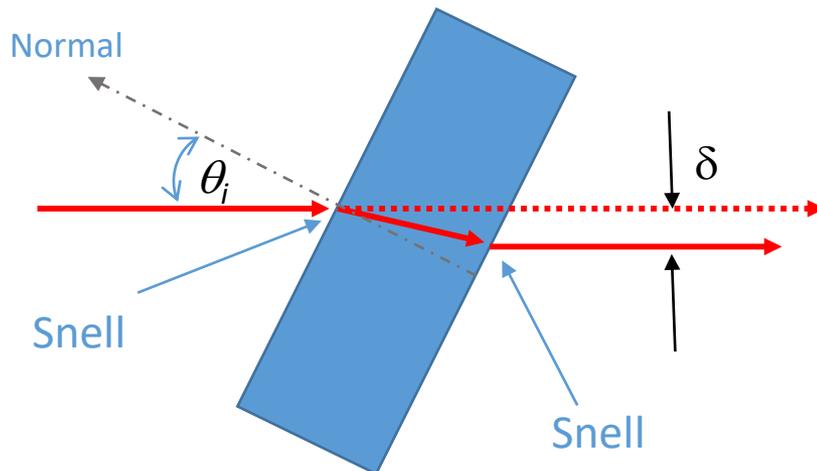


A interface entre dois meios dielétricos pode ser usada para estudar tanto a refração quanto a reflexão!

## Refração em bloco de vidro e prisma



Bloco paralelo: Nenhum desvio lateral ou angular na incidência normal

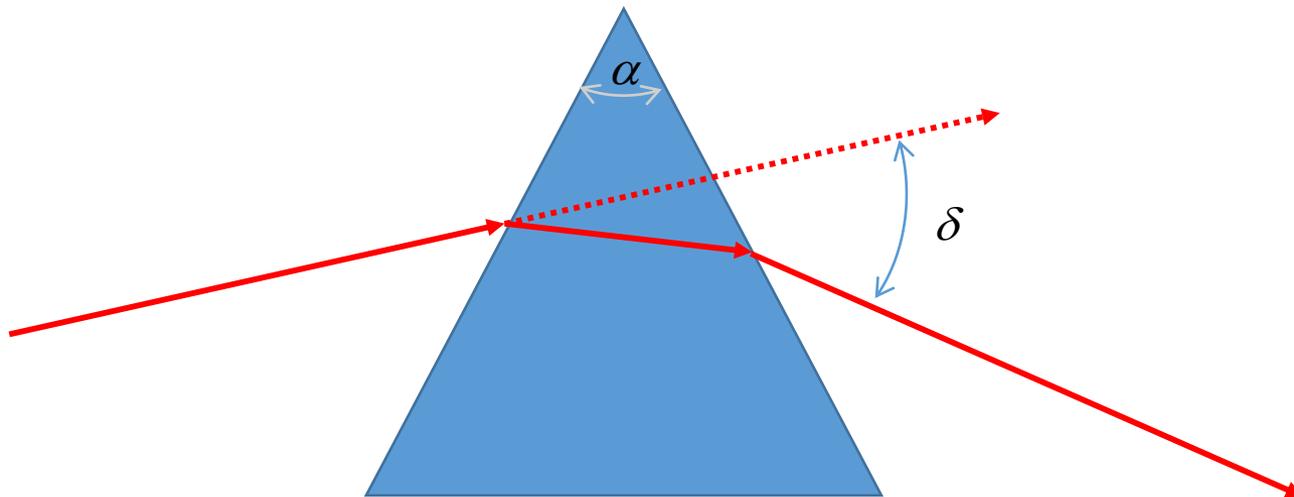


Bloco paralelo inclinado: Nenhum desvio angular, mas tem desvio lateral

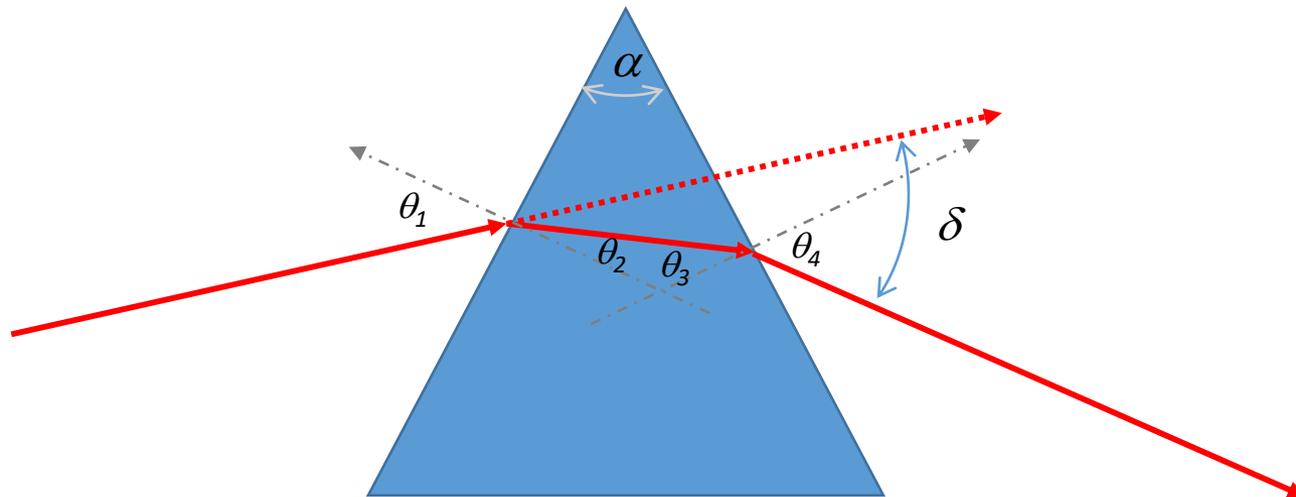
# Refração em bloco de vidro e prisma

Como conseguir desvio angular?

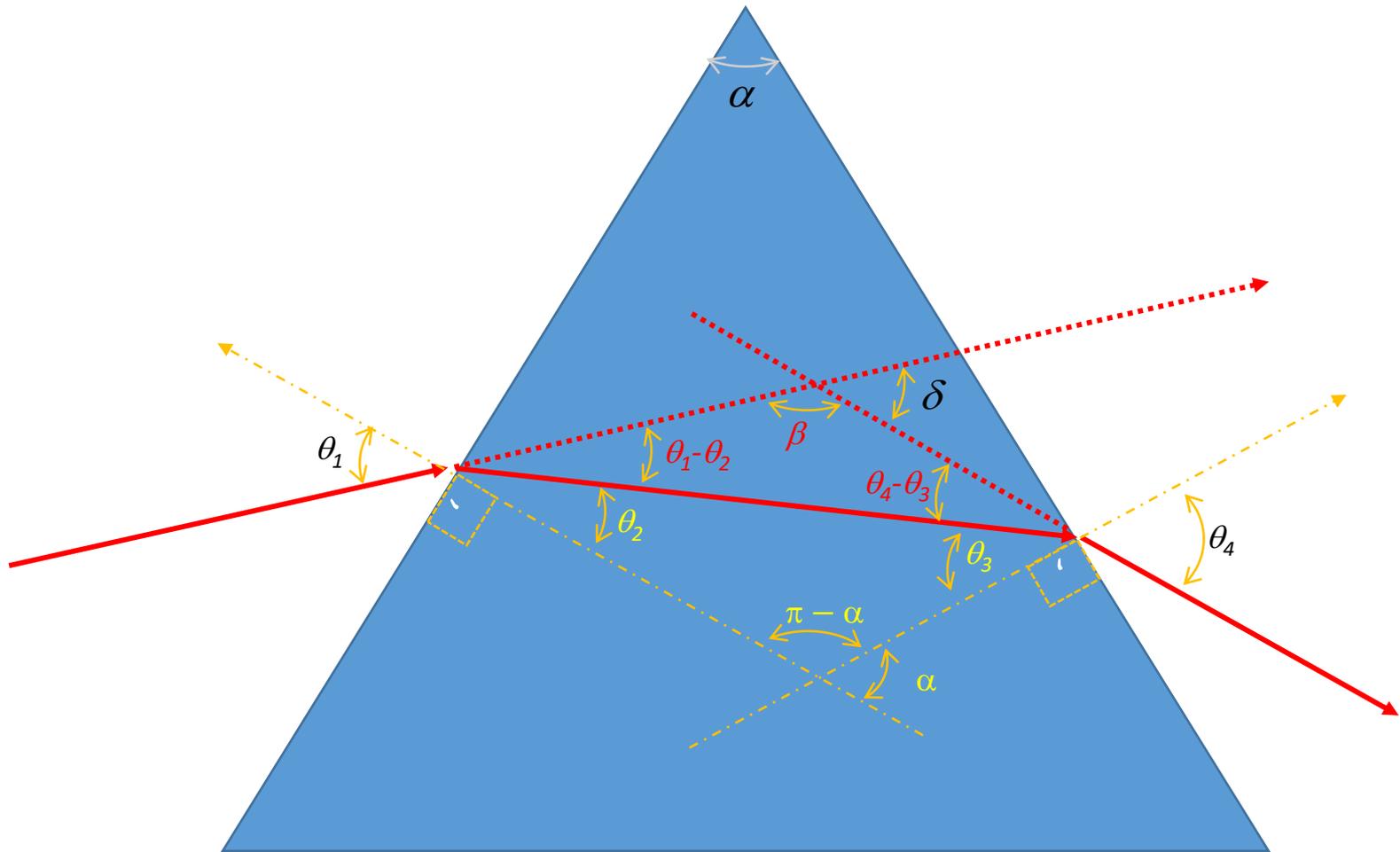
Interfaces não paralelas, prisma!



## Refração em bloco de vidro e prisma



## Refração em bloco de vidro e prisma



$$\pi = \beta + (\theta_1 - \theta_2) + (\theta_4 - \theta_3)$$

$$\theta_2 + \theta_3 + (\pi - \alpha) = \pi$$

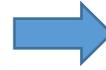
e  $\pi = \beta + \delta \Rightarrow \delta = (\theta_1 - \theta_2) + (\theta_4 - \theta_3)$

$$\alpha = \theta_2 + \theta_3$$

## Refração em bloco de vidro e prisma

$$\delta = (\theta_1 - \theta_2) + (\theta_4 - \theta_3)$$

$$\alpha = \theta_2 + \theta_3$$



$$\delta = \theta_1 + \theta_4 - \alpha$$

$$n_1 = 1 \text{ (ar)} \text{ e } n_2 = n \text{ (prisma)=cte}$$

Lei de Snell nas duas interfaces

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{sen } \theta_1 = n \text{ sen } \theta_2 \\ n \text{ sen } \theta_3 = \text{sen } \theta_4 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \theta_1 = \text{sen}^{-1}(n \text{ sen } \theta_2) \\ \theta_4 = \text{sen}^{-1}(n \text{ sen } \theta_3) \end{array} \right.$$
$$\theta_3 = \alpha - \theta_2$$

$$\delta = \theta_1 + \theta_4 - \alpha$$



$$\delta = \text{sen}^{-1}(n \text{ sen } \theta_2) + \text{sen}^{-1}(n \text{ sen}(\alpha - \theta_2)) - \alpha$$

A derivada dessa expressão com relação a  $\theta_2$  igual a zero, minimiza  $\delta$ :

Usando:  $\frac{d}{dx} \text{sen}^{-1}u = \frac{1}{\sqrt{1-u^2}} \frac{du}{dx}$

$$\frac{d\delta}{d\theta_2} = \frac{\cos \theta_2}{\sqrt{1-n^2 \text{sen}^2 \theta_2}} - \frac{n \cos(\alpha - \theta_2)}{\sqrt{1-n^2 \text{sen}^2(\alpha - \theta_2)}} = 0$$

## Condição de desvio mínimo

$$\frac{d\delta}{d\theta_2} = \frac{\cos \theta_2}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \theta_2}} - \frac{n \cos(\alpha - \theta_2)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(\alpha - \theta_2)}} = 0$$

$$\frac{\cos \theta_2}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \theta_2}} = \frac{n \cos(\alpha - \theta_2)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(\alpha - \theta_2)}}$$

Para que essas duas expressões sejam iguais:

$$\theta_2 = \alpha - \theta_2$$



$$\theta_2 = \frac{\alpha}{2}$$

Consequentemente:

$$\alpha = \theta_2 + \theta_3$$



$$\theta_3 = \theta_2$$

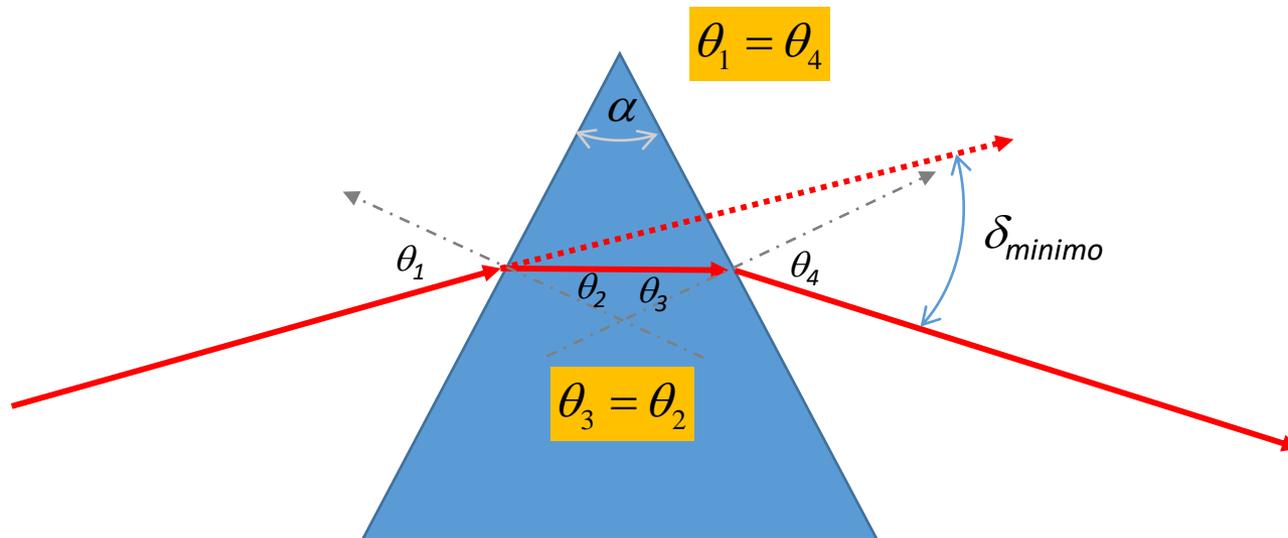
$$\sin \theta_1 = n \sin \theta_2$$



$$\theta_1 = \theta_4$$

$$n \sin \theta_3 = \sin \theta_4$$

# Condição de desvio mínimo



Condição de menor aberração, simétrico, fácil correlação entre  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $n$  e  $\theta_1$

$$\delta = \theta_1 + \theta_4 - \alpha$$

$$\delta = 2\theta_1 - \alpha$$



$$\theta_1 = \frac{\delta + \alpha}{2}$$

$$\text{sen } \theta_1 = n \text{ sen } \theta_2$$



$$\theta_2 = \frac{\alpha}{2}$$

$$n = \frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2}$$

$$n = \frac{\text{sen} \left( \frac{(\delta + \alpha)}{2} \right)}{\text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right)}$$

## Experimento com semi-círculo de acrílico

Para entender melhor o funcionamento da lei de Snell, trabalha-se com apenas uma interface!

Como fazer isso de forma simples e prática!

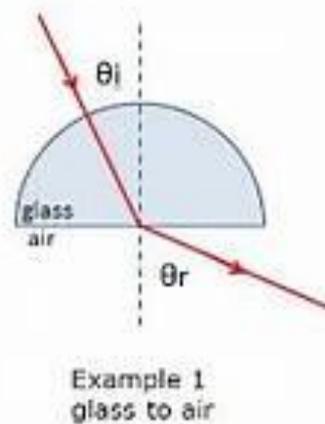


Uso de um semi-círculo!

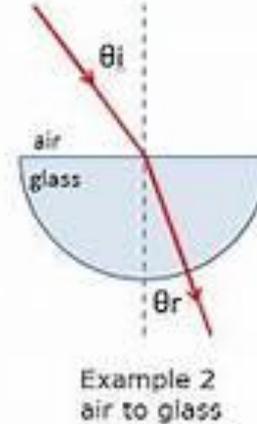
(O ângulo interno é igual ao externo!)

# Experimento com semi-círculo de acrílico

Propagação de um meio de maior índice para meio de menor índice



Propagação de um meio de menor índice para meio de maior índice



Ângulo de incidência e saída sempre normal na superfície curva:

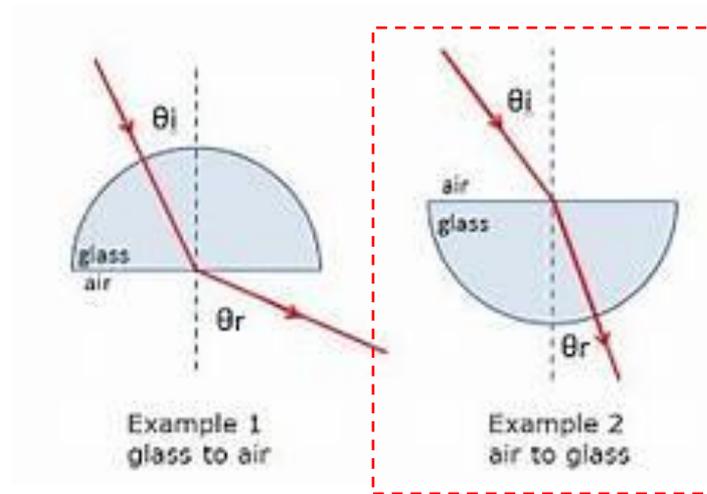
- Não interfere nos dois ângulos de interesse na superfície plana:  $\theta_i$  e  $\theta_r$
- Não necessita de meios de grandes dimensões para medidas precisas de ângulos
- Muito útil para o estudo da propagação de meio de maior índice para meio de menor índice!

# Refração da luz: Todos os casos

Propagação de meio menos refrativo para outro mais refrativo:

Ângulo de incidência qualquer

Ângulo de refração tem um valor máximo



# Refração da luz

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

Propagação de um meio 1 (menos denso) para o meio 2 (mais denso)

Se:  $n_2 > n_1$

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

$$\frac{n_2}{n_1} \geq 1 \quad \longrightarrow \quad \text{sen } \theta_2 \leq \frac{n_1}{n_2}$$

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

$$\frac{n_1}{n_2} \leq 1 \quad \longrightarrow \quad -1 \leq \text{sen } \theta_1 \leq 1$$

Haverá um ângulo máximo de refração no meio 2:  $\theta_2$

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

Não há restrição de ângulo de incidência no meio 1:  $\theta_1$

$$-1 \leq \text{sen } \theta_1 \leq 1$$

# Refração da luz

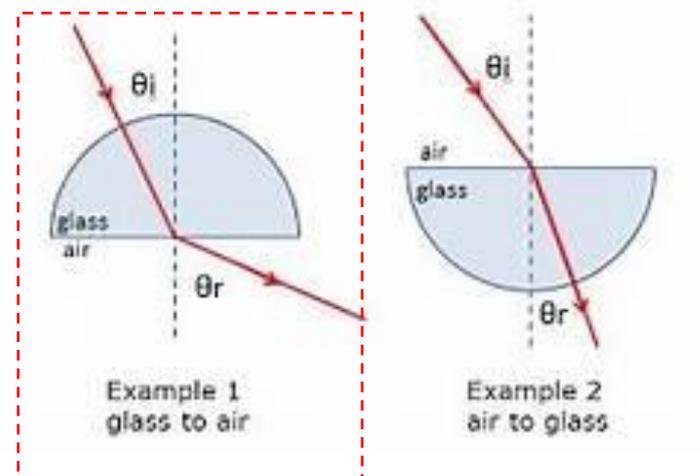
Propagação de meio mais refrativo para outro menos refrativo:

Ângulo de incidência qualquer

Ângulo de refração atinge o valor máximo 90 deg!

Ângulo crítico de incidência

Reflexão total interna após o ângulo crítico



# Refração da luz

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

Propagação de um meio 1 (mais denso) para o meio 2 (menos denso)

Se:  $n_2 < n_1$

$$\operatorname{sen} \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \operatorname{sen} \theta_2$$

$$\frac{n_2}{n_1} \leq 1 \quad \longrightarrow \quad -1 \leq \operatorname{sen} \theta_2 \leq 1$$

$$\operatorname{sen} \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \operatorname{sen} \theta_1$$

$$\frac{n_1}{n_2} \geq 1 \quad \longrightarrow \quad \operatorname{sen} \theta_1 \leq \frac{n_2}{n_1}$$

Ângulo de incidência pode ser qualquer, mas haverá um ângulo de incidência especial (ângulo crítico)  $\theta_1: \theta_c$

$$\operatorname{sen} \theta_2 = \pm 1$$

$$\operatorname{sen} \theta_1 = \operatorname{sen} \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Para que  $\theta_2$  exista:

$$\operatorname{sen} \theta_1 \leq \frac{n_2}{n_1}$$

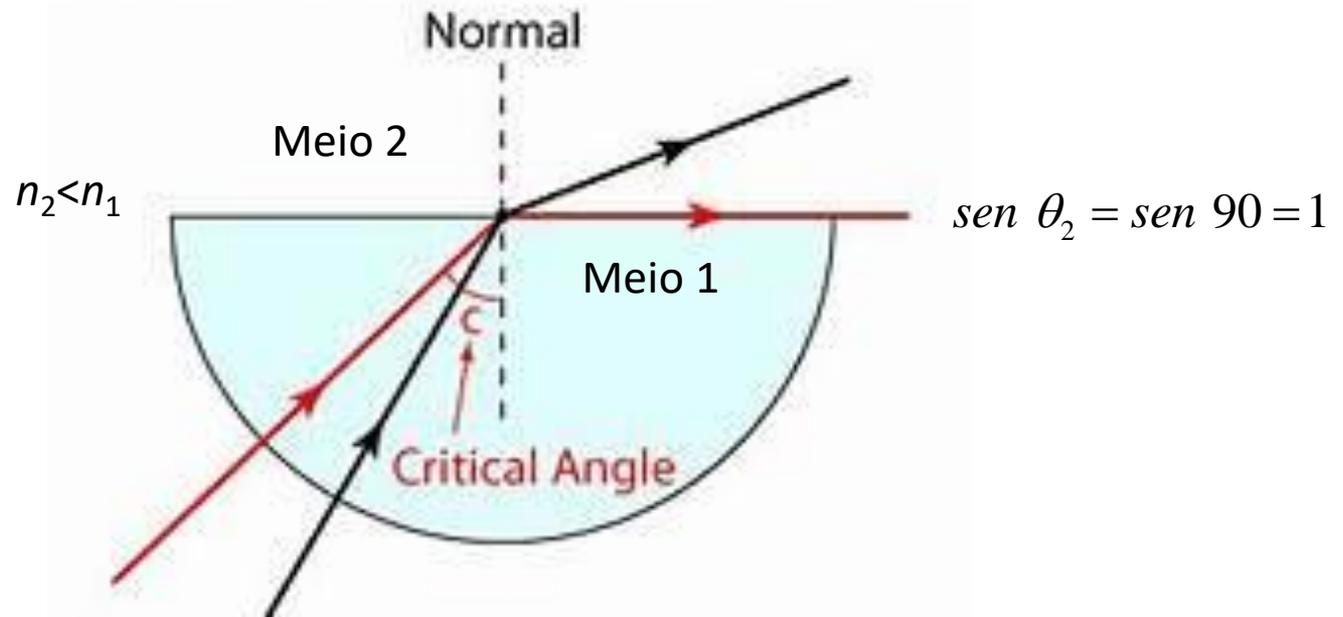
Acima do ângulo crítico não há mais luz transmitida: Reflexão Total Interna

# Ângulo crítico

Numa propagação de um meio de maior índice para meio de menor índice

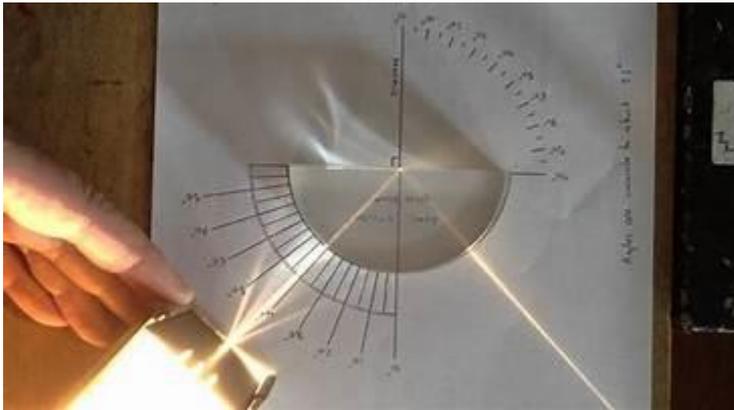
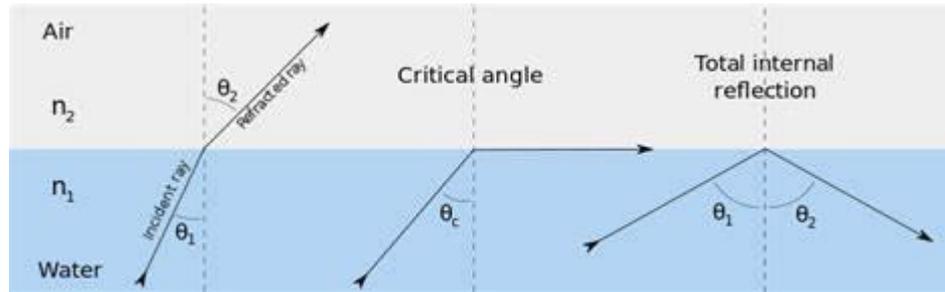
Tem um valor limite do ângulo de incidência, ângulo crítico:  $\theta_c$ , na qual o feixe de saída sai rasante ( $\theta_2=90^\circ$ )

$$\text{sen } \theta_1 = \text{sen } \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$



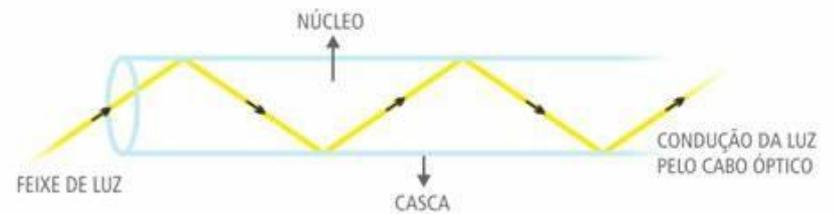
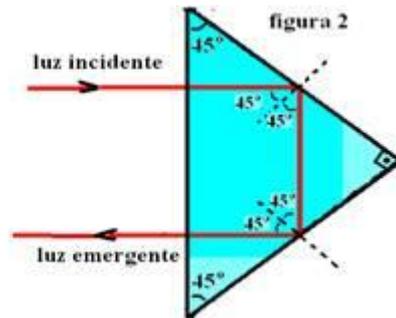
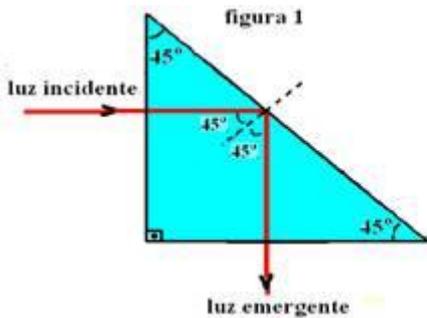
O que acontece se o ângulo for maior que o crítico?

# Reflexão total interna



A interface de um meio transparente funciona como um espelho 100% refletor!

(sem perda por reflexão)



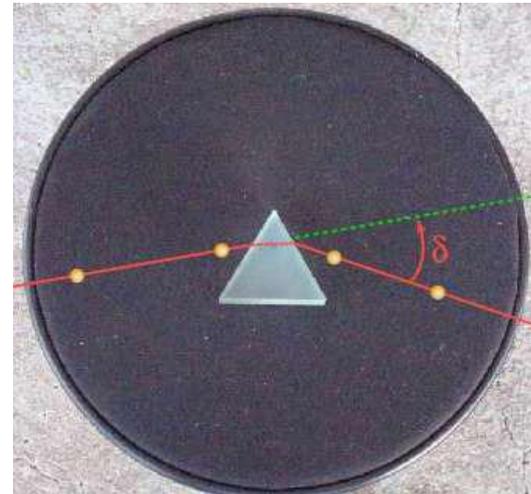
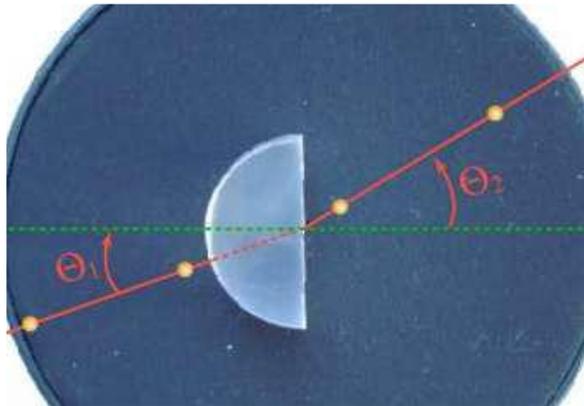
## **Parte experimental:**

Bloco de acrílico semicircular

Ângulo de desvio mínimo em um prisma de vidro

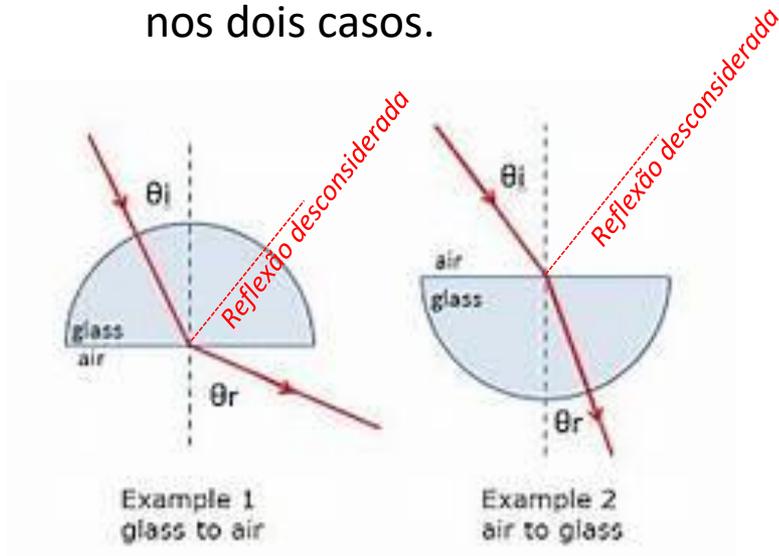
## Experimento:

- Uso de luz laser (feixe bem colimado)
- Papel sulfite (marcação do traçado de raios)
- Alfinetes (fixação das peças e marcação de traçado dos raios)
- Goniômetro (rotação controlada das peças)



# Experimento: Bloco de acrílico

Verificação da lei de Snell nos dois casos.

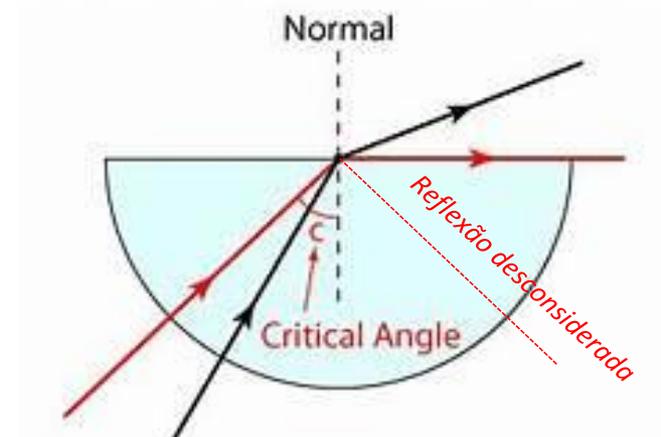


$$n_{\text{glass}} \text{ sen } \theta_i = n_{\text{air}} \text{ sen } \theta_r$$

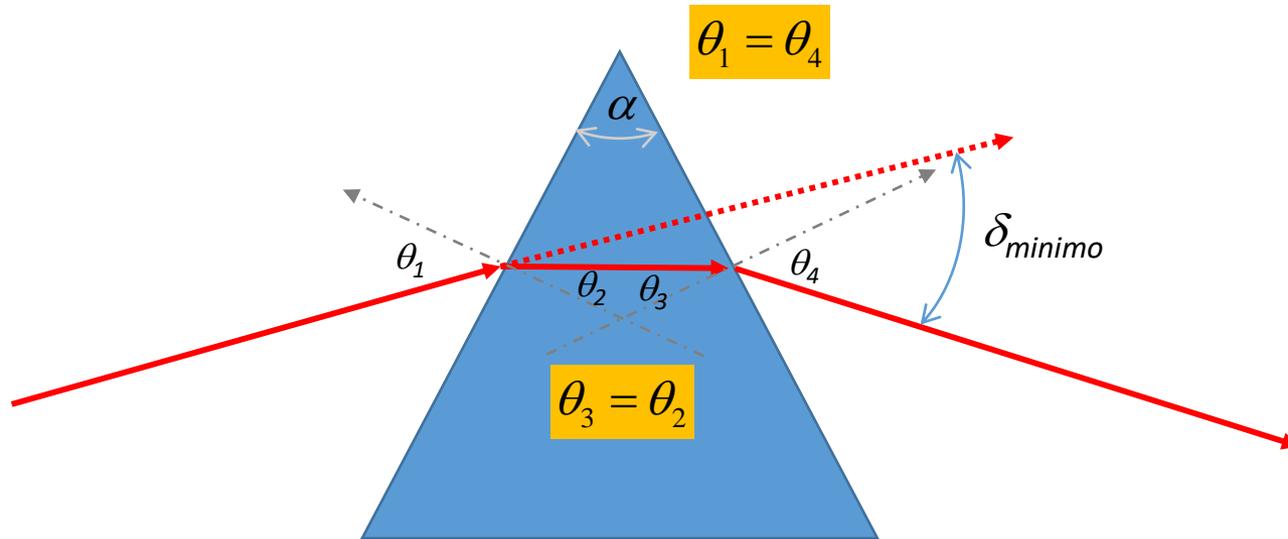
$$n_{\text{air}} \text{ sen } \theta_i = n_{\text{glass}} \text{ sen } \theta_r$$

Verificação do ângulo crítico

$$\text{sen } \theta_c = \frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{glass}}}$$



# Experimento: Prisma de vidro



Condição de menor aberração, simétrico, fácil correlação entre  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $n$  e  $\theta_1$

$$\delta = \theta_1 + \theta_4 - \alpha$$

$$\delta = 2\theta_1 - \alpha$$



$$\theta_1 = \frac{\delta + \alpha}{2}$$

$$\text{sen } \theta_1 = n \text{ sen } \theta_2$$

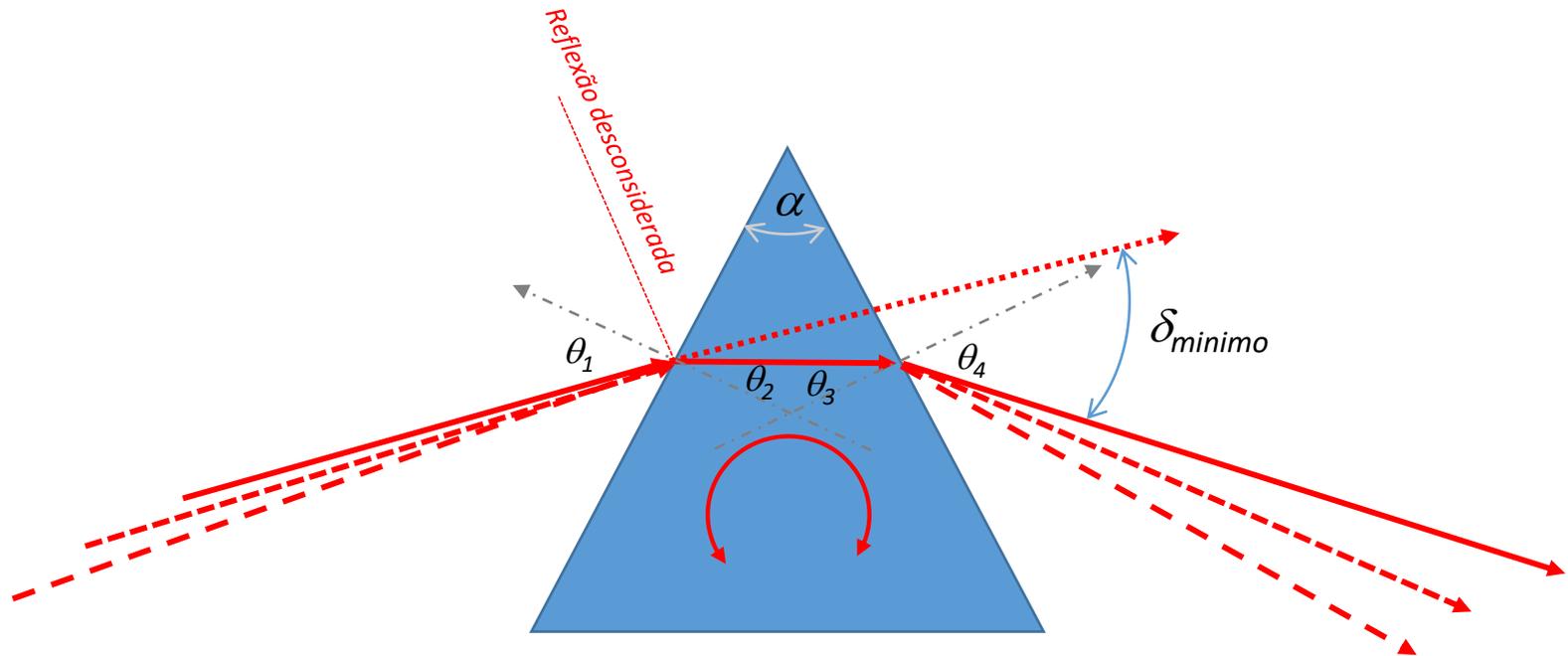


$$\theta_2 = \frac{\alpha}{2}$$

$$n = \frac{\text{sen} \left( \frac{(\delta + \alpha)}{2} \right)}{\text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right)}$$

# Experimento: Prisma de vidro

Determinação do o ângulo de desvio mínimo



$$n = \frac{\text{sen} \left( \frac{(\delta_{\text{min}} + \alpha)}{2} \right)}{\text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right)}$$

