

Óptica



Aula 5 - Formação de Imagens Ampliadas - Refração
ewout@usp.br

Aula passada

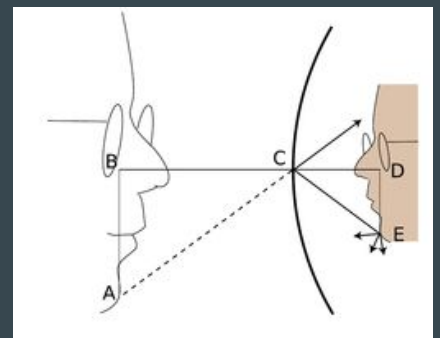
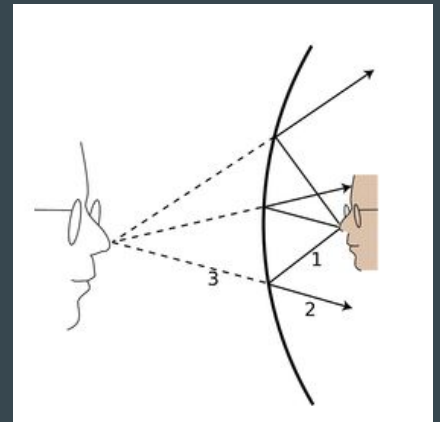
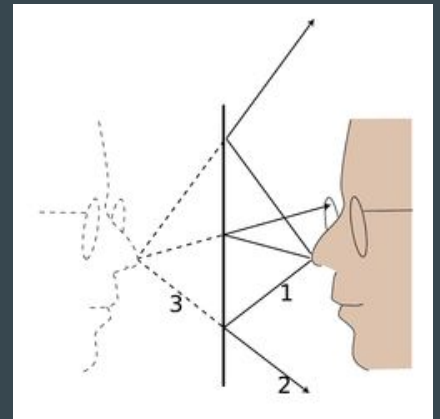
Formação de imagens em espelhos esféricos. Graficamente e pela “Lei dos espelhos” ou Eq. de Gauss

Terminologia: côncavo / convexo, imagem virtual / real, invertida / direita, ampliação

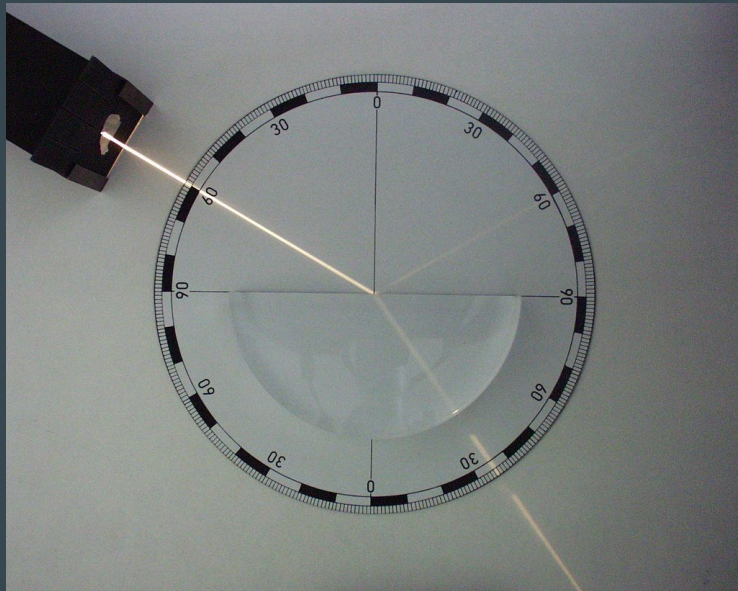
Convenção de sinais

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{p'}{p}$$

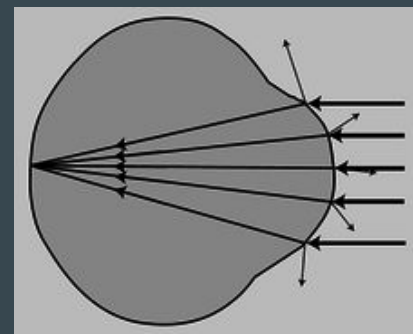
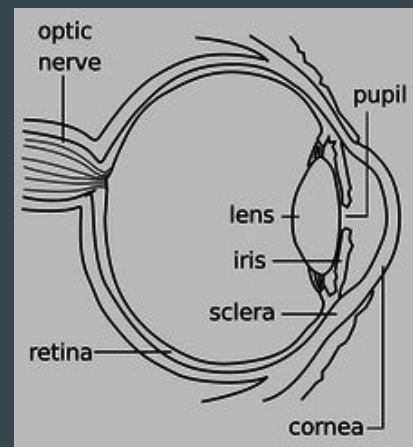


Refração: fenomenologia



Luz que passa de um meio para outro é observada de ser

1. refletida na interface entre os meios
2. refratada (muda de direção)



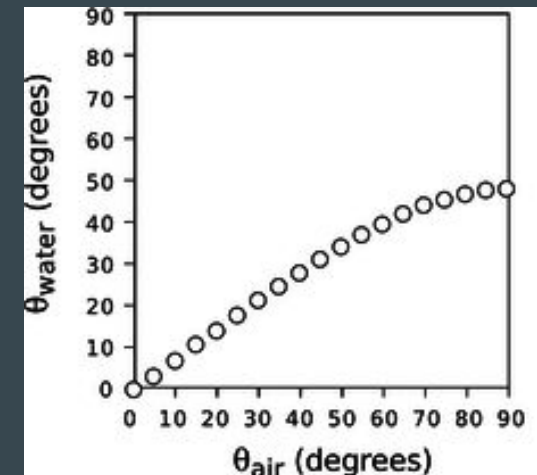
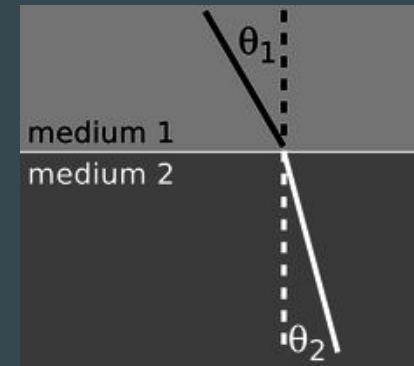
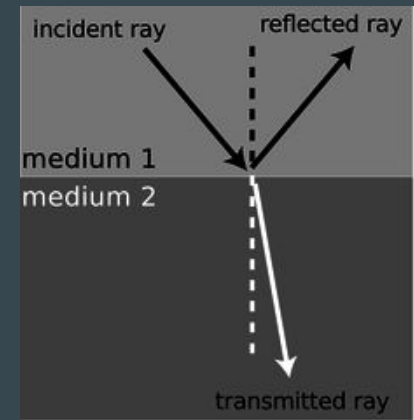
Quais regras a refração obedece?

(note: tratamento completamente *fenomenológico*)

1. Regras **qualitativas**:

- podemos ordenar meios (transparentes) pelo grau em que o raio refratado é desviado para o normal
- em geral, meios mais densos desviam mais

2. Regra **quantitativa**: a Lei de Snell, com um índice de refração n que é característico do meio transparente.



Luz é uma onda que se propaga com velocidade menor em meios transparentes do que em vácuo.

Hoje (desde 1801) sabemos que luz é uma onda, com velocidade de propagação que depende do meio.

- em vácuo: $c = 3e8$ m/s (300 mil km/s)
- num meio transparente: velocidade menor, v

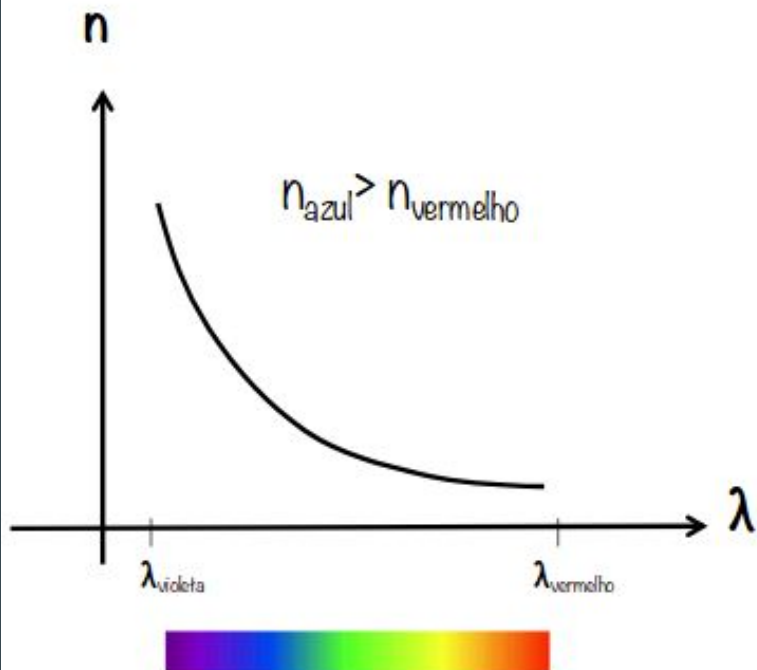
Definir o índice de refração como $n = c/v$ (um número a-dimensional e maior que 1).

$$n_{\text{água}} = 1,33 \quad n_{\text{vidro}} = 1,5 \quad n_{\text{diamante}} = 2,4$$

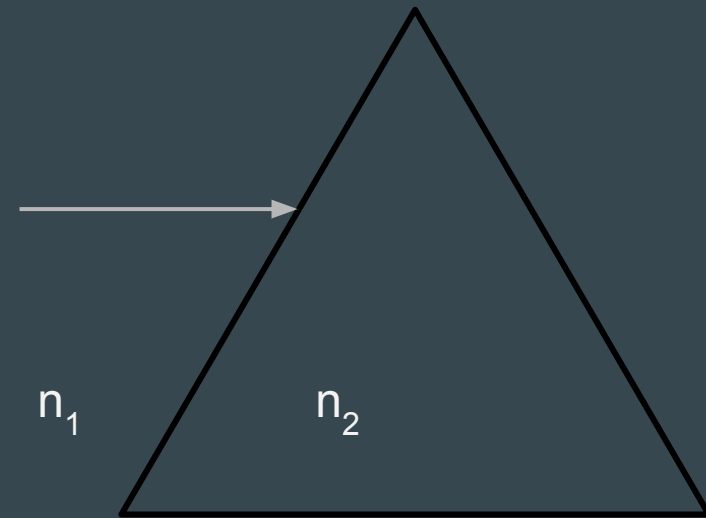
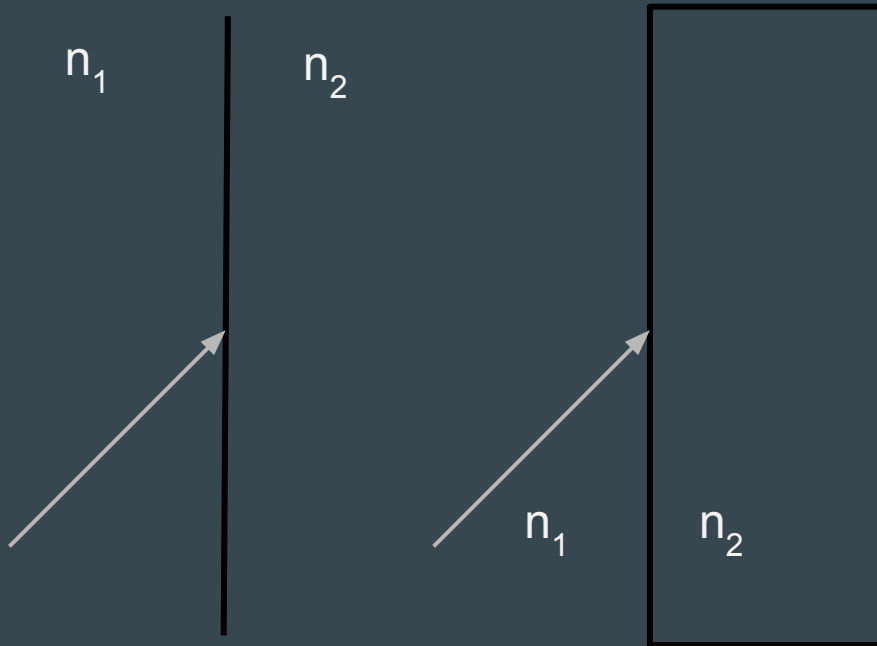
Luz é uma onda: dispersão

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

$n=n(\lambda)$ → Dispersão



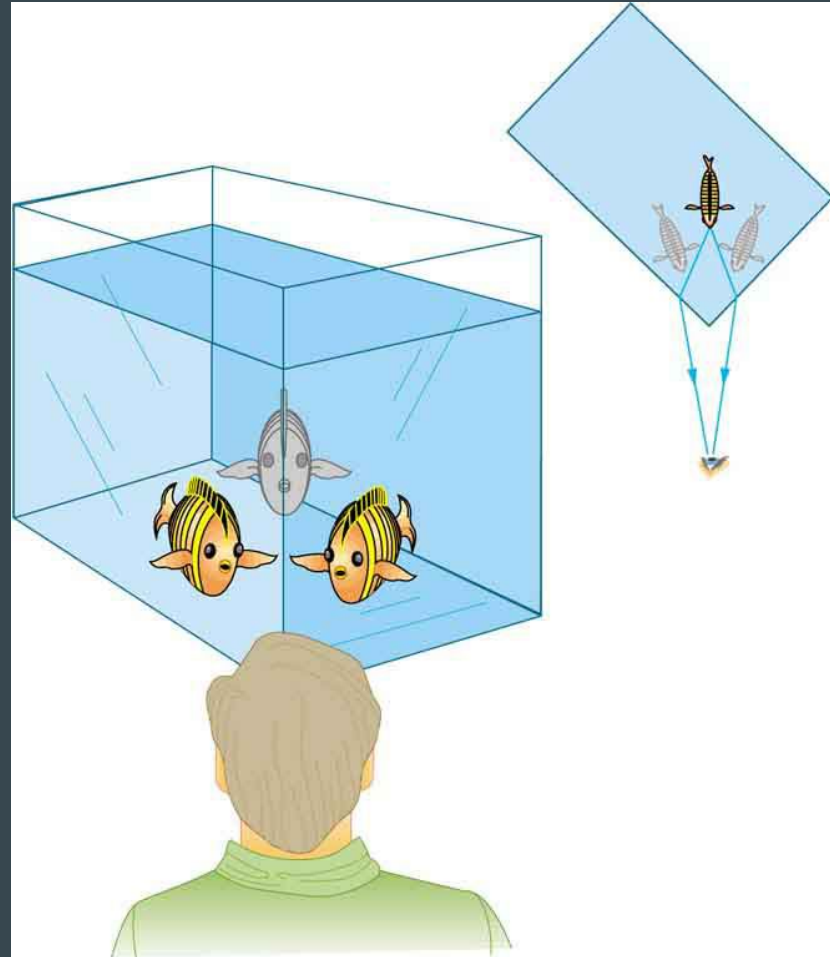
Exercício traçar raios



Questão para discussão

Discute falhas (didáticas) no desenho ao lado.

Como determinar corretamente a posição das imagens do peixe?



Simulação

Desvio da Luz (Phet)

mas existe um limite $\longrightarrow \theta_{1 \text{ máximo}} = 90^\circ$

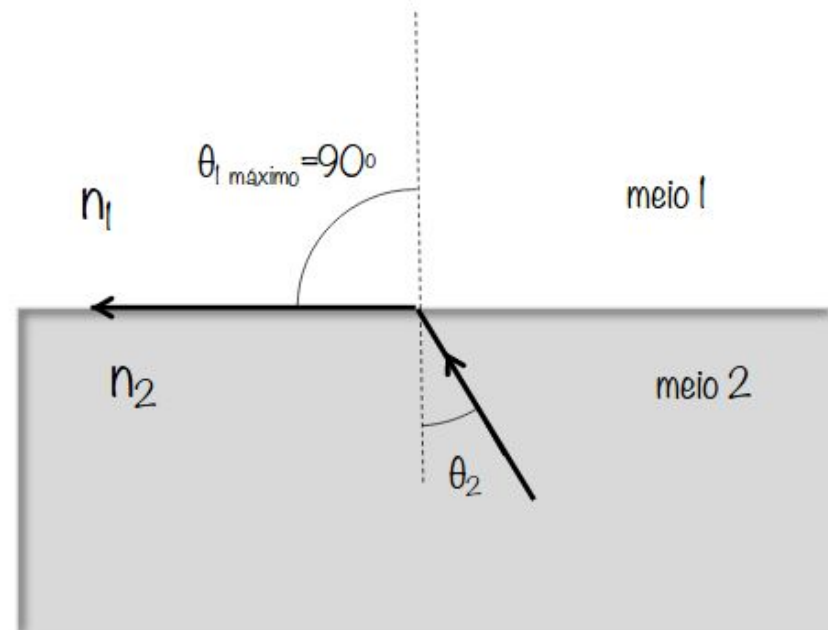
isso ocorre para $\theta_2 = \theta_c$

$\theta_c = \text{ângulo crítico}$

$$n_1 \underbrace{\sin 90^\circ}_1 = n_2 \sin \theta_c$$

$$\sin \theta_c = n_1 / n_2$$

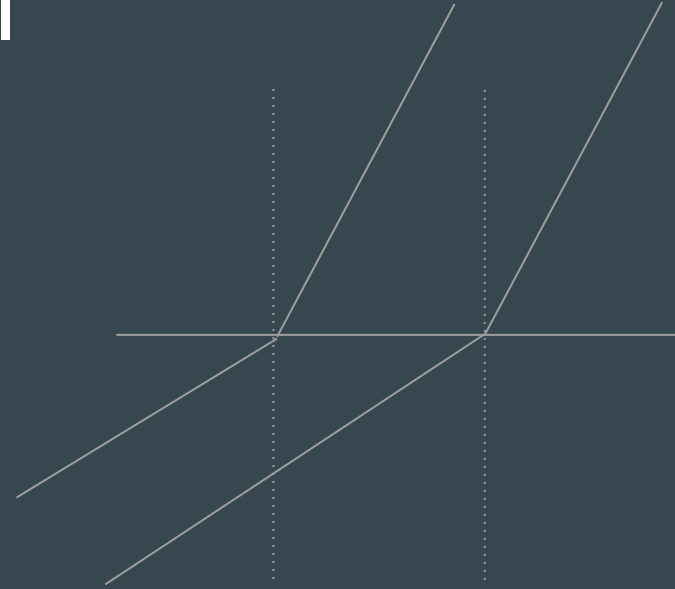
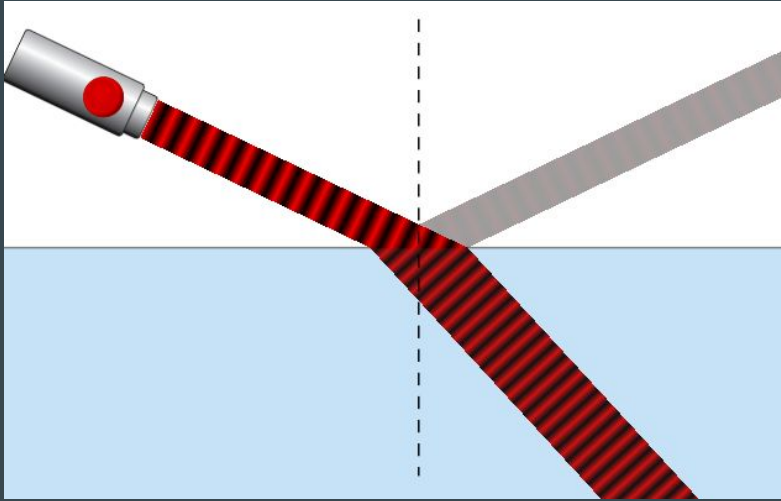
Reflexão total interna



Duas “deduções” da Lei de Snell

1. Luz é uma onda. A velocidade diferente no outro meio “força” as frentes de onda se propagar com outro ângulo no outro meio.
2. O princípio de Fermat: “Luz escolha o trajeto que leva o menor tempo para percorrer”.

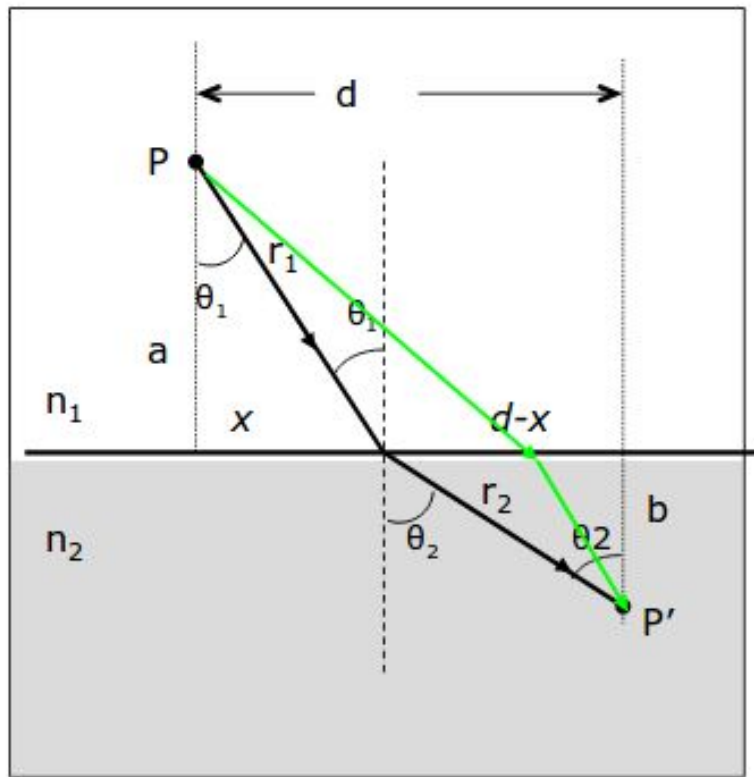
Primeira dedução da Lei de Snell



1. $v = \lambda * \text{freq}$ ($v = dx/dt = \lambda / T = \lambda * f$)
2. $n_1 = c / v_1$ $n_2 = c / v_2$
3. $f_1 = f_2$
4. construção geométrica

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;

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



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

Pela figura:

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

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

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

Resumo e Vocabulário

Refração: o desvio da luz ao cruzar a interface de dois meios

Índice de refração: propriedade de materiais (transparentes). A velocidade da luz / velocidade da luz dentro do material, $n = c/v$

Lei de Snell

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

Reflexão interna total

Dispersão: o índice de refração depende do λ (luz azul “refrata mais” do que luz vermelho)

Questões para discussão

O que deve ser o índice de refração de um peixe para que é invisível para outros peixes?

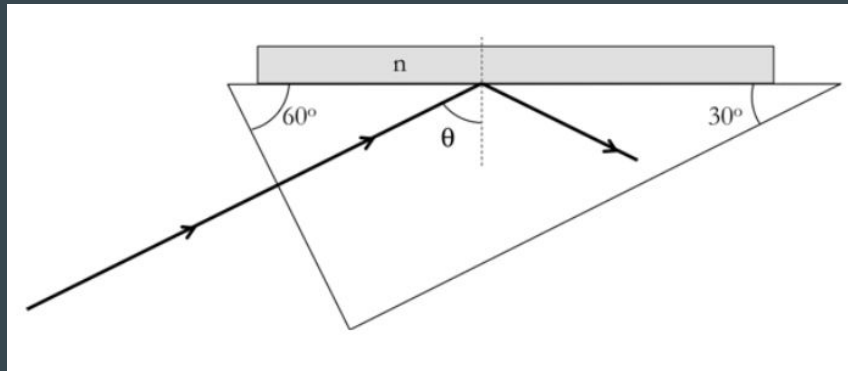
Quanto mais denso um gás, quanto maior o índice de refração. Mas não faz sentido propor que $n \sim$ densidade. Porque não?

Analisar o caminho de luz pela atmosfera e o efeito da posição aparente de estrelas próximo do horizonte.

Q4 P1 2016

Q4 (2 pontos). Um feixe de luz incide perpendicularmente sobre uma das faces de um prisma feito de um material com índice de refração 1,6. Uma gota de um líquido é colocada sobre a face horizontal do prisma e o raio de luz é totalmente refletido, como mostra a figura ao lado.

- Determine o ângulo de incidência θ .
- Se o líquido for água ($n = 1,33$), haverá reflexão interna total?
- Qual é o maior índice de refração que o líquido pode ter para ter reflexão interna total?

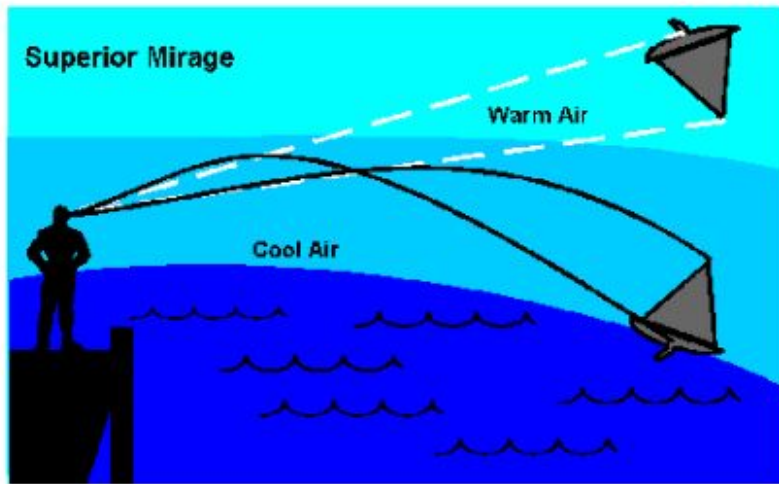


MIRAGENS

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



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>