Física IV para a Escola Politécnica (Engenharia Elétrica)

4320293 – TURMA 3

Professor: Dr. Marcos A. G. Alvarez

Departamento de Física Nuclear (DFN) – IFUSP

Edifício Oscar Sala – (sala 246)

Escaninho 22

malvarez@if.usp.br

Coordenador: Dr. Alvaro Vannucci

vannucci@if.usp.br

LIVRO: Princípios de Física (Óptica e Física Moderna)

Raymond A. Serway / John W. Jewett Jr.

Volume 4

❑ Problemas com a matrícula devido à nota de Cáculo III

De momento não há problemas por parte da equipe do curso de Física IV.
De nossa parte os alunos podem cursar a disciplina normalmente.

❑ Dispensa de laboratório:

Aluno que cursou a disciplina em anos anteriores pode solicitar dispensa em uma ou mais experiências em que obteve conceito integral.

Para isso **entrar em contato com o Professor Alvaro Vannucci** (coordenador da disciplina) enviando um e-mail à direção:

vannucci@if.usp.br

LISTA DE EXERCÍCIOS – CAPÍTULO 25

- ❑ **Q25.4, Q25.12, Q25.13, Q25.14, Q25.15, Q25.16**
- ❑ **25.20, 25.21, 25.33, 25.35, 25.42, 25.43, 25.52**

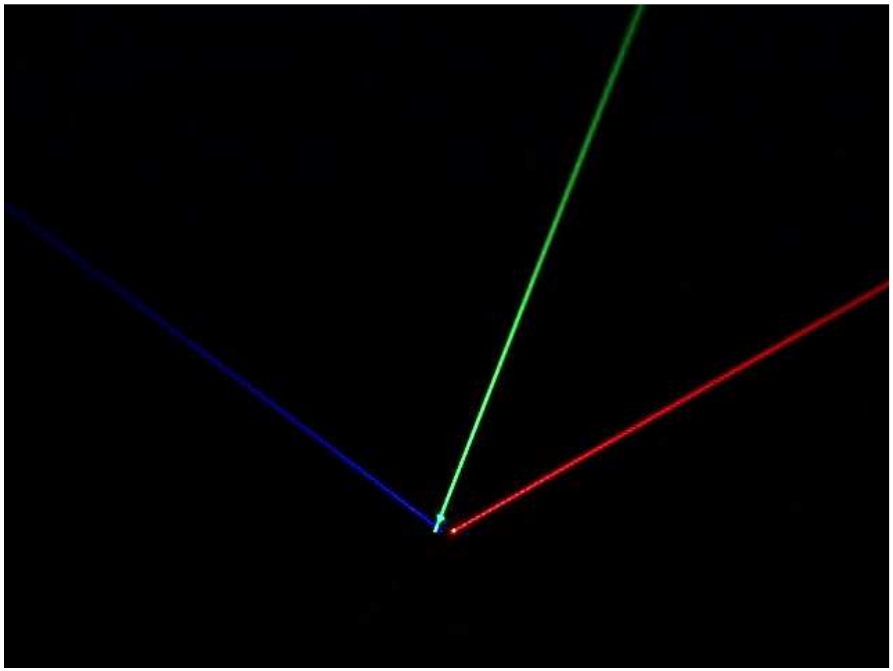
❑ **Q25.4** Enquanto a luz se propaga do vácuo (n=1) para um meio como o vidro (n>1), o comprimento de onda da luz se altera? A frequência se altera? A velocidade se altera? Explique.

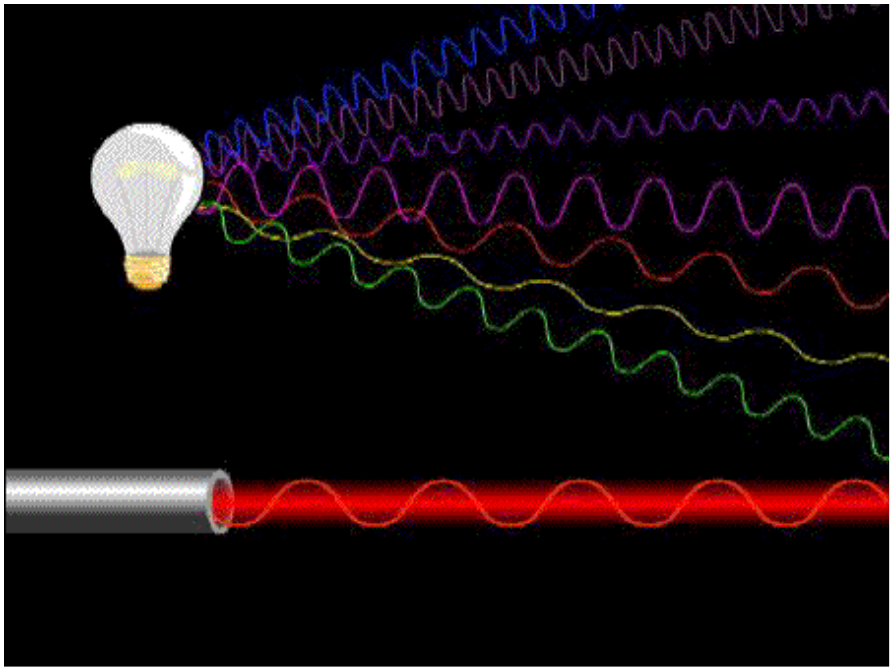
CAPÍTULO 25: OBJETIVOS

- ❑ APROXIMAÇÃO RETILÍNEA (ONDA ELETROMAGNÉTICA)
- ❑ REFLEXÃO e REFRAÇÃO
- ❑ ÍNDICE DE REFRAÇÃO
- ❑ DISPERSÃO
- ❑ LEI DA REFLEXÃO
- ❑ LEI DA REFRAÇÃO ou LEI DE SNELL
- ❑ REFLEXÃO INTERNA TOTAL
- ❑ ÂNGULO CRÍTICO
- ❑ FIBRA ÓTICA
- ❑ PRINCÍPIO DE HUYGENS

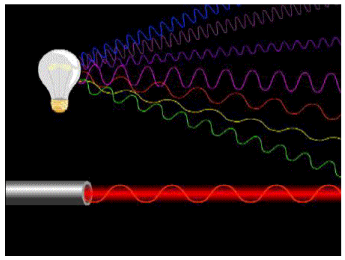
CAPÍTULO 25: OBJETIVOS

- ❑ APROXIMAÇÃO RETILÍNEA (ONDA ELETROMAGNÉTICA)
- ❑ REFLEXÃO e REFRAÇÃO
- ❑ ÍNDICE DE REFRAÇÃO
- ❑ DISPERSÃO
- ❑ LEI DA REFLEXÃO
- ❑ LEI DA REFRAÇÃO ou LEI DE SNELL





Considerando uma **onda plana propagando-se para a direita**.



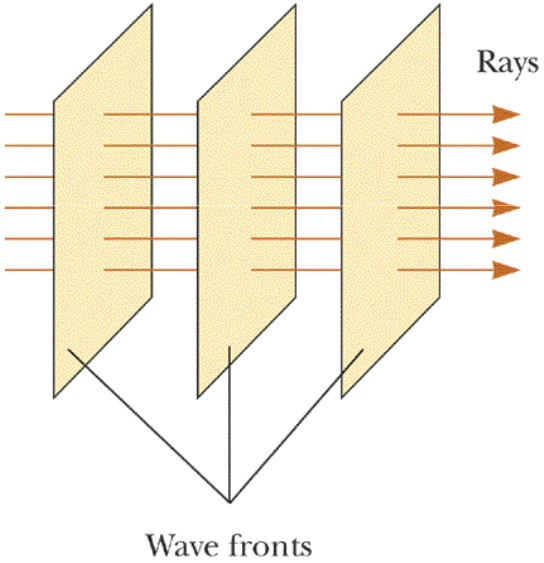
os **raios** sempre apontam na direção do movimento da onda e são representados por **linhas retas perpendiculares às frentes de onda**

Esta **aproximação retilínea** para o movimento de uma onda envolve modelos geométricos baseados no **movimento em linha reta**.

Os fenômenos explicados com a aproximação retilínea **não dependem da natureza ondulatória da luz**, à exceção de sua propagação ao longo de uma linha reta

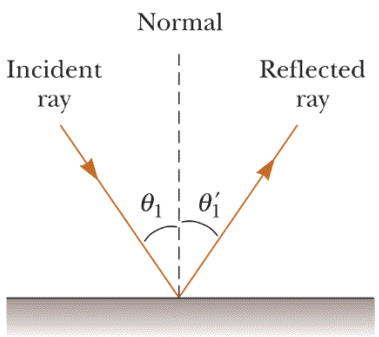
Ótica geométrica

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.1



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.5

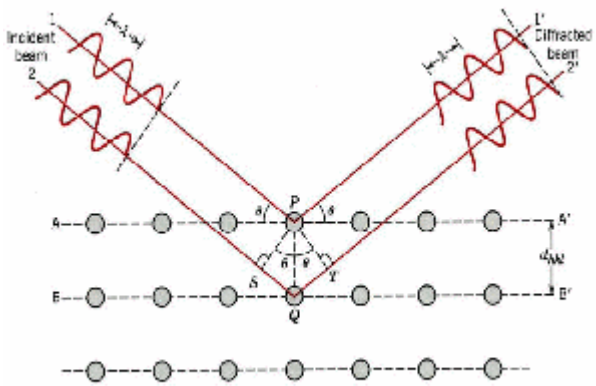


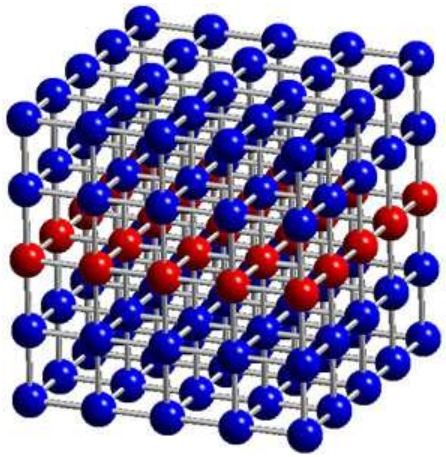
Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Em **ótica geométrica** utilizamos **aproximação retilínea**, na qual supomos que uma onda se propaga através de um meio em **linhas retas** na direção dos raios dessa onda.

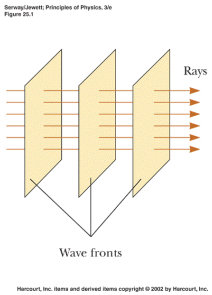
Estudo dos processos de interação

Aproximação retilínea se trata de uma boa aproximação desde que o **comprimento de onda (λ)** seja **pequeno** em comparação com as dimensões de qualquer **abertura** sobre a qual esta onda incida.

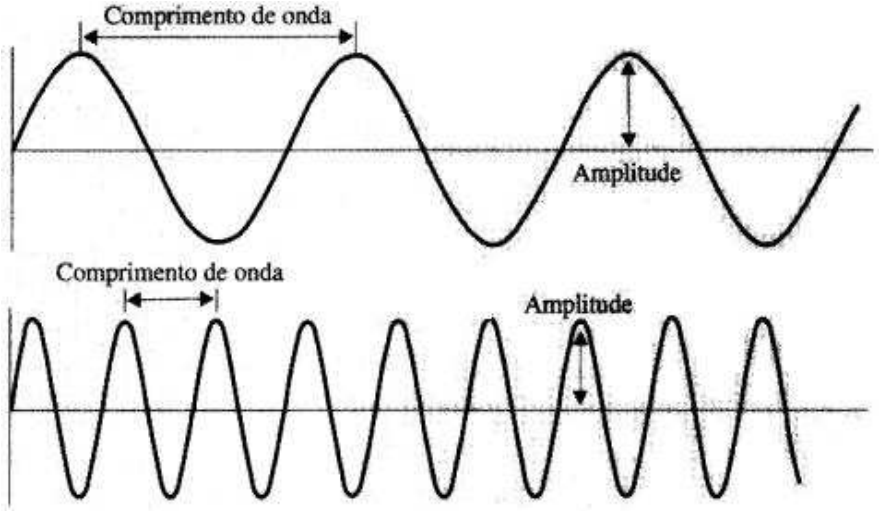


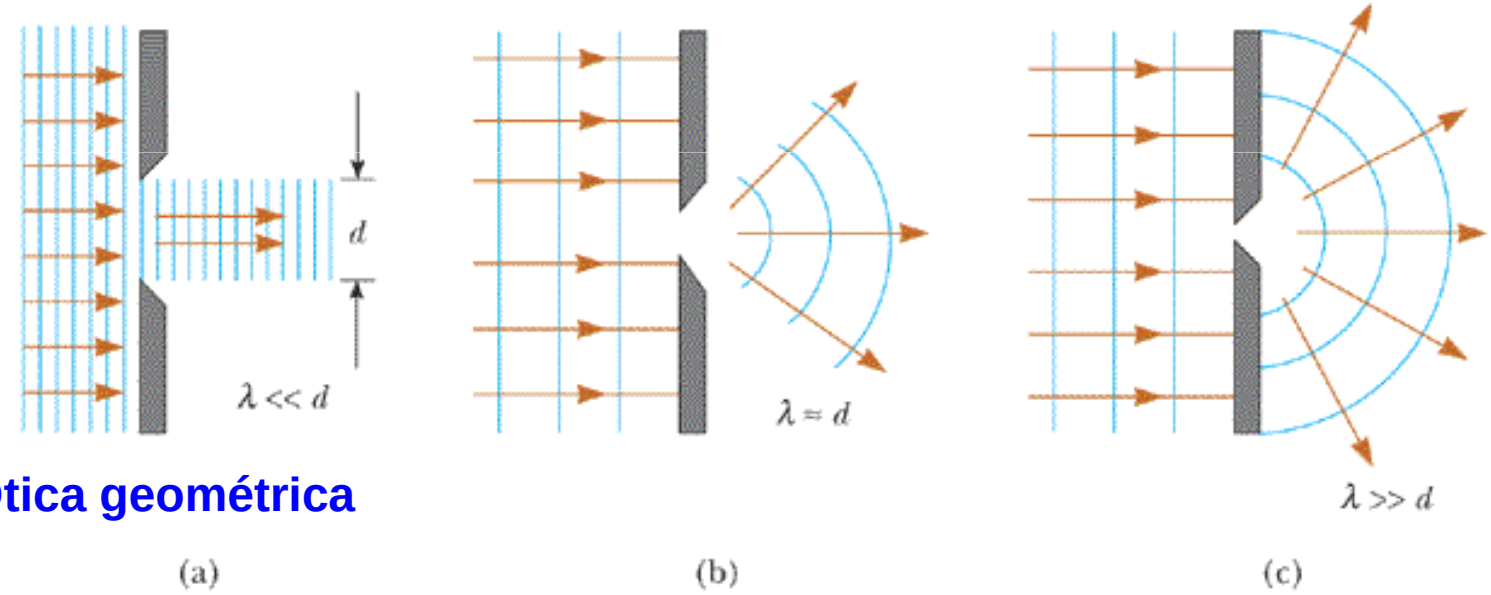


A onda incide, reflete, atravessa, refrata, dispersa, difrata em (através de) aberturas (resultado da composição química - estruturas cristalinas) do meio



Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.2





Ótica geométrica

Ótica ondulatória

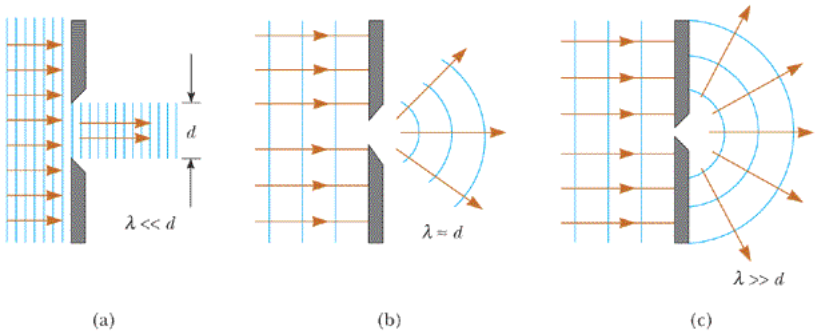
PRINCÍPIO DE HUYGENS

Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Se uma **onda plana** encontrar uma barreira que contém uma abertura (fenda), podem ocorrer distintos **fenômenos**, dependendo do diâmetro da abertura (d) e do comprimento da onda λ. Estes fenômenos podem ser tratados por **ótica geométrica** e/ou **ótica ondulatória**

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.2

Ótica geométrica



Ótica ondulatória

Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

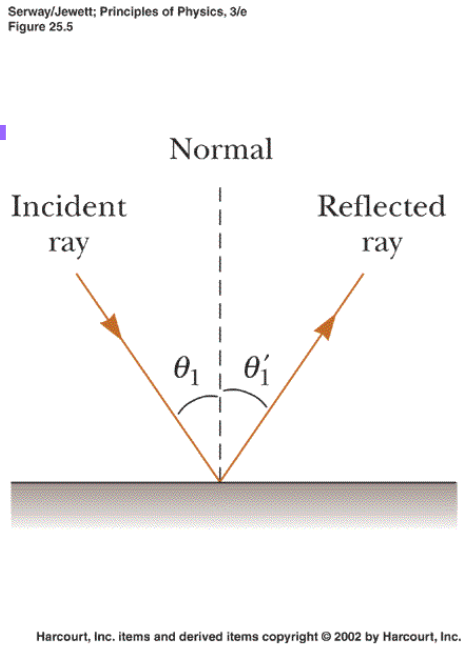
Se d>> λ as ondas continuam a deslocar-se em uma linha reta (exceto por alguns pequenos efeitos de borda). Portanto a **aproximação retilínea** é válida.

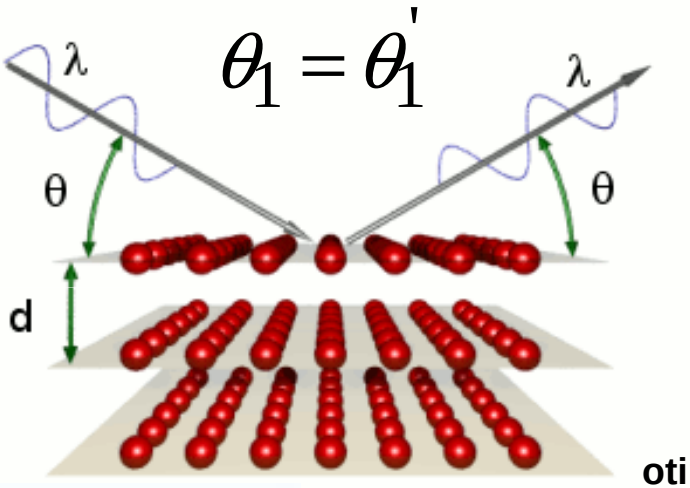
Se d~ λ as ondas (e os raios traçados) **espalham-se para fora da abertura** em todas as direções. Dizemos que a onda plana sofre uma **difração** ao atravessar a abertura.

Se d<< λ a **difração** é tão intensa que a abertura pode ser tratada como uma **fonte puntiforme de ondas (efeito parecido ao obtido atirando uma pedra na água)**

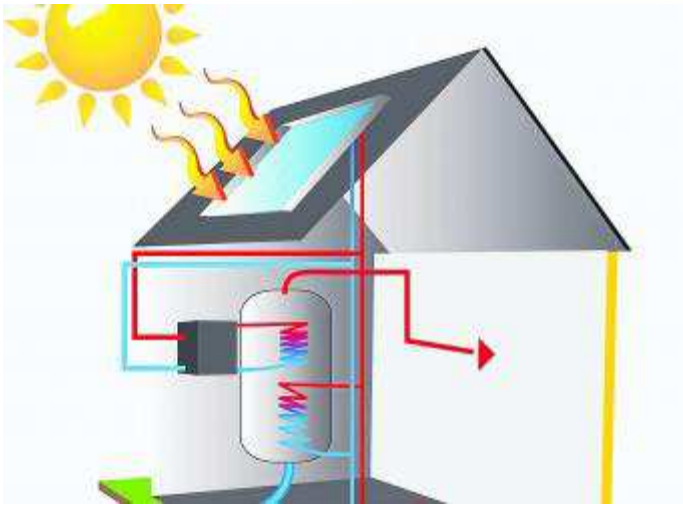
A LEI DA REFLEXÃO:

Parte de uma **onda que incide sobre uma superfície** é **refletida dessa superfície** de modo que o **ângulo de reflexão seja igual ao ângulo de incidência.**





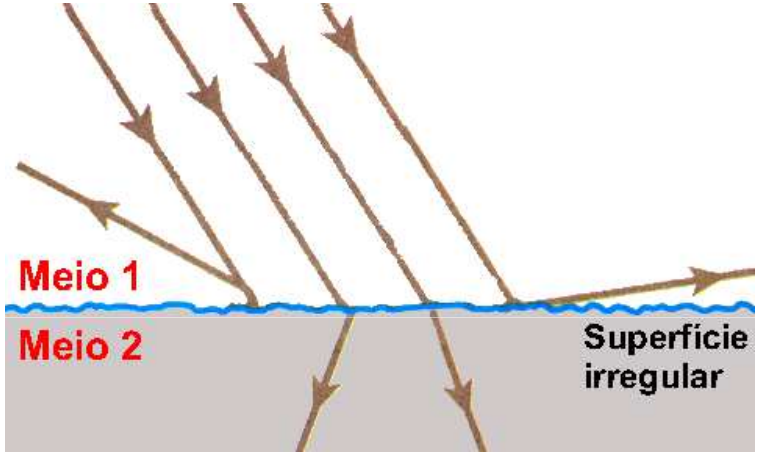
Evitar reflexão



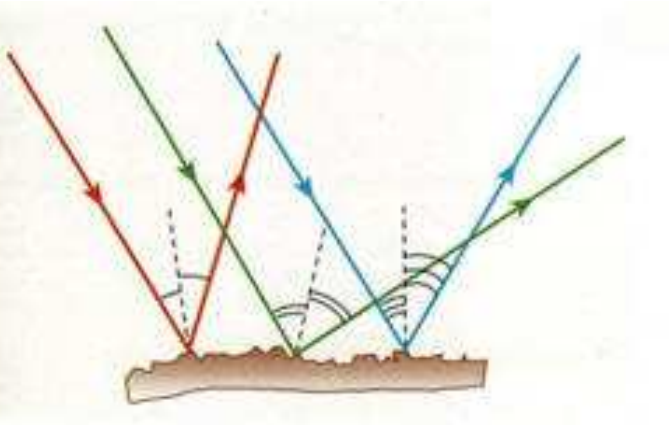
otimizar reflexão – refração (iluminação e calor)

REFLEXÃO DIFUSA

é o termo utilizado para definir **dispersão** através de **superfícies ásperas**
o ângulo de incidência também é igual ao ângulo de reflexão **com respeito à normal local**



Ótica geométrica

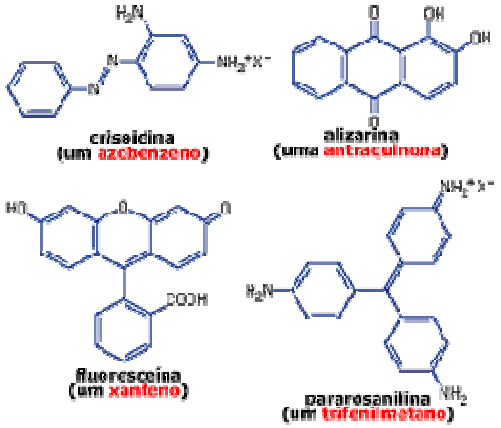


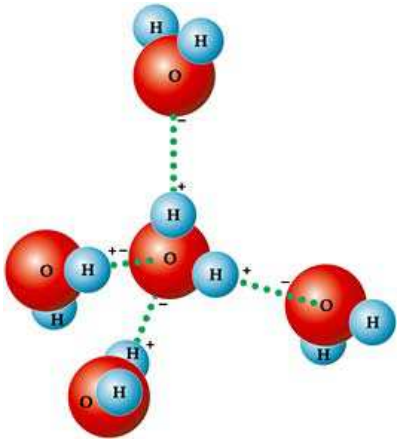
Uma classificação dos **filtros solares** é dada por filtros de efeito químico (orgânico) (**filtros químicos** – que envolvem uma **reação química** na **interação**) e filtros de efeito físico – (inorgânicos) ou (**filtros físicos**).

Tal classificação apresenta apenas um caráter comercial.

Nesta classificação, os **processos de absorção e reflexão** de radiação eletromagnética são considerados fenômenos físicos desde que não haja uma **reação química**.

A classificação de **filtros orgânicos e inorgânicos** é mais consistente. Nos filtros orgânicos temos a presença de compostos orgânicos (C e H).

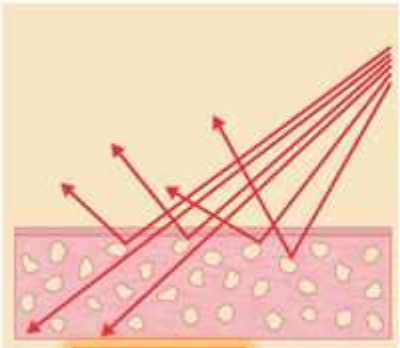




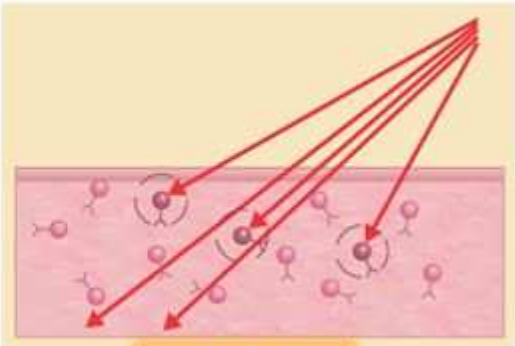
Composição Química da Célula

Inorgânicos	Orgânicos
• Água • Sais Minerais	• Carboidratos • Lipídios • Proteínas

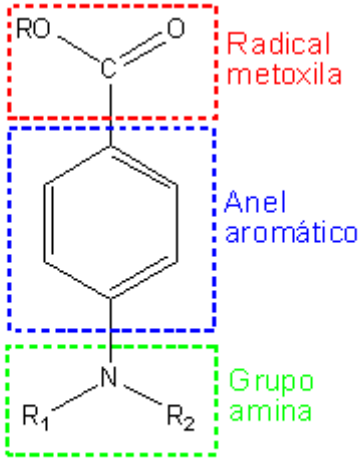
e nos inorgânicos temos a presença de óxidos metálicos.



Filtro físico



Filtro químico



Representação esquemática de uma molécula de filtro solar

A onda incide, reflete, atravessa, refrata, dispersa, difrata em (através de) aberturas (resultado da composição química - estruturas cristalinas) do meio

Narrow Bandwidth Tele-Vision (NBTV):

Narrow: estreita

Bandwidth: largura de banda (faixa de frequências):
diferença entre a frequência mais alta e a mais baixa em um conjunto de frequências contínuas (transmissão).

Para sinais analógicas é a variação **(faixa) de frequências onde se concentra a maior parte da potência de um sinal.**

Narrow Bandwidth Tele-Vision (NBTV): é um tipo de tele-visão (sistema de imagem) desenhado para se ajustar a bandas (faixas) estreitas de frequência (KHz).

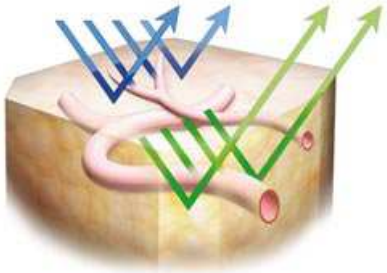
é o outro extremo do conceito de **"broadcast TV"** onde um canal se ajusta a uma faixa de frequência da ordem dos MHz.

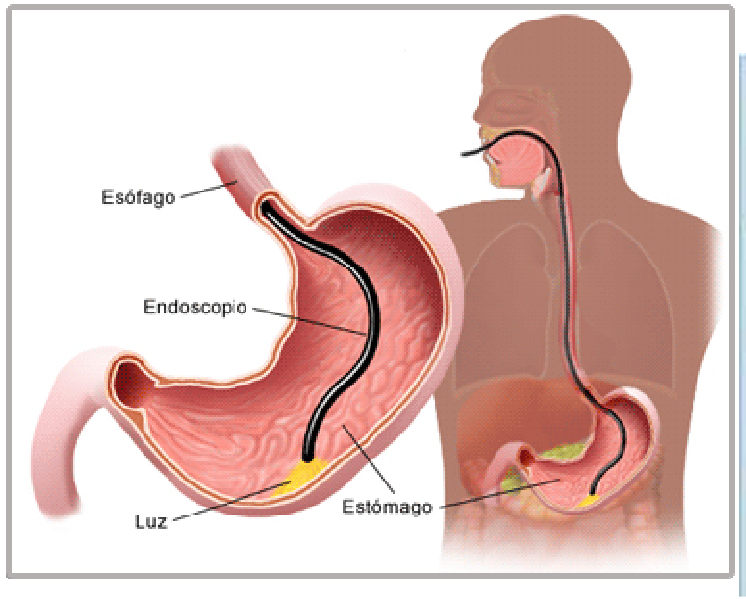
Endoscopia de alta resolução e banda estreita (HDTV)

BANDA ESTREITA: permite **filtrar a luz de cor vermelha**, deixando passar os raios de luz **azul** y **verde**. Esta modificação elimina o reflexo do sangue (vermelho) o que permite ver com maior detalhe a camada superficial (mucosa) do esôfago, estômago e intestinos, além dos vasos sanguíneos mais diminutos.

O resultado implica na **melhora da capacidade para diagnosticar doenças digestivas**, especialmente: **câncer de esôfago, de estômago e de cólo**.

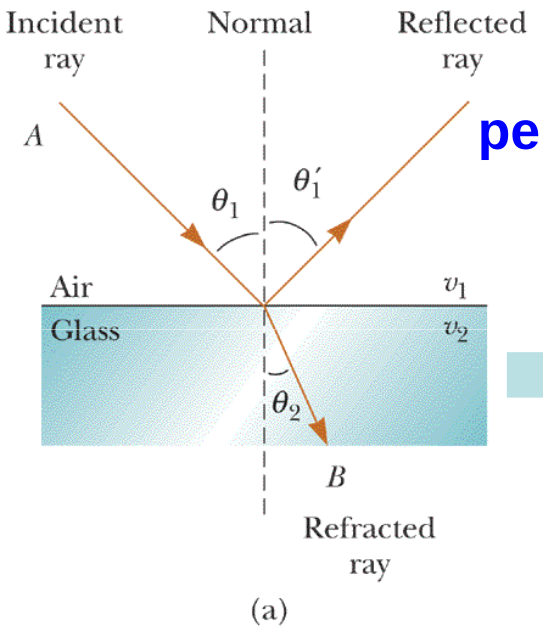
e diagnosticar doenças pré-cancerígenas das vías digestivas, como **pólipos planos de cólo** que podem trasformar-se em **câncer de cólo**.





Quando um **raio de luz que se propaga através de um meio transparente** incide obliquamente sobre uma interface dirigindo-se para outro meio **transparente** parte do raio é refletida e **parte do raio é transmitida para o segundo meio**.

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.8a

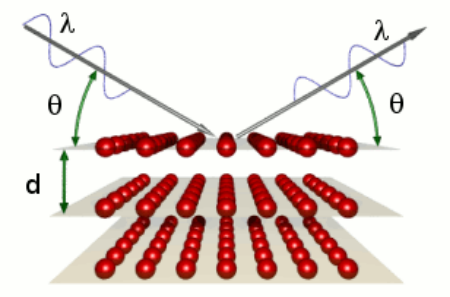


Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

permite a propagação – transmissão através do meio

O raio que penetra no segundo meio experimenta uma **mudança de direção na fronteira** chamada **refração**

A luz que passa de um meio para outro é **refratada** porque **a velocidade média da luz é diferente nos dois meios**



gickr.com

ÍNDICE DE REFRAÇÃO

De fato **a luz se propaga com sua velocidade máxima no vácuo** e o índice de refração “n” é definido como a razão:

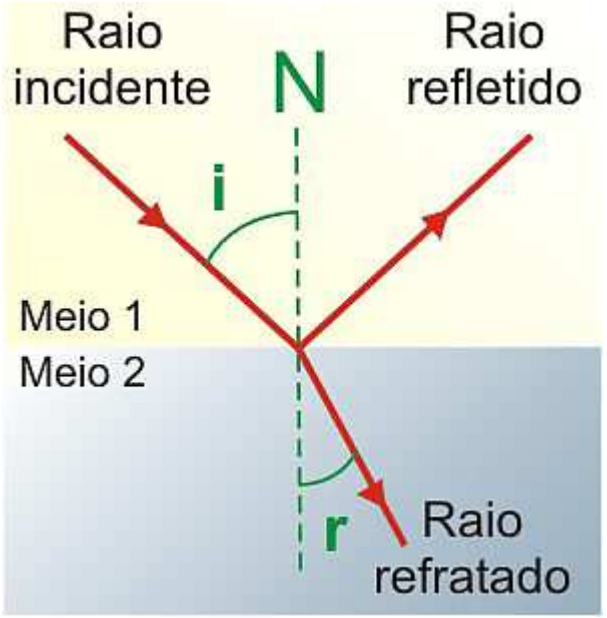
$$n \equiv \frac{\text{velocidade da luz no vácuo}}{\text{velocidade média da luz em um meio}} = \frac{c}{v}$$

Meio material	Índice de refração (n)
ar	1,00
água	1,33
vidro	1,50
glicerina	1,90
álcool etílico	1,36
diamante	2,42
acrílico	1,49

$$\downarrow v_{luz}^{meio} = \frac{c}{n_{meio}} \uparrow$$

Quando a luz passa de um **meio** transparente para outro sofre refração

com diminuição ou aumento da velocidade



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

onde n é o índice de refração

c é a velocidade da luz no vácuo: $3x10^8\ m/s$

v é a velocidade da luz no meio

O raio incidente, o raio refletido e o raio refratado encontram-se todos no mesmo plano.

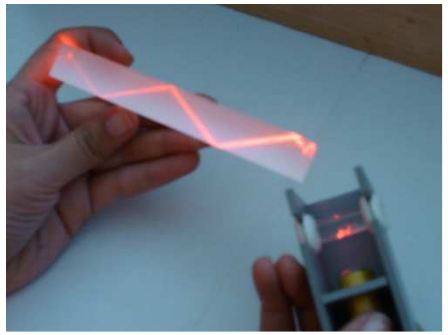
O ângulo de refração "r" depende das propriedades dos dois meios e do ângulo de incidência pela relação:

LEI DA REFRAÇÃO

LEI DE SNELL

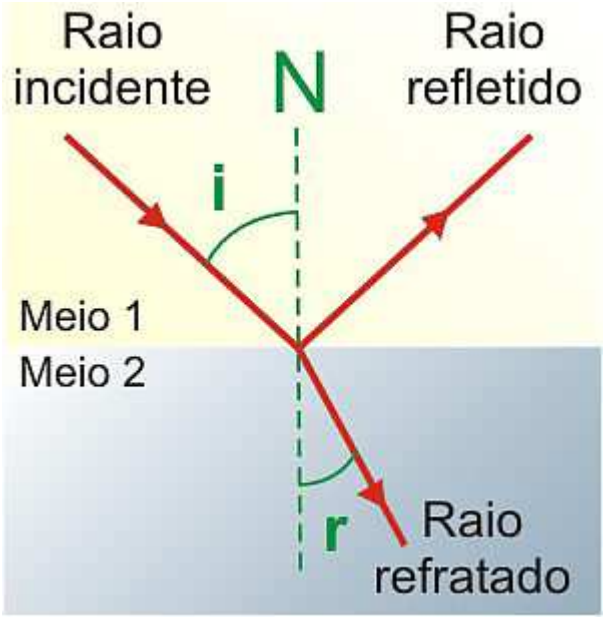
$$\downarrow \frac{sen(r)}{sen(i)} = \frac{v_2}{v_1 \uparrow} = cte$$

$$v_1 > v_2$$



Quando a luz passa de um **meio** transparente para outro sofre refração

com diminuição ou aumento da velocidade



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

onde n é o índice de refração

c é a velocidade da luz no vácuo: $3x10^8\ m/s$

v é a velocidade da luz no meio

O raio incidente, o raio refletido e o raio refratado encontram-se todos no mesmo plano.

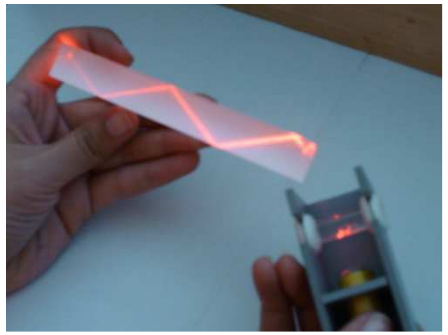
O ângulo de refração "r" depende das propriedades dos dois meios e do ângulo de incidência pela relação:

LEI DA REFRAÇÃO

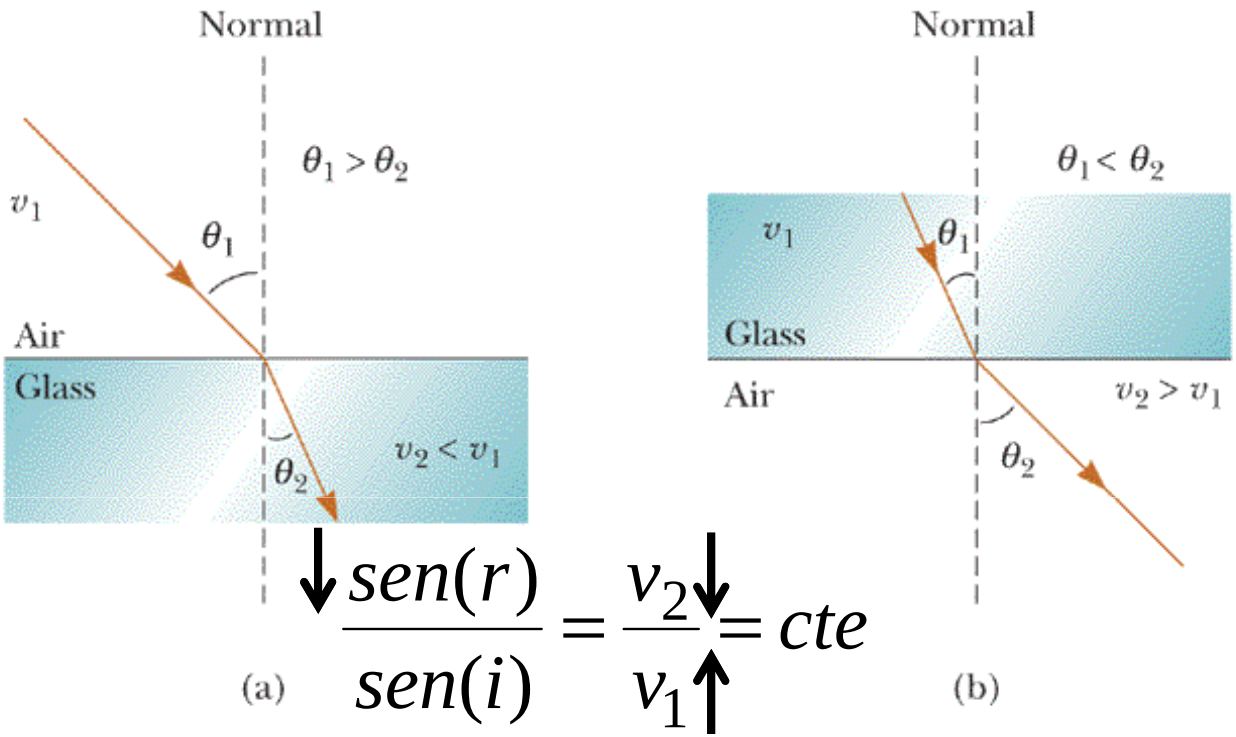
LEI DE SNELL

$$\frac{\uparrow sen(r)}{sen(i)} = \frac{v_2}{v_1\downarrow} = cte$$

$$v_1 < v_2$$



Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.9



$$\frac{\uparrow sen(r)}{sen(i)} = \frac{v_2 \uparrow}{v_1 \downarrow} = cte$$

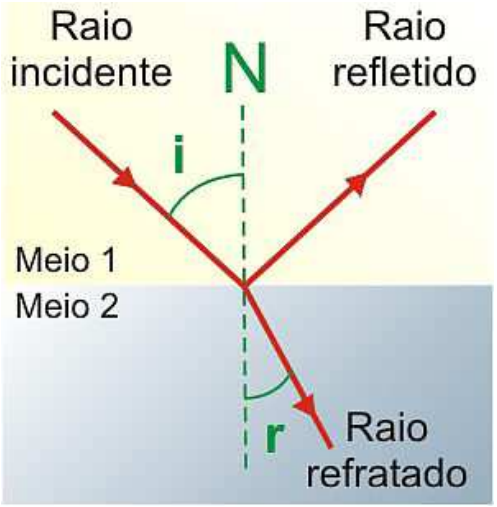
$$\frac{\downarrow sen(r)}{sen(i)} = \frac{v_2 \downarrow}{v_1 \uparrow} = cte$$

Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

(a) Quando o raio se propaga **do ar para o vidro** sua **trajetória se desvia em direção à normal (ângulo de refração diminui)**

(b) Quando o raio se propaga **do vidro para o ar** sua trajetória **se afasta da normal (ângulo de refração aumenta).**

$$\frac{sen(r)}{sen(i)} = \frac{sen(\theta_2)}{sen(\theta_1)} = \frac{v_2}{v_1} = cte \ (1)$$ **LEI DE SNELL**



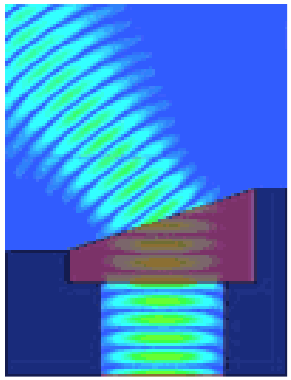
$$n \equiv \frac{\text{velocidade da luz no vácuo}}{\text{velocidade média da luz no meio}} = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} \ (2)$$

Combinando as expressões (1) e (2) temos:

$$\frac{sen(\theta_2)}{sen(\theta_1)} = \frac{v_2}{v_1} = cte = \frac{c/n_2}{c/n_1} \Rightarrow \frac{sen(\theta_2)}{sen(\theta_1)} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_1 sen(\theta_1) = n_2 sen(\theta_2)$$

$$\text{Lei de Snell:}$$

$$n_1 \, \text{sen}(\theta_1) = n_2 \, \text{sen}(\theta_2)$$

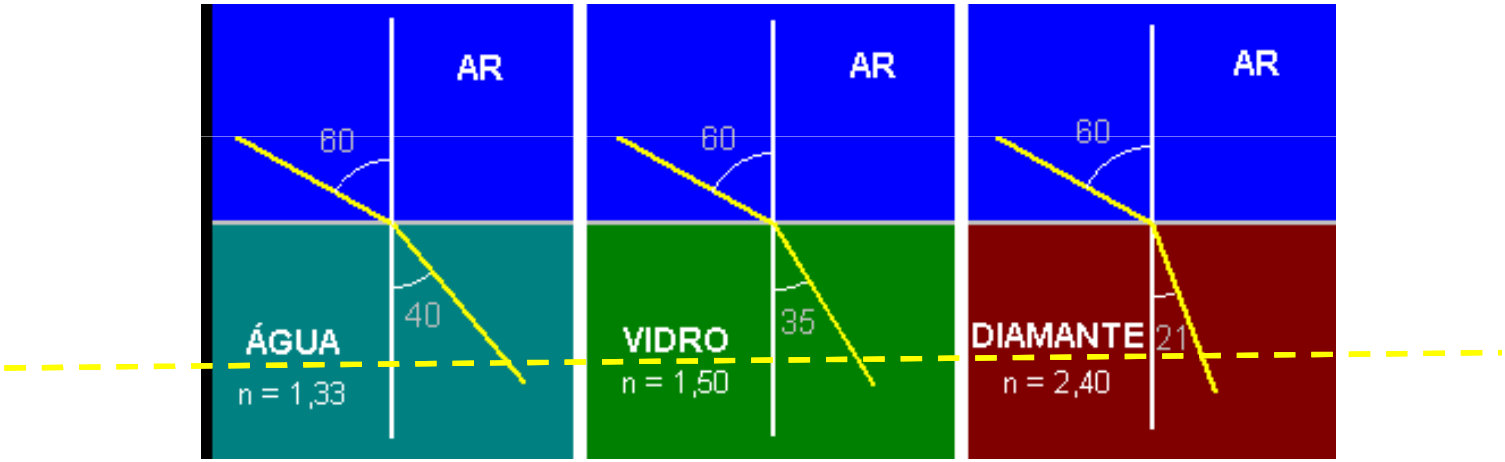


LIVRO: Exemplo 25.5 Derivando as Leis de Reflexão e Refração

Lei de Snell:

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

$$\downarrow \operatorname{sen}(\theta_2) = \frac{n_1}{n_2 \uparrow} \operatorname{sen}(\theta_1); \text{ se } n_1 = 1.0 \Rightarrow \uparrow n_2 = \frac{sen\,\theta_1}{sen\,\theta_2 \downarrow}$$

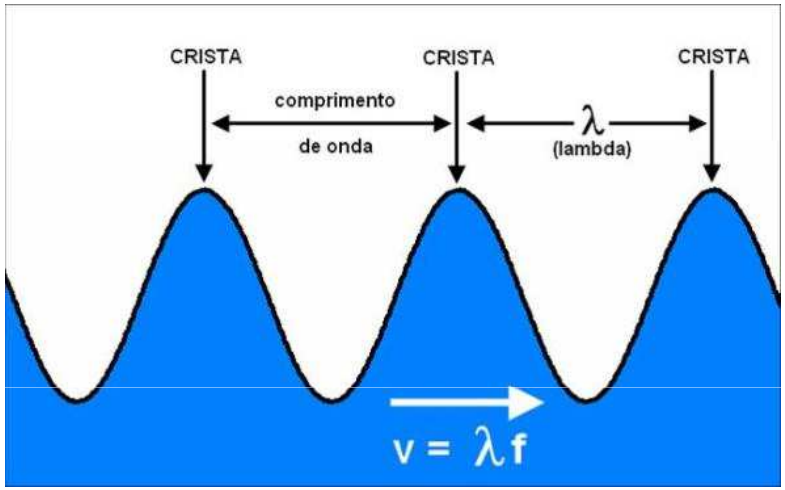


Quanto maior n_2, menor é o $sen\,\theta_2$ e portanto mais refratado é o raio incidente (para $n_2 > n_1$)

Os valores de índice de refração apresentados, representam uma aproximação para os valores reais

Como as **ondas eletromagnéticas** podem ser consideradas **ondas progressivas**, então, podemos adotar

a relação entre **velocidade da onda**, **comprimento de onda** e **frequência**:



$$v = \lambda \cdot f \text{ (em um meio)}$$

$$c = \lambda \cdot f \text{ (luz no vácuo)}$$

Quando uma onda passa de um meio para outro sua energia não muda e portanto sua frequência também não.

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \qquad v_{luz}^{meio} = \frac{c}{n} \Rightarrow v < c \quad \text{e} \quad \frac{v}{\lambda} = f$$

h é a constante de Planck

$$h = 6.63 \times 10^{-34}\, Js$$

Quando uma onda passa de um meio para outro sua frequência não muda

A relação: $v = f \cdot \lambda$ **tem que ser válida nos dois meios**

Assim considerando dois meios, com distintos índices de refração e **a luz propagando-se do meio 1 para o meio 2 temos**:

$$v = f \cdot \lambda \Rightarrow \text{onde } f \text{ é uma constante}$$

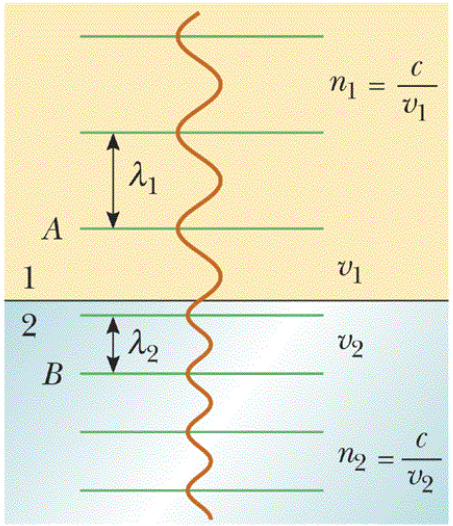
$$\begin{cases} v_1 = f \cdot \lambda_1 \\ v_2 = f \cdot \lambda_2 \end{cases}$$

$$\text{como } v_1 \neq v_2 \Rightarrow \lambda_1 \neq \lambda_2$$

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

Portanto ao mudar a velocidade da luz o comprimento de onda muda, mas a frequência não muda

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.11



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

❑ **Q25.4** Enquanto a luz se propaga do vácuo (n=1) para um meio como o vidro (n>1), o comprimento de onda da luz se altera? A frequência se altera? A velocidade se altera? Explique.

❑ **Respostas podem ser deduzidas da página anterior**

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

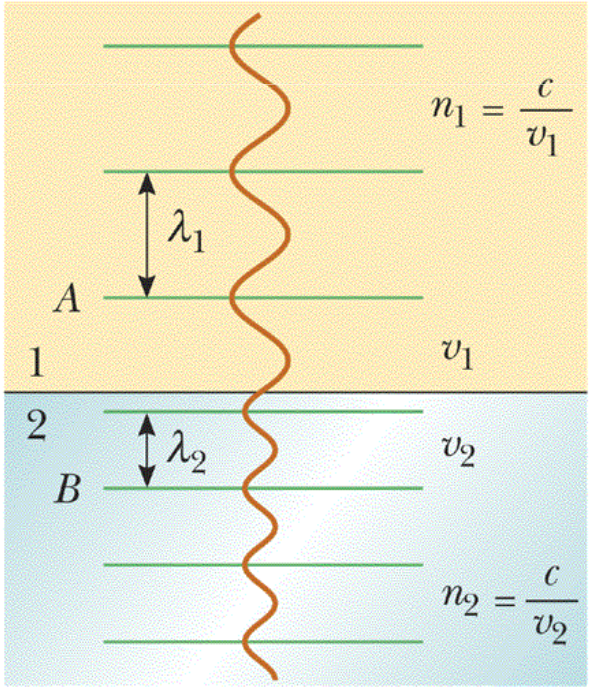
$$n > 1$$

$$n \equiv \frac{\text{velocidade da luz no vácuo}}{\text{velocidade média da luz no meio}} = \frac{c}{v} \Rightarrow n = \frac{c}{v} \Rightarrow$$

$$v_1 = \frac{c}{n_1} \quad \text{e} \quad v_2 = \frac{c}{n_2} \quad \div$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2$$

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.11



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

A partir da expressão: $\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2$ **quando a luz passa do ar a um meio**

o índice de refração de qualquer meio pode ser expresso como a razão

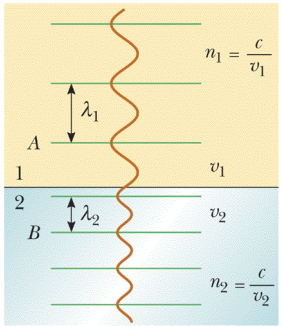
$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_2;\ (n_1 = 1.0) \Rightarrow \frac{n_2}{1.0} = n_2 (n_2 > 1) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$\lambda_1 \equiv$ é o comprimento de onda da luz no vácuo $(n_1 = 1.0)$ e

$\lambda_2 \equiv$ é o comprimento de onda no meio cujo índice de refração é "n_2"

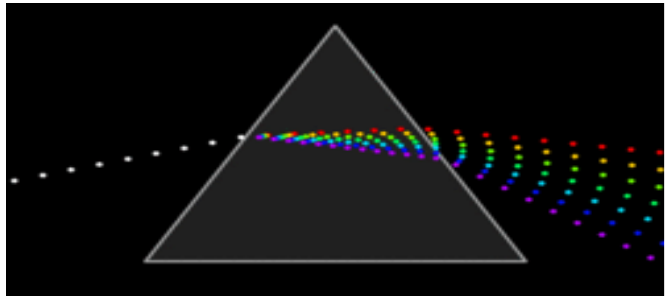
RESUMINDO: O índice de refração é uma função do comprimento de onda

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.11



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



A dependência do índice de refração "n" com "λ" que resulta da dependência da velocidade da onda "v" com "λ", é chamada **dispersão**

Conclusões:

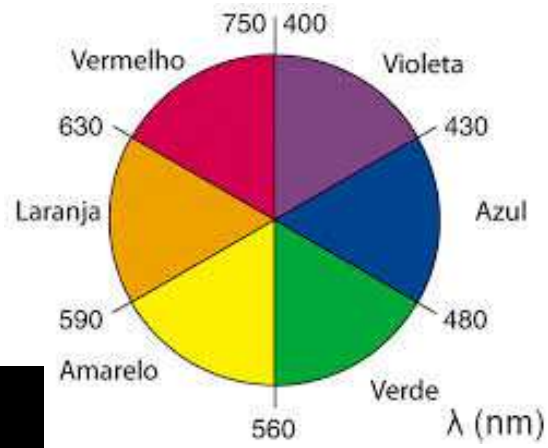
$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

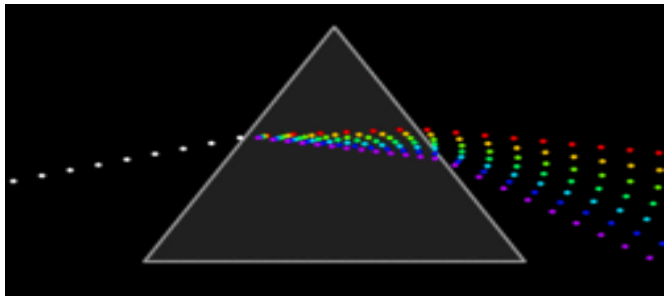
Em relação ao vácuo
a velocidade sempre diminui no meio,
portanto o comprimento de onda no meio diminui

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

ou

$$\downarrow n_2 = \frac{n_1 \lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \uparrow \text{(para } n_1 = 1.0\text{)}$$





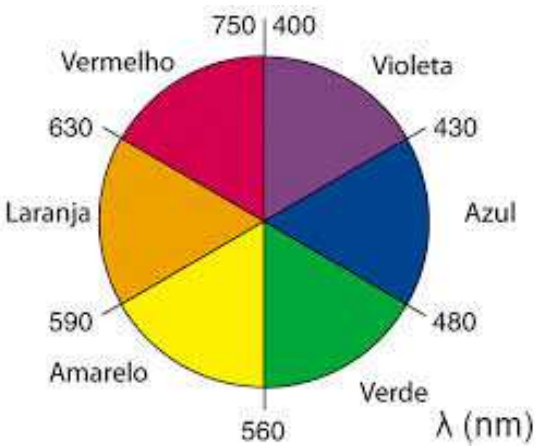
quanto maior for λ_2 menor será o índice de refração n_2

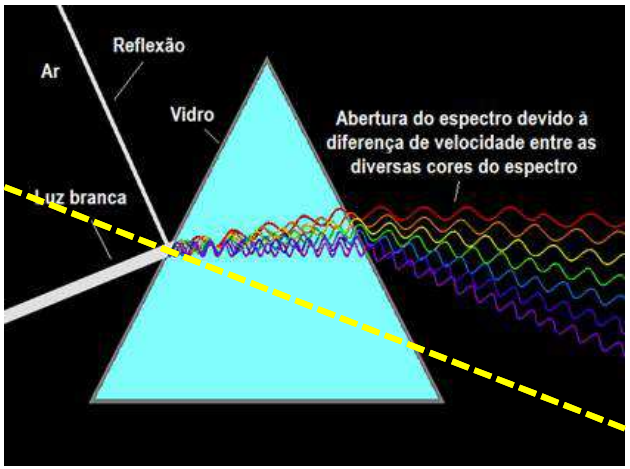
quanto maior o λ (menor f) menos refratado sai o raio

quanto menor o λ (maior f) mais refratado sai o raio

Cores diferentes são refratadas a **ângulos diferentes** porque **o índice de refração depende do comprimento de onda**.

$$\uparrow n_2 = \frac{n_1 \lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 \downarrow} (\text{para } n_1 = 1.0)$$

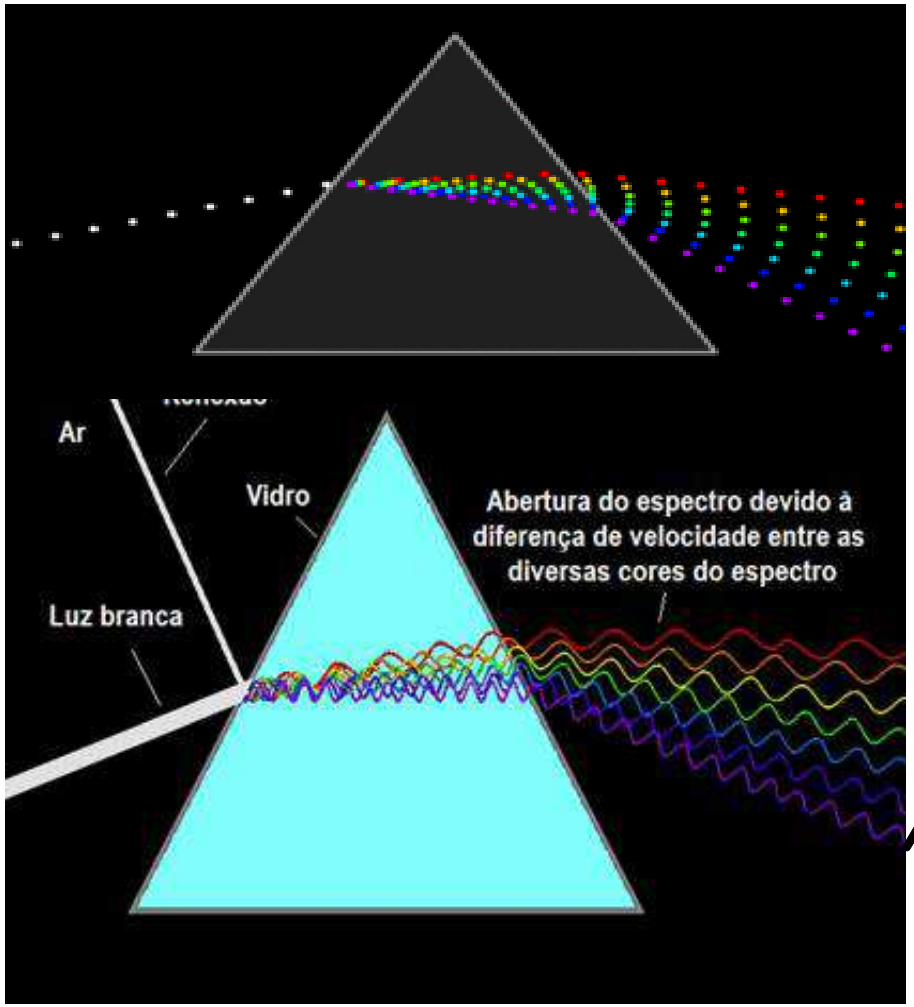




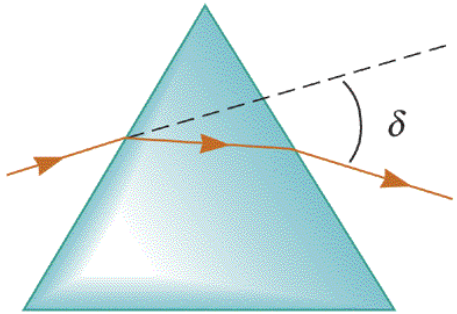
A luz violeta é a que mais se desvia e a luz vermelha é a que menos se desvia

Meios materiais têm **índices de refração maiores para as freqüências maiores**

Conseqüentemente numa refração da luz passando do vácuo para um meio material **as radiações de maior freqüência se aproximam mais da normal (desviam mais)**.



Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.14



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

$$n_2 = \frac{n_1 \lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \text{(para } n_1 = 1.0\text{)}$$

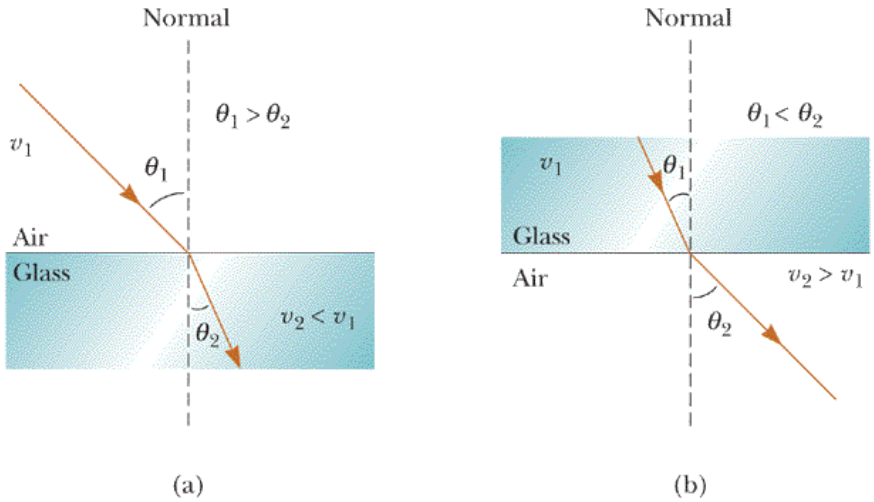
Em um **prisma** um raio de **luz de um único comprimento de onda (luz branca),** por causa da **dispersão**, as diferentes cores (comprimentos de onda) refratam em ângulos diferentes.

Esta série de cores refratadas em um prisma é conhecida como espectro visível

(a) Quando o raio se propaga do ar para o vidro sua trajetória **se <u>desvia em direção à normal</u>**

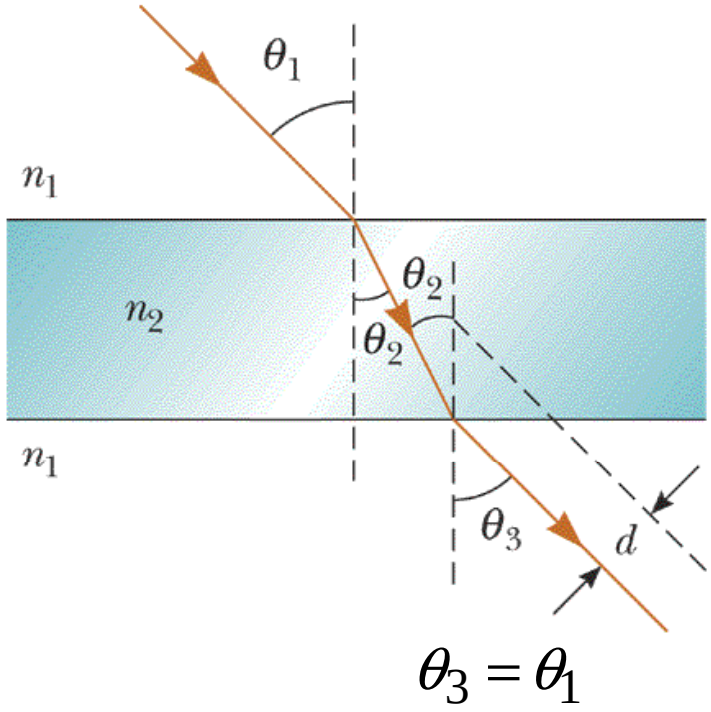
(b) Quando o raio se propaga do vidro para o ar sua trajetória **<u>se afasta da normal.</u>**

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.9



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.12



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

No processo de atravessar uma placa de acrílico, por exemplo

(a) Quando o raio se propaga do ar para a placa sua trajetória se desvia em direção à normal

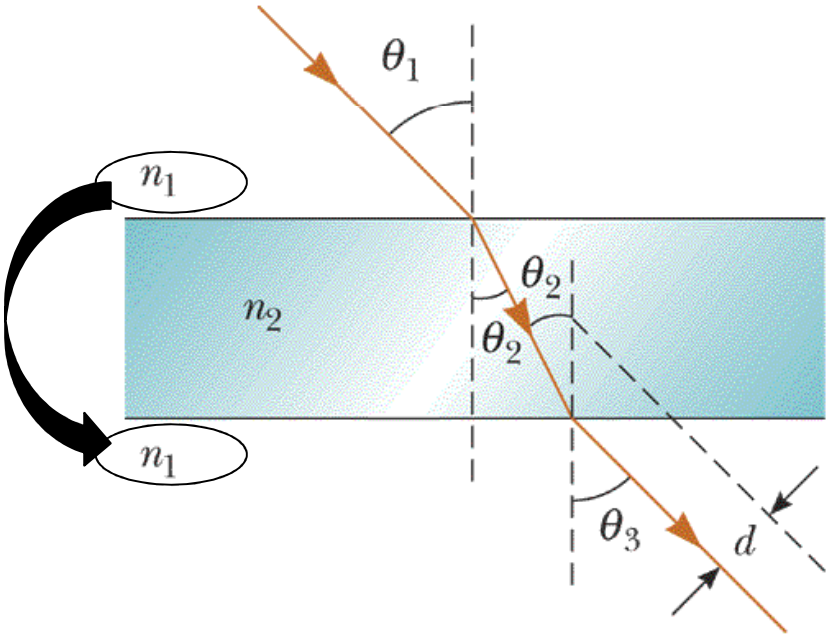
(b) Quando o raio se propaga da placa para o ar sua trajetória se afasta da normal.

EXEMPLO 25.4 LUZ ATRAVESSANDO UMA PLACA

Um feixe de luz passa do meio 1 para o meio 2, o segundo meio sendo uma placa espessa de um material cujo índice de refração é n2.
Mostre que o feixe emergente é paralelo ao feixe incidente.
Solução:
Primeiro aplicamos a lei de Snell na primeira interface de tal modo que:

$$sen\theta_2 = \frac{n_1}{n_2} sen\theta_1 \quad (1)$$

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.12



A aplicação da lei de Snell à superfície inferior resulta em:

$$sen\theta_3 = \frac{n_2}{n_1} sen\theta_2 \quad (3)$$

A substituição da equação (1) na equação (2) resulta em:

$$sen\theta_3 = \frac{n_2}{n_1}\left(\frac{n_1}{n_2}\right) sen\theta_1 \Rightarrow sen\theta_3 = sen\theta_1$$

e portanto $\theta_3 = \theta_1$

Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

1- Supondo o sol do final da tarde incidindo contra uma chuva de verão uniforme. Um raio de luz solar passa a “cortina” de chuva atingindo e atravessando uma gota de água.

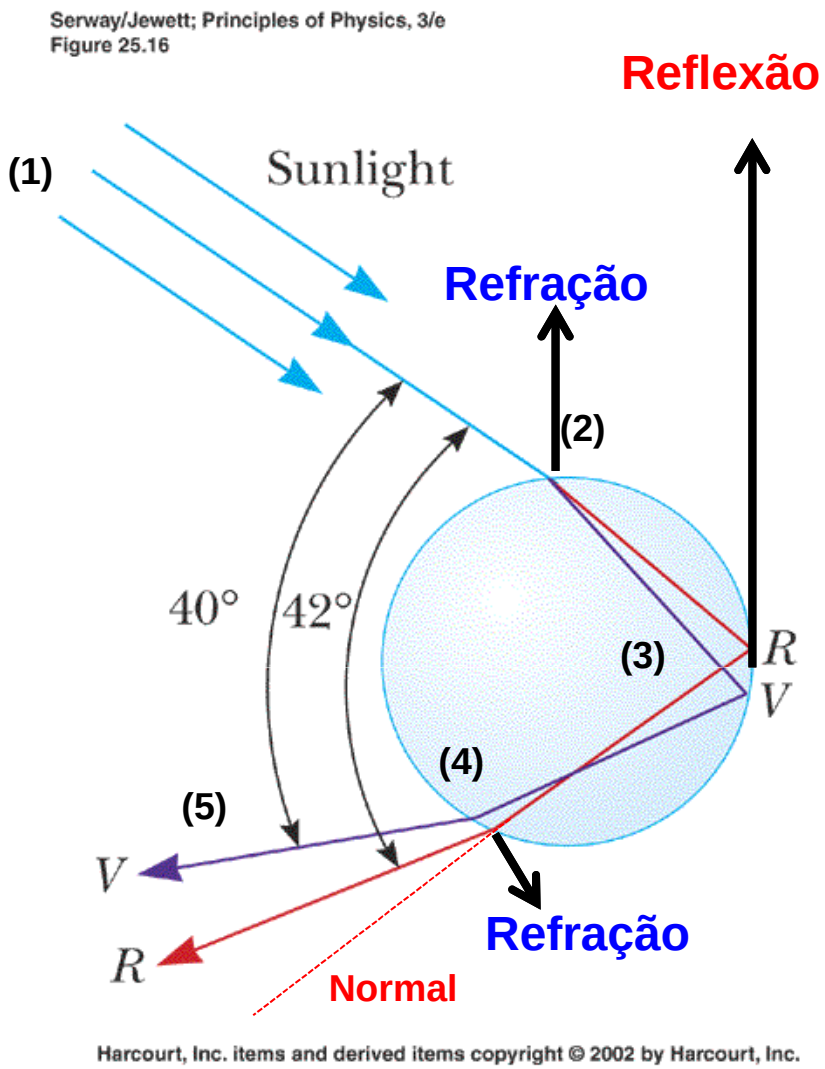
2- A luz é refratada na superfície frontal da gota, com a luz violeta desviando ao máximo e a vermelho ao mínimo.

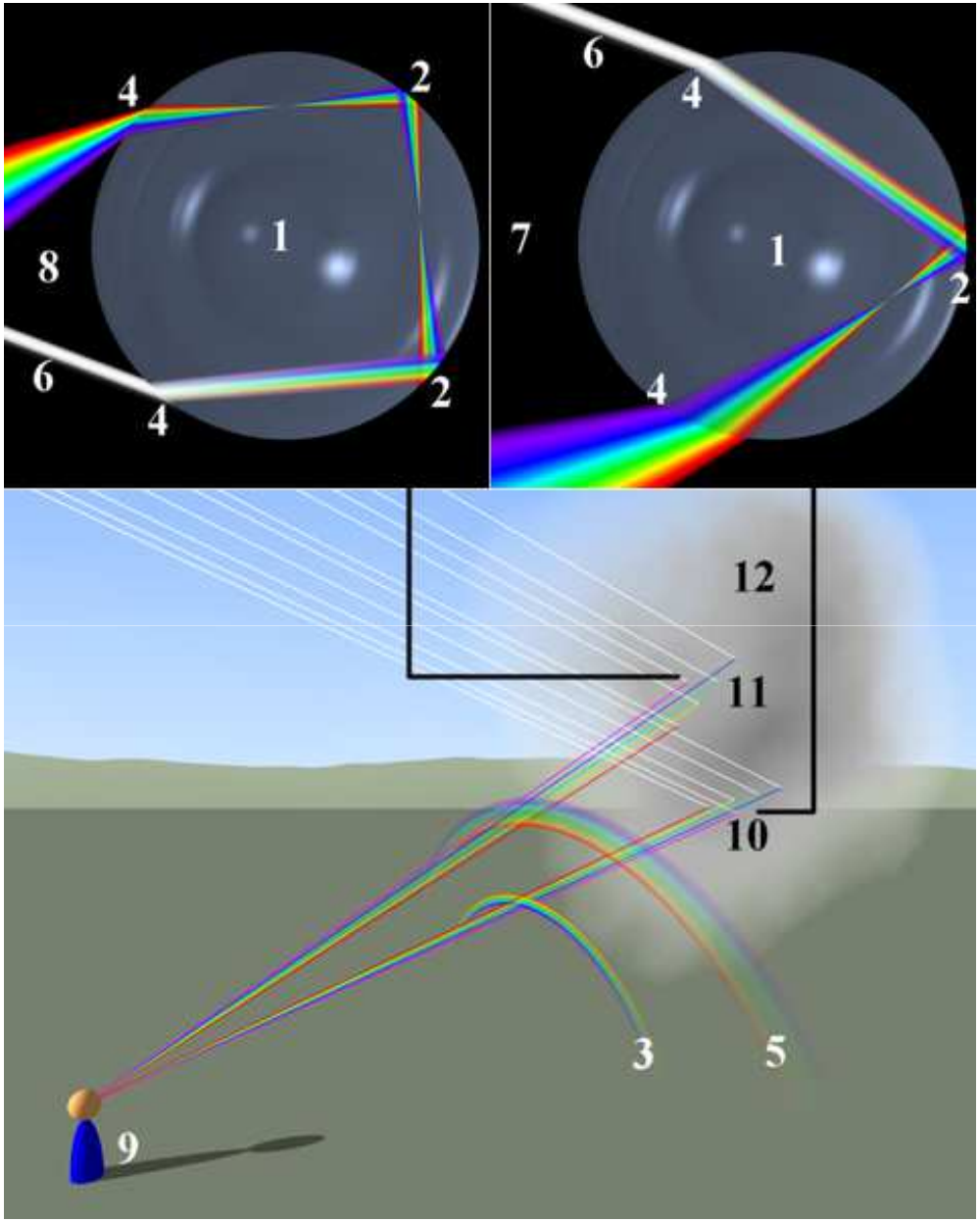
3- Na parte de tras da gota a luz é refletida para a frente.

4- Na interface com o ar a luz do interior da gota volta a ser refratada no ar.

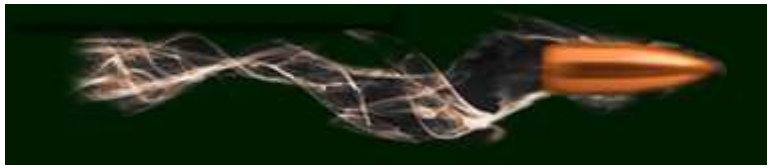
5- Os raios violeta que deixam a gota formam um ângulo de 40º com a luz branca incidente; Os raios vermelhos que deixam a gota formam um ângulo de 42º com a luz branca incidente;

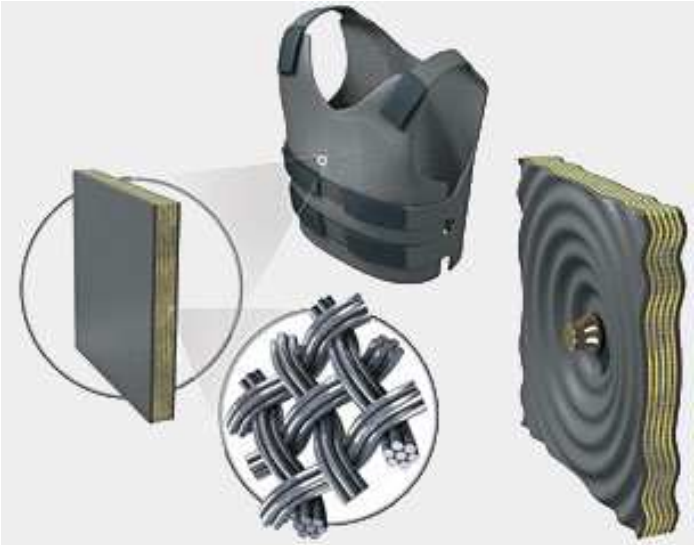
Um observador situado atrás da cortina de água vê o anel (ou semi-anel) formado pela descomposição das diferentes cores.



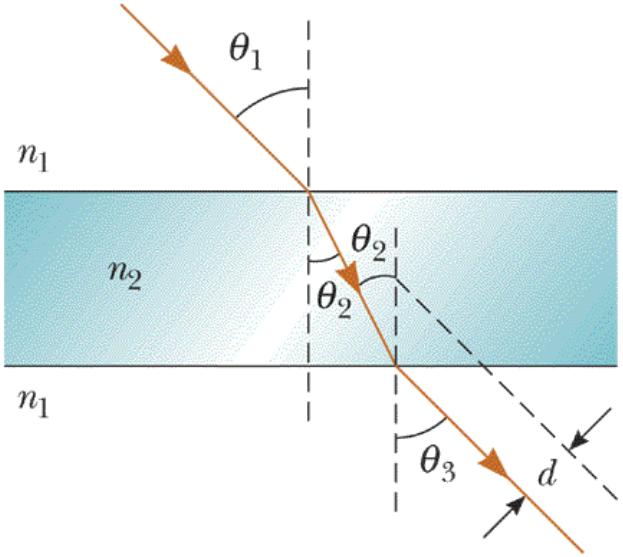

4
2
1
8
6
4
2
6
4
7
1
2
4
12
11
10
3
5
9

Velocidade de uma bala de revolver atravessando um meio (antes e depois do impacto)





Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.12



Velocidade da luz atravessando um meio (antes e depois de atravessá-lo)

Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

gickr.com

$$n \equiv \frac{\text{velocidade da luz no vácuo}}{\text{velocidade média da luz no meio}} = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n}$$

$$v = f \cdot \lambda$$

$$v_1 = f \cdot \lambda_1$$

$$v_2 = f \cdot \lambda_2$$

dividindo temos :

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \qquad \text{onde} \qquad v_1 = \frac{c}{n_1} \quad \text{e} \quad \mathrm{v}_2 = \frac{c}{n_2}$$

dividindo temos :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{e} \quad \text{portanto :}$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

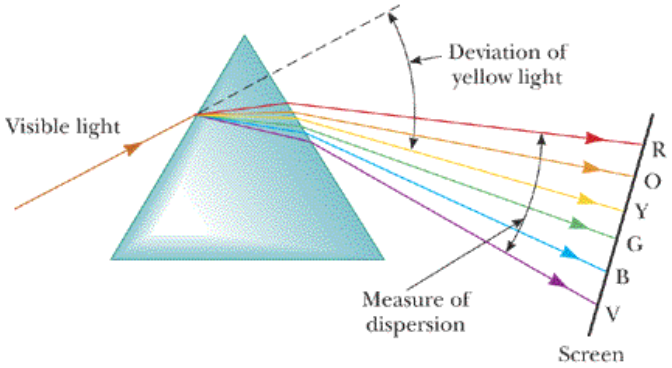
1-) Um feixe de luz cujo comprimento de onda é de 550 nm propagando-se no ar incide sobre uma placa de material transparente.
O feixe incidente faz um ângulo de 40º com a normal e o feixe refratado faz um ângulo de 26º com a normal.
Encontre o índice de refração do material. Encontre o comprimento de onda da luz no material

25.21 LISTA DE EXERCÍCIOS

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure P25.21

O índice de refração para a luz violeta no cristal de sílica é 1.66 e o índice de refração para a luz vermelha é 1.62.

Um prisma tem um ângulo do vértice de 60º, medido entre a superfície em que a luz penetra no prisma e a superfície em que a luz deixa o prisma. Qual será a dispersão angular da luz visível que atravessa o prisma se o ângulo de incidência for 50º?



$$\text{Lei de Snell:}$$

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

Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.14

Lei de Snell:

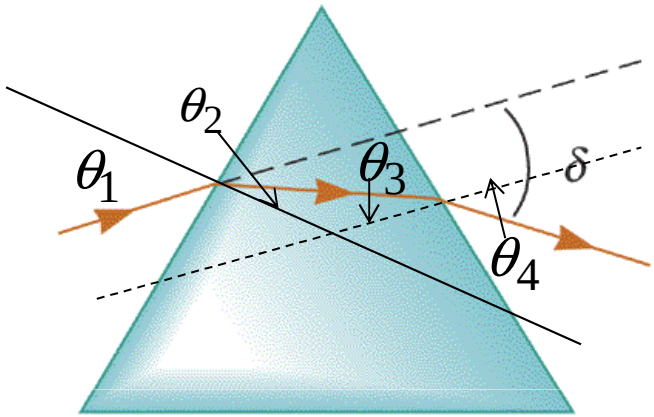
$$n_1 \operatorname{sen}(\theta_1) = n_2 \operatorname{sen}(\theta_2)$$

1) $$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

2)

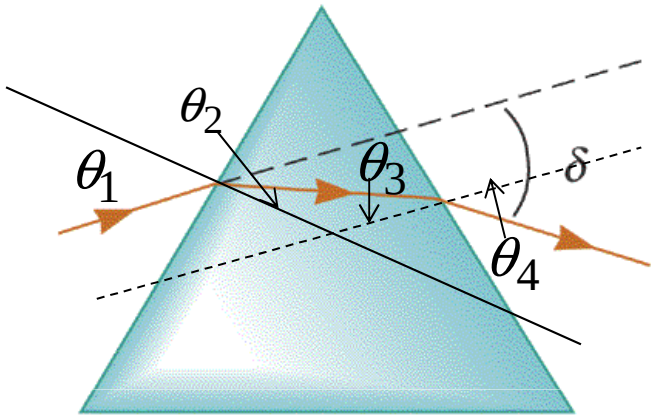
$$\operatorname{sen}\theta_2 = \frac{\operatorname{sen}\theta_1}{n}$$

$$\theta_3 = 60^\circ - \theta_2$$



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 25.14



$$\operatorname{sen}\theta_2 = \frac{\operatorname{sen}\theta_1}{n}$$

$$(\theta_2)_{violeta} = \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{\operatorname{sen}50^{\circ}}{1.66}\right) = 27.48^{\circ}$$

$$(\theta_2)_{red} = \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{\operatorname{sen}50^{\circ}}{1.62}\right) = 28.22^{\circ}$$

$$\theta_3 = 60^{\circ} - \theta_2$$

$$(\theta_4)_{violeta} = \operatorname{sen}^{-1}\left(1.66 \cdot \operatorname{sen}(32.52^{\circ})\right) = 63.17^{\circ}$$

Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

$$(\theta_4)_{red} = \operatorname{sen}^{-1}\left(1.62 \cdot \operatorname{sen}(31.78^{\circ})\right) = 58.56^{\circ}$$

$$\Delta\theta_4 = (\theta_4)_{violeta} - (\theta_4)_{red} = 63.17^{\circ} - 58.56^{\circ} = 4.61^{\circ}$$

Um feixe de luz cujo comprimento de onda é de 550 nm propagando-se no ar incide sobre uma placa de material transparente.

O feixe incidente faz um ângulo de 40º com a normal e o feixe refratado faz um ângulo de 26º com a normal.

Encontre o índice de refração do material.

O índice de refração do ar é muito próximo ao do vácuo e supomos igual a 1.0

$$n_1 = 1.0$$

pela lei de Snell da refração

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

$$n_2 = n_1 \frac{sen\theta_1}{sen\theta_2} = (1.0)\frac{sen40^o}{sen26^o} = \frac{0.643}{0.438} = 1.47$$

Encontre o comprimento de onda da luz no material

$$n = \frac{\lambda_0}{\lambda_n} \Rightarrow \lambda_n = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{550nm}{1.47} \approx 374nm$$

Um feixe de luz com comprimento de onda de 589nm no vácuo atravessa um pedaço de sílica (n=1.458).

(a) Encontre a velocidade da luz na sílica

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3\times10^{8} m/s}{1.458} = 2.06\times10^{8} m/s$$

(b) Qual é o comprimento de onda desta luz na sílica?

$$\lambda_n = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{589nm}{1.458} \approx 404nm$$

(c) Encontre a frequência da luz

$$v_2 = f \cdot \lambda_2 \Rightarrow f = \frac{v_2}{\lambda_2} = \frac{2.06\times10^{8} m/s}{404\times10^{-9} m} \approx 5.1\times10^{14} Hz$$