

Calorimetria

Conjunto de técnica e métodos dedicados à medição da quantidade de calor absorvido ou liberado num processo físico.

Conceito de calor: forma de energia em trânsito que passa espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Observação: Pode ocorrer transferência de energia térmica (calor) do corpo mais frio ao mais quente, porém, este processo não é espontâneo (caso da geladeira).

CALOR SENSÍVEL: Quantidade de energia térmica trocada como consequência de uma diferença de temperatura.

CAPACIDADE TERMICA (C): Quantidade de calor necessária para produzir uma variação de temperatura numa certa amostra.

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

$$\begin{cases} Q > 0 \rightarrow \text{calor absorvido pela amostra.} \\ Q < 0 \rightarrow \text{calor cedido pela amostra.} \end{cases}$$
$$[C] \xrightarrow{\text{S. I.}} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Outras unidades: $\frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{C}}$, $\frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{F}}$, $\frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C}}$, etc

CALOR ESPECÍFICO SENSÍVEL(c)

Quantidade de calor sensível necessária, por unidade de massa, para produzir uma variação de temperatura unitária em uma substância.

É a capacidade térmica por unidade de massa

$$c = \frac{C}{m}$$

$$[C] \xrightarrow{\text{S. I.}} \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$$

Outras unidades: $\frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}}$, $\frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{F}}$, $\frac{\text{cal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$, etc

substância	c(cal/g °C)
água	1,00
alumínio	0,22
gelo	0,50
Vapor d'água	0,48
ouro	0,032

O calor específico elevado da água possui um papel fundamental de reguladora da temperatura do planeta, uma vez que ela troca grandes quantidades de calor para sofrer pequenas variações de temperatura quando comparadas a outras substâncias.

CALORIA (CAL): Quantidade de calor que, ao ser recebido por 1 grama de água, provoca nessa água uma variação de temperatura de 1 °C (de 14,5 °C para 15,5 °C), sob pressão normal (1 atm).

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Nota:

$$\begin{aligned} 1 \text{ BTU} &= 1055 \text{ J} = 252 \text{ cal} \\ 1 \text{ BTU} &\sim 0,293 \text{ W.h (watt.hora)} \\ \text{BTU (unidade termica inglesa)} \end{aligned}$$

EQUAÇÃO FUNDAMENTAL DA CALORIMETRIA

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \rightarrow Q = C \cdot \Delta\theta$$

$$c = \frac{C}{m} \rightarrow C = m c \rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Q → quantidade de calor trocado (em J ou cal),

m → massa (em kg ou g),

c → calor específico (em J/kg.k ou cal/g.°C),

C → capacidade térmica (em J/k ou cal/°C),

$\Delta\theta$ → variação de temperatura (em k ou °C).

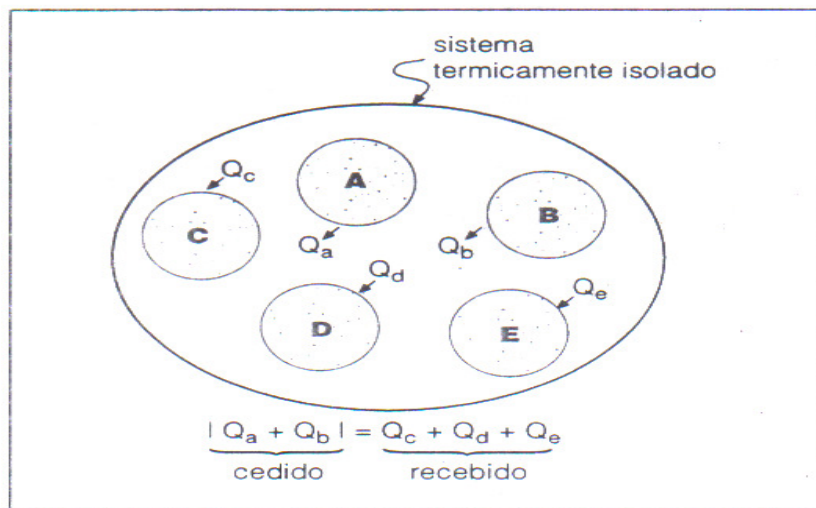
PRINCÍPIO GERAL DAS TROCAS DE CALOR (balanço energético)

Num sistema adiabático a soma das quantidades dos calores trocados entre corpos é igual a zero.

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

Observação: Sistema adiabático é aquele que não permite trocas de calor entre o meio interno e externo.

Exemplo:



Pela convenção adotada temos Q_a e Q_b negativos e Q_c , Q_d e Q_e positivos, de tal forma que:

$$Q_a + Q_b + Q_c + Q_d + Q_e = 0$$

As considerações vistas acima constituem o princípio da igualdade das quantidades de calor trocadas, que pode ser enunciado da seguinte maneira: “Quando dois ou mais corpos, em temperaturas diferentes, são postos em contato, constituindo um sistema termicamente isolado, eles trocam calor até atingir equilíbrio térmico”. Uma vez atingido o equilíbrio térmico, as temperaturas de todos são iguais e a soma das quantidades de calor cedidas por alguns é igual à soma das quantidades de calor recebidas pelos outros.

Calorímetro ideal: Recipiente que, além de adiabático, tem capacidade térmica desprezível, ou seja, não participa das trocas de calor.

Equivalente em água (E)

Eventualmente, um corpo pode ser substituído por outro que lhe seja termicamente equivalente, ou seja, que possua a mesma capacidade térmica que ele.

Quando esse ‘parâmetro’ de comparação é a água, fala-se em equivalente em água que é a massa de água numericamente igual à capacidade térmica do corpo.

$$E_{\text{água (G)}} = C_{\text{corpo (cal/}^{\circ}\text{C)}}$$

Poder de combustão ou calor de combustão (P)

Dado pela razão entre a quantidade de calor liberada na queima de um combustível e a massa “queimada” desse combustível.

$$P = Q_{\text{lb}} / m$$
, unidade usual cal/g

Potência (pot)

Dada pela razão entre a quantidade de calor fornecida por uma fonte e o tempo gasto para tal fornecimento.

$$P_{\text{ot}} = Q / \Delta t$$
, unidade SI (J/s) = (W) = (Watt)

Nota: Existem inúmeros fenômenos físicos onde se evidenciam a transformação de energia mecânica ou elétrica em calor.

MUDANÇAS DE FASE

Fases físicas

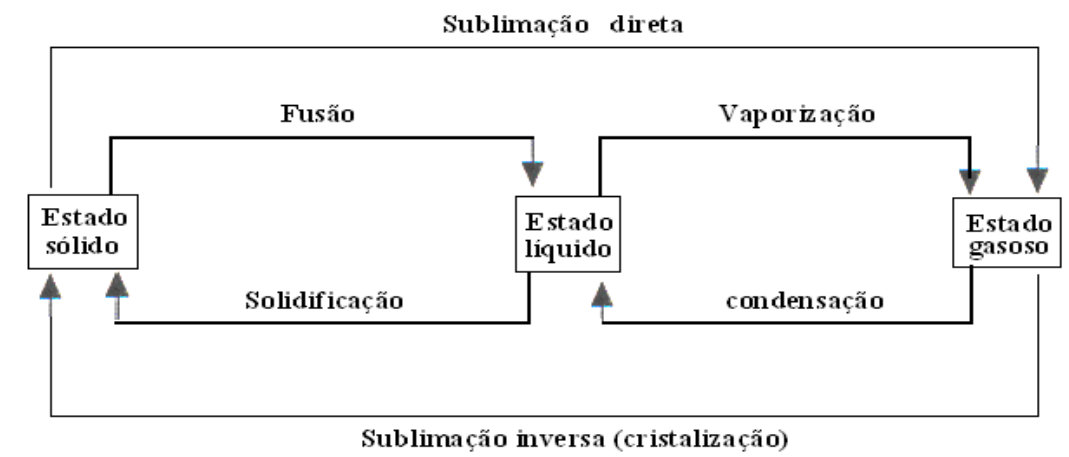
A matéria pode se apresentar, basicamente, em três estados de agregação (depende da temperatura e da pressão à qual está submetida): o sólido, o líquido e o gasoso.

No estado sólido (apresenta forma e volume próprios), as partículas apresentam-se distribuídas no corpo em um padrão bem organizado, ocupando posições na rede cristalina bem definida, em função da grande força de atração entre as partículas.

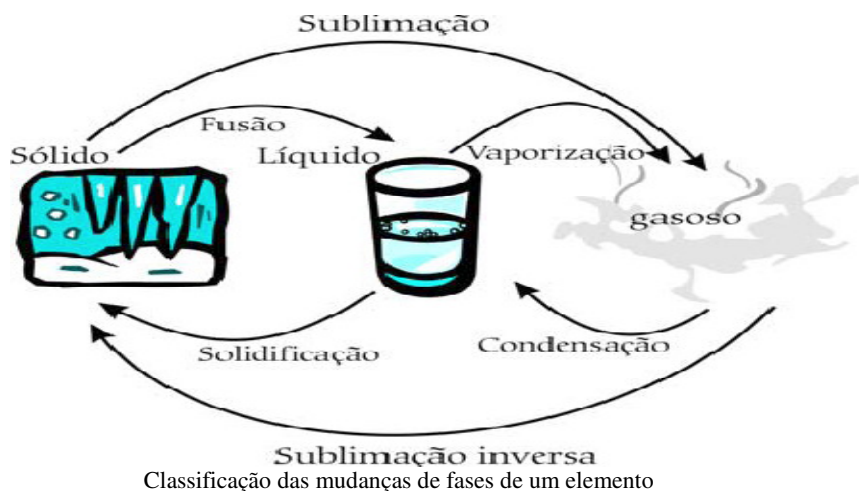
No estado líquido (apresenta volume próprios), as partículas não estão tão fortemente ligadas e podem trocar de posição.

No estado gasoso, as partículas têm uma total liberdade de movimentação. Por isso, os gases não conservam estáveis nem forma e nem volume.

Fases físicas e mudanças de fase



A fusão, a vaporização e a sublimação direta são mudanças de estado que ocorrem com absorção de calor, ou seja, são processos endotérmicos; a solidificação, a condensação (ou liquefação) e a sublimação inversa (ou cristalização) ocorrem com liberação de calor, ou seja, são processos exotérmicos.



CALOR LATENTE

QUANTIDADE DE CALOR LATENTE

A quantidade de calor a ser cedida ou retirada de um corpo com a finalidade única de fazê-lo mudar de fase é chamada de calor latente.

CALOR ESPECÍFICO LATENTE (L): Quantidade de energia térmica, por unidade de massa, necessária para produzir uma mudança de estado físico.

$$L = \frac{Q}{m}$$

→ Calor recebido ou cedido.
→ Massa que sofreu mudança de estado físico.

L → calor específico latente (em J/kg ou cal/g)

Constante que depende do material de que é feita a substância e da mudança de fase.

Exemplo: para a água.

→ fusão: $L_f = 80 \text{ cal/g}$

→ solidificação: -80 cal/g

→ vaporização: 540 cal/g

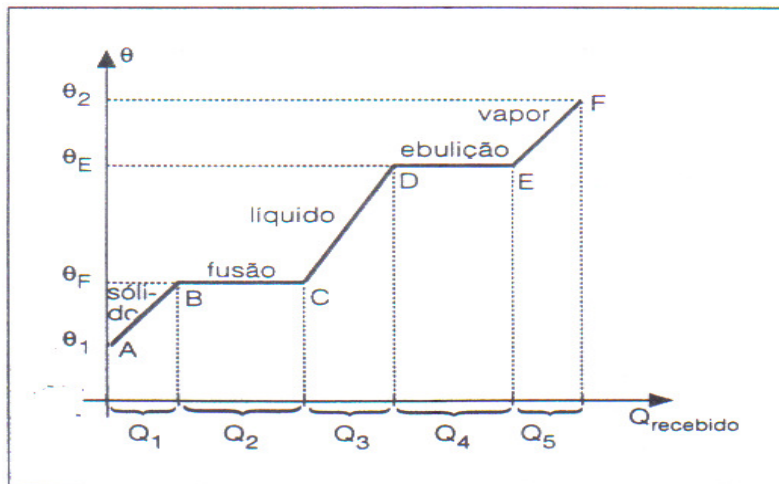
→ liquefação: -540 cal/g

Curvas de aquecimento e de resfriamento

São as curvas que se obtém, construindo num diagrama cartesiano o gráfico da temperatura de um corpo em função da quantidade de calor trocada (recebida ou cedida) por ele.

Quando aquecemos uma substância pura podemos verificar que a variação de temperatura e mudança de fase são processos bem definidos e não simultâneos.

Consideremos, por exemplo, um corpo de massa m de uma substância, cujas temperaturas de fusão e de ebulição são, respectivamente, θ_F e θ_E . Seja θ_1 ($\theta_1 < \theta_F$) a temperatura inicial deste corpo. Como $\theta_1 < \theta_F$, concluímos que inicialmente o corpo se encontra no estado sólido (ponto A). A partir daí, à medida que continua recebendo calor o corpo se funde e a sua temperatura se mantém constante (patamar BC).



Só depois de totalmente fundido (ponto C) é que o corpo (agora no estado líquido) vai se aquecer, permanecendo líquido até a temperatura de ebulição (ponto D). Durante a ebulição a temperatura se mantém constante (patamar DE) e só depois de completada a ebulição (ponto E) é que o vapor vai se aquecer (trecho EF) até θ_2 .

As quantidades de calor recebidas pelo corpo para o aquecimento podem ser assim calculadas:

$$Q_1 = mc_{\text{sólido}} (\theta_F - \theta_1)$$

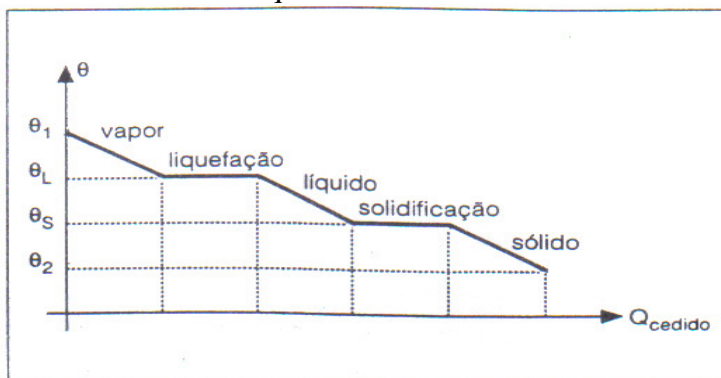
$$Q_2 = mL_F$$

$$Q_3 = mc_{\text{líquido}} (\theta_E - \theta_F)$$

$$Q_4 = mL_V$$

$$Q_5 = mc_{\text{vapor}} (\theta_2 - \theta_E)$$

A curva de resfriamento é obtida de maneira análoga, bastando considerar as transformações inversas daquelas que aparecem na curva de aquecimento.

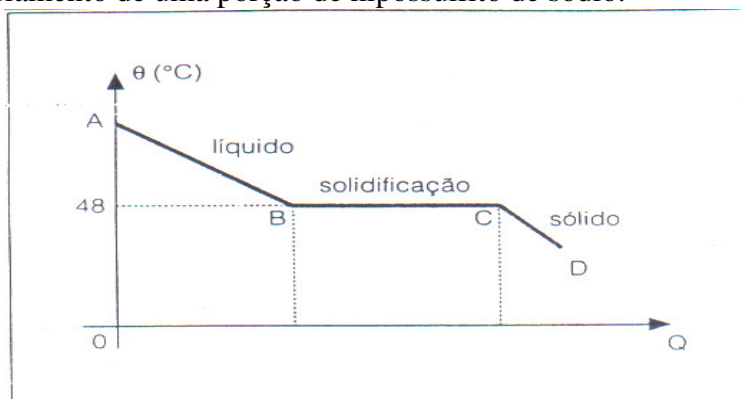


Sobrefusão (ou superfusão)

A sobrefusão é o fenômeno que consiste em uma substância encontrar-se no estado líquido numa temperatura abaixo da sua temperatura de solidificação.

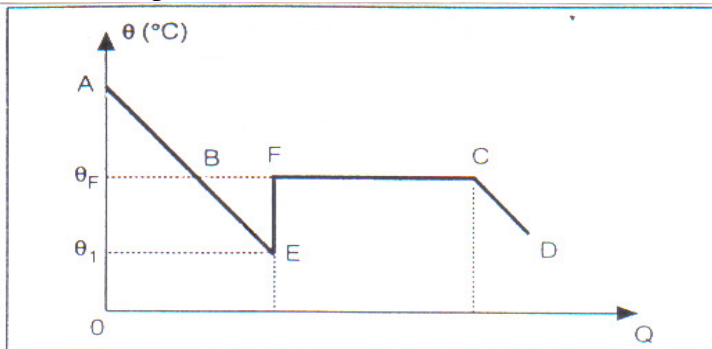
Para melhor entendimento, tomemos como exemplo o hipossulfito de sódio, que é uma substância para a qual a sobrefusão é muito comum.

Observe a curva de resfriamento de uma porção de hipossulfito de sódio.



A temperatura de fusão (ou de solidificação) do hipossulfito de sódio é 48°C. Porém, se resfriarmos lentamente, sem provocar agitação em sua massa, o hipossulfito de sódio atingirá temperatura bem abaixo de 48°C, permanecendo no estado líquido abaixo da temperatura de solidificação (48°C). Esse fato é chamado de sobre-fusão ou super-fusão.

A curva de resfriamento do hipossulfito de sódio, com sobre-fusão, toma o seguinte aspecto.



A sobre-fusão é um estado de equilíbrio muito instável, de tal forma que, se jogarmos no sistema líquido um cristal do sólido correspondente ou se agitarmos o sistema, parte do líquido se solidifica rapidamente – trecho EF – e o sistema volta (se aquece) à temperatura de solidificação – ponto F. A partir do ponto F o fenômeno da solidificação de desenrola normalmente, estando a partir do ponto C, todo o sistema no estado sólido.

Observemos que no diagrama o trecho AE corresponde ao resfriamento do líquido, sendo que no trecho BE o líquido está em sobre-fusão. Ao ser provocado o distúrbio no sistema há solidificação brusca de uma parcela m_s da massa total m . Esta solidificação liberta calor que fica no próprio sistema, provocando seu aquecimento e a volta à temperatura de solidificação.

Assim:

$$Q_{BF} = Q_{BE} + Q_{EF}$$

Como a solidificação parcial e o correspondente aquecimento (trecho EF) são muito rápidos, esse processo é adiabático e $Q_{EF} = 0$.

Portanto: $Q_{BF} = Q_{BE}$

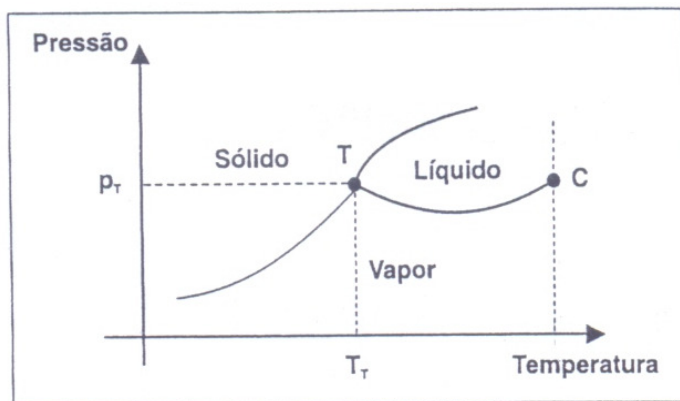
$$m_s L_s = m c_{liq} (\theta_F - \theta_1)$$

LEITURA: Como a física ajuda na cozinha

Verificamos que o leite ferve e transborda, e a água ferve e não derrama. Por que isso acontece? Na água, as bolhas arrebentam devido a facilidade com que elas “atravessam” superfície do liquido, fazendo os vapores de água escapem para o ar.

No leite, as bolhas chegam à superfície e não conseguem arrebentar a camada superficial, que é muito resistente (devido ao acúmulo de gorduras e proteínas), e, já que não conseguem transpô-la, empurram-na para cima, derramando-a em forma de espuma.

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA MUDANÇA DE ESTADO FÍSICO
SUBSTANCIAS QUE SE DILATAM NA FUSÃO (A MAIORIA DAS SUBSTANCIAS)

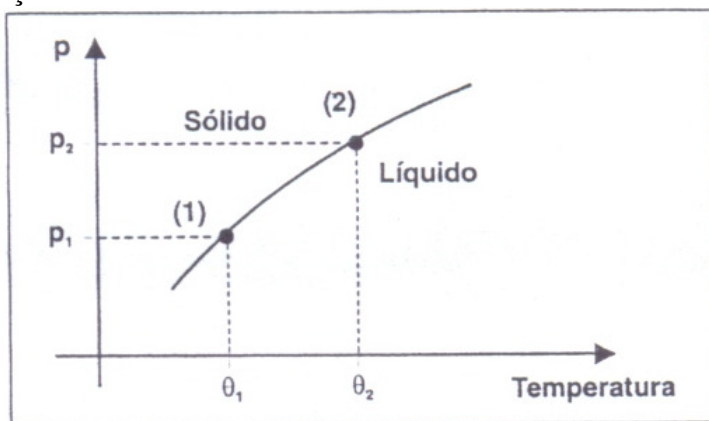


T → **Ponto Triplo (T)**: pressão e temperatura, para as quais, co-existem os três estados.

Para que uma substância pura sofra sublimação, é necessário que ela esteja sob uma pressão inferior à do ponto triplo. Nessas condições, ocorre o seguinte: aquecendo-se o sólido sob pressão constante, ele passa diretamente para a fase de vapor, resfriando-se o vapor, ele passa diretamente à fase sólida. Como exemplo, podemos citar a naftalina e o gelo seco (muito utilizado na conservação de sorvetes e em shows musicais).

C → **Ponto Crítico (C)**: pressão e temperatura, acima das quais, não é possível liquefazer um vapor através de compressão isotérmica. Acima desse ponto a substância deve ser chamada de **gás**.

Repare na curva: solidificação ↔ fusão



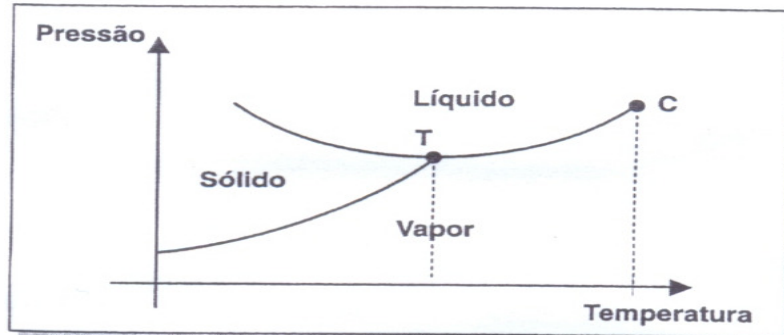
Note que, aumentando-se a pressão, a fusão (ou solidificação no caso inverso) ocorrerá a uma temperatura mais elevada.

A fusão de uma substância é um processo endotérmico, embora não seja necessário o recebimento de calor para que um corpo no estado sólido se funda. Pois se pode fundir um corpo apenas variando-se a pressão exercida sobre ele. As partículas de um corpo que recebe calor se tornam cada vez mais agitadas e, por isso, é natural que passem a ocupar um volume maior; se aumenta a pressão exercida sobre um corpo no momento em que ele atinge um par de valores de pressão e temperatura própria para sua fusão, isso faz com que as partículas que o constituem “sintam” uma dificuldade maior para se desligarem de um estado de grande coesão e se tornarem mais livres umas das outras; daí, um aumento de pressão dificulta a fusão, ou seja, implica um aumento da temperatura de fusão.

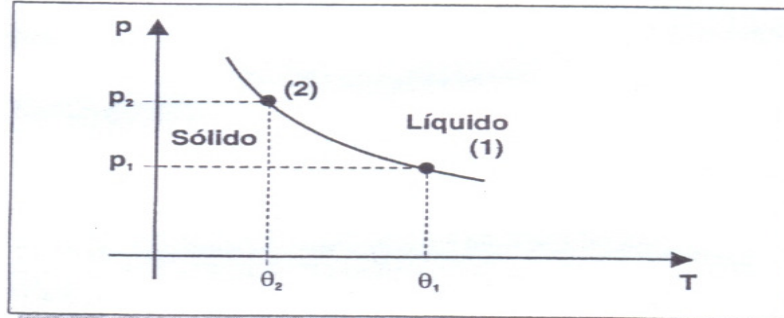
EVAPORAÇÃO: Vejamos algumas situações práticas

1. As roupas, quando estendidas em um varal, secam por evaporação. Os dias secos e com bastante vento favorecem a evaporação, e a roupa seca mais rapidamente do que nos dias úmidos e de pouco vento.
2. Dentro de uma moringa de barro, a água fica mais fria do que no ambiente externo, pois o barro é poroso, permitindo que as moléculas de água mais energéticas escapem através de seus poros. As moléculas que permanecem dentro da moringa possuem energia cinética menor e, portanto, menor temperatura.
3. Quando abrimos um vidro contendo perfume, éter ou acetona, pode sentir o cheiro do líquido através de seu vapor, que escapa facilmente para fora do recipiente. Esses líquidos que escapam facilmente são chamados de voláteis.
4. Sempre que um vapor estiver em presença de seu líquido, dentro de um recipiente fechado, ele estará exercendo pressão de saturação. Quando se abre o recipiente, o vapor escapa e o líquido se vaporiza, na tendência natural de se manter a pressão de saturação. Uma aplicação prática dessa situação ocorre com os botijões e com os isqueiros a gás (na verdade deveríamos dizer “a vapor”). Quando abrimos a válvula, o vapor sai – e o líquido que está dentro do recipiente se transforma em vapor.

SUBSTANCIAS QUE SE CONTRAEM NA FUSÃO (Água, Ferro, Prata, Bismuto e Antimônio)



Note a curva: solidificação ↔ fusão



Aumentando-se a pressão, a temperatura em que ocorre a fusão é menor.

Como exercício, pense na patinação no gelo e no deslocamento das geleiras.

Nas pistas de patinação sobre gelo, a pressão das lâminas metálicas muito finas dos patins provoca a fusão do gelo. Mas logo após a passagem do patinador a trilha de água líquida volta a congelar-se, porque volta a ficar apenas sob ação da pressão ambiente.

Obs.: fazer a experiência de Tyndall.

•Diferença entre gás e vapor: qualquer substância gasosa abaixo de sua temperatura crítica é um vapor. Acima, é um gás. A temperatura crítica da água é 374°C, acima desta temperatura o vapor d'água não mais se liquefaz, por maior que seja a pressão aplicada.

LEITURA: Por que a garrafa de água explode?

A maioria das substâncias diminuem de volume ao se solidificar, com a água, o processo fica invertido: ela aumenta seu volume ao se solidificar, o que pode ocasionar a explosão de uma garrafa de cerveja colocada em um congelador para que o líquido seja resfriado o mais rápido possível.

O processo inverso, de fusão, também obedece a uma anomalia para a água. Durante o “derretimento” de uma pedrinha de gelo, o volume diminui. Tudo isso ocorre devido a polarização elétrica criada nas moléculas de água.

Como a molécula de água é composta de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, as forças exercidas pelo oxigênio sobre os elétrons são maiores as forças exercidas pelos hidrogênios. Com a ajuda da química, percebemos que isso forma pontes de hidrogênio. No estado sólido, as moléculas ficam dispostas de maneira que haja grandes espaços vazios na formação do retículo cristalino, o gelo.

Se a água ganhar calor suficiente para entrar em fusão, passando do estado sólido para o líquido, no intervalo de temperatura 0 a 4°C, haverá diminuição no volume do líquido, devido à ruptura dos cristais nas pontes de hidrogênio, o que provocará uma ocupação dos espaços vazios entre as moléculas.

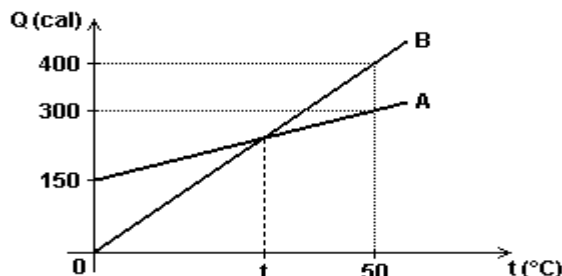
Devido a alta agitação molecular, a partir de 4°C, a dilatação da água passa a acontecer de maneira análoga à das outras substâncias encontradas na natureza. Como você deve se lembrar, durante a fusão da água, a temperatura permanece constante em 0°C.

Dessa vez, gostaria de me despedir com um desafio: explique por que quando colocamos um cubinho de gelo num copo com água, também à 0°C, o gelo flutua. Direcione seu raciocínio para a relação matemática entre massa e volume, e determine a densidade volumétrica de um corpo.

Exercícios

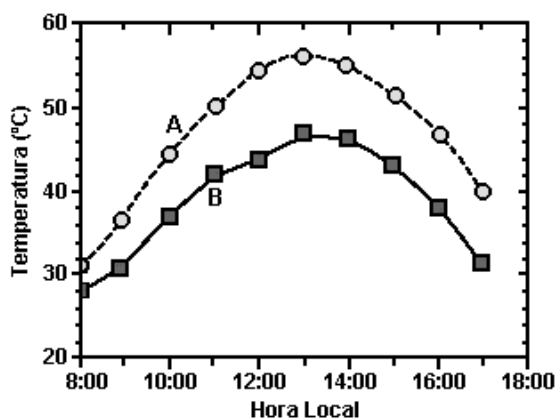
Calorimetria: Calor Sensível e Calor Latente

1. (Ufg) No diagrama $Q \times t$, estão representadas as quantidades de calor absorvidas por duas substâncias, A e B, cujas massas são, respectivamente, iguais a 100g e 160g, em função da temperatura. Considere 0°C a temperatura inicial das substâncias.



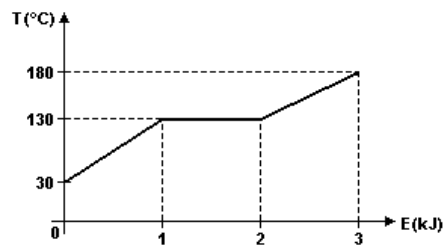
- Determine as capacidades térmicas e os calores específicos de A e B.
- Determine as quantidades de calor absorvidas por A e B, quando ambas estiverem à temperatura t , indicada no gráfico.

2. (Unicamp) As temperaturas nas grandes cidades são mais altas do que nas regiões vizinhas não povoadas, formando "ilhas urbanas de calor". Uma das causas desse efeito é o calor absorvido pelas superfícies escuras, como as ruas asfaltadas e as coberturas de prédios. A substituição de materiais escuros por materiais alternativos claros reduziria esse efeito. A figura mostra a temperatura do pavimento de dois estacionamentos, um recoberto com asfalto e o outro com um material alternativo, ao longo de um dia ensolarado.



- Qual curva corresponde ao asfalto?
- Qual é a diferença máxima de temperatura entre os dois pavimentos durante o período apresentado?
- O asfalto aumenta de temperatura entre 8h00 e 13h00. Em um pavimento asfaltado de 10.000 m^2 e com uma espessura de 0,1 m, qual a quantidade de calor necessária para aquecer o asfalto nesse período? Despreze as perdas de calor. A densidade do asfalto é 2.300 kg/m^3 e seu calor específico $C = 0,75 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$.

3. (Puc-rio) Um objeto sólido de 0,1 kg, inicialmente à temperatura 30°C , é aquecido. O gráfico de sua temperatura em função da energia que lhe é fornecida (em kJ) é dado a seguir.



A partir dos dados apresentados no gráfico, obtenha:

- a) o calor latente de fusão L_f do material que constitui o bloco;
- b) o calor específico do material que constitui o bloco no estado sólido (C_s);
- c) o calor específico do material que constitui o bloco no estado líquido (C_l).

4. (Ufc) Gelo seco nada mais é que gás carbônico (CO_2) solidificado e sua aplicação vai de efeitos especiais em shows à conservação de alimentos. Tal substância é conhecida desde meados do século XIX e recebeu esse nome devido ao fato de não passar pela fusão, quando submetida à pressão atmosférica e à temperatura ambiente, como ocorre com o gelo comum.

Considere um cubo de 0,10 kg de gelo seco, a $-78^\circ C$, e um bloco de gelo comum de 1,0 kg, a $-10^\circ C$, colocados em um recipiente.

Desprezando a capacidade térmica do recipiente e a troca de calor com o ambiente:

- a) determine a temperatura de equilíbrio térmico;
- b) descreva os elementos que comporão o sistema no equilíbrio térmico.

Dados:

Temperatura de sublimação do gelo seco = $-78^\circ C$

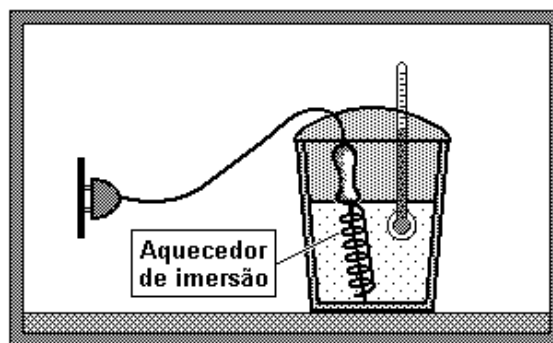
Temperatura de fusão do gelo comum = $0^\circ C$

Calor latente de vaporização do gelo seco = $134 cal/g$

Calor específico do vapor de gelo seco = $0,20 cal/g^\circ C$

Calor específico do gelo comum = $0,50 cal/g^\circ C$

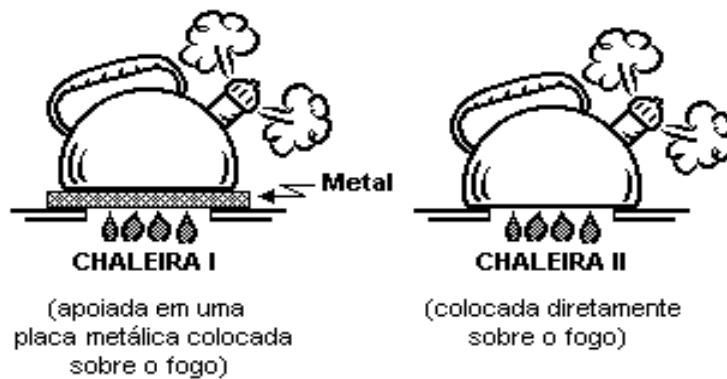
5. (Pucsp) Um aquecedor de imersão (ebulididor) dissipa 200W de potência, utilizada totalmente para aquecer 100g de água, durante um minuto.



Qual a variação de temperatura sofrida pela água? Considere $1 cal = 4 J$ e $c(água) = 1 cal/g^\circ C$.

- a) $120^\circ C$
- b) $100^\circ C$
- c) $70^\circ C$
- d) $50^\circ C$
- e) $30^\circ C$

6. (Uerj) Duas chaleiras idênticas, que começam a apitar no momento em que a água nela contida entra em ebulição, são colocadas de duas formas distintas sobre o fogo, como indica a figura:



(Adaptado de EPSTEIN, Lewis C. "Thinking Physics". San Francisco: Insight Press, 1995.)

Em um dado momento, em que ambas já estavam apitando, as chamas foram apagadas simultaneamente. Assim, a situação relativa ao tempo de duração dos apitos das chaleiras e a explicação física do fenômeno estão descritas na seguinte alternativa:

- a) A chaleira I continuará apitando por mais tempo, pois a placa metálica está mais quente do que a água.
- b) Ambas as chaleiras deixam de apitar no mesmo instante, pois as chamas foram apagadas simultaneamente.
- c) Ambas as chaleiras deixam de apitar no mesmo instante, pois a temperatura da água nas duas é a mesma.
- d) A chaleira II continuará apitando por mais tempo, pois a capacidade térmica do metal é menor do que a da água.

7. (Ufjf) Quando uma pessoa cozinha um ovo numa vasilha com água, pode diminuir a intensidade da chama do fogo que aquece a vasilha tão logo a água começa a ferver. Baseando-se na Física, assinale a alternativa que explica porque a pessoa pode diminuir a intensidade da chama e ainda assim a água continua a ferver.

- a) Durante a mudança de estado, a quantidade de calor cedido para a água diminui e sua temperatura aumenta.
- b) Durante a mudança de estado, a quantidade de calor cedido para a água e sua temperatura diminuem.
- c) Apesar do calor estar sendo cedido mais lentamente, na mudança de estado, enquanto houver água em estado líquido na vasilha, sua temperatura não varia.
- d) O calor é cedido mais lentamente para a água, aumentando a temperatura de mudança de estado da água.
- e) O calor é cedido mais lentamente para a água, diminuindo a temperatura de mudança de estado da água.

8. (Ufrj) Sobre calorimetria de uma dada substância, são feitas as seguintes afirmações:

- I. Calor sensível é o calor cedido ou absorvido, provocando apenas variação de temperatura.
- II. Calor latente é o calor cedido ou absorvido, provocando mudança de fase.
- III. Capacidade térmica é o quociente entre a massa do corpo e o calor específico.
- IV. A quantidade de calor cedida ou recebida é o quociente entre a capacidade térmica e a variação de temperatura.

Sobre as afirmativas acima, pode-se afirmar que

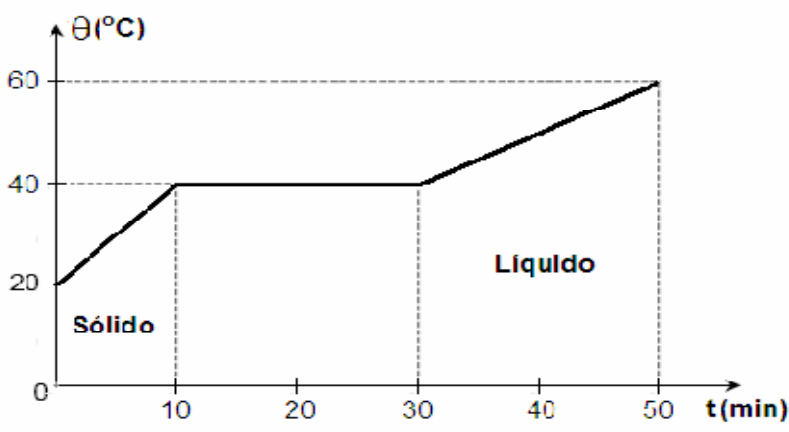
- a) I e II estão corretas.
- b) I e III estão corretas.
- c) II e IV estão corretas.
- d) III e IV estão corretas.
- e) II, III e IV estão corretas.

9. (Unifesp) Sobrefusão é o fenômeno em que um líquido permanece nesse estado a uma temperatura inferior à de solidificação, para a correspondente pressão. Esse fenômeno pode ocorrer quando um líquido cede calor lentamente, sem que sofra agitação. Agitado, parte do líquido solidifica, liberando calor para o restante, até que o equilíbrio térmico seja atingido à temperatura de solidificação para a respectiva pressão.

Considere uma massa de 100 g de água em sobrefusão a temperatura de -10°C e pressão de 1 atm, o calor específico da água de $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ e o calor latente de solidificação da água de -80 cal/g . A massa de água que sofrerá solidificação se o líquido for agitado será

- a) 8,7 g. b) 10,0 g. c) 12,5 g. d) 50,0 g. e) 60,3 g.

10. Certa quantidade de uma substância, inicialmente no estado sólido a 20°C , é aquecida por uma fonte térmica com potência constante. O gráfico representa a temperatura da substância (em graus Celsius) em função do tempo (em minutos). Considere que não há perdas de calor para o ambiente externo. Qual a razão entre os calores específicos da substância no estado líquido e no estado sólido?



- A) 1,0 B) 1,5 C) 2,0 D) 2,5 E) 3,0

11. Ao absorver uma certa quantidade de calor Q , uma substância de massa M sofre uma elevação de temperatura ΔT . Pode-se afirmar que o calor específico dessa substância é dado pela expressão:

- A) $M \Delta T/Q$ B) $QM \Delta T$ C) $M \Delta T/Q$ D) $Q \Delta T/M$ E) $Q/(M \Delta T)$

12. Um corpo A tem duas vezes a massa e metade do calor específico de outro corpo B. Quando ambos recebem a mesma quantidade de calor, a variação de temperatura de A é

- A) duas vezes a de B. B) igual à de B. C) um quarto da de B. D) quatro vezes a de B.

13. Numa gincana escolar é proposto um desafio às equipes formadas pelos professores: Passe sobre um bloco de gelo um arame bem fino e resistente, até atravessá-lo completamente.

Durante a execução da tarefa, um professor de física que estava numa equipe foi bastante questionado, naquele momento, sobre a veracidade daquela prova. Sendo você este professor, seria correto responder que o arame

d) atravessa o bloco de gelo porque a pressão que ele exerce sobre esse corpo faz com que o gelo se funda devido a sua temperatura de fusão tornar-se mais baixa com o aumento da pressão.

14. As maçanetas metálicas de portas de madeira parecem mais frias do que a porta, embora ambas estejam, em geral, à mesma temperatura. Esse é um dos fenômenos que evidenciam a diferença entre calor e temperatura. Ele ocorre porque

- (A) a condutibilidade térmica dos metais é maior do que a da madeira.
(B) a condutibilidade térmica da madeira é maior do que a do metal.
(C) o calor específico dos metais é maior do que o da madeira.
(D) o calor específico da madeira é maior do que o de qualquer metal.
(E) a massa de madeira da porta é sempre maior do que a massa de metal da maçaneta.

15. A primeira metade do século XIX foi um período de grande debate sobre o conceito de calor. Entre as contribuições para esse debate, destaca-se a do engenheiro americano Rumford.

Quando era responsável pela perfuração de canos de canhão, percebeu que o aquecimento, tanto da broca quanto da água que envolvia o cilindro do canhão, parecia ser proporcional ao trabalho empregado na tarefa. Tal observação levou-o a

- (A) introduzir o modelo de calor como energia, o que aperfeiçoou a idéia do calórico, segundo a qual, o calor seria um fluido desprovido de massa.
- (B) introduzir o modelo cinético de calor que, em oposição à idéia de calor como substância, contribuiu para a sua compreensão como energia.
- (C) formalizar uma nova teoria do calor, em oposição à idéia predominante na época, comprovando a conservação da energia nos processos mecânicos e térmicos.
- (D) a descobrir uma importante relação entre energia mecânica e térmica, o que explicava o movimento a partir do aquecimento das partículas subatômicas.
- (E) uma nova compreensão da relação entre massa e energia, em que uma pode ser convertida em outra, garantindo a conservação de ambas.

16. Muitas vezes, ao anunciar a possibilidade de chuvas em certo local, as previsões meteorológicas as associam à chegada de *frentes frias*, ou seja, de deslocamentos de ar a baixas temperaturas.

A associação das precipitações de chuvas a essas frentes deve-se ao fato de que

- (A) a umidade trazida pelo ar frio, na presença do ar quente e seco local, provoca sua condensação, causando as precipitações.
- (B) com a entrada de ar frio, o ar da região, já a baixa temperatura, torna-se supersaturado, gerando chuvas.
- (C) a massa de ar frio, ao chegar à região, encontra vapor d'água na atmosfera local, usualmente mais quente, contribuindo para sua condensação e precipitação.
- (D) a massa de ar frio trazida pela frente tende a subir em direção a camadas mais altas da atmosfera, provocando sua condensação e gerando chuvas.
- (E) o deslocamento de ar a baixas temperaturas cria uma zona de baixa pressão logo acima da superfície do solo, provocando correntes de convecção que geram as chuvas.

17. Para dimensionar a demanda energética de uma pequena indústria de fundição de ferro, estimou-se a quantidade de energia requerida para fundir as cerca de 10 toneladas desse metal, por mês, desde uma temperatura ambiente, de 20 °C em média, até sua temperatura de fusão.

Temperatura de Fusão: 1 530 °C

Calor Específico: 0,12 cal/g.°C

Calor de fusão: 55 cal/g

(Use 1 kcal = 1,2.10⁻³ kWh)

Dadas as propriedades do ferro, apresentadas no quadro, pode-se estimar que a quantidade de energia mensal necessária apenas para fundi-lo seria, aproximadamente, igual a

- (A) 23 600 kWh. (B) 2 850 kWh. (C) 1 800 kWh. (D) 236 kWh. (E) 55 kWh.