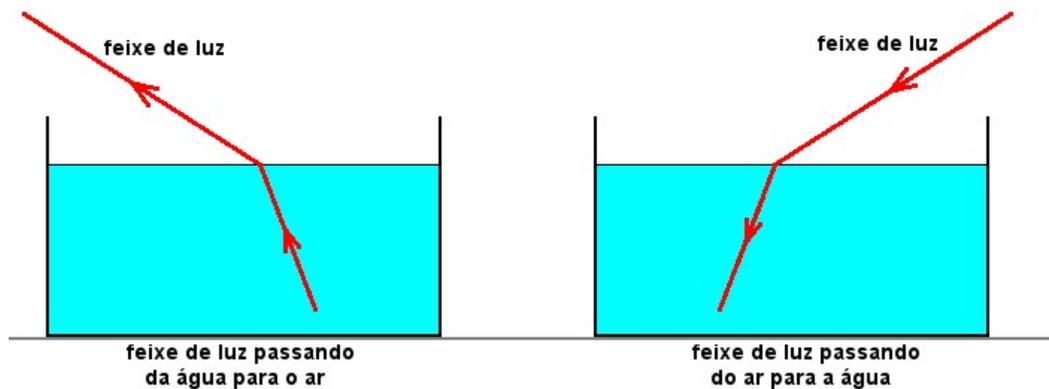


Refração da luz:

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:

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

onde $c \geq v$

Para facilitar os cálculos é costume adotar $c = 300.000 \text{ km/s}$.

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

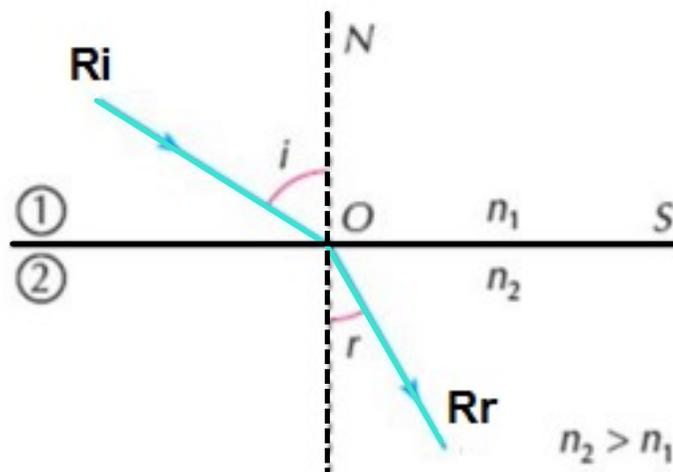
Obs. Se duas substâncias tiverem índices de refração iguais, um é invisível em relação ao outro (há continuidade óptica entre os meios).



vidro e
tetracloroetileno

Leis da Refração da Luz

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



Leis da Refração da Luz

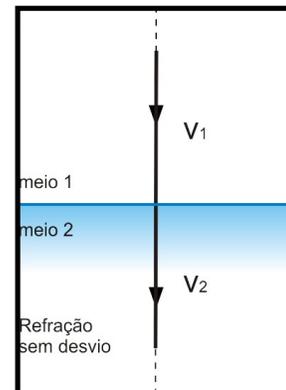
2ª Lei (ou Lei de Snell-Descartes): Para um raio de luz monocromática passando de um meio para outro, é constante o produto do índice de refração em que se encontra esse raio com o seno do ângulo formado entre esse o raio e a normal.

$$n_1 \cdot \sin \hat{i} = n_2 \cdot \sin \hat{r}$$

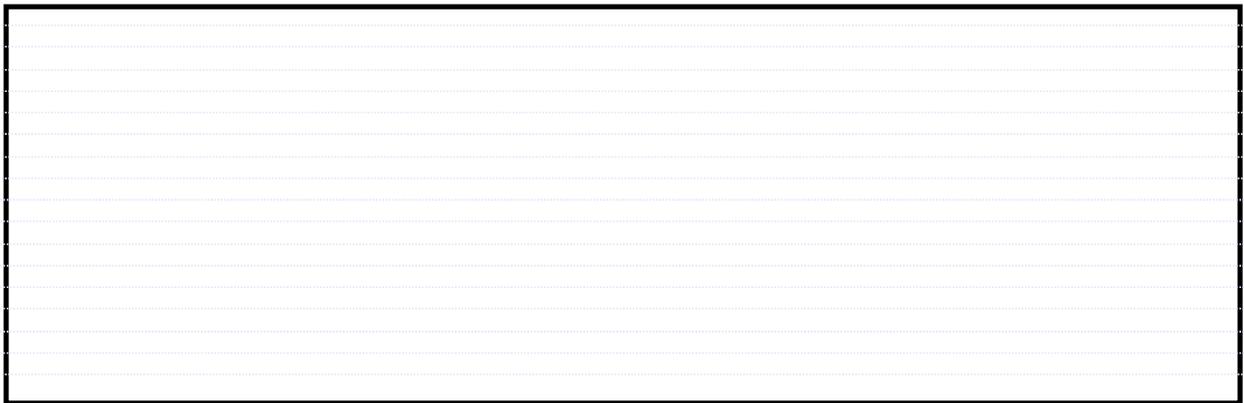
obs.

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 R_i é perpendicular a S ; portanto, R_r não sofre desvio.



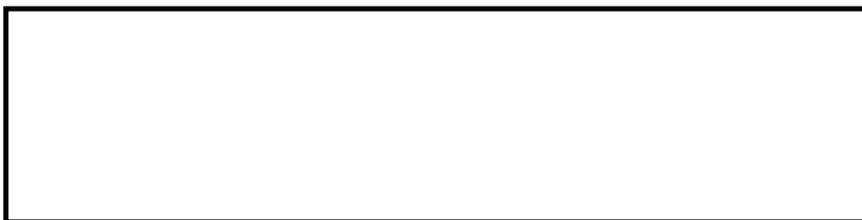
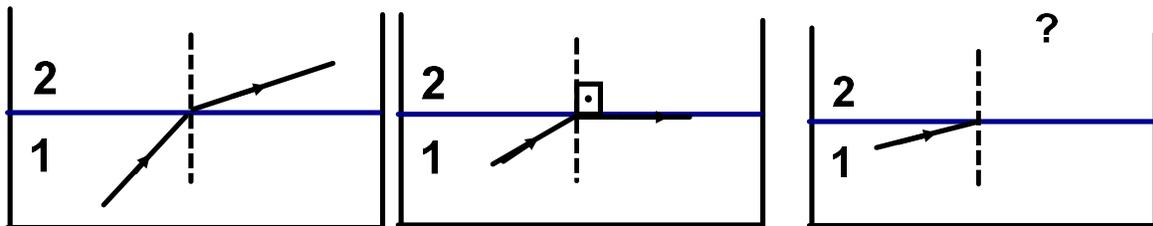
2) Uma luz monocromática violeta e uma luz monocromática vermelha propagam-se em um tipo de vidro com velocidades $1,96 \cdot 10^8$ m/s e $1,98 \cdot 10^8$ m/s, respectivamente. Vamos calcular o índice de refração desse vidro para a luz violeta e para a luz vermelha.

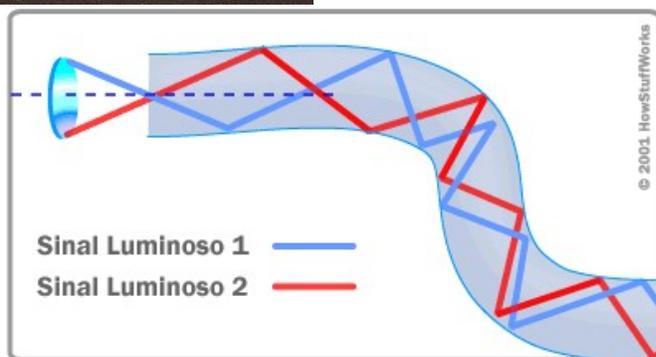
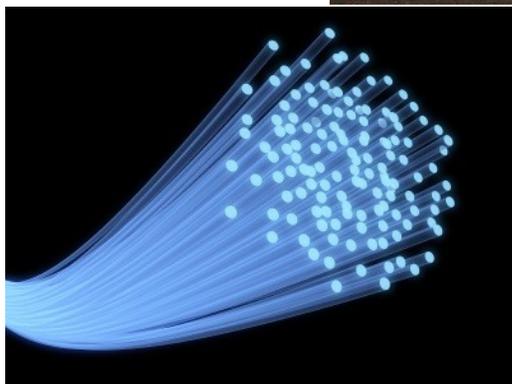


R 2) $n_{\text{violeta}} = 1,53$ e $n_{\text{vermelho}} = 1,51$

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 90° pois, se for maior o raio irá refletir e não refratar, sendo assim teremos:





Exercícios de aprendizagem:

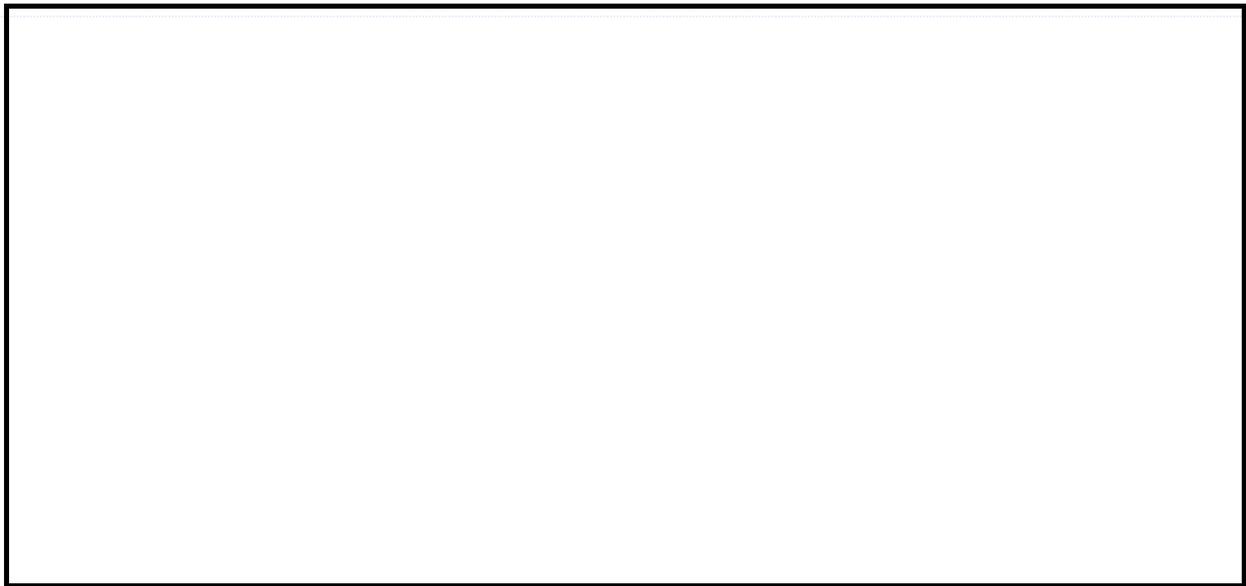
4) Determine o valor do ângulo limite, para uma determinada luz monocromática, quando se tem o par de meios ar e água. Os índices de refração do ar e da água são, respectivamente, 1 e $4/3$.



R: 4) $L = \text{arc sen } 3/4$

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.

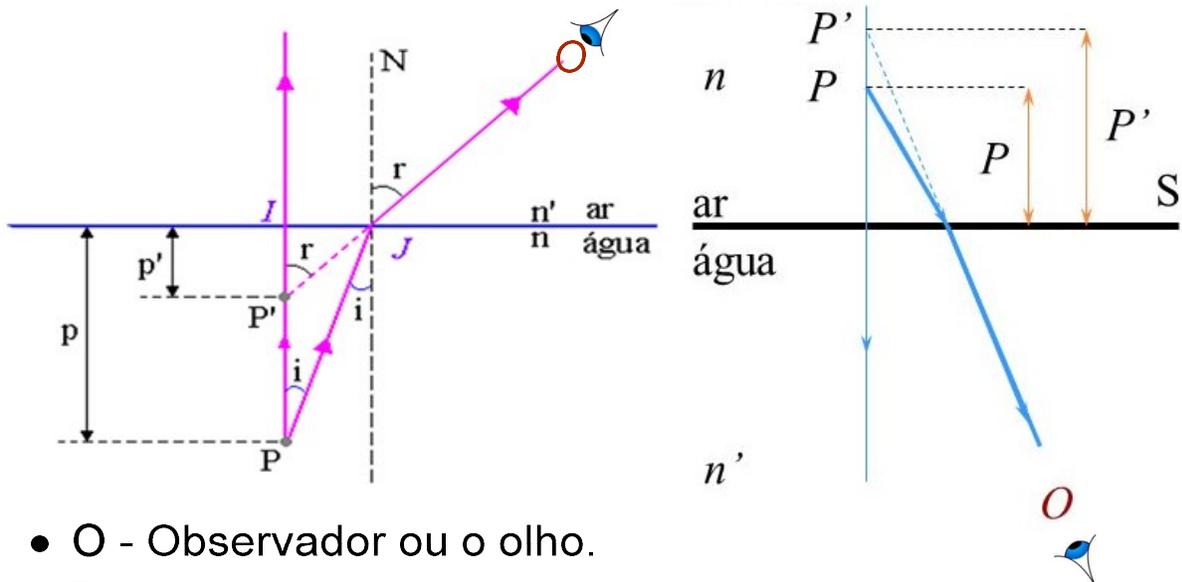
Dados: $n_{\text{ar}} = 1$ e $n_{\text{água}} = 4/3$



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

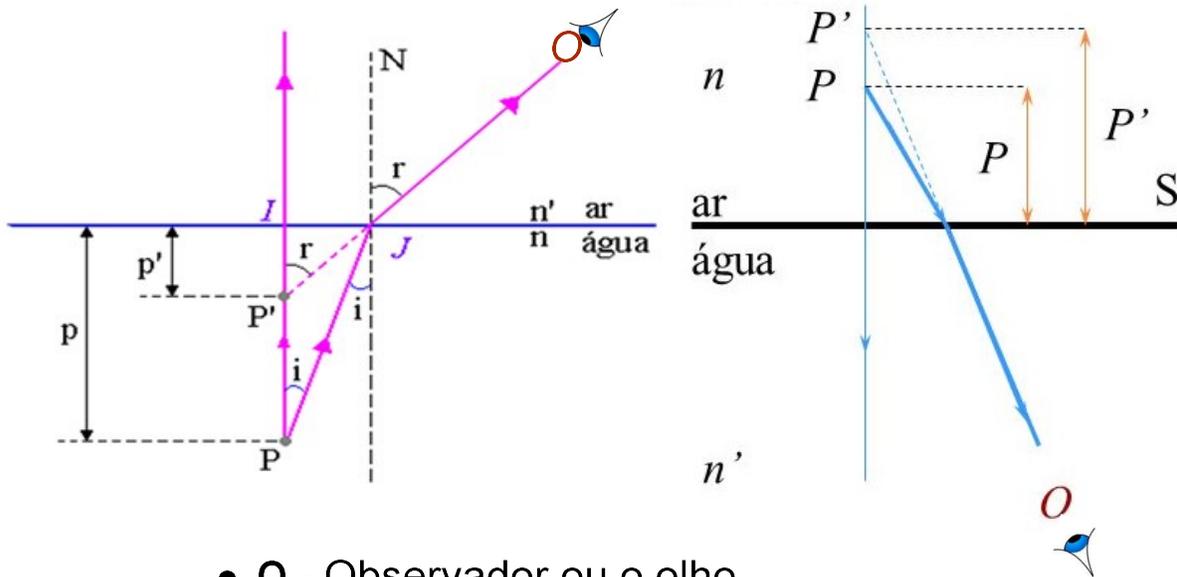
Dioptro Plano

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 situa o observador.

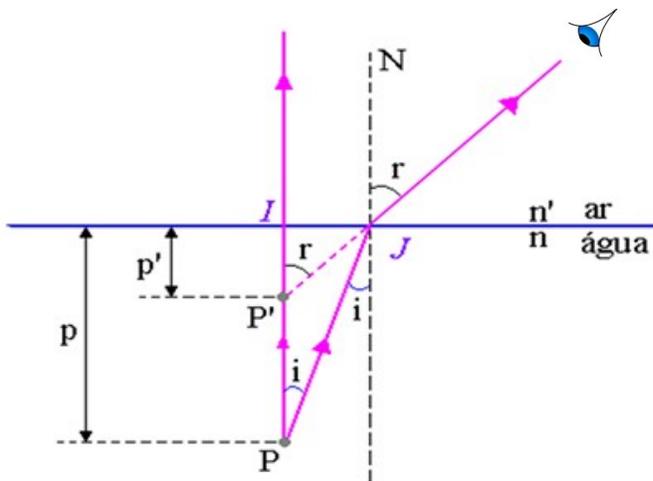
Dioptro Plano



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

- 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 situa o observador.

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



Demonstração:

$$n \cdot \sin i = n' \cdot \sin r \quad (I)$$

$$\operatorname{tg} i = \frac{l}{p} \quad (II)$$

$$\operatorname{tg} r = \frac{l}{p'} \quad (III)$$

Para pequenos ângulos ($<10^\circ$) $\operatorname{tg} i = \sin i$ e $\operatorname{tg} r = \sin r$ portanto, substituindo (II) e (III) em (I) teremos:

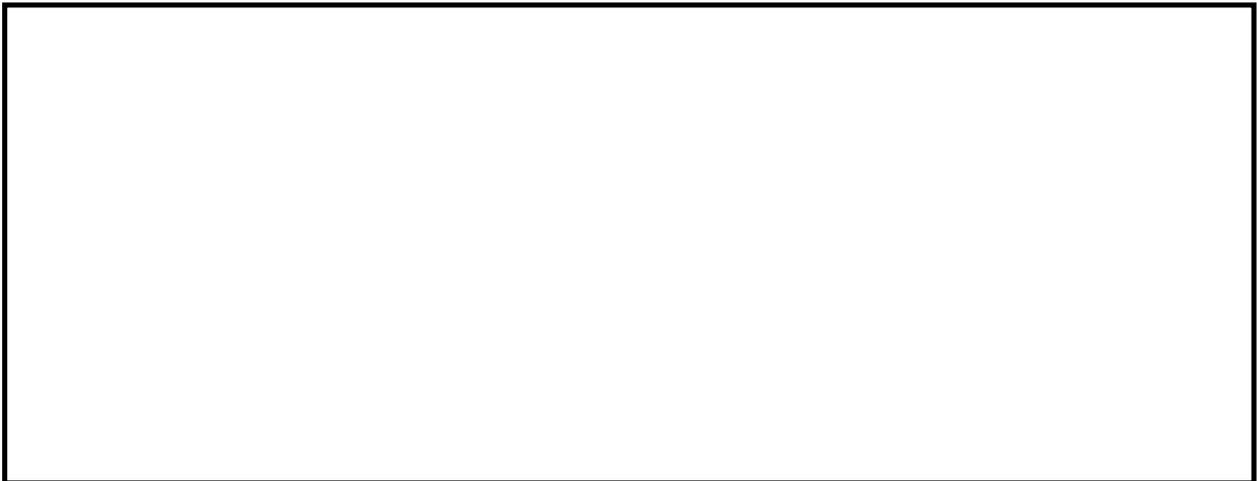
Exercícios de aprendizagem:

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.



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 $\frac{4}{3}$ 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.

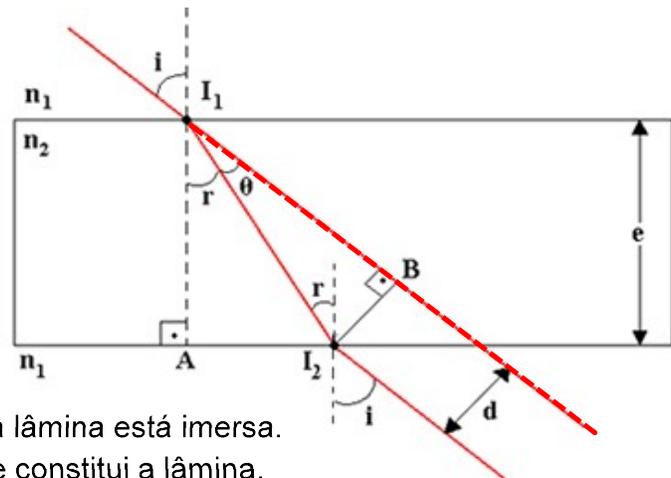


R: 7) 6 m

Lâmina de Faces Paralelas

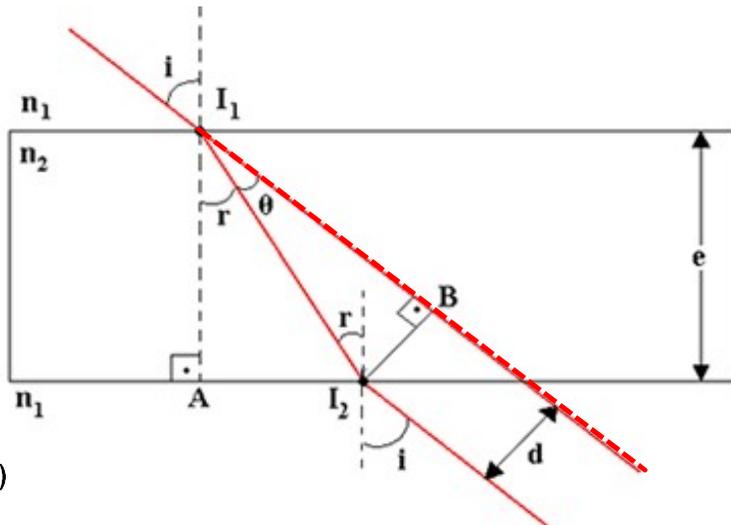
A lâmina de faces paralelas é um sistema de três meios homogêneos e transparentes separados dois a dois através de superfícies planas e paralelas. Dos três meios, normalmente o segundo meio é a lâmina de faces paralelas. Como exemplo, pode-se citar o vidro de uma janela.

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.



$\theta =$ (I)

Pelo triângulo I_1I_2A : $\cos r =$ (II)

Pelo triângulo I_1I_2B : $\text{sen } \theta =$ (III)

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

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.



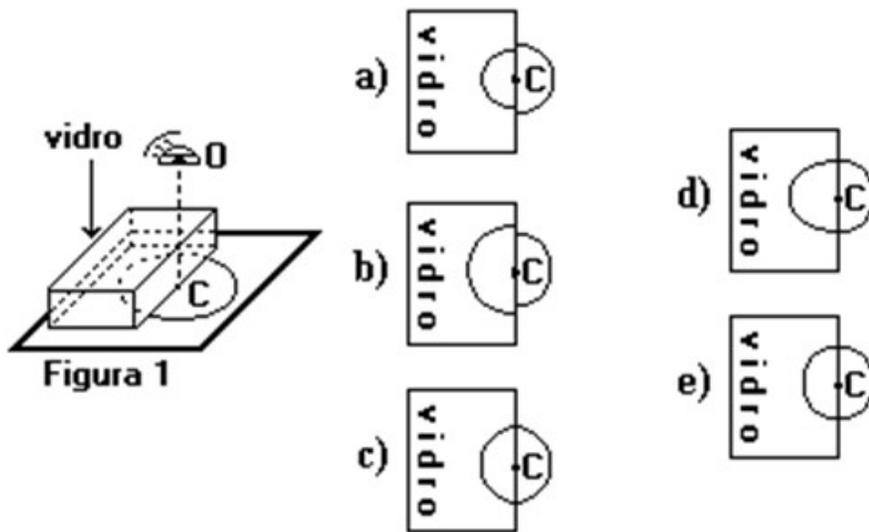
Exercícios de aprendizagem:

8) Um raio luminoso monocromático incide numa lâmina de faces paralelas, imersa no ar, segundo um ângulo de 60° 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.



$$R: \frac{4\sqrt{3}}{3} \text{ cm}$$

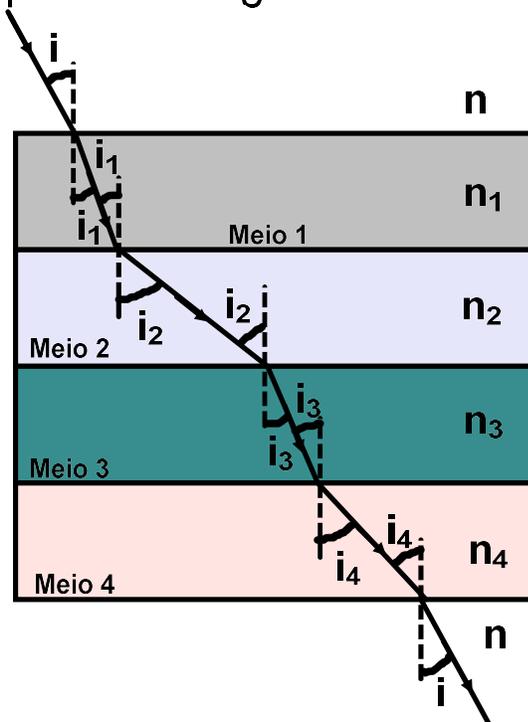
9) (Fuvest) Numa folha de papel num plano horizontal, está desenhado um círculo de centro C . Sobre a folha é colocada uma placa grossa de vidro, cobrindo metade do círculo. A figura 1, a seguir mostra uma pessoa olhando para o círculo, com seu olho no eixo vertical OC . A alternativa que melhor representa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



9) b

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:

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

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

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

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

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

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

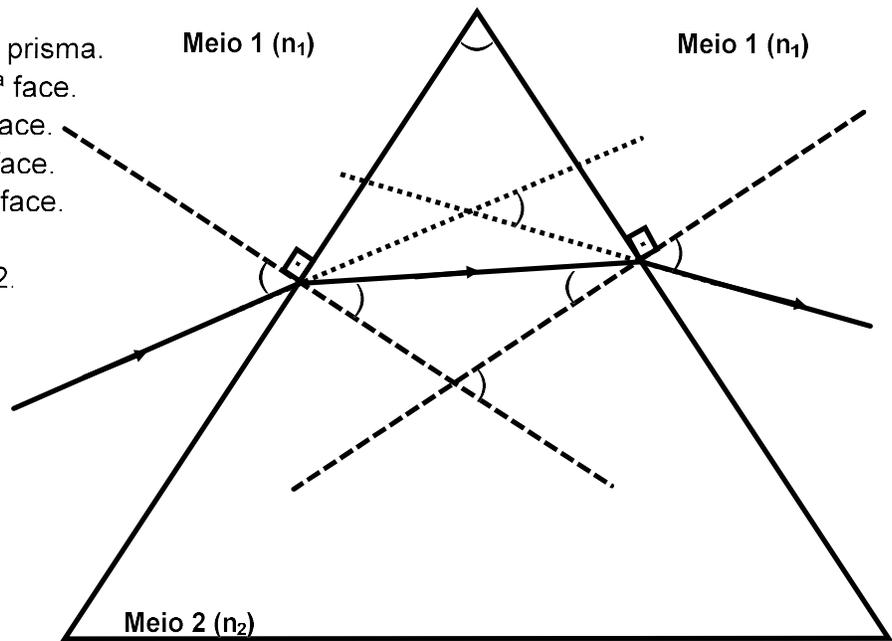
Miragem:



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 incidência na 2ª face.
- d_1 - desvio angular na face 1.
- d_2 - desvio angular na aface 2.
- d - desvio angular total.



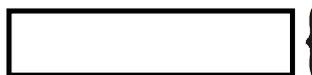
Aplicando-se uma geometria elementar, tem-se, respectivamente:

$$A =$$

$$d = d_1 + d_2$$

$$d_1 =$$

$$d_2 =$$



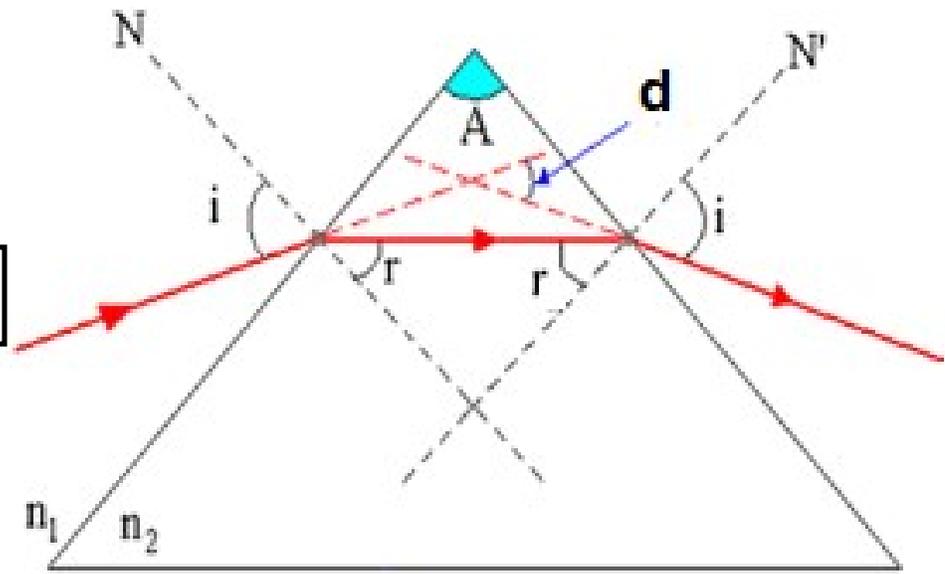
} Desvio angular total.

obs. Uma decorrência importante, no estudo dos prismas óptico, é a condição geométrica do **desvio angular mínimo** (d_{\min}). 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, $i_1 = i_2 = i$. Nessa condição, pela Lei de Snell-Descartes, resulta: $r_1 = r_2 = r$.

Sendo assim:

$$A = 2r$$

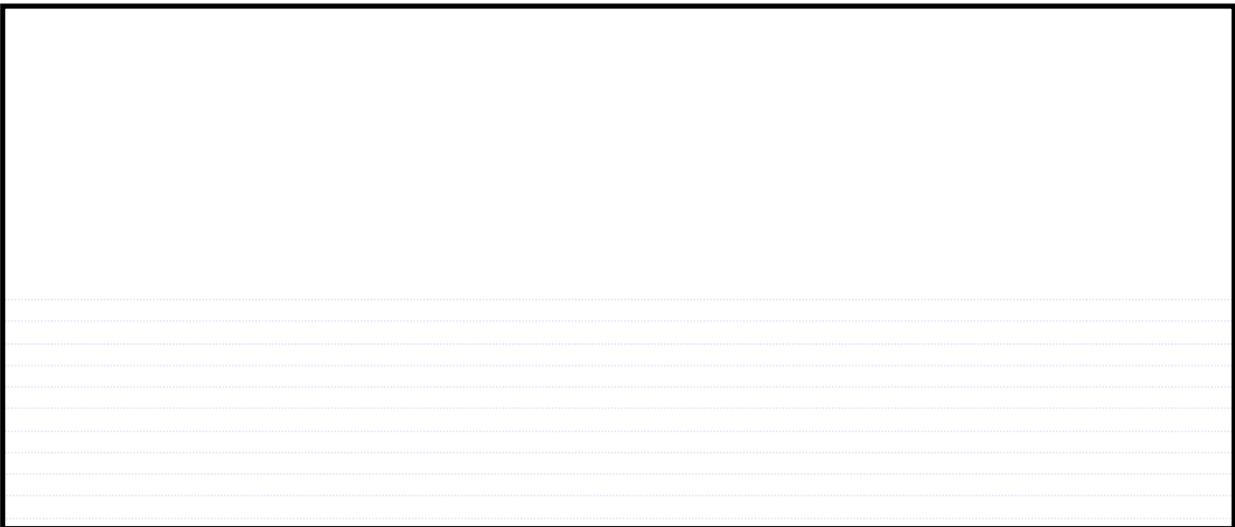
$$d_{\min} = 2i - 2r$$



Exercícios de aprendizagem:

10) Considere um prisma de ângulo de refração igual a 60° , imerso no ar. O valor do índice de refração do material que constitui o $\sqrt{2}$ sma 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.



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 umínoso, 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.

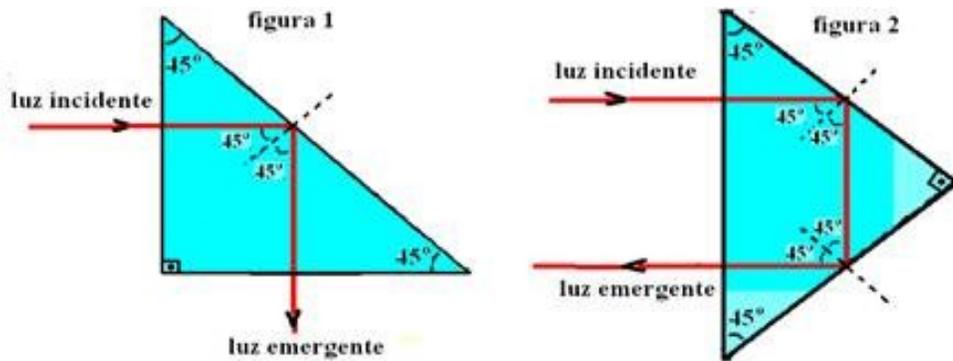
O tipo mais comum é aquele feito de vidro, cuja secção principal é um triângulo retângulo isósceles, imerso no ar.

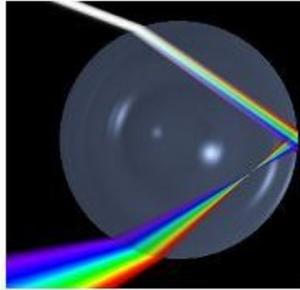
Lembrando-se que o raio no interior do prisma está no meio mais refringente e que o ângulo limite para o par de meios ar-vidro é aproximadamente:

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

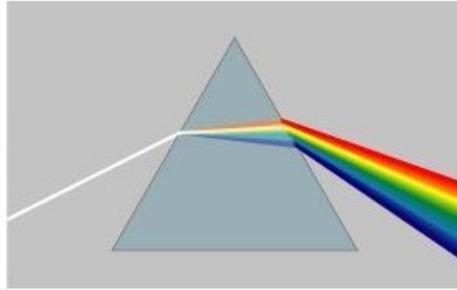
portanto $L \cong 42^\circ$, verifica-se que com ângulos de incidência maiores que 42° ocorre a reflexão total, pois satisfaz a condição $i > L$.

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

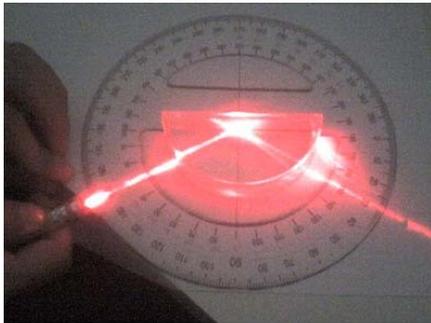




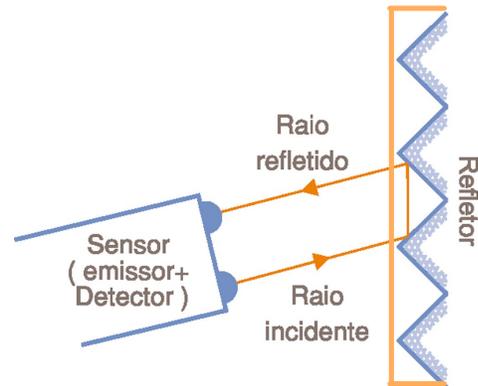
Dispersão da luz numa gota



Dispersão da luz num prisma

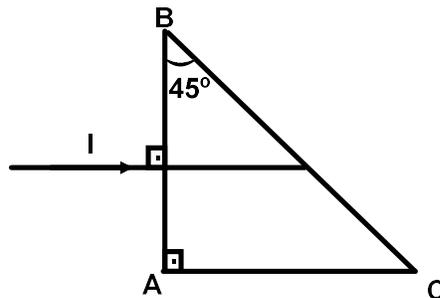


Reflexão total



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 face BC .



$$n > 4\sqrt{2}/3$$