

# 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  $\varepsilon$  de cada átomo é dada por

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

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