

Óptica Física

- Índice de Refração

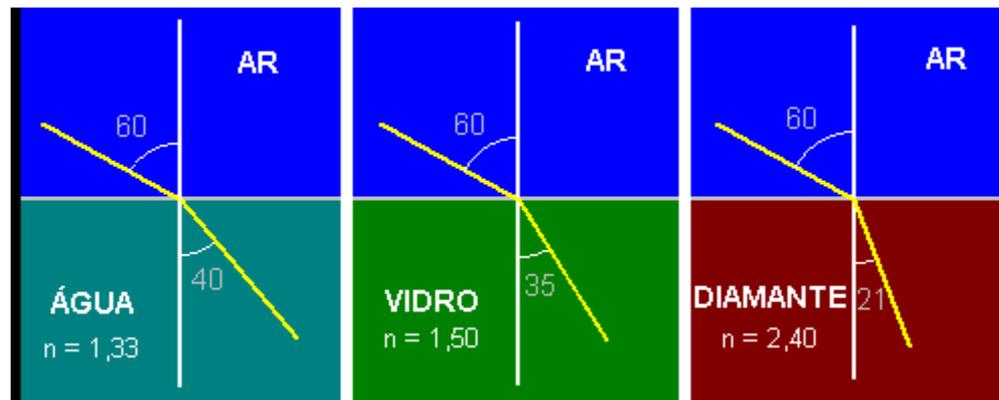
O desvio que a luz sofre quando passa de um meio para outro, depende da velocidade da luz nos dois meios. A grandeza física que relaciona as velocidades nos dois meios, é o índice de refração relativo (n_{21}), que é definido como sendo a razão entre a velocidade da luz no primeiro meio (v_1) e a velocidade da luz no segundo meio (v_2):

$$n_{21} = v_1 / v_2$$

Quando o primeiro meio é o vácuo ($v_1 = c$), o índice de refração que relaciona a velocidade da luz no vácuo com a velocidade em outro meio (v), é denominado índice de refração absoluto (n):

$$n = c / v$$

A velocidade da luz no vácuo é $c = 3 \times 10^8$ m/s e em outro meio qualquer é menor do que este valor. **Conseqüentemente, o valor do índice de refração em qualquer meio, exceto o vácuo, é sempre maior que a unidade ($n > 1$).**



Exemplo: A velocidade da luz no vidro é $v = 2 \times 10^8$ m/s. O índice de refração do vidro será:

$$n_{\text{vidro}} = c / v = 3 \times 10^8 / 2 \times 10^8 = 1,5$$

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

Tabela 4.1 Os valores de índices de refração de alguns meios materiais

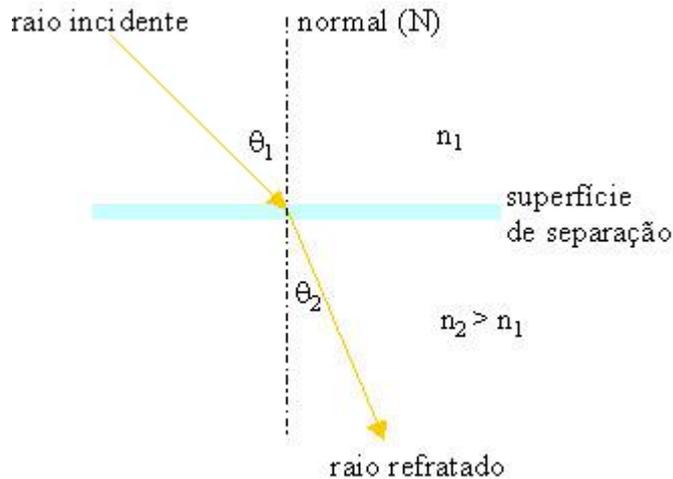
Índice de refração relativo

Como $v_1 = c / n_1$ e $v_2 = c / n_2$, substituindo, obtemos:

$$n_{21} = v_1 / v_2 = (c / n_1) / (c / n_2) = n_2 / n_1$$

O índice de refração relativo (n_{21}) é o quociente entre os índices de refração do meio (2) e do meio (1).

A lei de Snell - Descartes relaciona os ângulos de incidência e refração com os índices de refração



-Refração de um raio quando passa de um meio (1) menos refringente para uma meio (2), mais refringente.-

Enunciado da lei de Snell Descartes:

A razão entre o seno do ângulo de incidência (θ_1) e o seno do ângulo de refração (θ_2) é constante e esta constante é igual ao índice de refração relativo n_{21} , para um dado comprimento de onda.

$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = n_{21} = n_2 / n_1$$

onde:

$\theta_1 =$ ângulo de incidência (ângulo que o raio incidente faz com a normal, N)

$\theta_2 =$ ângulo de refração (ângulo que o raio refratado faz com a normal, N)

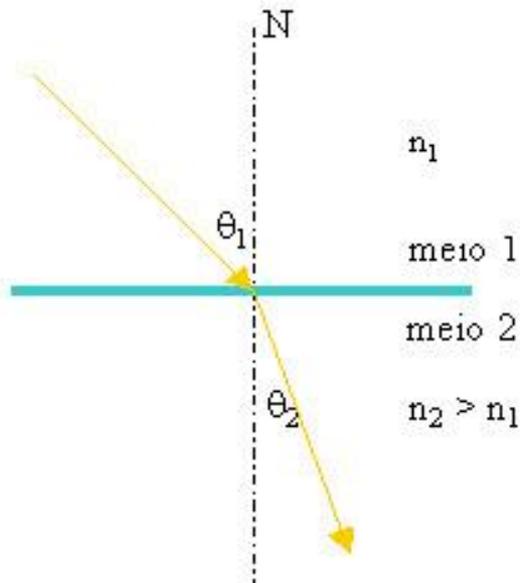
$n_{21} =$ índice de refração relativo

$n_2 =$ índice de refração do meio 2

$n_1 =$ índice de refração do meio 1

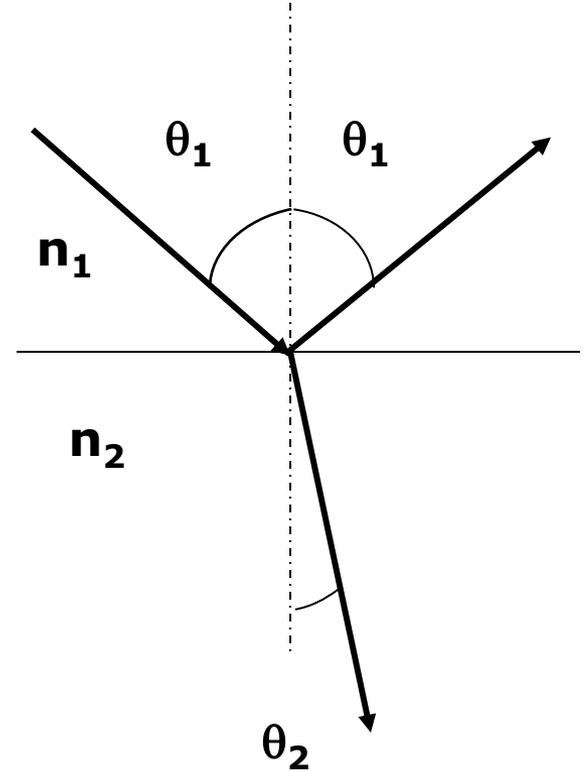
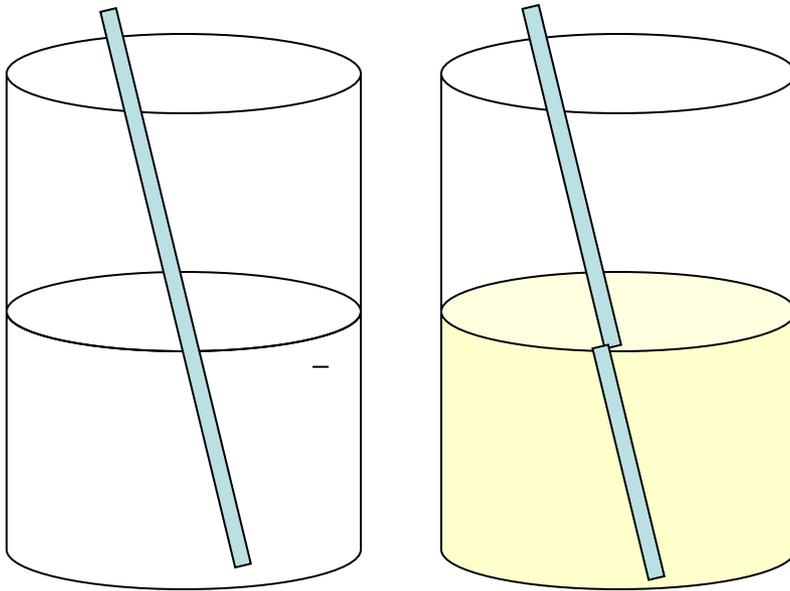
θ θ

Conclusão: Quando o meio 2 for mais refringente que o meio 1 ($n_2 > n_1$), o raio refratado se aproxima mais da normal no meio 2, ou seja, $\theta_2 < \theta_1$



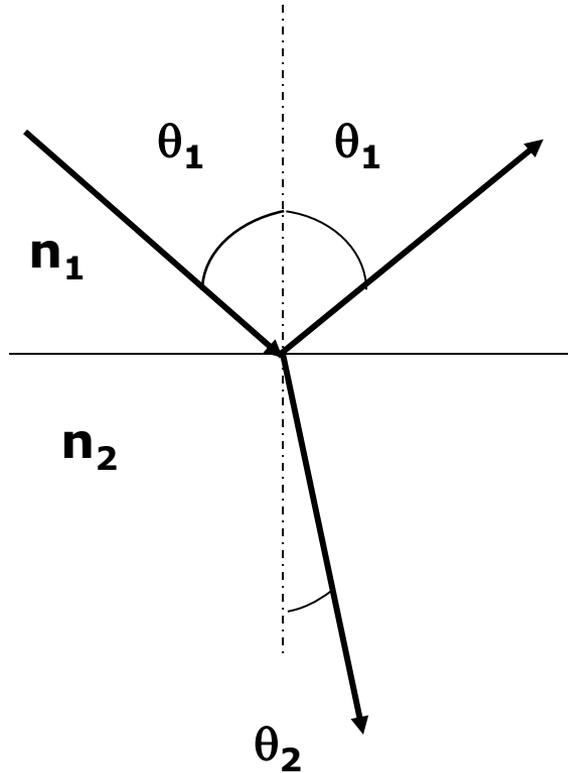
Refratometria

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$$

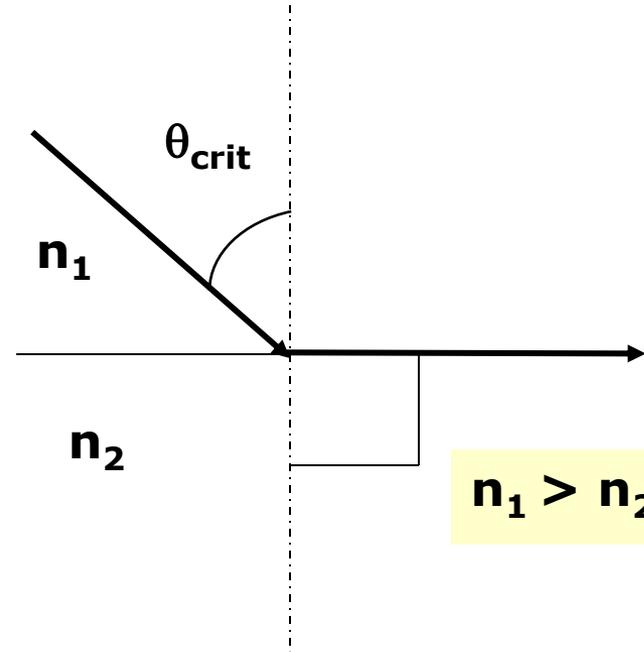


- Definição do índice de refração
- $N = f(\lambda, T, \text{concentração, natureza química})$

Reflexão total



$$n_1 < n_2$$

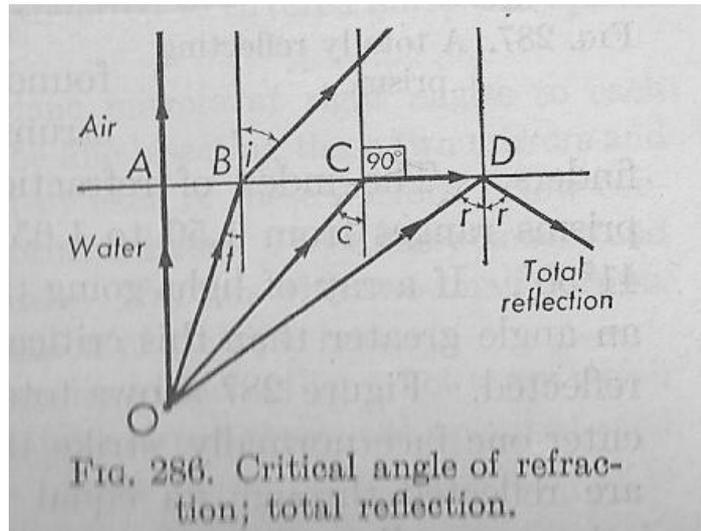


Há um ângulo de incidência, ângulo crítico, no qual o feixe refratado desaparece e toda a luz passa a ser refletida.

$$\text{sen } i = n_2 / n_1$$

REFLEXÃO TOTAL

ÂNGULO CRÍTICO (c)



$$\frac{\text{sen } c}{\text{sen } 90^0} = \frac{1}{n}$$

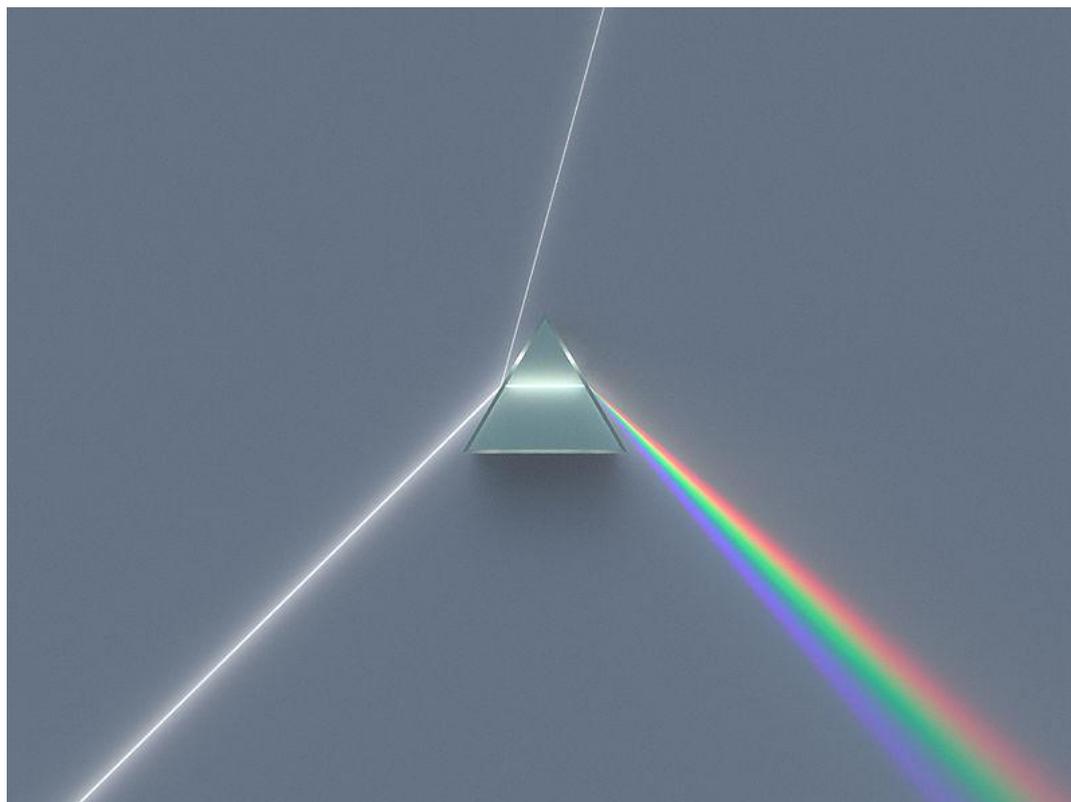
Para água $n = 1,33$ $c = 48^046'$

INDICE DE REFRAÇÃO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA

λ	434 nm	589 nm	656 nm
C ₆ H ₆ (l)	1,524	1,501	1,497
CS ₂ (l)	1,675	1,628	1,618
H ₂ O (l)	1,340	1,333	1,331
Vidro(borosilicato)	1,538	1,524	1,522

LUZ COM ALTA FREQUÊNCIA (menor λ) TEM MAIOR ENERGIA QUE LUZ COM BAIXA FREQUÊNCIA ($E=h\nu$) DISTORCENDO MAIS A DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DA MOLÉCULA PORTANTO DEPENDE DA ESPÉCIE MOLECULAR, E, PORTANTO, O INDÍCE DE REFRAÇÃO DEPENDE DA FREQUÊNCIA DA LUZ INCIDENTE.

Dispersão da Luz por um Prisma

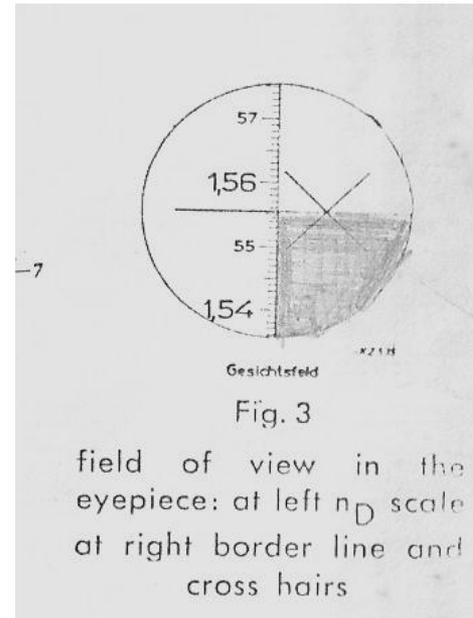
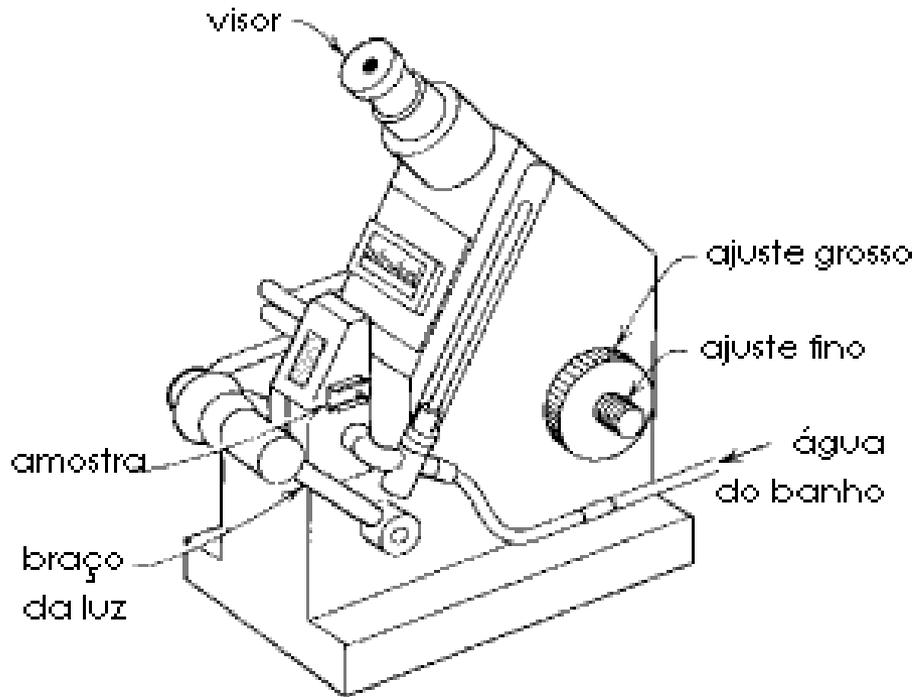


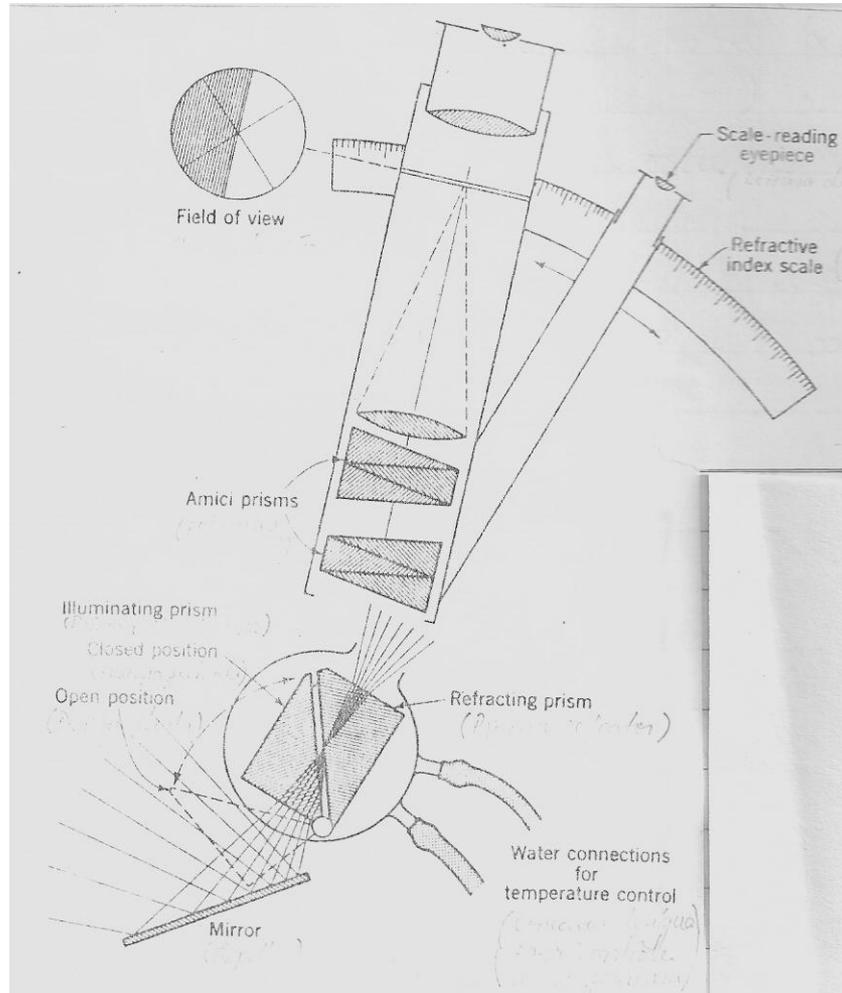
Índice de Refração é uma propriedade física útil na caracterização e identificação de líquidos, ou para indicar a sua pureza.

Índice de Refração de Solução Aquosa de Sacarose

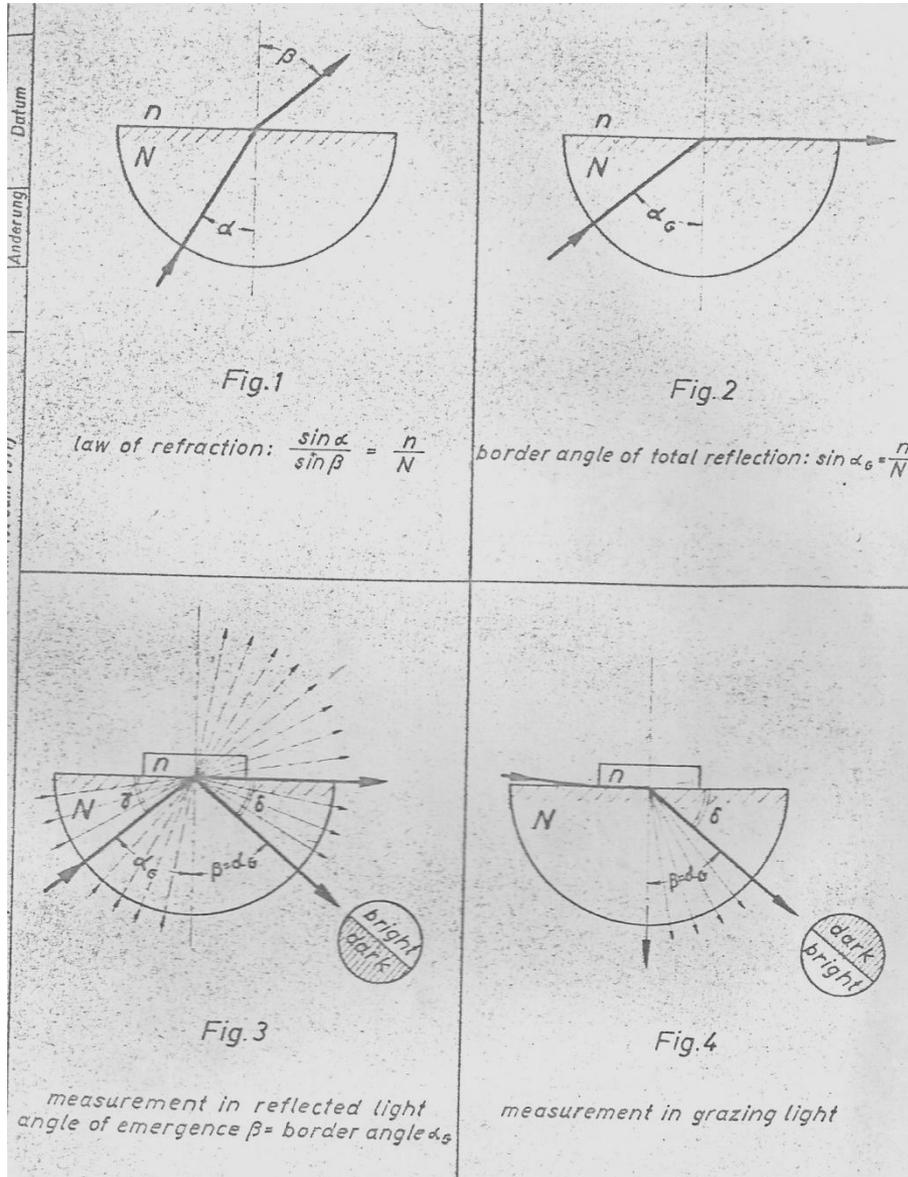
Porcentagem de açúcar (m/m)	n
Água pura	1,333
10	1,348
20	1,364
30	1,381
40	1,398

Parte Experimental da Medida





Vários Ângulos de Incidência



• **Dependência do índice de refração com a composição de misturas de etanol e água.**

Medir n para etanol / água (v /v) %

0 / 100

15 / 85

30 / 70

45 / 55

60 / 40

80 / 20

100 / 0

*** pinga**

1. Apresente um gráfico de n em função da *composição etanol-água*

2. Determine a quantidade de álcool numa amostra comercial de pinga a partir da função matemática determinada em (1) e compare com o valor indicado

**** Cuidado para não riscar o prisma e não contaminar pipetas de Pasteur!!!**

• **Determinação da refatividade molar (R_m) e da polarizabilidade (α) de líquidos puros.**

**Tolueno
Ciclohexano
Acetona
Água
Etanol**

$$R_m = \frac{M}{\rho} \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)}$$

$$\alpha = \frac{3 \cdot \epsilon_0 \cdot R_m}{N_A}$$

N_A = número de Avogadro

α = polarizabilidade da espécie

ϵ_0 = permissividade elétrica no vácuo

M = massa molar da espécie

ρ = densidade da substância

n = índice de refração

Sabendo o índice de refração, n



$R_m = \text{REFRATIVIDADE MOLAR}$ $R_m = \frac{M}{\rho} \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)}$

n = índice de refração
M= Massa molar
 ρ = densidade

$$R_m = \sum r_l$$

Aproximação: R_m = soma das refratividades das ligações que constituem a molécula ou a soma das refratividades dos íons que formam o sólido

Refratividade Molar da Ligação ou íon / $\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$

Ligações	r_l Ligação
C-H	1,65
C-C	1,20
C=C	2,79
C=O	3,34

- **Calcular a refratividade molar (R_m) a partir da estrutura da molécula e de dados do Handbook e comparar com os valores determinados experimentalmente**

**Tolueno
Ciclohexano
Acetona
Água
Etanol**

Exemplo

$$\text{H}_2\text{O}: \underline{\text{H}} + \underline{\text{OH}} = 1,028 + 2,553 = 3,581$$

$$\text{HI}: \underline{\text{H}} + \underline{\text{I}} = 1,028 + 13,954 = 14,982$$

$$n^2 = \frac{V_m + 2R_m}{V_m - R_m} \qquad V_m = \frac{M}{\rho}$$

Example 22.4: *Estimating the refractive index from refractivity data*

Estimate the refractive index of acetic acid for sodium-D light. Its density is 1.046 g cm^{-3} .

Answer. We use the bond refractivity information in Table 22.3, taking the CH_3COOH molecule to consist of $3(\text{C—H}) + (\text{C—C}) + (\text{C=O}) + (\text{C—O}) + (\text{O—H})$:

$$R_m/(\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1}) = 3 \times 1.65 + 1.20 + 3.34 + 1.41 + 1.85 = 12.75$$

$$V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{60.05 \text{ g mol}^{-1}}{1.046 \text{ g cm}^{-3}} = 57.41 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

Therefore, by substitution in eqn 10,

$$n_r = \left(\frac{57.41 + 2 \times 12.75}{57.41 - 12.75} \right)^{1/2} = 1.36$$

Comment. The experimental value is 1.37, and so in this case the agreement is very good.

Exercise. Estimate the refractive index for ethanol for sodium-D light ($\rho = 0.789 \text{ g cm}^{-3}$). [1.34]

Valores tabelados no Handbook de constantes físico-químicas os valores de índices de refração são geralmente apresentados da seguinte forma:

$$n_D^{20}$$

***D* representa a linha de emissão de luz do sódio no comprimento de onda de 589,3nm. Portanto, indica que a medida foi feita neste comprimento de onda e à $T = 20,0 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ °C}$.**

Ponto de vista microscópico

A PROPAGAÇÃO DA LUZ NUM MEIO DIELÉTRICO PODE SER PENSADA COMO A LUZ INCIDENTE CRIANDO UM DIPOLO INDUZIDO OSCILANTE QUE EMITE LUZ DE MESMA FREQUÊNCIA DA LUZ INCIDENTE, PORTANTO O INDICE DE REFRAÇÃO DEPENDE DA POLARIZABILIDADE MEIO

$$\mu^* = \alpha E$$

μ^* = momento de dipolo induzido

α = polarizabilidade molecular

$$P_m = \frac{N_A}{3\epsilon_o} \alpha$$

α = POLARIZABILIDADE MOLECULAR

α mede a força com que o carga nuclear controla a distribuição eletrônica e impede sua distorção pelo campo elétrico

$$\mu^* = \alpha E$$

μ^* = momento de dipolo induzido

$$\alpha = \frac{3\epsilon_o R_m}{N_A}$$

N_A = Número de Avogadro

$$\alpha' = \frac{\alpha}{4\pi\epsilon_o}$$

$$\alpha' = \frac{3R_m}{4\pi N_A}$$

Polarizabilidade-volume

Example 22.3: *Calculating the polarizability from the refractive index*

The refractive index of water at 20°C is 1.3330 for light of wavelength 589 nm and its density is 0.9982 g cm⁻³. Calculate the polarizability volume of the molecule at this frequency.

Answer. Since

$$\frac{n_r^2 - 1}{n_r^2 + 2} = 0.2057$$

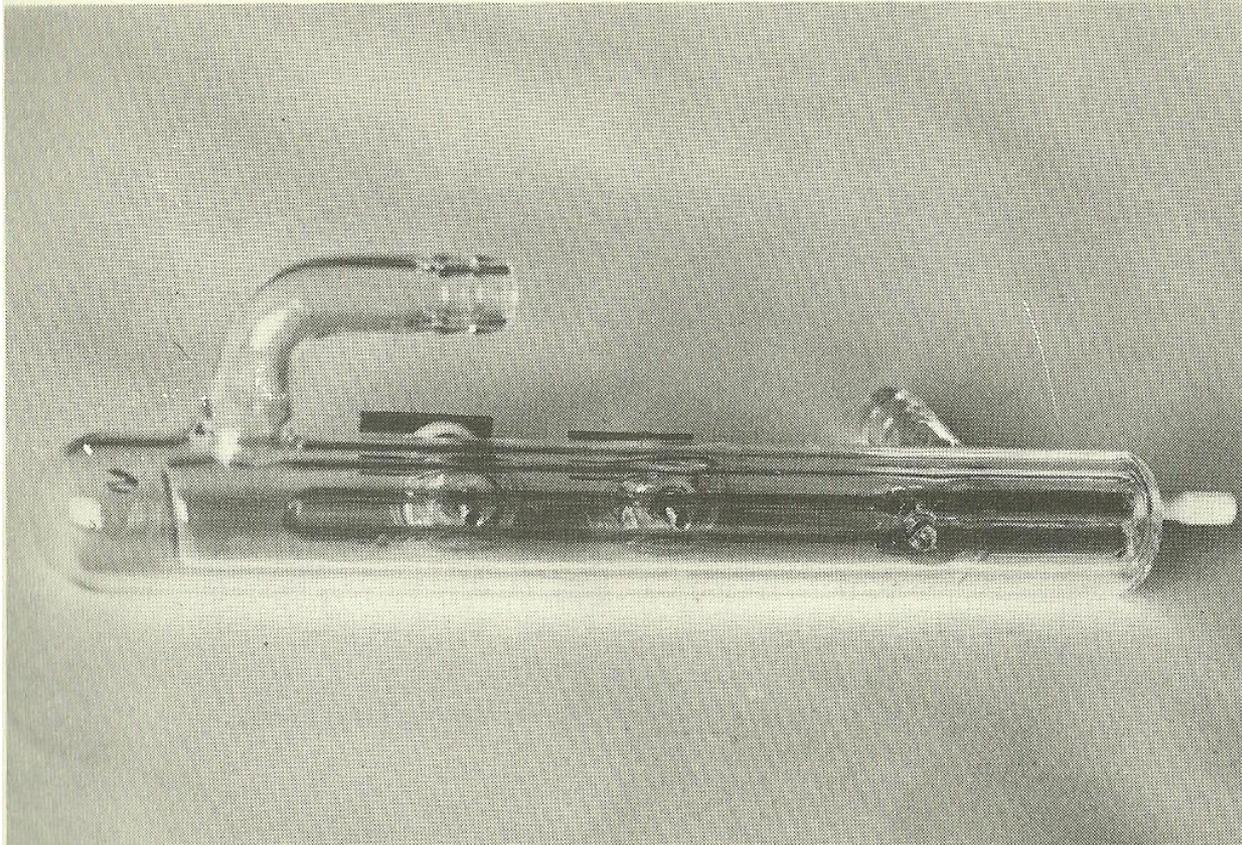
$R_m = 3.699 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Therefore, $\alpha' = 1.467 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$ (1.467 Å³).

Comment. The same calculation repeated for 434 nm light, for which the refractive index is 1.3404, gives $1.501 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$. The H₂O molecule is more polarizable at the higher frequency because the photons of incoming light carry more energy and are better able to distort the electron distribution.

Exercise. Calculate the polarizability volume of ethanol at the frequency corresponding to the sodium D lines, given that its refractive index is 1.361 at 20°C and its density is 0.789 g cm⁻³. [5.12 × 10⁻²⁴ cm³]

Determinação das densidades das misturas álcool-água

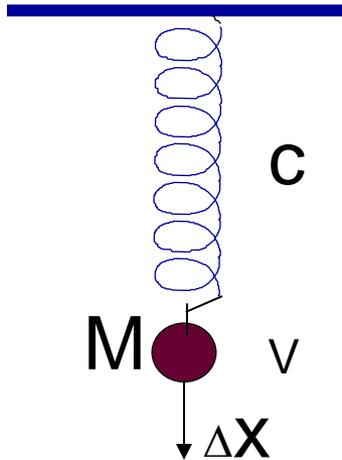
Princípio: Variação da frequência de oscilação de um tubo em U ôco (oscilador) devido ao preenchimento do tubo com um líquido



Cálculo da Densidade ρ

Frequência natural f

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{\rho V + M}}$$



$$m_{\text{líquido}} = V\rho$$

$$1/f = T = (2\pi) \sqrt{\frac{\rho V + M}{c}}$$

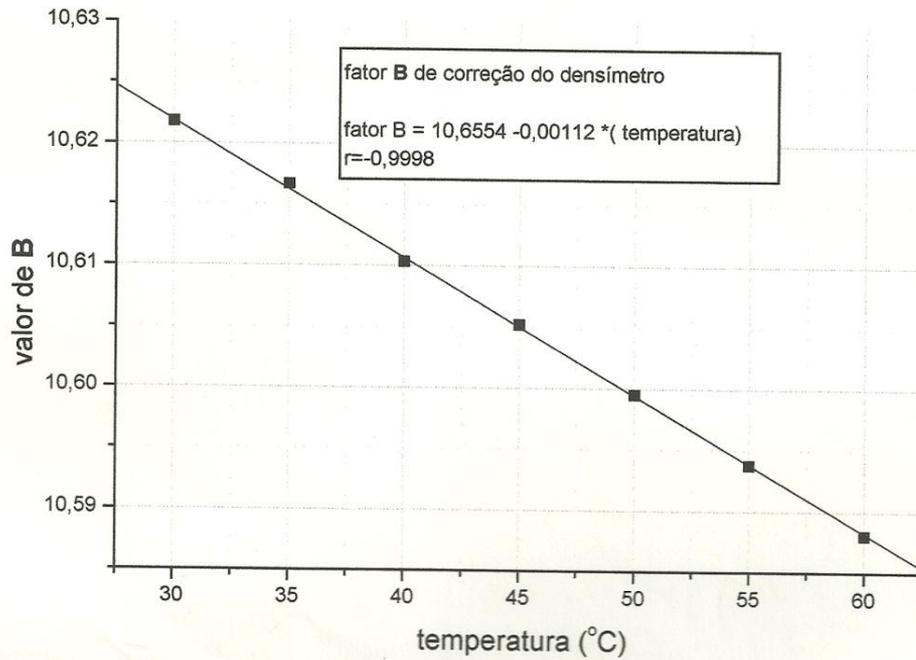
$$A = \frac{c}{4\pi^2 V}$$

$$B = \frac{4\pi^2 M}{c}$$

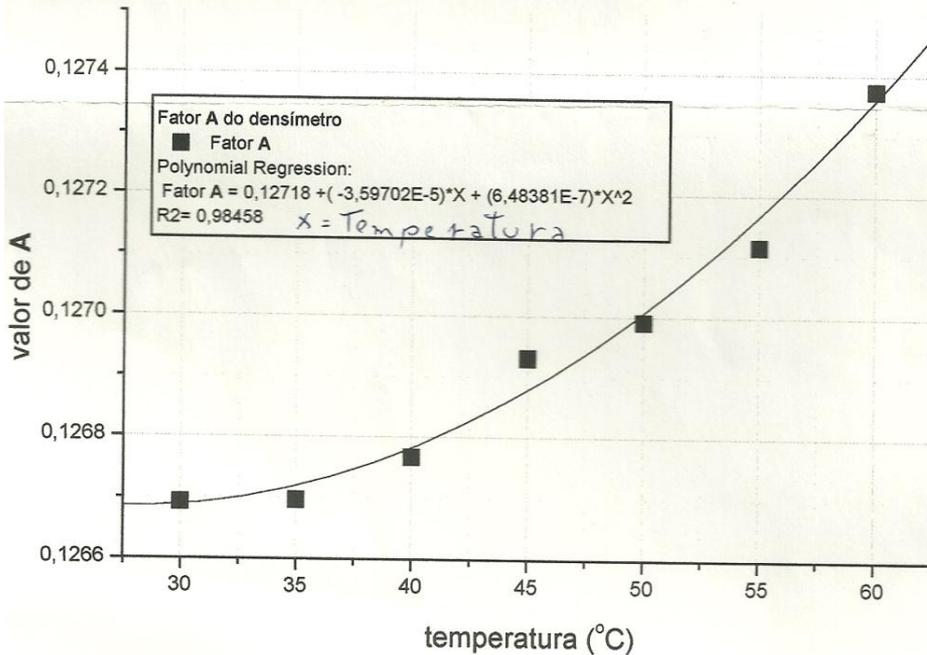
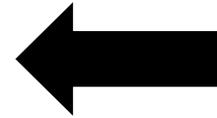
c = constante da mola
 V = volume preenchido com a substância de densidade ρ
 M = massa do oscilador

$$\rho = A(T^2 - B)$$

A e B são constantes do aparelho



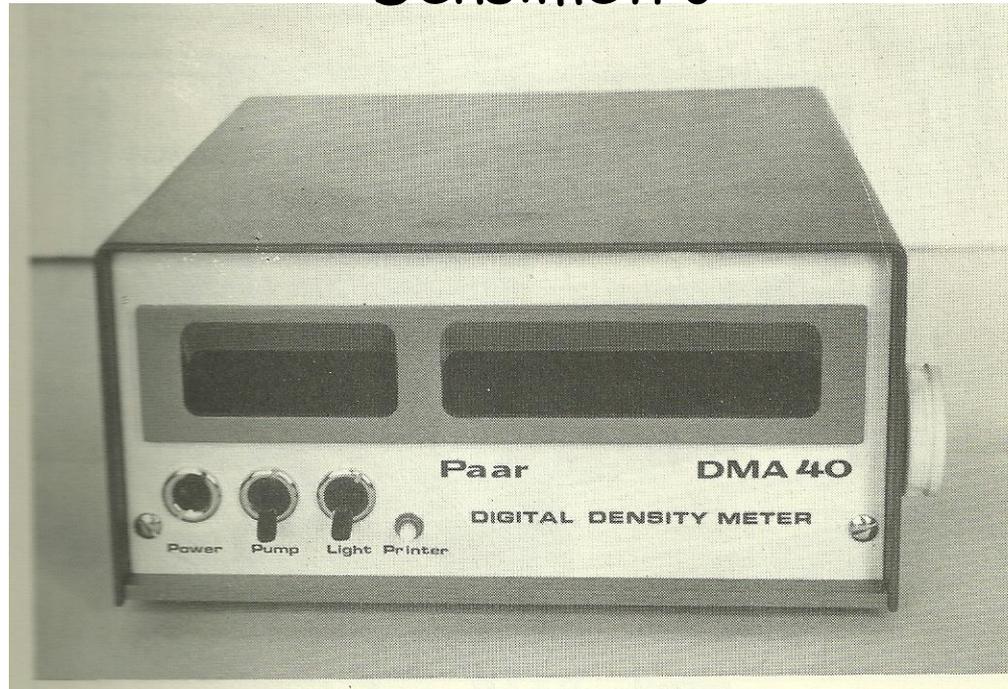
$$B = \frac{4\pi^2 M}{c}$$



$$A = \frac{c}{4\pi^2 V}$$

$$\rho = A(T^2 - B)$$

Densímetro



- 1- Ligar o aparelho (botão NETZ)
- 2- Ligar a luz
- 3- O aparelho é termostaticado com água externa ao tubo em "U".
- 4- Injetar a amostra pelo orifício inferior (lado direito) com a luz acesa até que o tubo em "U" esteja completo. Observar se não há formação de bolhas.
- 5- Apagar a luz
- 6- Esperar 1 min para que a amostra termostatize
- 7- Ler e anotar o valor do período (T) no visor
- 8- Acender a luz, esvaziar o tubo "U" colocando o tubo em qualquer extremidade e ligando PUMP E
- 9- Passar água, álcool e acetona, ligar PUMP E
- 10- Repetir esta limpeza até que o valor do período do ar (T) seja igual àquele obtido no início do experimento

Calibração, calcular A e B para cada temperatura analisada

- 1- Anotar a pressão barométrica do ar na hora
- 2- Com o tubo de amostra vazio e seco, anotar o valor de T na temperatura desejada
- 3- Colocar água no tubo em “U”, medir o T
- 4- Usar tabela da página 12 do manual de densidade do ar em função da temperatura e pressão barométrica
- 5- Pegar a densidade da água na temperatura desejada, página 11 do manual
- 6- Usar a equação $A = (\text{dens}_{\text{água}} - \text{dens}_{\text{ar}}) / (T_{\text{água}}^2 - T_{\text{ar}}^2)$ para calcular A
- 7- Para calcular B, usar a equação $B = T_{\text{ar}}^2 - (\text{dens}_{\text{ar}}) / A$
- 8- Para calcular a densidade da amostra, usar a equação $\text{dens}_{\text{amostra}} = A (T^2 - B)$

Análise dos Resultados

Construir um gráfico de ρ em função da composição da mistura álcool-água