

## REFRAÇÃO

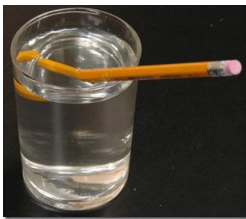
Você por acaso sabe que a posição que você vê um astro não é a real? Que quando um objeto está imerso em um líquido, você não o vê na sua verdadeira posição? Por que ao usarmos óculos, enxergamos os objetos com nitidez? Como funcionam os instrumentos óticos como telescópio, luneta e o microscópio?

Pois bem, as respostas a essas e outras perguntas do gênero serão dadas ao estudarmos o fenômeno da refração.

Mas, o que é refração?

Refração é o fenômeno pelo qual uma onda (no nosso caso a luz), passa de um meio para o outro variando a sua velocidade de propagação podendo ou não sofrer variação na sua trajetória.

È por causa deste fenômeno que parecemos ver o lápis da figura abaixo quebrado.



*Refração na água*

### Índice de refração absoluto(n)

Para o entendimento completo da refração convém a introdução de uma nova grandeza que relacione a velocidade da radiação monocromática no vácuo e em meios materiais, esta grandeza é o índice de refração da luz monocromática no meio apresentado, e é expressa por:

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

#### Devemos saber que:

- O índice de refração absoluto no vácuo é igual a 1.
- Em qualquer outro meio o índice de refração absoluto é maior que 1. O índice de refração absoluto no ar é um valor próximo de 1, sendo assim vamos considerar  $n_{\text{ar}} = 1$ .
- O índice de refração é inversamente proporcional à velocidade de propagação da luz, ou seja, quanto maior for o índice de refração de um meio, menor será a velocidade de propagação da luz nesse meio.
- O meio que tem maior índice de refração tem maior refringência e vice-versa. Refringência, portanto, é a medida do índice de refração absoluto.
- Quanto mais denso o meio, maior o índice de refração. Como a água é mais densa que o ar,  $n_{\text{água}} > n_{\text{ar}}$

Na tabela abaixo, temos alguns índices de refração usuais:

Material	n
Ar seco (0°C, 1atm)	$\approx 1$ (1,000292)
Gás carbônico (0°C, 1atm)	$\approx 1$ (1,00045)
Gelo (-8°C)	1,310
Água (20°C)	1,333
Etanol (20°C)	1,362
Tetracloreto de carbono	1,466
Glicerina	1,470
Monoclorobenzeno	1,527
Vidros	de 1,4 a 1,7
Diamante	2,417
Sulfeto de antimônio	2,7

### Índice de refração relativo entre dois meios

Chama-se índice de refração relativo entre dois meios, a relação entre os índices de refração absolutos de cada um dos meios, de modo que:

$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Mas como visto:

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

Então podemos escrever:

$$n_{1,2} = \frac{\frac{c}{v_1}}{\frac{c}{v_2}} = \frac{v_2}{v_1}$$

Ou seja:

$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

Observe que o índice de refração relativo entre dois meios pode ter qualquer valor positivo, inclusive menores ou iguais a 1.

### Refringência

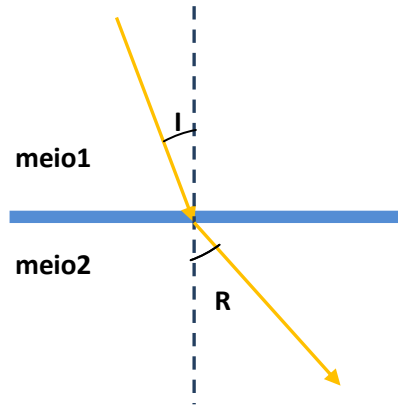
Dizemos que um meio é mais refringente que outro quando seu índice de refração é maior que do outro. Ou seja, o etanol é mais refringente que a água.

De outra maneira, podemos dizer que um meio é mais refringente que outro quando a luz se propaga por ele com velocidade menor que no outro.

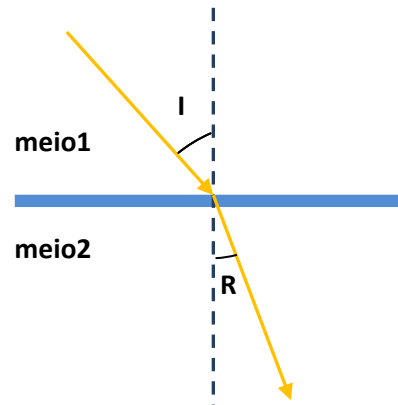
## Refringência e comportamento da luz na refração

A partir dos índices de refração dos meios envolvidos, podemos estudar como a luz se comporta ao passar de um meio. Vejamos os casos a seguir.

1)  $n_1 > n_2$



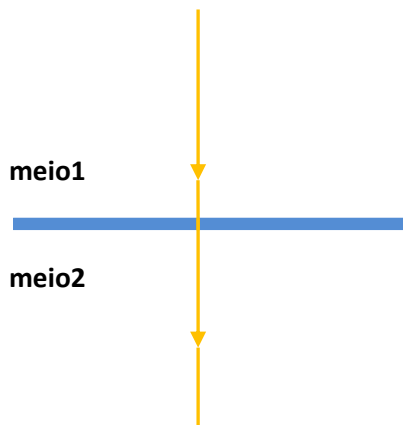
2)  $n_1 < n_2$



Nestes dois casos, podemos reparar que toda vez que a luz incide obliquamente entre dois meios de diferentes índices de refração, ela sofre um desvio na trajetória.

No primeiro caso, ela incide do meio mais refringente para o meio menos refringente, ganhando velocidade e se afastando da normal ( $I < R$ ). Já no segundo caso, a luz passa do meio menos refringente para o mais refringente, perdendo velocidade e se aproximando da normal ( $I > R$ ).

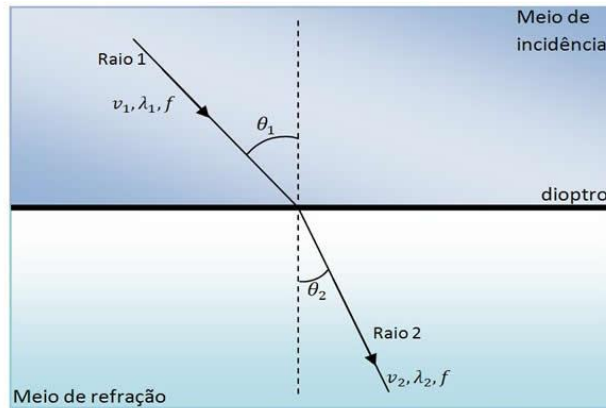
Mas, será que toda vez que a luz é refratada, ocorre desvio em sua trajetória? Vejamos o caso a seguir.



Podemos perceber que a luz independente do meio 1 ser mais refringente ou menos refringente que o meio 2, a luz variou a velocidade de propagação mas não houve desvio na sua trajetória. Esta incidência recebe o nome de incidência normal ( $I = 0^\circ$  e  $R = 0^\circ$ )

## Elementos de uma refração

Para se entender melhor este fenômeno, imagine um raio de luz que passa de um meio para outro de superfície plana, conforme mostra a figura abaixo:



Onde:

- Raio 1 é o raio incidente, com velocidade e comprimento de onda característico;
- Raio 2 é o raio refratado, com velocidade e comprimento de onda característico;
- A reta tracejada é a linha normal à superfície;
- O ângulo formado entre o raio 1 e a reta normal é o ângulo de incidência;
- O ângulo formado entre o raio 2 e a reta normal é o ângulo de refração;
- A fronteira entre os dois meios é um dióptro plano.

Conhecendo os elementos de uma refração podemos entender o fenômeno através das duas leis que o regem.

## Leis de Refração

### 1ª Lei da Refração

A 1ª lei da refração diz que o raio incidente (raio 1), o raio refratado (raio 2) e a reta normal ao ponto de incidência (reta tracejada) estão contidos no mesmo plano, que no caso do desenho acima é o plano da tela.

### 2ª Lei da Refração - Lei de Snell

A 2ª lei da refração é utilizada para calcular o desvio dos raios de luz ao mudarem de meio, e é expressa por:

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

No entanto, sabemos que:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1 f}{\lambda_2 f} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Além de que:

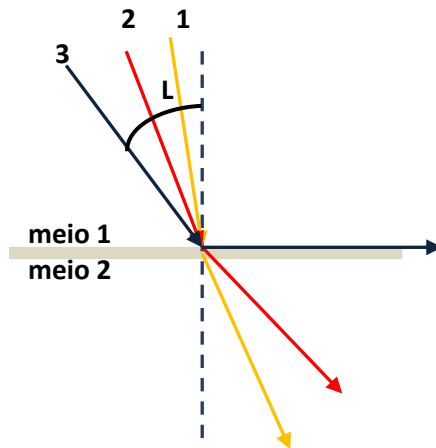
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Ao agruparmos estas informações, chegamos a uma forma completa da Lei de Snell:

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r}$$

## Ângulo limite (L)

Vimos que a luz que incide obliquamente ao passar de um meio mais refringente para outro menos refringente, ganha velocidade e se afasta da Normal. Observe agora a imagem abaixo em que a luz está passando do meio 1 mais refringente para o meio 2 menos refringente. Veja que a medida que o ângulo de incidência aumenta, o ângulo de refração também aumenta até que atinjamos um ângulo de incidência tal que o raio refratado faça um ângulo de 90° com a superfície. Este ângulo de incidência que permite esta refração máxima (90°) é que nós chamamos de ângulo limite L (ângulo de emergência rasante).



Podemos calcular o valor do ângulo limite entre dois meios quaisquer através da Lei de Snell-Descartes. Vejamos:

$$n_1 \cdot \text{sen } I = n_2 \cdot \text{sen } R$$

$$n_1 \cdot \text{sen } L = n_2 \cdot \text{sen } 90^\circ$$

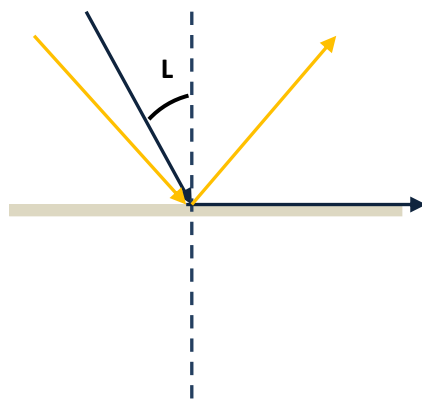
$$n_1 \cdot \text{sen } L = n_2 \cdot 1$$

$$\text{sen } L = \frac{n_2}{n_1}$$

Ou seja, o valor do ângulo limite é tal que o seu seno corresponde a razão entre o índice de refração do meio menos refringente e o índice de refração do meio mais refringente.

## Reflexão total

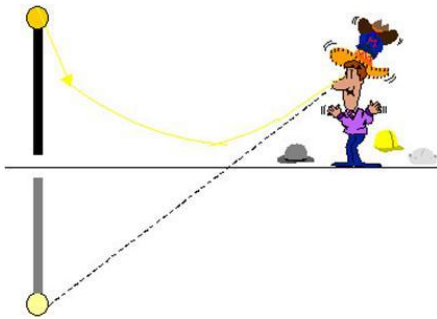
Ocorre a reflexão total, quando a luz incide do meio mais refringente para o meio menos refringente com um ângulo de incidência maior que o ângulo limite.



Através da reflexão total é explicado porque o brilhante apresenta um brilho intenso. Sendo o ângulo limite do diamante pequeno ( $L = 24^\circ$ ), a maior parte da luz que penetra no diamante sofre várias reflexões totais, enquanto, que a refração corresponde a uma pequena parte da luz. Outro fator, é que as pedras são lapidadas de tal forma que a luz incidente numa face seja totalmente refletida nas outras.

### A miragem

A reflexão total também explica a miragem. Quando o dia está muito quente no deserto ou em uma estrada asfaltada, o ar próximo ao asfalto ou à estrada apresenta densidade menor que nas camadas superiores. A luz, ao incidir sobre um objeto, sofre refrações sucessivas e quando chega às camadas de ar próximas às superfícies do asfalto ou do areia, sofre reflexão total, fazendo com que estas superfícies funcionem como espelhos. Você já deve ter observado esta formação de imagem na estrada; você tem a impressão que tem uma poça d'água na estrada

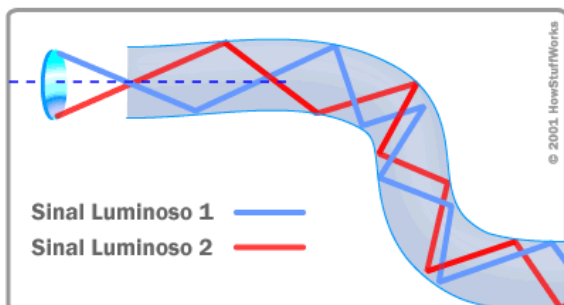


*Imagem especular de um objeto obtida por reflexão total.*

### Fibra óptica



Outra aplicação importante da reflexão total são as fibras ópticas. Essas fibras são feitas de vidro ou plástico e possuem paredes extremamente lisas. Ao penetrar na fibra, a luz sofre reflexão nas paredes laterais diversas vezes, e com isso ela é transportada a longas distâncias. Por esse motivo, a fibra óptica é um condutor de luz. Essa tecnologia é amplamente utilizada na medicina e nas telecomunicações.



## Dioptro

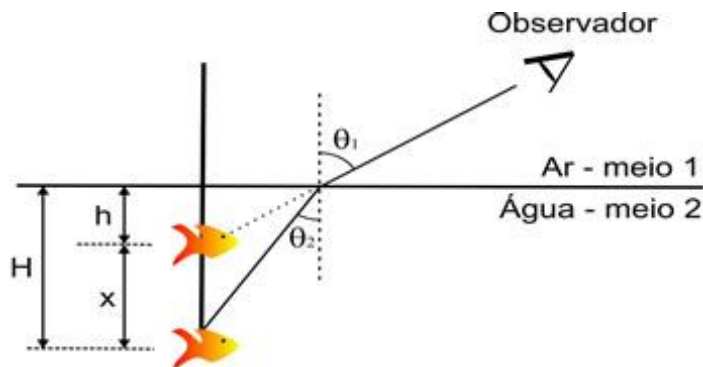
É todo o sistema formado por dois meios homogêneos e transparentes. Quando esta separação acontece em um meio plano, chamamos então, dioptro plano.



A figura acima representa um dioptro plano, na separação entre a água e o ar, que são dois meios homogêneos e transparentes.

## Formação de imagens através de um dioptro

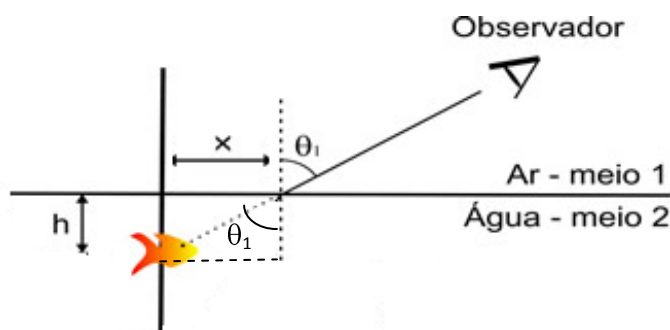
Considere um pescador que vê um peixe em um lago. O peixe encontra-se a uma profundidade  $H$  da superfície da água. O pescador o vê a uma profundidade  $h$ . Conforme mostra a figura abaixo:



Vamos agora determinar a equação matemática que permite calcular a posição da imagem em um dioptro plano.

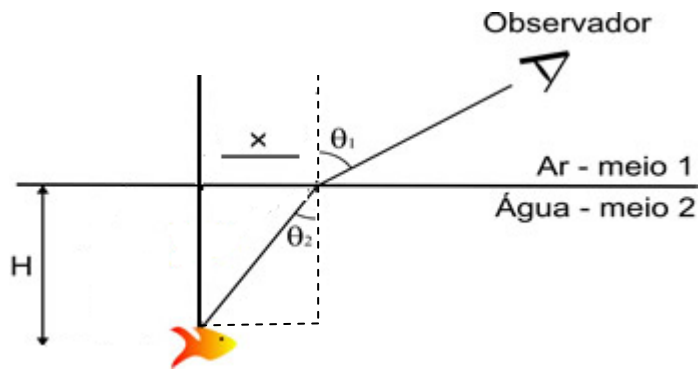
Vale salientar que esta equação é válida para ângulos de incidência pequenos (menores que  $10^\circ$ ) e para estes ângulos,  $\sin\theta = \text{tg}\theta$ .

Observe a figura abaixo que é um corte da anterior.



Dela podemos concluir que  $\text{tg}\theta_1 = x/h$

Observe agora esta outra figura.



Temos outro triângulo de forma que:

$$\text{tg}\theta_2 = x/H$$

Aplicando a lei de Snell temos:

$$n_1 \cdot \text{sen } I = n_2 \cdot \text{sen } R$$

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2 \text{ e como } \text{sen} = \text{tg}$$

$$n_1 \cdot \text{tg}\theta_1 = n_2 \cdot \text{tg } \theta_2$$

$$n_1 \cdot x/h = n_2 \cdot x/H$$

ou seja :

$$\frac{H}{h} = \frac{n_2}{n_1}$$

Onde:

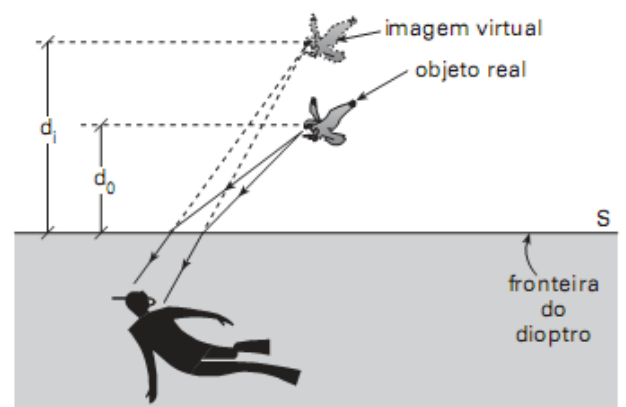
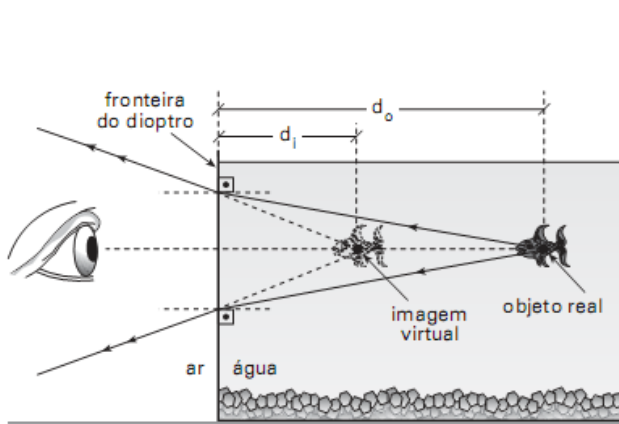
H = altura do objeto

h = altura da imagem

$n_2$  = índice de refração do meio onde se encontra o objeto

$n_1$  = índice de refração do meio onde se encontra o observador

Obs: Se o observador estiver no meio menos refringente, ele verá uma imagem virtual do mais próximo do que o objeto real, já se o observador estiver no meio mais refringente, verá a imagem mais afastada que o objeto





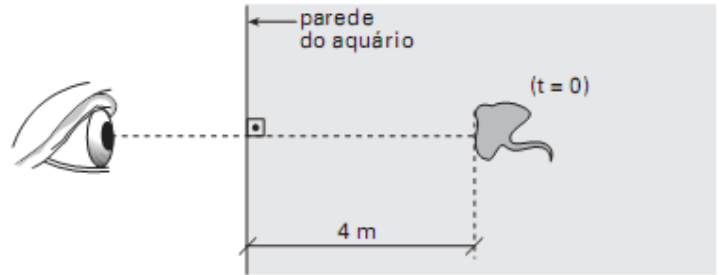
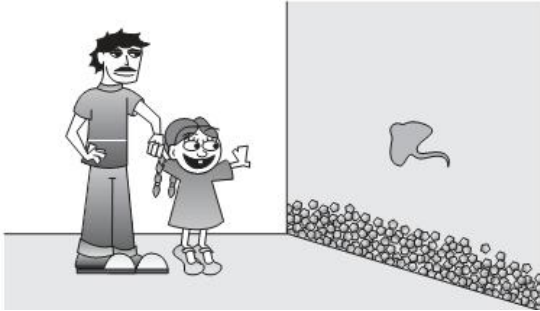
### Exercício resolvido

Celso adora visitar aquários. Na cidade de Santos, Celso levou sua filha Júlia para conhecer o famoso aquário daquela cidade.

Diante de uma grande parede de vidro, cuja espessura pode ser desprezada, eles observam uma arraia que se encontra a 4m da parede do aquário.

Determine a distância da imagem da arraia observada, em relação à parede de vidro.

Considere  $n_{\text{água}} = 4/3$ .



Aplicando a equação do dióptro plano temos:

$$\frac{H}{h} = \frac{n_2}{n_1}$$

Onde :

$$H = 4\text{m}$$

$$h = ?$$

$$n_1 = n_{\text{AR}} = 1$$

$$n_2 = n_{\text{ÁGUA}} = 4/3$$

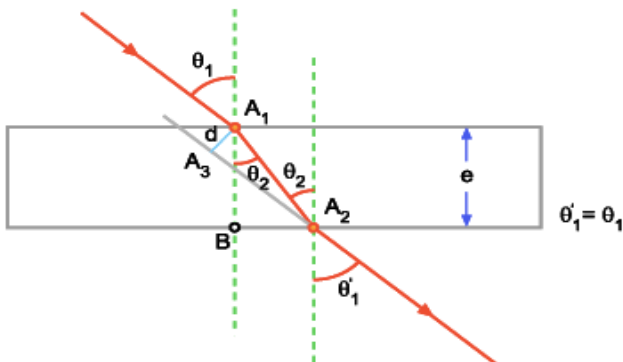
então:

$$\frac{4}{h} = \frac{4/3}{1} \implies h = 3\text{m}$$

### Lamina de faces paralelas

Uma lâmina de faces paralelas imersa em um meio, constitui uma associação de dois dióptros planos. Este sistema é um dispositivo muito útil, pois ele permite fazer com que a luz seja desviada sem, no entanto, alterar sua direção de propagação. Há apenas um desvio lateral.

Na lâmina de faces paralelas (uma lâmina de vidro dentro da água ou do ar) ocorrem duas refrações. Uma primeira refração, numa das superfícies planas (quando a luz entra na lâmina) e uma segunda refração na segunda superfície (quando a luz sai da lâmina).



Se o ângulo de incidência for  $\theta_1$  então a relação entre os ângulos de incidência  $\theta_1$  e de refração  $\theta_2$  será, pela Lei de Snell-Descartes,  $n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2$ .

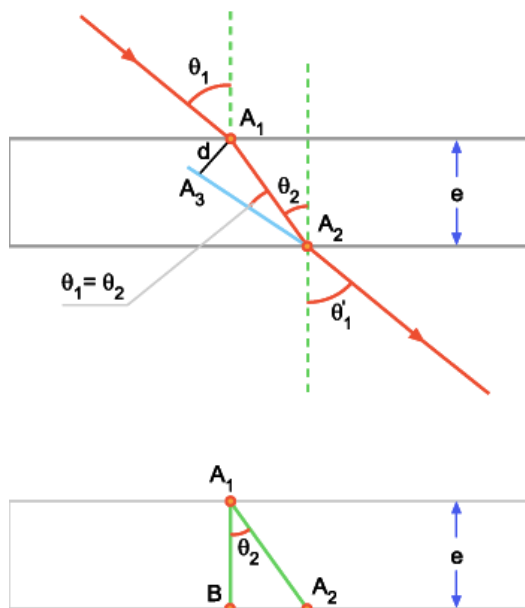
O resultado da primeira refração é pois o de desviar a luz.

Na segunda refração, o ângulo de incidência passa a ser  $\theta_2$ . Utilizando pois, de novo, a lei de Snell-Descartes teremos

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

onde  $\theta_1'$  é o ângulo de refração na segunda superfície.

Olhando para as duas expressões anteriores concluímos que  $\theta_1' = \theta_1$



A conclusão, portanto, é que o efeito das duas refrações é desviar a luz de tal forma que os raios emergentes saiam paralelamente à direção de incidência. Não houve, portanto, desvio angular. Haverá, no entanto, um desvio lateral. O desvio lateral é medido pela distância entre as retas contendo os raios incidentes e o raio emergente. Para determinarmos o desvio lateral  $d$ , basta considerarmos o triângulo  $A_1A_2A_3$  da figura acima.

Pode-se concluir que :

$$\text{sen}(\theta_1 - \theta_2) = \frac{d}{A_1A_2}$$

Considerando-se agora o triângulo  $A_1A_2B$  temos :

$$\cos \theta_2 = \frac{A_1B}{A_1A_2}$$

lembrando que  $A_1B$  é a espessura da lâmina (aqui representada por  $e$ ). Temos, a partir das duas relações anteriores:

$$d = e \frac{\text{sen}(\theta_1 - \theta_2)}{\cos \theta_2}$$

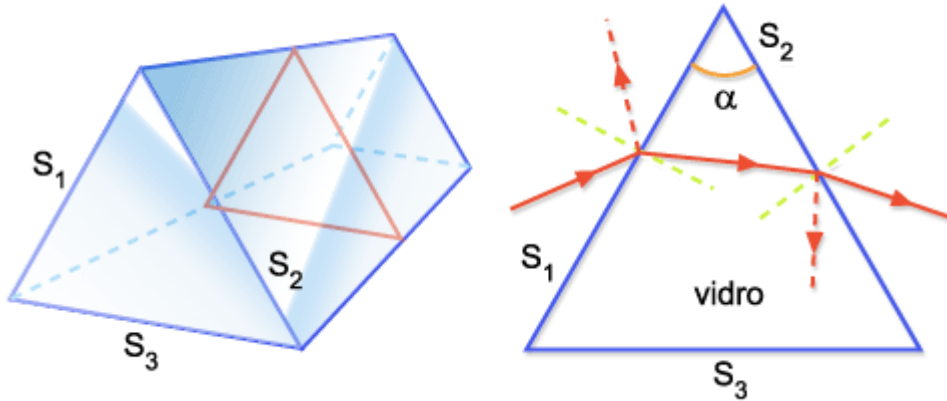
ou seja, o deslocamento lateral  $d$  pode ser previsto conhecendo-se os ângulos de incidência, de refração e a espessura da lâmina. Quanto mais espessa for a lâmina, maior será o desvio lateral.

## Prisma

Para o contexto da óptica, é chamado **prisma** o elemento óptico transparente com superfícies retas e polidas que é capaz de refratar a luz nele incidida. O formato mais usual de um prisma óptico é o de pirâmide com base quadrangular e lados triangulares. O prisma óptico se constitui num dispositivo simples e que encontra um número muito grande de aplicações em sistemas ópticos

A aplicação usual dos prismas ópticos é seu uso para separar a luz branca policromática nas sete cores monocromáticas do espectro visível, além de que, em algumas situações poder refletir tais luzes.

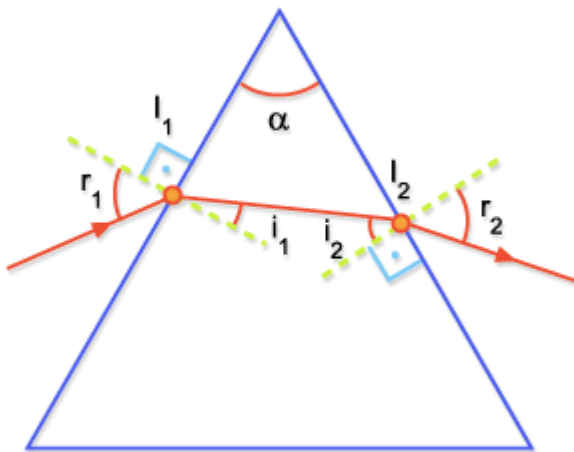
Na figura abaixo, As superfícies diopticas  $S_1$  e  $S_2$  se constituem nas faces do prisma.



A intersecção das duas faces do prisma é a aresta do mesmo. O ângulo  $\alpha$  é chamado de ângulo de refração ou de abertura do prisma sendo o ângulo entre as duas faces polidas do prisma.

Às vezes, uma face do prisma não é polida e não pode ser utilizada como superfície ótica. Seria a superfície utilizada para apoio indicada por  $S_3$  na figura acima.

Iremos agora a partir da figura abaixo, determinar o desvio angular sofrido pela luz ao atravessar as faces não paralelas de um prisma. Veja a figura abaixo:



Observe que a luz ao incidir na face 1 do prisma sofre uma primeira refração, sofrendo um desvio na trajetória, e já dentro do prisma, ao atingir a face 2 sofre nova refração com novo desvio da trajetória.

A relação entre os ângulos de incidência ( $i_1$ ) e refração ( $r_1$ ) na primeira face é dada pela Lei de Snell-Descartes

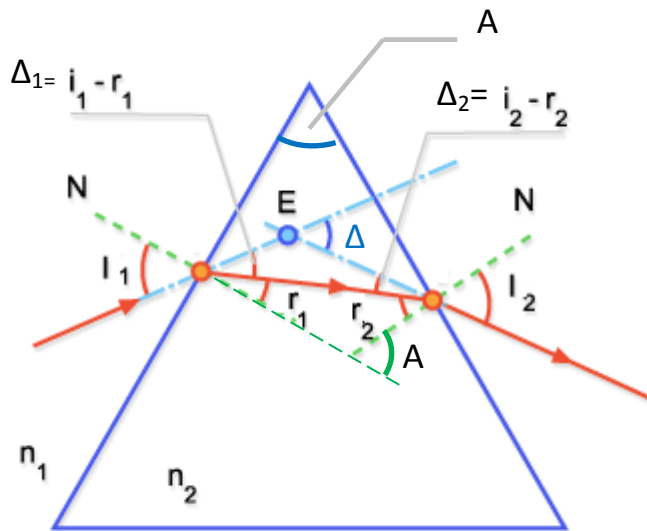
$$n_1 \text{sen} i_1 = n_2 \text{sen} r_1.$$

Na face dois a relação entre o novo ângulo de incidência ( $i_2$ ) e o novo ângulo de refração( $r_2$ ) será

$$n_2 \text{sen} i_2 = n_1 \text{sen} r_2.$$

Define-se o desvio angular como o ângulo associado ao desvio da luz do seu trajeto desde o momento que incidiu no prisma  $\Delta_1$ (desvio sofrido na primeira face )até o momento em que sai do mesmo  $\Delta_2$ (desvio sofrido na segunda face ).

Notemos que se prolongarmos o raio incidente na primeira face e prolongarmos o raio refratado na segunda face, esses prolongamentos se encontrarão no ponto E. Para encontrarmos uma expressão para o desvio  $\Delta$  em termos dos ângulos de incidência e refração, basta considerarmos o triângulo  $I_1I_2E$ .



Com a ajuda da matemática, obtemos então, da figura acima, que

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2.$$

Então temos:

$$\Delta = i_1 - r_1 + i_2 - r_2$$

$$\Delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$$

Podemos ainda perceber que

$$A = r_1 + r_2$$

Então ,

$$\Delta = (i_1 + i_2) - A$$

### Desvio angular mínimo

Da equação que acabamos de deduzir, podemos observar que o desvio angular no prisma depende dos ângulos de incidência ( $i_1$ ) e de emergência ( $i_2$ ), e do ângulo de refração ( $A$ ) do prisma

Observa-se experimentalmente que o desvio angular será mínimo quando  $i_1 = i_2 = i$  e  $r_1 = r_2 = r$ .

Sendo assim,

$$A = 2r \text{ e } \Delta_{\text{MÍN}} = 2(i-r)$$

## Funcionamento do prisma

Quando a luz branca incide sobre a superfície do prisma, sua velocidade é alterada, no entanto, cada cor da luz branca tem um índice de refração diferente, e logo ângulos de refração diferentes, chegando à outra extremidade do prisma separada.

Ou seja, a luz branca é formada pela reunião de numerosas radiações coloridas que podem ser separadas com o auxílio de um prisma, formando uma imagem conhecida como espectro. Do ponto de vista estritamente físico, o espectro é formado por um número infinito de cores. A técnica, no entanto, costuma considerar com integrantes da luz branca as sete cores: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. A reunião destas sete cores recompõe a luz branca. Pelo fato de se propagarem com velocidades diferentes, a luz branca ao incidir sobre o prisma é dividida em todas as suas cores componentes sofrendo uma dispersão luminosa, já que cada feixe de frequência sofre um desvio diferente.



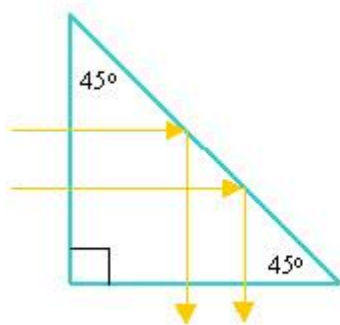
*Diagrama da dispersão da luz através de um prisma*

### Prismas de reflexão total

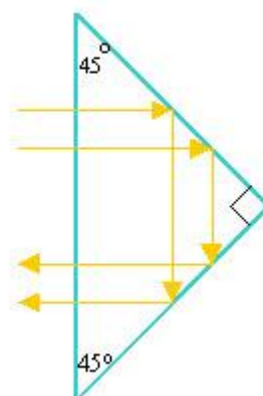
Nos prismas de reflexão total a luz sofre internamente uma ou mais reflexões. Estes prismas são usados para endireitar imagens (prismas inversores) ou para mudar a direção dos raios de luz. Os instrumentos ópticos, tais como binóculos, telescópios, periscópios e outros, usam estes prismas.

A vantagem da utilização destes prismas em substituição a espelhos planos nos instrumentos óticos é que proporcionam maior rendimento de reflexão do que os espelhos.

Quando a luz se propaga no interior destes prismas, ela se reflete em uma das faces porque o ângulo de incidência na segunda face é maior que o ângulo limite. As figuras abaixo mostram prismas de reflexão total.



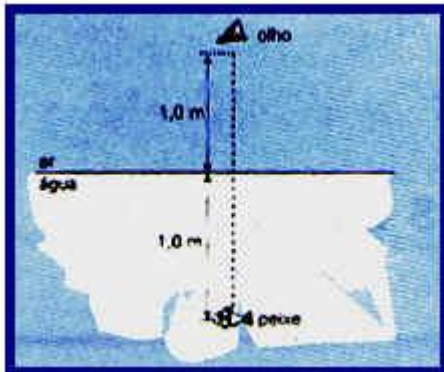
*Reflexão simples. Desvio constante igual a 90°. Prisma de Amici*



*Reflexão dupla. Desvio constante igual a 180°. Prisma de Porro.*

## Exercícios

**01.** Considere um peixe a uma profundidade de 1,0m e um observador fora d'água, com os olhos a uma distância de 1,0m da superfície da água, conforme mostra o esquema:



Sendo o índice de refração absoluto da água igual a  $\frac{4}{3}$ , determine:

- Para o observador, qual a distância aparente entre seu olho e o peixe?
- Para o peixe, qual a sua distância aparente ao olho do observador?

**02.** Se quisermos atingir, com um tiro de revólver, um peixe parado a uma certa profundidade em um tanque (admitindo que o cano da arma é colocado obliquamente à superfície da água e que a trajetória da bala é retilínea), devemos:

- apontar diretamente para o ponto onde o peixe parece estar;
- apontar um pouco acima do ponto onde o peixe parece estar;
- apontar um pouco abaixo do ponto onde o peixe parece estar;
- apontar muito acima do ponto onde o peixe parece estar;
- apontar muito abaixo do ponto onde o peixe parece estar.

**03.** Um tijolo encontra-se no fundo de uma piscina na qual a profundidade da água é 2,8m. O índice de refração absoluto da água é  $\frac{4}{3}$ . Um observador fora da água, na vertical que passa pelo objeto, visa o mesmo. Determinar a elevação aparente do tijolo.

- 0,30m
- 0,60m
- 0,90m
- 0,70m
- 0,80m

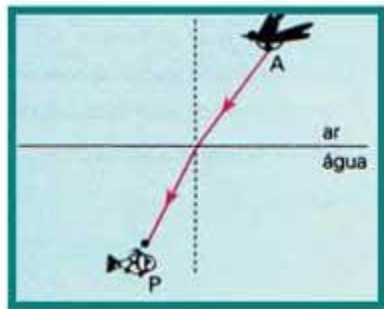
**04.** (UFMG) Qual a alternativa que melhor explica porque a profundidade aparente de uma piscina é menor do que a real?

- A luz refletida na superfície da água é perturbada pela luz refletida pelo fundo da piscina.
- A luz refletida pela superfície da água sofre refração no ar.
- A luz refletida pelo fundo da piscina sofre reflexão total na superfície da água.
- A luz refletida pelo fundo da piscina sofre refração ao passar da água para o ar.
- A luz é refratada ao passar do ar para a água.

**05. (UFCE)** Coloca-se água num aquário de modo a ocupar 60cm de sua altura. Quando visto verticalmente de cima para baixo, a água parece ocupar uma altura diferente  $h$ . Supondo que a velocidade de propagação da luz no ar seja de  $3,00 \cdot 10^5 \text{ km/s}$  e na água, de  $2,25 \cdot 10^5 \text{ km/s}$ , determine a altura aparente  $h$ .

- a) 30cm
- b) 65cm
- c) 90cm
- d) 70cm
- e) 45cm

**06. (MACKENZIE)** De acordo com o desenho a seguir, consideremos para um determinado instante a seguinte situação:



Admitindo-se que:

- 1) **A** seja uma andorinha que se encontra a 10m da superfície livre do líquido;
- 2) **P** seja um peixe que se encontra a uma profundidade  $h$  da superfície **S**;
- 3)  $n = 1,3$  seja o índice de refração absoluto da água.

Podemos afirmar que:

- a) o peixe verá a andorinha só se estiver a 10m de profundidade;
- b) o peixe verá a andorinha a uma altura aparente de 5,0m;
- c) o peixe verá a andorinha a uma altura aparente de 13m acima da superfície da água;
- d) o peixe não verá a andorinha, pois a luz não se propaga de um meio mais refringente para outro de menor refringência;
- e) o peixe verá a andorinha a uma altura aparente de 26m

**07. (UFBA)** Um helicóptero faz um vôo de inspeção sobre as águas transparentes de uma certa região marítima e detecta um submarino a uma profundidade aparente de 450m no momento em que seus centros estão unidos pela mesma vertical. O índice de refração absoluto da água do mar é 1,5 e o do ar é 1,0. Determinar a profundidade do submarino.

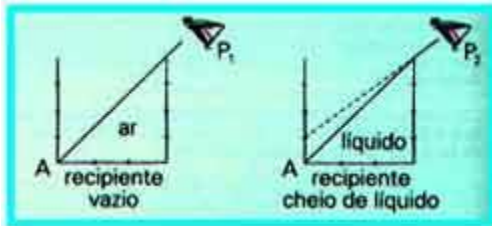
- a) 375m
- b) 625m
- c) 675m
- d) 700m
- e) 325m

08. (PUCC) Um peixe está parado a 1,2m de profundidade num lago de águas tranqüilas e cristalinas. Para um pescador, que o observa perpendicularmente à superfície da água, a profundidade aparente em que o peixe se encontra, em m, é de:

Dado: Índice de refração da água em relação ao ar =  $\frac{4}{3}$

- a) 0,30
- b) 0,60
- c) 0,90
- d) 1,2
- e) 1,5

09. (FESP - PE) No perfil do recipiente da figura, a largura e a altura estão na razão 3/4. **A** é um ponto luminoso; **P<sub>1</sub>** e **P<sub>2</sub>** são as posições onde se coloca o observador. Com base nas informações dadas pelos desenhos, o índice de refração absoluto do líquido vale:



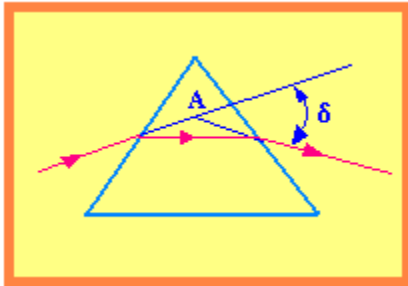
- a)  $\frac{2\sqrt{2}}{6}$
- b)  $\frac{3\sqrt{2}}{6}$
- c)  $\frac{4\sqrt{2}}{6}$
- d)  $\frac{5\sqrt{2}}{6}$
- e)  $\sqrt{2}$

10. A respeito do desvio experimentado por um raio de luz ao penetrar em um prisma, podemos afirmar:

- a) é independente da radiação monocromática;
- b) é função crescente do ângulo de incidência;
- c) é função crescente do ângulo de refringência;
- d) é independente do índice de refração relativo do prisma;
- e) n.d.a.

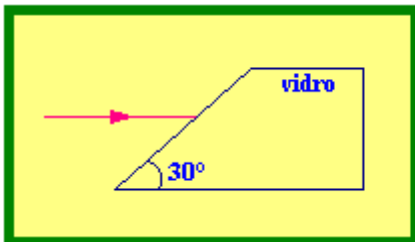


11. (ITA) O Método de Desvio Mínimo, para a medida do índice de refração,  $n$ , de um material transparente, em relação ao ar, consiste em se medir o desvio mínimo  $d$  de um feixe estreito de luz que atravessa um prisma feito desse material. Para que esse método possa ser aplicado (isto é, para que se tenha um feixe emergente), o ângulo  $A$  do prisma deve ser menor que:



- a)  $\arcsen(n)$
- b)  $2 \arcsen(1/n)$
- c)  $0,5 \arcsen(1/n)$
- d)  $\arcsen(1/n)$
- e)  $\frac{\rho}{2}$

12. A figura abaixo mostra um raio monocromático de luz que incide horizontalmente sobre um bloco de vidro. Sabendo-se que o bloco está imerso no ar ( $n_{ar} = 1$ ) e que o índice de refração absoluto do vidro vale  $\sqrt{3}$ , ângulo de refração na refração na 1ª face do bloco de vidro vale:



Dados:

	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
Sen	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
Cos	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0

- a)  $0^\circ$
- b)  $30^\circ$
- c)  $45^\circ$
- d)  $60^\circ$
- e)  $90^\circ$

13. (UEL - PR) No esquema adiante considere:

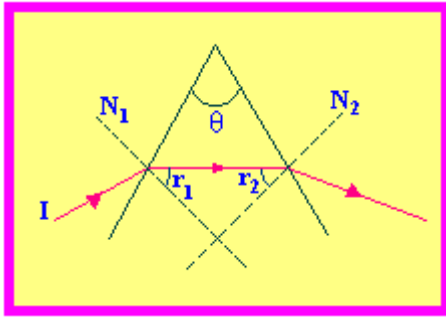
I - raio incidente

$N_1$  e  $N_2$  - normais às faces do prisma

$r_1$  - ângulo de refração na primeira face

$r_2$  - ângulo de incidência na segunda face

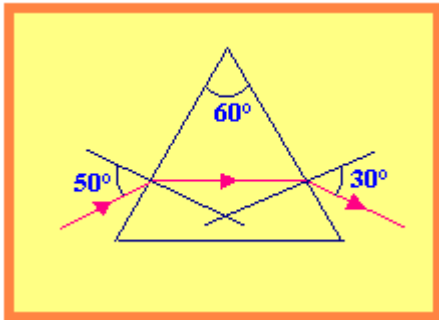
$q$  - ângulo do prisma =  $60^\circ$



Considerando as indicações do esquema, é correta a relação;

- a)  $r_1 - r_2 = q$
- b)  $r_1 + r_2 = q$
- c)  $r_1 + r_2 = 90^\circ - q$
- d)  $r_1 - r_2 = 90^\circ - q$
- e)  $2(r_1 + r_2) = q$

14. (UEL - LONDRINA) A figura abaixo representa um raio de luz que atravessa um prisma. O desvio sofrido por esse raio de luz, em graus, vale:



- a) 20
- b) 30
- c) 50
- d) 60
- e) 90

15. (MACKENZIE) Dispõe-se de um prisma óptico cuja secção transversal é um triângulo equilátero. Ao ser colocado num meio de índice de refração absoluto  $\sqrt{3}$ , um raio luminoso, que incide numa secção principal sob um ângulo de  $30^\circ$  com uma das faces, emerge perpendicularmente à outra. Neste caso, podemos afirmar que:

- a) O índice de refração absoluto do material do prisma é  $\frac{\sqrt{3}}{3}$ .
- b) O índice de refração absoluto do material do prisma é  $\sqrt{3}$ .
- c) O desvio sofrido pelo raio é de  $90^\circ$ .
- d) O desvio sofrido pelo raio é de  $60^\circ$ .
- e) O desvio sofrido pelo raio é de  $30^\circ$ .

16. (UEPG - RS) Se fizermos incidir sobre um prisma um fino feixe de luz branca, veremos emergir do outro lado um feixe de luz colorido e mais espesso, que nos lembra um arco-íris. Com relação a esse fenômeno, que é chamado de dispersão da luz, assinale a alternativa que contém uma afirmação **incorreta**:

- a) A luz branca é uma combinação das cores do espectro.
- b) O índice de refração absoluto do prisma é único para todas as cores.
- c) As cores do espectro são puras.
- d) O índice de refração absoluto do prisma é diferente e maior para luz violeta do que para luz vermelha.
- e) O índice de refração absoluto do prisma é maior para luz violeta do que para luz vermelha.

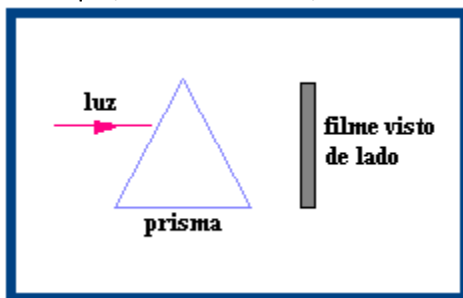
17. (UF VIÇOSA) Ao incidirmos um feixe de luz branca sobre um prisma, observamos a dispersão da luz no feixe emergente, sendo que a cor violeta sofre o maior desvio e a vermelha, o menor. Analise as seguintes afirmações:

- I. O índice de refração absoluto do vidro é maior para a luz violeta.
- II. O índice de refração absoluto do vidro é maior para a luz vermelha.
- III. O módulo da velocidade da luz violeta dentro do vidro é maior que o da luz vermelha.
- IV. O módulo da velocidade da luz vermelha dentro do vidro é maior que o da violeta.
- V. As velocidades das luzes vermelha e violeta têm módulos iguais dentro do vidro.

São verdadeiras:

- a) II e IV
- b) I e V
- c) I e III
- d) I e IV
- e) II e III

18. (FUVEST) Um feixe de luz é uma mistura de três cores: verde, vermelho e azul. Ele incide, conforme indicado na figura, sobre o prisma material transparente, com índice de refração crescente com a frequência. Após atravessar o prisma, a luz atinge um filme para fotografia a cores que, ao ser revelado, mostra três manchas coloridas.



De **cima para baixo**, as cores dessas manchas são, respectivamente:

- a) verde, vermelho e azul;
- b) vermelho, azul e verde;
- c) azul, vermelho e verde;
- d) verde, azul e vermelho;
- e) vermelho, verde e azul.

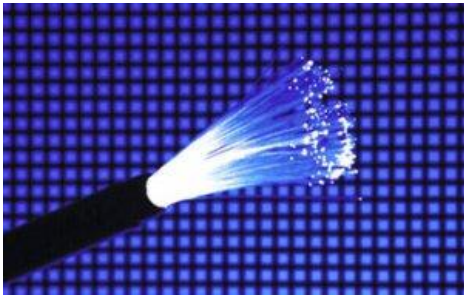
### **Gabarito**

**01** - a) 1,75m      **02** - C      **03** - D      **04** - D      **05** - E  
b) 2,33m      **06** - C      **07** - C      **08** - C      **09** - D

**10** - Sofrerão reflexão total e não atingirão o anteparo as radiações para as quais o ângulo de incidência, que vale  $45^\circ$ , superar o ângulo limite do dioptra prisma-ar. As cores que não sofrerão reflexão total são: vermelho alaranjado e amarelo.

**11** - C      **12** - B      **13** - B      **14** - B      **15** - A      **16** - B  
**15** - A      **16** - B      **17** - B      **18** - D      **19** - E

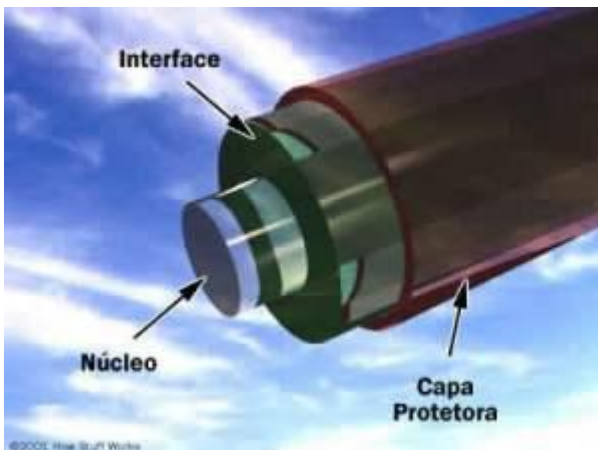
Já imaginou fazer o download de uma música de 6 MB em menos de 1 segundo ou um filme de 1GB em cerca de 1 minuto e 30 segundos? Esse futuro não está assim tão distante.



fibra óptica

### O que é a fibra óptica?

**Fibra óptica** é um filamento de vidro ou de materiais poliméricos com capacidade de transmitir luz. Tal filamento pode apresentar diâmetros variáveis, dependendo da aplicação, indo desde diâmetros ínfimos, da ordem de micrômetros (mais finos que um fio de cabelo) até vários milímetros. A fibra óptica foi inventada pelo físico indiano Narinder Singh Kapany. Há vários métodos de fabricação de fibra óptica, sendo os métodos MCVD, VAD e OVD os mais conhecidos.



Partes de uma única fibra óptica

Quando olhamos para uma única fibra óptica, vemos que ela possui as seguintes partes:

- **núcleo** - é a parte central da fibra, de vidro ou sílica fino, por onde ocorre a propagação da luz até ao seu destino;
- **interface ou bainha** - é o material óptico exterior que envolve o núcleo e que reflecte a luz no seu interior. Este componente ajuda a reflexão da luz e protege ao mesmo tempo o núcleo da fibra;
- **capa protetora (Buffer)** - é a cobertura de plástico que protege a fibra de estragos e humidade

### Funcionamento

A transmissão da luz pela fibra segue um princípio único, independentemente do material usado ou da aplicação: é lançado um feixe de luz numa extremidade da fibra e, pelas características ópticas do meio (fibra), esse feixe percorre a fibra por meio de reflexões sucessivas. A fibra possui no mínimo duas camadas: o núcleo e o revestimento. No núcleo, ocorre a transmissão da luz propriamente dita.

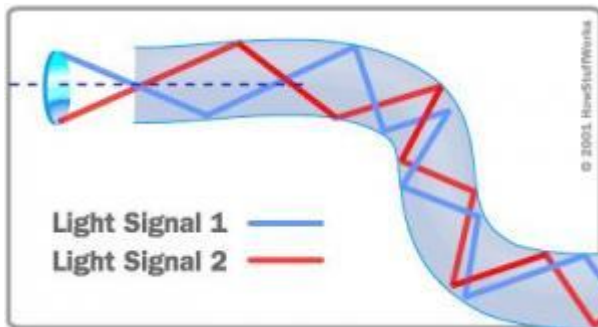
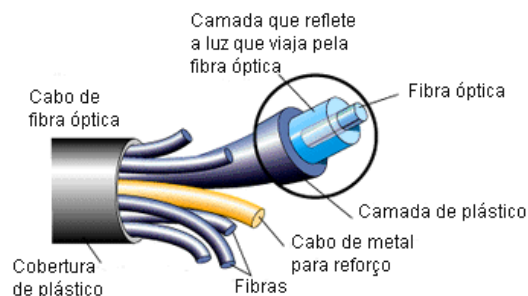
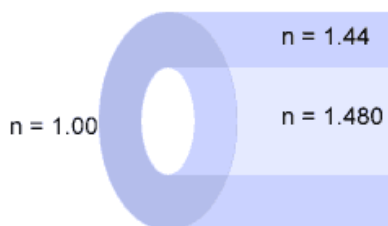
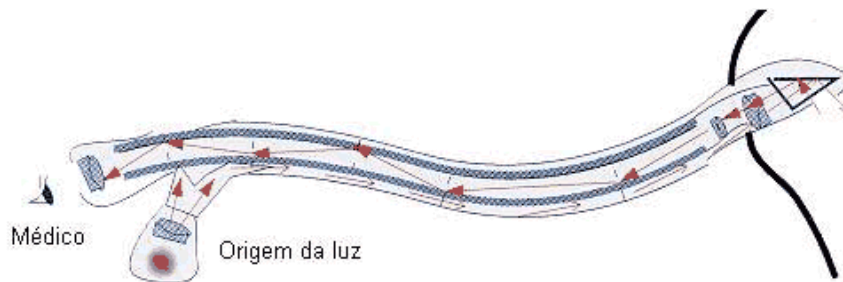


Diagrama da reflexão interna total numa fibra óptica

A transmissão da luz dentro da fibra é possível graças a uma diferença de índice de refração entre o revestimento e o núcleo, sendo que o núcleo possui sempre um índice de refração mais elevado, característica que aliada ao ângulo de incidência do feixe de luz, possibilita o fenómeno da reflexão total.

Uma das utilidades da fibra óptica está na medicina: ela pode captar e transmitir, sem distorções, uma imagem de uma extremidade a outra. Há vários tipos de endoscópio que empregam essa propriedade das fibras ópticas para exames visuais do interior do corpo humano. Neles, um tubo muito fino e flexível contém dois feixes de fibras, um para iluminar a região e outro para a visualização. Este tubo é introduzido, por exemplo, em uma veia do paciente e conduzido através das artérias até chegar ao órgão que se deseja examinar. Assim, pode-se, por exemplo, acompanhar o funcionamento do coração de um paciente. (Atualmente, na medicina, a fibra óptica vem sendo substituída por micro câmeras de vídeo)



Antes do desenvolvimento das fibras ópticas, a telefonia utilizava apenas fios de metal, por onde a mensagem, transformada em pulsos elétricos, é transportada. Em relação aos antigos

fios de metal, a capacidade de transmissão de informações com fibras ópticas aumentou milhares de vezes. Há inúmeras vantagens no uso das fibras ópticas sobre o dos cabos metálicos, nas telecomunicações. Quanto ao desempenho, cada fibra óptica tem capacidade equivalente a 400 fios metálicos duplos. Assim, enquanto um cabo com 200 fios de cobre permite a transmissão de 1500 conversas telefônicas. Um cabo com apenas 12 fibras ópticas garante 9600 conversas. Além do fato de terem pequeno peso e volume reduzido, as fibras ópticas não sofrem as interferências magnéticas comuns aos fios metálicos.

### **Vantagens da utilização da fibra óptica**

Em Virtude das suas características, as fibras ópticas apresentam bastantes vantagens sobre os sistemas eléctricos:

- Dimensões Reduzidas
- Capacidade para transportar grandes quantidades de informação ( Dezenas de milhares de conversações num par de Fibra);
- Atenuação muito baixa, que permite grandes espaçamentos entre repetidores, com distância entre repetidores superiores a algumas centenas de quilómetros.
- Imunidade às interferências electromagnéticas;
- Matéria-prima muito abundante;

### **Desvantagens da utilização da fibra óptica**

- Fragilidade das fibras ópticas: deve-se ter cuidado ao trabalhar com as fibras ópticas pois elas partem com facilidade.
- Dificuldade de ligações das fibras ópticas: por serem de pequeníssima dimensão, exigem procedimentos e dispositivos de alta precisão na realização de ligações e junções.
- Alto custo de instalação e manutenção.
- As interfaces de fibra óptica são mais caras do que as interfaces eléctricas.

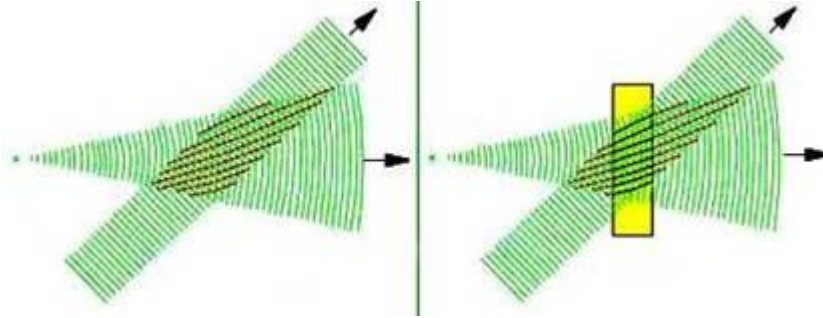
***Fontes : Espaço Internet de Guimarães e sala de física***

## LEITURA COMPLEMENTAR II

### Holograma

Os hologramas são imagens em três dimensões, como os coloridos emblemas de segurança nos cartões de crédito e nas embalagens de CD.

Tal como a fotografia, a holografia é uma técnica para registrar em filme a informação relativa a um objeto ou cena. Entretanto, os mecanismos básicos utilizados, bem como a natureza das imagens produzidas, diferem bastante de uma para outra. A fotografia comum produz uma representação bidimensional do objeto, na qual a profundidade da cena termina no plano de impressão. A holografia, ao contrário, capta a informação em três dimensões: inclui a profundidade.

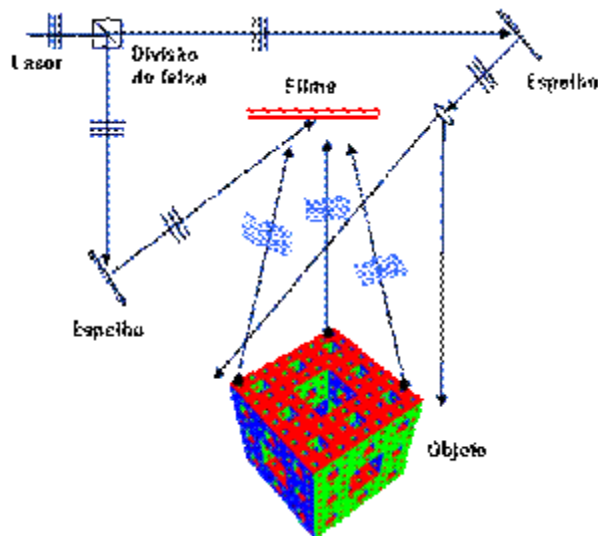


Para compreender a diferença entre a fotografia comum e este processo, é importante considerar primeiramente a natureza da luz. A luz visível é um tipo de radiação e, como tal, atravessa o espaço na forma de ondas eletromagnéticas. A distância entre as sucessivas cristas dessas ondas é denominada comprimento de onda, e o número de cristas por segundo que passam por um ponto chama-se frequência. Como a velocidade de propagação da luz é constante, frequências mais altas equivalem a comprimentos de onda mais curtos.

As fontes de luz usadas nas fotografias convencionais (a luz do sol e a iluminação artificial, por exemplo) emitem radiação com uma ampla gama de frequências, visto que a luz branca abrange as frequências do ultravioleta até o infravermelho. Para se registrar a informação acerca da profundidade da cena é necessário que a fonte de luz seja monocromática (tenha frequência única) e coerente, isto é, que as cristas de todas as ondas caminhem juntas (em fase).

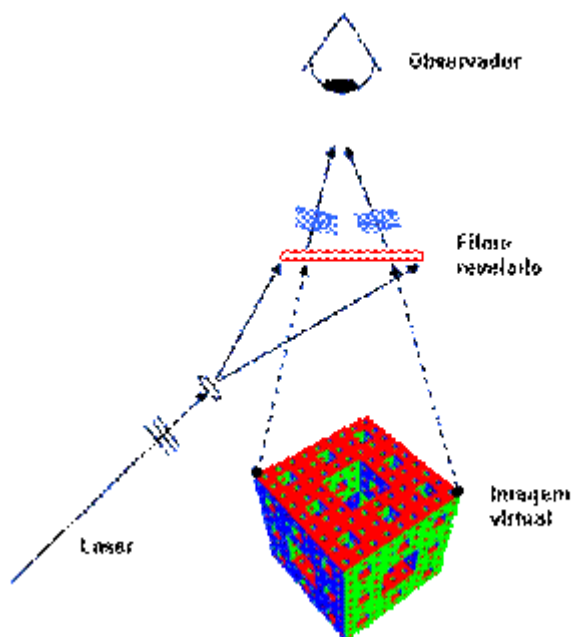
Por isso, embora a holografia tenha sido idealizada em 1947, a demonstração prática de seus efeitos só se tornou possível a partir da década de 60, com o desenvolvimento da tecnologia do laser, que emite raios luminosos coerentes e monocromáticos.





Quando duas ondas chegam a um determinado ponto em fase, isto é, quando as cristas de ambas coincidem, suas energias atuam em conjunto, reforçando a intensidade ou amplitude da luz. Este processo é chamado interferência construtiva. Por outro lado, se a crista de uma onda coincide com a posição mínima - ou ventre do ciclo - de outra, ou seja, se as cristas de ambas chegam fora de fase, obtém-se uma redução de intensidade: ocorre uma interferência destrutiva.

Como o raio laser é monocromático e coerente, os detalhes relativos à profundidade de uma cena iluminada por um feixe deste tipo estão contidos nos relacionamentos das fases das ondas que chegam à chapa de registro holográfico. Uma onda vinda de uma parte mais distante da cena chega "retardada" com relação às ondas provenientes dos pontos mais próximos. É o registro desta informação que permite a reconstrução óptica do objeto em três dimensões. Para registrar esta informação é necessário um feixe de referência, com o qual se possam comparar os relacionamentos físicos do feixe luminoso refletido pelo objeto. Para tanto separa-se o feixe de laser em dois: um dirigido para a cena, a partir do qual se forma o feixe refletido (feixe objeto); o outro (feixe de referência) é apontado diretamente para a placa de registro. No ponto em que os dois se encontram, a chapa, ocorre o fenômeno da interferência.



O holograma é usualmente revelado numa chapa transparente. Para reconstruir a imagem da cena original, esta transparência precisa ser iluminada com um feixe de luz coerente,

semelhante ao utilizado como feixe de referência no registro. À medida que passa através da chapa transparente do holograma, o feixe de laser de reconstrução é modulado (modificado), de acordo com a amplitude e fase, assemelhando-se desta forma ao feixe objeto original. Forma-se então uma imagem virtual do objeto que, para o observador, parece estar situada atrás do holograma. Existe também uma imagem real, formada do mesmo lado em que se coloca o observador, e que não pode ser vista por tratar-se de uma imagem focalizada. Contudo, ela poderá ser observada se uma tela for colocada na área focal. Como a cor depende da frequência da luz, qualquer holograma produzido com um único laser dará na reconstrução imagens de uma única cor. Entretanto, com a utilização de três raios laser de frequências diferentes (correspondentes às três cores primárias - vermelho, verde e azul), é possível registrar e reconstruir uma cena com todas as cores.

### **Aplicações da holografia**

A holografia é muito usada na pesquisa científica e nos testes. Os selos holográficos são uma medida de segurança, porque é muito difícil falsificá-los.

Outras aplicações testes de aviação, que projetam instrumentos no campo de visão do piloto, e leitores de barra, em lojas.

A holografia também foi desenvolvida como forma de arte. Os hologramas são encontrados em galerias e museus de todo o mundo. Sua produção em grande quantidade é de baixo custo, o que os viabiliza como itens promocionais ou de presentes.

***Autoria: Maurício Dallastra***

## LEITURA COMPLEMENTAR III

### Como se forma o arco-íris

*A luz solar incide nas gotas de chuva, e as cores que formam a luz solar refratam-se, formando o arco-íris. Saiba os detalhes na explicação abaixo.*

O cientista Isaac Newton provou que a luz branca ao transpassar um prisma de cristal se divide em vários feixes coloridos sendo sete bem visíveis: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta. Provou ainda que colocando outro prisma invertido esse feixe colorido reflete a luz branca novamente. Com isso ele pôde provar que a luz branca é formada com a soma de todas as cores. Esse feixe colorido foi denominado de "Espectro da Luz Solar". Veja na figura abaixo (*Figura 1*).



*Figura 1 : luz refratada por prisma*

A luz do Sol é também conhecida por luz branca. Quando esta luz incide em uma substância mais densa que o ar, a água, por exemplo, as várias cores, citadas acima, se separam. Isto ocorre no arco-íris. A luz solar refrata-se nas gotas de chuva presentes na atmosfera, causando um desvio das diferentes cores, e formando um enorme espectro no céu.

Ao sair do prisma, os ângulos das diferentes componentes do espectro com a direção do raio de sol são diferentes. Ocorrendo o mesmo fenômeno dentro das gotas de água, formam-se arco-íris.

Pode-se observar também que ele ocorre sempre na direção oposta ao Sol, o que indica uma reflexão da luz solar nas gotículas de chuva.

A reflexão na parte externa das gotas não tem efeito, já que a luz se espalha igualmente em todas as direções. O que realmente ocasiona o arco-íris é a reflexão na parte interna da gota de chuva.

É como se cada gotícula agisse como o prisma de Newton.

Concluindo, a partir da descoberta de Newton, pode-se dizer que o arco-íris é um fenômeno natural que aparece devido à dispersão da luz solar quando é refratada nas gotículas de chuva presentes na atmosfera.

Poderia-se até imaginar que após esse processo de reflexão e refração no interior da gota de chuva, os raios emergentes se espalhariam em um intervalo semelhante, não se observando nenhum arco-íris. Porém, quando se observa o traçado de vários raios luminosos, observa-se que quase toda a luz que re-emerge, após uma reflexão, sai formando um ângulo de  $42^\circ$ , em relação à direção do Sol.

Curiosidades:

O que poderíamos imaginar é que todas as gotas de água no céu formariam arco-íris, no entanto isto não ocorre, pois somente as gotas que ocupam determinadas posições na atmosfera podem intervir na formação do arco-íris, já que o ângulo da luz proveniente do sol tem que ser de aproximadamente  $42^\circ$ . É por este motivo que o arco-íris tem essa forma geométrica. Vale lembrar, que se o observador estiver acima da superfície terrestre, de modo que haja gotas também na parte de baixo do observador, pode-se observar um arco-íris em

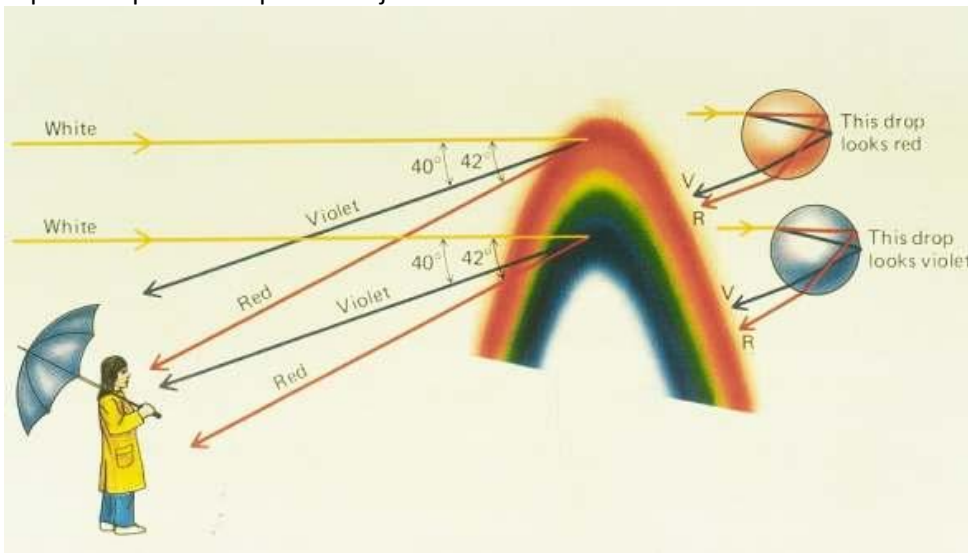
forma de uma circunferência. Quanto mais alto o Sol estiver, menor a parte visível do arco. Se o Sol estiver mais alto que  $42^\circ$ , o arco não é visto, pois fica abaixo do horizonte. Outro aspecto importante é a formação do arco-íris secundário que é exterior ao primário e tem a seqüência de cores na ordem inversa do arco-íris primário. Este arco-íris é produzido pela luz que refletiu duas vezes dentro da gota de chuva, antes de emergir, conforme ilustra a foto 1. Há inclusive outros arcos formados pela luz que se reflete três ou quatro vezes no interior da gota. Porém, como isso acontece com uma pequena parcela da luz, esses arcos apresentam baixa intensidade, sendo por este motivo observados muito raramente.



Foto 1 : Arco - íris e Arco-íris secundário

Como o arco, é formado pelo desvio e dispersão da luz do Sol em um número enorme de gotas, só algumas dessas gotas desviam a luz na direção de seus olhos. Outra pessoa a seu lado verá a luz desviada por outras gotas diferentes, isto é, verá outro arco-íris. Cada um vê seu arco-íris particular e cada um está no vértice de seu próprio arco-íris.

Qual é a distância do arco-íris até você? Qualquer uma, pois qualquer gota situada nas laterais do cone que tem seu olho no vértice pode contribuir para seu arco-íris. As gotas podem estar até bem perto de você, como acontece quando você vê um arco-íris formado pela água espalhada por um dispersor de jardim.

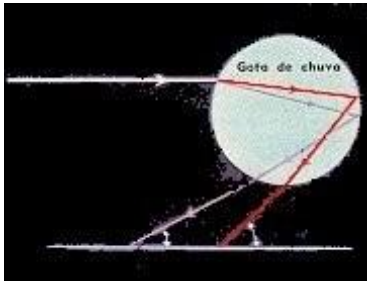


Exemplos:

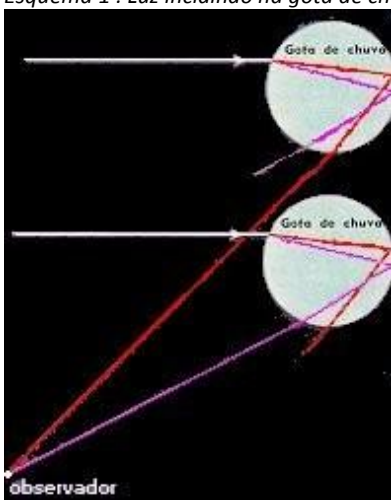
Tomemos como exemplo um raio de luz do sol incidindo sobre uma gota de água que está na nuvem. Esse raio se dispersa em suas cores componentes e cada componente se desvia em um ângulo diferente, mostrando assim, diferentes cores, que formam a luz visível, e estas são as mesmas existentes no arco-íris. Veja o esquema (*Esquema 1*) na seção ao lado Figuras.

Considerando as componentes vermelho e violeta. A componente violeta se desvia mais que a vermelha. Ao encontrar-se com a superfície interna do prisma uma parte do raio de luz sai, mas outra parte se reflete e continua no prisma até atingir de novo a outra superfície, e desviando-se novamente. Essa luz chega aos olhos humanos.

Com o Sol bem baixo no horizonte, como já vimos no texto acima, o ângulo entre o arco e a horizontal é  $42^\circ$  aproximadamente, um pouco maior para o vermelho e um pouco menor para o violeta. É claro que essa condição é satisfeita para todos os pontos em um cone com vértice no olho do observador e semi-ângulo igual a  $42^\circ$ . Essa é a razão pela qual vemos um arco.



Esquema 1 : Luz incidindo na gota de chuva.



Esquema 2: luz violeta e vermelha observadas ao sair da gota.

**Escrito por Bárbara Gaspar e Nina Valentini**