

Física

Física Térmica

Calor e Temperatura

1 - Introdução	5
2 - Temperatura	5
3 - Calor	6
4 - Calorimetria	8
5 - Mudanças de Fase	9
6 - Dilatação Térmica	10

Comportamento dos Gases e Termodinâmica

1 - Introdução	17
2 - Gás Ideal	17
3 - Variáveis de Estado de um Gás	17
4 - Equação de Clapeyron	18
5 - Equação Geral dos Gases Perfeitos	18
6 - Transformações Gasosas	19
7 - Trabalho (W)	20
8 - Energia Interna de um Gás (U)	21
9 - 1ª Lei da Termodinâmica	21
10 - 2ª Lei da Termodinâmica	22
11 - O Ciclo de Carnot	22

A reprodução por qualquer meio, inteira ou em parte, venda, exposição à venda, aluguel, aquisição, ocultamento, empréstimo, troca ou manutenção em depósito sem autorização do detentor dos direitos autorais é crime previsto no Código Penal, Artigo 184, parágrafo 1 e 2, com multa e pena de reclusão de 01 a 04 anos.



Física

Óptica e Ondulatória

Óptica Geométrica - Reflexão da Luz

1 - Introdução	24
2 - Conceitos Iniciais	24
3 - Reflexão da Luz	25
4 - Espelhos Planos.....	26
5 - Espelhos Esféricos.....	27

Óptica Geométrica - Refração da Luz

1 - Introdução	33
2 - Índice de Refração (n).....	33
3 - Refração da Luz.....	33
4 - Lentes Esféricas.....	35
5 - O Olho Humano	39

Ondulatória

Prólogo	44
1 - Movimento Harmônico Simples (MHS)	44
2 - Ondas.....	45
3 - Ondas em Cordas	46
4 - Ondas na Superfície de Líquidos	49
5 - Ondas Sonoras	51
6 - Ondas Eletromagnéticas	52

Caro VESTIBULANDO,

Este é o volume 2 da Coleção de Física. Nele, você terá, basicamente, 3 assuntos:

Física Térmica (2 capítulos), Óptica Geométrica (2 capítulos) e Ondulatória 1 capítulo).

Tomando como base o que foi mencionado no volume 1, sugerimos a seguinte distribuição de conteúdos:

Se houver divisão em Física 1 e 2:

Física 1: Física Térmica (2 aulas semanais)

Física 2: Óptica e Ondulatória (1 ou 2 aulas semanais)

Para qualquer esclarecimento, colocamo-nos à disposição pelo e-mail: suporte@cursinhoprevestibular.com.br

Bom Trabalho!

Atenciosamente,
Gabriel Dias de Carvalho Júnior

Anotações

FÍSICA TÉRMICA

CALOR E TEMPERATURA

1 - INTRODUÇÃO

A partir deste capítulo, estaremos estudando a Física Térmica. Esta parte da Física se preocupa em explicar os fenômenos relacionados com a temperatura e o calor.

Temos, em nosso cotidiano, uma série de situações ligadas à Física Térmica, como a dilatação térmica, a transmissão de calor, o aquecimento dos corpos e a mudança de estado físico.

Vamos, inicialmente, definir temperatura e calor.

2 - TEMPERATURA

A primeira noção que temos sobre temperatura está relacionada com o tato. Ao tocarmos em um corpo qualquer, teremos a noção de que ele está quente, morno ou frio. Esta impressão não é muito confiável, pois está sujeita a pequenas variações de temperatura de nosso próprio corpo. Imagine uma pessoa que está com um dos pés imerso em um balde de gelo e o outro pé em um balde com água bem quente. Se esta pessoa tirar os pés dos baldes e colocá-los em um banco de mármore, ela terá sensações térmicas diferentes nos dois pés. Isto é um absurdo, pois o banco está a uma determinada temperatura.

Para que possamos definir temperatura, é preciso utilizar um meio mais preciso do que o nosso tato.

Qualquer corpo, independente de seu estado físico, é formado por partículas (átomos, moléculas, etc) que estão em constante vibração. Quanto maior for o grau de vibração destas partículas, maior será a temperatura. Assim, podemos dizer que:

Temperatura é um número relacionado com o grau de agitação térmica das partículas que compõem um corpo.

Quando dois ou mais corpos possuem a mesma temperatura, dizemos que eles estão em **equilíbrio térmico**.

Existe, na Termologia, um princípio chamado de Lei Zero da Termodinâmica que afirma: “Se um corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo B e B está em equilíbrio térmico com outro corpo C, então A está em equilíbrio térmico com C.”

No intuito de definirmos uma escala termométrica, tomamos como base os chamados **pontos fixos**. Estes pontos são temperaturas que podem ser reproduzidas facilmente em qualquer lugar do mundo. Os pontos fixos que utilizaremos são: ponto de fusão do gelo e de ebulição da água (tomados com base na pressão atmosférica ao nível do mar).

Os valores atribuídos para os pontos fixos nas três escalas mais utilizadas são mostrados na tabela abaixo.

Escala	fusão do gelo	ebulição da água
Celsius	0°C	100°C
Fahrenheit	32°F	212°F
Kelvin	273K	373K

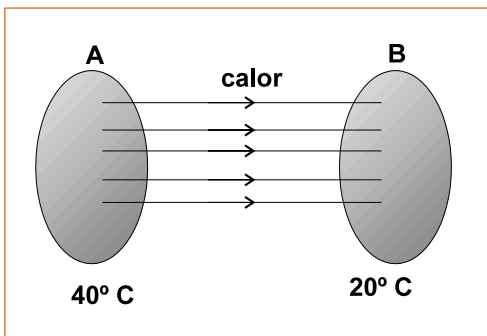
A escala Celsius é a que utilizamos em nosso cotidiano. Ela é chamada popularmente de escala centígrada, o que é uma denominação muito genérica, pois existem outras escalas que são, também, centígradas. Este termo, centígrada, se refere ao fato de o grau Celsius ser a centésima parte do intervalo de temperaturas entre os dois pontos fixos.

A escala Fahrenheit é muito utilizada em outros países, como nos Estados Unidos.

A escala Kelvin é o padrão do Sistema Internacional de Unidades. Ela é a mais recente das três que estudamos. Até há pouco tempo, esta escala recebia o nome de Escala Absoluta por não apresentar temperaturas negativas. Para que isso fosse possível, o seu criador (Lorde Kelvin) atribuiu o valor zero para a menor temperatura do universo (cerca de - 273° C).

3 - CALOR

Vamos imaginar dois corpos, A e B, que possuam temperaturas diferentes, de tal forma que $t_A > t_B$, de acordo com a figura que se segue.



Podemos entender que as partículas que compõem o corpo **A** possuem, em média, mais energia que aquelas que compõem o corpo **B**. Quando isso acontecer, **A** irá ceder energia para **B** com o objetivo de se igualar os níveis de vibração das partículas de ambos. Como o corpo **A** está cedendo energia, as suas partículas apresentarão um grau de agitação menor e, portanto, terão menor temperatura. O corpo **B** por sua vez estará recebendo energia, fazendo com que suas partículas apresentem um grau de vibração maior, o que levará a um aumento de temperatura. Quando as temperaturas de **A** e **B** se igualarem (equilíbrio térmico), cessará esse transporte de energia.

Chamamos de **calor** a essa energia térmica em trânsito do corpo de maior para o de menor temperatura que tem por objetivo estabelecer o equilíbrio térmico entre os corpos em questão.

Como o calor é uma forma de energia, iremos utilizar como unidade qualquer unidade de energia. Em nossos exercícios, trabalharemos com duas unidades: joule (J) e caloria (cal).

A relação entre estas duas unidades é: $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

Note que esta definição de calor nos faz concluir que expressões do tipo “hoje **está calor**” ou “este corpo **tem muito calor**” são desprovidas de sentido, pois o calor é uma forma de energia que flui de um corpo para o outro, motivada pela diferença de temperatura. Não existe maneira de um corpo **ter** calor. Estas expressões poderiam ser corrigidas, respectivamente, para “hoje **está quente**” e “este corpo **possui uma temperatura muito elevada**”.

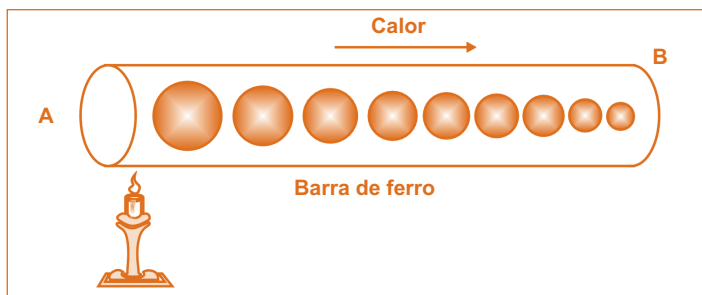
Calor não é sinônimo de temperatura alta. Imagine dois corpos, um a **-20°C** e outro a **-30°C**. Como existe uma diferença de temperatura entre eles, haverá um fluxo de calor do primeiro para o segundo.

3.1 - PROCESSOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR

A) Condução

Este tipo de transmissão ocorre predominantemente nos sólidos.

Para que possamos compreender a condução, imagine que uma das extremidades de uma barra de ferro é colocada na chama de um fogão. Após um certo tempo, a outra extremidade também estará quente. Isto nos faz concluir que o calor foi transmitido ao longo da barra, de uma extremidade a outra. Veja a figura.



A extremidade A é a que recebe calor da chama. Como consequência, os átomos sofrem um aumento no grau de vibração. Porém, o estado sólido é caracterizado por uma intensa ligação entre os átomos. Dessa forma, este aumento de vibração é transmitido para os átomos vizinhos que não receberam o calor diretamente da chama. Após algum tempo, este aumento de vibração atinge a extremidade B.

É importante se notar que, em qualquer instante, vai haver uma diferença de temperatura entre as duas extremidades, sendo $t_A > t_B$.

São 4 os fatores que influenciam no fluxo de calor entre dois pontos. Acompanhe:

- 1) **área de contato:** quanto maior for a área de contato entre dois corpos, mais intenso será o fluxo de calor. Este fato explica o porquê de nos encolhermos quando sentimos frio.
- 2) **espessura:** quanto maior for a espessura do corpo, menor o fluxo de calor. É por isso que usamos roupas grossas (de grande espessura) durante o inverno.
- 3) **diferença de temperatura entre os pontos:** quanto maior a diferença de temperatura, maior o fluxo de calor.
- 4) **tipo de material:** existem algumas substâncias que são condutoras e outras que são isolantes térmicas. Os metais são exemplos de condutores e a borracha, de isolante. A grandeza física que nos indica a capacidade que uma substância tem de conduzir calor é chamada de coeficiente de condutividade

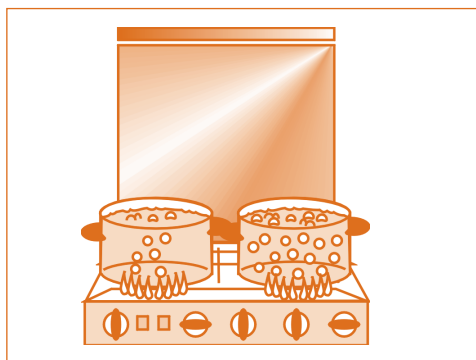
Este fluxo de calor é que nos dá a sensação de quente e frio. Quando tocamos um corpo, teremos a sensação de que ele está quente se recebermos calor dele. Se cedermos calor para o corpo, teremos a sensação de que ele está frio. Quanto maior for o fluxo de calor, maior a sensação térmica.

Quando tocamos simultaneamente uma porta de madeira e a sua maçaneta (feita de metal), temos sensação de que esta última está mais fria. Na verdade, ambas possuem a mesma temperatura, pois estão em equilíbrio térmico com o ambiente. A razão deste engano é que a maçaneta é feita de um material que é bom condutor térmico, enquanto que a porta é isolante. Dessa forma, o fluxo de calor da nossa mão para a maçaneta é mais intenso do que para a porta, porque a condutividade térmica dos metais é maior do que a da madeira.

B) Convecção

Este tipo de transmissão de calor é mais significativo nos meios fluidos.

Vamos imaginar que queiramos aquecer uma certa quantidade de água. Quando colocamos a panela cheia de água na trempe de um fogão, as moléculas de água que estão no fundo são as primeiras a receber calor. Com o aquecimento, estas moléculas têm um aumento médio em seu volume e uma respectiva diminuição em sua densidade. Por este motivo, elas se dirigem para a superfície, enquanto que as moléculas da superfície, por estarem mais densas, migram para o fundo. Este movimento recebe o nome de corrente de convecção e é o responsável pelo aquecimento da água como um todo.



Este processo nos permite concluir que a convecção, ao contrário da condução, é um processo de transmissão de calor que envolve transporte de matéria. Por este motivo ele é mais intenso nos meios líquidos e gasosos.

A convecção térmica é o processo relacionado com a formação dos ventos, o aquecimento de saunas e o resfriamento de geladeiras e freezers.

Tente explicar o motivo de, em uma sauna, os pontos mais próximos do teto serem os locais mais quentes.

C) Radiação (Irradiação)

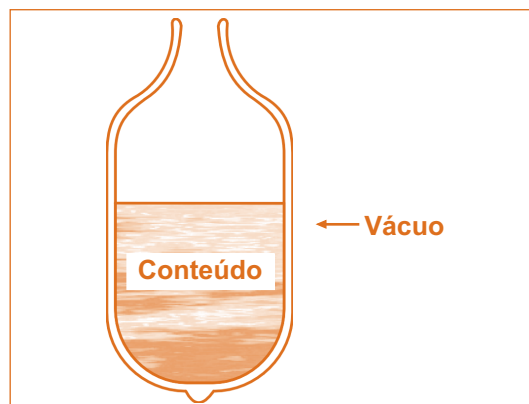
Este tipo de transmissão de calor é feito por meio de ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho.

Sabemos que há uma diferença de temperatura entre o Sol e a Terra. Pelo que já estudamos neste capítulo, deve haver um fluxo de calor entre estes dois corpos. Porém, o calor transmitido do Sol até nós deve viajar uma região onde essencialmente existe vácuo. Note que não há um meio sólido, líquido ou gasoso para que um dos processos anteriores seja verificado. Neste caso, o calor é transmitido por meio de ondas eletromagnéticas (da mesma natureza que a luz ou as ondas de rádio, por exemplo) que têm a capacidade de se propagar no vácuo.

É através da radiação que trocamos a maior parte de calor com o meio ambiente.

Observação:

Existe um dispositivo chamado Garrafa Térmica (Vaso de Dewar) cuja função é evitar a troca de calor entre o meio ambiente e um corpo qualquer cuja temperatura devemos manter. A figura seguinte mostra um esquema básico deste dispositivo.



As paredes duplas de vidro espelhado são colocadas para dificultar as trocas de calor por radiação, enquanto que o vácuo entre essas paredes tenta evitar as trocas de calor por condução e convecção. Teoricamente, o isolamento deve ser perfeito. Na prática, porém, não há maneira de se evitar totalmente as trocas de calor, pois não conseguimos produzir espelhos que sejam refletor perfeitos nem estabelecer um vácuo propriamente dito.

4 - CALORIMETRIA

Até agora estudamos o que é calor e como ele pode ser transmitido. Nesta seção vamos medir o calor, ou seja, trabalharemos com expressões matemáticas que nos indiquem a quantidade de calor que foi transportada entre dois corpos.

Quando há troca de calor entre dois corpos, poderá ocorrer uma variação de temperatura ou a mudança do estado físico do corpo.

Chamamos de **calor sensível** aquele relacionado com a variação de temperatura de um corpo. O calor relacionado com a mudança de estado físico recebe o nome de **calor latente**.

Estudaremos, aqui, o calor sensível.

A) Capacidade Térmica

Quando um corpo troca calor, os seus átomos podem ficar mais ou menos energéticos, variando, assim, a intensidade de suas vibrações.

Dependendo da quantidade (Q) de calor trocada, esta variação (Δt) de temperatura pode ser grande ou pequena. Para um mesmo corpo, a quantidade de calor trocada é diretamente proporcional à variação de temperatura verificada.

Denominamos **capacidade térmica (C)** a razão entre a quantidade de calor trocada e a respectiva variação de temperatura.

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

A unidade mais utilizada para a capacidade térmica é:

$$[C] = \frac{[Q]}{[\Delta t]} = \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{C}}$$

A capacidade térmica nos informa a quantidade de calor necessária para variarmos de 1 grau a temperatura de um corpo qualquer. Note que, se considerarmos uma mesma quantidade de calor, quanto maior a capacidade térmica de um corpo, menor será a variação de temperatura por ele verificada.

B) Calor Específico

Vamos imaginar vários corpos feitos de um mesmo material, mas que possuam massas e capacidades térmicas diferentes. Quando cedemos a estes corpos a mesma quantidade de calor, podemos verificar que os aumentos de temperatura serão, também, diferentes. É fácil perceber que o corpo de maior massa terá o menor aumento de temperatura pelo fato de possuir a maior capacidade térmica. No entanto, se dividirmos a capacidade térmica de cada corpo pela sua respectiva massa, encontraremos um valor constante. Este valor constante é uma característica da substância de que são feitos os corpos, e recebe o nome de **calor específico (c)**. Matematicamente, temos:

$$c = \frac{C}{m} \text{ ou } c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

cuja unidade mais utilizada é: $[c] = \frac{[Q]}{[m] \cdot [\Delta t]} = \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}}$

Dizer que o calor específico de uma substância é 1,0 cal/g °C significa que cada 1 grama desta substância necessita de 1,0 caloria para variar a sua temperatura em 1 °C.

C) Equação Fundamental da Calorimetria

Da definição de calor específico encontrada no item anterior, podemos deduzir que a quantidade de calor pode ser dada pela seguinte expressão: $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$

Esta expressão é conhecida por equação fundamental da calorimetria e dela podemos tirar uma propriedade muito importante:

1 - Quando um corpo recebe calor sensível, a sua temperatura irá aumentar. Isso faz com que a variação de temperatura (Δt) seja positiva. Assim, a quantidade de calor será, também, positiva.

O sinal do calor recebido é positivo

2 - Por outro lado, se o corpo ceder calor, a sua temperatura diminuirá. Logo, a variação de temperatura e a quantidade de calor serão negativas.

O sinal do calor cedido é negativo

D) Princípio da Igualdade das Trocas de Calor

Vamos imaginar um sistema termicamente isolado (uma garrafa térmica, por exemplo) que contenha, internamente, vários corpos com temperaturas diferentes. Sabemos que estes corpos irão trocar calor até que seja estabelecido o equilíbrio térmico.

Como não haverá trocas de calor com o meio externo, podemos concluir que o módulo do calor cedido será igual ao módulo do calor recebido. Como o sinal do calor recebido é positivo e o do calor cedido é negativo, chegamos ao seguinte princípio:

“Em um sistema termicamente isolado, a soma do calor cedido e do calor recebido é zero.”

$$\Sigma Q_{\text{RECEBIDO}} + \Sigma Q_{\text{CEDIDO}} = 0$$

Em um laboratório, podemos utilizar este princípio para o cálculo do calor específico de uma substância ou da quantidade de calor trocada entre dois corpos. O sistema termicamente isolado que utilizamos para este fim recebe o nome de **calorímetro**.

Se o enunciado de um exercício mencionar os termos calorímetro ideal ou calorímetro de capacidade térmica desprezível, iremos considerar nulas as trocas de calor entre os corpos e o calorímetro.

Por outro lado, se for dado o valor da capacidade térmica do calorímetro, teremos que considerá-lo como um corpo a mais na troca de calor.

5 - MUDANÇAS DE FASE

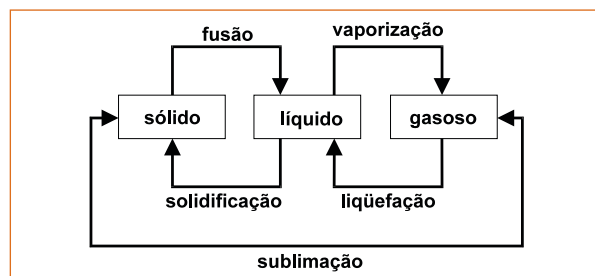
Esta seção é dedicada ao estudo das mudanças de fases (ou de estado físico) e das trocas de calor que ocorrem nestes processos. Estudaremos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso.

O estado sólido é caracterizado por uma grande coesão entre as partículas, o que mantém a forma e o volume definidos. Esta é a fase das menores temperaturas e, portanto, das vibrações atômicas menos intensas.

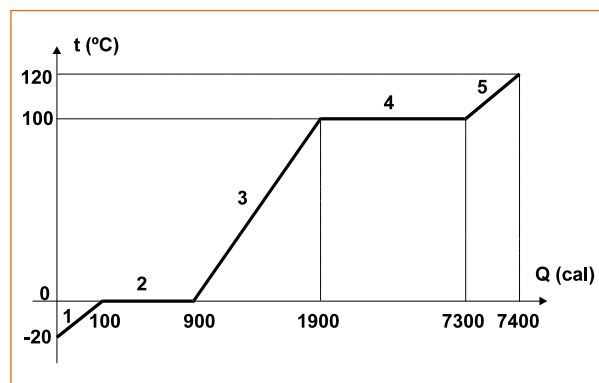
O estado líquido é um intermediário entre o sólido e o gasoso. Esta fase se caracteriza por um volume definido e uma forma indefinida.

Já o estado gasoso possui as mais altas temperaturas. Nesta fase, tanto a forma quanto o volume são indefinidos. Podemos separar o estado gasoso em duas partes: vapor e gás. Uma certa massa será considerada vapor se puder ser liquefeita por compressão. Se esta massa não for liquefeita por compressão, será chamada de gás. O limite entre estas duas partes do estado gasoso é a chamada temperatura crítica, que é uma característica de cada substância. Abaixo da temperatura crítica, teremos o vapor e acima, gás.

Acompanhe o esquema que mostra as três fases (estados físicos) e as respectivas mudanças.



Como estamos trabalhando sempre com substâncias puras, durante uma mudança de fase qualquer, a temperatura irá permanecer a mesma. Observe o gráfico que representa a temperatura em função da quantidade de calor recebida por 10 gramas de água, inicialmente a -20°C .



No gráfico, podemos perceber que existem regiões onde a temperatura sofreu um certo aumento (1, 3 e 5), ou seja, o calor é sensível. Já nas regiões 2 e 4, a

temperatura permaneceu constante, o que nos leva a concluir que, nestas regiões, houve uma mudança de fase. O calor é, portanto, latente.

Região 1: a água estava no estado sólido. Houve um aumento de temperatura de 20°C .

Região 2: o gelo estava sofrendo fusão. A temperatura de fusão do gelo é de 0°C . Note que esta temperatura permanece constante até que todo o gelo tenha se transformado em água líquida.

Região 3: a água sofreu um aumento de temperatura de 100°C . Estado líquido.

Região 4: a água estava sofrendo vaporização.

Região 5: o vapor d'água sofreu um aumento de temperatura de 20°C .

Nas regiões em que há mudança de fase não é possível utilizar a equação fundamental da calorimetria, uma vez que não há mudança de temperatura. Veremos, a seguir, a equação que nos permite calcular a quantidade de calor latente.

A) Calor Latente

Quanto maior a massa de um corpo, mais calor ele deve trocar para que haja a mudança de fase. Porém, se considerarmos massas diferentes de uma mesma substância em uma mudança de estado físico, perceberemos que a razão entre a quantidade de calor trocada e a massa do corpo é uma constante que só depende da substância e do tipo de mudança de fase. A esta constante damos o nome de **calor (específico) latente de mudança de fase (L)**.

De acordo com o que foi apresentado, a expressão para o cálculo da quantidade de calor latente é:

$$Q = m \cdot L$$

A principal unidade do calor latente de mudança de fase é: cal/g.

Dizer que o calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g significa dizer que cada 1 grama de gelo, a 0°C, necessita de 80 calorias para sofrer fusão completamente.

Observação:

A quantidade de calor que uma substância precisa receber para sofrer fusão ou vaporização é igual à quantidade de calor que esta substância deve ceder para sofrer, respectivamente, solidificação ou liquefação. Dessa forma, temos, para uma mesma substância, as seguintes relações:

$$L_{\text{FUSÃO}} = -L_{\text{SOLIDIFICAÇÃO}} \quad \text{e} \quad L_{\text{VAPORIZAÇÃO}} = -L_{\text{LIQUEFAÇÃO}}$$

6 - DILATAÇÃO TÉRMICA

Quando aquecemos um corpo, as suas partículas passam a apresentar um aumento no grau de vibração. Com as partículas mais agitadas, ocorre um distanciamento maior entre elas. A esse aumento na distância média entre as partículas de um corpo, devido ao aumento de temperatura, damos o nome de dilatação térmica. Esta dilatação térmica ocorre sempre em relação ao volume do corpo, esteja ele no estado sólido, líquido ou gasoso.

De uma maneira geral, podemos dizer que o poder de dilatação dos gases é maior do que o dos líquidos, que por sua vez é maior que o dos sólidos.

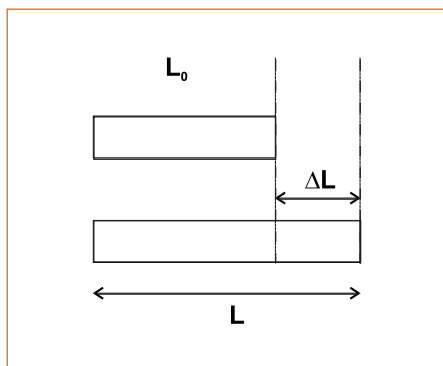
A) Dilatação dos Sólidos

Apesar de a dilatação térmica dos sólidos ser sempre volumétrica, em várias situações estaremos nos referindo à dilatação apenas no comprimento ou na área deste corpo. Acompanhe os itens a seguir.

A.1) Dilatação Linear

Quando estivermos trabalhando com corpos cujo comprimento é muito mais evidente que o seu volume, diremos que a sua dilatação é linear.

Imagine uma barra que possua, a uma temperatura t_0 , um comprimento L_0 . Se aquecemos esta barra até uma temperatura t , o seu comprimento passa a ser L . Veja a figura.



Diremos que a barra sofreu uma dilatação $\Delta L = L - L_0$ por causa da elevação de temperatura Δt .

São três os fatores que influenciam nesta dilatação:

- 1 - O valor do comprimento inicial da barra. Quanto maior for o comprimento inicial, L_0 , maior será a dilatação verificada pela barra.
- 2 - O tipo de material de que é feito a barra. Para que possamos medir o poder de dilatação que um certo material possui, temos uma grandeza chamada **coeficiente de dilatação linear (α)**, que é diretamente proporcional à dilatação sofrida pela barra.
- 3 - A variação de temperatura verificada pela barra. Quanto maior for a elevação de temperatura, maior será a dilatação da barra.

Equacionando estes fatores, encontramos a expressão matemática que nos permite calcular a dilatação linear de um corpo.

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Observações:

- 1) A unidade do coeficiente de dilatação linear é o inverso da unidade de temperatura. Da expressão vista acima, podemos perceber que:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t} \Rightarrow [\alpha] = \frac{[\Delta L]}{[L_0][\Delta t]} = \frac{1}{[\Delta t]} = [\Delta t]^{-1}$$

Utilizaremos, com maior frequência, o $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

- 2) Em alguns exercícios, é pedido o valor do comprimento final atingido pela barra. Para encontrá-lo, podemos utilizar a seguinte expressão:

$$\Delta L = L - L_0 \quad (1)$$

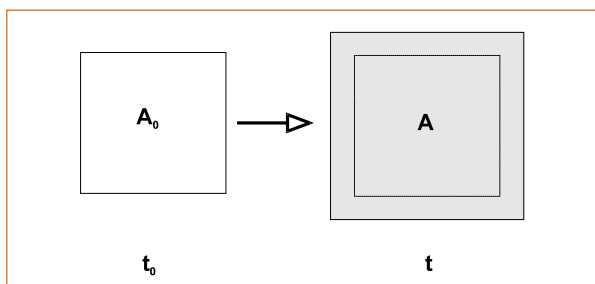
$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), temos: $L - L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \Rightarrow L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$. Assim: $L = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t)$

A.2) Dilatação Superficial

Quando estivermos trabalhando com placas, chapas, ou qualquer corpo cuja área seja evidente, diremos que este corpo está sofrendo uma dilatação superficial. O raciocínio utilizado na dilatação linear é o mesmo, ou seja, a dilatação superficial depende do valor da área inicial, de um coeficiente de dilatação e da variação da temperatura.

A figura seguinte mostra uma placa que, a uma temperatura inicial t_0 , possui uma área A_0 . Quando a placa é aquecida a uma temperatura t , sua área passa a ser A .



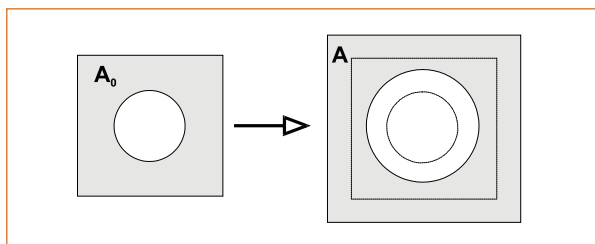
A dilatação superficial $\Delta A = A - A_0$ pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta t$$

Onde β é chamado de **coeficiente de dilatação superficial** e depende do material de que é feita a placa.

Observações:

- 1) A unidade do coeficiente de dilatação superficial é, também, o inverso da unidade de temperatura.
- 2) Como temos uma dilatação em duas dimensões, o valor do coeficiente de dilatação superficial é o dobro do valor do coeficiente de dilatação linear para uma mesma substância. $\beta = 2\alpha$
- 3) A exemplo do que fizemos na dilatação linear, o valor final da área da chapa pode ser encontrado pela seguinte relação. $A = A_0 (1 + \beta \cdot \Delta t)$
- 4) A dilatação térmica é sempre uma expansão. Assim, vamos imaginar uma placa que possua um orifício central, de acordo com a figura seguinte.



Quando a chapa tiver a sua temperatura aumentada, o seu **orifício irá sofrer uma dilatação** como se fosse feito do material de que é feita a chapa.

A.3) Dilatação Volumétrica

Este tipo de dilatação é o que realmente ocorre em todos os corpos. Porém, ele somente será evidente quando estivermos trabalhando com corpos tais como um cubo, uma esfera ou um paralelepípedo, por exemplo. O esquema desta dilatação segue o das duas outras, ou seja, a dilatação volumétrica (ΔV) depende do volume inicial V_0 , do coeficiente de dilatação (chamado de **coeficiente de dilatação volumétrico**, γ) e do aumento de temperatura (Δt).

A expressão desta dilatação é:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

Observações:

- 1) A unidade do coeficiente de dilatação volumétrico é, também, o inverso da unidade de temperatura.
- 2) O valor do coeficiente de dilatação volumétrico de uma substância é o triplo do valor do coeficiente de dilatação linear da mesma substância.

$$\gamma = 3\alpha$$

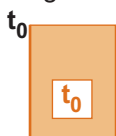
- 3) Para o cálculo do volume final atingido por um corpo, devemos utilizar a seguinte expressão:

$$V = V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta t)$$

B) Dilatação de Líquidos

Além de sofrerem sempre uma dilatação volumétrica, os líquidos possuem um poder de dilatação (coeficiente de dilatação) maior que o dos sólidos. Assim, em condições iniciais iguais, a dilatação dos líquidos será mais intensa que a dos sólidos.

A figura seguinte mostra um recipiente completamente preenchido por um líquido, a uma temperatura inicial t_0



Se aquecermos igualmente o conjunto, a dilatação do líquido será maior que a do recipiente e, portanto, parte do líquido irá transbordar.

A diferença entre a dilatação do líquido e a do sólido é chamada de **dilatação aparente**. Assim:

$$\Delta V_{AP.} = \Delta V_{LIQ.} + \Delta V_{REC.}$$

Observação:

Sempre que partirmos de uma situação inicial onde o líquido e o recipiente possuem o mesmo volume, a dilatação aparente será a quantidade do líquido que transborda. Porém, se o volume inicial do líquido for

B.1) Comportamento Anormal da Água

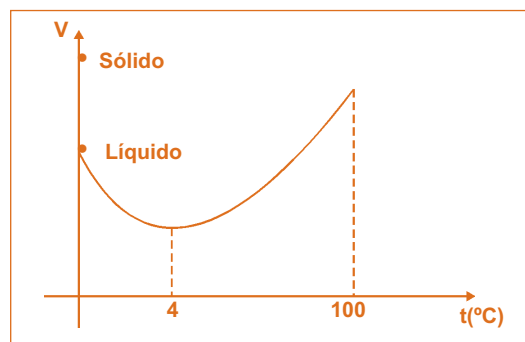
Na seção anterior, afirmamos que um corpo aquecido irá apresentar um aumento em suas dimensões que chamamos de dilatação térmica. Pelo texto apresentado, qualquer corpo que tenha um aumento em sua temperatura irá verificar uma dilatação.

Existe uma exceção a esta regra que é a água. No intervalo de temperaturas de **0°C a 4°C**, a água se comporta de maneira oposta ao que foi dito, ou seja:

- 1 - Quando **aquecemos** uma certa massa de água, de 0°C a 4°C, o seu volume **diminui**.
- 2 - Quando **resfriamos** uma certa massa de água, de 4°C a 0°C, o seu volume **aumenta**.
- 3 - Quando uma certa massa de água, a 0°C, sofre **solidificação**, o seu volume **aumenta**.

O gráfico ao lado mostra o volume de uma massa de água em função da sua temperatura. Note que, no estado líquido, o volume da água é mínimo a 4°C.

Em países de clima frio, onde os lagos e rios se congelam no inverno, este comportamento anômalo da água é de fundamental importância para o equilíbrio ecológico. Imagine um lago em uma região fria. No inverno, a temperatura do ambiente vai diminuindo e provocando uma diminuição na temperatura da água. Quando a superfície da água atinge os 4°C, o seu volume é o menor possível e, por consequência, a sua densidade é a maior.

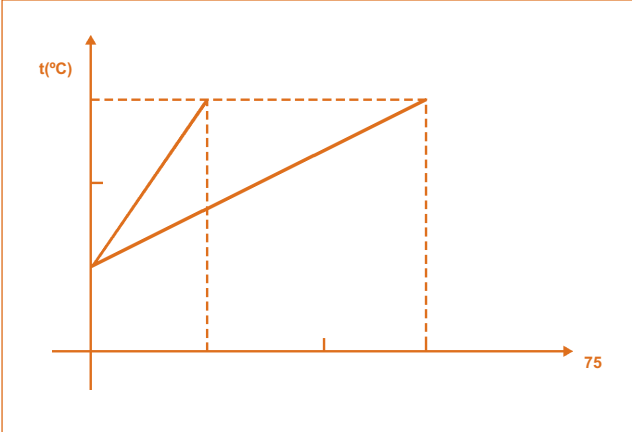


Por isso, a água a 4°C se desloca para o fundo do lago e não retorna mais. O congelamento do lago se dará, portanto, da superfície para o fundo.

Quando a água começa a se solidificar, o gelo produzido possui uma densidade menor que a da água líquida, ficando, portanto, na superfície do lago. Como o gelo é bom isolante térmico, irá se formar uma camada de gelo com uma certa espessura que diminuirá consideravelmente as trocas de calor entre a água e o meio ambiente.

Este fato possibilita a preservação da vida no interior do lago. Note que se a água tivesse um comportamento normal, o congelamento se daria do fundo para a superfície, matando as formas de vida que porventura existissem no lago.

Questões de Aprofundamento

- 1) (PUC-MG) A respeito da energia, na forma de calor, é **INCORRETO** afirmar que:
 - a) quando um gás absorve calor, mas sua temperatura não varia, seu volume aumenta.
 - b) calor e trabalho são grandezas físicas de mesma natureza.
 - c) na transferência de calor por convecção, ocorre transporte de matéria.
 - d) calor é energia em trânsito.
 - e) se um corpo possui elevada temperatura, significa que possui grande quantidade de calor.
- 2) (UFMG) Um ventilador ligado provoca a sensação de frescor nas pessoas.
A afirmativa que **melhor** descreve a explicação desse fenômeno é:
 - a) o ventilador altera o calor específico do ar.
 - b) o ventilador aumenta a pressão do ar sobre a pele das pessoas.
 - c) o ventilador diminui a temperatura do ar.
 - d) o ventilador retira o ar quente de perto da pele das pessoas.
- 3) (UFMG) Caminhando dentro de casa, ao passar da sala, que tem o chão coberto de tábuas de madeira, para a cozinha, cujo piso é de granito, tem-se a sensação de que o piso da cozinha está mais frio que o da sala.
Essa sensação é devida ao fato de:
 - a) a capacidade térmica do piso de granito ser menor que a das tábuas de madeira.
 - b) a condutividade térmica do piso de granito ser maior que a das tábuas de madeira.
 - c) a temperatura do piso da cozinha ser menor que a do chão da sala.
 - d) o calor específico do granito ser menor que o das tábuas de madeira.
- 4) (UFMG) Um bloco de 80 gramas foi colocado dentro de um calorímetro, bem isolado, contendo 50 gramas de água. Depois de várias horas, observou-se uma situação final na qual havia, ainda, 80 gramas de gelo no interior do calorímetro. Pode-se concluir, desta experiência, que:
 - a) a condutividade térmica do gelo é igual à da água.
 - b) as quantidades de calor contidas na água e no gelo, na situação final, tornaram-se iguais.
 - c) a temperatura final do gelo e da água era de 0°C .
 - d) o calor específico do gelo é igual ao calor específico da água.
 - e) o calor latente de fusão do gelo é maior do que a energia contida na água.
- 5) (UFMG) Este gráfico mostra como variam as temperaturas de dois corpos, **M** e **N**, cada um de massa igual a 100 g, em função da quantidade de calor absorvida por eles.
 

Os calores específicos dos corpos **M** (c_M) e **N** (c_N) são, respectivamente:

 - a) $c_M = 0,10 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ e $c_N = 0,30 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
 - b) $c_M = 0,067 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ e $c_N = 0,20 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
 - c) $c_M = 0,20 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ e $c_N = 0,60 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
 - d) $c_M = 10 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ e $c_N = 30 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
 - e) $c_M = 5,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ e $c_N = 1,7 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$

6) (Odonto-Diamantina) A capacidade calorífica (térmica) de uma amostra de água é cinco vezes maior do que a de um bloco de ferro. Considere tal amostra de água na temperatura de 20°C e tal bloco de ferro na temperatura de 50°C . Colocando-os num recipiente termicamente isolado e de capacidade térmica desprezível, a temperatura final de equilíbrio, em $^{\circ}\text{C}$, será igual a:

- a) 12,5 b) 25 c) 35 d) 45 e) 70

7) (Odonto-Diamantina) Duas substâncias, P e Q, cujas massas são 100g e 200g, respectivamente, estão no seu respectivo ponto de fusão. Para que ocorra a fusão completa, elas precisam receber a mesma quantidade de calor. Se o calor latente de fusão de P é igual a 80 cal/g, o calor latente de fusão de Q, em cal/g, é igual a:

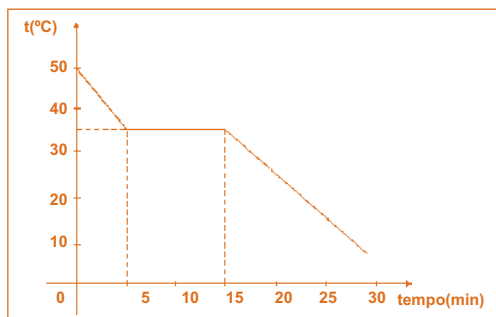
- a) 320 b) 160 c) 80 d) 40 e) 20

8) (FEFISA-SP) Misturando-se 100g de água a 70°C a 50g de água a 40°C , obtém-se uma temperatura final igual a 55°C . Considerando-se o calor específico da água igual a $1,0 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, os dados indicam que a massa total de água cedeu calor para o ambiente. O calor cedido para o ambiente, em calorias, é igual a:

- a) $2,5 \cdot 10^2$ b) $5,0 \cdot 10^2$ c) $7,5 \cdot 10^2$ d) $1,0 \cdot 10^3$

9) (UFMG) Uma substância foi resfriada no ar atmosférico. Durante o processo, foram feitas medidas de tempo e temperatura que permitiram construir este gráfico.

A análise desse gráfico permite concluir que todas as alternativas estão corretas, **EXCETO**



- a) A solidificação ocorreu durante 10 minutos.
b) O sistema libera calor entre 5 e 15 minutos.
c) A temperatura de solidificação da substância é 35°C .
d) A temperatura da substância caiu $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ até o início da solidificação.
e) A substância se apresentava nos estados líquido e sólido entre 5 e 15 minutos.

10) (PUC-MG) A água entra em ebulição à temperatura de 100°C , quando submetida a uma pressão de 1 atm. Um antigo livro de Física diz que “é possível que a água entre em ebulição à temperatura ambiente”. Sobre esse enunciado, podemos seguramente afirmar que:

- a) é verdadeiro, somente se a pressão sobre a água for muito menor que 1 atm.
b) é falso, não havendo possibilidade de a água entrar em ebulição à temperatura ambiente.
c) é verdadeiro, somente se a pressão sobre a água for muito maior que 1 atm.
d) é verdadeiro, somente se a temperatura ambiente for muito elevada, como ocorre em clima de deserto.
e) é verdadeiro somente para a “água pesada”, tipo de água em que cada átomo de hidrogênio é substituído pelo seu isótopo conhecido como deutério.

11) (UFV) Ao derramarmos éter sobre a pele, sentimos uma sensação de resfriamento em consequência de:

- a) a pele fornecer ao éter a energia responsável por sua mudança de fase.
b) o éter penetrar nos poros, congelando imediatamente os vasos sanguíneos.
c) o éter, por ser líquido, encontrar-se a uma temperatura inferior à da pele.
d) o éter limpar a pele, permitindo maior troca de calor com o ambiente.
e) o éter contrair os pêlos, proporcionando a sensação de resfriamento.

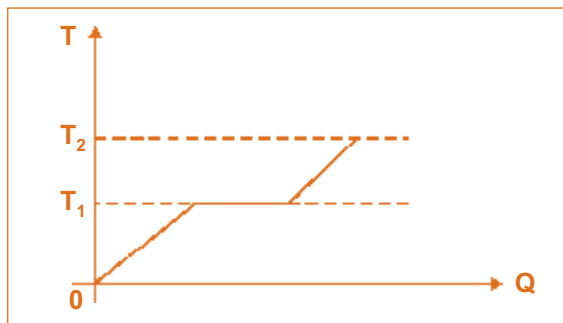
12) (PUC-MG) A quantidade de calor necessária para fundir 1,0g de gelo que se encontra à temperatura de 273K e sob 1 atm vale, em calorias: Dado: $L = 80 \text{ cal/g}$.

- a) zero b) 1,0 c) 80 d) 273 e) 540

13) (PUC-MG) Um bloco de gelo de 40kg a 0°C é posto sobre uma superfície horizontal e impulsionando, percorrendo uma distância de 42m. Observa-se que houve a fusão de 20g do bloco. O coeficiente de atrito entre o bloco e a superfície é: Dados: $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ $L_f = 80 \text{ cal/g}$ $g = 10 \text{ m/s}^2$

- a) 0,10 b) 0,15 c) 0,40 d) 0,55 e) 0,60

- 14) (PUC-MG) O diagrama mostra a variação de temperatura de um corpo, em função do calor recebido. Afirma-se que:

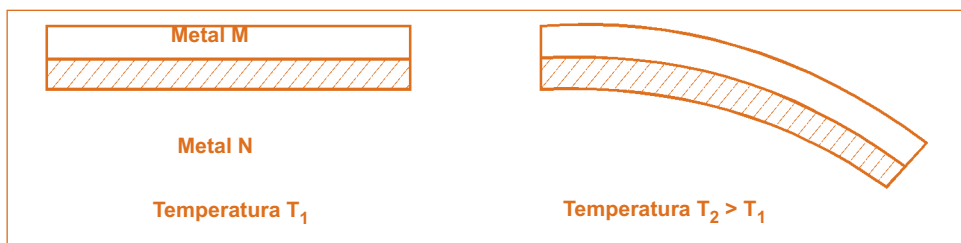


- a) O calor específico do corpo é constante.
 b) Durante o aquecimento, o corpo realizou trabalho.
 c) Houve mudança da fase na temperatura T_1 .
 d) A capacidade térmica é menor no intervalo de 0 a T_1 .
 e) O corpo recebeu maior calor no intervalo de T_1 a T_2 .

- 15) (PUC-MG) Um calorímetro de capacidade térmica desprezível contém 1.000g de água a 0°C . Lançam-se 192g de alumínio a 100°C nessa água, atingindo-se 4°C de temperatura de equilíbrio. O calor específico

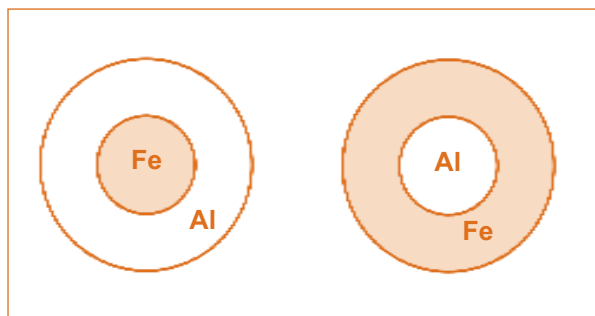
do alumínio, em $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$, é:

- a) 0,217 b) 0,093 c) 0,199 d) 0,550 e) 0,113
- 16) (UFLA) Num calorímetro de capacidade térmica $10 \text{ cal}/^\circ\text{C}$, tem-se uma substância de massa 200g, calor específico $0,2 \text{ cal}/\text{g}^\circ\text{C}$ a 60°C . Adiciona-se nesse calorímetro uma massa de 100g e de calor específico $0,1 \text{ cal}/\text{g}^\circ\text{C}$ à temperatura de 30°C . A temperatura de equilíbrio será de:
- a) 55°C b) 45°C c) 25°C d) 30°C e) 70°C
- 17) Duas lâminas de metais diferentes, **M** e **N**, são unidas rigidamente. Ao se aquecer o conjunto até uma certa temperatura, este se deforma, conforme mostra a figura.



Com base na deformação observada, pode-se concluir que:

- a) a capacidade térmica do metal **M** é maior do que a capacidade térmica do metal **N**.
 b) a condutividade térmica do metal **M** é maior do que a condutividade térmica do metal **N**.
 c) a quantidade de calor absorvida pelo metal **M** é maior do que a quantidade de calor absorvida pelo metal **N**.
 d) o calor específico do metal **M** é maior do que o calor específico do metal **N**.
 e) o coeficiente de dilatação linear do metal **M** é maior do que o coeficiente de dilatação linear do metal **N**.
- 18) (UFMG) O coeficiente de dilatação térmica do alumínio (Al) é, aproximadamente, duas vezes o coeficiente de dilatação térmica do ferro (Fe). A figura mostra duas peças onde um anel feito de um desses metais envolve um disco feito do outro. À temperatura ambiente, os discos estão presos aos anéis.



Se as duas peças forem aquecidas uniformemente, é correto afirmar que:

- a) apenas o disco de Al se soltará do anel de Fe.
 b) apenas o disco de Fe se soltará do anel de Al.
 c) os dois discos se soltarão dos respectivos anéis.
 d) os discos não se soltarão dos anéis.

- 19) O tanque de combustível de um carro de Fórmula 1 tem capacidade de 120 litros e são colocados 100 litros de combustível a 5°C . Considerando o coeficiente de dilatação volumétrica do combustível $1,2 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$ e a variação de volume do tanque desprezível, então a 45°C o volume colocado terá um acréscimo, em litros, de:
- a) 4,8 litros b) 3,6 litros c) 2,4 litros d) 1,2 litros e) 20,0 litros
- 20) (Itaúna-MG) Uma garrafa de plástico cheia d'água é colocada no congelador de uma geladeira. No dia seguinte, verifica-se que a garrafa está toda trincada. Assinale a alternativa que **MELHOR** explica o fenômeno:
- a) O gelo afunda na água, quebrando a garrafa.
b) A densidade do gelo é maior que a da água.
c) Ocorre choque térmico devido à diferença de temperaturas.
d) O peso do gelo é maior que o peso da mesma massa de água.
e) Uma massa de água tem mais volume na fase sólida que na fase líquida.
- 21) (UFLA) Uma barra de ferro, homogênea, é aquecida de 10°C até 60°C . Sabendo-se que a barra a 10°C tem um comprimento igual a 5,000 m e que o coeficiente da dilatação linear do ferro é igual $1,2 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$, podemos afirmar que a variação de dilatação ocorrida e o comprimento final da barra foram de:
- a) $5 \times 10^{-4}\text{m}$; 5,0005m c) $3 \times 10^{-4}\text{m}$; 5,0003m
b) $4 \times 10^{-4}\text{m}$; 5,0004m d) $2 \times 10^{-4}\text{m}$; 5,0002m
- 22) (UFMG) O comprimento L de uma barra, em função de sua temperatura t , é descrito pela expressão $L = L_0 + L_0 a (t - t_0)$, sendo L_0 o seu comprimento à temperatura t_0 e a o coeficiente de dilatação do material da barra.
- Considere duas barras, **X** e **Y**, feitas de um mesmo material. A uma certa temperatura, a barra **X** tem o dobro do comprimento da barra **Y**. Essas barras são, então, aquecidas até outra temperatura, o que provoca uma dilatação ΔX na barra **X** e ΔY na barra **Y**.
- A relação **CORRETA** entre as dilatações das duas barras é:

- a) $\Delta x = \Delta y$ b) $\Delta x = 4 \Delta y$ c) $\Delta x = \frac{\Delta y}{2}$ d) $\Delta x = 2 \Delta y$

COMPORTAMENTO DOS GASES E TERMODINÂMICA

1 - INTRODUÇÃO

Já estudamos, no capítulo 1, as grandezas fundamentais da Física Térmica: temperatura e calor. Vamos as implicações do fornecimento de calor a um certo corpo: aumento de temperatura, dilatação térmica e mudança de fase.

Neste capítulo, teremos a oportunidade de verificar as principais características dos gases. Estaremos estudando as transformações gasosas e as suas respectivas relações de energia.

Ao final, poderemos compreender o funcionamento de motores a explosão e de refrigeradores.

2 - GÁS IDEAL

Quando estudamos uma certa substância no estado gasoso, sabemos que as suas partículas apresentam um alto grau de desordem. Como consequência, o estado gasoso não possui nem forma nem volume definidos. Além disso, podemos separar o estado gasoso em duas partes: **vapor e gás**.

O vapor pode ser liqüefeito por compressão e o gás, não.

Devido ao movimento caótico das partículas de um gás, é impossível estudar as características básicas (energia e quantidade de movimento, por exemplo) de cada partícula. Só para que se tenha uma idéia, se quiséssemos contar o número de moléculas de 1,0 mol de um gás qualquer através de um aparelho que registre uma molécula a cada $1,0 \times 10^{-6}$ segundo, levaríamos cerca de **vinte bilhões de anos** nesta contagem.

Está claro que o estudo dos gases deve ser puramente **estatístico**. Portanto, quando dissermos que a velocidade das moléculas tem certo valor, deve-se entender que este é um **valor médio**.

Outra dificuldade que existe é a grande quantidade de gases, cada um com características particulares.

Para sanar essa dificuldade, vamos criar o **modelo do gás ideal (perfeito)** e estudar o comportamento deste tipo de gás.

Para ser ideal, um gás teria que apresentar as seguintes características:

- a) grande número de partículas.
- b) o volume das partículas deve ser desprezível, em comparação com as distâncias por elas percorridas.
- c) as partículas do gás não interagem à distância.
- d) as partículas efetuam choques perfeitamente elásticos que duram um intervalo de tempo muito pequeno.
- e) o movimento das partículas é totalmente caótico.

Não há exemplos de gases que sejam **perfeitos**. Porém, gases mantidos a **altas temperaturas e baixas pressões** se aproximam muito das características citadas.

3 - VARIÁVEIS DE ESTADO DE UM GÁS

No estudo da cinemática, estudamos algumas grandezas que nos forneciam as características básicas do movimento de um corpo: espaço, velocidade, aceleração e tempo. As variáveis de estado de um gás nos contarão as características básicas de um certo gás. São três essas variáveis: **temperatura, pressão e volume**.

- A) **TEMPERATURA**: já sabemos que temperatura mede o grau de agitação das moléculas de um certo corpo. É importante se notar que, em um gás, a temperatura está relacionada com a velocidade das partículas. Podemos perceber que quanto maior a temperatura do gás, maior será a velocidade de suas partículas.

Observação: A velocidade a que nos referimos no texto deve ser entendida como a **média das velocidades das partículas do gás** ($\bar{v}$). Lembre-se que é possível que um grupo de partículas possua uma velocidade maior e que outro grupo possua velocidade menor que a média.

Percebemos, portanto, que existe uma relação entre a temperatura do gás e a **energia cinética média** das partículas.

No estudo dos gases, temperatura tem que ser trabalhada em Kelvin.

B) **PRESSÃO**: devido ao movimento caótico das partículas de um gás, a todo instante teremos a colisão destas com as paredes internas do recipiente. A essas colisões podemos relacionar uma força de interação entre o gás e o recipiente, o que irá produzir uma certa pressão.

Quando estudamos a hidrostática, vimos que pressão é a razão entre força aplicada e a área de aplicação. No caso de um gás, a pressão por ele exercida está relacionada com o número de choques entre as partículas e as paredes do recipiente.

C) **VOLUME**: os gases não possuem forma nem volume definidos. Sabemos que o volume de um gás é igual ao volume do recipiente que o contém.

4 - EQUAÇÃO DE CLAPEYRON

Vamos imaginar um gás que possua um número de mols igual a n . Esse gás está contido em um recipiente de volume V , possui uma temperatura absoluta T e exerce uma pressão p sobre o recipiente.



gás

p, V, T, n

A relação entre as variáveis de estado é dada pela equação de Clapeyron:

$$p \cdot V = n R T$$

R é a constante universal dos gases, cujo valor depende somente das unidades. Os principais valores de R são:

$$R = 8,3 \text{ J/mol K}$$

O joule (J) foi obtido partir do produto das unidades $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ (da pressão) e m^3 (do volume).

Lembre-se que $\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$

$$R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$$

quando a pressão for dada em atmosferas e o volume, em litros.

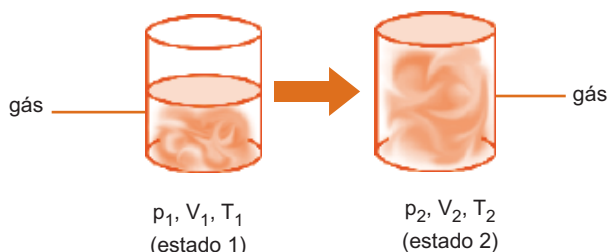
Percebemos que em ambos os casos o número de mols deve ser trabalhado em mol e a temperatura, em

5 - EQUAÇÃO GERAL DOS GASES PERFEITOS

Sabemos que as grandezas que definem o estado de um gás são a temperatura, a pressão e o volume.

Diremos que um gás sofreu uma transformação quando essas grandezas se modificam. A equação que é aplicada a essas transformações recebe o nome de **equação geral dos gases perfeitos**.

A figura seguinte mostra um recipiente com a tampa móvel que contém um gás ideal e dois estados diferentes deste gás.



Se considerarmos que a massa de gás permanece a mesma dentro do recipiente, o número de mols, n , é constante.

Assim, podemos escrever a equação de Clapeyron para os dois estados do gás.

$$\text{Estado 1: } p_1 \cdot V_1 = n R T_1 \Rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = n \cdot R \quad (\text{I})$$

(II)

$$\text{Estado 2: } p_2 \cdot V_2 = n R T_2 \Rightarrow \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = n \cdot R$$

As duas equações anteriores são iguais.

Assim, $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$ que é a equação geral dos gases.

Iremos aplicar essa equação no estudo de algumas transformações gasosas específicas.

Observação: No caso de haver variação da massa do gás (devido a, por exemplo, um escapamento de gás), o número de mols no estado 1 (n_1) será diferente do número de mols no estado 2 (n_2). Nesse caso, a

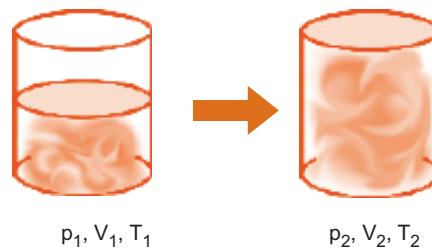
equação anterior pode ser escrita como sendo:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$$

6 - TRANSFORMAÇÕES GASOSAS

A) **Transformação isotérmica:** É possível que um gás sofra uma transformação, de um estado 1 para outro estado 2, de tal forma que a sua temperatura permaneça constante ($T_1 = T_2$). Nesse caso, a equação geral dos gases fica reduzida a:

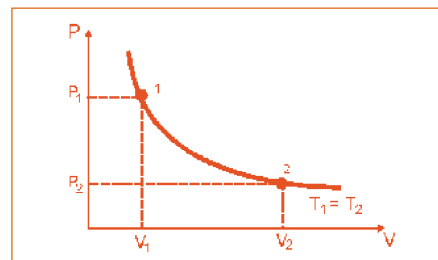
$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$



Essa transformação recebe o nome de **isotérmica** (*iso* = igual; *termos* = temperatura) e, pela equação apresentada, podemos concluir que a pressão é inversamente proporcional ao volume do gás ($p \propto \frac{1}{V}$).

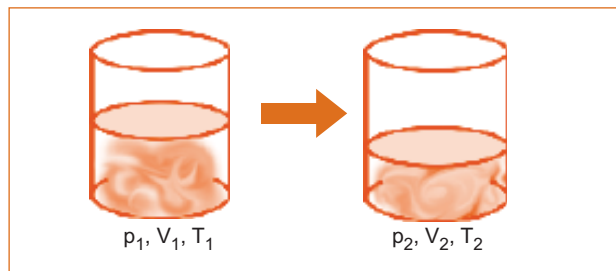
O motivo desta característica pode ser explicado facilmente: se a temperatura do gás é constante, a velocidade das moléculas também o é. O aumento do volume do recipiente, por exemplo acarreta em aumento no percurso médio das moléculas entre dois choques sucessivos contra as paredes do recipiente. Por consequência, a taxa de colisões (e a pressão) diminui.

O gráfico da pressão em função do volume é uma hipérbole chamada **isoterma**. Veja:



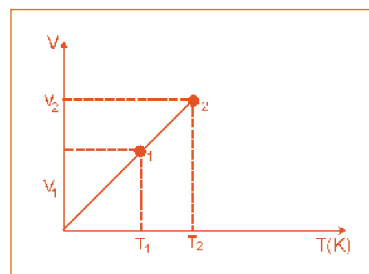
B) **Transformação isobárica:** Uma transformação gasosa em que a pressão exercida pelo gás é sempre a mesma recebe o nome de **isobárica** (*baros* = pressão). Nesse caso, o volume ocupado pelo gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta. A equação dos gases pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



Para que a pressão fique constante, é necessário que a taxa de colisões entre as partículas do gás e o recipiente permaneça a mesma. Se diminuirmos o volume, a distância média percorrida pelas partículas do gás entre 2 colisões se tornará menor e, para manter constante a pressão, a velocidade das partículas deve diminuir.

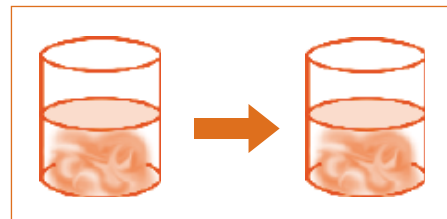
O gráfico do volume em função da temperatura absoluta do gás será uma reta. Veja:



C) **Transformação isovolumétrica, isocórica ou isométrica:**

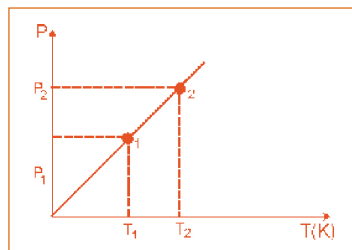
Se um recipiente possui um volume constante e contém um gás em seu interior, as transformações que esse gás pode sofrer são feitas a volume constante. Quando um gás possui volume constante em uma transformação, a pressão é diretamente proporcional à temperatura absoluta. A equação dos gases fica reduzida a:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$



Note que, com o volume constante, a distância média percorrida pelas partículas do gás entre dois choques é sempre a mesma. O aumento da temperatura significa o aumento da velocidade média das partículas e, portanto, a taxa de colisões aumenta.

O gráfico da pressão em função da temperatura absoluta é:



7 - TRABALHO (W)

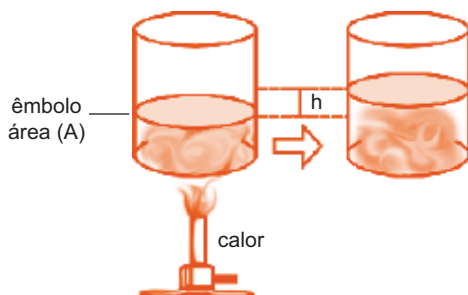
A) Trabalho em uma transformação isobárica

Vamos imaginar que uma certa massa de gás está contida em um recipiente cujo volume pode variar (êmbolo móvel).

Se fornecermos uma quantidade de calor ao gás é possível que, devido ao aumento verificado na energia média das partículas, o gás “empurre” o êmbolo para cima, aumentando, portanto, o seu volume.

A figura seguinte mostra as situações inicial e final descritas no parágrafo anterior.

A transformação descrita é **isobárica**, ou seja, onde sabemos que o volume é diretamente proporcional à temperatura absoluta.



Podemos entender que o gás irá aplicar uma força de intensidade F sobre o êmbolo móvel de área A . Devido a essa força, o êmbolo sofrerá um deslocamento h .

O trabalho realizado pelo gás pode ser calculado por: $W = F \cdot h$ (I)

Mas a pressão exercida pelo gás pode ser calculada por: $P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A$ (II)

Substituindo (II) em (I), temos: $W = p \cdot A \cdot h$

Da geometria espacial, sabemos que o produto $A \cdot h$ representa o volume do cilindro. No caso que estamos estudando, esse produto representa o aumento de volume ΔV verificado pelo gás. Assim: $W = p \cdot \Delta V$

Com base na expressão que obtivemos, podemos estabelecer duas situações distintas.

- 1) Quando houver uma expansão (aumento de volume), o sinal de ΔV é positivo. Nesse caso, o trabalho será positivo e diremos que o gás realizou trabalho.
- 2) Em uma contração (diminuição de volume), ΔV é negativo. Logo, o trabalho é negativo. Diremos que o meio externo realizou trabalho sobre o gás.

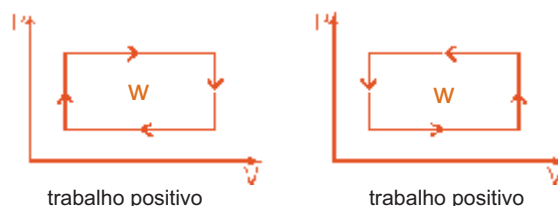
B) Trabalho em uma transformação qualquer

Em uma transformação qualquer (inclusive na isobárica), podemos calcular o trabalho através da área sob o gráfico pressão versus volume. É importante que tenhamos sempre em mente que o trabalho é positivo na expansão e negativo na compressão.

Observação: Uma transformação é chamada de cíclica quando a pressão, volume e temperatura, após algumas evoluções, retomam os valores iniciais.



O trabalho total de um ciclo é numericamente igual à área interna do ciclo. Veja:



8 - ENERGIA INTERNA DE UM GÁS (U)

Já sabemos que as partículas de um gás estão em constante movimentação e que quanto maior a temperatura, maior será a média das velocidades dessas partículas.

Devido a essa movimentação, dizemos que as partículas possuem uma certa energia cinética. Daremos nome de energia interna (U) de um gás à soma das energias cinéticas das suas partículas. Pode-se demonstrar que a energia interna é dada por:

$$U = \frac{3}{2} nRT \quad \text{onde } n = \text{número de mols}$$

R = constante universal dos gases

ou

$$U = \frac{3}{2} p \cdot V$$

p = pressão

V = volume do gás

A variação da energia interna (ΔU) depende, portanto, da variação da temperatura absoluta do gás. Assim:

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

Note que:

1) no **aquecimento**: $\Delta T > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$

2) no **resfriamento**: $\Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$

9 - 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

A 1ª lei da termodinâmica estabelece a relação existente entre o calor, o trabalho e a energia interna de um gás.

Podemos entender esta lei como uma lei da conservação da energia. A expressão matemática é: $Q = W + \Delta U$

Q é a quantidade de calor trocada, que pode ser positiva quando o calor é recebido pelo gás, e negativa quando o calor é cedido pelo gás.

Vamos aplicar essa lei às transformações gasosas.

A) Transformação isotérmica

Se a temperatura é constante, $\Delta U = 0$. Assim a 1ª lei pode ser escrita da seguinte forma: $Q = W$

Essa expressão sugere que, mesmo recebendo calor, a temperatura do gás não se altera, pois toda a energia recebida é gasta sob forma de trabalho.

B) Transformação isobárica

Nesse caso, os três termos da 1ª lei são diferentes de zero. Logo: $Q = W + \Delta U$

Se o gás receber calor, parte dessa energia será utilizada para realizar trabalho e a outra parte será armazenada sob a forma de energia interna. Se o gás ceder calor, o trabalho será realizado sobre o gás e a sua temperatura irá diminuir.

C) Transformação isovolumétrica

Quando o volume permanece constante, não há a realização de trabalho ($W = 0$). Dessa forma, a 1ª lei fica reduzida a: $Q = \Delta U$

Isso significa que todo o calor recebido pelo gás é armazenado sob forma de energia interna. Por outro lado, se o gás ceder calor, ele utiliza a sua energia interna para tal fim.

D) Transformação adiabática

Chamamos de transformação adiabática aquela que se processa sem troca de calor entre o gás e o meio externo ($Q = 0$). Assim: $W = -\Delta U$

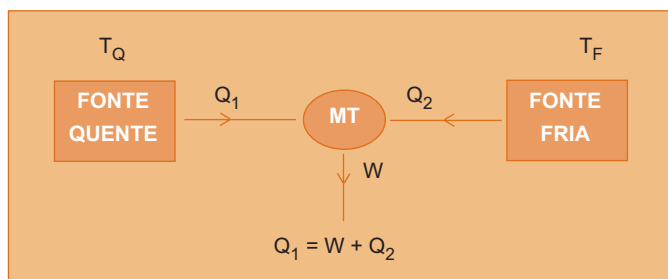
Note que, se o gás realizar trabalho (aumento de volume, $W > 0$), a sua energia interna diminui (diminuição de temperatura, $\Delta U < 0$). Por outro lado, se o meio externo realizar trabalho sobre o gás (diminuição de volume, $W < 0$), a energia interna do gás irá aumentar (aumento de temperatura, $\Delta U > 0$).

10 - 2ª LEI DA TERMODINÂMICA

Quando aplicamos a 1ª lei da Termodinâmica à transformação isotérmica, encontramos uma situação absurda: como $Q = W$, seria possível de se obter um aproveitamento de 100% do calor recebido por um gás. Na prática, não se obtém esse rendimento.

A 2ª lei da Termodinâmica aparece para restringir esse ponto incorreto da 1ª lei. Para que possamos compreender a 2ª lei, vamos imaginar uma máquina térmica (M.T.) que necessite de uma certa quantidade de calor Q_1 para funcionar.

Essa máquina está recebendo o calor Q_1 de uma fonte térmica, chamada **fonte quente** que está a temperatura T_Q . De todo o calor recebido, uma parte será aproveitada pela máquina para a realização de um trabalho W . A máquina térmica irá, sempre, ceder a uma outra fonte térmica (**fonte fria**) uma quantidade de calor Q_2 . A fonte fria está a uma temperatura T_F . Veja o esquema:



A 2ª lei da Termodinâmica afirma que é impossível a uma máquina térmica aproveitar a integridade da quantidade de calor que recebe da fonte quente, ou seja, $Q_2 \neq 0$.

Para uma máquina térmica, $R = \frac{\text{energia útil}}{\text{energia total}} = \frac{W}{Q_1}$, mas $Q_1 = W + Q_2 \Rightarrow W = Q_1 - Q_2$

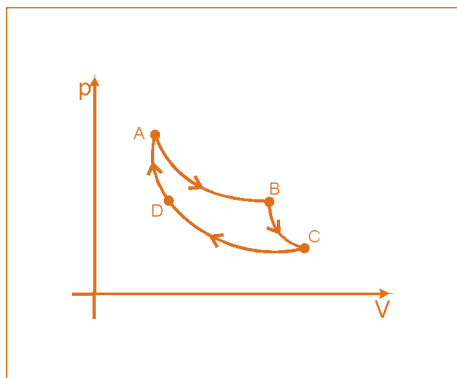
$$R = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow R = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

11 - O CICLO DE CARNOT

Uma vez que se sabe que o rendimento de uma máquina térmica nunca será de 100%, podemos tentar imaginar uma maneira de se aproveitar o máximo possível o calor recebido.

O físico Sadi Carnot descobriu um ciclo de transformações (hoje chamado ciclo de Carnot) no qual o rendimento será o maior possível.

O ciclo de Carnot se constitui de: expansão isotérmica (AB), expansão adiabática (BC), compressão isotérmica (CD) e compressão adiabática (DA). Veja:



Pode-se demonstrar que o rendimento de uma máquina térmica que opera segundo um ciclo de Carnot é:

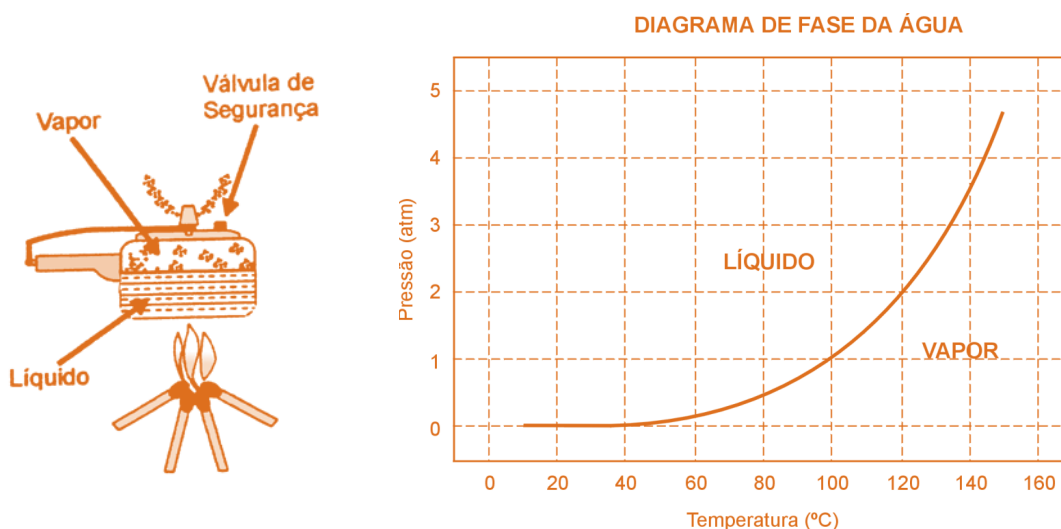
$$R = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

T_F e T_Q são as temperaturas absolutas das fontes fria e quente, respectivamente.

Questões de Aprofundamento

- 1) (ENEM) A panela de pressão permite que os alimentos sejam cozidos em água muito mais rapidamente do que em panelas convencionais. Sua tampa possui uma borracha de vedação que não deixa o vapor escapar, a não ser através de um orifício central sobre o qual assenta um peso que controla a pressão. Quando em uso, desenvolve-se uma pressão elevada no seu interior. Para a sua operação segura, é necessário observar a limpeza do orifício central e a existência de uma válvula de segurança, normalmente situada na tampa.

O esquema da panela de pressão e um diagrama de fase da água são apresentados abaixo.



A vantagem do uso de panela de pressão é a rapidez para o cozimento de alimentos e isto se deve

- à pressão no seu interior, que é igual à pressão externa.
 - à temperatura de seu interior, que está acima da temperatura de ebulição da água no local.
 - à quantidade de calor adicional que é transferida à panela.
 - à quantidade de vapor que está sendo liberada pela válvula.
 - à espessura da sua parede, que é maior que a das panelas comuns.
- 2) (ENEM) Se, por economia, abaixarmos o fogo sob uma panela de pressão logo que se inicia a saída de vapor pela válvula, de forma simplesmente a manter a fervura, o tempo de cozimento
- será maior porque a panela “esfria”.
 - será menor, pois diminui a perda de água.
 - será maior, pois a pressão diminui.
 - será maior, pois a evaporação diminui.
 - não será alterado, pois a temperatura não varia
- 3) (UFMG) Um mergulhador, em um lago, solta uma bolha de ar de volume V a 5,0 m de profundidade. A bolha sobe até a superfície, onde a pressão é a pressão atmosférica. Considere que a temperatura da bolha permanece constante e que a pressão aumenta cerca de 1,0 atm a cada 10 m de profundidade. Nesse caso, o valor do volume da bolha na superfície é, **aproximadamente**,
- 0,67 V
 - 2,0 V
 - 0,50 V
 - 1,5 V .

ÓPTICA E ONDULATÓRIA

ÓPTICA GEOMÉTRICA REFLEXÃO DA LUZ

1 - INTRODUÇÃO

A Óptica é a parte da Física que estuda a luz. Ela é dividida em Óptica Física (que se preocupa em investigar a natureza da luz) e Óptica Geométrica (que estuda a propagação da luz em vários meios e os fenômenos que podem acontecer durante essa propagação).

Vamos estudar, neste capítulo, a Óptica Geométrica, onde teremos oportunidade de trabalhar com, basicamente, dois fenômenos relacionados com a luz: reflexão e refração.

Entenderemos os processos de formação de imagens em espelhos e lentes, faremos uma investigação de alguns aparelhos ópticos como a câmara escura, a lupa e o microscópio e estudaremos a óptica da visão.

2 - CONCEITOS INICIAIS

A) Luz: é o tipo de onda eletromagnética (pode se propagar no vácuo) responsável pelas nossas sensações visuais, cujas frequências vão de $4,0 \times 10^{14}$ Hz a $7,5 \times 10^{14}$ Hz.

Se a luz emitida por algum objeto atingir os nossos olhos, podemos dizer que estamos enxergando este objeto. Dependendo do tipo de luz que este objeto está emitindo, teremos a sensação da formação de uma

B) Fontes de Luz

São todos os objetos que emitem luz, própria ou não. Note que se um objeto é uma fonte de luz, ele pode ser visto por nós. Dizemos que as fontes de luz são, portanto, os objetos visíveis.

B.1) Fontes Primárias: são aquelas que possuem um mecanismo próprio para a emissão de luz, ou seja, estas fontes “criam” a luz por elas emitida. O Sol, uma vela acesa e uma chama são exemplos de fonte de luz primária. São também chamadas de corpos luminosos.

B.2) Fontes Secundárias: são corpos que necessitam receber luz de outros corpos para serem vistos. Estes corpos apenas refletem parte da luz que incide sobre eles. São também chamadas de corpos iluminados.

B.3) Fontes Puntiformes: são aquelas cujo tamanho é desprezível em relação ao todo observado. As estrelas que vemos durante a noite são, para nós, fontes puntiformes.

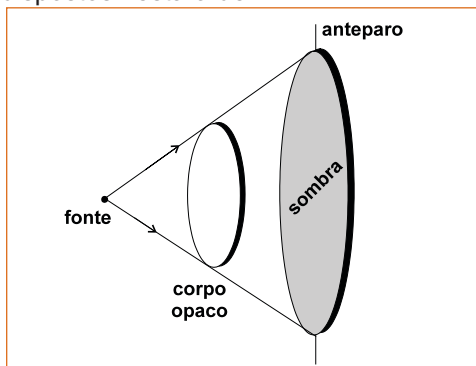
B.4) Fontes Extensas: são fontes cujo tamanho não pode ser desprezado. Se observarmos o farol de um automóvel a 20 centímetros de distância, ela será, para nós, uma fonte de luz extensa.

C) Princípios da Óptica Geométrica

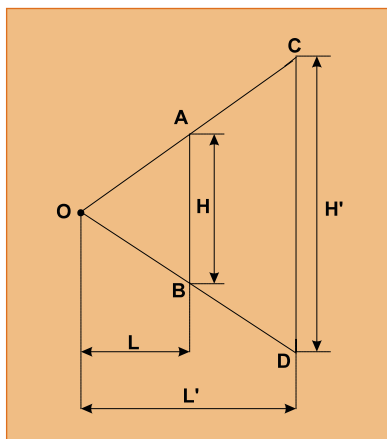
C.1) Princípio da Propagação Retilínea: Em meios homogêneos e isotrópicos (as características são independentes da direção de observação) a luz se propaga em linha reta. Este princípio é de grande importância para o estudo da Óptica Geométrica por apresentar as condições para que a luz se desloque em linha reta.

Veremos, a seguir, algumas consequências deste princípio.

C.1.1) Formação de Sombras: A figura mostra uma fonte puntiforme, um corpo opaco e um anteparo, dispostos nesta ordem.



Alguns raios luminosos que são emitidos pela fonte não conseguem atingir o anteparo, pois o corpo opaco não permite que eles passem. Dessa forma, podemos produzir, no anteparo, uma região escura chamada sombra (ou umbra).

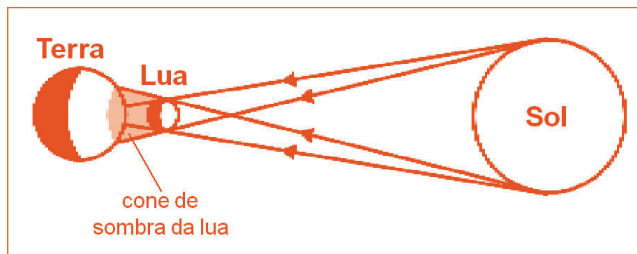


Seja L a distância entre a fonte e o anteparo, L' a distância entre a fonte e a sombra, H o comprimento do corpo opaco (no caso, o diâmetro do disco) e H' o comprimento da sombra. A figura ao lado mostra estas distâncias.

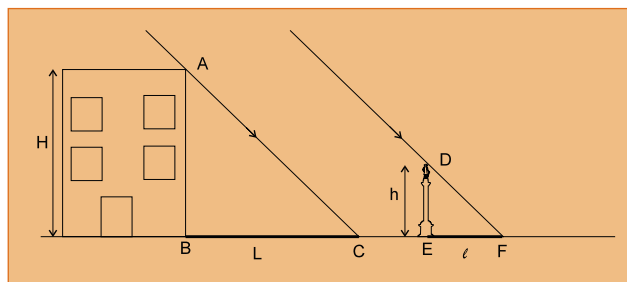
Os triângulos OAB e OCD são semelhantes. Assim, vale a relação:

$$\frac{H}{L} = \frac{H'}{L'}$$

C.1.2) Eclipse Solar: Devido aos movimentos de translação da Terra e da Lua, de tempos em tempos ocorre um alinhamento Sol-Lua-Terra. Isto faz com que a Lua impeça que alguns raios solares incidam sobre a Terra. A este fenômeno damos o nome de eclipse solar. Veja.



C.1.3) Cálculo de Alturas: Imagine que queiramos calcular a altura H de um prédio. Para isso, podemos medir, em uma determinada hora do dia, o comprimento da sombra por ele projetada e comparar com o comprimento da sombra projetada por um outro corpo (que deve ser medido no mesmo instante) do qual conhecemos a altura. Veja a figura.



Como os raios solares são paralelos, os triângulos ABC e DEF são semelhantes. Dessa forma, podemos escrever que a razão entre a altura H do prédio e a altura h do corpo é igual à razão entre o comprimento L da sombra projetada pelo prédio e o comprimento l da sombra projetada pelo corpo.

Matematicamente, temos: $\frac{H}{h} = \frac{L}{l}$

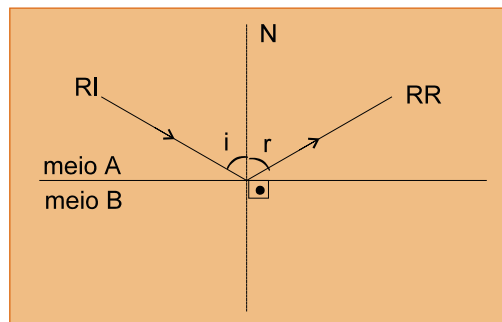
C.2) Princípio da Independência dos Raios Luminosos: Quando dois raios de luz se cruzam, cada um deles segue o seu caminho, como se nada tivesse acontecido.

C.3) Princípio da Reversibilidade dos Raios Luminosos: Trocando-se de posição o objeto e o observador, o caminho seguido pelo raio luminoso é o mesmo, havendo, somente, uma inversão no sentido de propagação.

3 - REFLEXÃO DA LUZ

Imagine um raio luminoso que se propaga em um meio A e incide na superfície de separação deste meio com outro meio B . Este raio luminoso pode não conseguir atravessar a superfície e retornar para o meio A . Este fenômeno é chamado de REFLEXÃO LUMINOSA.

Para que possamos estudar a reflexão luminosa, existem alguns elementos importantes e que estão representados na figura seguinte.



RI: raio incidente;

RR: raio refletido;

N: reta normal (sempre perpendicular à superfície)

i : ângulo de incidência;

r : ângulo de reflexão

Os ângulos de incidência e de reflexão devem ser medidos, sempre, em relação à reta normal traçada.

A) Leis da Reflexão

1ª Lei: A reta normal, o raio incidente e o raio refletido são coplanares.

2ª Lei: O ângulo de incidência é congruente ao ângulo de reflexão ($i = r$).

B) Tipos de Reflexão

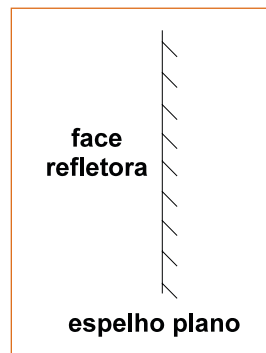
B.1) Reflexão Especular (Regular): É o tipo de reflexão que ocorre em superfícies perfeitamente polidas. Neste tipo de reflexão, um feixe cilíndrico incidente se transforma em um feixe cilíndrico refletido. A formação de imagens em espelhos está relacionada com este tipo de reflexão.

B.2) Reflexão Difusa (Difusão): É o tipo de reflexão que ocorre em superfícies rugosas onde, a partir de um feixe incidente cilíndrico, os raios luminosos são “espalhados” em diversas direções, devido à rugosidade da superfície. É através deste tipo de reflexão que podemos ver vários objetos à nossa volta.

4 - ESPELHOS PLANOS

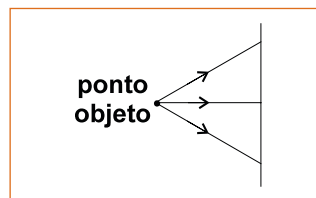
A toda superfície plana e polida, capaz de refletir a luz (em parte) de maneira especular, formando imagens, damos o nome de espelho plano.

Um espelho plano será representado, esquematicamente, por um traço. Veja

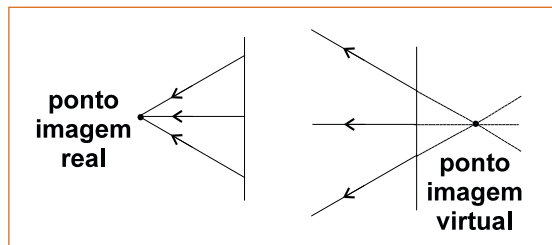


Para que possamos compreender a formação de imagens no espelho plano, é importante que entendamos o significado de PONTO OBJETO, PONTO IMAGEM, PONTO REAL e PONTO VIRTUAL. Faremos a definição destes pontos de maneira genérica, em função daquilo que iremos necessitar em todo o estudo da óptica geométrica

1) PONTO OBJETO: é o ponto formado pelo encontro de raios luminosos que incidem no sistema óptico (neste caso, o espelho plano).



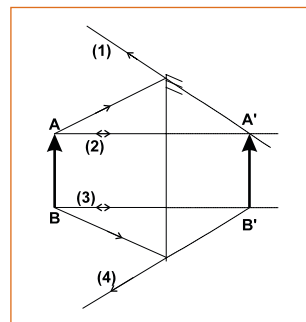
2) PONTO IMAGEM: é o ponto formado pelo encontro de raios luminosos que emergem do sistema óptico. Quando o encontro dos raios é efetivo, dizemos que o ponto é REAL. Quando o feixe emergente é divergente, devemos prolongar a direção dos raios luminosos e, dessa forma, o ponto é formado pelos prolongamentos dos raios. Dizemos, neste caso, que o ponto é VIRTUAL.



A) Formação de Imagens em Espelhos Planos: Imagine um objeto luminoso colocado em frente a um espelho plano. De cada ponto deste objeto teremos um conjunto de raios que irão incidir no espelho e, através da reflexão, poderão chegar aos olhos de um certo observador, havendo, portanto, a formação de um algum tipo de imagem.

Para que possamos construir a imagem do objeto luminoso AB, vamos considerar somente os dois pontos extremos deste objeto. Veja:

Da extremidade A do objeto, traçamos dois raios luminosos que, após a reflexão no espelho, seguem as direções (1) e (2). Note que estes raios refletidos não se encontram de fato. Quando efetuamos o prolongamento destes raios, podemos notar o encontro deles no ponto A'. Repetindo o procedimento para o ponto B, encontramos o ponto B'.



Como a imagem A'B' é formada pelos prolongamentos dos raios refletidos, ela é uma **IMAGEM VIRTUAL**, o que significa que esta imagem não pode ser projetada em anteparos. Podemos perceber que há uma grande simetria entre o objeto e a imagem. Assim, dizemos que a imagem é **DIREITA** (não invertida) e **IGUAL** (do mesmo tamanho) em relação ao objeto. Além disso, a distância entre o objeto e o espelho (D_o) é igual à distância entre a imagem e o espelho (D_i).

Resumindo estas características, dizemos que, em relação ao objeto, a imagem é:

VIRTUAL

DIREITA

IGUAL

$D_o = D_i$

Observação:

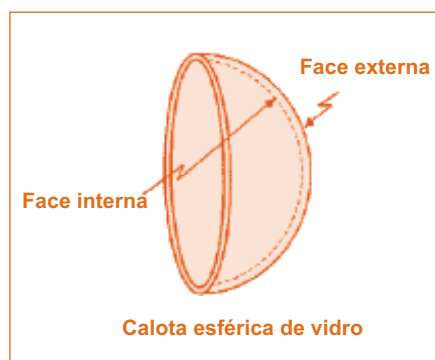
Devido ao processo de formação de imagens, o espelho plano promove a **REVERSÃO** da imagem, ou seja, ocorre a troca da orientação esquerda-direita da imagem em relação ao objeto. Se chegarmos em frente a um espelho plano e fecharmos o olho direito, teremos a impressão de que a imagem fechou o olho esquerdo.

5 - ESPELHOS ESFÉRICOS

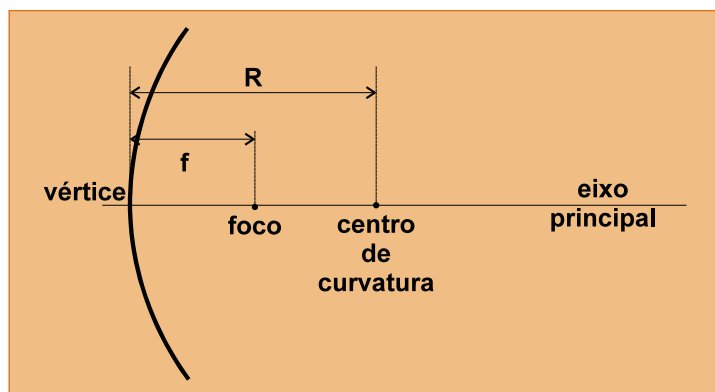
Um espelho esférico é uma secção de uma esfera capaz de refletir a luz de maneira especular e formar imagens.

Quando o espelho produz imagens através da reflexão da luz em sua parte **interna**, ele é chamado de **ESPELHO ESFÉRICO CÔNCAVO**. Este tipo de espelho pode ser utilizado na construção de telescópios, por exemplo, por formar, em determinadas condições, imagens reais.

Se a formação da imagem for feita pela reflexão luminosa em sua parte **externa**, teremos um **ESPELHO ESFÉRICO CONVEXO**. Alguns espelhos retrovisores externos de automóveis são deste tipo. Em comparação com os espelhos planos e côncavos, este tipo de espelho tem a capacidade de produzir o maior campo visual.



A) Elementos de um Espelho Esférico: Para que possamos compreender a formação de imagens nos espelhos esféricos, é necessário que conheçamos alguns de seus elementos principais. Estes elementos são os mesmos para os espelhos côncavo e convexo. A figura seguinte relaciona estes elementos.



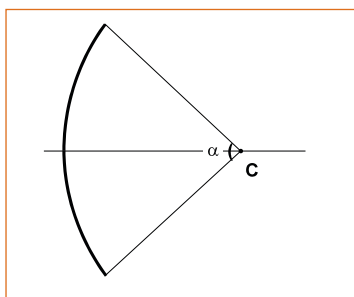
Eixo principal é uma reta que intercepta o espelho exatamente em seu centro geométrico, formando, com a superfície do espelho, um ângulo de 90° .

Vértice é o ponto de interseção entre o eixo principal e o espelho.

Quando um espelho côncavo é disposto contra o Sol, de tal forma que os raios solares incidam paralelamente ao eixo principal, nota-se uma pequena “mancha” luminosa à frente deste espelho. Isto ocorre porque os raios luminosos que incidem paralelos ao eixo principal são refletidos em direção a um ponto chamado **foco**. O nome foco deriva do latim *focus*, que significa fogo. Se uma folha de papel for colocada nesta “mancha” luminosa, poderá pegar fogo. Na prática, um espelho esférico *não possui um único ponto focal*. Este é o motivo de, na experiência descrita acima, verificarmos o aparecimento de uma “mancha” luminosa e não de um ponto luminoso. Porém, em nosso estudo, iremos considerar que *todo* raio que incida paralelamente ao eixo principal se reflete passando pelo foco. A distância entre o foco e o espelho é chamada de **distância focal (f)**.

Centro de curvatura representa o centro da esfera de onde foi retirada a calota. A distância entre o centro de curvatura e o espelho é, portanto, **o raio do espelho (R)**.

Dois segmentos de reta que ligam o centro de curvatura até as extremidades do espelho esférico determinam o **ângulo de abertura do espelho (α)**. Veja.

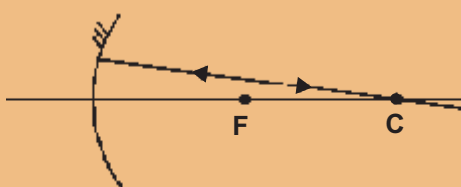


Para que a imagem produzida pelo espelho esférico seja nítida, é necessário que o seu ângulo de abertura seja muito pequeno (um limite razoável é $\alpha \leq 10^\circ$). Este limite é chamado de condição de Gauss.

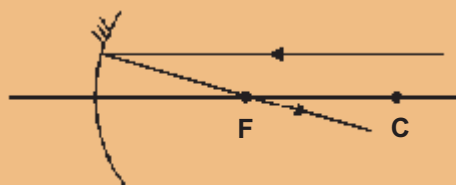
Quando este limite for respeitado, podemos dizer que a distância focal é a metade do raio, ou seja, $f = \frac{R}{2}$.

B) Raios Notáveis: São raios luminosos especiais cuja reflexão devemos conhecer para que possamos determinar graficamente as imagens produzidas pelos espelhos esféricos.

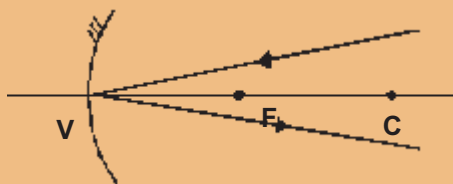
Espelho Côncavo



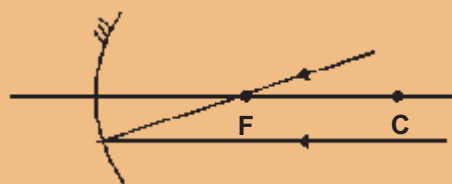
Todo raio que incide num espelho esférico côncavo passando pelo centro de curvatura reflete-se sobre si mesmo.



Todo raio que incide num espelho esférico côncavo paralelamente ao eixo principal reflete-se passando pelo foco.



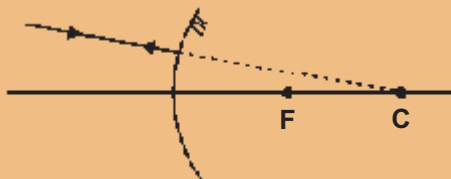
Todo raio que incide no vértice de um espelho esférico côncavo reflete-se de tal forma que o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão são iguais em relação ao eixo principal.



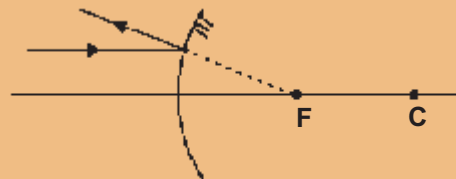
Todo raio que incide num espelho esférico côncavo passando pelo foco reflete-se paralelamente ao eixo principal.

Espelho Convexo

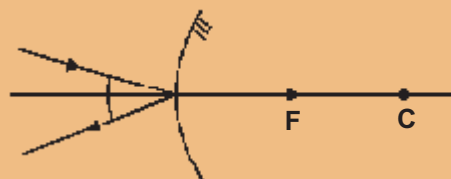
Nos espelhos convexos, esses mesmos raios se comportam da seguinte forma:



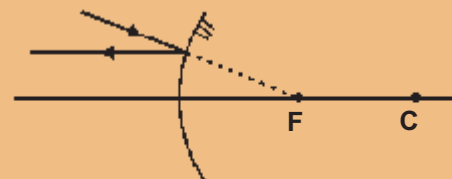
Raio incidente na direção normal à superfície.



Raio incidente paralelo ao eixo principal.

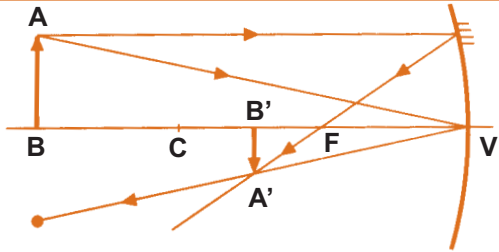
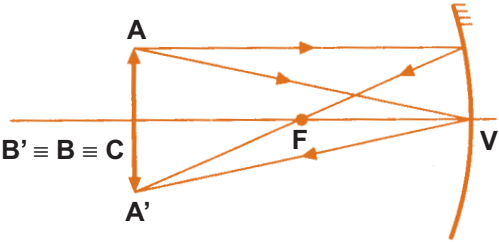
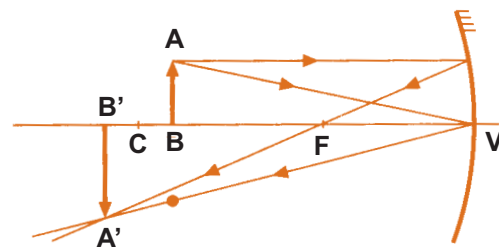
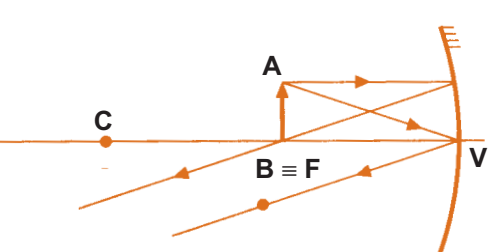
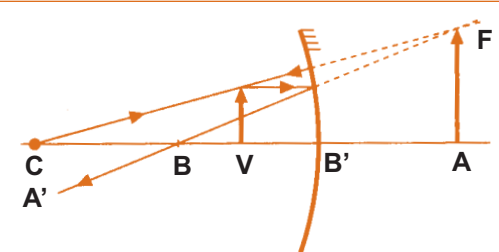
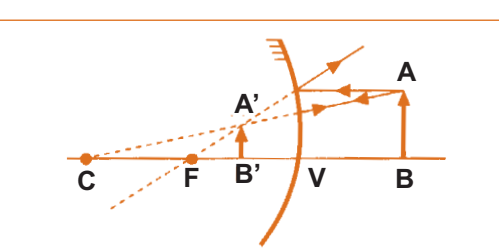


Raio incidente no vértice.



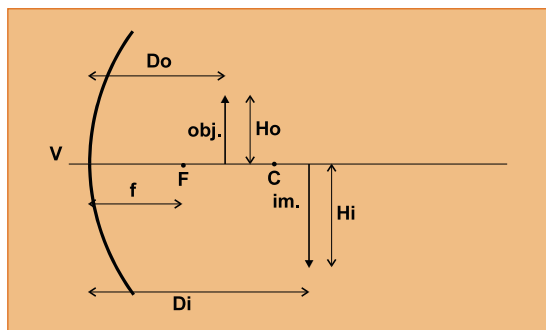
Raio incidente na direção do foco.

C) Formação de Imagens:

Posição do objeto AB	Espelho côncavo	Características da imagem A' B'
Objeto extenso além do ponto C, em que: C = centro de curvatura F = foco principal V = vértice		real menor invertida
Objeto extenso sobre C		real igual invertida
Objeto extenso entre C e F		real invertida maior
Objeto extenso sobre F		A imagem é denominada imprópria, pois os raios refletidos são paralelos.
Objeto extenso entre F e V		virtual direita maior
Objeto extenso localizado na frente do espelho		virtual menor direita

D) Equações de Gauss: Podemos determinar as características de cada imagem através da utilização de equações. Desta forma estaremos trabalhando com a formação analítica de imagens.

A figura seguinte ilustra o 3º caso mostrado no item anterior.



Na figura:

f = distância focal

Do = distância do objeto ao espelho

Di = distância da imagem ao espelho

Ho = tamanho do espelho

Hi = tamanho da imagem

As equações de Gauss são.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{Do} + \frac{1}{Di}$$

$$\frac{Hi}{Ho} = \frac{Di}{Do}$$

Além das equações acima, temos que conhecer uma convenção de sinais para f e Di . Veja:

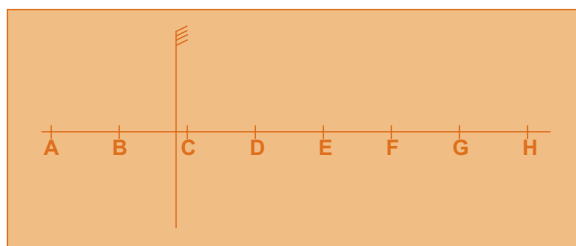
$$f \begin{cases} \text{positivo} \Rightarrow \text{espelho côncavo} \\ \text{negativo} \Rightarrow \text{espelho convexo} \end{cases} \quad \text{e} \quad Di \begin{cases} \text{positivo} \Rightarrow \text{imagem real} \\ \text{negativo} \Rightarrow \text{imagem virtual} \end{cases}$$

Questões de Aprofundamento

1) (PUCCAM-SP) O motorista de um carro olha no espelho retrovisor interno e vê o passageiro do banco traseiro. Se o passageiro olhar para o mesmo espelho verá o motorista. Este fato se explica pelo:

- princípio da independência dos raios luminosos.
- fenômeno de refração que ocorre na superfície do espelho.
- fenômeno de absorção que ocorre na superfície do espelho.
- princípio da reversibilidade dos raios luminosos.

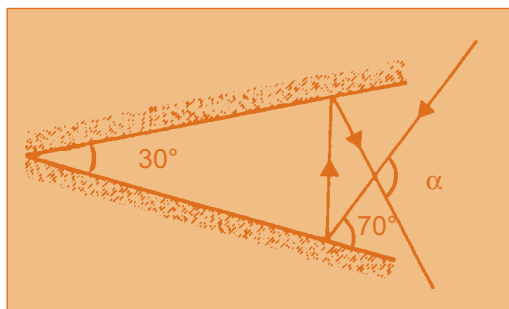
2) Na figura está representado um espelho plano vertical e um eixo horizontal onde estão os pontos A, B, C, D, E, F, G e H, eqüidistantes entre si.



Se o espelho plano sofrer uma translação, passando do ponto C ao ponto D, a imagem de A vai passar:

- do ponto D para o ponto E.
- do ponto E para o ponto G.
- do ponto E para o ponto F.
- do ponto E para o ponto H.
- do ponto F para o ponto G.

3) (UFMG) Observe a figura.

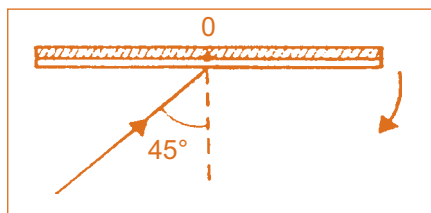


Nesta figura, dois espelhos planos estão dispostos de modo a formar um ângulo de 30° entre eles. Um raio luminoso incide sobre um dos espelhos, formando um ângulo de 70° com a sua superfície.

Esse raio, depois de se refletir nos dois espelhos, cruza o raio incidente formando um ângulo α de:

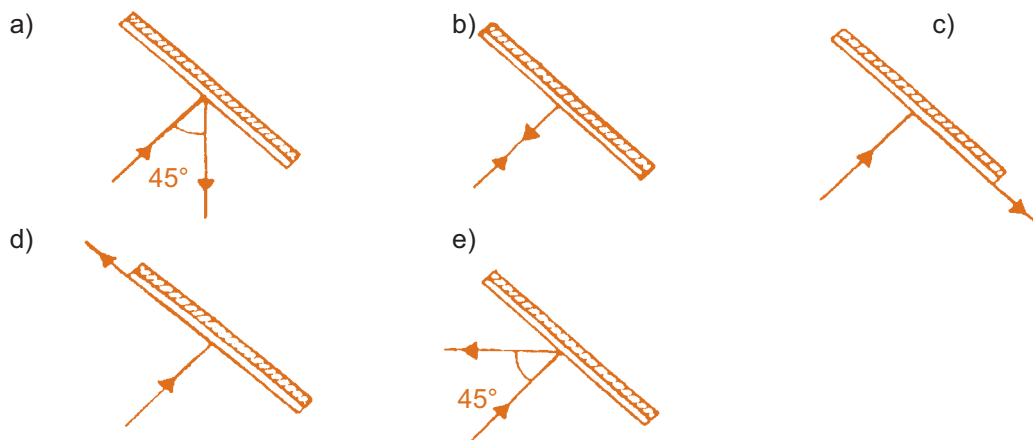
- 90°
- 100°
- 110°
- 120°
- 140°

- 4) (UFMG) Um raio de luz monocromática incide sobre a superfície refletora de um espelho plano, num ângulo de 45° , como representado na figura.



O espelho é, então, girado de 45° no sentido horário, no plano da figura, em torno do ponto O (figura). O raio é mantido na mesma direção.

A figura que melhor representa a situação final é:



- 5) (Itaúna-MG) Diante de um espelho, uma pessoa vê a sua imagem maior e direita (não invertida). Pode-se afirmar que essa pessoa está diante de um espelho:

- a) côncavo, entre o centro de curvatura e o foco. d) convexo.
b) côncavo, entre o foco e o vértice. e) plano ou côncavo.
c) côncavo ou convexo.

- 6) (UFMG) Uma revista nacional de divulgação científica publicou:

“A parte interna das colheres de metal funciona como um espelho côncavo e, segundo uma lei da Óptica, a imagem refletida é sempre real (pode ser projetada em um anteparo), menor e invertida em relação ao objeto”.

Esta afirmativa é falsa, do ponto de vista da Física. Para torná-la verdadeira, temos que efetuar, nela, a seguinte troca de termos:

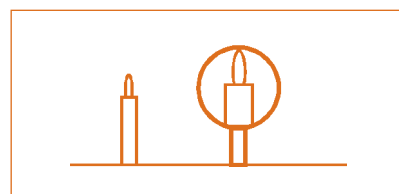
- a) côncavo por convexo d) real por virtual.
b) invertida por direta. e) sempre por às vezes.
c) menor por maior.

- 7) (PUC-MG) Um espelho esférico tem raio de curvatura igual a R . Colocando-se um objeto sobre o seu eixo principal, a uma distância igual a $3R$ do seu vértice, obtém-se uma imagem invertida em relação ao objeto. O tipo de espelho e a distância da imagem a ele são respectivamente:

- a) côncavo; $1,3R$ d) convexo; $4,2R$
b) côncavo; $0,6R$ e) côncavo; $2,0R$
c) convexo; $0,8R$

- 8) (Itaúna-MG) A figura mostra uma vela diante de um espelho. Pode-se afirmar que o espelho da figura é:

- a) côncavo e a vela está no centro de curvatura do espelho.
b) côncavo e a vela está no foco do espelho.
c) côncavo e a vela está entre o foco e o vértice.
d) convexo, pois a imagem não é invertida.
e) convexo, pois a imagem é maior que a vela.



Responda às questões de 9 a 10 assinalando para cada questão:

- a) se apenas as afirmativas I e II forem falsas.
- b) se apenas as afirmativas II e III forem falsas.
- c) se apenas as afirmativas I e III forem falsas.
- d) se todas forem verdadeiras.
- e) se todas forem falsas.

9) (PUC-MG) Sobre a formação de imagens em espelhos, pode-se dizer que:

- I. um espelho côncavo pode formar uma imagem real a partir de uma imagem virtual obtida por outro espelho.
- II. um espelho convexo pode formar uma imagem virtual a partir de uma imagem real obtida por outro espelho.
- III. um espelho côncavo pode formar uma imagem virtual a partir de uma imagem virtual obtida por outro espelho.

10) (PUC-MG) O espelho retrovisor externo dos carros está sendo construído com espelhos ligeiramente convexos para aumentar o campo de visão do motorista. Isso quer dizer que:

- I. a imagem formada é maior.
- II. a imagem formada parece mais afastada.
- III. a imagem formada parece mais próxima.

11) (UFV) A distância entre um objeto e a sua imagem real projetada num anteparo é de 30cm. Calcule o raio de curvatura do espelho, sabendo que a imagem é quatro vezes maior que o objeto.

- a) 16cm
- b) 20cm
- c) 30cm
- d) 45cm
- e) 8,0cm

12) (ENEM) A sombra de uma pessoa que tem 1,80 m de altura mede 60 cm. No mesmo momento, a seu lado, a sombra projetada de um poste mede 2,00 m. Se, mais tarde, a sombra do poste diminuiu 50 cm, a sombra da pessoa passou a medir:

- a) 30 cm
- b) 45 cm
- c) 50 cm
- d) 80 cm
- e) 90 cm

ÓPTICA GEOMÉTRICA

REFRAÇÃO DA LUZ

1 - INTRODUÇÃO

No capítulo anterior, tivemos a oportunidade de estudar alguns conceitos fundamentais para o entendimento da óptica geométrica: raio de luz, feixe, meios de propagação e tipos de imagens. Vamos utilizar vários destes conceitos para que possamos compreender o fenômeno da refração da luz.

Após o estudo das leis da refração, teremos a oportunidade de trabalhar com alguns fenômenos ópticos relacionados com a refração, tais como a reflexão total, a dispersão luminosa e a formação de imagens pelas lentes.

2 - ÍNDICE DE REFRAÇÃO (n)

A luz se propaga nos diversos meios com velocidades diferentes. O meio em que a velocidade da luz atinge o seu valor máximo é o **vácuo** (que é a velocidade máxima com que uma determinada informação pode ser transmitida, $c = 300.000 \text{ km/s}$).

O índice de refração absoluto (n) de um meio é uma grandeza que está relacionada com a velocidade com que a luz viaja em um determinado meio. Por definição, o índice de refração é:

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

Pela definição, podemos notar algumas características importantes do índice de refração absoluto, que são:

1. o índice de refração é inversamente proporcional à velocidade de propagação da luz em um certo meio.
2. o índice de refração é uma grandeza adimensional, por se tratar da razão entre duas velocidades.

3. o menor índice de refração que existe é o do vácuo, $n_0 = \frac{c}{c} = 1$. Como o índice de refração do ar é um valor muito próximo do índice de refração do vácuo, iremos considerar que: $n_{\text{vacuo}} = n_{\text{ar}} = 1$

Observações

- 1) Quando comparamos o índice de refração de dois meios, estamos estudando o índice de refração relativo. Vamos imaginar dois meios, A e B, que possuem índices de refração absolutos, n_A e n_B . O índice de

refração relativo de A em relação a B é: $n_{A,B} = \frac{n_A}{n_B}$

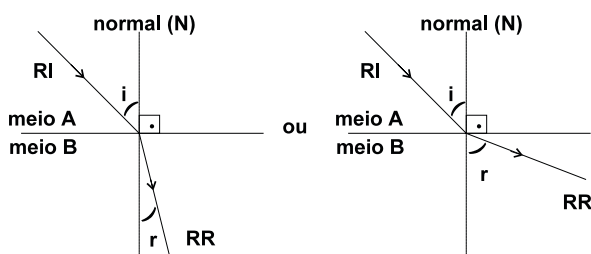
- 2) Quando um meio A possui um índice de refração absoluto maior do que o de um meio B, dizemos que A é mais refringente que B.

3 - REFRAÇÃO DA LUZ

Vamos considerar um determinado raio de luz monocromática (de uma só cor) que incide obliquamente na superfície de separação entre os meios A e B, vindo de A. É possível que este raio luminoso seja transmitido de A para B e, por causa desta transmissão, haverá um desvio em sua direção de propagação. A este fenômeno damos o nome de refração da luz.

Podemos perceber que a mudança de meio conduz a uma mudança no valor da velocidade de propagação da luz.

A figura seguinte mostra as duas possibilidades de desvio em uma refração.



Na figura, temos:

- RI - Raio Incidente; RR - Raio Refratado;
i - ângulo de incidência; r - ângulo de refração.

Note que o raio luminoso pode se aproximar da reta normal (no primeiro caso) ou se afastar da normal (no segundo caso). É devido a esta mudança na direção de propagação do raio luminoso que temos a impressão de que uma colher está torta quando ela está imersa na água.

A) Leis da Refração

1ª Lei: O raio incidente, a reta normal e o raio refratado são coplanares.

2ª Lei: Lei de Snell-Descartes.

$$n_A \sen i = n_B \sen r$$

Utilizando esta lei, podemos concluir o que vai, de fato, acontecer com um raio luminoso durante uma refração. Vejamos:

1º caso: A luz sofre refração do meio mais para o menos refringente ($n_A > n_B$). Para que a lei de Snell-Descartes seja verificada, é necessário que $\sen i < \sen r$ e, portanto, que $i < r$.

Assim, a luz irá se afastar da normal.

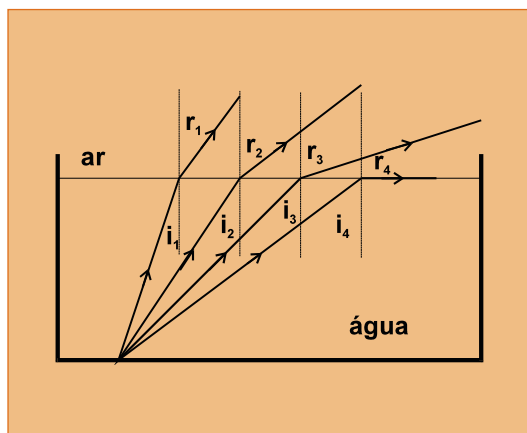
2º caso: A luz vai passar do meio menos para o mais refringente ($n_A < n_B$). Podemos concluir que, neste caso, $\sen i > \sen r$ e, portanto, $i > r$.

Dessa forma, a luz irá se aproximar da normal.

Observação:

Quando um raio luminoso incide perpendicularmente à superfície, ele é transmitido para o outro meio. Porém, neste caso, não ocorre desvio, ou seja, o raio luminoso que emerge da superfície de separação também é perpendicular a ela.

B) Ângulo Limite: Já sabemos que quando um raio luminoso sofre refração, passando do meio mais para o menos refringente, ele se afasta da reta normal. Vamos imaginar vários raios de luz monocromática que são emitidos no fundo de um tanque com água e incidem na interface água-ar com ângulos de incidência distintos.



Podemos perceber, pela figura, que o aumento no ângulo de incidência i provoca um aumento no ângulo de refração r . Quando o raio luminoso incide com um ângulo de incidência igual a i_4 , ele é refratado de maneira rasante à superfície. É fácil perceber que este é o maior ângulo de incidência possível para que haja refração, pois o ângulo de refração relacionado atingiu o seu valor máximo (90°). Este ângulo de incidência máximo recebe o nome de ângulo limite (L).

Utilizando a lei de Snell-Descartes, podemos obter uma expressão para o cálculo deste ângulo limite para um par de meios refringentes A e B ($n_A > n_B$).

$$n_A \sen L = n_B \sen 90^\circ \Rightarrow \sen L = \frac{n_B}{n_A}$$

Se um raio luminoso incidir na superfície de separação formando um ângulo $i > L$, não haverá refração. Neste caso, dizemos que este raio sofrerá reflexão total.

Podemos estabelecer, portanto, que quando um raio luminoso encontra a superfície de separação entre dois meios refringentes, vindo do meio mais refringente, existem duas possibilidades:

1. se $i \leq L \Rightarrow$ haverá refração, com o raio luminoso se afastando da normal.
2. se $i > L \Rightarrow$ haverá reflexão total.

No caso do raio luminoso incidir na superfície de separação, vindo do meio menos refringente, a refração é sempre possível.

C) Dispersão Luminosa: A luz que recebemos do Sol é dita policromática por ser formada por 7 cores (vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta). Estas 7 cores juntas formam a cor branca. Por isso, dizemos que a luz solar é branca.

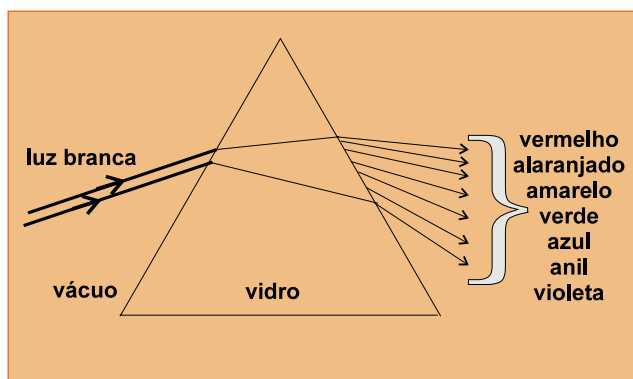
Quando a luz branca está se propagando no vácuo, todas as cores possuem a mesma velocidade $c = 300.000$ km/s. Porém, este é o único meio em que as cores possuem a mesma velocidade. Em qualquer outro meio, a luz vermelha possui a maior velocidade e a luz violeta, a menor.

- no vácuo: $V_{\text{verm.}} = V_{\text{alar.}} = V_{\text{amr.}} = V_{\text{verde}} = V_{\text{azul}} = V_{\text{anil}} = V_{\text{viol.}}$
- outros meios: $V_{\text{verm.}} > V_{\text{alar.}} > V_{\text{amr.}} > V_{\text{verde}} > V_{\text{azul}} > V_{\text{anil}} > V_{\text{viol.}}$

De acordo com a relação apresentada, podemos concluir que o índice de refração de um certo meio (exceto o vácuo) depende da cor da luz que viaja nele. Para estes meios, podemos, então, estabelecer a seguinte relação:

$$n_{\text{verm.}} < n_{\text{alar.}} < n_{\text{amr.}} < n_{\text{verde}} < n_{\text{azul}} < n_{\text{anil}} < n_{\text{viol.}}$$

Vamos imaginar que um certo feixe de luz branca esteja viajando no vácuo e incida sobre a superfície de um prisma de vidro de maneira oblíqua. Sabemos, pela Lei de Snell-Descartes, que este feixe deve se aproximar da normal. Porém, devido à diferença entre os índices de refração das diversas cores, a luz vermelha sofrerá um desvio muito menor em sua trajetória original do que a luz violeta. Como os desvios são diferentes para as diversas cores, podemos concluir que a luz branca, após a refração, irá se separar em suas cores componentes. A este fenômeno damos o nome de dispersão luminosa.



O arco-íris representa uma bonita situação em que ocorre a dispersão da luz branca em suas cores componentes.

C.1) Cor de um corpo: Quando um corpo qualquer é iluminado com luz branca, pode haver a reflexão de uma, ou mais de suas cores componentes. A cor de um corpo é definida pela luz que este corpo reflete. Quando dizemos, por exemplo, que a folha de uma árvore é verde, estamos nos referindo ao fato de esta folha refletir grande parte a luz verde que incide sobre ela.

É importante notarmos que um corpo é dito branco quando ele refletir todas as cores que nele incidem. Por este motivo é aconselhável vestirmos roupas brancas durante o verão.

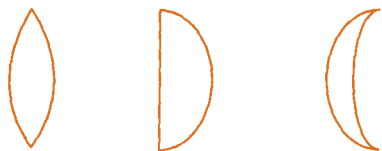
Por outro lado, um corpo é dito negro quando não refletir a luz que sobre ele incide. Neste caso, diremos que a luz foi totalmente absorvida, o que causa um aumento na temperatura desse corpo.

4 - LENTES ESFÉRICAS

Uma lente é um aparelho óptico capaz de formar imagens através da refração da luz. A lente é chamada de esférica quando pelo menos uma de suas faces for esférica.

A) Tipos de Lente: São 6 os tipos de lentes esféricas. Veja:

LENTES DE BORDAS FINAS



Biconvexa Plano-convexa Côncavo-convexa

LENTES DE BORDAS GROSSAS



Bicôncava Plano-côncava Convexo-côncava

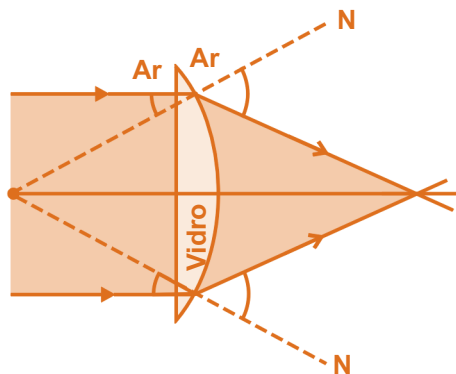
B) Comportamento Óptico de uma lente: Uma lente pode ser classificada em convergente ou divergente. Esta classificação está relacionada com a capacidade da lente em aproximar ou afastar um feixe cilíndrico que incida sobre a lente.

A tabela seguinte nos fornece a classificação da lente em função da sua forma e dos índices de refração do meio que envolve a lente e do material de que é feito a lente.

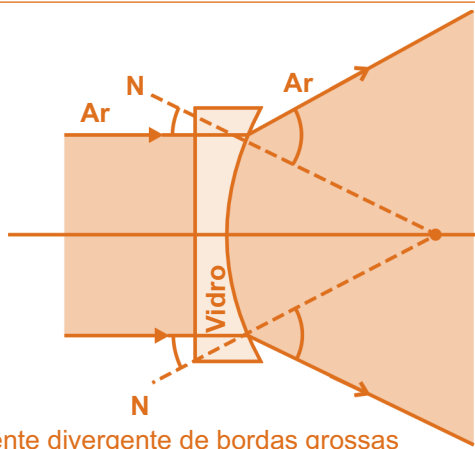
TIPO DE LENTE	$n_{\text{LENTE}} > n_{\text{MEIO}}$	$n_{\text{LENTE}} < n_{\text{MEIO}}$
Lentes de bordas finas	convergente	divergente
Lentes de bordas grossas	divergente	convergente

Exemplos:

1)



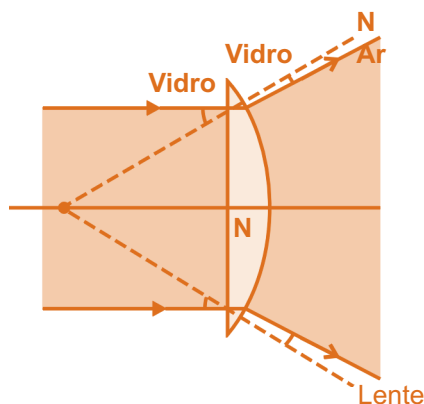
Lente convergente de bordas finas



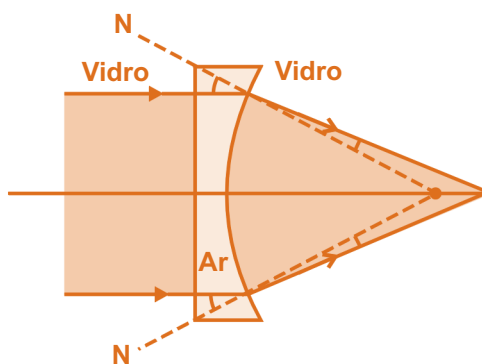
Lente divergente de bordas grossas

Nas duas situações, o raio afasta-se da reta normal **N** ao refratar-se na face esférica porque passa do meio mais refringente (vidro) para menos refringente (ar).

2)



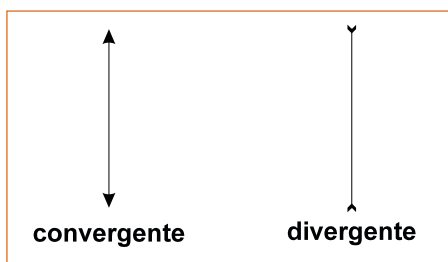
divergente de bordas finas



Lente convergente de bordas grossas

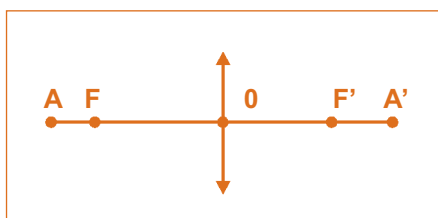
Nas duas situações, o raio aproxima-se da reta normal **N** ao refratar-se na face esférica porque passa do meio menos refringente (ar) para o mais refringente (vidro).

As lentes podem ser representadas pelos seguintes símbolos:



Faremos um desenvolvimento semelhante ao que foi feito no capítulo anterior para o caso de espelhos esféricos. Na verdade existe uma grande semelhança entre os raios notáveis e as imagens formadas.

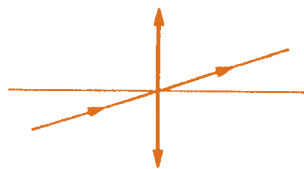
C) Elementos de uma Lente Esférica: Definiremos os elementos para uma lente convergente, mas tudo o que for discutido neste tópico é válido também para as lentes divergentes.



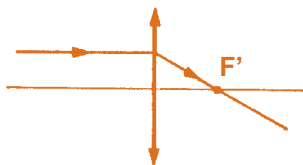
Na figura, **F** e **F'** representam os focos da lente. A distância entre cada foco e a lente é a distância focal (**f**). Os pontos **A** e **A'** são chamados de ponto antiprincipal. A distância entre cada ponto antiprincipal e a lente é o dobro da distância focal. O ponto **O** (interseção do eixo principal com a lente) é chamado de centro óptico.

D) Raios notáveis:

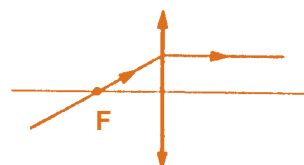
Lentes convergentes



Todo raio que incide no centro óptico atravessa a lente sem sofrer desvio.

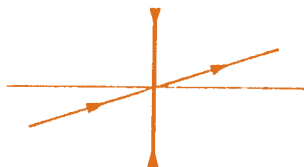


Todo raio que incide paralelamente ao eixo principal, depois de refratado, passa pelo foco.

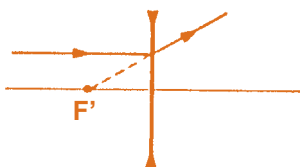


Todo raio que incide passando pelo foco emerge paralelo ao eixo principal.

Lentes divergentes



Todo raio que incide no centro óptico atravessa a lente sem sofrer desvio.



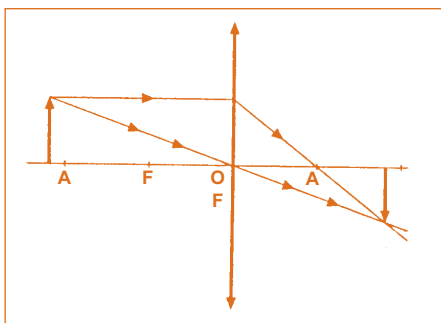
Todo raio que incide paralelamente ao eixo principal sai da lente numa direção que contém o foco.



Todo raio que incide na direção do foco emerge paralelo ao eixo principal.

E) Formação de imagens

1º caso: objeto antes de A.

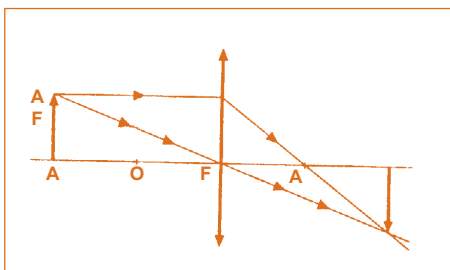


Características da imagem

real
invertida
menor

* Este caso é utilizado em copiadoras (tipo xerox) que produzem cópias reduzidas.

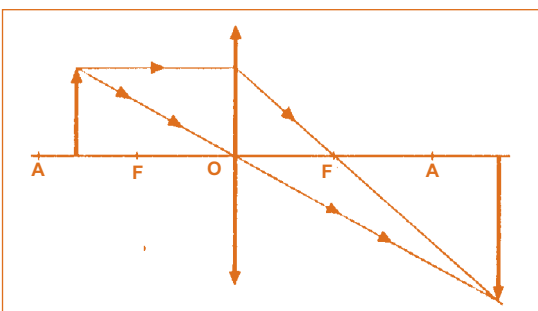
2º caso: objeto em A.



Características da imagem

real
invertida
igual

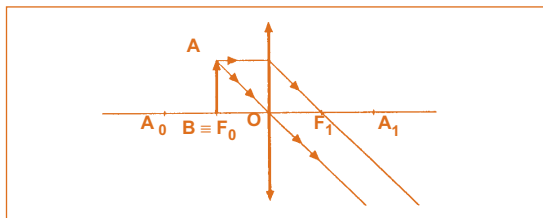
3º caso: objeto entre A e F.



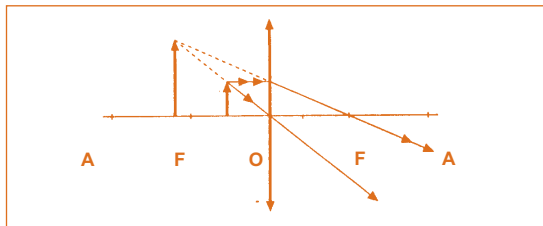
Características da imagem

real
invertida
maior

* Este é o caso dos projetores.

4º caso: objeto em F.

Não há formação de imagem

5º caso: objeto entre F e O.

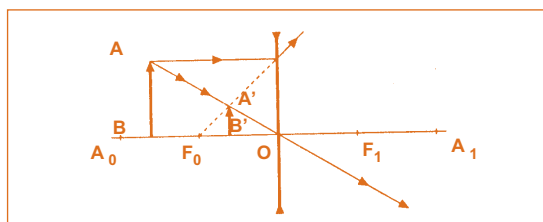
Características da imagem

virtual

direita

maior

* Este é o caso da lente de aumento

6º caso: lente divergente.

Características da imagem

virtual

direita

menor

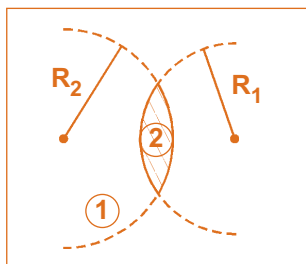
F) Equações de Gauss: Da mesma forma que foi feito no caso de espelhos esféricos, as características das imagens produzidas pelas lentes podem ser determinadas analiticamente. Veja as equações:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} \quad \text{e} \quad \frac{H_i}{H_o} = \frac{|D_i|}{D_o}$$

Devemos levar em consideração a seguinte convenção de sinais.

$$f \begin{cases} \text{positiva} \rightarrow \text{lente convergente} \\ \text{negativa} \rightarrow \text{lente divergente} \end{cases} \quad \text{e} \quad D_i \begin{cases} \text{positiva} \rightarrow \text{imagem real} \\ \text{negativa} \rightarrow \text{imagem virtual} \end{cases}$$

G) Equação de Halley: esta equação nos permite calcular a distância focal de uma lente esférica a partir de parâmetros geométricos e dos índices de refração do meio e do material da lente. Veja:



R_1 e $R_2 \Rightarrow$ raios das faces da lente

1 $\Rightarrow$ meio externo

2 $\Rightarrow$ material de que é feita a lente.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Para utilizarmos esta equação, devemos levar em consideração a seguinte convenção de sinais para os raios.

- face convexa $\rightarrow$ raio positivo

- face côncava $\rightarrow$ raio negativo

Quando a face for plana, iremos considerar o raio infinito. Assim, $\frac{1}{\infty} \rightarrow 0$

H) Vergência (V) de uma lente: é uma grandeza relacionada com a capacidade de desviar a luz que uma lente possui. Matematicamente, a vergência é o inverso da distância focal.

Se a distância focal for dada em metros, a unidade da vergência será:

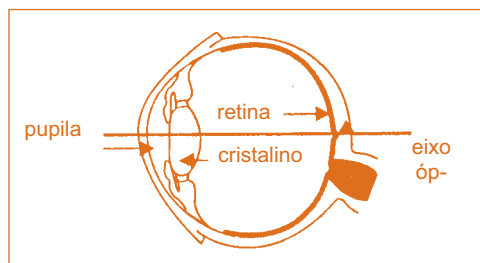
$$V = \frac{1}{f}$$

$$[V] = \frac{1}{m} = m^{-1} = \text{dioptria}(d_i)$$

a que, na prática, damos o nome de grau.

5 - O OLHO HUMANO

A figura seguinte mostra, de maneira esquemática, as principais estruturas do olho humano.

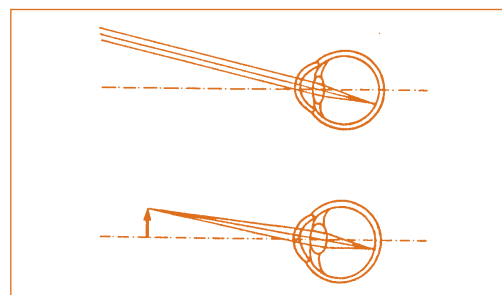


A pupila é um orifício de tamanho variável (depende da intensidade luminosa do ambiente em que estamos) que permite a entrada da luz em nossos olhos.

O cristalino é uma lente biconvexa natural que projeta imagens sobre uma região rica em células foto-receptoras, a retina. O cristalino possui distância focal variável. Dependendo da posição do objeto observado, o cristalino se ajusta para que a imagem seja sempre projetada na retina.

Para objetos distantes, o músculo ciliar fica relaxado. Nessas condições, a distância focal do cristalino é igual à profundidade do globo ocular, e a imagem se forma sobre a retina. (Lembre-se de que, para objetos muito distantes, a distância da imagem para a lente é igual à distância focal).

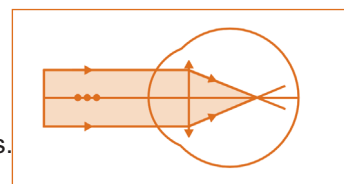
Para objetos próximos, o músculo ciliar se contrai e o cristalino se espessa, diminuindo a distância focal. Assim, a imagem, que nesse caso se localiza depois do foco, continua a se formar sobre a retina.



A) Defeitos da visão

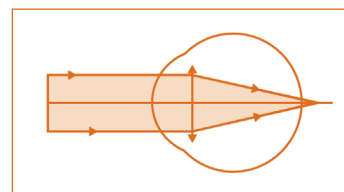
A.1) Miopia: o alongamento do globo ocular provoca uma excessiva convergência do cristalino. Assim, a imagem nítida está sendo formada antes da retina. O míope apresenta dificuldade para enxergar objetos distantes.

Sua correção é feita através de lentes divergentes.



A.2) Hipermetropia: o achatamento do globo ocular faz com que o cristalino seja menos convergente que o necessário. Com isso, a imagem nítida de objetos próximos seria formada após a retina.

A correção da hipermetropia deve ser feita por lentes convergentes.

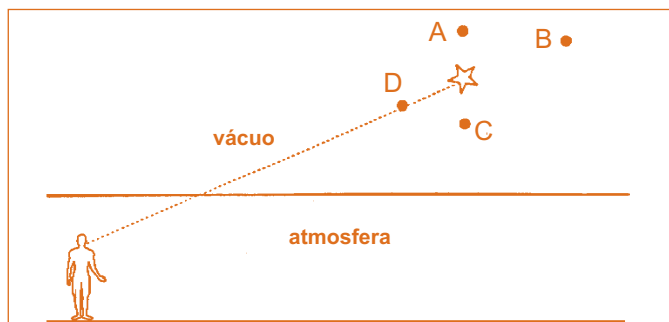


A.3) Presbiopia (ou vista cansada)

Na presbiopia, os músculos ciliares não conseguem comprimir suficientemente o cristalino na acomodação, impossibilitando a formação de imagens nítidas para objetos próximos, como ocorre na hipermetropia. A presbiopia se corrige com o uso de lentes **convergentes**.

Questões de Aprofundamento

- 1) (UFMG) A luz proveniente de uma estrela sofre refração ao passar do vácuo interestelar para a atmosfera terrestre. A consequência disso é que a posição em que vemos a estrela não é a sua verdadeira posição. A figura mostra, de forma simplificada, a posição aparente de uma estrela vista por um observador na superfície da Terra.

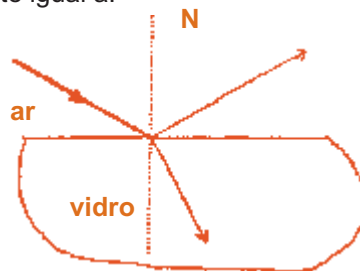


A posição verdadeira da estrela está mais próxima do ponto:

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D

2) (PUC-MG) Um raio luminoso, monocromático, incide sobre uma peça de vidro transparente, com ângulo de incidência igual a 60° . Observa-se que parte do raio incidente se reflete e parte dele refrata, conforme figura abaixo. Considere o índice de refração de ar igual a 1 e o do vidro igual a 1,5. Nessa situação, o ângulo formado pelo raio refletido e o raio refratado é aproximadamente igual a:

DADOS						
Ângulo	20°	30°	35°	45°	50°	60°
Senô	0,34	0,50	0,58	0,71	0,77	0,87

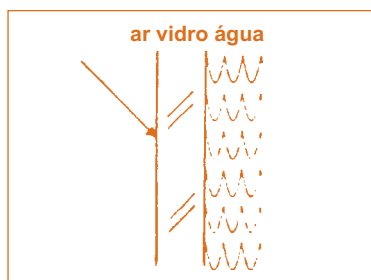


- a) 65° c) 85° e) 100°
 b) 75° d) 90°

3) (PUC-MG) Quando observamos uma cidade à noite e de longe, vemos que suas luzes piscam incessantemente (cintilam). Esse fenômeno é melhor explicado pela:

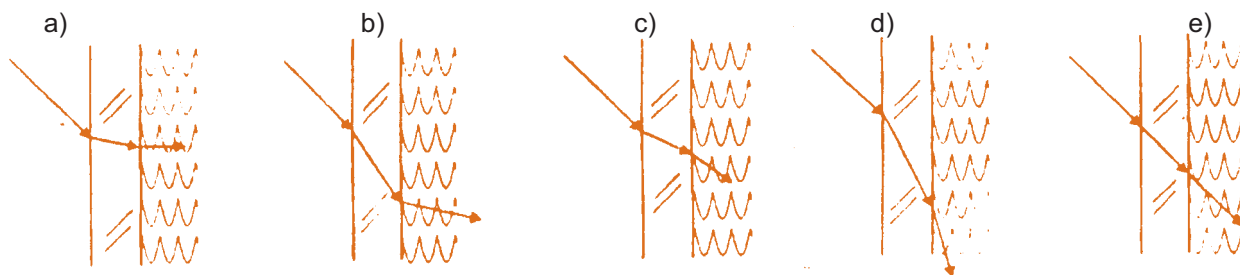
- a) alternância da corrente elétrica, que acende e apaga as luzes 60 vezes por segundo.
 b) interferência dos raios luminosos.
 c) difração da luz que passa entre as construções.
 d) dispersão da luz, provocada pela grande distância entre o observador e a cidade.
 e) refração da luz nas camadas de ar.

4) (UFMG) Esta figura mostra um feixe de luz incidindo sobre uma parede de vidro a qual está separando o ar da água.



Os índices de refração são 1,00 para o ar, 1,50 para o vidro e 1,33 para a água.

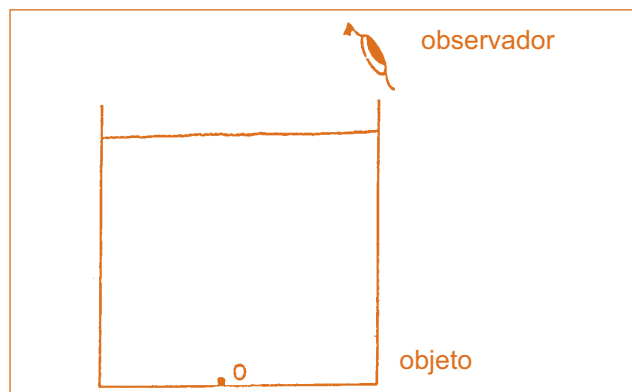
A alternativa que **melhor** representa a trajetória do feixe de luz passando do ar para a água é:



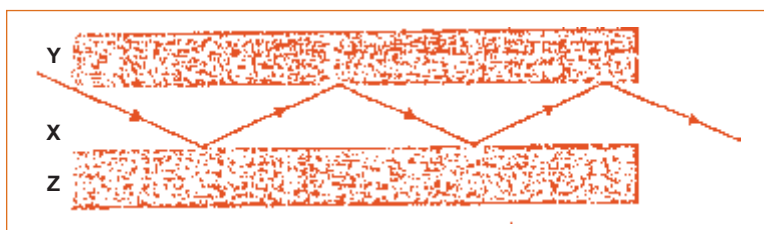
5) (UFOP) Quando observamos uma colher dentro de um copo de vidro transparente, parcialmente cheio com água, vemos que a parte imersa não encontra a parte emersa.

Este fato pode ser explicado pela:

- a) Reflexão da luz.
 b) Refração da luz.
 c) Dispersão da luz.
 d) Difração da luz.
 e) Polarização da luz.

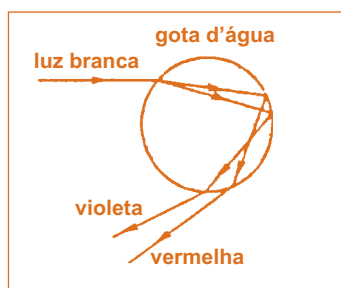


- 6) (UFMG) O princípio básico de funcionamento de uma fibra óptica consiste em colocar um material X, com índice de refração n_x , no interior de outro material Y, com índice de refração n_y . Um feixe de luz que incide em uma extremidade de X atravessa para a outra extremidade, sem penetrar no material Y, devido a múltiplas reflexões totais. Essa situação está ilustrada na figura.

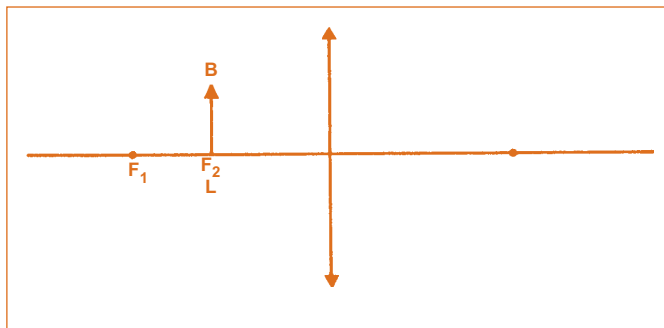


Para que isto aconteça, é necessário que:

- a) $n_x < n_y$ b) $n_x = 0$ c) $n_x = n_y$ d) $n_x > n_y$
- 7) (UFMG) A característica que certamente diferencia uma luz monocromática azul de uma outra vermelha é:
- a) a amplitude. c) a intensidade. e) o número de harmônicos.
b) a frequência. d) a velocidade.
- 8) (UFV) Analisando o fenômeno esquematizado abaixo, pode-se concluir que o índice de refração:



- a) é uma constante universal, comum a todos os materiais.
b) é maior para a luz vermelha do que para a luz violeta.
c) não depende do comprimento de onda da luz.
d) é nulo para a água, por esta ser transparente.
e) é menor para a luz vermelha do que para a luz violeta.
- 9) (PUC-MG) Para se produzirem lentes, basta associar, aos pares, três tipos de superfícies rígidas e transparentes: plana, côncava e convexa. O número de lentes que podemos formar, para corrigir a hipermetropia, é igual a:
- a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 5
- 10) (UFMG) Observe o diagrama.



Nesse diagrama, estão representados um objeto AB e uma lente convergente L. F_1 e F_2 são focos dessa lente.

A imagem A'B' do objeto AB será:

- a) direta, real e menor do que o objeto.
b) direta, virtual e maior do que o objeto.
c) direta, virtual e menor do que o objeto.
d) invertida, real e maior do que o objeto.
e) invertida, virtual e maior do que o objeto.
- 11) (UFLA) Considere uma máquina fotográfica, equipada com uma objetiva de distância focal igual a 50mm. Para que a imagem esteja em foco, a distância entre o centro óptico da objetiva e o plano do filme, para um objeto situado a 1m da lente, deverá ser:
- a) 50,0 mm b) 52,6 mm c) 47,6 mm d) 100 mm e) 150 mm
- 12) (UFMG) Uma imagem real de um objeto real pode ser formada por:
- a) um espelho plano.
b) uma lupa, usada como lente de aumento.
c) um espelho convexo, com o objeto colocado entre o espelho e o foco.
d) um espelho côncavo, com o objeto colocado entre o espelho e o foco principal.
e) uma lente convergente, com o objeto colocado a uma distância da lente maior do que sua distância focal.

13) (Itaúna-MG) Considere os seguintes instrumentos ópticos:

I - Lente divergente.

III - Espelho côncavo

II - Lente convergente.

IV - Espelho convexo

Os instrumentos que podem ser usados para queimar um pedaço de papel, usando a luz solar, são:

a) I e II

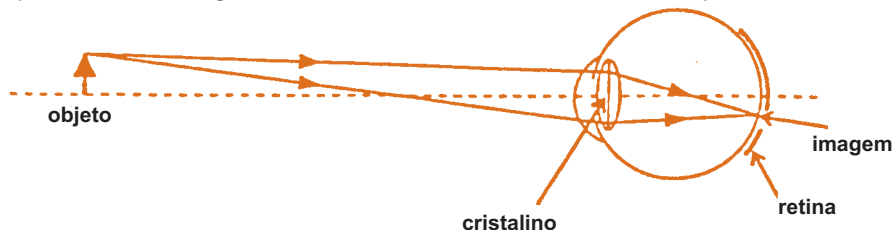
b) I e III

c) I e IV

d) II e III

e) II e IV

14) Em uma descrição simplificada, a imagem de um objeto é formada no olho humano por uma lente, o cristalino, que produz essa imagem sobre a retina, conforme mostra, esquematicamente, a figura.



Uma pessoa olha um carro que dela se afasta. Para continuar vendo o carro em foco, os músculos do olho dessa pessoa modificam a forma do cristalino.

Essa modificação deve ser no sentido de:

a) manter a distância focal do cristalino.

c) tornar o cristalino uma lente mais convergente.

b) tornar o cristalino uma lente divergente.

d) tornar o cristalino uma lente menos convergente.

15) Num concurso de conhecimentos entre duas escolas, A e B, foi pedido que se formulassem afirmativas sobre alguns assuntos de óptica. As frases dos alunos estão transcritas a seguir. Verifique quais as corretas e marque a alternativa que apresenta o resultado da competição.

ASSUNTO: VISÃO

ESCOLA A - "A visão é possível, porque nossos olhos emitem pequenas partículas que, ao atingirem o objeto, o torna visível para nós."

ESCOLA B - "A visão é possível porque a luz, refletida nos objetos, chega aos olhos do observador."

ASSUNTO: REFRAÇÃO DA LUZ

ESCOLA A - "A refração é a mudança de direção que um raio luminoso sofre ao passar de um meio para outro."

ESCOLA B - "A refração é a capacidade que um raio luminoso possui de contornar obstáculos."

ASSUNTO: A COR DE UM OBJETO

ESCOLA A - "Um objeto, que se apresenta amarelo à luz solar, em um quarto escuro onde está acesa uma luz monocromática azul, se apresentará escuro."

ESCOLA B - "Se um objeto nos apresenta verde ao ser iluminado por luz verde, certamente este objeto é verde."

ASSUNTO: DEFEITOS DA VISÃO

ESCOLA A - "Em uma pessoa míope, a imagem se forma na frente da retina: para a correção deste defeito, deve-se usar óculos com lentes divergentes."

ESCOLA B - "Em uma pessoa hipermetrópe, a imagem se formaria atrás da retina: para corrigir este defeito, deve-se usar óculos com lentes convergentes."

RESULTADO DA COMPETIÇÃO:

a) A escola A venceu a competição por 3 x 2.

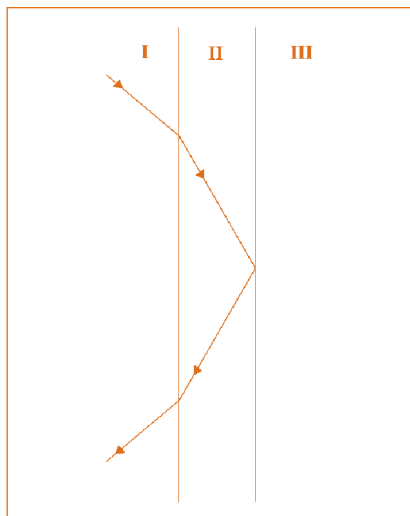
d) A escola B venceu a competição por 2 x 1.

b) A escola A venceu a competição por 2 x 1.

e) A competição terminou empatada em 2 x 2.

c) A escola B venceu a competição por 3 x 2.

16) A figura mostra a trajetória de um feixe de luz que vem de um meio I, atravessa um meio II, é totalmente refletido na interface dos meios II e III e retorna ao meio I.



Sabe-se que o índice de refração do ar é menor que o da água e que o da água é menor que o do vidro.

Nesse caso, é **CORRETO** afirmar que os meios I, II e III podem ser, **respectivamente**,

- a) ar, água e vidro.
- b) vidro, água e ar.
- c) água, ar e vidro.
- d) ar, vidro e água.

ONDULATÓRIA

PRÓLOGO

Já estudamos a propagação de um tipo de onda, a luz. Não nos preocupamos em entender o que é a luz ou quais suas características fundamentais.

Nesta unidade estaremos trabalhando com as ondas em geral. Veremos, por exemplo, ondas produzidas em cordas, nas superfícies de líquidos e ondas sonoras.

Antes de iniciarmos este estudo, é importante que conheçamos o movimento harmônico simples e as suas relações de Energia.

1 - MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS)

A figura seguinte mostra um bloco de massa m preso a uma mola de constante elástica K . Inicialmente, a mola não está deformada.

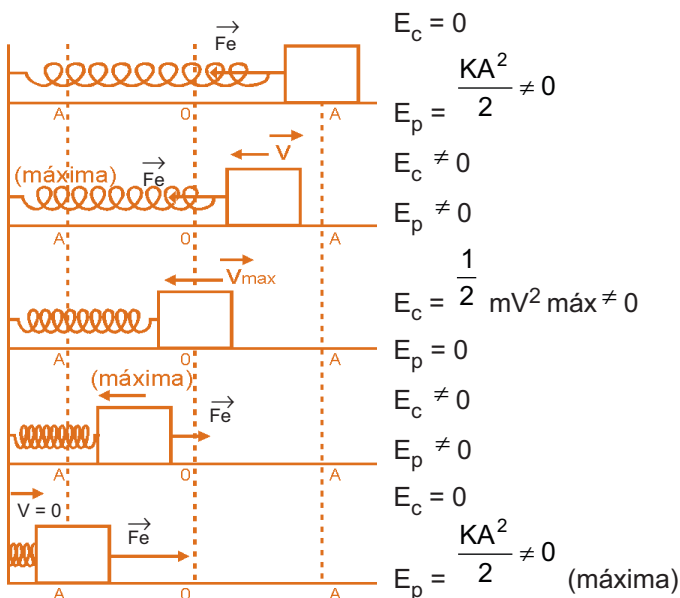
Vamos considerar que os atritos são desprezíveis.



Se a mola for distendida uma quantidade A , o conjunto massa-mola irá armazenar uma energia potencial elástica e passará a atuar no corpo uma força elástica horizontal para a esquerda. Vamos imaginar que o conjunto seja abandonado nesta situação. Devido à força elástica, o corpo passa a executar um movimento acelerado para a esquerda, onde a energia potencial elástica vai sendo convertida em energia cinética. A força elástica é proporcional à deformação da mola ($F_e = K \cdot x$). Por isso, à medida em que o corpo se aproxima do ponto O , ocorre uma diminuição do módulo dessa força. Chamaremos o ponto O de **ponto de equilíbrio** pois $x = 0 \Rightarrow F_e = 0$. Neste ponto,

toda energia potencial elástica se transformou em cinética. Dizemos que a velocidade do corpo é máxima neste local.

Continuando o seu movimento para a esquerda, o bloco começa a comprimir a mola, o que faz aparecer nele uma força elástica contrária à sua velocidade. Podemos concluir que o movimento será retardado e que a energia cinética vai sendo convertida em potencial elástica. Devido à conservação da energia, o bloco irá parar em uma posição também distante à do ponto de equilíbrio e toda a sequência descrita se repete no sentido contrário. Veja a figura:



Em qualquer ponto da trajetória, a soma das energia potencial e cinética é a mesma.

Podemos perceber que: (1) este movimento é limitado por dois pontos, onde a energia cinética é nula e a potencial elástica, máxima.

(2) o tempo gasto para que o corpo saia de A e retorne a A é sempre o mesmo.

(3) a força que atua no bloco sempre tende a trazê-lo para o ponto de equilíbrio e é proporcional ao deslocamento x do bloco.

Chamaremos esta força de RESTAURADORA.

Pode-se demonstrar que o período de um sistema mola-massa é dado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Já no caso do pêndulo simples, o período é:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

onde ℓ é o comprimento do pêndulo e g é a aceleração da gravidade.

Devido à característica (1), dizemos que este movimento é oscilatório a A. A característica (2) nos indica que o movimento é periódico.

Um movimento periódico e oscilatório cuja força é restauradora recebe o nome de MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES.

Existem vários exemplos de movimentos que são harmônicos simples. Iremos estudar o sistema mola-massa e o pêndulo simples.

2 - ONDAS

Vamos imaginar um meio qualquer como por exemplo, uma corda esticada, presa a um muro. Uma pessoa, segurando a corda, balança as mãos na vertical, transferindo energia para ela. Dizemos que foi gerada uma perturbação na corda e que esta perturbação se propaga ao longo da corda. Todos os pontos da corda, ao ficarem sujeitos a essa perturbação irão executar um MHS.

Damos o nome de onda a essa perturbação que se propaga em um meio. No caso, a pessoa que gerou a onda é chamada de fonte. A frequência da onda é igual à da fonte.

As ondas transportam energia sem a transferência de matéria, mantendo a sua frequência sempre constante.

1- Classificação das ondas

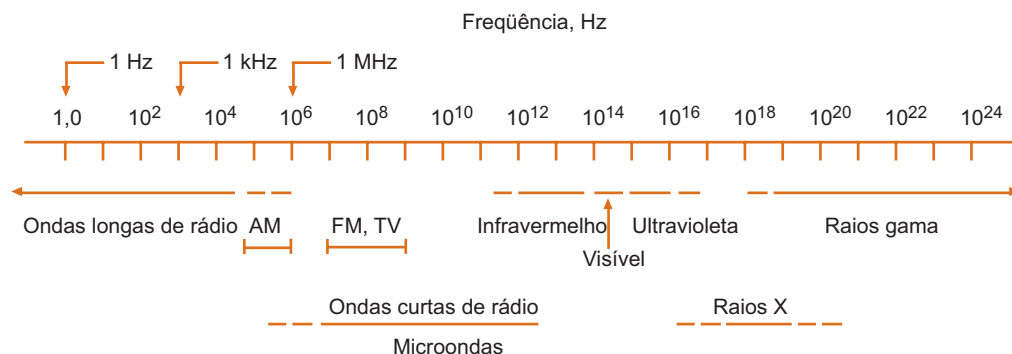
A) Quanto à natureza

A.1) Ondas mecânicas: são aquelas que necessitam de um meio material para existirem. A perturbação é causada nas partículas do meio.

São exemplos de ondas mecânicas: ondas em cordas, ondas na superfície de lagos e ondas sonoras.

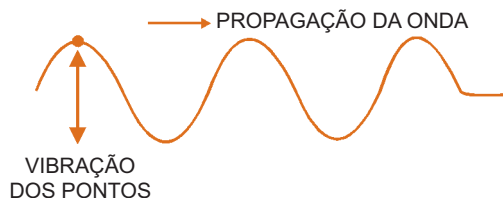
A.2) Ondas eletromagnéticas: são ondas que não necessitam de um meio material para existirem. Esse tipo de onda é gerada pela vibração de campos elétricos e magnéticos, podendo, portanto, se propagar no vácuo. As ondas eletromagnéticas são divididas em função da frequência. Essa divisão é chamada de espectro eletromagnético.

No vácuo, toda onda eletromagnética possui a mesma velocidade $c = 3 \times 10^8$ m/s.



B) Quanto à direção de vibração:

B.1) Ondas transversais: são aquelas em que a direção de vibração é perpendicular à direção de propagação.



Exemplos: ondas em cordas
ondas eletromagnéticas

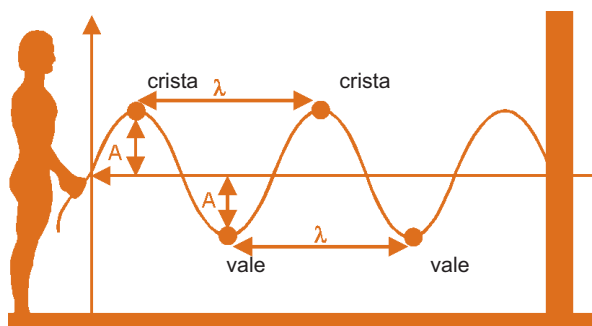
B.2) Ondas longitudinais: são ondas em que a direção de vibração dos pontos é paralela à direção de propagação da onda.



Exemplo: ondas sonoras

2 - Elementos de uma onda

A figura seguinte mostra uma onda produzida em uma corda tensionada.



Para estudarmos as ondas, vamos imaginar um eixo horizontal (eixo do equilíbrio) que divide a onda em duas metades.

Os pontos de máximo de uma onda são chamados de **crista** e representam o maior afastamento do eixo de equilíbrio. Os pontos de mínimo são chamados de **vale**.

A distância entre uma **crista** (ou um vale) e o eixo de equilíbrio recebe o nome de **amplitude** (A) e está relacionada com a energia transportada pela onda.

A distância entre duas cristas (ou dois vales) consecutivos é chamada de **comprimento de onda** (λ) e representa a distância percorrida pela onda em um período. Assim, podemos dizer que:

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \text{se } \Delta x = \lambda \Rightarrow \Delta t = T$$

$$V = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow \text{mas } T = \frac{1}{f}$$

$$\text{Assim: } V = \lambda \cdot f$$

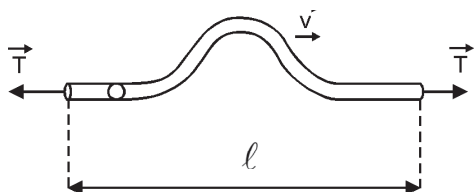
Que é a equação fundamental das ondas.

3 - ONDAS EM CORDAS

Vamos imaginar uma corda presa e tensionada nas suas extremidades. Se aplicarmos uma força nessa corda, iremos produzir uma onda que irá se deslocar com uma velocidade $\vec{V}$.

Pode-se mostrar que a velocidade da onda na corda depende de dois fatores:

(1) da intensidade da força de tensão T.



(2) da relação entre a massa e o comprimento da corda chamada de densidade linear da massa.

$$\mu = \frac{m}{\ell}$$

Assim, a velocidade da onda não depende da amplitude da onda gerada. A fórmula dada a seguir é conhecida por relação de Taylor:

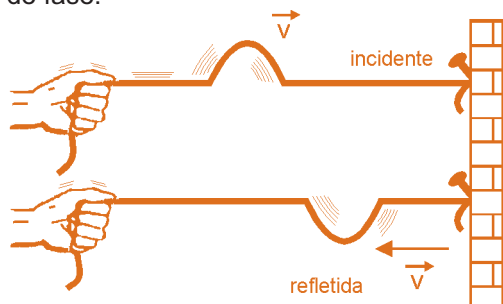
$$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

A onda da corda pode sofrer vários fenômenos. Veja:

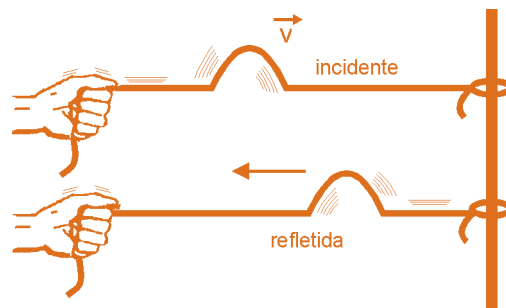
A) Reflexão

A.1) Com extremidade fixa

Quando a onda atingir a extremidade da corda que está presa à parede, haverá o fenômeno da reflexão. Como a extremidade é rígida (fixa), a onda é refletida “de cabeça para baixo”, ou seja, com inversão de fase.

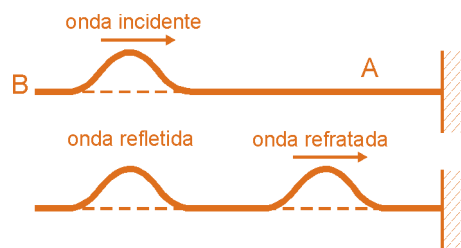
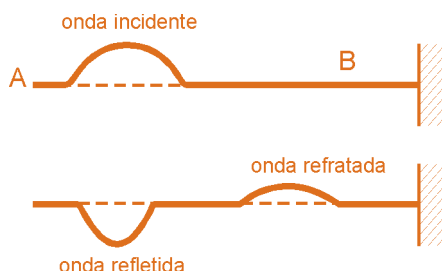


A.2) Com extremidade móvel

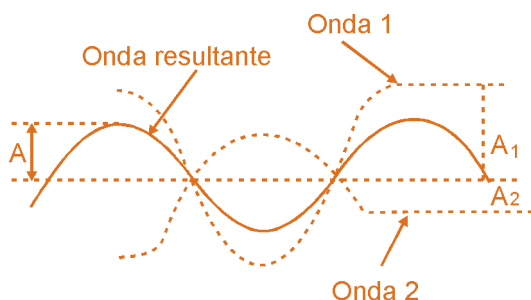
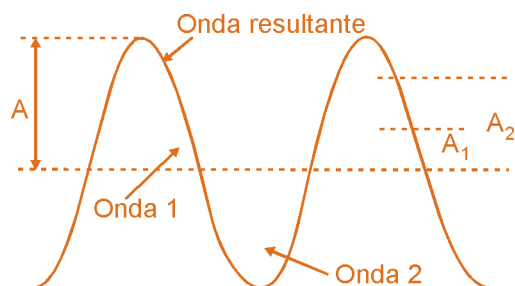


Quando a extremidade da corda for livre (móvel), não ocorrerá inversão de fase durante a REFLEXÃO.

B) Refração: a refração ocorre quando uma onda é transferida de uma corda para outra. Se a corda que recebe, tiver uma densidade linear maior, a velocidade da onda se reduz. Caso a densidade linear da corda for menor, a velocidade aumenta.



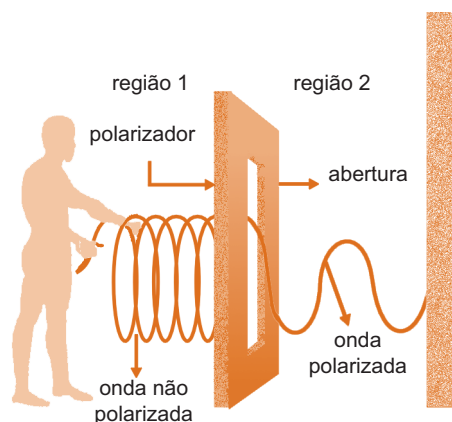
C) Interferência: é a superposição de duas ondas. Quando as ondas estão em concordância de fase, a interferência é dita **construtiva** e, se as ondas estiverem em oposição de fase, a interferência será **destrutiva**.



Em qualquer situação, as ondas seguem normalmente seus respectivos caminhos após a interferência.

Obs.: Se as ondas possuírem amplitudes idênticas e se interferirem de maneira destrutiva, no instante da superposição, elas desaparecem. Porém, mesmo neste caso, após este instante, as ondas ressurgem, como se nada tivesse acontecido.

D) Polarização:



Imagine que a pessoa da figura produza uma onda na corda com a característica de vibrar na horizontal e na vertical. Esta onda, ao atravessar a abertura do polarizador será “filtrada”, ou seja, somente as vibrações verticais é que chegam na região 2. Este fenômeno é chamado de polarização.

Obs.: Somente ondas transversais podem ser polarizadas.

E) Ondas estacionárias: é o resultado da superposição de duas ondas periódicas iguais que se propagam na mesma direção e em sentidos opostos. Quando isto ocorrer, iremos detectar pontos de interferência permanentemente destrutiva – chamados **NÓS** – e pontos de interferência permanente construtiva – chamados **VENTRES**. Os **Nós** não vibram ($A = 0$) e os ventres possuem amplitudes máximas de vibração. É importante de se notar que, em uma onda estacionária, não ocorre **deslocamento**, apenas há vibração dos pulsos. Em qualquer onda estacionária, a distância entre dois nós (ou dois ventres) consecutivos é igual à metade do comprimento de onda.

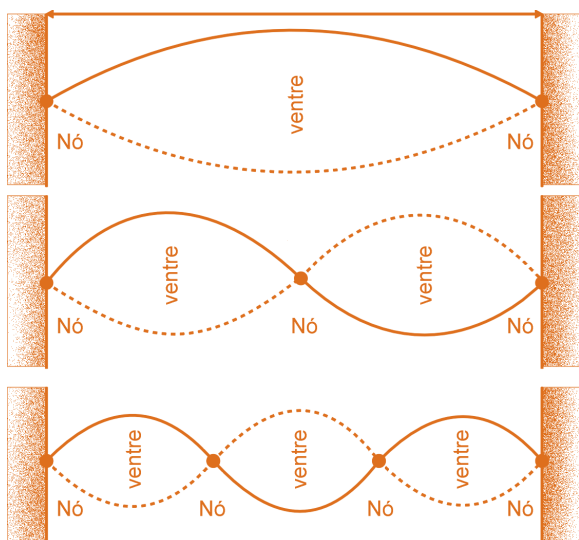
Vamos imaginar uma corda de comprimento L presa em duas paredes.

Sacudindo a corda com frequências adequadas, isto é, frequências que coincidam com suas frequências

naturais de vibração, entramos em ressonância com ela e geramos ondas estacionárias. Essas ondas estacionárias podem ser interpretadas como sendo o resultado da superposição das ondas que geramos ao sacudirmos uma extremidade da corda com as ondas refletidas na outra extremidade. Observamos que, numa extremidade fixa, só pode existir nó da onda estacionária, já que aí a corda não pode vibrar.

Aos modos de vibração de uma onda estacionária, damos o nome de **harmônico**, que é classificado em função do número (n) de ventres que a onda estacionária possui. Assim o 1º harmônico (ou harmônico fundamental) é formado com apenas 1 ventre, o 2º harmônico com 2 ventres e assim, sucessivamente.

A figura seguinte mostra os três primeiros harmônicos de uma onda estacionária.



Generalizando, para o harmônico de ordem n , temos:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad \text{e} \quad f_n = \frac{nv}{2L} \quad \text{com } n = 1, 2, 3, \dots$$

Notamos, portanto, que somente as frequências

que sejam múltiplas de $\frac{v}{2L} = f$, é que podem gerar ondas estacionárias em uma corda.

Logo, se a frequência fundamental de uma corda for, por exemplo, $f_1 = 100$ Hz, somente as frequências 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, etc. é que irão produzir tais ondas. Se excitarmos a corda com, digamos 150 Hz, não haverá regime estacionário.

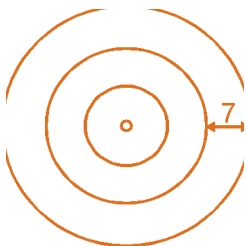
4 - ONDAS NA SUPERFÍCIE DE LÍQUIDOS

Quando jogamos uma pedra em um lago ou batemos com uma régua em um tanque cheio de água, estamos produzindo ondas que se propagam na superfície do líquido, sendo portanto, ondas bidimensionais.

Pode-se mostrar que a velocidade destas ondas será tanto maior quanto mais profundo for o lago ou o tanque.

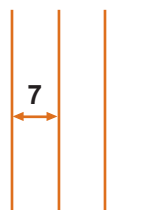
A figura seguinte mostra ondas geradas na superfície de um tanque contendo água. As linhas representam as cristas destas ondas.

ondas circulares



(fonte pontual)

ondas planas

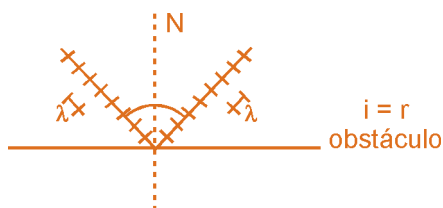


(fonte extensa)

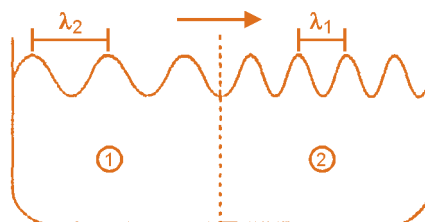
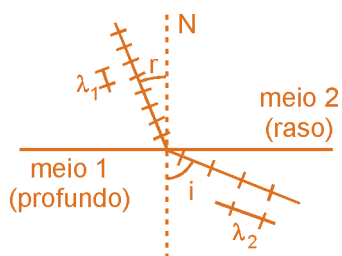
A) Reflexão

Quando uma onda, propagando-se numa superfície líquida, incide sobre um obstáculo, a onda se reflete, obedecendo a Lei da Reflexão, ou seja, o ângulo de incidência é congruente ao de reflexão.

B) Refração



A refração ocorre, numa superfície líquida, quando uma onda passa de um meio para outro, geralmente de maior profundidade para outra de menor profundidade. Pode-se demonstrar que aqui também é válida a relação.



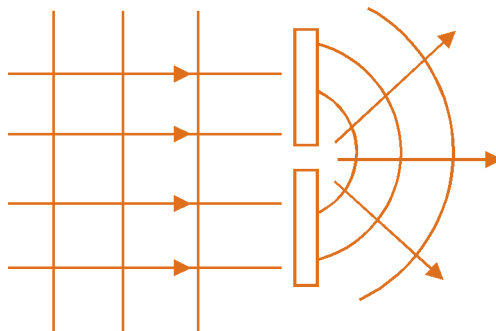
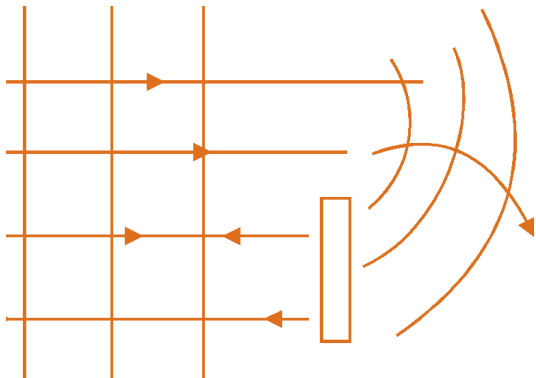
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2}$$

Como a frequência da onda tem que ser a mesma ($f_1 = f_2$), a velocidade da onda é diretamente proporcional ao comprimento de onda.

$$V_1 = \lambda_1 \cdot f, \quad V_2 = \lambda_2 \cdot f \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

C) Difração

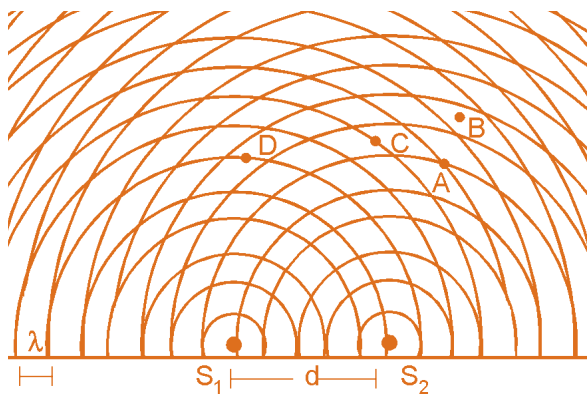
É a propriedade que uma onda possui de contornar um obstáculo ao ser parcialmente interrompida por ele.



- 1 - Após a difração, a propagação deixa de ser retilínea.
- 2 - Para ondas de mesmo comprimento de onda, a difração é tanto mais acentuada quanto menor for o tamanho do obstáculo.
- 3 - Para um dado orifício, a difração é mais acentuada quanto maior for o comprimento de onda.
- 4 - Para uma onda a difração é mais acentuada quanto menor for a largura do orifício.
- 5 - Em uma difração, a velocidade, o comprimento de onda, a frequência e a amplitude permanecem constantes.

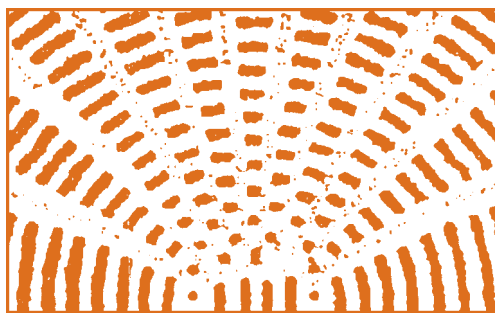
D) Interferência

Vamos imaginar que duas fontes pontiformes, S_1 e S_2 , batem periodicamente na superfície de um líquido. Se estas fontes estiverem sincronizadas e gerarem ondas idênticas, poderemos perceber a formação de interferências construtivas e destrutivas. As interferências construtivas estarão alinhadas, formando as linhas VENTRAIS. As interferências destrutivas também estarão alinhadas, formando as linhas NODAIS.



O ponto A representa o encontro de duas cristas e o ponto B é o encontro de dois vales. A linha que passa por A e B é uma linha ventral.

Os pontos C e D representam o encontro da crista de uma onda com o vale da outra.

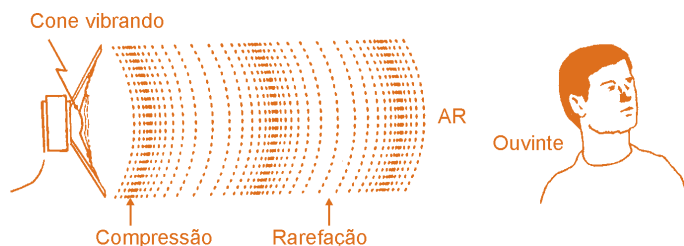


Fotografia da figura de interferência produzida por duas fontes pontuais em fase.

Observe as linhas nodais em direção radial.

5 - ONDAS SONORAS

As ondas sonoras são ondas mecânicas e longitudinais, produzidas por sucessivas compressões e rarefações no meio. A figura seguinte mostra um alto-falante produzindo, no ar, uma onda sonora.



Quando se desloca para a direita, o cone produz no ar à direita uma compressão que se propaga. Quando se desloca para a esquerda, ele gera no ar à direita uma rarefação que também se propaga. Nas compressões, a pressão do ar está acima da pressão ambiente e nas rarefações está abaixo dela. Assim, as ondas sonoras no ar são compressões e rarefações que se propagam. Quando essas ondas chegam ao tímpano, submetem-no a uma variação de pressão que o faz vibrar. Essas vibrações geram sinais elétricos (impulsos nervosos), que chegam ao cérebro e produzem a sensação da audição.

Como o som não se propaga no vácuo, uma explosão solar, por exemplo, jamais poderia ser ouvida na Terra.

Para que o ouvido humano possa perceber a onda sonora, é necessário que a sua frequência pertença ao intervalo:

$$20 \text{ Hz} \leq f \leq 20.000 \text{ Hz}$$

Freqüências menores que 20 Hz são denominadas de infra-som e maiores que 20.000 Hz, ultra-som.

O ultra-som é utilizado em exames pré-natais e no sonar (navios e submarinos).

As ondas sonoras propagam-se com velocidades diferentes nos meios sólidos, líquidos e gasosos. De uma maneira geral, temos:

$$V_{\text{sólidos}} > V_{\text{líquidos}} > V_{\text{gás}}$$

A) Qualidade do som

A.1) Altura: é a qualidade do som que nos permite diferenciar um som grave, de um médio, de um agudo. A altura do som é caracterizada pela frequência, de tal forma que:

- som alto $\Rightarrow$ frequência alta $\Rightarrow$ som AGUDO
- som baixo $\Rightarrow$ frequência baixa $\Rightarrow$ som GRAVE

Observação: Som alto **NÃO** é aquele de volume intenso, como falamos em nosso dia-a-dia.

A.2) Intensidade: é a qualidade do som que nos faz distinguir um **som forte** (volume alto) de um **som fraco** (volume baixo). A intensidade está relacionada com a quantidade de energia transportada pela onda. Dessa forma:

- Quanto maior a amplitude da onda sonora, mais intenso será o som.

A.3) Timbre: é a qualidade do som que está relacionada com a forma da onda. A mesma nota musical emitida por um violão e por um piano podem ser percebidas pelo nosso tímpano de maneira diferente, mesmo possuindo alturas e intensidades idênticas.

Para a voz humana, o timbre é uma característica tão pessoal quanto a impressão digital.

B) Reflexão: a onda sonora, ao incidir sobre um obstáculo, pode sofrer a reflexão. Para que nosso ouvido possa distinguir dois sons é necessário que eles cheguem ao ouvido com um intervalo mínimo de 0,1 s. Se isto ocorrer, dizemos que ouve ECO. Por outro lado, se emitirmos um determinado som, este se refletir e atingir nossos ouvidos com um intervalo de tempo menor que 0,1 s, teremos a sensação de prolongamento do som emitido que denominamos REVERBERAÇÃO.

C) Difração: A exemplo do que ocorre com as ondas em líquidos, a onda sonora possui uma grande capacidade de contornar obstáculos chamada de DIFRAÇÃO.

A difração do som será tanto mais intensa quanto maior for o seu comprimento de onda. Assim, os sons graves se difratam muito mais intensamente que os sons agudos.

D) Ressonância: todo corpo possui uma (ou várias) frequência(s) natural(is) de vibração. Quando emitimos uma onda sonora cuja frequência é próxima a uma das frequências naturais do corpo, este fato privilegia a absorção de energia pelo corpo. Como consequência, a amplitude de vibração das partículas do corpo aumenta. Esse fenômeno é chamado de **RESSONÂNCIA**.

A ruptura de uma faca de cristal pela voz de uma cantora lírica é um exemplo clássico de ressonância.

Outro exemplo é o funcionamento do forno de microonda. A microonda (onda eletromagnética) entra em ressonância com as moléculas de água presentes no alimento, e, por isso, aumentam a amplitude de vibração.

E) Efeito Doppler

Você já ficou parado em uma rodovia ouvindo a buzina de um automóvel quando este vem e passa por você? O som da buzina tem maior altura quando o carro se aproxima de você e menor altura quando o carro se afasta de você. Suponha que a buzina tenha certa frequência e o carro se mova a uma determinada velocidade. À medida que o carro se aproxima de você, cada onda tem uma distância menor a percorrer para chegar ao seu ouvido. As ondas se acumulam e você ouve uma frequência maior (som mais agudo) que se o carro estivesse parado. À medida que o carro se afasta, cada onda, para chegar até o seu ouvido, tem uma distância maior a percorrer que a precedente e você ouve menos ondas por segundo. A altura da buzina parece menor (diminui a frequência e o som torna-se mais grave).

Operacionalmente, a frequência aparente pode ser determinada pela relação:

$$f_A = f_R \left(\frac{V_s \pm V_o}{V_s \pm V_f} \right)$$

em que f_A = frequência aparente

V_s = velocidade do som

V_f = velocidade da fonte

f_R = frequência real

V_o = velocidade do observador

Convenção de sinais:

1. A velocidade do observador será positiva quando ele se dirigir para a fonte e negativa quando se afastar.
2. A velocidade da fonte será positiva quando ela se afastar do observador e negativa quando se dirigir para ele.

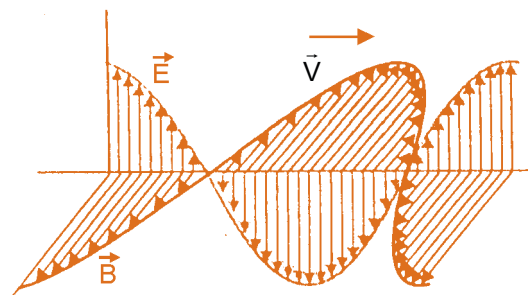
6 - ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Já sabemos que a onda eletromagnética é a vibração de campos elétricos e magnéticos que pode se propagar no vácuo e que possui, no vácuo, a maior velocidade possível: $c = 3,0 \times 10^8$ m/s.

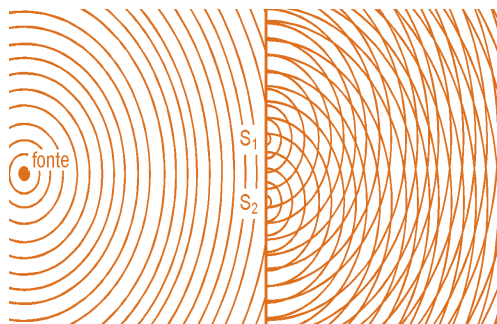
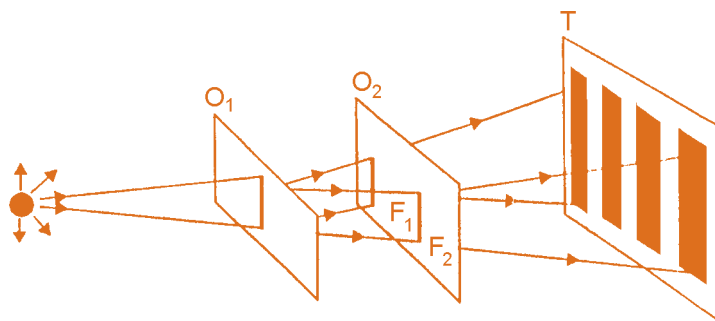
A figura ao lado mostra a representação esquemática de uma onda eletromagnética.

Como vimos no estudo da óptica geométrica, uma onda eletromagnética pode sofrer **REFLEXÃO** e **REFRAÇÃO**. Além disso, ela pode sofrer **INTERFERÊNCIA**, **ABSORÇÃO** e **DIFRAÇÃO**.

Para que a difração da luz seja percebida é necessário que a fenda (o orifício) tenha um tamanho muito pequeno.



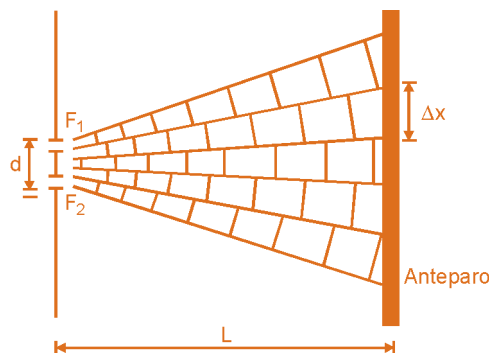
O físico Thomas Young realizou uma experiência que provou que a luz é, de fato, uma onda. Esta experiência consiste em fazer uma luz monocromática sofrer difração no orifício O_1 e, posteriormente nos dois orifícios O_2 . Após atravessar O_2 , a luz sofre interferência produzindo, a exemplo da onda no líquido, linhas ventrais (máxima claridade) e linhas nodais (obscuridade) na tela T.



As ondas procedentes de uma fonte linear de luz passam através das fendas S_1 e S_2 e interferem dando franjas alternadamente brilhantes e escuras sobre um anteparo.

Repetindo a experiência com luz de cores diferentes, Young percebeu que a separação entre as franjas de interferência variava conforme a cor utilizada. Em uma figura de interferência podemos determinar a separação entre as franjas, ΔX , pela

relação: $\Delta X = \frac{L \cdot \lambda}{d}$ (ver figura).

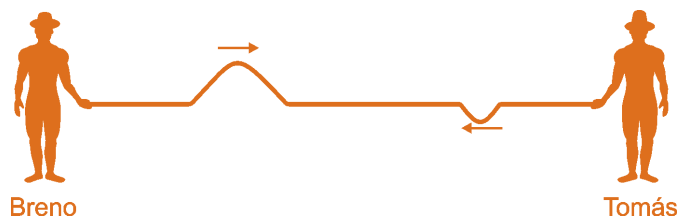


Então, como para cada cor corresponde um valor diferente para ΔX , temos que:

Para cada cor, corresponde um comprimento de onda λ diferente.

Questões de Aprofundamento

- 1) A figura mostra pulsos produzidos por dois rapazes, Breno e Tomás, nas extremidades de uma corda. Cada pulso vai de encontro ao outro. O pulso produzido por Breno tem maior amplitude que o pulso produzido por Tomás. As setas indicam os sentidos de movimento dos pulsos.



Assinale a alternativa que contém a melhor representação dos pulsos, logo depois de se encontrarem.

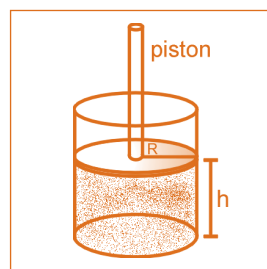


FÍSICA

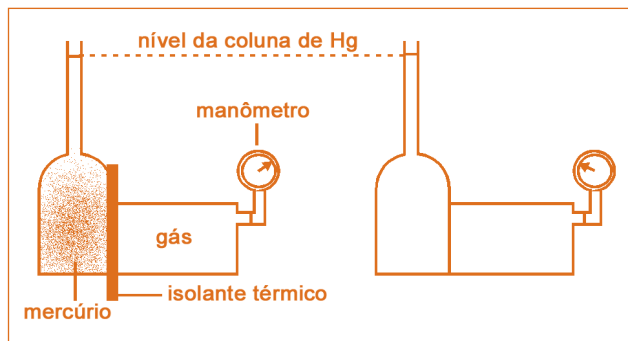
Exercícios

Comportamento dos Gases - Termodinâmica - Questões Objetivas

- 1) (UFMG) Um gás ideal é aquele que:
- tem volume normal, nas condições normais de temperatura e pressão.
 - é destituído de moléculas nas condições normais de temperatura e pressão.
 - tem volume proporcional à sua temperatura absoluta, sob pressão constante.
 - tem moléculas de massa total desprezível.
 - tem volume independente da temperatura sob pressão constante.
- 2) (UFMG) O volume de uma dada massa de gás será dobrado, à pressão atmosférica, se a temperatura do gás variar de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ a:
- $300\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $423\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $573\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $600\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $743\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 3) (UFMG) Considere-se um gás ideal contido em um botijão metálico. Sejam P , V e T , respectivamente, a pressão, o volume e a temperatura Kelvin desse gás. Ao se colocar tal botijão à luz do Sol, ocorrerá uma transformação termodinâmica com o gás. A equação que melhor representa essa transformação é:
- $PV = \text{constante}$.
 - $PT = \text{constante}$.
 - $V/T = \text{constante}$.
 - $P/V = \text{constante}$.
 - $P/T = \text{constante}$.
- 4) (UFMG) A pressão atmosférica é aproximadamente igual à pressão exercida por uma coluna de água de 10 metros de altura. Uma bolha de ar sai do fundo de um lago e chega à superfície com um volume V . Sendo a temperatura igual em todo o lago e sua profundidade 30 m, qual era o volume da bolha no fundo do lago?
- $4V$
 - $3V$
 - $3V/4$
 - $V/3$
 - $V/4$
- 5) (PUC-MG) A energia cinética média por molécula de um gás ideal depende apenas da:
- sua temperatura.
 - temperatura e espécie de molécula.
 - sua pressão.
 - pressão e volume do gás.
 - espécie de molécula.
- 6) (UFMG) Um cilindro, de raio interno R e contendo ar, é provido de um pistão de massa m que pode deslizar livremente. O sistema está inicialmente em equilíbrio à temperatura de 300 K e a altura h vale $9,0 \times 10^{-2}\text{ m}$. Se o ar for aquecido até atingir um novo estado de equilíbrio à temperatura de 400 K , o novo valor de h será:
- $39,5 \times 10^{-2}\text{ m}$
 - $12,0 \times 10^{-2}\text{ m}$
 - $7,00 \times 10^{-2}\text{ m}$
 - $4,00 \times 10^{-2}\text{ m}$
 - $1,58 \times 10^{-2}\text{ m}$



- 7) (UFMG) Dois recipientes, um contendo mercúrio e o outro contendo gás (suposto ideal), estão separados por um isolante térmico. Quando o isolante é retirado e os dois recipientes são colocados em contato, observa-se uma queda na pressão marcada pelo manômetro.



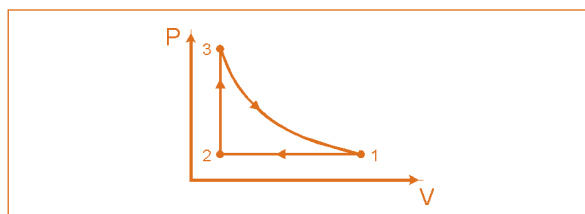
Em relação à situação apresentada, é **CORRETO** afirmar que: (Despreze a dilatação do recipiente)

- a) o nível final da coluna de mercúrio ficará acima do nível inicial.
 - b) inicialmente a temperatura do mercúrio era maior que a do gás.
 - c) inicialmente os dois sistemas possuíam temperaturas iguais.
 - d) o nível final da coluna de mercúrio ficará abaixo do nível inicial.
 - e) houve transferência de calor do mercúrio para o gás.
- 8) (CESCEM) Sob quais condições as leis dos gases ideais são melhor obedecidas?
- a) Altas pressões e altas temperaturas.
 - b) Baixas pressões e baixas temperaturas.
 - c) Baixas pressões e altas temperaturas.
 - d) Altas pressões e baixas temperaturas.
 - e) Nas condições normais de pressão e temperatura.
- 9) (UFMG) Um gás é aquecido a volume constante. A pressão exercida pelo gás, sobre as paredes do recipiente, aumenta porque:
- a) a massa das moléculas aumenta.
 - b) a perda de energia cinética das moléculas, nas colisões com a parede, aumenta.
 - c) o tempo de contato das moléculas com as paredes aumenta.
 - d) as moléculas passam a se chocar com maior frequência sobre as paredes.
 - e) a distância média entre as moléculas aumenta.

- 10) (CESCEM-SP) Se a energia cinética média das moléculas de um gás aumentar e o volume do mesmo permanecer constante,

- a) a pressão do gás aumentará e a sua temperatura permanecerá constante.
- b) a pressão permanecerá constante e a temperatura aumentará.
- c) a pressão e a temperatura aumentarão.
- d) a pressão diminuirá e a temperatura aumentará.
- e) Todas as afirmações estão incorretas.

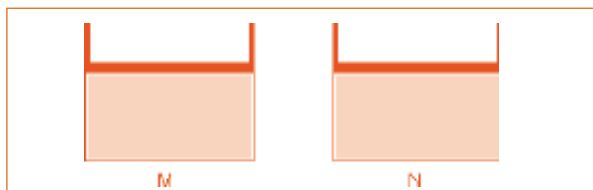
As questões 11 e 12 referem-se ao enunciado e à figura seguintes:



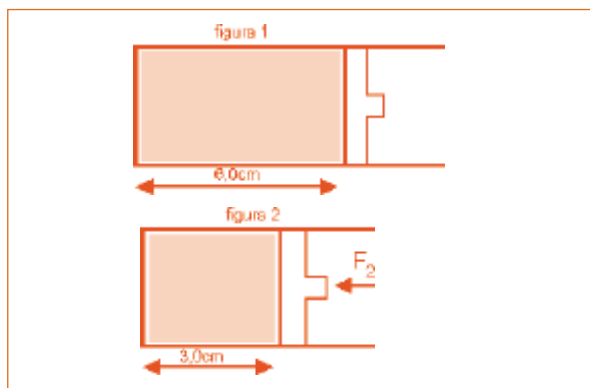
O gráfico da pressão P em função do volume V de um gás ideal representa uma transformação cíclica ocorrida em três fases. Inicia-se o ciclo por uma transformação isobárica, seguida de uma transformação isovolumétrica e, finalmente, de uma transformação isotérmica.

- 11) (UFMG) Com base nesses dados, pode-se afirmar que:
- a) o trabalho realizado na transformação isotérmica é calculado pela expressão $P_3 (V_1 - V_3)$.
 - b) o trabalho realizado pelo gás é nulo durante a transformação isotérmica.
 - c) o trabalho realizado pelo gás na transformação isotérmica é igual ao calor que esse gás absorve.
 - d) o trabalho realizado sobre o gás durante a transformação isovolumétrica é o mesmo que na transformação isobárica.
 - e) o trabalho realizado sobre o gás, na transformação isovolumétrica, é maior do que o trabalho realizado pelo gás na transformação isotérmica.
- 12) (UFMG) Sejam T_1 , T_2 e T_3 as temperaturas do gás nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente. Em relação a essas temperaturas, pode-se afirmar que:
- a) $T_1 = T_2 = T_3$
 - b) $T_1 = T_2$ e $T_1 > T_3$
 - c) $T_1 = T_3$ e $T_1 > T_2$
 - d) $T_1 > T_3$ e $T_1 > T_2$
 - e) $T_1 = T_2$ e $T_1 < T_2$

- 13) (FCMMG) Quantidades iguais de um mesmo gás são colocadas em dois cilindros M e N. O gás no cilindro M recebe ΔE de calor e sofre uma transformação isobárica. O do cilindro N recebe também ΔE de calor e sofre uma transformação isovolumétrica. Sobre a energia interna do gás, ao final das transformações, podemos afirmar que:



- a) sofreu um aumento em M, mas permaneceu constante em N.
 b) aumentou igualmente nos dois recipientes.
 c) aumentou em ambos os recipientes, mas o aumento em M foi maior que em N.
 d) permaneceu constante em M, mas aumentou em N.
 e) aumentou em ambos os recipientes, mas o aumento de M foi menor do que em N.
- 14) (FCMMG) A figura 1 representa um recipiente cilíndrico que contém ar, vedado hermeticamente por um pistão que pode se movimentar sem atrito. Não se aplicando nenhuma força no pistão, ele ficará na posição indicada na figura 1. Na figura 2 o pistão foi empurrado de modo que o ar agora ocupa a metade do comprimento do cilindro que ocupava antes. Nessas condições, é necessária uma força F para manter o pistão na sua nova posição. Não houve variação de temperatura durante a transformação. Pode-se afirmar que:



- a) a velocidade média das moléculas na figura 2 é maior.
 b) nas duas situações representadas, o número de moléculas por centímetro cúbico é o mesmo.
 c) na figura 1, a pressão do ar no interior do cilindro é igual à pressão atmosférica.
 d) a transformação de 1 para 2 é adiabática.
 e) a pressão do gás na situação 1 é duas vezes maior do que a pressão na situação 2.

- 15) (F.C. Chagas-SP) Um sistema formado por um gás ideal sofre uma transformação com as seguintes características:

$$|W| = |\Delta U|$$

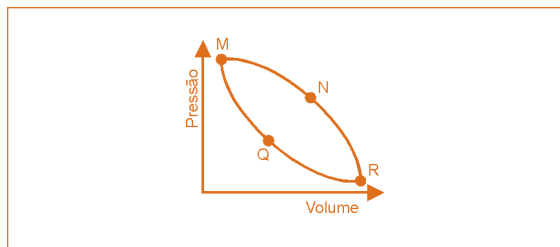
$$Q = 0$$

onde W é o trabalho realizado, ΔU é uma variação positiva (aumento) de energia interna e Q é o calor fornecido ou absorvido pelo sistema. Esses dados permitem concluir que a transformação foi uma:

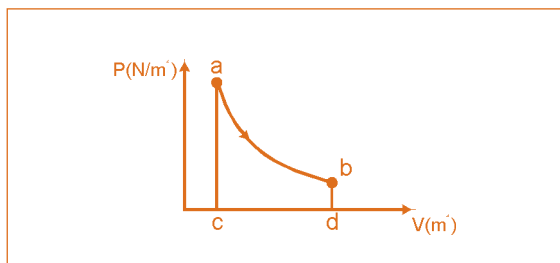
- a) compressão adiabática.
 b) compressão isotérmica.
 c) expansão adiabática.
 d) expansão isotérmica.
 e) expansão isobárica.
- 16) (UFMG) Dois gases, hélio e argônio, estão contidos em cilindros idênticos, à mesma pressão e temperatura. Os êmbolos que fecham os cilindros são baixados subitamente (transformação adiabática), realizando o mesmo trabalho sobre cada um dos sistemas. A temperatura alcançada pelo hélio será igual à temperatura alcançada pelo argônio PORQUE ambos recebem a mesma quantidade de calor.
- Nessa questão aparecem duas afirmativas ligadas pela palavra PORQUE. Responda:
- a) se a primeira afirmativa for verdadeira e a segunda falsa.
 b) se a primeira afirmativa for falsa e a segunda verdadeira.
 c) se as duas afirmativas forem verdadeiras e a segunda justificar a primeira.
 d) se as duas afirmativas forem verdadeiras, mas a segunda não justificar a primeira.
 e) se as duas afirmativas forem falsas.
- 17) (FCMMG) Marque a afirmativa verdadeira.

- a) Para aumentar a temperatura de um sistema, deve-se necessariamente ceder-lhe calor.
 b) Durante uma expansão adiabática de um gás ideal, não há variação em sua temperatura.
 c) Um corpo frio, em contato com um corpo quente, pode se tornar espontaneamente mais frio.
 d) Em uma transformação que leva um gás de um estado 1 a um estado 2, a variação da energia interna independe do caminho seguido na transformação.

- 18) (UFMG) Considere-se o diagrama pressão-volume de um gás ideal, representado abaixo. Pode-se afirmar que:

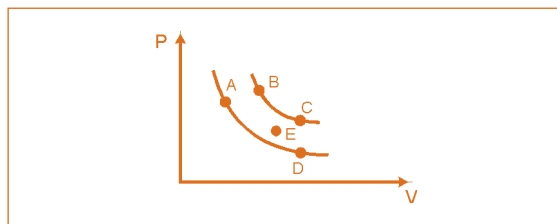


- a) um ponto qualquer sobre a linha **MQR** corresponde a uma temperatura mais alta do que um ponto sobre a linha **MNR**.
 b) durante a transformação representada por **MQR**, ocorre perda de calor do meio ambiente para o gás, se a transformação for adiabática.
 c) o trabalho fornecido pelo gás, durante a transformação representada por **MQR**, é maior do que o fornecido durante a transformação representada por **MNR**.
 d) as linhas **MNR** e **MQR** representam transformações isotérmicas.
 e) a área limitada pela curva **MNRQM** representa o trabalho líquido realizado pelo gás ao descrever o ciclo indicado.
- 19) (Mackenzie-SP) Certa massa de gás ideal sofre uma transformação na qual sua energia interna não varia. Essa transformação é:
- a) isotérmica.
 b) isobárica.
 c) isométrica.
 d) adiabática.
- 20) (PUC-MG) Se foram fornecidas 100 cal, para a transformação isotérmica ad de um gás ideal, a área abcd, em joules, é igual a:
- Dado: 1 cal = 4,18 J

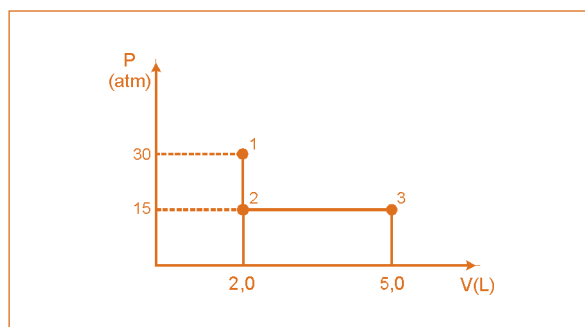


- a) 100
 b) 280
 c) 360
 d) 418
 e) não há dados suficientes para responder.

- 21) (PUC-RS) O diagrama abaixo representa a pressão P em função do volume V , de um determinado gás ideal. Os produtos $P.V$ (pressão x volume) mantêm-se constantes ao longo de cada curva desse gás. Em qual dos processos o gás não experimentou variação na energia interna?

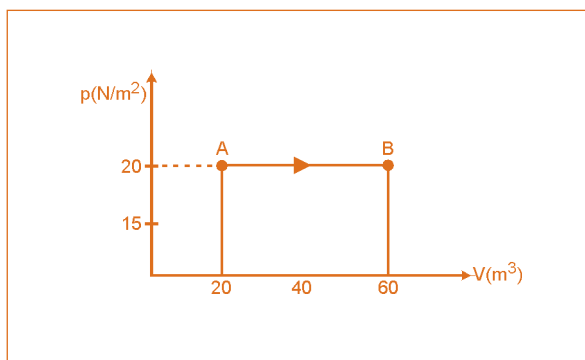


- a) De **A** para **B**.
 b) De **A** para **D**.
 c) De **B** para **D**.
 d) De **A** para **C**.
 e) De **B** para **E**.
- 22) (PUC-MG) No diagrama PV para um gás, o trabalho realizado no processo $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ vale, em atm.L,



- a) zero c) 45 e) 100
 b) 10 d) 60

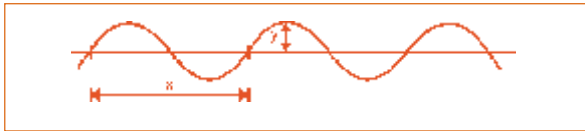
- 23) (OSEC-SP) No processo isobárico indicado no gráfico $p \times v$, o gás recebeu 1 800 joules de energia do ambiente. A variação da energia interna do gás foi de:



- a) 1 800 J d) 900 J
 b) 1 200 J e) 600 J
 c) 1 000 J

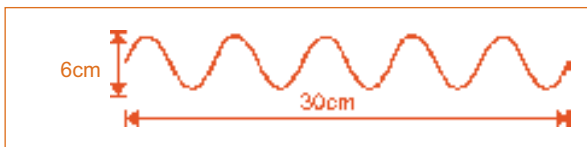
Ondulatória - Questões Objetivas

- 1) (UFMG) A figura representa uma corda na qual se propaga uma onda transversal de frequência f . A velocidade de propagação da onda na corda é dada por:



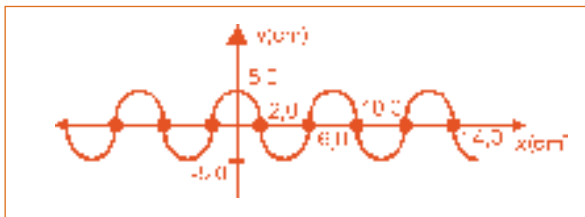
- a) fx c) $\frac{x}{f}$ e) $\frac{x}{y}$
 b) fy d) $\frac{y}{f}$

- 2) (UFMG) Na figura está representada uma onda que, em 2,0 segundos, se propaga de uma extremidade a outra de uma corda.



O comprimento de onda (cm), a frequência (ciclos/s) e a velocidade de propagação (cm/s), respectivamente, são:

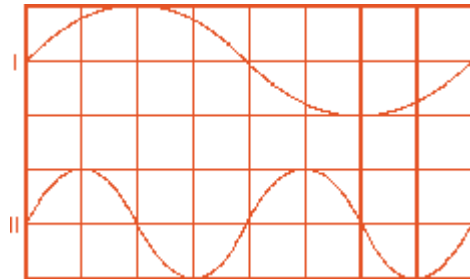
- a) 3, 5, 15
 b) 2, 15, 5
 c) 5, 3, 15
 d) 5, 15, 3
 e) 15, 3, 5
- 3) (UFMG) O gráfico representa, em um certo instante, a forma de uma onda senoidal que se propaga em uma corda muito comprida, com velocidade de 16,0 cm/s. Esta onda é produzida por um vibrador que se encontra à esquerda. As afirmações que se seguem, relativas a esta onda, são corretas, **EXCETO**:



- a) Sua amplitude é de 5,0 cm.
 b) Seu comprimento de onda é de 8,0 cm.
 c) Sua frequência é de 2,0 Hertz.
 d) Se a onda fosse fotografada 0,50 segundos após o instante considerado, as alongações dos pontos mostrados na figura não seriam modificadas.
 e) Uma das afirmações anteriores está errada.

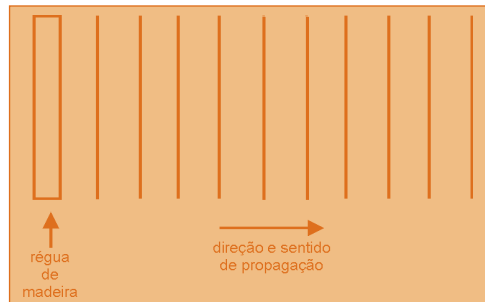
- 4) (UFMG) A figura abaixo mostra duas ondas que se propagam em cordas idênticas (mesma velocidade de propagação).

A afirmação **CERTA** é:



- a) A frequência em I é menor que em II e o comprimento de onda em I é maior que em II.
 b) A amplitude em ambas é a mesma e a frequência em I é maior que em II.
 c) A frequência e o comprimento de onda são maiores em I.
 d) As frequências são iguais e o comprimento de onda é maior em I.
 e) A amplitude e o comprimento de onda são maiores em I.

Para estudar as propriedades das ondas num tanque de água, faz-se uma régua de madeira vibrar regularmente, tocando a superfície da água e produzindo uma série de cristas e vales que se deslocam da esquerda para a direita.

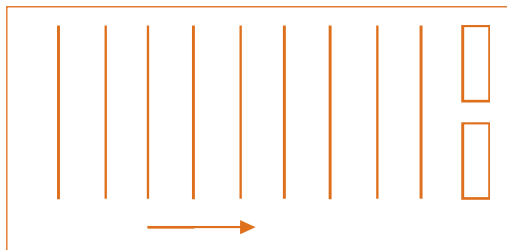


- 5) (UFMG) Retirando-se uma certa quantidade de água do tanque, a velocidade das ondas torna-se menor.

Nessas condições, pode-se afirmar que:

- a) a frequência da onda aumenta, e o seu comprimento de onda também aumenta.
 b) a frequência da onda diminui, e o comprimento de onda também diminui.
 c) a frequência da onda não se altera, e o seu comprimento de onda aumenta.
 d) a frequência da onda não se altera, e o seu comprimento de onda diminui.
 e) a frequência da onda não se altera, e o seu comprimento de onda também não se altera.

6) (UFMG) Observe a figura.

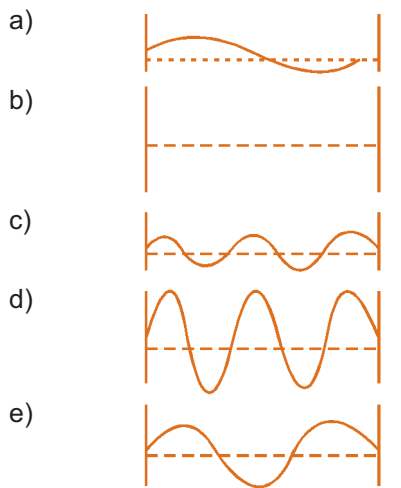


Nessa figura, estão esquematizadas duas barreiras verticais separadas por uma distância aproximadamente igual ao comprimento de onda das ondas.

Após passar pela abertura, a onda apresenta modificação:

- a) em sua forma e em seu comprimento de onda.
 - b) em sua forma e em sua velocidade.
 - c) em sua velocidade e em seu comprimento de onda.
 - d) somente em sua forma.
 - e) somente em sua velocidade.
- 7) (F.C.M.MG) A corda mais grossa de um violão, devidamente afinado, emite a nota *mi* grave. Sua corda mais fina emite a nota *mi* aguda. Sobre os sons emitidos por essas cordas, pode-se afirmar que eles têm:
- a) o mesmo período
 - b) a mesma amplitude
 - c) a mesma frequência
 - d) a mesma velocidade de propagação no ar
 - e) o mesmo comprimento de onda

8) (PUC-MG) Júlia é uma criança de 18 meses, que adora gritar. Ela grita para chamar o cachorro e para assustar os pardais. O perfil periódico do som emitido está melhor representado na opção:



9) (PUC-MG) São radiações eletromagnéticas:

- a) microondas, corrente elétrica nos fios e calor;
- b) onda de rádio, ultravioleta e vento solar;
- c) raio λ , infravermelho e som;
- d) raios x, microondas e ondas de rádio;
- e) luz, radiação e feixe de nêutrons.

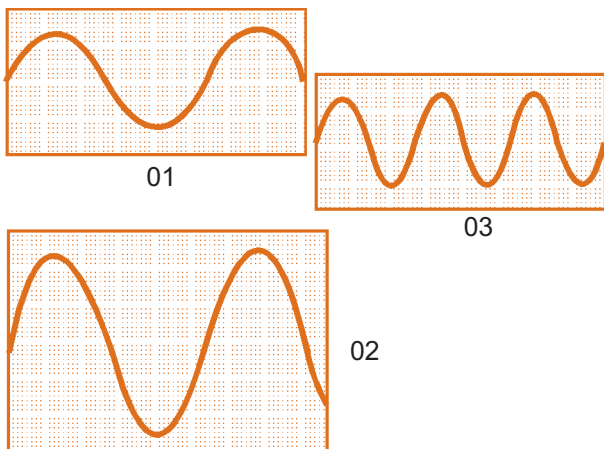
As questões 10 e 11 referem-se ao texto abaixo.

Quando uma ambulância se aproxima de nós em alta velocidade, ouvimos sua sirene com uma tonalidade aguda, o que indica uma frequência alta. O som fica mais grave quando ela se afasta. Essa variação na frequência, percebida por nosso ouvido, deve-se ao fato de haver uma velocidade relativa entre o observador e a fonte. O mesmo efeito é usado nos radares dos patrulheiros rodoviários: um sinal de microondas é enviado e refletido pelos veículos em movimento, produzindo-se, em relação à fonte, mudanças na frequência. Analisando as frequências, o aparelho indica a velocidade dos carros.

(CIÊNCIA HOJE, VOLUME 9, NÚMERO 53)

- 10) (PUC-MG) O fenômeno da variação da frequência, descrito nos dois exemplos do texto, é conhecido por:
- a) Experiência de Young.
 - b) Efeito Doppler.
 - c) Interferência construtiva.
 - d) Ondas hertzianas.
 - e) Lei de Snell.
- 11) (PUC-MG) Baseado no texto, é **CORRETO** afirmar que o fenômeno descrito:
- a) só ocorre com ondas longitudinais.
 - b) só ocorre para velocidades iguais ou menores que a do som.
 - c) produz uma variação na velocidade da onda analisada.
 - d) ocorre produzindo sempre uma diminuição do período da onda analisada.
 - e) ocorre também com a luz.
- 12) (PUC-MG) Considere o espectro eletromagnético que vai, desde as ondas de rádio, passando pela luz visível, até os raios gama. No ar, e nessa frequência, as ondas apresentam:
- a) mesma velocidade, aumento de frequência, redução do comprimento de onda.
 - b) aumento da velocidade, da frequência e do comprimento de onda.
 - c) mesma velocidade, aumento da frequência e do comprimento de onda.
 - d) redução da velocidade e da frequência e aumento do comprimento de onda.
 - e) mesma velocidade, mesma frequência e aumento do comprimento de onda.

- 13) (UFMG) Numa mesma corda foram produzidas três ondas diferentes 01, 02 e 03. As figuras mostram as representações das formas destas ondas, em um certo instante, feitas na mesma escala.



Em relação a essas ondas, todas as alternativas apresentam afirmações corretas, **EXCETO**:

- A onda 01 tem o mesmo comprimento de onda da onda 02.
 - A onda 02 tem o dobro da amplitude da onda 03.
 - A onda 03 tem a metade da frequência da onda 01.
 - As ondas 01 e 02 têm o mesmo período.
 - As três ondas têm a mesma velocidade.
- 14) (UFMG) Observe a figura que representa duas cordas, sendo a da esquerda menos densa que a da direita.

1

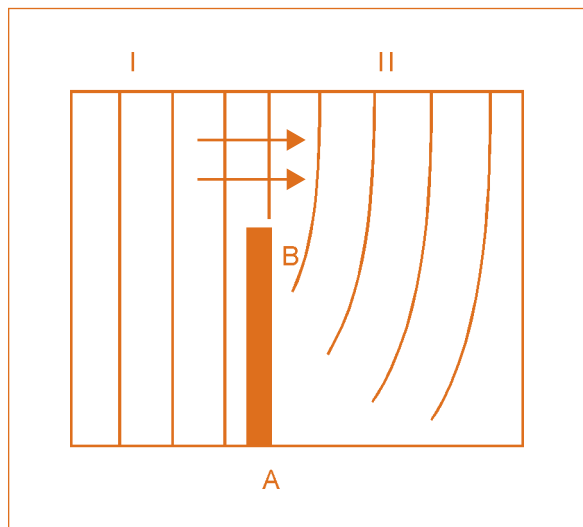
2

Uma onda transversal se propaga da corda 1 para a corda 2. Na corda da esquerda, a velocidade é V_1 , o comprimento da onda λ_1 e a frequência é f_1 . Na corda da direita, essas grandezas são V_2 , λ_2 e f_2 , respectivamente. Pode-se afirmar que:

- $f_1 = f_2$ e $v_1 \neq v_2$
- $\lambda_1 = \lambda_2$ e $v_1 = v_2$
- $v_1 = v_2$ e $f_1 \neq f_2$
- $f_1 = f_2$ e $\lambda_1 = \lambda_2$
- $\lambda_1 = \lambda_2$ e $v_1 \neq v_2$

As questões 15 e 16 referem-se à figura e ao texto que se seguem.

A figura é uma representação esquemática de propagação de ondas, na superfície da água de um tanque, de profundidade uniforme, no sentido indicado pelas setas; AB é um obstáculo contendo uma fenda.



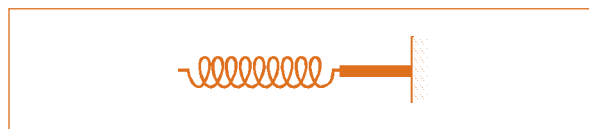
- 15) (UFMG) Quanto à velocidade de propagação V das ondas e sua frequência f é correto afirmar-se que:

- Na região I, V e f são maiores do que na região II.
- Na região I, V e f são menores do que na região II.
- Na região II, f é maior e V é menor do que na região I.
- Na região II, f é o mesmo e V é maior do que na região I.
- Nas regiões I e II, V e f têm os mesmos valores.

- 16) (UFMG) O fenômeno ondulatório que está representado na figura e que ocorre quando a onda passa pela fenda é:

- Difração
- Interferência
- Polarização
- Reflexão
- Refração

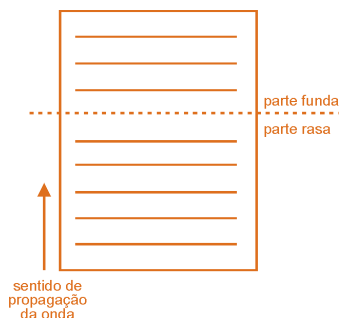
- 17) (FCMMG) Uma mola comprida e fina é presa à extremidade de uma corda, como mostra a figura abaixo:



Ao ser emitido um trem de ondas a partir da extremidade livre da mola, podemos afirmar que:

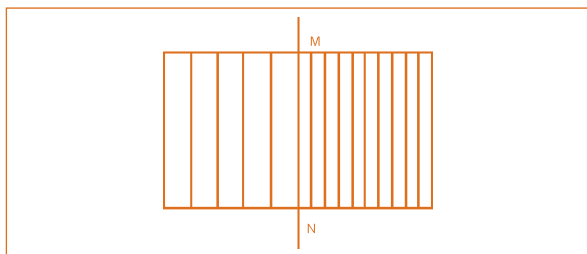
- A velocidade de propagação da onda é a mesma nos dois meios.
- A velocidade e o comprimento de onda permaneceram os mesmos quando a onda passa da mola para a corda.
- Ao passar da mola para a corda, a frequência da onda não varia.
- Ao passar da mola para a corda, o comprimento de onda não varia.
- Todas as características da onda permanecem as mesmas, ao passar da mola para a corda.

- 18) (UFMG) Na figura está esquematizada uma onda que se propaga na superfície da água, da parte rasa para a parte funda de um tanque. Seja λ o comprimento de onda da onda, v sua velocidade de propagação e f sua frequência.



Quando a onda passa da parte rasa para a parte funda, pode-se dizer que:

- λ aumenta, f diminui e v diminui
 - λ aumenta, f diminui e v aumenta
 - λ aumenta, f não muda e v aumenta
 - λ diminui, f aumenta e v aumenta
 - λ diminui, f não muda e v aumenta
- 19) (UFMG) A figura representa ondas se propagando na superfície da água de um tanque. As linhas paralelas representam as cristas das ondas. À direita de MN as cristas estão mais próximas umas das outras do que à esquerda.



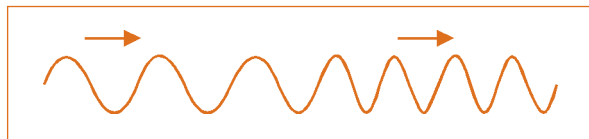
É **ERRADO**, afirmar que:

- A velocidade das ondas à esquerda de MN é maior que à direita.
- A frequência das ondas à esquerda de MN é igual do que à direita.
- O comprimento de onda à esquerda de MN é maior do que à direita.
- $$\frac{\text{comprimento de onda à direita de MN}}{\text{frequência da onda à esquerda de MN}} = \frac{\text{comprimento de onda à esquerda de MN}}{\text{frequência da onda à direita de MN}}$$
- $$\frac{\text{velocidade das ondas à esquerda de MN}}{\text{velocidade das ondas à direita de MN}} = \frac{\text{comprimento de onda à esquerda de MN}}{\text{frequência da onda à direita de MN}}$$

Nas questões 20 e 21 apresentam-se três afirmativas, cada uma das quais pode ser certa ou errada. Leia-as com atenção e responda:

- Se todas as afirmativas são erradas.
- Se apenas I, II são certas.
- Se apenas II e III são certas.
- Se apenas I e III são certas.
- Se apenas uma afirmativa é certa.

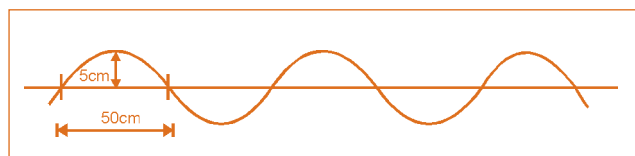
- 20) (UF. Diamantina) Duas cordas de densidades diferentes são presas uma na outra. Ondas produzidas por um vibrador propagam-se nas cordas conforme figura abaixo.



Seja: v_1 e v_2 = velocidades de propagação; λ_1 e λ_2 = comprimentos de onda; f_1 e f_2 = frequências das ondas nas cordas 1 e 2, respectivamente:

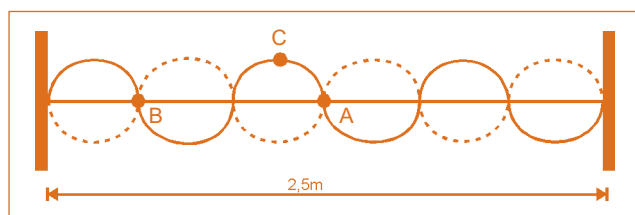
- $\lambda_1 = \lambda_2$
- $v_2 < v_1$
- $f_2 = f_1$

- 21) (UFMG) Uma onda é estabelecida numa corda, fazendo-se o ponto A oscilar com uma frequência igual a 1000 Hz (veja a figura).



- Pela figura o comprimento de onda é de 5 cm.
- O período da onda é 10^{-3} s.
- A velocidade da onda é de 5×10^4 cm/s.

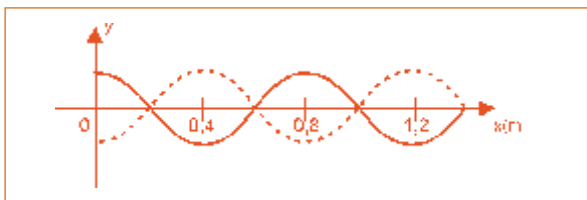
- 22) A figura a seguir representa uma onda estacionária, numa corda de comprimento $l = 2,5$ m.



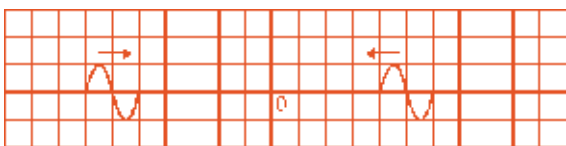
Quanto a essa situação, podemos afirmar:

- O ponto C é um nó.
- O ponto A é um ventre.
- O ponto B movimenta-se perpendicularmente à direção de propagação da onda.
- O comprimento de onda vale 0,5 m.
- O comprimento de onda vale 1,0 m.

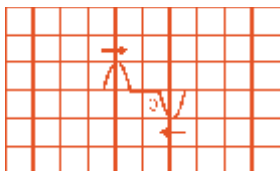
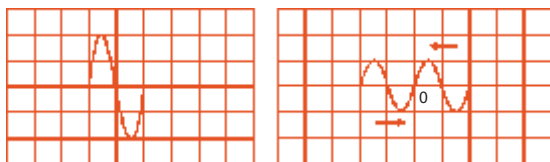
- 23) (FUVEST-SP) A figura abaixo representa uma onda estacionária, formada numa corda pela superposição de duas ondas, que se propagam em sentidos opostos, com o mesmo comprimento de onda, dado por:



- a) 0,2 m d) 0,8 m
b) 0,4 m e) 1,0 m
c) 0,6 m
- 24) (UFMG) Abaixo estão representados dois pulsos, num certo instante, movendo-se ao longo de uma corda.



As figuras seguintes representam os mesmos pulsos em instantes posteriores.



Assinale a alternativa que ordena as figuras numa sequência correta:

- a) I, II, III d) III, I, II
b) III, II, I e) II, III, I
c) II, I, III
- 25) (PUC-MG) Ondas longitudinais não exibem:
- a) difração d) reflexão
b) interferência e) refração
c) polarização
- 26) (UFMG) Para que um corpo vibre em ressonância com um outro é preciso que:
- a) seja feito do mesmo material que o outro;
b) vibre com a maior amplitude possível;
c) tenha uma frequência natural próxima da frequência natural do outro;
d) vibre com a maior frequência possível;
e) vibre com a menor frequência possível.

- 27) (PUC-MG) Uma nota musical de altura conveniente é capaz de quebrar um copo de cristal. O fenômeno é um exemplo de:

- a) difração d) ressonância
b) efeito Doppler e) tons harmônicos
c) interferência

- 28) (UFMG) Considere as seguintes ondas eletromagnéticas: microondas, luz azul e radiação ultravioleta. Supondo-se que essas ondas estão se propagando no vácuo, pode-se concluir que todas elas possuem:

- a) A mesma velocidade de propagação.
b) A mesma frequência.
c) O mesmo comprimento de onda.
d) O mesmo período.
e) A mesma amplitude.

- 29) (FCMMG) Nesta questão são feitas duas afirmativas ligadas pela palavra **PORQUE**:

Responda:

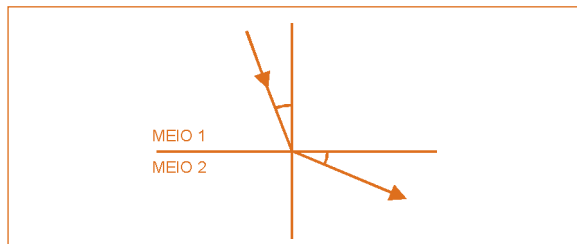
- a) Se duas afirmativas são corretas mas a segunda não é causa da primeira.
b) Se a primeira é uma afirmativa correta e a segunda é falsa.
c) Se a primeira é uma afirmativa falsa e a segunda correta.
d) Se a primeira e a segunda são afirmativas falsas.
e) Se as duas afirmativas são corretas e a segunda é causa da primeira.

Sabendo que a frequência da radiação ultravioleta é maior do que a das microondas, podemos concluir que, no vácuo, o comprimento de onda do ultravioleta é menor do que o das microondas.

PORQUE

no vácuo a velocidade com que a radiação ultravioleta se propaga é igual à velocidade de propagação das microondas.

- 30) (PUC-MG) Para a situação ilustrada, diz-se que:



- a) O comprimento de onda da luz em II é menor do que em I.
b) A velocidade da luz em II é maior do que em I.
c) A frequência da luz em I é maior do que em II.
d) O índice de refração de I é menor do que de II.
e) Haverá reflexão total se a luz passar de II para I.

Questões 31 a 33.

Nestas questões aparecem três afirmativas.

Responda:

- a) Se apenas a afirmativa I for verdadeira.
- b) Se apenas a afirmativa II for verdadeira.
- c) Se apenas a afirmativa III for verdadeira.
- d) Se pelo menos duas afirmativas forem verdadeiras.
- e) Se todas as afirmativas forem falsas.

31) (UFMG) O índice de refração absoluto do vidro é 1,5 e o do ar é, particularmente, 1,0. Quando a luz monocromática passa do ar para o vidro:

- I - Sua intensidade fica 1,5 vezes menor.
- II - Sua velocidade fica 1,5 vezes menor.
- III - Seu comprimento de onda fica 1,5 vezes menor.

32) (PUC-MG)

- I - No vácuo, a radiação ultravioleta propaga-se com uma velocidade maior do que as microondas.
- II - A frequência da radiação infravermelha é menor do que a da luz verde.
- III - Se a onda eletromagnética de uma emissora de rádio tem uma frequência de 750 kilohertz, o seu comprimento de onda, no ar, é de 400 m.

33) (FCMMG) As afirmações se referem a ondas de rádio, ondas luminosas e raios X, se propagando no vácuo.

- I - Elas apresentam comprimentos de onda diferentes.
- II - Elas se propagam com velocidades diferentes, características de seus comprimentos de onda.
- III - Suas frequências são iguais independentemente de seus comprimentos de onda que são diferentes.

34) (UFMG) Uma pessoa escuta um trovão 4,0 s depois de ver o relâmpago. A velocidade da luz é $3,0 \times 10^8$ m/s e a do som $3,40 \times 10^2$ m/s. A distância entre o ponto onde ocorreu o relâmpago e a pessoa é:

- a) $1,20 \times 10^9$ m
- b) $2,40 \times 10^9$ m
- c) $1,199 \times 10^9$ m
- d) $2,72 \times 10^3$
- e) $1,36 \times 10^3$ m

35) (PUC-MG) É verdadeira a afirmação:

- a) As ondas sonoras são transversais.
- b) A velocidade das ondas sonoras num mesmo meio depende de sua frequência.
- c) A temperatura do ar influencia a velocidade das ondas sonoras.
- d) As ondas sonoras não sofrem refração ao mudarem de meio.
- e) A velocidade das ondas sonoras é a mesma da luz.

36) (UFMG) Uma pessoa dá um grito diante de um muro e depois de 0,750 segundos ouve o eco. Considerando a velocidade do som no ar como sendo 340 m/s, pode-se afirmar que a distância entre a pessoa e o muro, em metros vale:

- a) 72
- b) 94
- c) 109
- d) 115
- e) 128

37) (FCMMG) Nesta questão apresentam-se três alternativas, cada uma das quais pode ser certa ou errada. Leia-as com atenção e responda:

- I - A intensidade do som nos permite distinguir os sons graves dos agudos.
- II - A altura do som nos permite, distinguir entre sons mais fortes e mais fracos.
- III - O timbre do som permite distinguir sons emitidos por instrumentos diferentes.
- a) Se apenas I e II são corretas.
- b) Se apenas I e III são corretas.
- c) Se apenas uma afirmativa é certa.
- d) Se todas as afirmativas são certas.
- e) Se todas as afirmativas são erradas.

38) Duas fontes sonoras emitem sons de alturas, intensidades e timbres diferentes. Quanto a essa situação, podemos afirmar, **EXCETO**:

- a) O som mais agudo terá maior frequência.
- b) O som menos intenso terá menor amplitude.
- c) Os timbres das ondas sonoras serão diferentes se as formas dessas ondas forem diferentes.
- d) O som mais grave terá maior período.
- e) Uma das afirmativas acima é falsa.

39) Todas as radiações (ondas) relacionadas a seguir pertencem ao espectro eletromagnético **EXCETO**:

- a) Luz verde
- b) Microondas
- c) Raios X
- d) Ultra-som
- e) Ultravioleta

40) (UFMG) Todas as afirmativas a respeito de ondas estão corretas, **EXCETO**:

- a) As ondas sonoras são ondas longitudinais que não se propagam no vácuo.
- b) As partículas de um meio no qual se propagam ondas longitudinais vibram em uma direção paralela à direção de propagação da onda.
- c) As partículas de um meio no qual se propagam ondas transversais vibram em uma direção normal à direção de propagação da onda.
- d) A velocidade V de propagação de uma onda é dada por $V = \lambda f$, onde f é frequência e λ , o comprimento da onda.
- e) O comprimento da onda de uma onda sonora é a distância que vai da fonte que emite o som ao ouvido do observador.

Termologia - Temperatura e Dilatação - Questões Objetivas

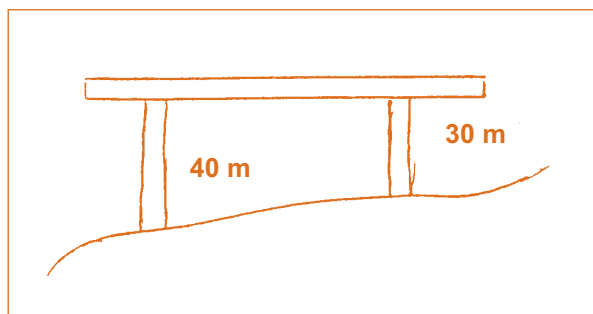
01) (UFGO) Quando um corpo está numa temperatura que em graus Celsius tem a metade do valor medido em graus Fahrenheit, pode-se afirmar que sua temperatura é de:

- a) 200°F b) 300°F c) 240°F d) 320°F e) 160°F

02) (UFMG) O coeficiente de dilatação linear do alumínio é aproximadamente $0,00003/^{\circ}\text{C}$, sendo a dilatação proporcional ao comprimento e à variação da temperatura. Se aumentarmos de 1000°C a temperatura de uma barra de 1000 centímetros de comprimento, o comprimento da barra aumentará 3 centímetros. Uma barra de alumínio tem L centímetros de comprimento à temperatura de $t_1^{\circ}\text{C}$. Se aquecermos a barra até a temperatura de $t_2^{\circ}\text{C}$, o seu comprimento sofrerá um aumento, em centímetros, igual a

- a) $\frac{3L_0 t_2}{100.000}$ c) $\frac{3L_0(t_2 - t_1)}{100.000}$ e) $\frac{3L_0(t_2 + t_1)}{100.000}$
 b) $\frac{3L_0 t_2}{100.000 t_1}$ d) $\frac{3L_0(t_2 - t_1)}{1.000}$

03) (FUNREI) A figura abaixo mostra uma ponte apoiada sobre dois pilares feitos de materiais diferentes.



Como se vê, o pilar mais longo, de comprimento $L_1 = 40\text{m}$, possui coeficiente de dilatação linear $\alpha = 18 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$. O pilar mais curto tem comprimento $L_2 = 30\text{m}$. Para que a ponte permaneça sempre na horizontal, o material do segundo pilar deve ter um coeficiente de dilatação linear α_2 igual a:

- a) $42 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$ d) $21 \times 10^{-1}/^{\circ}\text{C}^{-1}$
 b) $24 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$ e) $36 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$
 c) $13,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$

Termologia - Calorimetria - Questões Objetivas

01) (PUC-RS) No inverno usamos roupas de lã baseados no fato de a lã:

- a) ser uma fonte de calor. d) impedir que o calor do corpo se propague para o meio exterior.
 b) ser um bom condutor de calor. e) impedir que o frio penetre através dela até nosso corpo.
 c) ser um bom absorvente de calor.

02) (FGV-SP) Quando há diferença de temperatura entre dois pontos, o calor pode fluir por condução, convecção ou radiação do ponto de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa. O "transporte" de calor se dá juntamente com o transporte de massa no caso da:

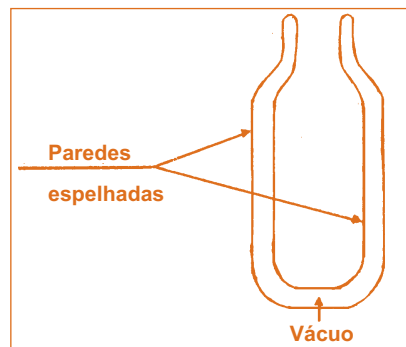
- a) condução, somente. c) convecção, somente. e) condução e radiação.
 b) radiação e convecção. d) radiação, somente.

03) (UFMG) Uma garrafa térmica, do tipo das usadas para manter café quente, consiste em um recipiente de vidro de parede dupla com vácuo entre as paredes. Essas paredes são espelhadas.

O vácuo e as paredes espelhadas são usados para dificultar a transmissão de calor, estando relacionados com uma ou mais formas de transmissão.

Assinale a alternativa que relaciona corretamente as características da garrafa térmica com as formas de transmissão de calor que essas características tentam impedir.

- a) parede espelhada ↔ condução, vácuo ↔ radiação
 b) parede espelhada ↔ condução, vácuo ↔ radiação e convecção
 c) parede espelhada ↔ radiação, vácuo ↔ condução e convecção
 d) parede espelhada ↔ radiação, vácuo ↔ radiação, condução e convecção

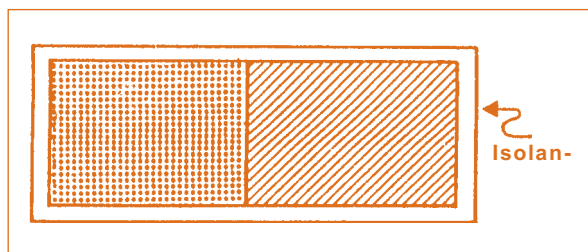


04) (UFMG) A mesma quantidade de calor é fornecida a dois corpos, **M** e **N**, sendo que a massa de **M** é maior do que a massa de **N**. Como resultado, esses corpos apresentam a mesma variação de temperatura.

Com relação às capacidades térmicas, C_M e C_N e aos calores específicos, c_M e c_N , pode-se concluir que

- a) $C_M < C_N$; $c_M = c_N$ c) $C_M = C_N$; $c_M > c_N$ e) $C_M > C_N$; $c_M = c_N$
 b) $C_M = C_N$; $c_M < c_N$ d) $C_M > C_N$; $c_M < c_N$

05) (UFMG) Observe a figura.



Nessa figura, dois corpos, a temperaturas diferentes, foram colocados em contato e isolados termicamente.

Depois de um certo tempo, esses dois corpos atingiram o equilíbrio térmico. Pode-se afirmar, com certeza que

- a) a energia perdida por um dos corpos é igual à energia recebida pelo outro.
 b) a maior variação de temperatura ocorreu no corpo de maior capacidade térmica.
 c) a maior variação de temperatura ocorreu no corpo de maior calor específico.
 d) a menor variação de temperatura ocorreu no corpo de maior massa.
 e) o aumento na temperatura de um dos corpos é numericamente igual ao decréscimo na temperatura do outro.

06) (UEPG-MG) Um projétil de chumbo, calor específico igual a $0,030 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$, se movimenta

horizontalmente com velocidade constante de 200 m/s e encrava-se num bloco de gelo fundente, ficando nele alojado. A temperatura do projétil antes do impacto era de 30°C , e 70% da sua energia cinética se transforma em calor. Desprezando-se as perdas de calor, pode-se afirmar que a massa de gelo que se funde na troca de calor é: (Dados: a massa do projétil é 150,0g; o calor latente de fusão do gelo é 80,0 cal/g; adote como sendo 4,2 J/cal o valor do equivalente mecânico do calor.)

- a) 6,25 g
 b) 12,45 g
 c) 2,15 g
 d) 35,75 g
 e) 10,00 g

07) (Med. Pouso Alegre) Para aquecer 1 kg de água a 0°C até obter 1 kg de vapor a 100°C , devemos usar uma quantidade de energia, em kJ (10^3 Joules), da ordem de:

dados

$$C_{\text{água}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$L = 540 \text{ cal/g}$$

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

- a) 640 c) 8200 e) 3700
 b) 2600 d) 890

08) (PUC-RS) Uma caixa de isopor contém 1,0 kg de gelo a 0°C . A caixa permanece fechada e depois de 10 h observa-se que a metade do gelo derreteu. Podemos afirmar que a quantidade de energia térmica que passou de fora para dentro da caixa é, em calorias, igual a: (Sabe-se que o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g.)

- a) $4,0 \times 10^4$ d) $4,0 \cdot 10^2$
 b) $8,0 \cdot 10^4$ e) $8,0 \cdot 10^2$
 c) $4,0 \cdot 10^3$

09) (UFMG) Na figura, estão representados três corpos de materiais diferentes, cujas massas estão indicadas. Ao receberem quantidades iguais de calor, estes corpos sofrem uma variação de temperatura, isto é, possuem a mesma capacidade térmica.



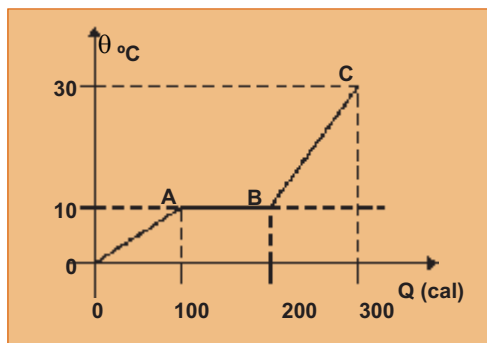
Massas iguais destes materiais, recebendo quantidades iguais de calor, sofrerão variações de temperatura Δt_1 , Δt_2 e Δt_3 , respectivamente, cuja relação é

- a) $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3$ d) $\Delta t_3 > \Delta t_1 > \Delta t_2$
 b) $\Delta t_2 > \Delta t_3 > \Delta t_1$ e) $\Delta t_2 > \Delta t_1 > \Delta t_3$
 c) $\Delta t_1 > \Delta t_3 > \Delta t_2$

- 10) (UFOP) Uma pessoa aquece 1,0 litro de água (lembre-se: 1,0 litro de água tem massa de 1,0 kg), de tal forma que a temperatura da água passa de 20°C para 80°C , durante 2,0 minutos. Desconsidere o calor absorvido pelo recipiente. O valor da potência térmica da fonte de calor é um valor mais próximo de:

Dado:
Calor específico da água = $1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$

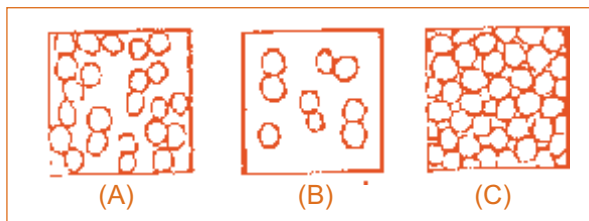
- a) 30 000 cal/s b) 5 000 cal/s c) 500 cal/s d) 60 000 cal/s e) 60 cal/s
- 11) (Itaúna-MG) Num recipiente de capacidade térmica desprezível, são colocados 100 g de água a 20°C e 200 g de água a 40°C . É **CORRETO** afirmar que a temperatura final de equilíbrio térmico da mistura:
- a) é de 60°C .
b) certamente é de 30°C .
c) está entre 20°C e 40°C e é mais próxima de 40°C .
d) está entre 20°C e 40°C e é mais próxima de 20°C .
e) é de 40°C .
- 12) (Itaúna-MG) É **CORRETO** afirmar que:
- a) a água sempre ferve a 100°C .
b) aquecendo-se a água, seu volume pode diminuir.
c) fornecendo-se calor para uma substância, sua temperatura sempre aumenta.
d) aquecendo-se uma chapa furada, o diâmetro do furo diminui.
e) todas as afirmações acima são falsas.
- 13) (FUNREI) As três afirmativas abaixo referem-se às mudanças de fase (estado) de uma substância. A alternativa que apresenta resposta **CORRETA** é:
- I- Na fusão o calor latente corresponde à energia necessária para desfazer ou romper a rede cristalina do sólido.
II- Certas substâncias, ao se fundirem, diminuem de volume; e um aumento da pressão acarreta uma diminuição de sua temperatura de fusão.
III- Entende-se por evaporação a passagem da fase líquida para a fase de vapor a uma temperatura inferior à temperatura característica de vaporização.
- a) Apenas a afirmativa I é correta. d) Apenas as afirmativas II e III são corretas.
b) Apenas as afirmativas I e II são corretas. e) As afirmativas I, II e III são corretas.
c) Apenas as afirmativas I e III são corretas.
- 14) (UFLA) 200 g de gelo a -20°C são colocados em um recipiente de paredes adiabáticas contendo certa quantidade de água a 80°C . Após troca de calor, a temperatura de equilíbrio é $\theta = 40^{\circ}\text{C}$. Calcule a quantidade de água contida no recipiente antes da mistura. Dados: calor específico do gelo $c_G = 0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$; calor latente de fusão do gelo $L = 80 \text{ cal/g}$; calor específico da água $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.
- a) 200 g b) 250 g c) 400 g d) 450 g e) 650 g
- 15) (UFLA) O gráfico abaixo representa a variação da temperatura θ em função da quantidade de calor recebida Q. Considerando um corpo inicialmente sólido de massa 20 g, pode-se afirmar que



- a) a capacidade térmica do corpo no estado sólido é $100 \text{ cal/}^{\circ}\text{C}$.
b) o calor específico da substância que constitui o corpo no estado sólido é $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.
c) a capacidade calorífica do corpo no estado líquido é $100 \text{ cal/}^{\circ}\text{C}$.
d) no intervalo de temperatura de 10°C a 30°C a capacidade térmica da massa é $20 \text{ cal/}^{\circ}\text{C}$.
e) o calor específico da substância de 10°C a 30°C para o intervalo BC é $50 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.

16) (Itaúna-MG) Quando fornecemos calor a um corpo e a sua temperatura se eleva, há um aumento na energia de agitação dos seus átomos. Esse aumento de agitação faz com que a força de ligação entre os átomos seja alterada, podendo acarretar mudanças na organização e na separação desses átomos. Falamos que a absorção de calor por um corpo pode provocar “mudança de fase”. A retirada de calor provoca efeitos inversos dos observados, quando é cedido calor à substância.

Considere os modelos de estrutura interna de uma substância apresentados nas figuras (A), (B) e (C).

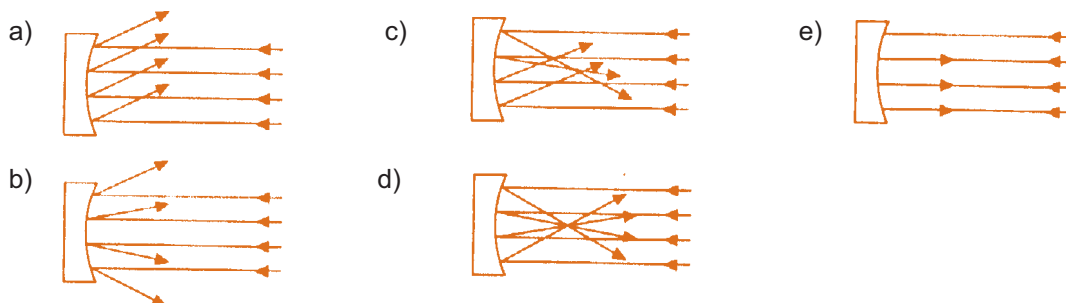


Com base no texto acima, podemos afirmar que os modelos (A), (B) e (C) representam, respectivamente:

- a) Sólido, gás e líquido.
- b) Líquido, sólido e gás.
- c) Líquido, gás e sólido.
- d) Gás, líquido e sólido.
- e) Sólido, líquido e gás.

Óptica Geométrica - Reflexão da Luz - Questões Objetivas

01) (Vunesp) “Isaac Newton foi o criador do telescópio refletor. O mais caro desses instrumentos até hoje fabricado pelo homem, o telescópio espacial Hubble (1,6 bilhão de dólares), colocado em órbita terrestre em 1990, apresentou em seu espelho côncavo, dentre outros, um defeito de fabricação que impede a obtenção de imagens bem definidas das estrelas distantes.” (O ESTADO DE S. PAULO, 1/8/91, p. 14). Qual das figuras melhor representaria o funcionamento perfeito do espelho do telescópio?

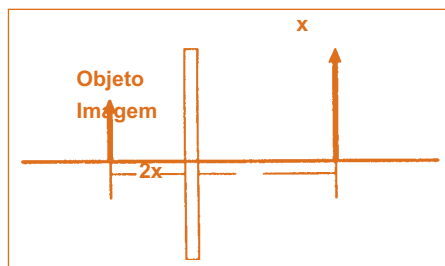


02) (MACK-SP) Um objeto real se encontra diante de um espelho esférico côncavo, a 10cm de seu vértice, sobre o eixo principal. O raio de curvatura desse espelho é 40cm. Se o objeto se deslocar até o centro de curvatura do espelho, a distância entre a imagem inicial e a final será:

- a) 60cm
- b) 40cm
- c) 25cm
- d) 20cm
- e) 10cm

03) (PUC-MG) No esquema representado na figura desta questão são dadas as posições de um objeto, de um espelho e da imagem formada pelo espelho.

Em relação ao espelho e à sua distância focal f , é **CORRETO** afirmar que o espelho é:



- a) convexo e $f = x$
- b) côncavo e $f = 2x$
- c) convexo e $f = 4x$
- d) côncavo e $f = 3x$
- e) convexo e $f = 3x$

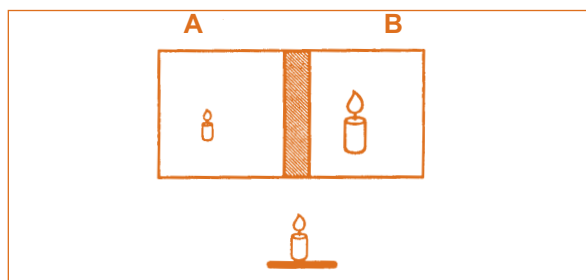
04) (Milton Campos) As afirmações abaixo se referem ao estudo da reflexão da luz.

- I. Mirando-se na parte convexa de uma colher uma pessoa verá sua imagem diminuída.
- II. A parte côncava de uma colher pode formar imagem tanto direta quanto invertida de um objeto.
- III. Mesmo que o tamanho de um espelho plano seja menor do que uma pessoa, é possível a pessoa enxergar todo o seu corpo nesse espelho.

São corretas:

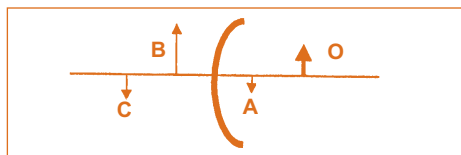
- a) I somente
- b) II somente
- c) III somente
- d) todas
- e) nenhuma

05) (PUC-MG) Dois espelhos distintos, A e B, estão fixos em uma mesma moldura, conforme a figura abaixo. Uma vela acesa é colocada em frente e a uma mesma distância dos espelhos. Observa-se que a imagem, formada pelos espelhos, é maior que a vela no espelho B e menor no espelho A. A respeito desses espelhos, é **CORRETO** afirmar:



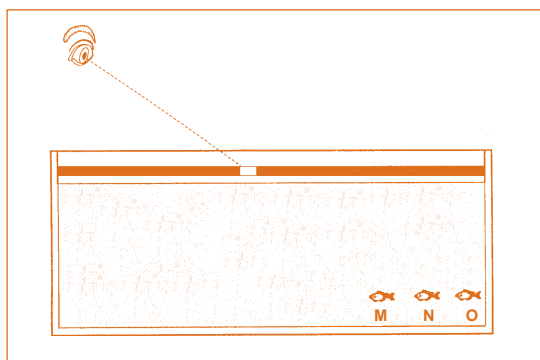
- a) Ambos os espelhos são convexas.
- b) O espelho A é convexo, e B é côncavo.
- c) A imagem formada no espelho A é virtual, e no espelho B é real.
- d) Ambas as imagens são reais.
- e) Ambos os espelhos podem projetar imagens sobre um anteparo.

06) (PUC-MG) Na figura abaixo, aparecem um espelho côncavo, um objeto O à sua frente e três imagens hipotéticas A, B e C do referido objeto. Dentre elas, as que podem realmente ser imagens de O são:



- a) A, B e C
- b) somente A e B
- c) somente A e C
- d) somente B e C
- e) somente C

07) (UFMG) Três peixes, M, N e O, estão em um aquário com tampa não transparente com um pequeno furo como mostra a figura.

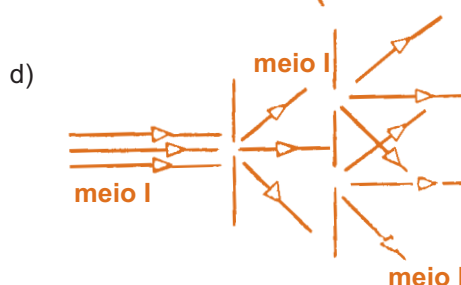
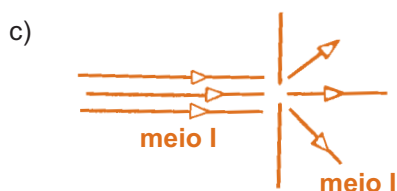
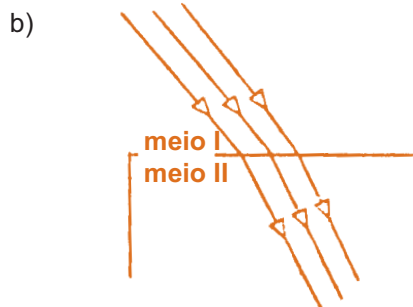
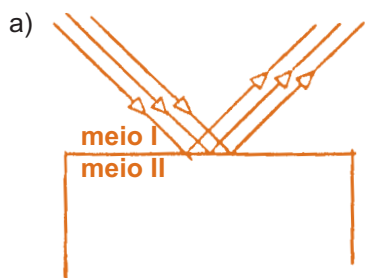


Uma pessoa com o olho na posição mostrada na figura provavelmente verá :

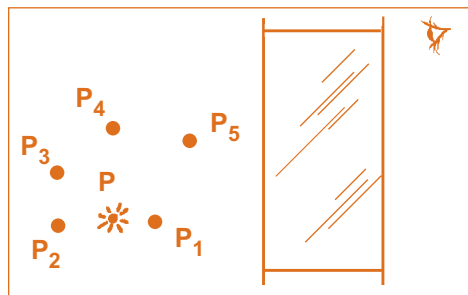
- a) apenas o peixe M.
- b) apenas o peixe N.
- c) apenas o peixe O.
- d) os peixes N e O.

08) (UFMG) As alternativas contêm desenhos que representam feixes luminosos em situações onde ocorre reflexão, refração, difração e interferência.

A alternativa que apresenta o único fenômeno que é acompanhado de uma mudança no valor numérico da velocidade de propagação da luz é:

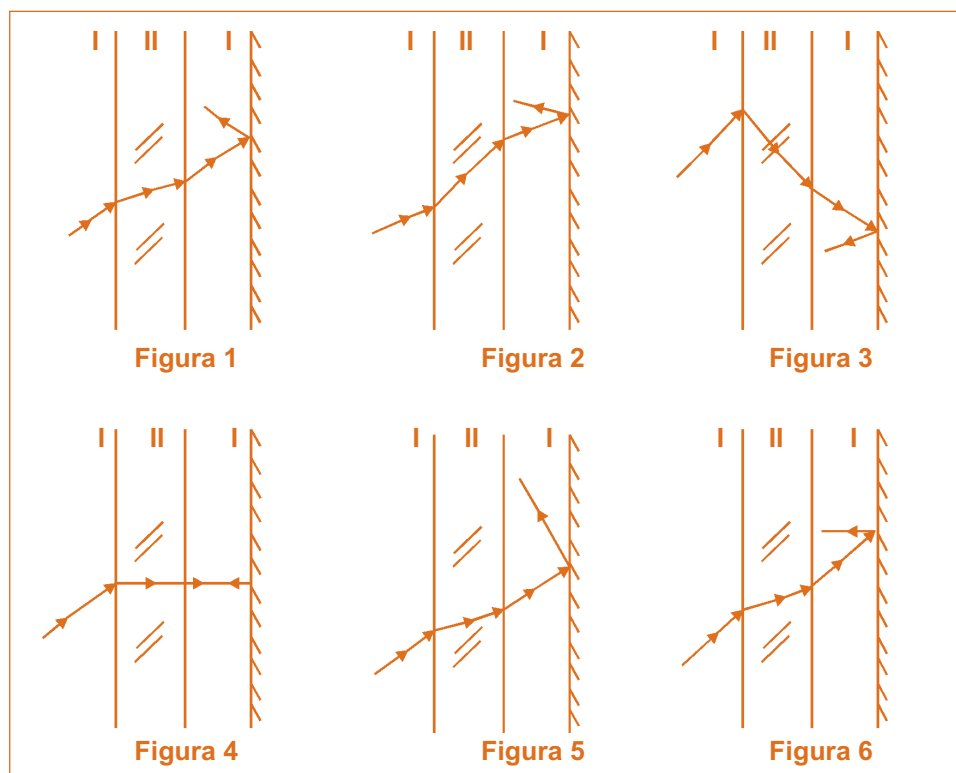


- 09) (PUC-MG) Um observador olha para um ponto luminoso P através do vidro de uma vidraça. A imagem que ele vê é o ponto:



- a) P_1
- b) P_2
- c) P_3
- d) P_4
- e) P_5

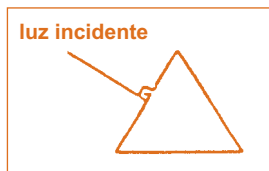
- 10) (UFMG) Um estreito feixe de luz monocromático passa de um meio I para um meio II cujos índices de refração são diferentes. O feixe atravessa o meio II, penetra em um meio idêntico a I e é refletido em um espelho plano. Estas figuras mostram opções de trajetórias para esse feixe de luz.



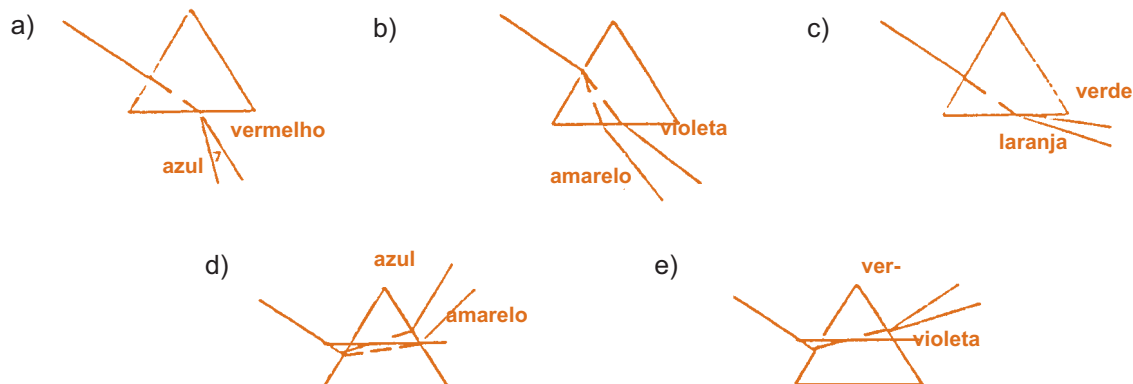
As figuras que representam trajetórias possíveis são:

- a) 1 e 2
 - b) 1 e 3
 - c) 2 e 5
 - d) 3 e 4
 - e) 4 e 6
- 11) (FAFEOD) Numa piscina de água pura é colocada uma fonte luminosa a 2 metros de profundidade. Considerando a fonte como puntiforme e que o ângulo limite água-ar é igual a 49° , que área iluminada da superfície verá um observador na borda da piscina?
- a) O observador verá um disco iluminado de área aproximadamente igual a 17m^2 .
 - b) O observador verá apenas um ponto iluminado na superfície da água.
 - c) O observador não verá a superfície da água iluminada devido à reflexão total.
 - d) O observador verá uma superfície iluminada com a mesma dimensão da fonte.
 - e) O observador só verá a superfície da água iluminada se estiver em posição frontal à fonte luminosa.

- 12) (UFV) Um feixe de luz composto por duas cores incide normalmente em um prisma imerso no ar, como na figura abaixo.



Sabendo-se que, no prisma, os índices de refração da luz, com relação ao vácuo, obedecem à relação $n_{\text{violeta}} > n_{\text{azul}} > n_{\text{verde}} > n_{\text{amarelo}} > n_{\text{laranja}} > n_{\text{vermelho}}$, assinale a alternativa que melhor represente o fenômeno observado.



- 13) (PUC-MG) Leia atentamente o período abaixo.

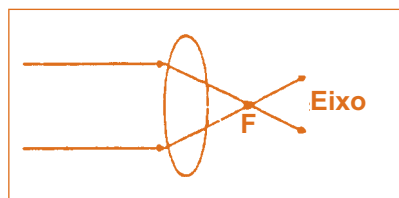
“A luz policromática branca pode ser decomposta nas cores do espectro que vai do vermelho até o violeta. Esse fenômeno físico chama-se _____ e é uma consequência de um outro fenômeno conhecido com o nome de _____.

Os espaços do período dado ficam corretamente preenchidos, respectivamente, por:

- a) difração, refração. d) difusão, polarização.
b) dispersão, interferência. e) dispersão, refração.
c) difração, reflexão.
- 14) (PUC-MG) Considerando as características das imagens reais e virtuais e as regras de formação de imagens em lentes, a afirmativa **FALSA** é:
- a) A imagem real formada por uma lente convergente pode ser menor do que o objeto.
b) A imagem virtual formada por uma lente convergente pode ser maior do que o objeto.
c) A imagem real formada por uma lente convergente pode ser maior do que o objeto.
d) A imagem virtual formada por uma lente divergente pode ser menor do que o objeto.
e) A imagem real formada por uma lente divergente pode ser menor do que o objeto.
- 15) (Itaúna-MG) A figura mostra uma lente de vidro mergulhada no ar.

Raios paralelos incidem paralelamente ao eixo da lente.

F é o foco da lente.



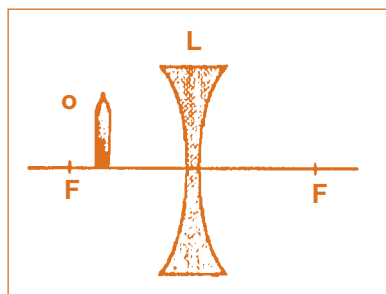
ÍNDICE DE REFRAÇÃO

ar	1,0
vidro	1,5
água	1,3

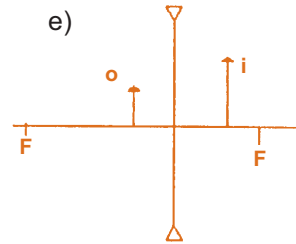
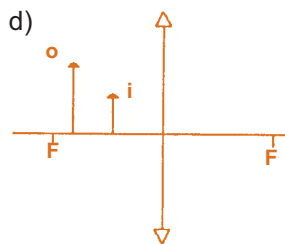
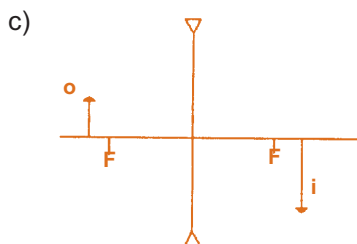
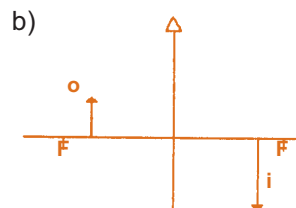
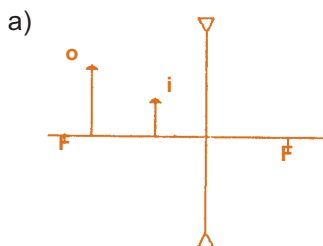
Se a lente for mergulhada na água, pode-se afirmar que:

- a) a lente passa a ser divergente.
b) a distância focal da lente sofrerá alteração.
c) os raios continuarão a convergir no mesmo ponto F (o foco não muda).
d) os raios convergirão de forma mais acentuada de modo que o ponto F se aproxima da lente.
e) os raios paralelos deixarão de convergir.

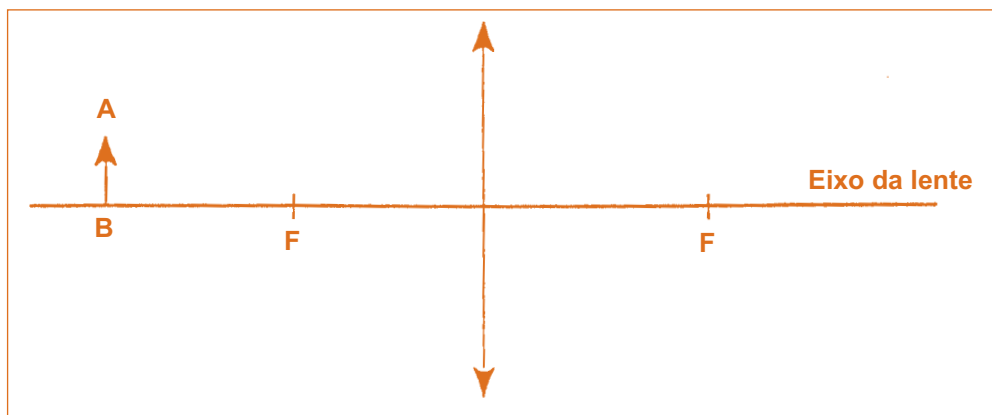
16) (PUC-MG) Na figura a seguir, são mostradas uma lente (L) e a posição de um objeto (o), no ar.



Considere, em cada opção, distâncias focais iguais. A opção que representa o esquema **CORRETO** da **Imagem (i)** e da **lente** é:



17) (FAFEOD) A lente convergente esquematicamente representada pela figura abaixo tem distância focal igual a 4cm. Sobre seu eixo, a 8cm à esquerda do plano da lente, é colocada uma haste AB de 2cm de comprimento.



Nessas condições, a imagem formada pela lente é:

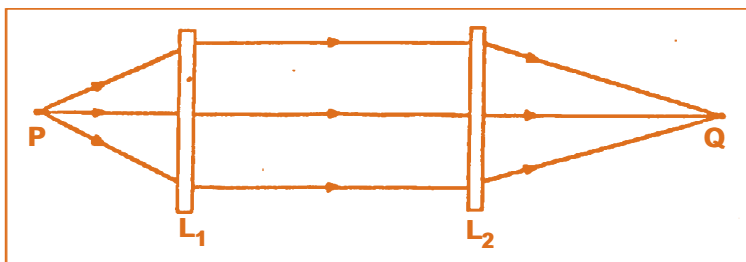
- a) virtual, direita, simétrica da haste AB em relação ao seu plano.
- b) real, invertida, aumentada, situada a 8cm à direita do seu plano.
- c) real, invertida, simétrica de AB em relação ao seu plano.
- d) virtual, invertida, de mesmo tamanho da haste AB, situada a 8cm à direita do seu plano.
- e) real, invertida, de mesmo tamanho da haste AB, situada a 8cm à direita do seu plano.

18) (PUC-MG) Com relação a lentes delgadas de vidro, e imersas no ar, é **INCORRETO** afirmar:

- a) Uma lente plano-convexa é convergente.
- b) De objetos reais, uma lente biconcava só produz imagens virtuais.
- c) Uma pessoa hipermetrópe, usando lentes convergentes, percebe uma imagem maior que o objeto observado.
- d) Quando um objeto luminoso, real, é colocado sobre um dos focos de uma lente divergente, a imagem se forma no infinito.
- e) Quando um objeto luminoso, real, é colocado sobre o eixo principal de uma lente convergente, a uma distância do centro óptico igual a duas vezes a distância focal, a imagem projetada é real, invertida e da mesma altura do objeto.

19) (UFMG) Dois defeitos visuais bastante comuns no ser humano são a miopia e a hipermetropia. Num olho míope, a imagem é formada antes da retina enquanto, num olho hipermetrópe, a imagem é formada depois da retina.

Na figura, estão representados três raios de luz emergindo de uma fonte localizada em P, passando pelas



Com relação às lentes L_1 e L_2 , a afirmativa **CORRETA** é:

- a) L_1 e L_2 podem corrigir hipermetropia. c) L_1 pode corrigir hipermetropia e L_2 , miopia.
b) L_1 e L_2 podem corrigir miopia. d) L_1 pode corrigir miopia e L_2 , hipermetropia.



GABARITO

Calor e Temperatura - Questões de Aprofundamento

- 01) e 02) d 03) b 04) c 05) a 06) b 07) d 08) c 09) d 10) a 11) a 12) c
13) c 14) c 15) a 16) a 17) e 18) b 19) a 20) e 21) c 22) d

Comportamento dos Gases - Termodinâmica - Questões de Aprofundamento

- 01) b 02) e 03) d

Ótica Geométrica - Reflexão da Luz - Questões de Aprofundamento

- 01) d 02) b 03) d 04) b 05) b 06) e 07) b 08) c 09) d 10) a 11) e 12) b

Ótica Geométrica - Refração da Luz - Questões de Aprofundamento

- 01) c 02) a 03) e 04) c 05) b 06) d 07) b 08) e 09) c 10) b 11) b 12) d
13) d 14) d 15) c 16) b

Ondulatória - Questões de Aprofundamento

- 01) c

CADERNO DE EXERCÍCIOS

Comportamento dos Gases - Termodinâmica - Questões Objetivas

- 01) c 02) c 03) e 04) e 05) a 06) b 07) a 08) c 09) d 10) c 11) c 12) c
13) e 14) c 15) a 16) a 17) d 18) e 19) a 20) d 21) b 22) c 23) c

Ondulatória - Questões Objetivas

- 01) a 02) c 03) e 04) a 05) d 06) d 07) b 08) d 09) d 10) b 11) e 12) a
13) c 14) a 15) e 16) a 17) c 18) c 19) d 20) c 21) e 22) e 23) d 24) e
25) c 26) c 27) d 28) a 29) e 30) b 31) d 32) c 33) a 34) e 35) c 36) e
37) c 38) c 39) d 40) e

Termologia - Temperatura e Dilatação - Questões Objetivas

- 01) d 02) c 03) b

Termologia - Calorimetria - Questões Objetivas

- 01) d 02) c 03) c 04) b 05) a 06) a 07) b 08) a 09) b 10) c 11) c 12) b 13) e
14) e 15) b 16) c

Ótica Geométrica - Reflexão da Luz - Questões Objetivas

- 01) d 02) a 03) b 04) d 05) b 06) b 07) a 08) b 09) a 10) a 11) a 12) a 13) e
14) e 15) b 16) a 17) e 18) c 19) a