

A CAPACIDADE TÉRMICA DE METAIS

Material Utilizado:

- um calorímetro
- um ebulidor
- um termômetro (0 - 100 °C)
- uma corda de nylon
- amostras de alumínio, cobre e chumbo
- uma balança (fundo de escala 500 g, resolução 0,1g)

Objetivo do Experimento: Medir o calor específico de alguns metais e verificar a lei de Dulong e Petit.

INTRODUÇÃO

Consideremos um sistema macroscópico cujo estado pode ser especificado pela temperatura T e por uma coleção de parâmetros macroscópicos y (volume, pressão, etc). Suponha que tal sistema receba uma quantidade infinitesimal de calor dQ num processo em que todos os parâmetros y permanecem constantes e, como resultado, experimente uma variação elementar de temperatura dT . O quociente

$$C_y = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_y$$

é definida como capacidade térmica do sistema, uma grandeza que depende da natureza do sistema bem como dos parâmetros T e y . O quociente entre a capacidade térmica e a massa m do sistema é denominado calor específico do sistema:

$$c_y = \frac{C_y}{m}.$$

É intuitivo que a capacidade térmica de um sistema seja proporcional ao número de partículas no mesmo. Desta forma, espera-se que o calor específico seja somente uma propriedade da substância de que é constituído o sistema.

Para sólidos, os calores específicos de maior interesse são o *calor específico a volume constante* c_V e o *calor específico a pressão constante* c_P . Em consequência da Primeira Lei da Termodinâmica ($dQ = dU + pdV$, onde U , p e V são a energia interna, pressão e volume, respectivamente), c_P é sempre superior a c_V . Entretanto, no caso de sólidos, a mudança de volume em consequência de um processo de aquecimento é muito pequena, de forma que se tem $c_P \cong c_V$.

Um resultado importante, conhecido como *lei de Dulong e Petit*, é que, a temperaturas suficientemente elevadas, todos os sólidos possuem um mesmo calor específico molar a volume constante, independente da temperatura e igual a $3R$, onde R é a constante universal dos gases.

A lei de Dulong e Petit pode ser compreendida se se adotarmos a aproximação segundo a qual um sólido é constituído de N átomos de massa m , cada um dos quais oscilando (em três dimensões) harmonicamente em torno de suas posições de equilíbrio na rede cristalina. Neste caso podemos escrever que a energia ε de cada átomo é dada por

$$\varepsilon = \left(\frac{p_x^2}{2m} + \frac{1}{2} k_x x^2 \right) + \left(\frac{p_y^2}{2m} + \frac{1}{2} k_y x^2 \right) + \left(\frac{p_z^2}{2m} + \frac{1}{2} k_z x^2 \right),$$

onde x , y e z denotam eixos cartesianos, p_x , p_y e p_z e k_x , k_y e k_z são, respectivamente, os componentes da quantidade de movimento e as constantes elásticas que caracterizam as forças restauradoras na direção da posição de equilíbrio, ao longo desses eixos. Se o sólido encontra-se em equilíbrio a uma temperatura absoluta T , alta o suficiente para que seja válida a aproximação da mecânica estatística clássica, podemos aplicar o teorema da equipartição da energia, que estabelece que cada termo quadrático da energia contribui com um valor médio igual a $(1/2) k_B T$, onde k_B é a constante de Boltzmann. Desta forma a energia total média \bar{E} do sólido será $= 6 N (1/2) k_B T = 3 N k_B T$, e sua capacidade térmica a volume constante será

$$C_V = \left(\frac{\partial \bar{E}}{\partial T} \right)_V = 3 N k_B.$$

Consequentemente o calor específico molar (a volume constante) será, fazendo $N = N_A$, onde N_A é o número de Avogadro,

$$c_V(\text{molar}) = 3 N_A k_B = 3 R.$$

Neste experimento faremos uso do método das misturas para medir o calor específico de alguns metais, a saber, alumínio, cobre e chumbo. Este método consiste em colocar uma massa m aquecida, a uma temperatura T_M , do metal em investigação num calorímetro preenchido com uma massa de água m_A e a uma temperatura inicial baixa T_C . Após a troca de calor o sistema calorímetro + água + metal entra em equilíbrio a uma temperatura T . Tendo em vista que este sistema está (idealmente) isolado termicamente do ambiente, a quantidade de calor cedida pelo metal é igual à quantidade de calor absorvida pelo calorímetro com água, ou seja

$$(m_A c_A + C_C) (T - T_C) = m c (T_M - T),$$

onde c_A é o calor específico da água e C_C é a capacidade térmica do calorímetro. Então o calor específico c do metal pode ser determinado a partir do cálculo

$$c = \frac{(m_A c_A + C_C)(T - T_C)}{m (T_M - T)}.$$

PROCEDIMENTO

Medição da Capacidade Térmica do Calorímetro

1. Meça a massa m_C do calorímetro vazio (com tampa).
2. Com o auxílio de um ebulidor, aqueça alguma quantidade de água até que a mesma entre em ebulição.
3. Um pouco antes de a água entrar em ebulição, coloque um pouco de água fria (do bebedouro, por exemplo) no vaso do calorímetro de forma a ocupar um pouco menos da metade de seu volume. Tampe o calorímetro.
4. Meça e registre a massa m_{CAF} do calorímetro com a água fria. A massa da água fria é portanto $m_{AF} = m_{CAF} - m_C$.
5. Agite levemente o calorímetro, insira o termômetro através do orifício na tampa deste, meça e registre a temperatura T_C do calorímetro + água fria.
6. Quando a água entrar em ebulição, meça e registre a sua temperatura T_A .
7. Desconecte o ebulidor da tomada e, imediatamente, jogue um pouco de água quente no vaso do calorímetro, de forma a quase preencher o seu volume. Tampe o calorímetro e agite-o levemente. Observe então a evolução da temperatura indicada pelo termômetro. O equilíbrio térmico é atingido quando esta parar de subir. Meça e registre este valor de equilíbrio T .
8. Meça a massa do calorímetro com a água m_{CA} . A massa de água quente m_{AQ} adicionada é portanto $m_{AQ} = m_{CA} - m_{CAF}$. A capacidade térmica C_C do calorímetro pode então ser obtida a partir do princípio de que a quantidade de calor cedida pela massa de água quente é igual à quantidade de calor recebida pela calorímetro com água fria, ou seja,

$$(m_{CA} - m_{CAF}) c_A (T_A - T) = [(m_{CAF} - m_C) c_A + C_C] (T - T_C).$$

Obtenha então a capacidade térmica do calorímetro fazendo o cálculo

$$C_C = c_A \left[(m_{CA} - m_{CAF}) \frac{(T_A - T)}{(T - T_C)} - (m_{CAF} - m_C) \right].$$

Medição dos Calores Específicos dos Metais

9. Resfrie o vaso do calorímetro lavando-o com água da torneira e, subsequentemente, seque-o.
10. Novamente coloque em ebulição a água disponível no vaso com o ebulidor.
11. Amarre a massa de alumínio com um fio de nylon e meça a sua massa m .
12. Insira esta massa no interior da água em ebulição.
13. Um pouco antes de a água entrar em ebulição, coloque um pouco de água fria (do bebedouro, por exemplo) no vaso do calorímetro de forma a ocupar um pouco menos da metade de seu volume. Tampe o calorímetro.
14. Meça e registre a massa m_{CA} do calorímetro com a água. A massa da água é portanto $m_A = m_{CA} - m_C$.
15. Agite levemente o calorímetro, insira o termômetro através do orifício na tampa deste, meça e registre a temperatura T_C do calorímetro + água.
16. Quando a água entrar em ebulição, meça e registre a sua temperatura T_M (que é a temperatura inicial do metal).
17. Retire a massa de alumínio da água em ebulição, rapidamente drene-a e, imediatamente, transfira-a para o vaso do calorímetro. Tampe o calorímetro e agite-o levemente. Observe então a evolução da temperatura indicada pelo termômetro. O equilíbrio térmico é atingido quando esta parar de subir. Meça e registre este valor de equilíbrio T .
18. Obtenha então o calor específico do alumínio através da expressão

$$c = \frac{[(m_{CA} - m_C)c_A + C_C](T - T_C)}{m(T_M - T)}.$$

19. Repita as ações de 9 a 18 para o cobre e chumbo.

FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

Experimento: O Calor Específico de Metais

Data ____/____/____

COMPONENTES DO GRUPO

NOME _____

NOME _____

NOME _____

NOME _____

Medição da Capacidade Térmica do Calorímetro	
Massa do calorímetro vazio:	$m_C = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g}$
Massa do calorímetro com água fria:	$m_{CAF} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g}$
Massa do calorímetro com água:	$m_{CA} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g}$
Temperatura inicial do calorímetro	$T_C = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura da água em ebulição	$T_A = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura de equilíbrio térmico	$T = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ }^\circ\text{C}$
Capacidade térmica do calorímetro	$C_C = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ cal / }^\circ\text{C}$

Calor Específico dos Metais

	Alumínio	Cobre	Chumbo
$T_C \text{ (}^\circ\text{C)}$	(_____ \pm _____)	(_____ \pm _____)	(_____ \pm _____)
$T_M \text{ (}^\circ\text{C)}$	(_____ \pm _____)	(_____ \pm _____)	(_____ \pm _____)
$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	(_____ \pm _____)	(_____ \pm _____)	(_____ \pm _____)
$m_{CA} \text{ (g)}$	(_____ \pm _____)	(_____ \pm _____)	(_____ \pm _____)
$m_C \text{ (g)}$			
$m \text{ (g)}$			
$c \text{ (cal / g }^\circ\text{C)}$			
$c \text{ (molar) (cal / }^\circ\text{C)}$			