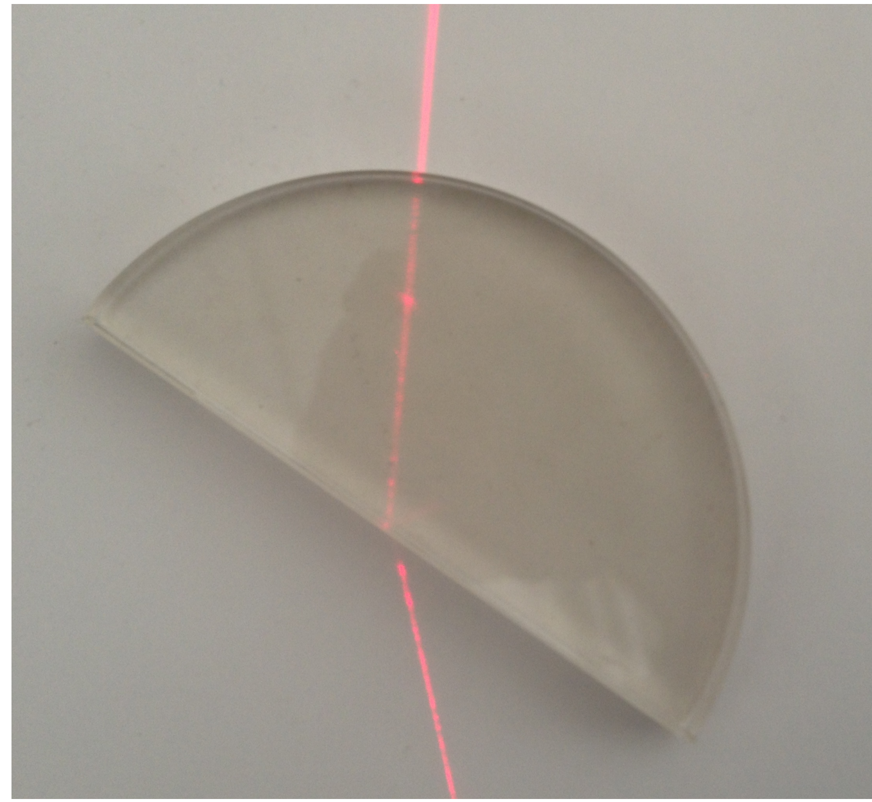
# REFRAÇÃO

VELOCIDADE DA LUZ NO VÁCUO $= 3{,}0 \times 10^8$ m/s

≅ velocidade da luz no ar



Ao mudar de um meio para outro;

- mudança na direção de propagação
- mudança de velocidade

Processo de propagação da luz no material – interações da onda com os elétrons mais externos do átomo

Velocidade de propagação da luz depende das propriedades do material

n= índice de refração = $c/v$

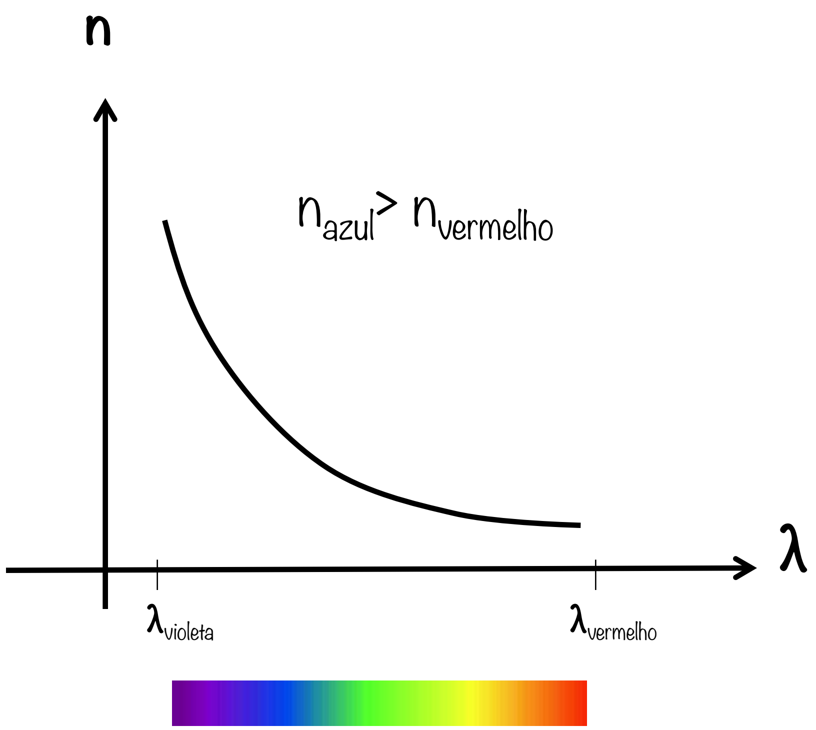
c= vel. da luz no vácuo

v = velocidade da luz no material < c

n adimensional e $\geq 1$

O índice de refração varia com o comprimento de onda da luz (cor)

$n=n(\lambda)$ → Dispersão




# Indice de refração para alguns materiais*

| **Substância** | **ïndice de Refração (λ=589 nm)** |
|---|---|
| Vidro crown | 1,52 |
| Vidro flint | 1,66 |
| Gelo | 1,309 |
| quartzo fundido ($_{SiO2}$) | 1,458 |
| Fluorita ($CaF_2$) | 1,434 |
| Diamante | 2,419 |

| **Líquidos (20º C)** | **ïndice de Refração (λ=589 nm)*** |
|---|---|
| Água | 1,33 |
| Álcool etílico | 1,361 |
| Glicerina | 1,473 |
| **Gases (0º C, 1 atm)** | |
| Ar | 1,000293 |

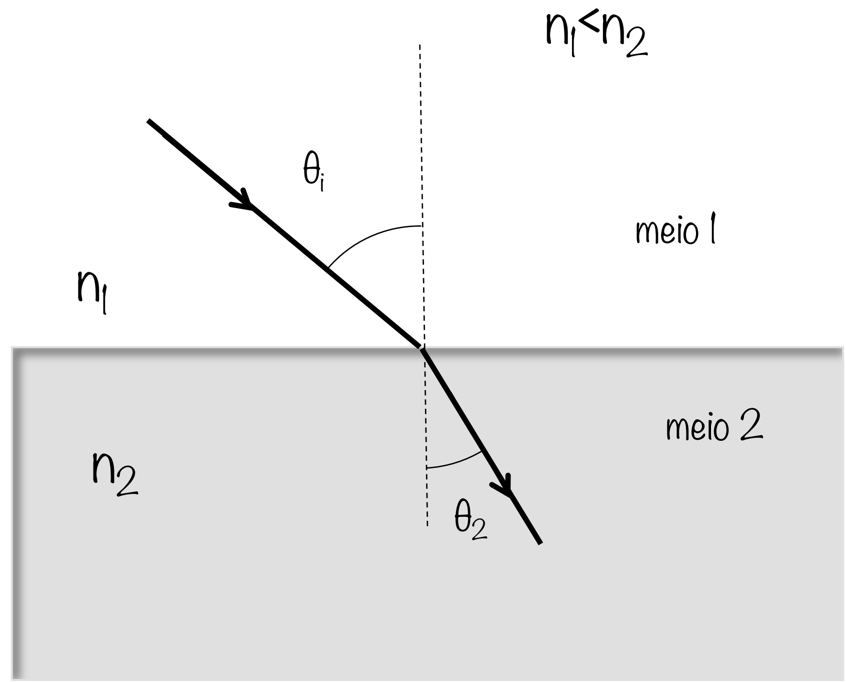
* Serway – Física 3 – 3ª. Edição

# DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

## modelo de raios de luz

Lei de Snell

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

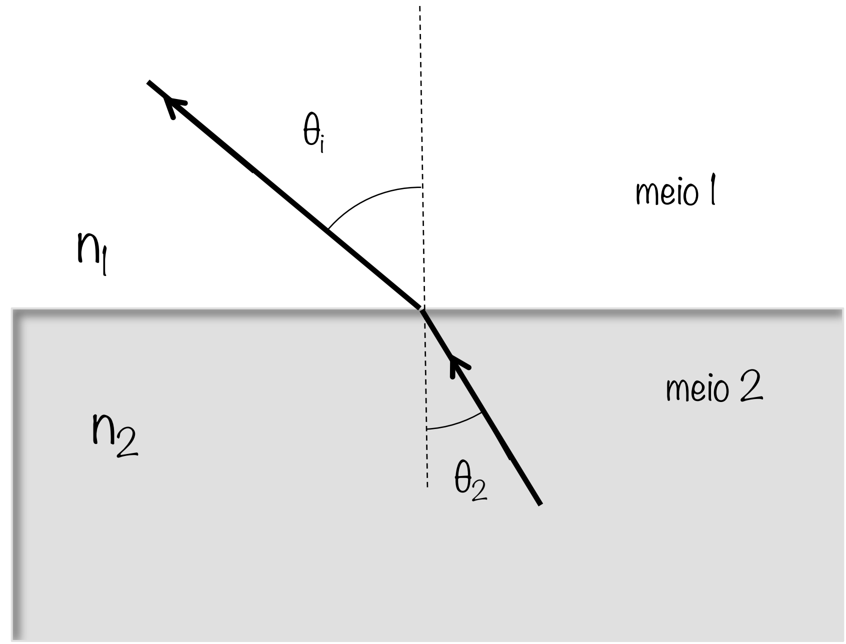



quando $\theta_2$ aumenta, $\theta_1$ também aumenta

# Reversibilidade dos raios de luz

Lei de Snell

$$n_1 sen\theta_1 = n_2 sen\theta_2$$



## Reflexão total interna

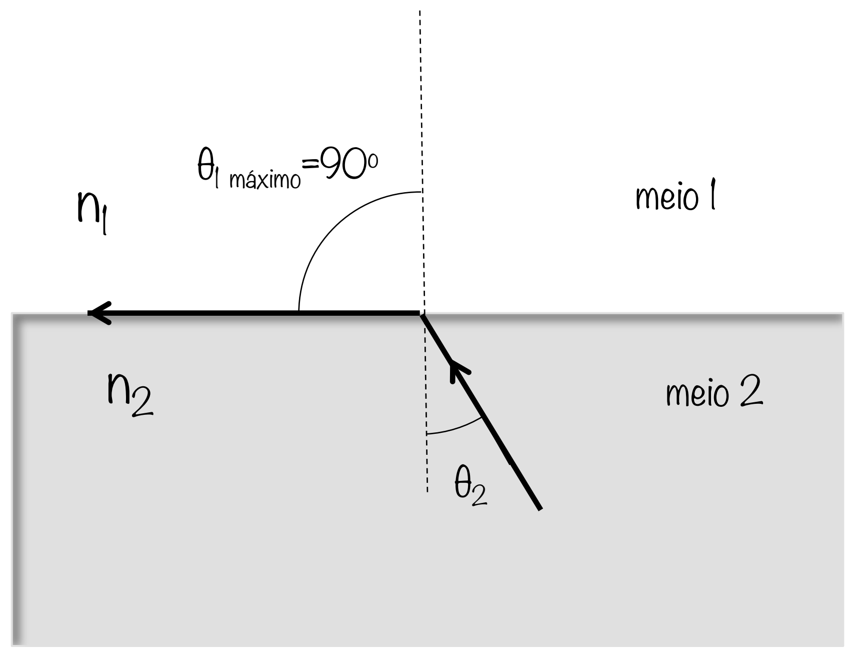
mas existe um limite → $\theta_{1\ \text{máximo}} = 90^o$

isso ocorre para $\theta_2=\theta_C$

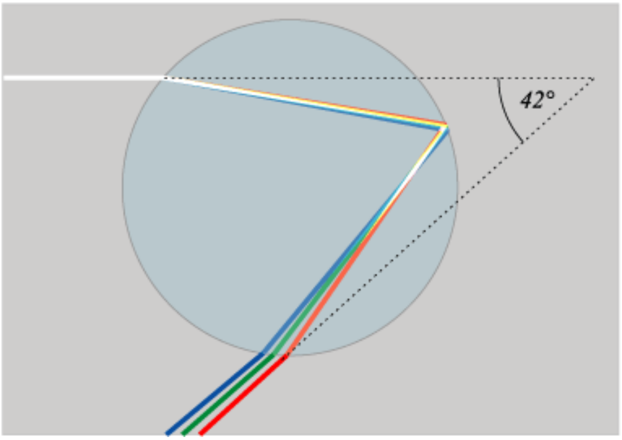
$\theta_C$= ângulo crítico

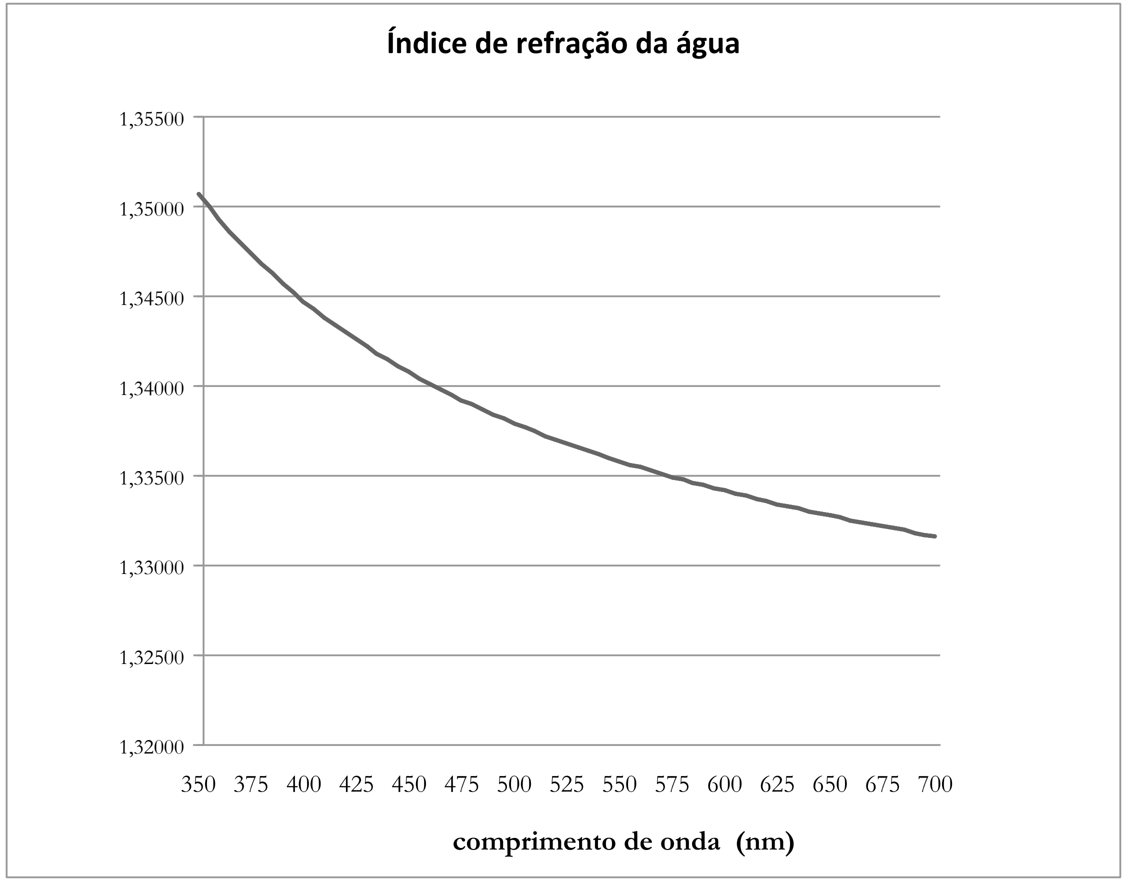
$$n_1 \text{sen}\, \underbrace{90^o}_{1} = n_2 \text{sen}\theta_C$$

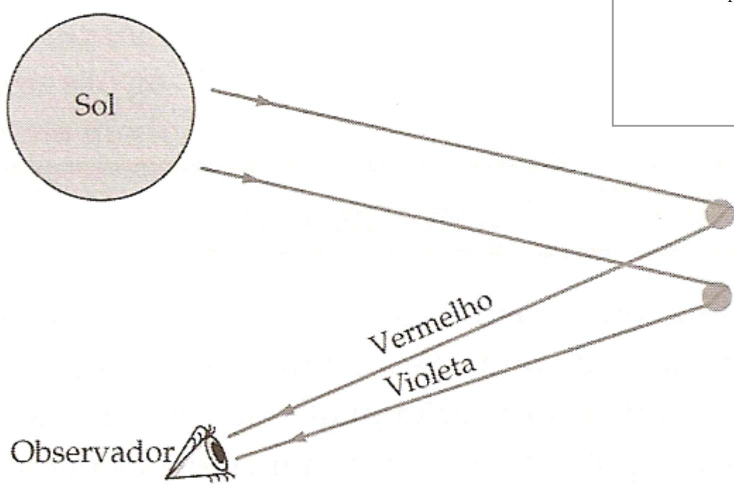
$$\text{sen}\theta_c = n_1/n2$$



# ARCO ÍRIS


42°

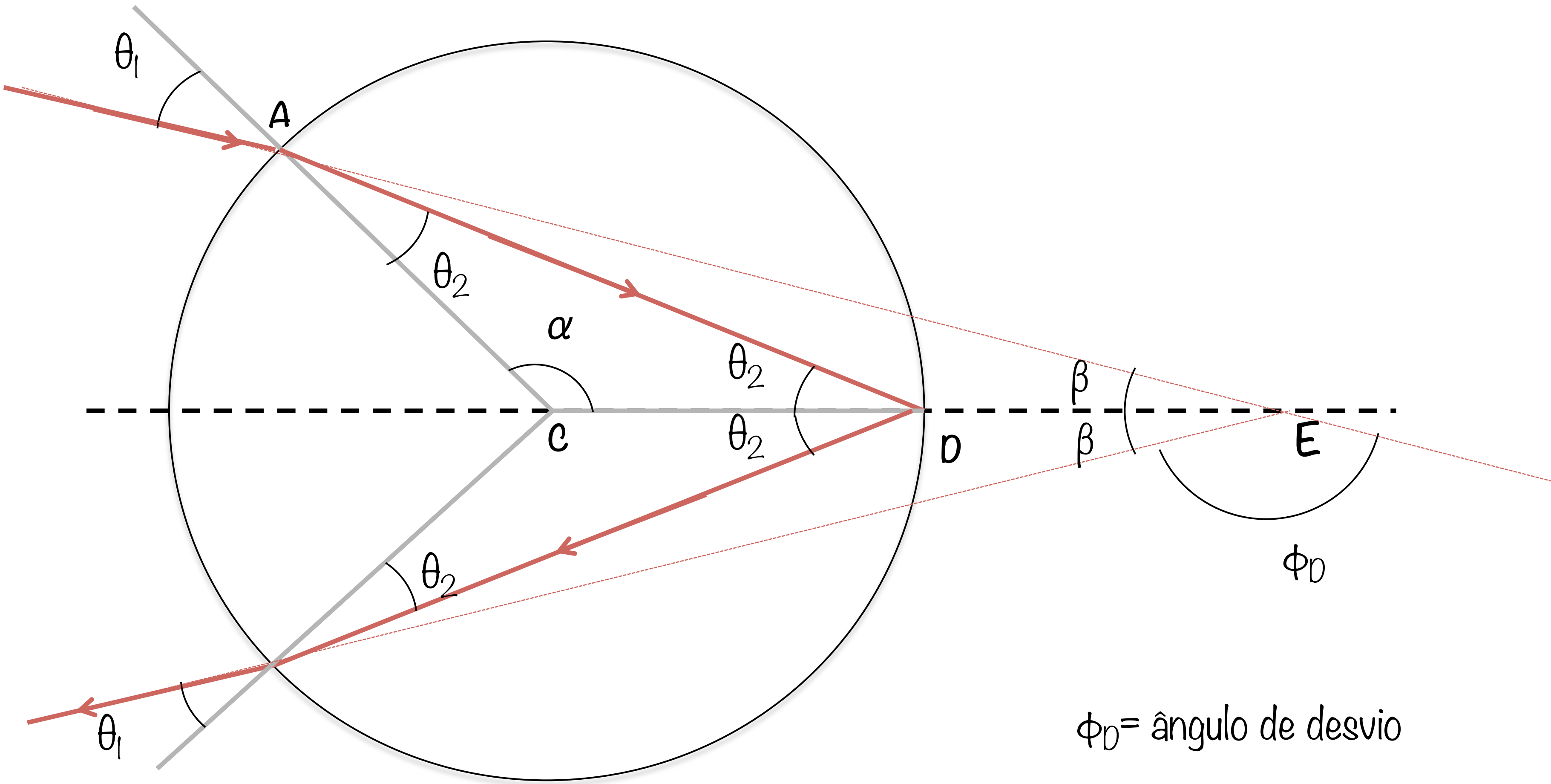

Índice de refração da água
1,35500
1,35000
1,34500
1,34000
1,33500
1,33000
1,32500
1,32000
350 375 400 425 450 475 500 525 550 575 600 625 650 675 700
comprimento de onda (nm)


Sol
Vermelho
Violeta
Observador

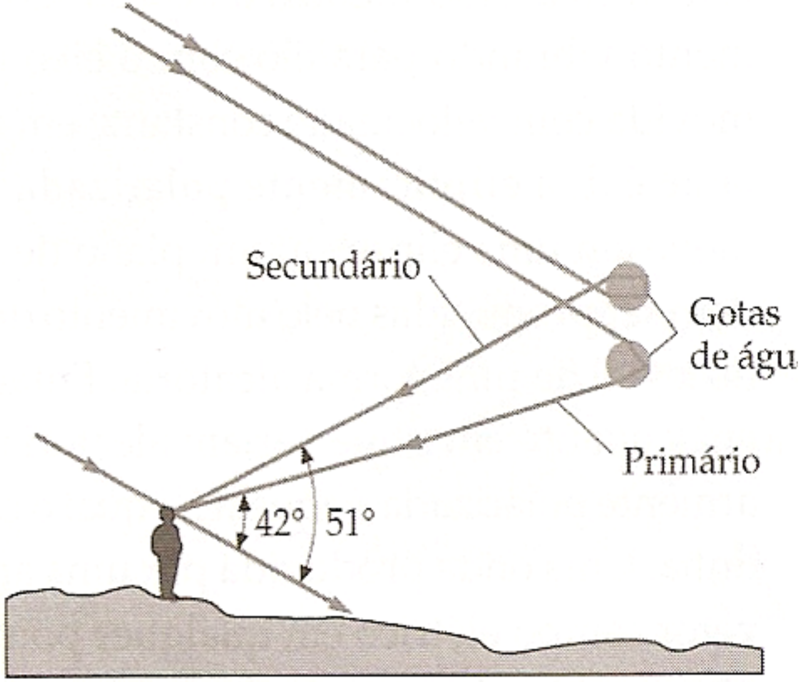
# Gota de água de Raio R

Lei de Snell

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




$\Phi_D$= ângulo de desvio



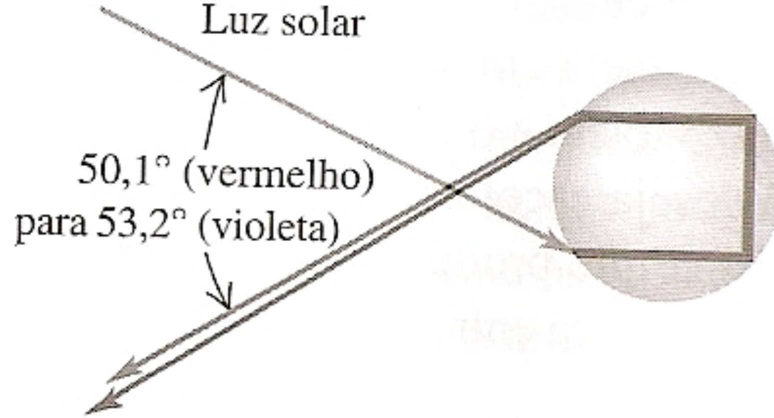




**FIGURA 31-34**

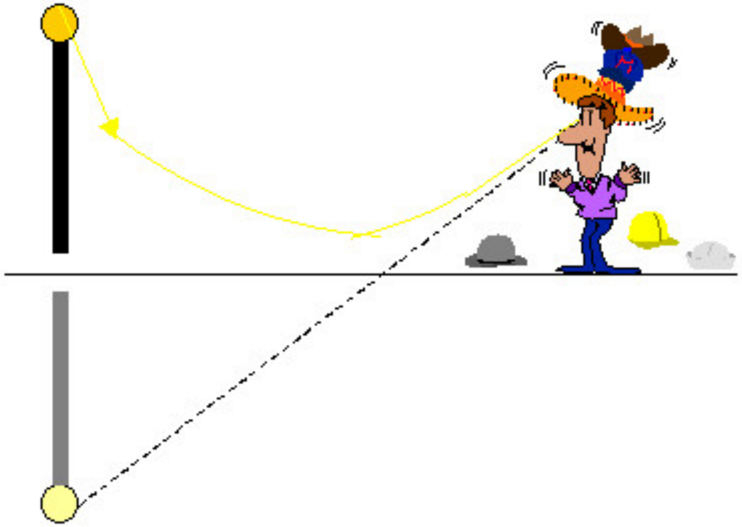
*Um arco-íris secundário resulta dos raios de* luz que são refletidos duas vezes dentro de uma gota de água.

# Links para arco-íris

- http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=44
- http://www.physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-4/Rainbow-Formation
- http://www.eo.ucar.edu/rainbows/
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala19/texto50.asp

# MIRAGENS

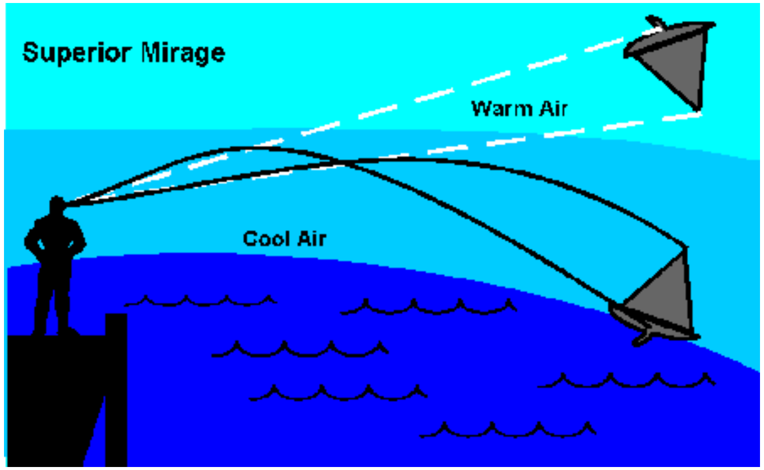
Miragens acontecem quando os raios de luz que atingem nossos olhos atravessaram um meio não homogêneo (o ar) onde o índice de refração não é constante, devido normalmente à variações de temperatura



| Temp. do ar (ºC) | Indice de refração |
|---|---|
| 47,50 | 1,00050 |
| 47,75 | 1,00040 |
| 48,00 | 1,00035 |
| 48,25 | 1,00027 |
| 48,50 | 1,00025 |

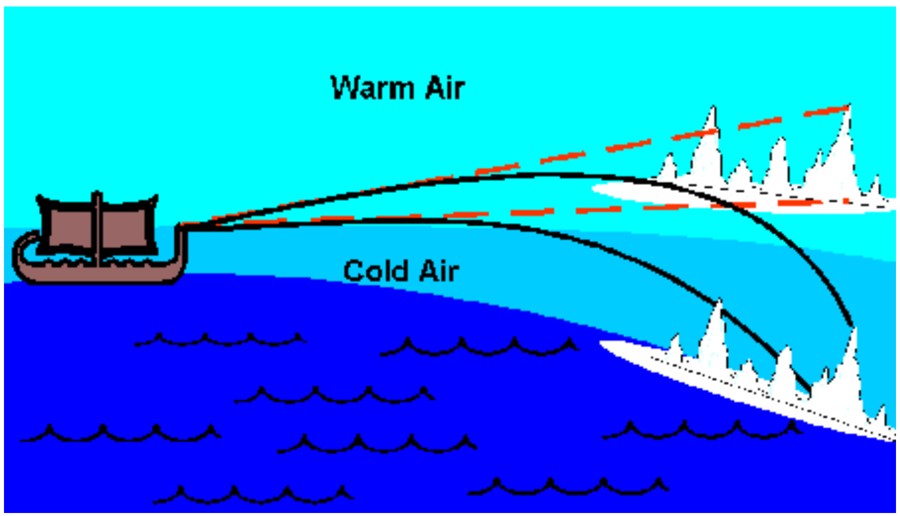
http://educar.sc.usp.br/otica/

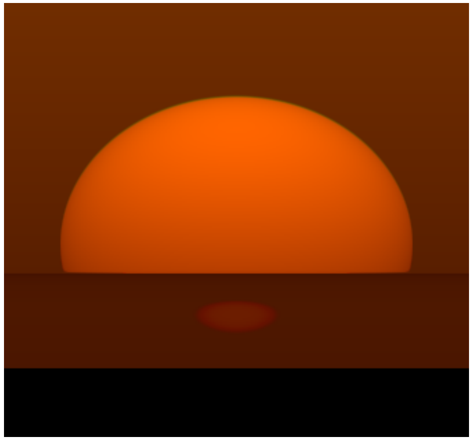
A miragem mais comum é a observada quando a temperatura do ar é mais elevada nas camadas mais próximas da superfície porém, em regiões muito frias, ou no mar, pode ocorrer o contrário, o ar nas camadas mais baixas é mais frio. Essas miragens assustaram muitos navegadores nos séculos passados.




http://www.islandnet.com/~see/weather/elements/mirage1.htm

Os objetos podem aparecer flutuando no céu, como na figura, ou simplesmente aparecer no horizonte, em uma posição mais alta do que realmente se encontra, como acontece no pôr do sol.

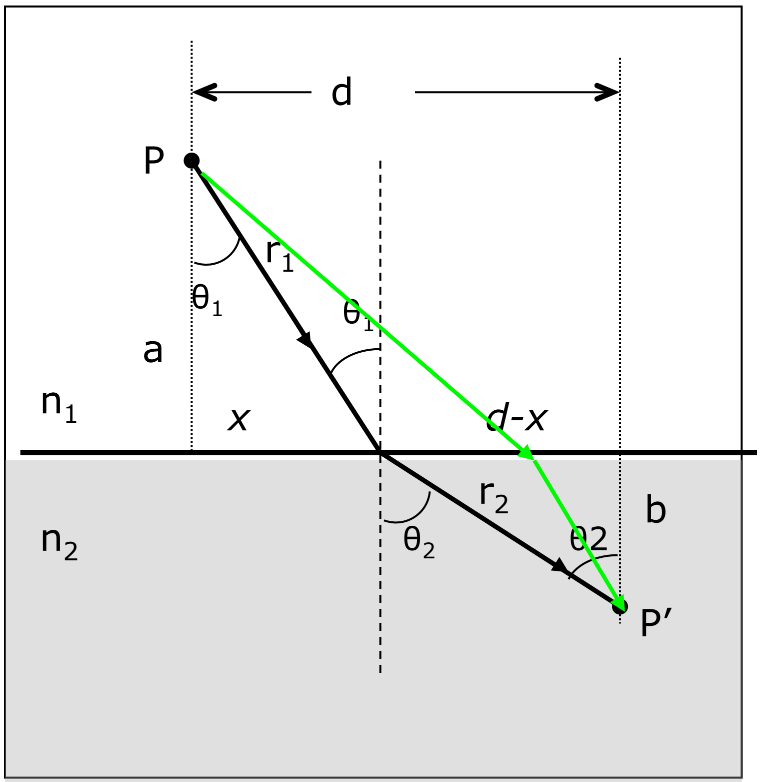


# DEMONSTRAÇÃO DA LEI DE SNELL USANDO O PRINCÍPIO DE FERMAT

# Princípio de Fermat

Quando um raio de luz propaga-se entre dois pontos P e P' quaisquer, a trajetória seguida é aquela que requer o menor tempo de percurso




$v_1 = c/n_1$, $v_2 = c/n_2$

$r_1$= distância percorrida no meio 1

$r_2$=distância percorrida no meio 2

Tempo total para percurso PP'=t

$$t = \frac{r_1}{v_1} + \frac{r_2}{v_2} = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{c/n_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}}{c/n_2}$$

Escolhendo diferentes valores de x, pode-se tomar diferentes trajetórias entre P e P'

# Princípio de Fermat

Para obter o tempo mínimo vamos derivar a expressão anterior, em relação a x, e igualar a derivada a zero;

$$\frac{dt}{dx} = \frac{n_1}{c}\frac{d}{dx}\left(a^2 + x^2\right)^{1/2} + \frac{n_2}{c}\frac{d}{dx}\left(b^2 + (d-x)^2\right)^{1/2}$$

$$= \frac{n_1}{c}\left(\frac{1}{2}\right)\frac{2x}{\left(a^2 + x^2\right)^{1/2}} + \frac{n_2}{c}\left(\frac{1}{2}\right)\frac{2(d-x)(-1)}{\left(b^2 + (d-x)^2\right)^{1/2}}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{n_1 x}{c\left(a^2 + x^2\right)^{1/2}} - \frac{n_2(d-x)}{c\left(b^2 + (d-x)^2\right)^{1/2}} = 0$$

Pela figura:

$$sen\theta_1 = \frac{x}{r_1} = \frac{x}{(a^2 + x^2)^{1/2}}$$

$$sen\theta_2 = \frac{d-x}{r_2} = \frac{d-x}{(b^2 + (d-x)^2)^{1/2}}$$

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

# Aplicações

Uma pessoa encontra-se na borda de uma piscina cheia e de profundidade uniforme, como mostra a figura. Use o traçado de raios para determinar a posição aparente de P1 e P2 para o observador na borda. O ponto $P_1$ parecerá mais raso ou mais profundo do que o ponto $P_2$?