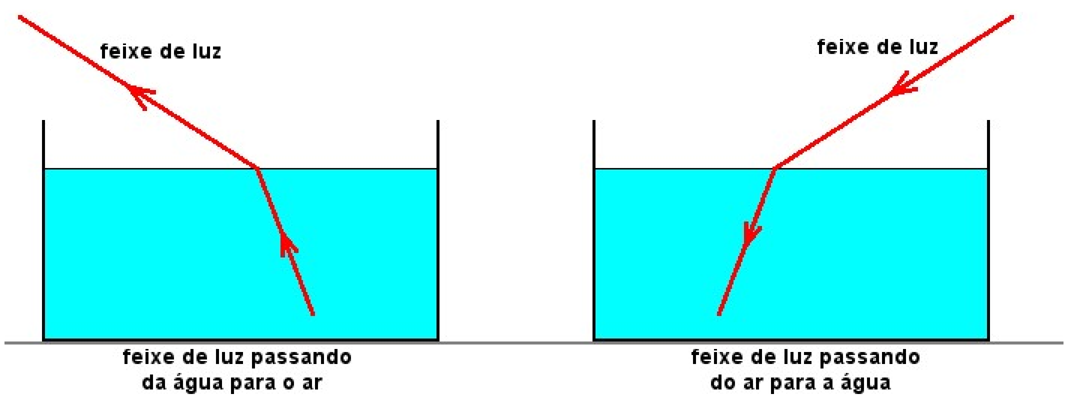
Refração da luz:

REFRAÇÃO DA LUZ é o fenômeno da variação da velocidade que a luz sofre ao passar de um meio para outro.

Essa variação na velocidade é perceptível devido ao desvio que o raio incidente oblíquo sofre ao se refratar.



Índice de Refração:

Sabe-se que a velocidade da luz em qualquer meio transparente é sempre menor que no vácuo. Assim define-se **índice de refração absoluto (n)** para um dado meio como sendo o quociente entre a velocidade da luz no vácuo **(c)** e a velocidade da luz **(v)** no meio em questão, ou seja:

$$\boxed{n = \frac{c}{v}}$$ onde $c \geqq v$

Para facilitar os cálculos é costume adotar c = 300.000 km/s.

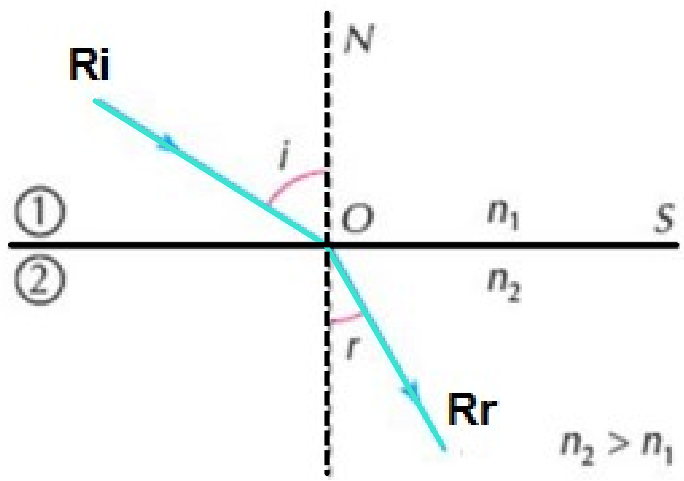
O número **n** significa quantas vezes a velocidade da luz no vácuo é maior que a velocidade da luz no meio.

Obs. Se duas substâncias tiverem índices de refração iguais, um é invisível em relação ao outro (há continuidade óptica entre os meios).

vidro e tetracloroetileno

Leis da Refração da Luz

1ª Lei: O raio incidente (Ri), a normal (N) e o raio refratado (Rr) são coplanares.



Leis da Refração da Luz

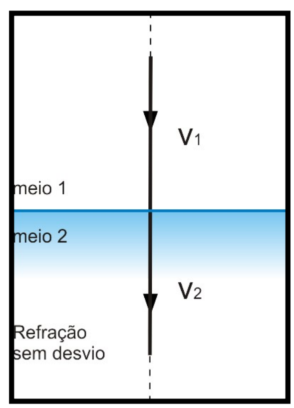
2ª Lei (ou Lei de Snell-Descartes): Para um raio de luz monocromática passando de um meio para outro, é constante o produto do índice de refração em que se encontra esse raio com o seno do ângulo formado entre esse o raio e a normal.

$$\boxed{n_1 \; . \; \text{sen} \; \hat{i} = n_2 \; . \; \text{sen} \; \hat{r}}$$

obs.

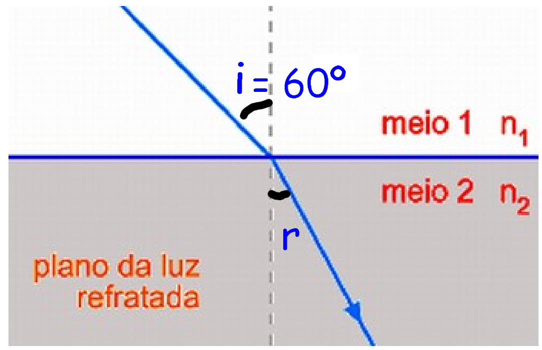
1) O índice de refração relativo entre dois meios é a razão entre o índice de refração entre o meio 1 e o meio 2.

2) Incidência normal é aquela onde Ri é perpendicular a S; portanto, Rr não sofre desvio.



Exercícios de aprendizagem:

1) A figura mostra um raio de luz monocromática passando do meio 1 para o meio 2. O meio 1 é o ar ($n_1 = 1$) e o meio 2 tem índice de



refração $n_2 = \sqrt{3}$. Determine:

a) o ângulo de refração;

b) a velocidade da luz no meio 2. (Dado a velocidade da luz no ar $v = c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

a) $n_1 \, sen\, \hat{i} = n_2 \, sen\, \hat{r}$

$1 \cdot sen\, 60° = \sqrt{3} \, sen\, \hat{r}$

$1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \, sen\, \hat{r}$

$sen\, \hat{r} = \frac{1}{2} \quad \therefore \boxed{\hat{r} = 30°}$

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

$\sqrt{3} = \frac{3 \cdot 10^8}{v_2}$

$v_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{3}} \quad \therefore \boxed{v_2 = \sqrt{3} \cdot 10^8 \text{ m/s}}$

R: 1) a) 30° b) $\sqrt{3} \cdot 10^8$ m/s

2) Uma luz monocromática violeta e uma luz monocromática vermelha propagam-se em um tipo de vidro com velocidades $1{,}96 \cdot 10^8$ m/s e $1{,}98 \cdot 10^8$ m/s, respectivamente. Vamos calcular o índice de refração desse vidro para a luz violeta e para a luz vermelha.

(1) → Violeta
(2) → Vermelha

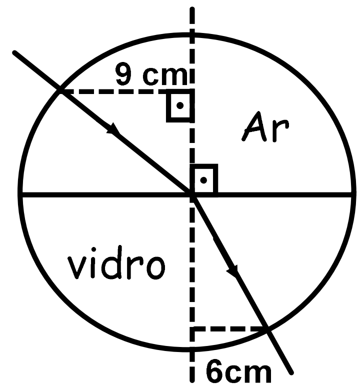
$n_1 = \frac{c}{v_1}$ $n_2 = \frac{c}{v_2}$

$n_1 = \frac{3 \cdot \cancel{10^8}}{1{,}96 \cdot \cancel{10^8}}$ $n_2 = \frac{3 \cdot \cancel{10^8}}{1{,}98 \cdot \cancel{10^8}}$

$\boxed{n_1 = 1{,}53}$ $\boxed{n_2 = 1{,}51}$

R 2) $n_{violeta} = 1{,}53$ e $n_{vermelho} = 1{,}51$

3) A figura indica a trajetória de um raio de luz que passa de uma região semicircular que contém ar para outra de vidro, ambas de mesmo tamanho e perfeitamente justapostas. Determine, numericamente, o índice de refração do vidro em relação ao ar.



$$n_1 \operatorname{sen} \hat{i} = n_2 \operatorname{sen} \hat{r}$$

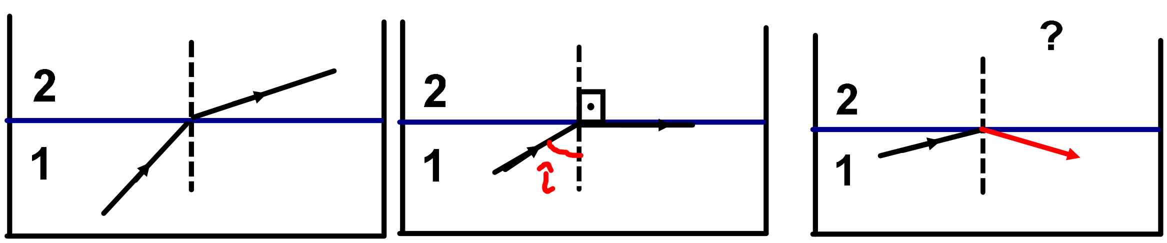
$$1 \cdot \frac{9}{\cancel{R}} = n_2 \cdot \frac{6}{\cancel{R}}$$

$$n_2 = \frac{9}{6}$$

$$n_2 = \frac{3}{2} \therefore \boxed{n_2 = 1,5}$$

Ângulo Limite

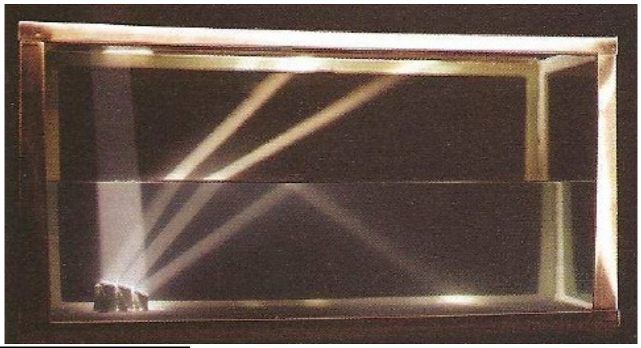
Quando a luz passa de um meio mais refringente para o meio menos refringente, como já vimos, o raio refratado se afasta da normal. Esse ângulo de refração poderá ser no máximo 90º pois, se for maior o raio irá refletir e não refratar, sendo assim teremos:

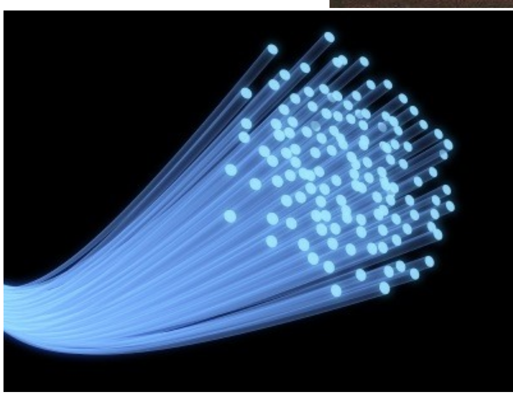


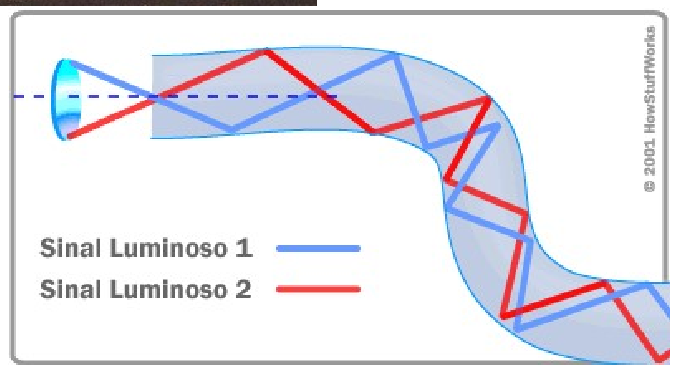
$n_1 \,\text{sen}\, \hat{L} = n_2 \,\text{sen}\, 90°$ como $\text{sen}\, 90° = 1$

$\boxed{\text{sen}\, \hat{L} = \frac{n_2}{n_1}}$ $n_2 < n_1$

$\text{sen}\, \hat{L} = \frac{n_{menor}}{n_{maior}}$






© 2001 HowStuffWorks
Sinal Luminoso 1
Sinal Luminoso 2

Exercícios de aprendizagem:

4) Determine o valor do ângulo limite, para uma determinada luz monocromática, quando se tem o par de meios ar e água. Os índices de refração do ar e da água são, respectivamente, 1 e 4/3.

$$\text{sen}\,\hat{L} = \frac{n_{ar}}{n_{H_2O}}$$

$$\text{sen}\,\hat{L} = \frac{1}{\frac{4}{3}}$$

$$\text{sen}\,\hat{L} = \frac{3}{4}$$

$$\boxed{\hat{L} = \text{arc sen}\,\frac{3}{4}}$$

R: 4) L = arc sen 3/4

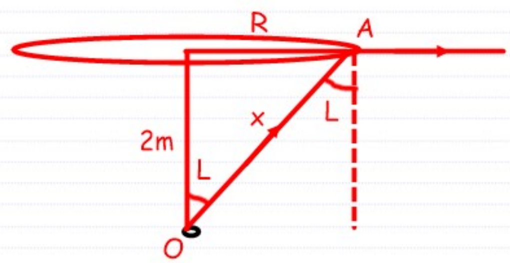
5) Uma lâmpada acesa, de dimensões desprezíveis, está no fundo de uma piscina cuja profundidade é 2m. Determine o raio do menor disco de material opaco para que, devidamente colocado na superfície d'água, não permite a saída de nenhuma luz para a atmosfera.

Dados: $n_{ar} = 1$ e $n_{água} = 4/3$

$\text{sen } L = 1/(4/3)$

$\boxed{\text{sen } L = 3/4}$ I

$\boxed{\text{sen } L = R/x}$ II



$\text{sen}^2 L + \cos^2 L = 1$

$9/16 + 4/x^2 = 1$

III em II

$\boxed{x = 8\sqrt{7}/7}$ III

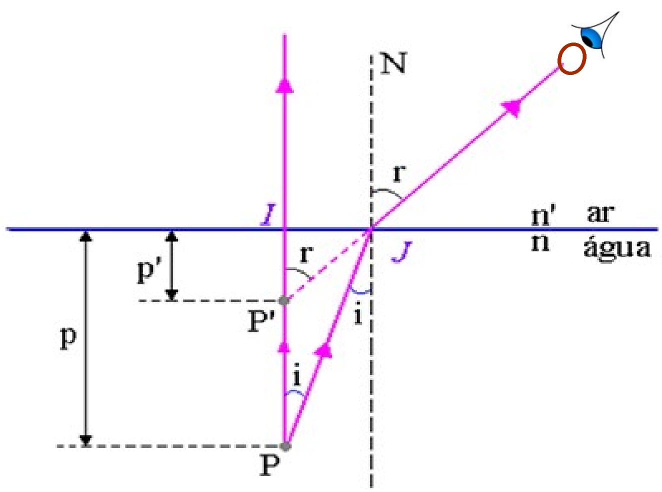
$3/4 = R / (8\sqrt{7}/7)$

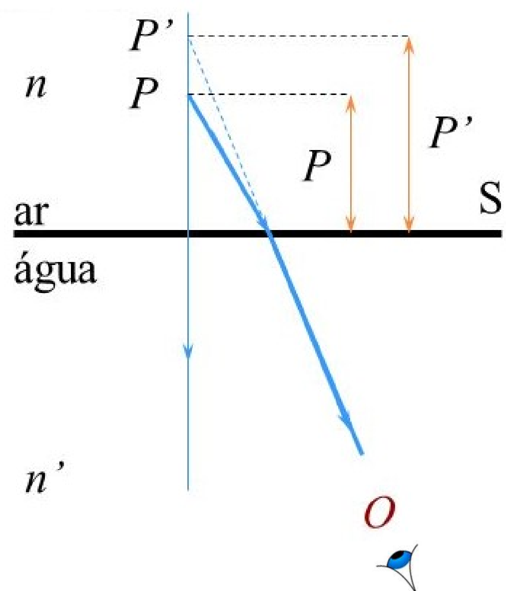
$\underline{R = 6\sqrt{7}/7}$

5) $R = 6\sqrt{7}/7$

Dioptro Plano

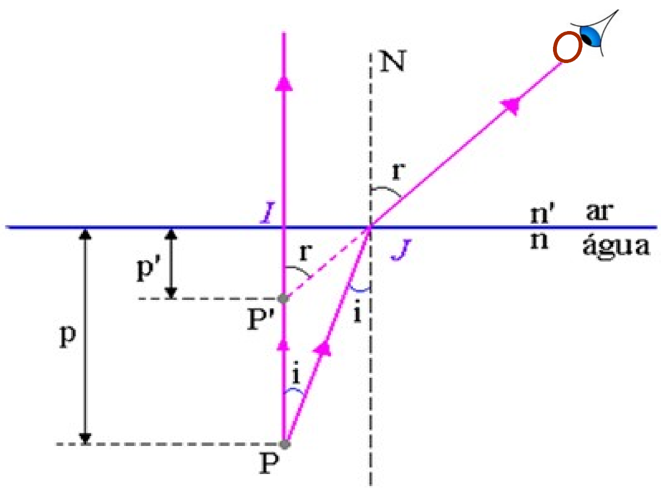
O **dioptro plano** é aquele constituído por uma superfície plana separando dois meios. O exemplo mais simples de um dioptro plano é o par de meios ar e água, com o qual estudar-se-á a vista do ponto imagem virtual **P'** de um objeto real **P**, por um observador **O** dora d'água (figura 1) ou vice versa (figura 2).

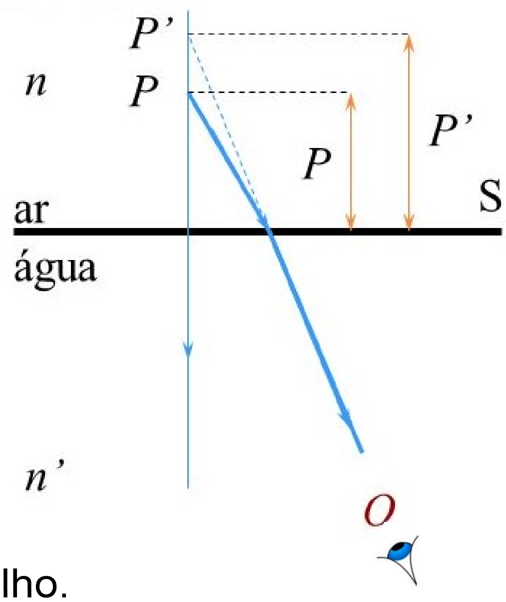




- O - Observador ou o olho.
- P - profundidade ou altura real do objeto.
- P' - profundidade ou altura aparente da imagem.
- **n** - índice de refração do meio onde se situa o objeto.
- **n'** - índice de refração onde se situra o observador.

Dioptro Plano

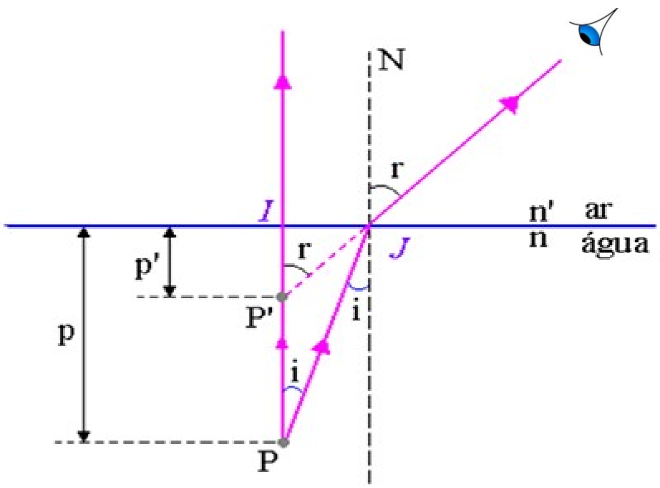




$$\boxed{\frac{P}{P'} = \frac{n}{n'}}$$

- **O** - Observador ou o olho.
- **P** - profundidade ou altura real do objeto.
- **P'** - profundidade ou altura aparente da imagem.
- **n** - índice de refração do meio onde se situa o objeto.
- **n'** - índice de refração onde se situra o observador.

Atenção: Essa expressão só é válida para raios que formam ângulos pequenos (até 10º) com a normal, ou seja, o observador visa a imagem numa direção quase vertical.



Demonstração:

$$\boxed{n \cdot \text{sen } i = n' \cdot \text{sen } r} \quad \text{(I)}$$

$$\boxed{\text{tg } i = \frac{IJ}{P}} \quad \text{(II)}$$

$$\boxed{\text{tg } r = \frac{IJ}{P'}} \quad \text{(III)}$$

Para pequenos ângulos (<10º) tg i = sen i e tg r = sen r portanto, substituindo (II) e (III) em (I) teremos:

$n \text{ sen } i = n' \text{ sen } r$

$n \cdot \frac{\cancel{IJ}}{p} = n' \frac{\cancel{IJ}}{p'} \rightarrow \boxed{\frac{p}{p'} = \frac{n}{n'}}$

numerador :
"P" altura ou profundidade real do objeto
"n" índice de refração do meio onde se encontra o objeto.
denominador:
P' altura ou profundidade da imagem
n' índice de refração do outro meio (observador)

$$\boxed{\frac{p}{p'} = \frac{n}{n'}}$$

Exercícios de aprendizagem:

6) Um observador vê um peixe num lago límpido, numa direção que forma um ângulo de 5° com a normal. Sabendo que o peixe está numa profundidade de 80 cm e considerando de 4/3 o índice de refração da água, calcule a profundidade aparente em que o observador, suposto fora d'água, vê o peixe.

$p = 80\ cm$

$n = \frac{4}{3}$

$p' = ?$

$n' = 1$

$$\frac{p}{p'} = \frac{n}{n'}$$

$$\frac{80}{p'} = \frac{\frac{4}{3}}{1}$$

$$p' = \frac{80}{\frac{4}{3}} \therefore \boxed{p' = 60\ cm}$$

R: 6) 60 cm

7) Um mergulhador, imóvel e imerso na água de uma piscina, vê um pássaro pousado em cima de um poste, numa direção quase vertical. Sendo de 4/3 o índice de refração da água e de 4,5 m a altura do poste, cuja base está à beira da piscina e no nível da água, determine a altura aparente onde está o pássaro visto pelo mergulhador.

$n' = \frac{4}{3}$

$p = 4,5\ m$

$p' = ?$

$n = 1$

$\frac{p}{p'} = \frac{n}{n'}$

$\frac{4,5}{p'} = \frac{1}{\frac{4}{3}}$

$p' = 4,5 \cdot \frac{4}{3}$

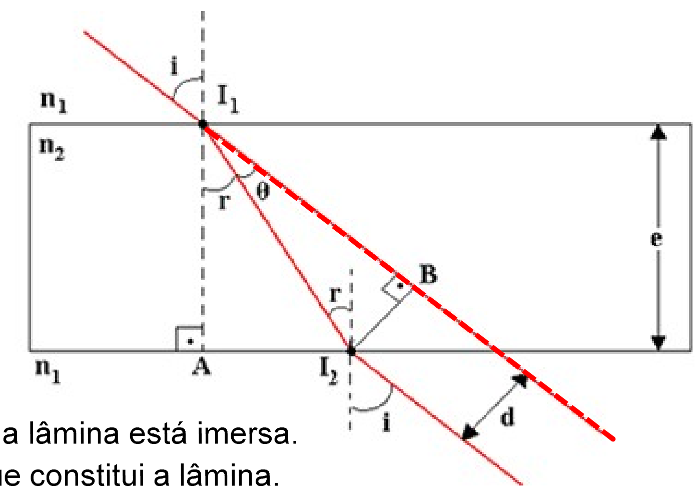
$\boxed{p' = 6\ m}$

R: 7) 6 m

Lâmina de Faces Paralelas

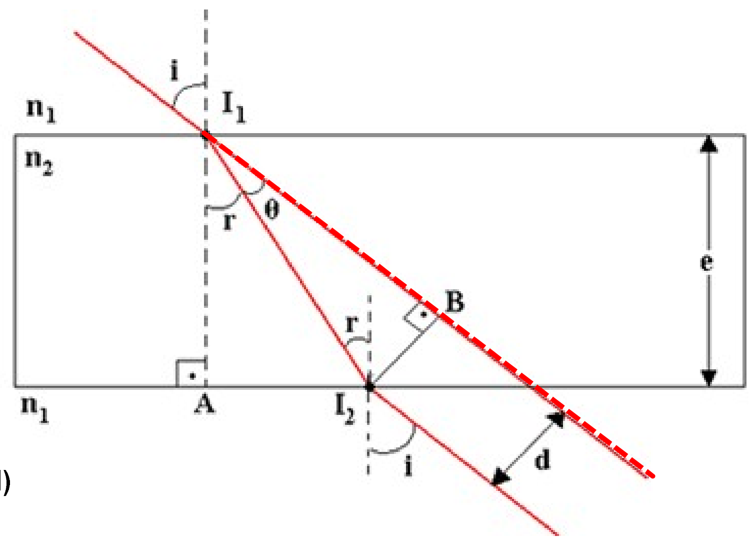
A lâmina de faces paralelas é um sistema de três meios homogêneos e transparentes separados dois a dois através de superfícies planas e paralelas. Dos três meios, normalmente o segundo meio é a lâmina de faces paralelas. Como exemplo, pode-se citar o vidro de uma janela.

O desvio lateral **d** é obtido geometricamente através da figura seguinte.



Sejam:

- I_1 = ponto de incidência na 1ª face.
- I_2 = ponto de incidência na 2ª face.
- n_1 = índice de refração do meio onde a lâmina está imersa.
- n_2 = índice de refração do material que constitui a lâmina.
- d = desvio lateral sofrido pelo raio.
- e = espessura da lâmina.



$\theta = \hat{i} - \hat{r}$ (I)

Pelo triângulo **I_1I_2A:** $\cos r = \dfrac{e}{I_1I_2}$ **(II)**

Pelo triângulo **I_1I_2B:** $\operatorname{sen}\theta = \dfrac{d}{I_1I_2}$ **(III)**

Dividindo-se membro a membro, **(II)** e **(III)** e substituindo θ:

$$\frac{\cos r = \dfrac{e}{I_1I_2}}{\operatorname{sen}\theta = \dfrac{d}{I_1I_2}}$$

$$d = \frac{e \operatorname{sen}\theta}{\cos r}$$

como $\theta = \hat{i} - \hat{r}$

$$d = \frac{e \cdot \operatorname{sen}(\hat{i} - \hat{r})}{\cos\hat{r}}$$

Obs. Quando o pincel luminoso atravessa a uma lâmina de faces paralelas, tem-se a impressão de que os raios que emergem da lâmina provêm de um ponto mais próximo, deslocado em relação ao ponto objeto. Esse deslocamento é menor que a espessura da lâmina; logo, se a espessura da lâmina for desprezível, também será desprezível o deslocamento. Já para uma lâmina de espessura razoável, teremos a impressão do objeto estar mais próximo e isto nos dará um aumento do ângulo visual, dando a impressão de uma lente de aumento.

Exercícios de aprendizagem:

8) Um raio luminoso monocromático incide numa lâmina de faces paralelas, imersa no ar, segundo um ângulo de 60º com a normal. Sendo de 4 cm a espessura da lâmina, cujo material tem índice de refração $\sqrt{3}$. Determine o desvio lateral que o raio sofre ao atravessá-la.

$\hat{i} = 60°$

$e = 4\ cm$

$n = \sqrt{3}$

$d = ?$

$d = \dfrac{e \cdot sen(i - r)}{cos\ r}$

$d = \dfrac{4 \cdot sen(60 - 30°)}{cos\ 30°}$

$d = \dfrac{4 \cdot 1/2}{\frac{\sqrt{3}}{2}}$

$\boxed{d = \dfrac{4\sqrt{3}}{3}\ cm}$

$n_1\ sen\ i = n_2\ sen\ r$

$1\ sen\ 60° = \sqrt{3}\ sen\ r$

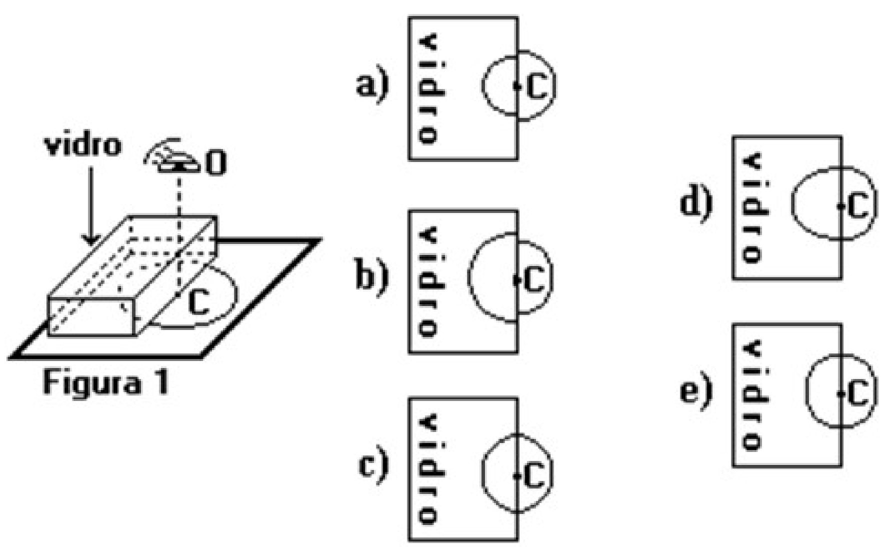
$sen\ r = \dfrac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\sqrt{3}}$

$sen\ r = \dfrac{1}{2}$

$\boxed{\hat{r} = 30°}$

R: $\dfrac{4\sqrt{3}}{3}cm$

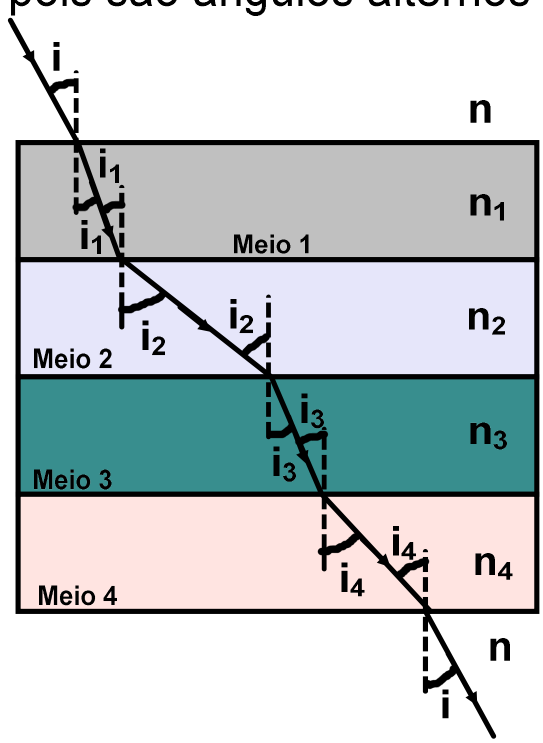
9) (Fuvest) Numa folha de papel num plano horizontal, está desenhado um círculo de centro C. Sobre a folha é colocada uma placa grossa de vidro, cobrindo metade do círculo. A figura 1, a seguir mostra uma pessoa olhando para o círculo, com seu olho no eixo vertical OC. A alternativa que melhor representa o que a pessoa enxerga é:



9) b resposta da anterior

Associação de lâminas de faces paralelas

Podemos ter justaposição de várias lâminas de faces paralelas de materiais diferentes, conforme ilustra a figura. Em cada lâmina, o ângulo de refração da primeira face tem a mesma medida que o ângulo de incidência na outra face, pois são ângulos alternos internos.



Aplicando a lei de Snell-Descartes teremos:

$n \cdot \text{sen } i = n_1 \cdot \text{sen } i_1$

$n_1 \cdot \text{sen } i_1 = n_2 \cdot \text{sen } i_2$

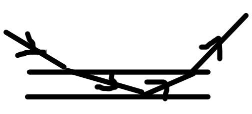
$n_2 \cdot \text{sen } i_2 = n_3 \cdot \text{sen } i_3$

$n_3 \cdot \text{sen } i_3 = n_4 \cdot \text{sen } i_4$

$n_4 \cdot \text{sen } i_4 = n \cdot \text{sen } i$

$$\boxed{n \cdot \text{sen } i = n' \cdot \text{sen } i'}$$

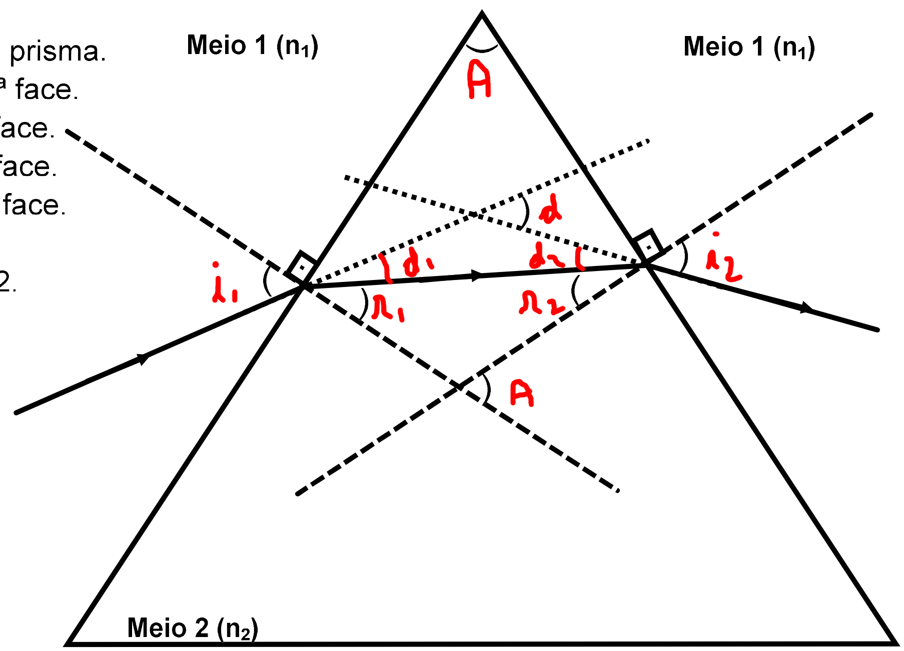
Miragem:



Prisma Óptico

O prisma óptico é uma lâmina de faces não-paralelas. O ângulo formado pelas faces não-paralelas é denominado **ângulo de refringência** (ou **abertura**) **A** e a intersecção das mesmas corresponde a uma reta denominada **aresta.**

- A - Ângulo de refringência do prisma.
- i_1 - ângulo de incidência na 1ª face.
- i_2 - ângulo de refração na 2ª face.
- r_1 - ângulo de refração na 1ª face.
- r_2 - ângulo de incidêcia na 2ª face.
- d_1 - desvio ângular na face 1.
- d_2 - desvio ângular na aface 2.
- d - desvio ângular total.



Aplicando-se uma geometria elementar, tem-se, respectivamente:

$\boxed{A = r_1 + r_2}$

$d = d_1 + d_2 \longrightarrow$

$$\boxed{\begin{aligned} d &= i_1 - r_1 + i_2 - r_2 \\ d &= i_1 + i_2 - (r_1 + r_2) \\ d &= i_1 + i_2 - A \end{aligned}}$$

$\boxed{d_1 = i_1 - r_1}$

$\boxed{d_2 = i_2 - r_2}$

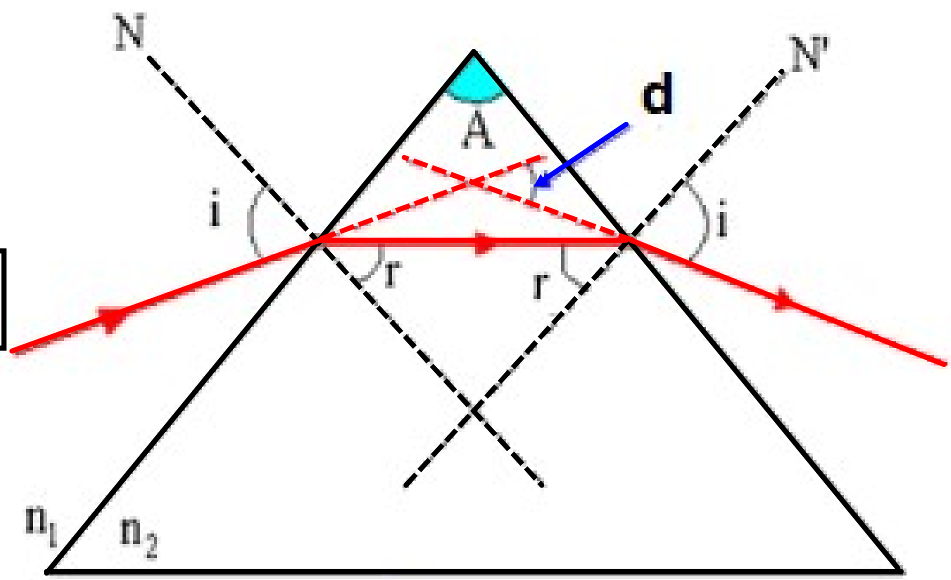
$\boxed{d = i_1 + i_2 - A}$ $\Big\{$ **Desvio angular total.**

obs. Uma decorrência importante, no estudo dos prismas óptico, é a condição geométrica do **desvio âgular mínimo ($d_{mín}$).** Verifica-se que isso ocorre, num dado prisma, quando os ângulos de incidência na 1ª face e de emergência da 2ª face forem iguais, isto é, $\mathbf{i_1 = i_2 = i}$. Nessa condição, pela Lei de Snell-Descartes, resulta: $\mathbf{r_1 = r_2 = r}$.

Sendo assim:

$$\boxed{A = 2r}$$

$$\boxed{d_{mín} = 2i - 2r}$$



Exercícios de aprendizagem:

10) Considere um prisma de ângulo de refringência igual a 60°, imerso no ar. O valor do índice de refração do material que constitui o $\sqrt{2}$ prisma é para um determinado raio de luz monocromática que incide sob ângulo de 45° na primeira face. Determine:

a) O ângulo de refração na 1ª face;

b) o ângulo de incidência na 2ª face;

c) o ângulo de emergência da 2ª face;

d) o desvio angular total sofrido pelo raio.

$A = 60°$
$n = \sqrt{2}$
$i = 45°$

a) $n_1 \, \text{sen}\, i = n \, \text{sen}\, r$
$1 \cdot \text{sen}\, 45 = \sqrt{2} \, \text{sen}\, r$
$\text{sen}\, r = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sqrt{2}}$
$\text{sen}\, r = \frac{1}{2}$
$\boxed{r = 30°}$

b) $A = r_1 + r_2$
$60° = 30° + r_2$
$\boxed{r_2 = 30°}$

c) $n \cdot \text{sen}\, r_2 = n_1 \, \text{sen}\, i_2$
$\sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot \text{sen}\, i_2$
$\boxed{i_2 = 45°}$

$d = i_1 + i_2 - A$
$d = 45 + 45 - 60$
$\boxed{d = 30°}$

R: a) 30° b) 30° c) 45° d) 30°

Prismas de reflexão total

Os prismas têm larga aplicação na óptica e comumente são usados para obter desvios num raio uminoso, sendo mais usados os **prismas de reflexão total**, que substituem com muito mais eficiência os espelhos.

Os prismas de reflexão total são aqueles nos quais ocorre o fenômeno de reflexão total em uma ou mais faces.

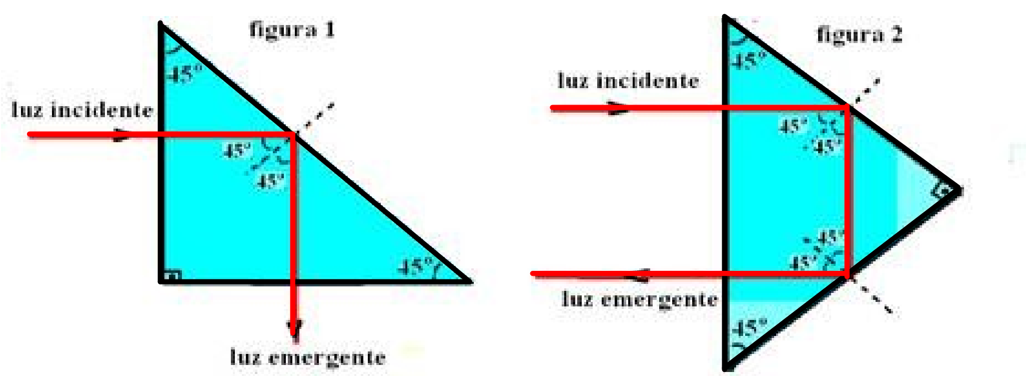
O tipo mais comum é aquele feito de vidro, cuja secção principal é um triângulo retângulo isósceles, imerso no ar.

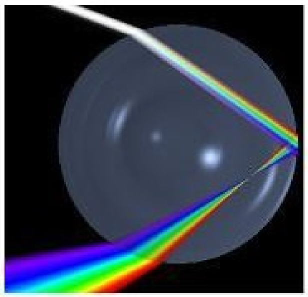
Lembrando-se que o raio de luz no interior do prisma está no meio mais refringente e que o ângulo limite para o par de meios ar-vidro é aproximadamente:

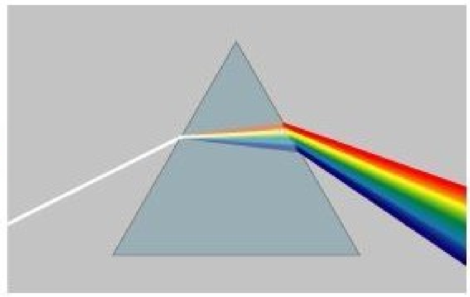
$$\text{sen}\,\hat{L} = \frac{n_{ar}}{n_{vidro}} = 0{,}666$$

portanto L ≅ 42º, verifica-se que com ângulos de incidência maiores que 42º ocorre a reflexão total, pois satisfaz a condição i > L.

Nas figuras seguintes, tem-se i = 45º (maior que 42º) no interior dos prismas, o que ocasiona a reflexão total em uma ou duas faces, dependendo da face por onde penetra, perpendicularmente, a luz.



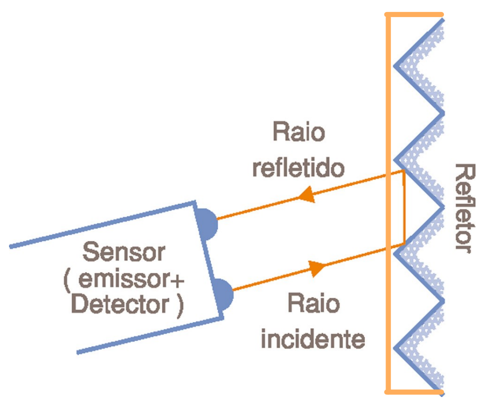




Dispersão da luz numa gota

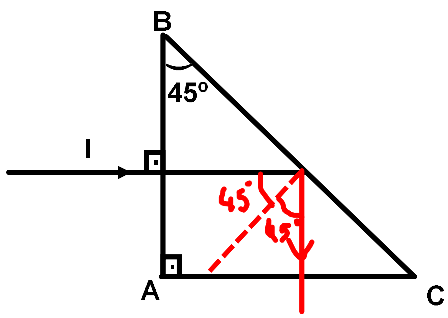
Dispersão da luz num prisma

Reflexão total



Exercícios de aprendizagem:

11) Na figura ao lado, ABC é a secção principal de um prisma imerso na água, cujo índice de refração é 4/3. Determine qual deve ser o índice de refração do material do prisma para que ocorra reflexão total do raio II na na face BC.



$\hat{L} < 45°$

$\text{sen}\, L < \frac{n}{n_{H_2O}}$

$\text{sen}\, 45° < \frac{n}{\frac{4}{3}}$

$\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{4}{3} < n$

$\boxed{n > \frac{2\sqrt{2}}{3}}$

$n > 2\sqrt{2}/3$