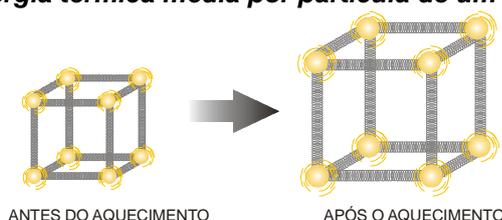


FÍSICA TÉRMICA

I. Temperatura**1. Temperatura e Princípio Zero da Termodinâmica**

Apesar de nos ser familiar o termo temperatura, *como um conceito físico relacionado com o nível de agitação molecular do sistema*, não é possível dar uma definição exata de temperatura. O sentido do tato permite-nos dizer se um dado corpo está a uma temperatura superior, ou inferior, à temperatura de outro corpo, mas não permite atribuir um valor numérico a essa temperatura. Além disso, os nossos sentidos podem enganar-nos. Por exemplo, se tocarmos num pedaço de metal e noutra de madeira temos a sensação de que o metal está mais frio do que a madeira apesar de os dois estarem à mesma temperatura.

“Temperatura é uma grandeza que esta relacionada com o nível de agitação térmica das partículas de um sistema ou a medida do nível da energia térmica média por partícula de um corpo ou sistema físico.”



O fato dos valores de várias propriedades dos corpos, designadas propriedades termométricas, mudarem quando se altera a temperatura vai permitir avaliar com precisão esta temperatura. Por exemplo, o funcionamento do conhecido termômetro de mercúrio e vidro baseia-se na dilatação do mercúrio com a temperatura. Neste caso a propriedade termométrica é o comprimento L de uma coluna de mercúrio contida num tubo capilar de vidro. Quando se calibram estes termômetros faz-se corresponder a cada valor de L um valor numérico θ que é a temperatura.

Define-se desta maneira uma escala empírica de temperaturas. Em outros tipos de termômetros a temperatura é determinada por várias outras propriedades dependentes da temperatura como, por exemplo, a resistência elétrica de um condutor, a força eletromotriz de um termopar, a pressão de um gás mantido a volume constante, etc. É sabido que, quando se põem em contato dois corpos a temperaturas diferentes, o corpo mais quente esfria enquanto que o mais frio aquece (considerando que não existe mudança de fase) devido a uma transferência de energia na forma de calor do corpo quente para o corpo frio. Entretanto observam-se variações em algumas das propriedades dos corpos que, ao fim de algum tempo, cessam. Quando tal acontece diz-se que os dois corpos alcançaram o *equilíbrio térmico* e que estão à mesma temperatura. A igualdade de temperaturas é a única condição exigida para o equilíbrio térmico. O princípio zero da termodinâmica afirma que:

“Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, os três estão em equilíbrio térmico entre si.”

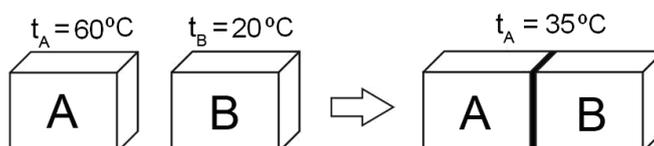
Poderá parecer estranho que este fato, tão óbvio, seja considerado uma das leis fundamentais da termodinâmica. Contudo, não pode deduzir-se de outras leis e a sua importância deve-se à circunstância de servir de base à medida de temperaturas. Se o terceiro corpo for um termômetro pode dizer-se que dois corpos, mesmo que não estejam em contato, estão em equilíbrio térmico se em ambos for medida a mesma temperatura.

2- Calor e Equilíbrio Térmico

Quando dois corpos a temperaturas diferentes são colocados em contato, inicia-se um processo de transferência de energia do corpo mais quente (o que tem maior temperatura) para o corpo mais frio (o que tem menor temperatura). Esse processo ocorre naturalmente e a energia transferida é, como já citamos, chamada *calor*. Como resultado da transferência de energia, a temperatura do corpo mais quente pode diminuir e a do corpo mais frio pode aumentar. O processo de transferência de energia acaba quando os dois corpos atingem a mesma temperatura, ou seja, quando os dois corpos atingem o *equilíbrio térmico*.

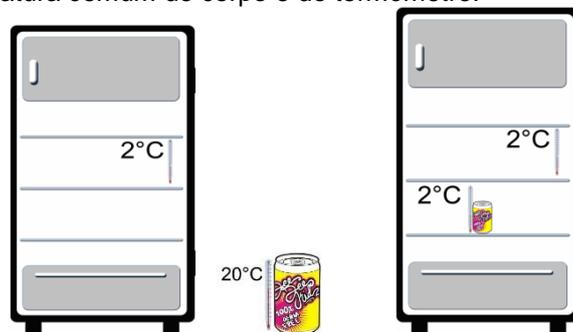
Calor é uma forma de energia transferida de um corpo para outro devido, exclusivamente, a uma diferença de temperatura.

Na situação inicial da figura abaixo, o corpo A está a uma temperatura superior à do corpo B. Postos em contato e isolados do meio externo, os dois corpos acabam por atingir a mesma temperatura final.



Quando colocamos uma lata de refrigerante no interior de um refrigerador (figura a seguir), normalmente a lata está mais quente do que o interior do refrigerador. Então o refrigerante vai esfriando até atingir a temperatura do interior do refrigerador. A partir daí não existe mais condições para a transferência de energia na forma de calor.

Para medir a temperatura de um corpo colocamos um termômetro em contato com ele. Se as temperaturas do corpo e do termômetro forem diferentes, a temperatura indicada pelo termômetro varia até se fixar em um determinado valor. Nesse instante o termômetro está em equilíbrio térmico com o corpo e a temperatura indicada é a temperatura comum do corpo e do termômetro.



Quando uma panela com água é aquecida em um fogão a gás, a água aquece, mas a chama não esfria em resultado desse aquecimento. De fato a temperatura da chama mantém-se constante, pois fornece energia através da combustão de gás natural. Quando uma substância é aquecida, a temperatura geralmente aumenta, mas podem ocorrer situações em que a temperatura não varie. Nesse caso podemos estar diante de uma mudança de fase, como por exemplo, a fusão e a ebulição da água. Esse assunto será discutido posteriormente.

3. Energia Interna

A energia interna de um sistema resulta das energias cinéticas das partículas e das energias potenciais resultante das interações entre todas as partículas que o constituem. Podemos ter corpos com as mesmas temperaturas e diferentes energias internas. A energia interna depende também da quantidade de matéria que constitui o sistema e das interações entre as partículas. Se tivermos 3 litros de água a 80 °C e os dividirmos por dois recipientes, um com um litro e outro com dois litros, a água terá a mesma temperatura nos dois recipientes, mas a energia interna no recipiente com dois litros será o dobro da do outro recipiente, pois tem duas vezes mais água.

4. Escalas de temperatura

Já atrás foi dito que os termômetros possuem uma propriedade dependente da temperatura, a *propriedade termométrica*, e que a sua calibração consiste em fazer corresponder a cada valor X da propriedade termométrica um valor numérico θ que é a temperatura. Para tal é necessário escolher alguns *estados que facilmente se reproduzem* tais como, por exemplo, os pontos de fusão e de ebulição da água à pressão de 1 atmosfera (denominados ponto de gelo e ponto de vapor, respectivamente), às *temperaturas dos quais se atribui um valor arbitrário*. Tais estados constituem os **pontos fixos** da escala de temperaturas. Simultaneamente admite-se que a temperatura é uma determinada função da propriedade termométrica (geralmente uma função linear).

Várias escalas de temperatura têm sido definidas ao longo dos tempos. Por exemplo, a **escala Celsius** foi definida pelo astrônomo sueco A. Celsius, (1701- 1744), e a **escala Fahrenheit**, pelo alemão G. Fahrenheit, (1686-1736). Na escala Celsius às temperaturas do ponto de gelo e do ponto de vapor foram atribuídos, respectivamente, os valores 0 e 100°C. Na escala Fahrenheit aos mesmos pontos foram atribuídas as temperaturas 32 e 212°F, respectivamente, pelo que estas escalas são designadas escalas de dois pontos fixos. Nestas escalas considera-se que a temperatura θ é uma função linear da propriedade termométrica X , isto é:

$$\theta = a + b X$$

(a e b são constantes determinadas à custa dos dois pontos fixos da escala)

Os vários termômetros assim calibrados quando se utilizam para determinar a temperatura dum mesmo corpo podem dar indicações diferentes, isto é, a temperatura avaliada por este processo não é independente do tipo de termómetro utilizado.

5. Escalas mais utilizadas

5.1. As Escalas Celsius (1701-1744) e Fahrenheit (1686-1736)

Provavelmente o termômetro que você utiliza para a leitura da temperatura corporal está graduado em graus Celsius. Se ele for digital o resultado mostrado no visor deve ser um número seguido do símbolo °C, o qual identifica a escala de temperatura Celsius. A escala Celsius é empregada diretamente na vida cotidiana, na ciência e na indústria em quase todos os países do globo.

O “zero” da escala Celsius é definido como sendo o ponto de congelamento da água e o número “100” corresponde ao ponto de ebulição desta ambos tomados a 1 atm. A distância entre estes dois pontos está dividida em 100 intervalos iguais denominados de graus. A escala Celsius assume valores negativos quando ela se refere a um estado cuja temperatura é menor do que o ponto de congelamento da água. A unidade de medida no SI da escala Celsius é o grau Celsius representado por 1 °C.

A escala Fahrenheit é empregada em larga escala nos Estados Unidos da América e no Reino Unido. Esta escala também foi definida a partir da adoção de dois pontos fixos, a saber: o ponto de congelamento normal da água 32°F e o ponto de ebulição normal da água 212 °F, ela também admite leitura de valores negativos. A escala Fahrenheit é identificada a partir do símbolo °F e assim como a escala Celsius o símbolo de grau é empregado na representação das temperaturas nessa escala.

A relação entre temperatura nas escalas Celsius (T_C) e Fahrenheit (T_F) é dada por:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

da equação acima podemos verificar que um intervalo de nove graus na escala Fahrenheit corresponda a um intervalo de cinco graus na escala Celsius.

Exemplo: Determine a temperatura a qual a escalas Fahrenheit e Celsius coincidem.

Resposta:

Escrevendo a equação (1) com a condição $T_F = T_C$, temos:

$$T_C = \frac{9}{5}T_C + 32$$

$$T_C - \frac{9}{5}T_C = 32$$

$$\frac{5T_C - 9T_C}{5} = 32$$

$$-4T_C = 160$$

$$T_C = -40^\circ\text{C}$$

5.2. A Escala Kelvin (Escala Absoluta)

A escala termométrica universalmente adotada na Física é a Kelvin, assim chamada em homenagem ao físico Inglês Lord Kelvin (1824-1907) devido as suas relevantes contribuições a termodinâmica. Esta escala termométrica, como as anteriores, também é definida a partir da fixação de dois pontos de referencia.

O primeiro ponto, o “zero” da escala recebe a denominação de zero absoluto, ele ocorre em uma temperatura hipotética igual $-273,15^\circ\text{C}$. Teoricamente, ao atingir esta temperatura a pressão absoluta de um gás deveria ser igual a zero. Na realidade é impossível observar este ponto de pressão igual a zero uma vez que os gases se liquefazem e a seguir se solidificam à medida que a temperatura atinge valores muito pequenos. A estimativa deste valor é obtida a partir da extrapolação linear do comportamento apresentado pela pressão absoluta do gás em função da temperatura para valores finitos.

O “zero” da escala é denominado de absoluto porque a temperatura na qual a pressão absoluta de um gás deveria ser nula ($-273,15^\circ\text{C}$) é coincidente para todos os tipos de gás. Este resultado sugere que essa temperatura particular é universal em sua importância porque não depende da substância utilizada no termômetro, além disso, tal temperatura representa um limite inferior para os processos físicos.

O segundo ponto é o ponto tríplice da água, ou seja, marca à única temperatura ($0,01^\circ\text{C}$) e à única pressão (4,58 mm de Hg) nas quais a água, o vapor de água e o gelo coexistem em equilíbrio. A temperatura tríplice da

água na escala Kelvin assume o valor de 273,16 K. Desta forma, a unidade da temperatura do SI, o kelvin, é definida como $(1/273,16)$ da temperatura do ponto tríplice.

As unidades dessa escala são as mesmas que as da escala Celsius, porém o zero é deslocado de tal modo que $0 \text{ K} = -273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $273,15 \text{ K} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, ou seja, a relação entre temperaturas nas escalas Celsius (T_C) e Kelvin (T_K) é dada por:

$$T_K = T_C + 273,15$$

A figura a seguir compara os valores para a temperatura de ebulição e congelamento da água e de zero absoluto nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin.

$^\circ\text{F}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{K}$
212	100	373.15
		Ebulição da água
32	0	273.15
0		Congelamento da água
-459,4	-273.15	0
		Zero absoluto

Exemplo: Determine em graus Celsius a temperatura de liquefação do nitrogênio, sabendo que a mesma vale 77K.

Resposta:

Isolando o termo T_C na equação (2) e aplicando diretamente o valor 77K, obtemos:

$$T_C = T_K - 273,15$$

$$T_C = 77\text{K} - 273,15\text{K}$$

$$T_C = -196,15^\circ\text{C}$$

Exercícios

1. A que temperatura coincide as leituras dos seguintes pares de escalas de temperatura?

- a) Celsius e Fahrenheit; b) Fahrenheit e Kelvin;

2. Converta as seguintes temperaturas em suas equivalentes nas escalas Celsius e Kelvin:

- a) A temperatura normal do corpo humano, 98,6 °F.
b) A temperatura do ar num dia frio, - 5 °F.

3. A tabela a seguir fornece as temperaturas de fusão e de ebulição, sob pressão normal, de algumas substâncias. Qual dessas substâncias seria a mais indicada para ser usada como substância termométrica em um termômetro cuja finalidade seria efetuar leituras de temperatura entre - 40° C e 40°?

SUBSTÂNCIA	FUSÃO	EBULIÇÃO
Mercúrio	- 39° C	357° C
Álcool	- 115° C	78° C
Água	0° C	100° C
Éter	- 114° C	34,5° C
Parafina	60° C	300° C

- a) Mercúrio
b) Álcool
c) Água
d) Éter
e) Parafina

4. Um termômetro está à temperatura ambiente. O que ocorre com este termômetro quando ele é introduzido em um líquido com temperatura superior à do ambiente?

- a) Aumenta sua energia interna, mas sua temperatura permanece constante.
b) Aumenta sua temperatura, mas sua energia interna permanece constante.
c) Sua energia interna e sua temperatura aumentam.
d) Aumenta sua temperatura, mas diminui sua energia interna.
e) Aumenta o calor do termômetro, mas sua energia interna diminui.

5. Uma variação de temperatura igual a 20 °C corresponde a uma variação de:

- a) 20 °F b) 18 °F c) 40 °F d) 77 °F e) 36 °F

7. Podemos caracterizar uma escala absoluta de temperatura quando:

- a) dividimos a escala em 100 partes iguais.
b) associamos o zero da escala ao estado de energia cinética mínima das partículas do sistema.
c) associamos o zero da escala ao estado de energia cinética máxima das partículas do sistema.
d) associamos o zero da escala ao ponto de fusão do gelo.
e) associamos ao valor 100 da escala ao ponto de ebulição da água.

8. Para medir temperaturas, os físicos e os astrônomos usam, com frequência, a variação de intensidade da radiação eletromagnética emitida por um objeto. O comprimento de onda para o qual a intensidade máxima, é dado por:

$$\lambda_{\max} T = 0,2898 \text{ cmK}$$

Onde λ_{\max} é comprimento de onda associado à intensidade máxima e T é a temperatura do objeto em K. Em

1965, uma radiação de micro-ondas com $\lambda_{\max} = 0,107 \text{ cm}$ foi descoberta, vinda de todas as direções do espaço.

A que temperatura este comprimento de onda corresponde? Essa radiação de fundo é interpretada como resíduo do Big Bang, que teria acontecido a cerca de 15bilhões de anos, quando o universo começou rapidamente a se expandir e esfriar.

9. As temperaturas extremas registradas nos Estados Unidos foram 134° F na Califórnia, em 1913, e - 80° F no Alasca, em 1971. Expressar estas duas temperaturas nas escalas Celsius e Kelvin. Comentar estes resultados e, se possível, comparar com as temperaturas no Brasil.

10. A diferença de temperatura entre o interior e a parte externa de um motor de automóvel é de 450 °C. Expresse esta diferença de temperatura nas escalas:

- a) Kelvin
b) Fahrenheit

II. Dilatação Térmica

1 – Dilatação dos sólidos

Podemos observar, em várias situações cotidianas, os efeitos da dilatação e da contração que ocorrem devido às variações na temperatura. Deixam-se pequenos espaços entre os trilhos (Figura 1) das ferrovias e entre os blocos de concreto de uma ponte (Figura 2) para permitir a sua dilatação. Esses espaços ficam maiores em dias com temperaturas muito baixas. Quando se derrama água quente em uma vasilha de vidro grosso ela pode rachar, isso porque as camadas internas do vidro são aquecidas e dilatam-se, antes das camadas externas. Um copo de pequena espessura não racha tão facilmente porque o vidro se aquece rapidamente, sofrendo uma dilatação praticamente uniforme. Os cabos de aço da ponte “Golden Gate” (Figura 3) de São Francisco (EUA) ficam até 1,50 metros mais abaixo, no meio da ponte, no verão do que no inverno, devido à dilatação. Existem algumas situações em que é necessário o uso de materiais com a mesma taxa de dilatação. Como por exemplo, o engenheiro usa barras de ferro de reforço que possuem a mesma taxa de dilatação que o concreto e o dentista utiliza na restauração um material com a mesma taxa de dilatação que o esmalte dos dentes.



Figura 1 – Pequeno espaço deixado entre dois trilhos consecutivos, devido à dilatação térmica.



Figura 2 – Pequeno espaço deixado entre os blocos de concreto de uma ponte, devido à dilatação térmica.



Figura 3 – A ponte “Golden Gate”. A distância entre as pilastras é de 1280 metros.

É possível observar a relação existente entre a temperatura e o movimento dos átomos através do fenômeno da dilatação térmica. Por exemplo: na estrutura de um sólido cristalino os átomos estão unidos por ligações químicas e vibram em torno de posições de equilíbrio. Quando um sólido aumenta sua temperatura, cada molécula vibra com maior intensidade, aumenta a amplitude de oscilação, o que resulta em um aumento da distância média entre os átomos (Figura 4). A maioria dos sólidos e líquidos aumentam de volume quando aquecidos e se contraem quando são resfriados.

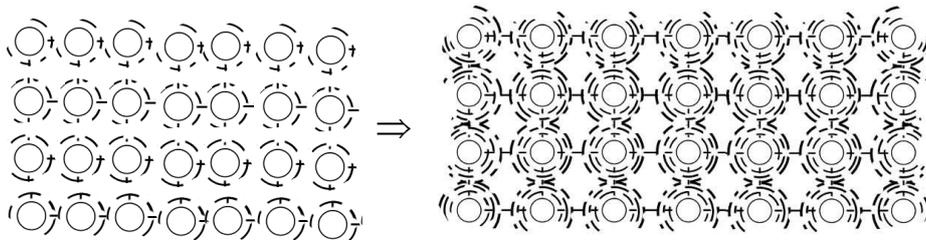


Figura 4 – A elevação da temperatura produz um aumento da energia de vibração das moléculas, acarretando um aumento na distância média entre os átomos de um sólido.

Suponha que uma esfera de ferro tenha dimensões tais que ela passe sem folga por um anel de ferro (Figura 5). Se aquecermos a esfera, ela se expandirá e não passará mais pelo anel.

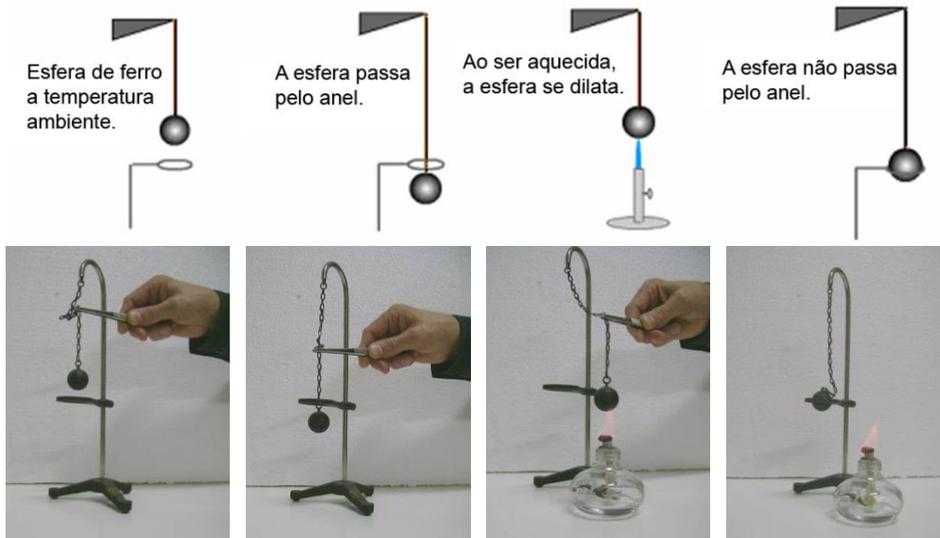


Figura 5 – A seqüência de imagens representa a uma esfera, que após ser aquecida, não passa mais pelo anel.

Se aquecermos também o anel, ele se dilatará de modo que a esfera poderá passar por ele (Figura 6). Essa segunda parte da experiência prova que quando um anel se dilata, as dimensões do espaço circular que ele envolve aumentam.



Figura 6 – A seqüência de fotografias mostra que quando o anel é aquecido ele se dilata, aumentando o diâmetro interno. Como consequência do aumento do diâmetro a esfera passa por ele.

A dilatação pode ser útil. Quando se quer afrouxar a tampa metálica de um vidro, podemos mergulhá-los em água quente. A tampa de metal dilata-se mais que o vidro e fica um pouco mais frouxa.

Se fixarmos uma lâmina de alumínio numa de cobre (Figura 7) e as aquecemos, o alumínio dilatará mais que o cobre e por isso a lâmina dupla se envergará. Lâminas duplas como essa são usadas para muitas finalidades.

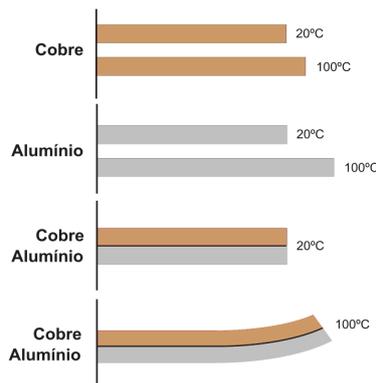


Figura 7 – A figura mostra a dilatação de uma lâmina bimetálica que é aquecida de 20°C até 100°C.

A temperatura de alguns modelos de ferros elétricos é controlada por uma lâmina bimetálica (Figura 8). Ela se enverga para baixo, abrindo o circuito, quando o ferro se aquece até atingir uma temperatura desejada. Muitos sistemas de aquecimento elétrico nos quais é necessário manter certas temperaturas, como estufas e fornos, usam termostatos (lâmina bimetálica) para manter sua temperatura mais ou menos constante.

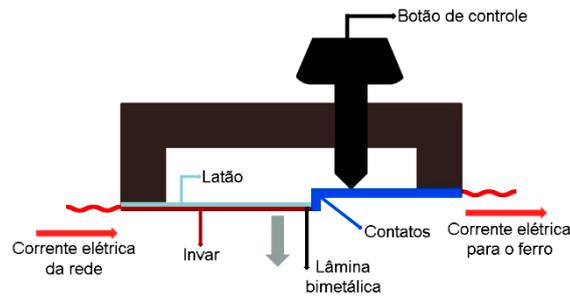


Figura 8 – A figura representa o termostato de um ferro elétrico que funciona com uma lâmina bimetálica de latão e invar (liga metálica composta de ferro e níquel), cujo coeficiente de dilatação é menor do que o coeficiente do latão.

Um disjuntor termomagnético (Figura 9) é um dispositivo capaz de interromper a corrente elétrica quando essa ultrapassa um certo valor máximo. Seu funcionamento é baseado nos efeitos produzidos pela passagem de corrente elétrica em um circuito: o magnético e o térmico (efeito Joule). O dispositivo é composto de duas partes, um eletroímã e uma lâmina bimetálica.



Figura 9 - Disjuntor termomagnético

Todo corpo ao dilatar-se, o faz volumetricamente. Entretanto, podemos estar interessados apenas na dilatação em uma dimensão (dilatação linear) do corpo, ou em duas dimensões (dilatação superficial) ou de todo o seu volume (dilatação volumétrica). No caso dos fluidos (líquidos, vapores e gases), não tem sentido falar-se em dilatação linear ou superficial.

2- Dilatação Linear

No caso de corpos sólidos, pode acontecer que desejamos calcular apenas a variação de uma de suas dimensões. É o que acontece, por exemplo, na dilatação de uma barra (trilho de trem) e nos fios. Embora o seu volume aumente com o aumento da temperatura, tem maior importância a variação de seu comprimento.

Quando se aquece uma barra de alumínio de 1 metro de comprimento, aumentando sua temperatura de 1 °C, ela se dilata de 22 milionésimos de metro. O *coeficiente de dilatação linear* do alumínio é então 22 milionésimos por grau Celsius. O *coeficiente de dilatação linear de uma substância é a variação do comprimento sofrido por um comprimento unitário quando a sua temperatura varia de uma unidade*. Podemos calcular o aumento do comprimento de uma barra qualquer, multiplicando seu coeficiente de dilatação por seu comprimento e pelo aumento de sua temperatura.

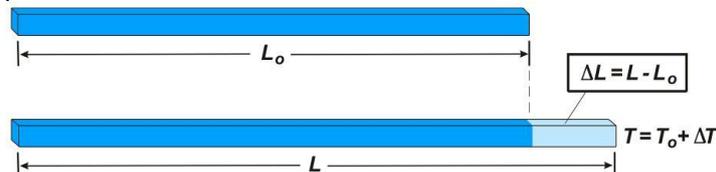


Figura 10 – A figura representa a dilatação linear de uma barra metálica.

Dilatação (ΔL) = coeficiente de dilatação (α) X comprimento inicial (L_0) X aumento de temperatura (ΔT).

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \text{ ou } L = L_0 [1 + \alpha \cdot \Delta T]$$

Exemplo: De quanto se dilata um trilho de ferro de 10 m de comprimento, quando aquecido de 0°C a 30 °C? Dado:

$\alpha_{\text{Ferro}} = 0,00012/^\circ\text{C}$.

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T = 0,00012/^\circ\text{C} \cdot 10 \text{ m} \cdot (30^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 0,0036 \text{ m} = 3,6 \text{ mm}.$$

3- Dilatação Superficial e Volumétrica

De modo análogo ao coeficiente de dilatação linear, pode-se definir o coeficiente de dilatação superficial, β , e o coeficiente de dilatação volumétrica, γ .

Nos sólidos isotrópicos, a variação percentual no comprimento é a mesma em todas as direções e se tem, com muita boa aproximação: $\beta \approx 2 \alpha$ e $\gamma \approx 3 \alpha$.

Para mostrar que $\beta \approx 2\alpha$ considere-se uma superfície retangular de área A_0 e dimensões L_{10} e L_{20} à temperatura T_0 e área A e dimensões L_1 e L_2 à temperatura T .

Desta forma, $A_0 = L_{10}L_{20}$ e $A = L_1L_2$.

Usando $L_1 = L_{10}(1 + \alpha \Delta T)$ e $L_2 = L_{20}(1 + \alpha \Delta T)$, vem:

$$A = A_0 [1 + 2\alpha \Delta T + \alpha^2(\Delta T)^2]$$

Agora, como $\alpha^2 \ll \alpha$, pode-se desprezar o termo quadrático e escrever:

$$A = A_0 [1 + 2\alpha \Delta T]$$

e daí, $\beta \approx 2\alpha$.

Para mostrar que $\gamma \approx 3\alpha$ pode-se usar um procedimento análogo.

4- Tensão Térmica

Quando um corpo é aquecido e impedido de dilatar por um processo mecânico qualquer, aparecem no seu interior tensões que podem atingir valores muito elevados.

A tensão térmica explica porque um vidro grosso comum quebra quando colocamos água fervendo em seu interior. O vidro é um mau condutor de calor. Isto faz com que as camadas internas se dilatam mais rapidamente que as externas. A tensão térmica assim criada rompe o vidro.

Quando soldamos dois materiais, devemos observar os seus coeficientes de dilatação. Esses devem ser os mais próximos possíveis para evitar que uma variação de temperatura cause uma tensão térmica elevada.

Aníbal (247 a.C. – 183 a.C.) foi um general cartaginês que se destacava como grande tático militar. Ficou conhecido pelo seu desempenho na segunda guerra púnica¹. Quando o exército de Aníbal tinha sua marcha obstruída por grandes penhascos, acendiam fogo junto à rocha, que assim se dilatava e a seguir jogavam água gelada. A brusca contração conseguia rachar rochas muito grandes.

Questão 1- Por que o gelo estala quando o colocamos em uma bebida à temperatura ambiente?

Os estalos emitidos pelo cubo de gelo devem-se às tensões internas causadas pelo aumento brusco de temperatura na superfície do gelo. O aumento da temperatura produz uma dilatação, isto é, põe a superfície sob tensão, o que leva à formação de trincas na superfície. Quando as superfícies dos dois lados do gelo se aproximam ou se afastam, produzem variações da pressão do líquido ou do ar, que se propagam ao longo da trinca em forma de ondas sonoras (Walker, p. 179, 2008).

Questão 2- Por que o pirex não quebra quando aquecido?

O coeficiente de dilatação linear do vidro pirex é $3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e do vidro comum é $9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, ou seja, três vezes menor. Portanto, a tensão térmica no pirex é bem menor. Entretanto, ainda assim não é conveniente retirar um recipiente de pirex do forno e colocar sobre uma superfície fria, boa condutora.

5- Dilatação dos líquidos

Como os líquidos não possuem forma própria, só tem significado para eles a dilatação volumétrica ou cúbica. Quando estudamos os termômetros, vimos que o mercúrio se dilata e tal dilatação ocorre no interior do recipiente de vidro. Assim como o mercúrio, os líquidos geralmente se dilatam mais que os sólidos.

Para estudarmos a dilatação de um líquido precisamos colocá-lo em um recipiente sólido. Esse, também se dilatando, impede que se observe diretamente a dilatação real sofrida pelo líquido. Na realidade o que observamos é a *dilatação aparente do líquido*.

A soma da dilatação aparente com a dilatação do recipiente é chamada *dilatação real do líquido*. A água não obedece às regras.

A lei que rege a dilatação dos líquidos é a mesma dos sólidos, valendo, portanto, as mesmas expressões matemáticas já vistas.

$$\Delta V = V - V_0 \quad \Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

Então, na análise do comportamento térmico do líquido, devemos considerar também a dilatação do recipiente, que ocorre simultaneamente. Logo, a dilatação efetiva do líquido é expressa por:

$$\Delta V = \Delta V_{AP} + \Delta V_F$$

Onde:

ΔV é a dilatação real do líquido;

ΔV_{AP} é a dilatação aparente do líquido (volume de líquido extravasado);

ΔV_F é a dilatação do frasco (recipiente), isto é, a dilatação do volume que expressa a capacidade do frasco.

$$\gamma = \gamma_{AP} + \gamma_F$$

¹ As Guerras Púnicas consistiram-se numa série de três guerras que opuseram a República Romana e a República de Cartago, cidade-estado fenícia.

Onde: γ é o coeficiente de dilatação volumétrica real do líquido γ_{AP} é o coeficiente de dilatação volumétrica aparente e γ_F é o coeficiente de dilatação volumétrica do frasco.

6- Dilatação anômala da água

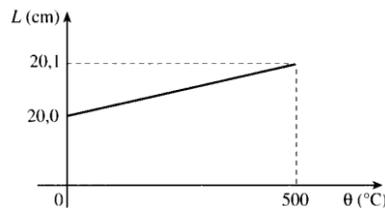
Uma exceção à regra de que os corpos se dilatam com o aumento da temperatura é a água, que se contrai ligeiramente quando a temperatura aumenta na faixa de 0 °C a 4 °C e só começa a se dilatar quando a temperatura ultrapassa 4 °C. Esse fato é importante porque significa que a água líquida abaixo de 4 °C é menos densa que a água a 4 °C. Em conseqüência, quando os lagos começam a esfriar no inverno, a água fria da superfície afunda antes de se transformar em gelo, permitindo que a água ligeiramente mais quente tome seu lugar. Depois que toda água dos lagos chega a 4 °C, a água da superfície é a primeira a se transformar em gelo, já que ele é menos denso que a água a 4 °C, que permanece no fundo dos lagos. O gelo é isolante térmico, evitando que os lagos congelem totalmente, o que seria desastroso para os peixes e outros organismos aquático. Como a maioria dos biólogos acredita que a vida na Terra começou nos lagos e oceanos, as propriedades térmicas da água podem ter sido importante para a evolução das formas primitivas de vida.



Figura 22 – A figura mostra a variação do volume e da densidade da água líquida, quando aquecida.

Exercícios

1. O comprimento de uma haste metálica em função da temperatura é dada abaixo. Determine o coeficiente de dilatação linear desse metal.



2. Considere um termômetro baseado na expansão linear de um certo material. Sabendo que a uma temperatura de 10 °C, o comprimento do material é de 1 cm, e, a 40 °C, o comprimento é de 1,5 cm. Determine o coeficiente de dilatação linear desse material.

3. Uma barra metálica apresenta, à temperatura de 15°C, comprimento de 100 cm. O coeficiente de dilatação linear da barra é $5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Determine a temperatura na qual o comprimento dessa barra será de 100,2 cm.

4. Uma barra metálica com comprimento de 3m, é aquecida de 20° C até 520° C. Em conseqüência do aquecimento, ela se alonga de 2 cm. Determinando-se o seu coeficiente de dilatação linear encontra-se, em $^\circ\text{C}^{-1}$.

5. Uma barra metálica, inicialmente à temperatura de 20 °C, é aquecida até 260 °C e sofre uma dilatação igual a 0,6% do seu comprimento inicial. Determine o coeficiente de dilatação linear médio do metal, nesse intervalo de temperatura.

6. Quando resfriamos uma determinada quantidade de água de 4°C até 0°C, ocorre que:

- a) o volume aumenta e a densidade diminui.
- b) o volume diminui e a densidade aumenta.
- c) o volume e a densidade diminuem.
- d) o volume permanece constante e a densidade diminui.
- e) o volume e a densidade aumentam.

7. Um recipiente de vidro de capacidade $2,0 \cdot 10^2 \text{ cm}^3$ está completamente cheio de mercúrio, a 0 °C. Os coeficientes de dilatação volumétrica do vidro e do mercúrio são, respectivamente, $4,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Aquecendo o conjunto a 100 °C, determine o volume de mercúrio que extravasa, em cm^3 .

1) $5 \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	2) $1,7 \times 10^{-2} / ^\circ\text{C}$	3) 55°C	4) $13,3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	5) $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	6) A	7) 2,8
--	--	---------	--	---	------	--------

III. Energia em movimento

1. Introdução

No final do século XVIII, existiam duas hipóteses alternativas sobre o calor. A hipótese mais aceita considerava o calor como uma substância fluida indestrutível que “preencheria os poros” dos corpos e escoaria de um corpo mais quente a um mais frio.

Lavoisier chamou esta substância hipotética de “calórico”. A implicação era que o calor pode ser transferido de um corpo a outro, mas a quantidade total de “calórico” se conservaria, ou seja, existiria uma lei de conservação de calor.

A hipótese rival, endossada entre outros por Francis Bacon e Robert Hooke, foi assim expressa por Newton em 1704: “O calor consiste num minúsculo movimento de vibração das partículas dos corpos”. A principal dificuldade estava na “lei de conservação do calórico”, pois a quantidade de calórico que podia ser “espremida para fora” de um corpo por atrito era ilimitada. Com efeito, em 1798, Rumford escreveu: “Foi por acaso que me vi levado a realizar as experiências que vou relatar agora... Estando ocupado ultimamente em supervisionar a perfuração de canhões nas oficinas do arsenal militar de Munique, chamou-me a atenção o elevado grau de aquecimento de um canhão de bronze, atingido em tempos muito curtos, durante o processo de perfuração...A fonte de calor gerado por atrito nestas experiências parece ser inesgotável ... e me parece extremamente difícil de conceber qualquer coisa capaz de ser produzida ou transmitida da forma como o calor o era nestas experiências, exceto o MOVIMENTO.

Rumford foi levado a endossar a teoria alternativa de que “...o calor não passa de um movimento vibratório que tem lugar entre as partículas do corpo”.

2. Calor e Trabalho

Calor Q é energia em trânsito de um corpo para outro devido à diferença de temperatura entre eles.

Trabalho W é a energia que é transferida de um sistema para outro de tal modo que a diferença de temperaturas não esteja envolvida.

As grandezas Q e W não são características do estado de equilíbrio do sistema, mas sim dos processos termodinâmicos pelos quais o sistema passa quando vai de um estado de equilíbrio para outro. Desse modo, se um sistema vai de um estado de equilíbrio inicial para um outro estado de equilíbrio final, por dois caminhos diversos, para cada caminho ele terá um valor de Q e W específico.

Q e W são definidos como:

Q = calor recebido ou cedido pelo sistema

W = trabalho realizado ou recebido pelo sistema

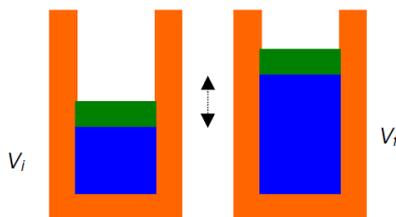
De modo geral, nós separamos uma certa quantidade de material que desejamos analisar. A esse material chamamos de sistema, que pode estar isolado (ou não) da sua vizinhança. A interação com a vizinhança pode ser de vários tipos: trocando calor, trocando trabalho, ou ambos os casos simultaneamente.

Um sistema sofre transformações que o levarão de um estado de equilíbrio inicial a um estado final, através de diversos estados intermediários. O caminho entre os estados inicial e final, através dos estados intermediários se dá por causa da interação do sistema com a sua vizinhança.

2.1. Trabalho

Para exemplificar, calculemos o trabalho feito por um sistema formado por um gás isolado no interior de um pistão, cujo êmbolo pode movimentar-se livremente sem atrito. Considere que inicialmente o êmbolo estava preso e continha um volume V_i , após ser solto ele moveu-se e o volume passou a ser V_f , quando então ele tornou a ser preso. O êmbolo subiu como consequência da pressão p exercida pelo gás. O trabalho elementar feito por esse sistema é definido como:

$$dW = F dx = p A dx$$



ou seja: quando o êmbolo moveu-se de dx , sob a ação de uma pressão interna p , o sistema executou um trabalho dW . A área do êmbolo é A , daí a variação de volume associada a dx é igual a $dV = A dx$, e portanto:

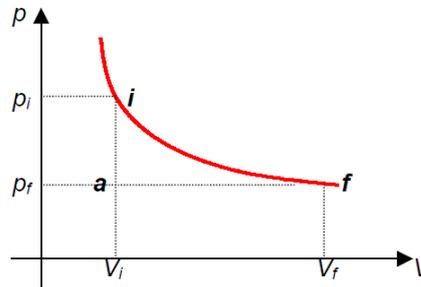
$$dW = p dV$$

ou seja: quando o êmbolo moveu-se de dx , sob a ação de uma pressão interna p , o sistema executou um trabalho dW . A área do êmbolo é A , daí a variação de volume associada a dx é igual a $dV = A dx$, e portanto:

$$dW = p dV$$

O trabalho total executado pelo sistema entre os estados inicial e final, é definido como:

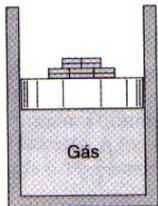
$$W_{if} = \int_i^f p dV$$



e considerando a definição de integral, temos que esse trabalho será a área abaixo da curva que vai do estado inicial até o estado final.

Como já tínhamos antecipado o valor do trabalho associado à mudança de estado do sistema não é único. Quando o sistema for do estado inicial até o final através do estado dos percursos **ia** e **af** o trabalho associado a esse percurso será diferente daquele considerado inicialmente.

Exemplo: Considere como um sistema o gás contido no cilindro mostrado na figura; o cilindro é dotado de um pistão sobre o qual foram colocados vários pequenos pesos. A pressão inicial é de 200 kPa e o volume inicial do gás é de $0,04 \text{ m}^3$. Um bico de Bunsen aceso é colocado embaixo do cilindro até que o volume do gás aumente para $0,1 \text{ m}^3$, enquanto a pressão permanece constante. Calcule o trabalho realizado pelo sistema durante esse processo.



$$P = 200 \text{ kN/m}^2 ; V_i = 0,04 \text{ m}^3 ; V_f = 0,1 \text{ m}^3$$

$$w = \int_i^f p dv = p \int_i^f dv = p(v_f - v_i) = 200 \text{ k}(0,1 - 0,004) = 12 \text{ kJ}.$$

2.2. Calor

Quando uma certa quantidade de calor é transmitida para um corpo, na maioria dos casos a sua temperatura cresce. A quantidade de calor necessária para aumentar de um certo valor a temperatura de uma substância, depende da quantidade dessa substância, e varia de acordo com a substância. Se foi necessário 3min para ferver 1litro de água numa certa chama, serão necessários 6min para ferver 2litros de água na mesma chama.

Se no entanto formos aquecer 1litro azeite na mesma chama, será necessário um tempo maior que 3min. A propriedade física que define a quantidade de calor **Q** necessária para aquecer determinado material de ΔT é chamada capacidade térmica, e é definida como:

$$Q = C . \Delta T$$

Desse modo poderemos calcular a capacidade térmica de 1litro de água, de 2litros de água, de 1litro azeite e etc. A capacidade térmica é uma característica de uma amostra de determinada substância. Outra amostra diferente dessa mesma substância terá uma capacidade térmica diferente.

Fica claro que são limitadas as vantagens dessa propriedade física, a capacidade térmica. Mas à partir dela, definiu-se uma outra propriedade chamada calor específico c , que é uma característica de cada substância.

A propriedade física que define a quantidade de calor **Q** necessária para aquecer de ΔT uma massa m de determinado material é chamada calor específico, e é definida como:

$$Q = m . c . \Delta T$$

Como foi mencionado, calor é uma forma de energia e portanto a unidade de calor é a mesma de energia. Mas por razões históricas, ainda se usa como unidade de calor a caloria ou cal, que se define como a quantidade de calor necessária para aquecer 1g de água de $14,5^\circ\text{C}$ até $15,5^\circ\text{C}$. Desse modo, a unidade do calor específico será $\text{cal/g}^\circ\text{C}$.

Como foi mencionado, uma substância altera a sua temperatura quando ela troca calor com a sua vizinhança. No entanto, existem algumas situações onde não acontece exatamente desse modo; um corpo pode absorver certa quantidade de calor e no entanto manter-se com a sua temperatura constante. Quando isso

acontece, diz-se que o corpo passou por uma mudança de fase. Existe um exemplo corriqueiro: uma pedra de gelo numa temperatura de 0°C é retirada do congelado e colocada dentro de um copo na temperatura ambiente de 30°C . Esse material irá absorver calor da sua vizinhança e paulatinamente transformar-se-á em água a uma temperatura de 0°C .

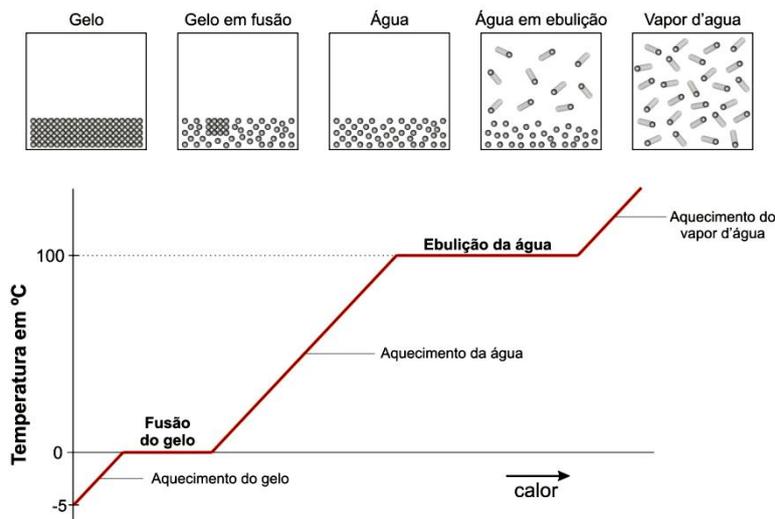
A propriedade física que define a quantidade de calor Q necessária para uma mudança de fase de uma massa m de determinada substância é chamada calor latente, e é definida como:

$$Q = m L$$

Quando estamos considerando a mudança do estado sólido para o estado líquido, chamamos de calor latente de fusão L_F , e quando estamos considerando a mudança do estado líquido para o estado gasoso, chamamos de calor latente de vaporização L_V . A unidade do calor latente é cal/g.

Para que um pedaço de gelo fundente (isto é, já a 0°C) tenha a sua temperatura elevada, ele deve passar para o estado líquido; durante o processo de fusão a temperatura da massa fundente não aumenta. Após todo sólido fundir, a temperatura da substância volta a aumentar² (Figura abaixo). À medida que a temperatura aumenta, a agitação térmica das moléculas da água também aumenta. Quando a temperatura atinge 100°C ocorre uma nova mudança de fase, com a água se transformando em vapor³. Quando uma massa de água líquida atinge 100°C (na pressão normal), ocorre a ebulição; isto é, formam-se bolhas de vapor d'água no interior do líquido. A partir desse instante a temperatura do líquido permanece constante até que se complete a vaporização. A quantidade de calor necessária para transformar uma unidade de massa de uma substância da fase líquida para a fase gasosa é chamada de **calor latente de vaporização**. Para a água, o calor latente de vaporização vale 540 cal/g , ou seja, são necessárias 540 calorias para vaporizar cada grama de água. Depois a água se transforma em vapor por ebulição, a temperatura volta a aumentar se continuar absorvendo energia.

Durante as transformações inversas, ou seja, a transformação do vapor em água e de água em gelo, a temperatura permanece constante enquanto a energia é retirada do sistema para que todas as moléculas entrem na nova fase. A temperatura diminui apenas quando a mudança de fase se completa.



Exemplo 1. Um pequeno aquecedor elétrico de imersão é usado para aquecer 100g de água para uma xícara de café instantâneo. O aquecedor está rotulado com “ 200Watts ”, o que significa que ele converte energia elétrica em energia térmica com essa taxa. Calcule o tempo necessário para levar toda essa água de 23°C para 100°C , ignorando quaisquer perdas.

$$\begin{aligned}
 m &= 100\text{g} & c &= 1\text{cal/g}\cdot^{\circ}\text{C} \\
 P &= 200\text{W} & T_i &= 23^{\circ}\text{C} \\
 & & T_f &= 100^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 100 \cdot 1 \cdot (100 - 23) = 7.700\text{cal}$$

ou seja:

$$Q = 32.232,2\text{ Joules}$$

Mas

$$P = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{Q}{P} = \frac{32.233,2\text{Joules}}{200\text{Watts}} = 161,1\text{s}$$

² Em um recipiente com gelo em cima de uma chama forte, a água ferve no fundo recipiente enquanto na parte superior ainda há gelo.

³ Estamos desprezando a evaporação. A evaporação pode acontecer em qualquer temperatura, mas por agora estamos desprezando esse processo de vaporização.

Exemplo 2. Que massa de vapor d'água a 100°C deve ser misturada com 150g de gelo no seu ponto de fusão, em um recipiente isolado termicamente, para produzir água líquida a 50°C ?

$$m_G = 150\text{g} \quad c = 1\text{cal/g}^{\circ}\text{C} \quad L_F = 79,5\text{cal/g} \quad L_V = 539\text{cal/g}$$

Solução:

$$T_1 = 0^{\circ}\text{C}; \quad T_2 = 50^{\circ}\text{C}; \quad T_3 = 100^{\circ}\text{C}$$

Como todo esse material está isolado, a quantidade de calor que esse sistema troca com a vizinhança é nulo. Se um material que tem calor específico c , com massa M , varia a sua temperatura de T_i até T_f ele absorveu de sua vizinhança uma quantidade de calor Q , dada por

$$Q = M \cdot c \cdot (T_f - T_i)$$

Se $Q < 0$ dizemos que ele cedeu calor para a vizinhança. Por outro lado se uma massa M de gelo se transforma em água ela absorveu calor $Q = M L_F$ da vizinhança, e se vapor d'água se transforma em líquido ele cedeu calor $M L_V$ para a vizinhança. Desse modo, temos que:

$$\Delta Q = 0$$

$$+ m_G L_F + m_G \cdot c \cdot (T_2 - T_1) - m L_V + m \cdot c \cdot (T_2 - T_3) = 0$$

Logo

$$m = \frac{m_G L_F + m_G c (T_2 - T_1)}{L_V + c (T_3 - T_2)}$$

ou seja:

$$m = 32,97\text{g}$$

Exemplo 3. Uma garrafa térmica isolada contém 130cm^3 de café quente, a uma temperatura de 80°C . Você insere um cubo de gelo de 12g no seu ponto de fusão para esfriar o café. De quantos graus o seu café esfriou quando o gelo se derreteu? Trate o café como se ele fosse água pura e despreze as transferências de energia para o ambiente.

$$\rho_A = 1\text{g/cm}^3,$$

Mas

$$m_A = \rho_A \cdot V_A$$

logo:

$$V_A = 130\text{cm}^3 \Rightarrow m_A = 130\text{g}$$

$$L_F = 79,5\text{cal/g}$$

$$m_A = 130\text{g}$$

$$m_G = 12\text{g}$$

$$T_A = 80^{\circ}\text{C}$$

$$T_G = 0^{\circ}\text{C}$$

Como o sistema está isolado, temos que

$$\Delta Q = 0$$

ou seja:

$$m_A \cdot c \cdot (T_F - T_A) + m_G L_F + m_G \cdot c \cdot (T_F - T_G) = 0$$

$$T_F = \frac{m_A c T_A + m_G c T_G - m_G L_F}{m_A c + m_G c} = 66,52^{\circ}\text{C}$$

Mas

$$\Delta T = T_A - T_F = 80^{\circ}\text{C} - 66,52^{\circ}\text{C}$$

ou seja:

$$\Delta T = 13,48^{\circ}\text{C}$$

Exercícios

1. Uma mesma quantidade de calor é fornecida a massas iguais de água e alumínio inicialmente a mesma temperatura. A temperatura final do corpo de alumínio é maior que a da água, pois o alumínio tem:

- a) maior calor específico. b) menor calor específico. c) menor calor latente.
d) maior densidade. e) menor densidade.

2. Considere as seguintes afirmações:

I. A temperatura está relacionada com energia cinética média das molécula.

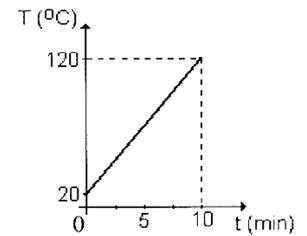
II. A capacidade térmica de um corpo representa a quantidade de energia na forma de calor que deve ser fornecida ao corpo, para que a temperatura desse corpo aumente de 1°C .

III. O calor específico de uma substância representa a quantidade de energia na forma de calor que deve ser fornecida à unidade de massa da substância, para que a temperatura dessa substância aumente de 1°C .

Está(ão) correta(s)

- a) apenas I. b) apenas I e II. c) apenas III.
d) apenas II e III. e) I, II e III.

3. O gráfico ao lado representa a temperatura de um corpo em função do tempo, ao ser aquecido por uma fonte que fornece calor a uma potência constante de 180 cal/min. Se a massa do corpo é 200 g, determine o seu calor específico.



4. No nordeste do Brasil, as condições de insolação favorecem o uso do fogão solar, cujo funcionamento é baseado na concentração de energia por meios de espelhos. A água absorve 2×10^4 calorias por minuto quando aquecida num determinado tipo de fogão solar. Determine o tempo necessário para aquecer 4 kg de água de 30°C a 80°C. Considere o calor específico da água igual a 1cal/g°C.

5. Determine a quantidade de calor necessária para transformar 50 g de água, a 20 °C, em vapor de água, a 140 °C.

Dados: $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal / g } ^\circ\text{C}$ $c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal / g } ^\circ\text{C}$ $L_{\text{vaporização}} = 540 \text{ cal / g}$

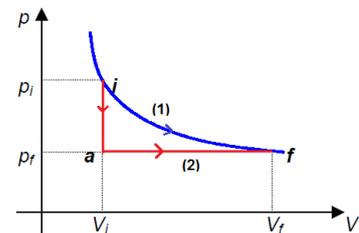
6. Para tomar um bom chimarrão, é necessário que água utilizada esteja à temperatura de 80°C. Numa garrafa térmica, são colocados 900g de água a 100°C. Desprezando as trocas de calor entre a água e a garrafa térmica, responda à seguinte questão e justifique sua resposta. Que massa de água, a 20°C, devemos colocar na garrafa para obter a temperatura ideal para o chimarrão?

7. (UFPEL) Um certo calorímetro contém 80 g de água à temperatura de 15°C. Adicionando à água do calorímetro 40 g de água a 50°C, observa-se que a temperatura do sistema, ao ser atingido o equilíbrio térmico, é de 25°C. Pode-se afirmar que a capacidade térmica do calorímetro é igual a:

1) B	6) E	3) 0,090 cal/g.°C	4) 10 min	5) 32000 cal	6) 300g	7) 20 cal/°C
------	------	-------------------	-----------	--------------	---------	--------------

2.3. Primeira Lei da Termodinâmica

Quando um sistema termodinâmico vai de um estado inicial i para um estado final f, ele pode fazer este “caminho” através de vários “percursos”. Na figura ao lado estão ilustrados dois “percursos”; diretamente ao longo da curva (1) ou ao passando pelo estado a (2). Em cada percurso o trabalho executado pelo sistema tem um resultado diferente. Por outro lado, a troca do sistema com a sua vizinhança também é diferente em cada um dos dois percursos.



Se tivéssemos um gás diatômico, a energia interna desse gás em determinado estado teria uma parte associada ao seu movimento (energia cinética de translação), outra parte associada a rotação de um átomo em torno do outro (energia cinética de rotação), outra parte associada à oscilação de um átomo em relação ao outro (energia potencial elástica), e outros tipos de energia, de acordo com o modelo usado para descrever a molécula e o gás a que ela pertence.

No caso, mais simples, de um gás ideal monoatômico, a energia interna depende apenas do movimento dos átomos. A diferença de energia interna entre os estados inicial e final $\Delta E_{\text{int}} = E_f - E_i$ é uma grandeza de grande importância na termodinâmica, porque independente do percurso usado para ir de um estado para o outro, teremos sempre que:

$$\Delta E_{\text{int}} = Q_{IF} - W_{IF} = Q_{IAF} - W_{IAF}$$

onde podemos definir a **Primeira Lei da Termodinâmica** como:

$$\Delta E_{\text{int}} = Q - W$$

A diferença entre a quantidade de calor **Q** e o trabalho **W** envolvidos em um percurso entre os estados inicial e final, depende apenas dos estados, e fornece o mesmo valor independente do percurso escolhido.

Regra de sinais:

- V aumenta ($V_2 > V_1$) → sistema realiza trabalho → $W > 0$
- V diminui ($V_2 < V_1$) → sistema recebe trabalho → $W < 0$
- V constante ($V_2 = V_1$) → sistema não troca trabalho → $W=0$
- T aumenta → U aumenta → $\Delta E_{\text{int}} > 0$
- T diminui → U diminui → $\Delta E_{\text{int}} < 0$
- T constante → U constante → $\Delta E_{\text{int}} = 0$
- Recebe calor → $Q > 0$
- Cede calor → $Q < 0$

2.4. Casos particulares da Primeira Lei da Termodinâmica

2.4.1. Processos adiabáticos

É um processo em que não existe troca de calor entre o sistema e a sua vizinhança, ou seja: o sistema está muito bem isolado termicamente. Na Natureza existem processos que podemos aproximar como adiabáticos. São aqueles que ocorrem tão rapidamente que o sistema chega ao seu estado final antes que possa trocar calos com a vizinhança. Num processo adiabático, $Q = 0$ e de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\Delta E_{Int} = - W$$

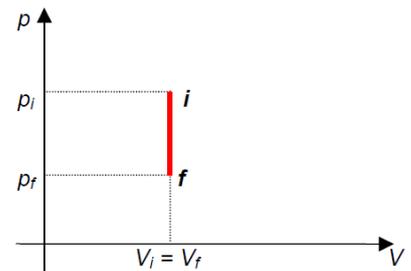
2.4.2. Processos a volume constante

São os chamados processos isométricos. Usando a definição de trabalho executado pelo sistema entre os estados inicial e final, encontramos que:

$$W_{if} = \int_i^f p dV = 0$$

porque não aconteceu variação de volume. Através da Primeira Lei da Termodinâmica encontramos que:

$$\Delta E_{Int} = Q$$



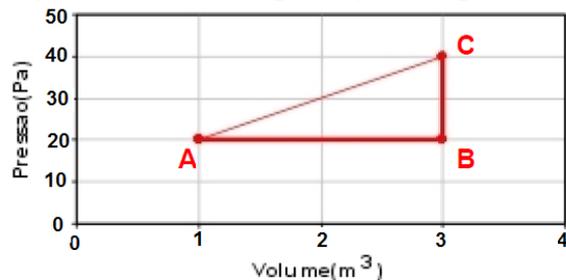
2.4.3. Processos cíclicos

Num processo cíclico o sistema passa por várias transformações, mas ao final do processo ele retorna ao estado inicial. Desse modo, temos que $E_i = E_f$ e portanto não existe variação de energia interna, logo:

$$Q = W$$

Exemplo 1: Um sistema termodinâmico é levado de um estado inicial A para um outro estado B e de volta ao estado A, passando pelo estado C, como é mostrado pela trajetória ABCA no diagrama p-V da figura à seguir.

	Q	W	ΔE_{INT}
A → B	+	+	+
B → C	+	0	+
C → A	-	-	-



a) Complete a tabela acima a preenchendo com + ou - para o sinal de cada grandeza termodinâmica associada com cada etapa do ciclo.

A primeira lei da termodinâmica diz que:

$$A \rightarrow B$$

mas como $\Delta E_{AB} > 0$,

$$B \rightarrow C$$

mas como $Q_{BC} > 0$,

$$C \rightarrow A$$

$$\Delta E = Q - W$$

$$W_{AB} = p_A (V_B - V_A) > 0$$

$$Q_{AB} > W_{AB} > 0$$

$$W_{BC} = 0$$

$$\Delta E_{BC} > 0$$

$$W_{CA} = \int_C^A p dV < 0$$

pois envolve uma compressão: $V_C > V_A$. Por outro lado:

e

$$\Delta E_{AB} = E_B - E_A > 0$$

ou seja:

$$\Delta E_{BC} = E_C - E_B > 0$$

$$E_C - E_A > 0$$

e portanto

$$\Delta E_{CA} = E_A - E_C < 0$$

Como $\Delta E_{CA} < 0$ e $W_{CA} < 0$, podemos usar a primeira lei da termodinâmica e concluir que $Q_{CA} < 0$.

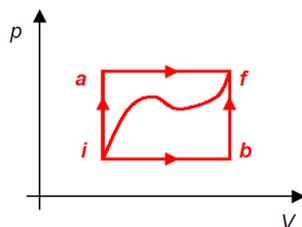
b) Calcule o valor numérico do trabalho realizado pelo sistema para o ciclo ABCA completo.

O trabalho é a área abaixo da curva no gráfico p versus V. Em um ciclo, o trabalho W será a área no interior da curva. Como já foi explicado $W_{CA} < 0$, e portanto o trabalho no ciclo será negativo.

$$W = \frac{1}{2}(\text{base}) \cdot (\text{altura}) = \frac{1}{2}(3 - 1)(40 - 20) \text{ m}^3 \text{ Pa}$$

$$W = 20 \text{ Joules}$$

Exemplo 2: Quando um sistema é levado do estado i para o estado f ao longo da trajetória iaf na figura a seguir, $Q = 50 \text{ cal}$ e $W = 20 \text{ cal}$. Ao longo da trajetória ibf, $Q = 36 \text{ cal}$.



a) Qual o valor de W ao longo da trajetória ibf?

$$iaf : \begin{cases} Q = 50 \text{ cal} \\ W = 20 \text{ cal} \end{cases}$$

e

$$ibf : \{Q = 36 \text{ cal}$$

Usando a primeira lei da termodinâmica, encontramos que:

$$\Delta E_{if} = Q_{iaf} - W_{iaf} = 30 \text{ cal}$$

Mas, por outro lado

$$\Delta E_{if} = Q_{ibf} - W_{ibf}$$

ou seja:

$$W_{ibf} = Q_{ibf} - \Delta E_{if} = 6 \text{ cal}$$

b) Se $W = -13 \text{ cal}$ para a trajetória de volta fi, qual será Q para essa trajetória?

$$\Delta E_{if} = E_f - E_i \quad \therefore \quad \Delta E_{fi} = E_i - E_f = -\Delta E_{if} = -30 \text{ cal}$$

logo:

$$Q_{fi} = \Delta E_{fi} + W_{fi} = -43 \text{ cal}$$

c) Considere $E_i = 10 \text{ cal}$, qual é o valor de E_f ?

$$\Delta E_{if} = E_f - E_i \quad \therefore \quad E_f = \Delta E_{if} + E_i = 30 \text{ cal} + 10 \text{ cal} = 40 \text{ cal}$$

d) Considere $E_b = 22 \text{ cal}$, qual o valor de Q para as trajetórias ib e bf ?

$$\Delta E_{ib} = E_b - E_i = 22 - 10 = 12cal$$

$$\Delta E_{bf} = E_f - E_b = 40 - 22 = 18cal$$

e

$$W_{ibf} = W_{ib} + W_{bf}$$

Mas $W_{bf} = 0$, logo

$$W_{ib} = W_{ibf} = 6cal$$

Portanto:

$$Q_{ib} = \Delta E_{ib} + W_{ib} = 12 + 6 = 18cal$$

$$Q_{bf} = \Delta E_{bf} + W_{bf} = 18 + 0 = 18cal$$

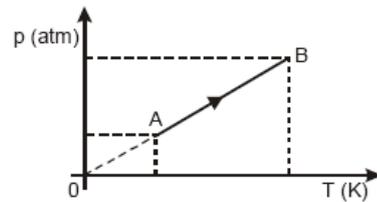
Exercícios

1. Um gás ideal evolui de um estado A para um estado B, de acordo com o gráfico abaixo: São feitas três afirmações a respeito desse gás, ao evoluir de A para B:

- I - O seu volume aumentou.
- II - Ele realizou trabalho.
- III - Ele recebeu calor.

É(são) verdadeira(s)

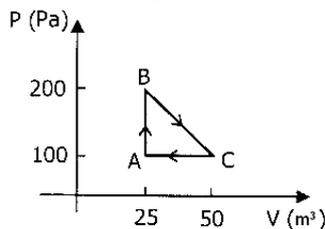
- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas III.
- d) apenas I e II.
- e) I, II e III.



2. Um gás, que se comporta como gás ideal, sofre expansão sem alteração de temperatura, quando recebe uma quantidade de calor $Q = 6$ J.

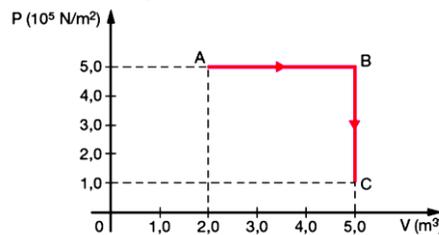
- a) Determine o valor da variação da energia interna do gás.
- b) Determine o valor do trabalho realizado pelo gás durante esse processo.

3. Uma amostra de gás ideal, quando submetida à pressão $P_A = 100$ Pa, ocupa o volume $V_A = 25$ m³. O ponto A do diagrama P x V abaixo representa esse estado. A partir do ponto A, a amostra sofre três transformações termodinâmicas e completa o ciclo que aparece no diagrama.



Determine o trabalho líquido realizado pelo gás no ciclo completo. $1,25 \times 10^3$ J

4. Um gás ideal sofre a transformação $A \rightarrow B \rightarrow C$ indicada no diagrama. Determine o trabalho realizado pelo gás nessa transformação.



$$1,5 \cdot 10^6$$

VI. Mecanismos de transferência de Calor

1 – Aplicação Tecnológica: Trocadores de Calor

Trocador de calor é o dispositivo usado para realizar o processo de troca térmica entre um sistema e sua vizinhança quando se encontram a temperaturas diferentes. Os trocadores de calor desempenham papel importante nas diversas áreas do conhecimento, na pesquisa científica e nas aplicações tecnológicas.

Na indústria são usados para aquecer ou resfriar fluidos para usos diversos. São encontrados sob a forma de torres de refrigeração, caldeiras, condensadores, evaporadores e leitos fluidizados. Dispositivos de conforto ambiental e conservação de alimentos, como condicionadores de ar, aquecedores de água domésticos e frigoríficos se baseiam fundamentalmente em trocadores de calor. A produção de bebidas destiladas utiliza essa tecnologia como nos alambiques, por exemplo.

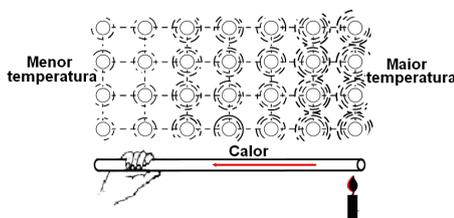
A manutenção da temperatura adequada ao funcionamento dos motores de automóveis é conseguida através de radiadores; e nos processadores de microcomputadores é mantida por um cooler. Podemos imaginar uma infinidade de aplicações para esse dispositivo, pois a transferência otimizada e a conservação de energia sob a forma de calor é um desafio constante.



2- Condução térmica

A figura abaixo mostra uma pessoa segurando uma das extremidades de uma barra metálica enquanto a outra está em contato com uma chama. Ele não conseguirá segurar o metal por muito tempo, pois a energia, na forma de calor, transfere-se de uma extremidade para outra da barra, aquecendo a mão. Dizemos que a energia transferiu-se por condução.

Os átomos ou moléculas da extremidade aquecida pela chama adquirem maior energia de agitação (energia cinética). Parte dessa energia é transferida para as partículas da região vizinha a essa extremidade, então a temperatura da região também aumenta. Esse processo continua ao longo da barra e, após certo tempo, a pessoa que segura a outra extremidade perceberá uma elevação da temperatura nesse local. A transmissão de calor continuará enquanto existir uma diferença de temperatura entre as duas extremidades.



Nesse processo a energia é transportada de partícula para partícula através do aumento da vibração, sem que nenhuma delas sofra translação ao longo do corpo. Podemos, então, definir:

Condução térmica é um processo de transporte de energia sem transporte de matéria, que necessita de um meio e ocorre de maneira mais eficiente nos materiais sólidos.

Dependendo da constituição atômica de um material, a agitação térmica poderá ser transmitida de uma partícula para outra com maior ou menor facilidade, fazendo com que o material seja bom ou mau condutor de energia na forma de calor. Os corpos mais densos, ou seja, com maior número de partículas, sobretudo partículas livres que possam ser portadoras de energia cinética, são bons condutores de calor. Já os líquidos, os vapores e os gases, por possuírem, em geral, menor densidade, não favorecem a transmissão de energia por condução. Assim os metais, por exemplo, são bons condutores de energia na forma de calor, enquanto que outras substâncias como plástico, vidro, madeira, algodão, lã, gelo, ar, etc., são isolantes térmicos, isto é, conduzem mal a energia na forma de calor.

3- Comentários importantes:

1º) As panelas usadas em uma cozinha devem ser feitas de metal para que a energia térmica se propague rapidamente. Mas seus cabos geralmente são feitos de madeira ou de plástico, maus condutores de calor, a fim de dificultar a chegada do calor até a mão de quem segura o utensílio.

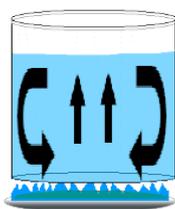
2º) Quando recipientes de vidro são aquecidos em laboratório, colocam-se telas metálicas sob eles. Por conduzirem bem a energia térmica, elas a distribuem bem por toda a base do recipiente e evitam que a chama

entre em contato direto com o vidro. Sem a tela metálica, a energia térmica se concentraria em uma pequena superfície da base do recipiente de vidro. Como o vidro é um mau condutor de energia térmica, haveria dilatações diferentes em cada parte da base, o que provavelmente provocaria a sua quebra.

3º) As panelas de aço inox com fundo triplo são feitas com duas camadas de aço inox, envolvendo uma camada de alumínio que por se melhor condutor que o aço inox distribui o calor da chama de maneira mais uniforme, facilitando o cozimento dos alimentos. Se o alumínio for substituído por cobre, o aquecimento ainda é mais homogêneo e rápido em toda sua superfície interna.

3- Convecção térmica

Para entendermos a propagação de calor por convecção, vamos analisar um recipiente com água colocado sobre uma chama. A camada de água do fundo do recipiente recebe calor da chama, por condução. Consequentemente, o volume dessa camada aumenta e, então, sua densidade diminui. A água aquecida, por ser menos densa, sobe através da massa do líquido ao mesmo tempo a água da camada superior, mais densa, desce por ação gravitacional. O processo continua, com circulação contínua de água mais quente para cima e água mais fria para baixo, chamadas *correntes de convecção*. A convecção pode ocorrer somente nos fluidos (líquidos, vapores e gases).



Podemos, então, definir:

Convecção térmica é um processo de transporte de energia, juntamente com o transporte de matéria, devido a uma diferença de densidade e à ação gravitacional.

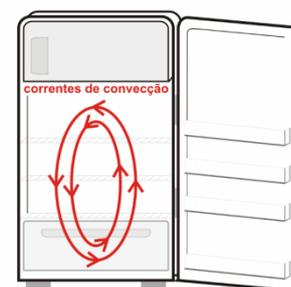
Questão 1- Por que a lã é muito usada nos dias frios?

Sempre que se quer um bom isolamento térmico para a condução, procuram-se materiais que tenham a propriedade de manter uma camada de ar estacionária no seu interior, impedindo desta forma também a transmissão do calor por convecção. A lã é muito usada, pois além de ser um excelente isolante térmico também armazena ar entre as suas fibras. É também para obter esse efeito que, em dias frios, os pássaros eriçam suas penas de modo a manter entre elas camadas de ar. Isso, também justifica o motivo pelo qual a serragem é melhor isolante que a madeira que lhe deu origem.



4- Comentários importantes:

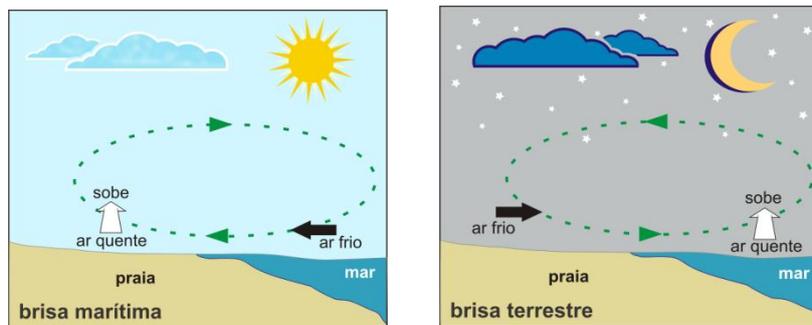
1º) Em um refrigerador ocorre a formação de correntes de convecção. Na parte superior as camadas de ar, em contato com o congelador, cedem energia térmica a ele por condução. O ar dessa região torna-se mais denso e desloca-se para a parte de baixo do refrigerador, enquanto que as camadas de ar dessa região, pelo fato de o ar ser menos denso, deslocam-se para cima. Essa circulação de ar, causada pela convecção, faz com que a temperatura seja aproximadamente a mesma em todos os pontos do refrigerador, com exceção da parte interna do congelador.



2º) O clima da Terra depende de muitos fatores, mas um dos importantes é a energia térmica dos oceanos. Durante o dia, os raios solares que incidem nos oceanos fazem aumentar a temperatura da água do mar. Como a água possui um calor específico elevado e a massa da água dos oceanos é muito grande, os oceanos levam muito tempo para aquecer e também muito tempo para esfriar. As substâncias de que são feitos os continentes, por outro lado, possuem um calor específico muito menor e apenas uma camada relativamente estreita da superfície é aquecida pelo sol. Assim, os continentes esquentam e esfriam muito mais rapidamente que os oceanos.

No litoral, durante o dia, o ar próximo à superfície da Terra se aquece mais rapidamente do que o ar próximo à superfície do mar. Assim, o ar que está sobre a areia sobe e, abre um espaço, que é rapidamente ocupado pelo ar mais frio, aquele que está sobre o mar. Forma-se assim uma corrente de ar que chamamos de brisa marítima, pois sopra do mar para a terra.

Depois que o Sol se põe, a água e a areia deixam de receber energia e começam a esfriar. Mas a areia esfria rapidamente, enquanto a água do mar demora a esfriar. O ar que está sobre o mar fica mais quente do que o ar que está sobre a areia. Mais aquecido, fica menos denso e sobe. Assim, o ar que está sobre a areia se desloca em direção ao mar: é a brisa terrestre.



3º) As correntes de convecção são importantes para a dispersão de poluentes atmosféricos. Nas grandes cidades, devido ao elevado número de indústrias e de veículos automotores em circulação, o ar atmosférico recebe grandes quantidades de poluentes. Os principais são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂) e o dióxido de enxofre (SO₂). Esses poluentes causam problemas de saúde, principalmente irritações nos olhos e nas vias respiratórias.

Como são liberados a uma temperatura maior do que a do ar atmosférico, os poluentes deveriam subir e se dispersar nas camadas superiores atmosféricas. Mas isso nem sempre acontece, dependendo do tipo de poluente, da concentração e também da época do ano.

4º) No inverno, em algumas cidades, é frequente o fenômeno da inversão térmica. Devido ao resfriamento da superfície da terra, as camadas de ar próximas à superfície ficam mais frias do que as camadas superiores e, mesmo durante o dia, o sol fraco de inverno não consegue reverter o processo. Isso provoca interrupção das correntes de convecção e os poluentes permanecem junto ao solo, não se dispersando na atmosfera.

5º) A água apresenta um comportamento anômalo em relação às outras substâncias. De 0°C a 4°C, ao invés de se dilatar, ela se contrai, o que provoca um aumento em sua densidade. A camada superior da água, em contato com o ambiente frio se resfria, o que a torna mais densa. Essa parte superior da água, por ser mais densa afunda, enquanto a água menos densa que se encontra no fundo, suba. Porém, quando a camada inferior atinge uma temperatura entre 4 °C, essas correntes de convecção cessam, pois essa camada inferior fica com maior densidade. Cessando as correntes de convecção, a água da parte superior fica em contato constante com o meio externo mais frio, o que provoca o seu congelamento. Como o gelo é um bom isolante térmico, ele diminui a perda de energia na forma de calor da água líquida, imediatamente abaixo dele, para o meio externo, o que faz com que a água permaneça na fase líquida e com temperatura entre 0°C e 4°C.

5- Irradiação térmica

Como chega até nós a energia emitida pelo Sol? É evidente que não há de ser por condução ou convecção, pois entre ele e a Terra não existe meio material para que isso ocorra. A energia emitida pelo sol chega até nós através de ondas eletromagnéticas.

O processo de transmissão de energia através de ondas eletromagnéticas (radiações infravermelhas), chamadas ondas de calor ou calor radiante, é a *irradiação térmica*. Enquanto a condução e a convecção somente ocorrem em meios materiais, a irradiação acontece tanto em alguns meios materiais como no vácuo (ausência de matéria).

A energia transmitida pelas ondas eletromagnéticas, ao serem absorvidas por um corpo, aumentam sua energia interna, aquecendo-o. A energia radiante não aquece o meio em que se propaga. Ela só aquece quando é absorvida por ele.

A radiação térmica de um corpo depende da sua temperatura; quanto maior a temperatura, tanto mais ele irradia. De uma maneira geral, podemos dizer que, em maior ou menor grau, todos os corpos emitem energia radiante devido à sua temperatura. Podemos, então, definir:



Irradiação térmica é o processo de transferência de calor através de ondas eletromagnéticas, chamadas ondas de calor ou calor radiante.

A taxa P com que um objeto emite radiação depende da área A da superfície deste objeto e da temperatura T dessa área em Kelvin, e é dada por:

$$P = \sigma \epsilon A T^4$$

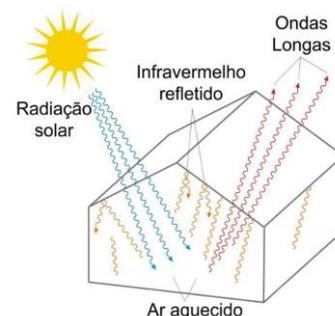
Nesta equação $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$ é chamada a constante de Stefan-Boltzmann. E a grandeza ϵ é a emissividade da superfície do objeto que vale entre 0 e 1 dependendo da composição da superfície.

OBS 1. Estufas

Estufas são recintos fechados com paredes e teto de vidro (ou plástico transparente), utilizadas principalmente em países de inverno rigorosos para cultivar verduras, legumes e flores.

O vidro é transparente à energia radiante luminosa que chega do sol e é opaco a ondas na faixa do infravermelho.

As radiações infravermelhas se constituem na realidade de uma gama de ondas de diversos comprimentos; aquelas que possuem maior comprimento não conseguem passar pelo vidro, mas as de menor comprimento passam, juntamente com a luz visível e outras radiações. Parte dessa energia é absorvida pelas plantas que estão no interior da estufa. Essas plantas se aquecem e emitem parte da energia absorvida em forma de infravermelho, só que agora com comprimentos de onda maiores do que a radiação que ingressou na estufa. Essa reemissão infravermelha não consegue passar pelo vidro e a energia fica retida no interior da estufa, fazendo com que a temperatura permaneça relativamente estável.

**OBS 2. Garrafa térmica**

Também conhecida como *vaso de Dewar*, a garrafa térmica é um dispositivo cuja finalidade principal é manter praticamente constante, pelo maior intervalo de tempo possível, a temperatura do seu conteúdo.

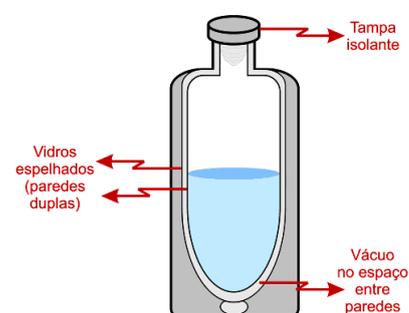
Para tanto, as paredes desse sistema são praticamente *adiabáticas*, isto é, reduzem consideravelmente as trocas de calor entre o seu conteúdo e o meio externo.

A função de uma garrafa térmica é dificultar as trocas de calor de seu conteúdo com o ambiente externo. Dessa forma é construída de modo a evitar, tanto quanto possível, a condução, a convecção e a radiação. Isso é feito da seguinte maneira:

- as paredes internas são feitas de vidro que, por ser mau condutor, atenua as trocas de calor por condução;
- as paredes internas são, ainda, duplas e separadas por uma região de vácuo, cuja função é tentar evitar a condução e a convecção do calor que passa pelas paredes de vidro;
- o vidro de que são feitas as paredes internas da garrafa é espelhado para que o calor radiante seja refletido, atenuando, dessa forma, as trocas por irradiação;
- a tampa isolante dificulta também a condução.

Para evitar possíveis trocas de calor por convecção, basta manter a garrafa fechada. Dessa forma, as massas fluidas internas não conseguem sair do sistema.

É evidente que não existe isolamento térmico perfeito; assim, apesar dos cuidados citados, após um certo tempo o conteúdo da garrafa térmica acaba atingindo o equilíbrio térmico com o meio ambiente.

**Exercícios**

1. Para que dois corpos possam trocar calor é necessário que:

- I – estejam a diferentes temperaturas.
- II – tenham massas diferentes.
- III – exista um meio condutor de calor entre eles.

Quais são as afirmações corretas?

- a) Apenas I. b) Apenas II. c) Apenas I e II. d) Apenas I e III. e) I, II e III.

2. Numa noite de inverno, o dormitório de Serginho apresentava uma temperatura ambiente de 10 °C. Para não sentir frio durante a madrugada, ele esticou sobre a cama três cobertores de lã bem espessos e aguardou alguns minutos. Em seguida, deitou-se e percebeu que a cama continuava muito fria. Após um certo tempo na cama, bem coberto, sentiu que o “frio passou” e que a cama estava quente. Tal fato explica-se, pois:

- a) o frio não existe e a sensação de Serginho era apenas psicológica.
- b) os cobertores não são aquecedores, mas isolantes térmicos. Depois de Serginho deitar-se, seu corpo aqueceu a cama.
- c) a cama provavelmente não tinha lençóis de lã e, então, o calor produzido pelos cobertores foi perdido para o ambiente. Quando Serginho se deitou, interrompeu esse processo.
- d) os cobertores de lã provavelmente eram de cor clara e, por isso, demoraram muito para aquecer a cama. Após Serginho ter-se deitado, foi necessário mais algum tempo para que a cama ficasse quente.

e) a lã utilizada para a confecção dos cobertores é um aquecedor natural muito lento e a temperatura de Serginho, de aproximadamente 37 °C, não era suficiente para aquecer a cama.

3. Selecione a alternativa que supre as lacunas nas afirmações seguintes:

I – Nas proximidades de um forno muito aquecido, o calor chega até nós principalmente por.....

II – O calor do sol chega até nós por.....

III – O aquecimento da água em uma chaleira, colocada sobre uma chama, ocorre principalmente por.....

a) convecção; convecção; convecção. b) convecção; condução; condução.

c) condução; radiação; convecção. d) radiação; convecção; condução.

e) radiação; radiação; convecção.

4. O congelador é colocado na parte superior aos refrigeradores, pois o ar se resfria nas proximidades dele, _____ a densidade e desce. O ar quente que está na parte de baixo, por ser _____ sobe e resfria-se nas proximidades do congelador. Nesse caso, o processo de transferência de energia na forma de calor recebe o nome de _____.

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

a) aumenta - mais denso – convecção

b) diminui - mais denso - condução

c) aumenta - menos denso – condução

d) diminui - menos denso - irradiação

e) aumenta - menos denso - convecção

5. É comum encontrarmos, nos estádios de futebol ou nas praias, vendedores carregando caixas de isopor contendo latinhas com bebidas geladas. Para que elas permaneçam geladas por mais tempo, deve-se colocar:

a) somente as latinhas com bebida no isopor.

b) gelo sob as latinhas com bebida.

c) as latinhas com bebida em água à temperatura de 0°C.

d) gelo sobre as latinhas com bebida.

e) gelo ao lado das latinhas com bebida.

6. Uma pessoa, em São Paulo, envolve com um cobertor uma pedra de gelo, com a finalidade de retardar sua fusão. Esse procedimento

a) não é adequado, pois a pedra de gelo derreterá mais rapidamente do que se estivesse descoberta, uma vez que o cobertor vai aquecê-la.

b) não é adequado, pois, sendo o cobertor um bom condutor de calor, ele não impedirá que o calor atinja a pedra.

c) é adequado, pois o cobertor dificulta que o gelo troque calor com o meio ambiente por condução.

d) é adequado, pois, sendo o cobertor um bom condutor de calor, ele facilitará a troca de calor com o meio ambiente.

e) não é adequado, pois, o cobertor facilitará a troca de calor com o meio ambiente, por convecção.

7. Com relação à conservação e ao uso eficaz de uma geladeira, é **VERDADEIRO** afirmar que:

a) Deve-se retirar periodicamente o gelo do congelador porque, sendo este um mau condutor de calor, dificulta a absorção do calor dos alimentos.

b) É recomendável colocar toalhas plásticas nas prateleiras porque auxiliam na circulação do frio que deve ser absorvido pelos alimentos

c) Secar roupas atrás da geladeira não afeta o seu rendimento, apenas é perigoso por causa do risco de incêndio.

d) Se mantivermos a porta da geladeira aberta durante muito tempo, a temperatura ambiente na cozinha irá diminuir, por causa da saída do ar frio.

e) Para economizar energia deve-se concentrar os alimentos numa só prateleira a fim de impedir a circulação de calor no interior da geladeira.

8. O gaúcho adora um churrasco bem assado. Para isso, precisa de um bom braseiro e de uma carne gorda.

Levando em conta o que está escrito acima, podemos afirmar:

I – O calor do braseiro chega até a carne, principalmente por.....

II – O calor propaga-se através da carne por

Marque a alternativa que completa corretamente, e na ordem apresentada, as lacunas das afirmativas acima.

a) condução e convecção

b) irradiação e convecção

c) condução e irradiação

e) convecção e condução

d) irradiação e condução

9. Em uma sala que permaneceu fechada por vários dias, se tocamos objetos metálicos e objetos de madeira, sentimos os objetos metálicos mais frios do que os de madeira. Isso pode ser explicado porque

a) a temperatura dos objetos metálicos é inferior à dos móveis de madeira.

b) os objetos metálicos contém menos calor que os objetos de madeira.

- c) os objetos metálicos não emitem energia na forma de radiação térmica.
- d) os átomos presentes nos metais vibram menos do que os presentes na madeira.
- e) os metais são bons condutores de calor.

10. O ar condicionado é um equipamento que, no verão, possibilita manter, em locais fechados, a temperatura inferior à do ambiente externo. A quantidade de calor que flui através de uma parede que separa dois ambientes, mantidos em temperaturas diferentes, é tanto *menor* quanto *maior* for:

- a) a espessura da parede.
- b) a condutividade térmica do material da parede.
- c) a diferença de temperatura entre os dois ambientes.
- d) o intervalo de tempo de exposição.
- e) a área da parede.

1) A	2) B	3) E	4) E	5) D	6) C	7) A	8) D	9) E	10) A
------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

VII – MUDANÇA DE FASE (SUBSTÂNCIAS PURAS E CRISTALINAS)

1- Fases da matéria

Do ponto de vista macroscópico a matéria pode existir em três estados de agregação distintos (fases): sólido, líquido e gasoso. Em geral, dependendo das condições de temperatura e pressão, uma mesma substância pode se apresentar em qualquer uma das três fases. Na fase gasosa, as moléculas se movem livremente e a substância não apresenta forma nem volumes definidos. Na fase líquida, as moléculas ficam muito próximas umas das outras, porém podem mover-se com certa facilidade. A menor distância intermolecular faz com que as forças de coesão entre as moléculas do líquido sejam mais intensas que na fase gasosa. Como consequência, o líquido apresenta volume próprio e forma variável. Na fase sólida, as moléculas estão dispostas em um arranjo cristalino, onde cada molécula tem uma posição fixa em torno da qual pode apenas vibrar. Os sólidos têm forma e volume definidos.

Sob determinadas condições de temperatura e pressão, uma substância pode passar de uma fase para outra. Quando a substância, durante a mudança de fase, absorve energia na forma de calor, essa transformação é chamada *endotérmica* e quando cede energia na forma de calor, é chamada *exotérmica*.

Na Figura 43, estão indicadas as mudanças de fase mais comuns.

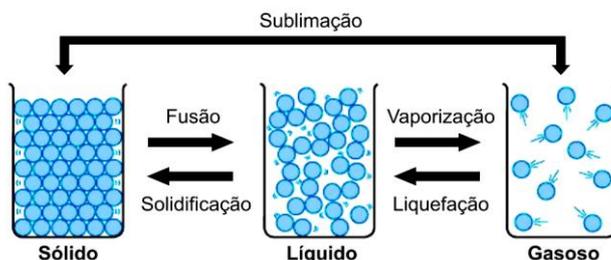


Tabela 1 – A tabela apresenta as principais características das mudanças de fase.

Transformação	Mudança de fase	Temperatura que se processa a mudança de fase	Observações	Transformação
Sólido ⇒ Líquido	Fusão	Temperatura de fusão (T_F)	$T_F = T_S$	Endotérmica
Líquido ⇒ Sólido	Solidificação	Temperatura de solidificação (T_S)	$T_S = T_F$	Exotérmica
Líquido ⇒ Gasoso	Vaporização	Temperatura de vaporização (T_V)	$T_V = T_C$	Endotérmica
Gasoso ⇒ Líquido	Condensação	Temperatura de condensação (T_C)	$T_C = T_V$	Exotérmica
Sólido ⇒ Gasoso	Sublimação	Temperatura de sublimação (T_S)	$T_S = T_{SI}$	Endotérmica
Gasoso ⇒ Sólido	Sublimação (inversa)	Temperatura de sublimação inversa (T_{SI})	$T_{SI} = T_S$	Exotérmica

2 – Solidificação e Fusão de uma substância pura e cristalina

a – A temperatura de fusão é igual à temperatura de solidificação

Se pudéssemos observar as moléculas de um cubo de gelo resfriado até próximo do *zero absoluto*, verificaríamos que elas teriam uma agitação muito pequena. À medida que a temperatura do gelo for aumentada, as suas moléculas vibram com maior intensidade. A energia cinética das moléculas aumenta à medida que o gelo

absorvesse energia. Quando a temperatura chega a 0°C , considerando a pressão normal, as moléculas vibram tão intensamente que vencem as forças que as prendem às moléculas vizinhas, começando a se movimentar umas entre as outras, ou seja, o gelo *funde*.

Quando a água é resfriada, diminui a agitação de suas moléculas, ou seja, diminuem a sua energia cinética. A partir do momento em que a temperatura atinge 0°C , as moléculas movimentam-se tão lentamente que podem se prender umas às outras para formar um sólido. Em outras palavras, a água *solidifica* gradualmente. Após a solidificação de toda a massa de água, as moléculas, que agora podem apenas vibrar, passam a mover-se mais lentamente à medida que a temperatura diminui.

b – Leis da fusão (solidificação) cristalina

1º lei – Sob determinada pressão, a fusão (solidificação) de uma substância pura e cristalina sempre se processa a mesma temperatura.

2º lei – Se a pressão permanecer constante durante a fusão (solidificação) cristalina, a temperatura permanecerá constante.

Enquanto a água está congelando ou o gelo fundindo, sob pressão normal, sua temperatura permanece no 0°C .

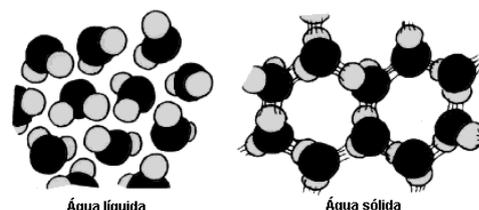
Todos os sólidos cristalinos se comportam como gelo. À medida que suas temperaturas são elevadas suas moléculas vibram com maior intensidade até que, a certa temperatura, a substância funde. *Toda substância cristalina funde-se e solidifica-se a uma temperatura definida.*

c – Os plásticos não têm temperaturas definidas de fusão

Os plásticos, vidro, borracha, cera e parafina amolecem gradualmente quando são aquecidos e podem ser moldados. Essas substâncias são chamadas amorfas. Nos plásticos, algumas moléculas são presas mais fortemente às suas vizinhas do que outras. Essas substâncias não têm ponto de fusão definidos e a fusão é chamada de **fusão pastosa**.

d – A água aumenta de volume na solidificação

As substâncias, em sua maioria, diminuem de volume na solidificação, mas a água aumenta. Se você coloca uma garrafa de água no congelador de modo que a água solidifique, seu volume aumenta cerca de dez por cento. Nos lugares muito frios, a água pode congelar no inverno, no radiador dos automóveis, e romper os canos. O mesmo pode acontecer nos encanamentos das casas. O *congelamento* da água faz a água dilatar e romper os canos. Além da água, o antimônio, o bismuto e o ferro também se dilatam durante a solidificação.



e – Consequências práticas da expansão do gelo e de outras substâncias

Se a água sofresse contração durante a solidificação, o gelo formado na superfície dos lagos, no inverno rigoroso, seria mais denso que a água e iria para o fundo. No verão seguinte o gelo, no fundo, ficaria isolado pela água acima dele e provavelmente não fundiria. Ano após ano, mais gelo se acumularia até que o lago todo se congelasse. Se o mesmo acontecesse nos mares, a maior parte da água se congelaria com perigo para a sobrevivência dos seres vivos.

f – Influência da pressão na temperatura de mudança de fusão (solidificação)

Quando uma substância cristalina aumenta de volume ao se fundir (como a grande maioria delas), uma maior pressão dificultará esse aumento de volume e exigirá uma maior temperatura para que se processe a fusão. Para essas substâncias, quanto maior for a pressão exercida sobre o sólido, maior será a sua temperatura de fusão. Se a substância cristalina diminuir de volume ao se fundir (como o caso da água), um aumento da pressão diminuirá a temperatura de fusão.

Aperte dois pedaços de gelo um contra o outro e solte-os então. Nas superfícies em contato o gelo começa a se fundir, devido ao aumento da pressão. Diminuindo a pressão, os dois pedaços se ligam pela solidificação da água entre eles.

O aumento da pressão produz uma redução na temperatura de fusão do gelo. A diminuição da temperatura de fusão é muito pequena. Um aumento de pressão de 1000 atmosferas, mais de uma tonelada por centímetro quadrado, faria baixar a temperatura de fusão de apenas $5,7^{\circ}\text{C}$.

Para mostrar a redução da temperatura de fusão pela pressão, podemos reproduzir a experiência de Tyndall (figura abaixo). Um bloco de gelo em uma temperatura abaixo de 0°C é atravessado por um fio metálico, tracionado por pesos colocados em suas extremidades e, apesar disso, o bloco continua inteiro. O que acontece é a fusão do gelo situado abaixo do fio numa temperatura menor que 0°C em virtude do aumento de pressão determinado pela ação do fio sobre o gelo. À medida que o fio vai atravessando o gelo, a água formada volta a solidificar (regelo) porque cessa o acréscimo de pressão produzido pelo fio.



3- Vaporização

É a passagem da fase líquida para a fase gasosa. A mudança de fase em sentido inverso é chamada condensação ou liquefação. Conforme a maneira de se processar, a vaporização pode ser classificada como evaporação, ebulição ou calefação. Na evaporação, a mudança de fase ocorre apenas na superfície do líquido mediante um processo lento, podendo ocorrer a qualquer temperatura. A ebulição é a vaporização turbulenta, com formação de bolhas de vapor em toda massa do líquido e a uma temperatura fixa que depende da pressão. Essa temperatura é chamada de temperatura de ebulição. A calefação é a vaporização que ocorre quando um líquido é derramado sobre uma superfície aquecida a uma temperatura muito maior que à temperatura de ebulição do líquido.

a – Por que os líquidos evaporam?

As moléculas de um líquido apresentam energias cinéticas diferentes e, portanto, mesmo para temperaturas inferiores à temperatura de ebulição, algumas moléculas têm energia suficiente para escapar da fase líquida e passar para a fase de vapor.

Ponha um pouco de água num recipiente e deixe-o exposto ao ambiente por um dia. Suas moléculas se movem desordenadamente, chocando-se umas com as outras. Como algumas das moléculas se movem mais rapidamente que as outras (maior energia cinética), podem então vencer a camada superficial da água e escapar. A água aos poucos evapora, isto é, transforma-se em vapor.

As moléculas do álcool (ou da gasolina) se atraem umas às outras com uma força menor que as da água, e sua camada superficial é mais fraca. Por isso o álcool (ou gasolina) evapora mais rapidamente. Os líquidos que evaporam rapidamente são chamados voláteis.

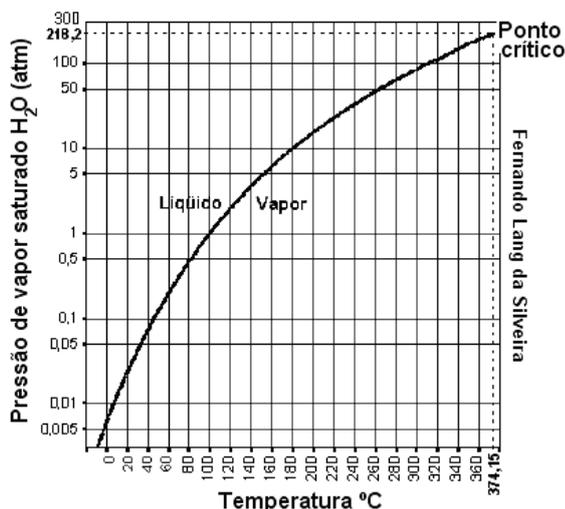
b – Pressão de vapor

Quando um líquido evapora de um recipiente aberto, algumas das moléculas do vapor colidem com outras ou com moléculas de ar, retornando a massa líquida (a maioria, porém se perde).

Se tamparmos o recipiente, o vapor se acumulará no espaço entre a superfície livre do líquido e a tampa. No início, o número de moléculas que evapora é maior do que o número de moléculas que condensam. Mas, pouco a pouco, à medida que aumenta o número de moléculas já vaporizadas, maior é o número de colisões contra a superfície livre do líquido, e num mesmo intervalo de tempo, maior é o número de moléculas que retornam para a fase líquida. O número de moléculas que voltam para o líquido (condensadas) aumentará até que a proporção das moléculas que evaporam seja igual à proporção das moléculas que condensam. Assim a quantidade de vapor será constante e nós dizemos que o vapor está saturado. *Um espaço está saturado de vapor quando ele contém a maior quantidade de vapor possível para aquela temperatura.*

Observe que o equilíbrio alcançado é dinâmico: o número de moléculas presente na fase de vapor não se modifica mais (enquanto a temperatura permanecer constante), mas isso não quer dizer que as moléculas em questão sejam sempre as mesmas.

A pressão máxima de vapor de um líquido só depende da natureza do líquido e da temperatura (lei fundamental da pressão de vapor).



Pressão de vapor saturado da água em função da temperatura.

c – Variação da pressão de vapor com a temperatura

Quando a temperatura de um líquido aumenta, suas moléculas se movem com maior velocidade (energia cinética). Elas então evaporam mais rapidamente e o vapor no recipiente fica mais denso. Ocorre um aumento no número de colisões das moléculas do vapor com as paredes do recipiente. *A pressão de vapor de um volume saturado aumenta com a temperatura.* O gráfico da figura 46 representa a pressão de vapor saturado da água em função da temperatura.

A 10°C a pressão de vapor da água no ar saturado com água é de cerca de 2 centímetros de mercúrio. A 80°C ela é de 35 centímetros de mercúrio e a 100°C é de 76 centímetros de mercúrio, isto é, uma atmosfera padrão.

d – Temperatura de ebulição

A ebulição é a vaporização turbulenta que se processa a uma temperatura determinada, em qualquer parte da massa do líquido, acompanhada de intensa formação de bolhas.

Quando colocamos um recipiente com água no fogo, a energia absorvida na forma de calor faz as moléculas de água moverem-se mais rapidamente, de modo que a temperatura da água aumenta. Após algum tempo a água começa a ferver, as bolhas de vapor formadas no seu interior sobem para a superfície e a temperatura permanece constante. Se aumentarmos o fogo, a água ferverá mais rapidamente, porém sua temperatura não *aumentará*. Após começar a ebulição, a temperatura permanece constante e por esse motivo não se deve aumentar o gás para cozinhar os alimentos mais rapidamente, isso é desperdício de gás. O tempo de cozimento dos alimentos depende da temperatura em que a água ferve e não da intensidade da ebulição.

A água em ebulição forma bolhas porque a pressão do vapor da água é igual à pressão na superfície do líquido. Se aquela pressão fosse menor, as bolhas não se formariam. A temperatura de ebulição de um líquido é a *temperatura para a qual a sua pressão máxima de vapor é igual à pressão sobre o líquido.*

Líquidos que se evaporam rapidamente à temperatura ambiente têm ponto de ebulição baixo. À pressão atmosférica normal (1 atm), a água ferve a 100°C , o álcool etílico a $78,5^{\circ}\text{C}$ e o hélio a -269°C , isto é, quase 4 graus acima do zero absoluto. A condição para a ebulição é que a pressão de vapor saturado seja igual à pressão onde acontece a ebulição.

e – Leis da ebulição (condensação)

1º Lei – Sob determinada pressão, a ebulição (condensação) de uma substância pura sempre se processa à mesma temperatura (temperatura de ebulição).

2º Lei – Se a pressão permanecer constante durante a ebulição (condensação), a temperatura também permanecerá constante.

f – Descrição do fenômeno da ebulição

Quando se aquece a água contida em um recipiente, vê-se a princípio se desprenderem finíssimas bolhas é o ar dissolvido que se desprende. Aumentando-se a temperatura aparecem, no fundo, bolhas maiores que sobem diminuindo de volume e desaparecendo antes de atingir a superfície, são **bolhas de vapor** que se resfriam encontrando camadas menos quentes e se condensam com um ruído especial chamado *canto do líquido* (Walker, p. 200, 2008). Quando toda massa de água está bastante quente, as bolhas formadas no fundo ou nas paredes do recipiente não se condensam mais e aumentam de volume ao elevar-se, porque a coluna líquida que elas suportam, diminui à medida que elas sobem e se desfazem na superfície.

g – Influência da pressão na temperatura de ebulição

À pressão normal, 1 atm, a água ferve a 100°C . Suponha que a pressão fique maior que uma atmosfera. A água então deve ser aquecida até uma temperatura superior a 100°C , antes que a sua pressão de vapor saturado iguale à pressão na superfície e a água ferva.

As panelas de pressão são fechadas com segurança, de modo que a pressão nelas pode chegar até 2 atm. A temperatura numa panela de pressão é de cerca de 120°C e os alimentos podem ser cozidos mais rapidamente que numa panela aberta. Diminuindo a pressão em um recipiente, ocorre uma diminuição na temperatura de ebulição da água. Na cidade de Campos de Jordão-SP, a 1600 metros acima do nível do mar, a pressão atmosférica é de 15 centímetros de mercúrio menor que ao nível do mar, e a água ferve a 95°C .

A influência da pressão sobre a temperatura de ebulição é muito maior do que sobre a temperatura de fusão, pois a variação de volume observada é bem maior. Só para comparar: um litro de água fornece pouco mais de um litro de gelo, mas cerca de 1 000 litros de vapor. Por isso, sob pressão de 16 atm, a água só entrará em ebulição a 200°C , mas para fazer o gelo fundir a -10°C precisamos exercer uma pressão maior que 1 000 atm.

A panela de pressão foi criada por Denis Papin (1647-1712), cientista francês, em 1679. Papin descobriu que os alimentos podiam ser cozidos mais rapidamente em temperaturas superiores a 100°C .

A água ferve normalmente a 100°C , ao nível do mar e num recipiente aberto. Qualquer que seja o tempo que a água demore a ferver, nessas condições, a temperatura durante a ebulição continuará constante. Se você mantiver alta a chama de gás depois que a água já estiver fervendo, estará apenas desperdiçando gás. O tempo de cozimento do alimento não se altera. O excesso de energia fornecido com a chama alta apenas fará a água

vaporizar mais rapidamente, ou seja, fará o caldo secar mais rápido. É possível, entretanto, manter a água líquida a temperaturas maiores que 100° C, aumentando a pressão. É o que fazem as panelas de pressão. Nessas panelas, em vez de ferver a 100° C, a água e o vapor atingem temperaturas mais altas, cerca de 120° C. Evidentemente os alimentos cozinham muito mais depressa. Como o vapor exerce uma pressão considerável, as panelas possuem válvulas de segurança que funcionam quando a pressão atingir um ponto crítico.

O aumento da pressão faz com que a água no interior da panela entre em ebulição a uma temperatura acima de 100° C. A pressão do vapor d'água, porém, aumenta até certo limite. Superado esse limite, ela se torna suficientemente elevada para que o vapor levante o pino da válvula central e comece a sair da panela. A partir desse momento a pressão do vapor se estabiliza porque é controlada pelo escapamento do vapor através da válvula. Em consequência, a temperatura no interior da panela também não aumenta mais.

A grande vantagem da panela de pressão é permitir o cozimento dos alimentos cerca de três vezes mais rápido que nas panelas comuns (tabela 3).

Tabela 3- Tempo médio de cozimento em minutos.

Alimento	Panela de pressão	Panela comum
Batata	8 min	25 min
Cenoura	9 min	27 min
Beterraba	20 min	60 min
Feijão preto	29 min	90 min
Bife enrolado	21 min	60 min

h – Frio produzido pela evaporação

A água em um recipiente aberto acabará evaporando, ou seja, secando se o ambiente em torno não estiver saturado de vapor d'água. A água líquida que desaparece transforma-se em vapor na atmosfera. A evaporação é uma mudança da fase líquida para a fase gasosa que ocorre na superfície do líquido e à temperatura ambiente.

A temperatura de qualquer substância está relacionada à energia cinética das moléculas. No líquido, as moléculas não têm, todas elas, a mesma energia cinética. Portanto, mesmo para temperaturas inferiores à de ebulição, algumas moléculas têm energia suficiente para escapar da fase líquida e passar para a fase de vapor. Essa análise permite entender por que, durante a evaporação, a temperatura do líquido residual vai diminuindo: as moléculas que permanecem na fase líquida são as de menor energia cinética. Logo, a energia cinética média das moléculas vai diminuindo e, conseqüentemente, a temperatura.

As pessoas transpiram e quanto maior o grau de atividade física, maior a transpiração. Por que as pessoas transpiram? A transpiração tem alguma utilidade?

Quando o suor é liberado pelas glândulas sudoríparas e chega à pele, a água do suor evapora, isto é, transforma-se em vapor d'água. Por isso tem que absorver do corpo uma quantidade de energia na forma de calor. Em outras palavras, a evaporação do suor na pele funciona como um mecanismo de refrigeração que impede que a temperatura do corpo suba demais.

Muitos animais de sangue quente têm sistemas deficientes de controle da temperatura. Os cachorros, por exemplo, só possuem glândulas sudoríparas entre os dedos e respiram rapidamente pela boca, de modo que a corrente de ar auxilie a evaporação da água de sua língua. Os porcos se refrescam revolvendo-se na lama.

Sapos, peixes, serpentes e outros animais "de sangue frio" não têm controle de temperatura. Suas temperaturas são bem próximas à temperatura ambiente.

Nos hospitais, os pacientes com febre alta às vezes recebem compressas embebidas em álcool. Como a água possui um calor latente de vaporização maior que o do álcool, absorve mais energia na forma de calor por grama que o álcool; entretanto, o álcool evapora muito mais depressa e, portanto, diminui mais rapidamente a temperatura do corpo.

4 – Leis da calefação

1º Lei: Durante a calefação o líquido não entra em contato com a superfície aquecida.

Durante a calefação o líquido se divide em esferóides que executam um movimento rápido e desordenado à proporção que diminuem de volume e emitem um chiado característico. A ausência de contato é explicada pela vaporização rápida e intensa das gotas do líquido do lado mais próximo da superfície aquecida. O colchão de vapor que assim se forma impede o contato das gotículas com essa superfície.

Para identificarmos se um ferro de passar roupa está quente, molhamos o dedo na saliva e, em seguida, tocamos o ferro. O dedo não queima porque o fenômeno de calefação impede o contato entre ele e o ferro.

2º Lei: A temperatura do líquido no interior dos esferóides é inferior à sua temperatura de ebulição.

5 – Sublimação

É a passagem direta de uma substância do estado sólido para o de vapor, ou vice-versa.

As bolas de naftalina colocadas em um armário para matar traças, vão aos poucos diminuindo de tamanho até desaparecer. O naftaleno (substância de que são formadas essas bolas) aos poucos *sublima*. Com o gelo

seco (dióxido de carbono congelado) usado nas carocinhas de sorvete, o fenômeno também é observado. Coloque uma moeda sobre um bloco de gelo seco. O vapor que escapa do gelo desloca a moeda fazendo-a saltitar irregularmente. O iodo, a cânfora e outros poucos sólidos sublimam como o naftaleno. As moléculas da maioria dos sólidos, no entanto, se atraem tão fortemente que não podem escapar facilmente.

A pressão máxima de vapor de um sólido (pressão de vapor saturado), tal como a de um líquido, só depende da natureza da substância e da temperatura, sendo independente da massa do sólido, do volume ocupado pelo vapor e da presença de outras substâncias gasosas. A pressão máxima de vapor de um sólido, assim como o de um líquido, aumenta com a temperatura.

EXERCÍCIOS

1. Neste estado físico da matéria, as substâncias apresentam volume bem determinado e forma bem definida, sendo resistentes a deformações. Seus átomos ou moléculas encontram-se relativamente próximos uns dos outros, ligados por intensas forças elétricas, que os mantêm em posições bem definidas. Quando os átomos estão distribuídos de maneira organizada, em estruturas que se repetem, as substâncias são chamadas cristais. Por outro lado, quando a estrutura é desorganizada, são denominadas amorfas. A que estado físico o texto se refere?

- a) Sólido b) Líquido c) Gasoso d) Vapor e) Plasma

2. Leia com atenção e analise as afirmativas abaixo relacionadas.

I – Você percebe que a água da panela em que você está cozinhando começou a *ferv*. Uma providência correta é baixar a chama do fogão, porque durante a ebulição a temperatura da água não se elevará mais até que todo o líquido tenha-se vaporizado e é desperdício fornecer mais calor, mantendo a chama alta.

II – O ponto de ebulição da água é sempre igual a 100°C , em qualquer ponto da superfície terrestre, não importando a latitude, porque a pressão atmosférica não exerce influência na sua temperatura de ebulição.

III – Uma panela de pressão pode representar economia, porque, quando fechada, a pressão no interior dela é maior do que a pressão atmosférica e a água atingirá temperaturas maiores do que 100°C , fazendo com que os alimentos cozinhem mais rapidamente.

Assinale a alternativa **CORRETA**:

- a) Somente a afirmativa III é verdadeira. b) Somente a afirmativa II é verdadeira.
c) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras. d) Todas as afirmativas são verdadeiras.
e) Todas as afirmativas são falsas.

3. A prendendo a cozinhar!

Para cozinhar um alimento, mergulhado em água, deve-se mantê-lo por alguns minutos em uma temperatura de 120°C .

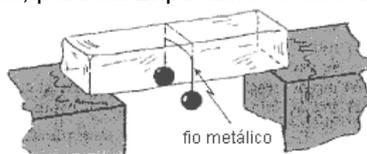
A alternativa **VERDADEIRA**, que representa o modo de conseguir este cozimento, é:

- a) Colocar o alimento e a água numa panela comum, levar ao fogo até a água atingir a temperatura de 120°C e esperar o tempo necessário.
b) Como a temperatura de ebulição da água é 100°C , não conseguiremos nunca cozinhar este alimento.
c) Levar a água ao fogo em uma panela comum até atingir 120°C , colocar o alimento e esperar o tempo necessário.
d) Colocar o alimento e a água numa panela de pressão fechada, levar ao fogo até a água atingir 120°C e esperar o tempo necessário.
e) Colocar o alimento e a água numa panela de barro, levar ao fogo até a água atingir a temperatura de 120°C e esperar o tempo necessário.

4. A água, num local de grande altitude, ferve:

- a) a 100°C , porque a temperatura de ebulição não depende da altitude e nem da pressão atmosférica.
b) numa temperatura acima de 100°C porque quanto maior a altitude maior é a temperatura de ebulição.
c) numa temperatura acima de 100°C porque quanto maior a pressão atmosférica maior é a temperatura de ebulição.
d) numa temperatura abaixo de 100°C porque quanto menor a pressão atmosférica menor é a temperatura de ebulição.
e) numa temperatura abaixo de 100°C porque quanto maior a pressão atmosférica menor é a temperatura de ebulição.

5. Colocando um arame fino sobre uma barra de gelo, preso a dois pesos iguais, conforme a figura, notamos que o arame atravessa a barra sem, no entanto, parti-la. Explicamos o fato assim:



- a) por ser suficiente fino, o arame passa através do gelo sem deslocar as moléculas deste.
- b) o arame parte o gelo, mas este tem a propriedade de soldar-se.
- c) pela pressão do arame, o gelo derrete; deixando de existir a pressão do arame, o gelo refaz-se.
- d) o arame atua como catalisador à sua passagem.
- e) não há explicação plausível para o fenômeno.

6. A tabela abaixo mostra algumas cidades com suas respectivas altitudes:

Cidade	Altitude(m)
A	3.000
B	1.000
C	0
D	-100

Nas condições ambientais, a menor temperatura de ebulição da água e a maior pressão atmosférica serão encontradas, respectivamente, nas cidades:

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

7. Três termômetros de mercúrio são colocados durante um mesmo intervalo de tempo sob exposição direta do Sol. O termômetro A é normal, B tem o bulbo pintado de preto e C tem o bulbo recoberto por uma gaze úmida. Com relação às temperaturas indicadas pelos termômetros, é **VERDADEIRO** afirmar:

- a) $T_A = T_B = T_C$ b) $T_C > T_A > T_B$ c) $T_B > T_C > T_A$ d) $T_A > T_B > T_C$ e) $T_B > T_A > T_C$

8. Em Florianópolis, a água congela a **0°C** e ferve a **100°C**, num recipiente aberto. Em São Joaquim, que está a **1360m** de altitude, a água, num recipiente aberto, congela _____ **0°C** e ferve _____ **100°C**.

A alternativa que completa o enunciado, em sequência, é:

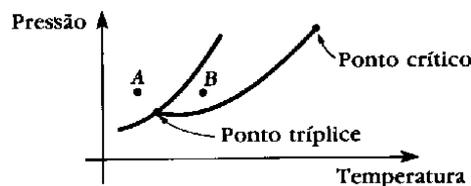
- a) acima de - abaixo de b) abaixo de - abaixo de c) acima de - acima de
- d) abaixo de - acima de e) também a - também a

9. Assinale a alternativa que completa corretamente o sentido das frases.

Costuma-se soprar sobre a superfície de um líquido quente para que ele esfrie. Esse procedimento está correto: a pressão dos vapores _____, acarretando que a velocidade de evaporação do líquido _____ e que a temperatura do líquido _____, pois uma parcela da energia foi consumida na evaporação.

- a) diminui - aumenta - diminui b) diminui - diminui - diminui
- c) diminui - aumenta - aumenta d) aumenta - aumenta - aumenta
- e) aumenta - diminui - diminui

O enunciado é para as questões 10 e 11: A figura representa o diagrama de fase de uma substância simples.



10. Se a substância simples for expandida isotermicamente a partir do estado B, ela sofrerá:

- a) fusão b) liquefação c) solidificação d) sublimação e) vaporização

11. Uma mudança do estado A para o estado B chama-se:

- a) ebulição b) fusão c) sublimação d) vaporização e) solidificação

12. (U.Moji das Cruzes-SP) Considere as seguintes proposições relativas à fusão:

- I - A temperatura em que se dá a fusão depende exclusivamente da natureza da substância e da pressão;
- II - Enquanto se processa a fusão, a temperatura do sistema se mantém constante, quaisquer que sejam as demais condições.
- III - Para a maioria das substâncias, a fusão se dá com aumento de volume.

Sobre essas proposições podemos afirmar que:

- a) todas as proposições são corretas. b) todas as proposições são incorretas.
- c) II e III são incorretas, mas I é correta. d) I e III são corretas, mas II é incorreta.
- e) só II é correta.

Respostas: 1) A 2) C 3) D 4) D 5) C 6) B 7) E 8) A 9) A 10) E 11) B 12) D