

## **Óptica – Refração da Luz**

### **1-Introdução**

Quando a luz passa de um meio material para outro meio ocorre duas coisas. A primeira é que a velocidade da luz muda. A segunda é que quando a incidência não é oblíqua, a direção de propagação também muda.

A passagem da luz de um meio para outro damos o nome de refração.

### **2-Índice de refração**

Como dissemos anteriormente, ao mudar de meio a luz altera sua velocidade de propagação. Isto é de certa forma esperado, pois ao aumentarmos a densidade de um meio maior será a dificuldade de propagação nele. Os fótons devem efetuar sucessivas colisões com as partículas do meio provocando um atraso, isto é, reduzindo sua velocidade.

A velocidade da luz no vácuo é a maior que qualquer objeto pode atingir. Denominamos por  $c$  a velocidade da luz no vácuo. Num meio natural qualquer a velocidade da luz nesse meio ( $v$ ) é menor do que  $c$ . Portanto, podemos sempre escrever que

$$c = nv$$

ou, equivalentemente

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

O coeficiente  $n$  é o índice de refração do meio. É uma das grandezas físicas que caracterizam o meio (a densidade, por exemplo, é uma outra grandeza física que caracteriza um meio).

Em geral é complicado elaborar teorias voltadas para fazer previsões sobre o índice de refração de um meio (e isso é possível). Nesse livro adotaremos a idéia de que o índice

de refração é uma característica do meio e que o valor desse índice para várias matérias pode ser obtido através de dados experimentais emitidos em tabelas.

O índice de refração do vácuo é 1

$$n_{\text{vácuo}} = 1$$

O índice de refração do ar é muito próximo de 1. O índice de refração da água será adotado como sendo 1,33.

Os índices de refração de uma substância são muito sensíveis ao estado físico no qual ele se encontra (sólido, líquido ou vapor). Pode depender ainda da pressão, temperatura e outras grandezas físicas.

Abaixo apresentamos algumas tabelas de índices de refração para diversas substâncias.

### 3-Leis de refração

O fenômeno da refração é regido por duas leis. São leis análogas às leis da reflexão.

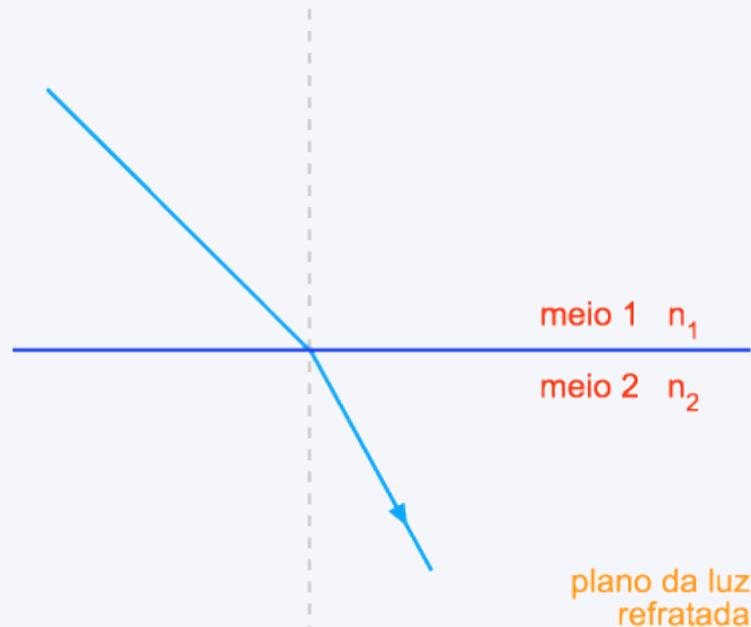
Estaremos tratando, ao enunciarmos essas leis para a refração, de um raio luminoso que incide sobre uma superfície a qual estabelece a separação entre dois meios. Um meio material será designado por meio (1), enquanto o outro meio será designado por meio (2). O índice de refração do meio (1) designaremos por  $n_1$  enquanto o índice de refração do meio (2) designaremos por  $n_2$ .



Os meios (1) e (2) podem ser pensados como o ar (meio

(1)) e a água (meio (2)) ou com o ar (meio (1)) e o vidro (meio (2)).

A luz incide no meio (1) de tal forma que o raio de luz incidente forma um ângulo  $\theta_1$  com a normal (N) à superfície (S) no ponto de incidência. Este raio é refratado formando um ângulo  $\theta_2$  com a normal (N) à superfície no ponto de incidência.



A primeira lei de refração estabelece que o raio incidente, o raio refratado e a normal pertencem a um mesmo plano. Dito de outra forma:

O plano de incidência e o plano da luz refratada coincidem.

A segunda lei estabelece uma relação entre os ângulos de incidência, de refração e os índices de refração dos meios. Tal relação é conhecida como Lei de Snell-Descartes e seu enunciado é:

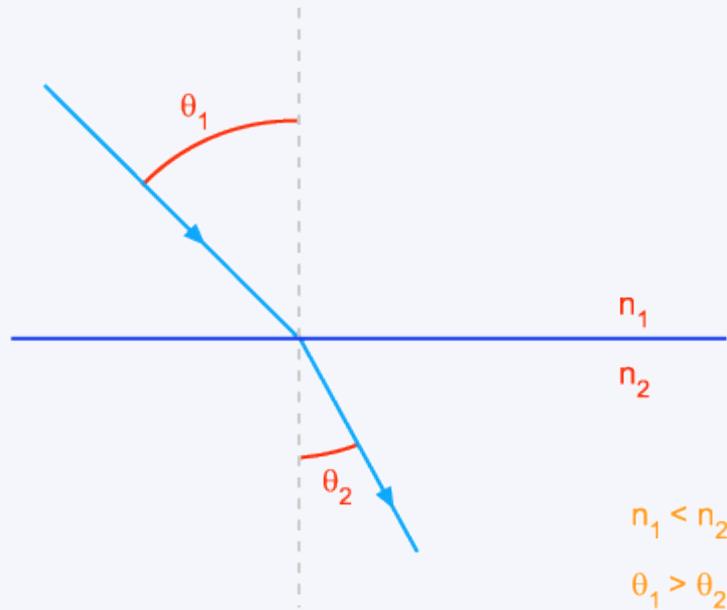
Numa refração, o produto do índice de refração do meio no qual ele se propaga pelo seno do ângulo que o raio luminoso faz com a normal é constante.

Em linguagem matemática, a segunda lei pode ser escrita

como:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Se a incidência for normal (ângulo de incidência zero), o ângulo refratado será nulo. Nesse caso a luz não sofre qualquer desvio. A única consequência da refração no caso da incidência normal é a alteração da velocidade da luz ao passar de um meio para o outro.



Se a incidência for oblíqua então o raio luminoso se aproximaria mais da normal naquele meio que for mais refringente (isto é, aquele meio que tiver o maior índice de refração). O meio com menor índice de refração é, por outro lado, aquele no qual a luz se propaga mais rápido.

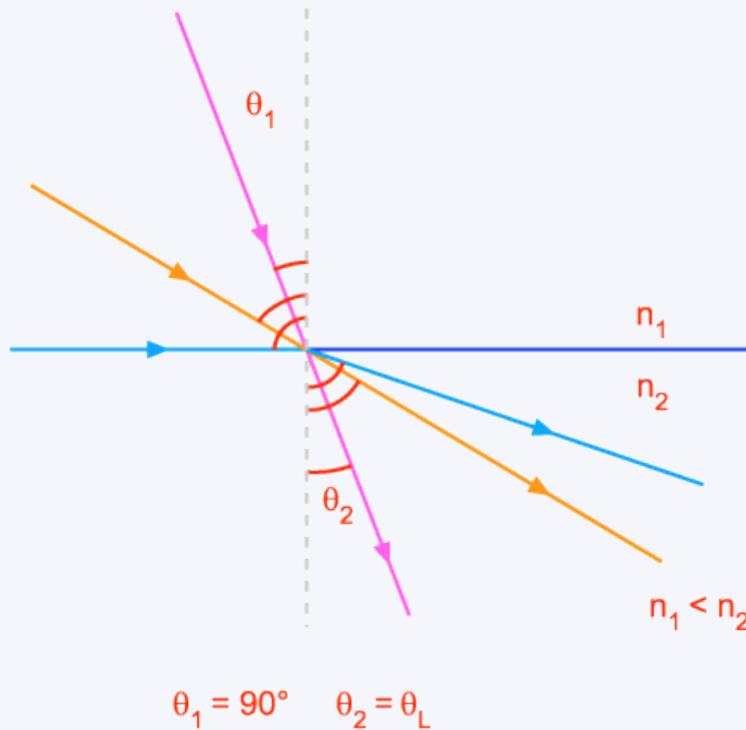
#### 4-Ângulo limite de refração

Se o meio (2) tiver um índice de refração maior do que aquele do meio (1) (no qual a luz incide) então o ângulo de refração atingirá um valor máximo à medida que aumentarmos o ângulo de incidência. Esse valor máximo é um limite para o ângulo de refração e por isso nos referimos a esse ângulo como o ângulo de limite de refração.

Para determinarmos o ângulo limite basta notarmos que

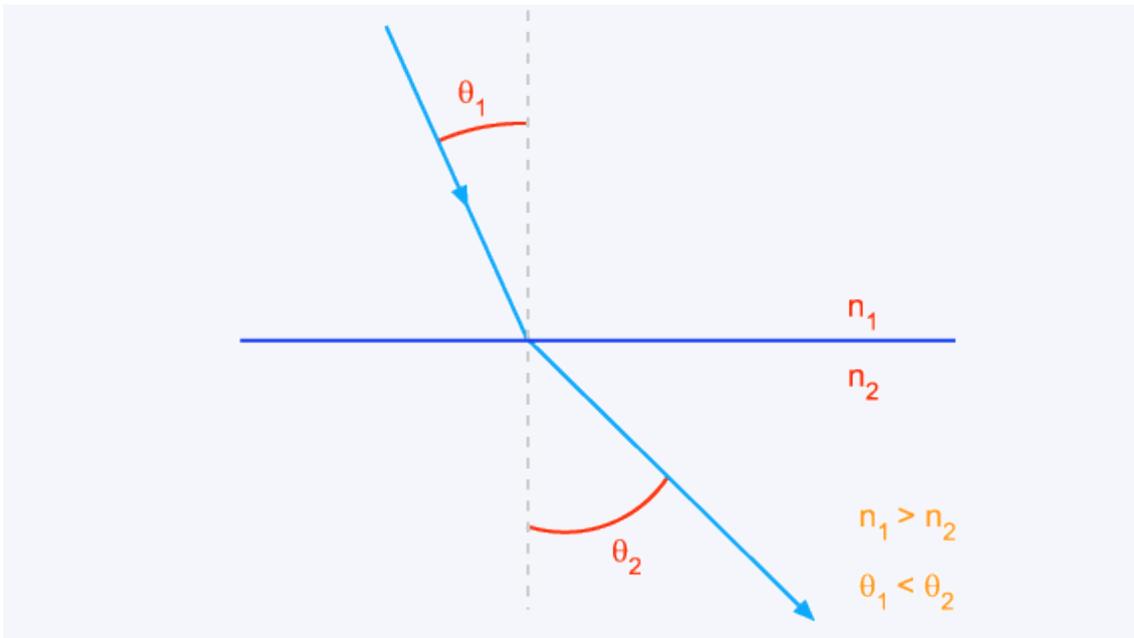
para o ângulo de incidência nulo teremos ângulo de refração também nulo. À medida que aumentarmos o ângulo de incidência, o ângulo de refração também aumenta. O maior valor para o ângulo de incidência é  $90^\circ$ . Para esse ângulo de incidência atingimos o valor limite ( $\theta_L$ ). Temos assim

$$n_1 \sin 90^\circ = n_2 \sin \theta_c .$$



Como  $\sin 90^\circ = 1$  obtemos o ângulo limite a partir da equação

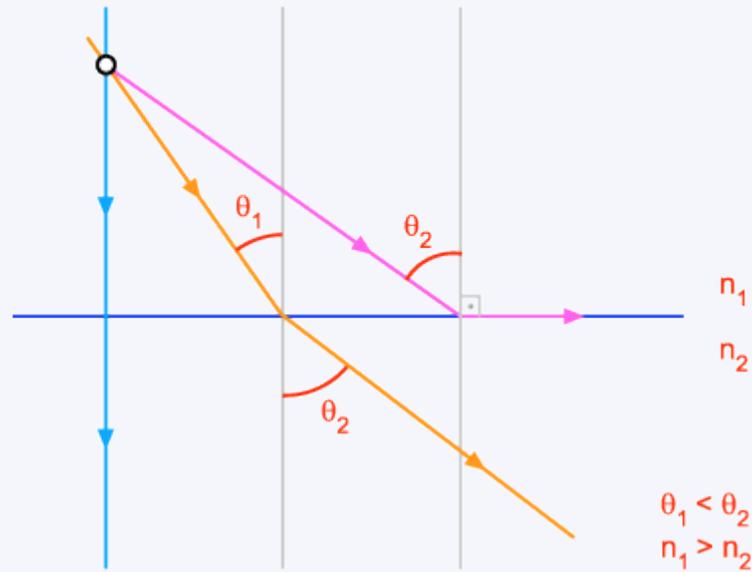
$$\sin \theta_L = \frac{n_1}{n_2} .$$



### 5-Ângulo limite de incidência - reflexão total

Consideremos agora o caso em que o meio (1) é mais refringente. Isto é, esse meio tem um índice de refração maior do que o outro meio. Consideremos a luz incidente nesse meio mais refringente. Agora ver-se-á que o ângulo de incidência atinge um valor máximo o qual é o limite para incidência com a ocorrência de refração.

Novamente aqui podemos argumentar que para ângulo de incidência nulo teremos ângulo de refração nulo. Ao aumentarmos o valor do ângulo de incidência teremos um aumento no ângulo de refração. No entanto, agora o ângulo de refração é sempre mais do que o ângulo de incidência (pois  $n_1 > n_2$  ).



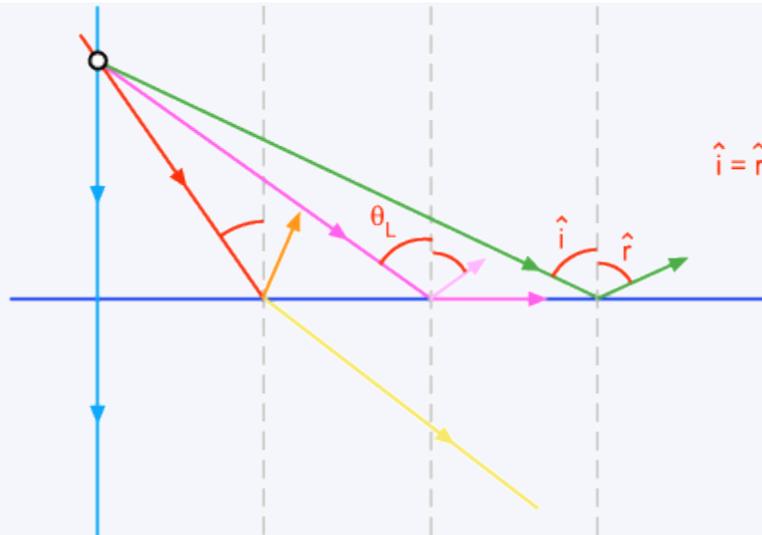
A determinação do ângulo limite de incidência é feita de uma maneira inteiramente análoga ao caso anterior. Utilizamos a lei de Snell-Descartes e lembrando que o maior valor possível (em princípio para o ângulo de refração) é  $90^\circ$  obtemos o ângulo limite de incidência ( $\theta_L$ ) ou seja:

$$n_1 \sin \theta_c^0 = n_2 \sin 90^\circ$$

Portanto, para  $n_1 > n_2$

$$\sin \theta_L = \frac{n_2}{n_1}$$

O que ocorre se a luz incidir num ângulo superior àquele limite dado pela expressão acima? Nesse caso, ocorre o que é denominada de reflexão total. Isto é, a luz retorna para o meio do qual ela se originou. Simplesmente não ocorre refração



A ocorrência da reflexão total é responsável por um tipo de dispositivo utilizado hoje em larga escala na área das telecomunicações. Trata-se das fibras ópticas. As fibras ópticas permitem que a luz seja conduzida através da direção de uma fibra (a fibra óptica). Ela se tornou fundamental como meio para levar informações codificadas. E é hoje um dos principais instrumentos voltados para o trânsito de informações (na telefonia, por exemplo).

## 6-Imagens formadas pela refração

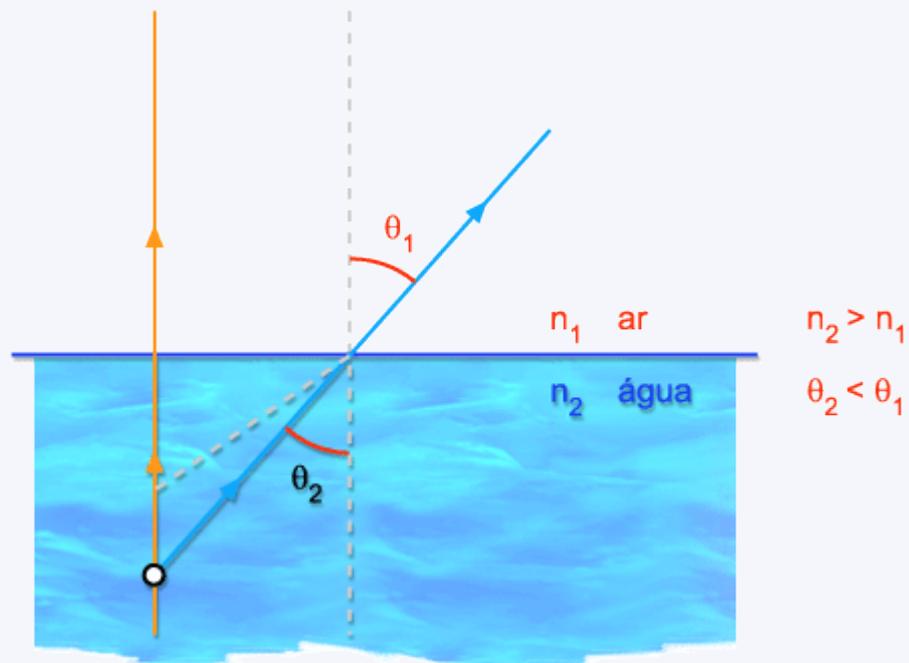
A refração altera a forma com que os nossos sentidos percebem os objetos. Uma colher, por exemplo, dentro da água parece ter-se entortado.



Vamos considerar nesse capítulo a formação de imagens considerando-se a superfície de separação entre dois meios como sendo um plano. Tal arranjo tem o nome de dióptico plano.

Antes de considerarmos o caso de um objeto extenso, vamos analisar a imagem  $P'$  de um ponto objeto  $P$  situado no meio (2). O ponto  $P$  pode ser pensado como um ponto de um objeto dentro da água, por exemplo. Podemos, agora, imaginar dois raios luminosos oriundos do ponto  $P$ . Consideremos um raio incidindo perpendicularmente e outro não. Aquele que incide perpendicularmente à superfície não muda de direção. O outro que incide obliquamente muda de direção.

colher dentro de um copo com água



Note-se que os raios refratados não se encontram. No entanto, o prolongamento desses raios refratados se encontram num ponto  $P'$ . Esse é o ponto imagem de  $P$ . A imagem  $P'$  é virtual uma vez que ela é determinada pelo prolongamento dos raios luminosos refratados.