

Calor: energia térmica em trânsito

Os efeitos do calor sobre os corpos fazem parte do nosso cotidiano e podem ser facilmente percebidos. A ideia de que o calor é uma forma de energia foi estabelecida no final do século XIX, quando se passou a considerar o calor como energia térmica em trânsito entre corpos de diferentes temperaturas.

▶ 4.1 Calor: energia térmica em trânsito

A energia térmica que um corpo cede ou recebe pode produzir variação de sua temperatura ou mudança de seu estado físico.

▶ 4.2 Quantidade de calor sensível. Equação fundamental da Calorimetria. Calor específico

Quantidade de calor sensível é a medida do calor cedido ou recebido por um corpo, responsável pela variação de temperatura.

▶ 4.3 Trocas de calor. Calorímetro

Os corpos que constituem um sistema termicamente isolado não trocam calor com o meio exterior.

Em uma lareira, a energia térmica obtida na combustão da lenha é transferida ao ambiente, cuja temperatura é menor que a sua. O calor propaga-se em todo o ambiente proporcionando o aumento da temperatura.



Seção 4.1

Objetivos

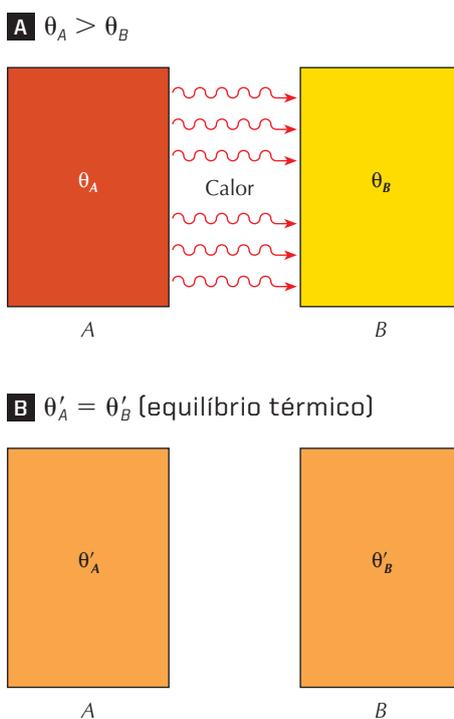
- ▶ Conceituar calor.
- ▶ Diferenciar calor sensível e calor latente.

Termos e conceitos

- caloria

Calor: energia térmica em trânsito

Considere dois corpos A e B em diferentes temperaturas, θ_A e θ_B , tais que $\theta_A > \theta_B$ (fig. 1A). Colocando-os em presença um do outro, verifica-se que a energia térmica é transferida de A para B . Essa **energia térmica em trânsito** é denominada **calor**. A passagem do calor cessa ao ser atingido o equilíbrio térmico, isto é, quando as temperaturas se igualam (fig. 1B).



▶ **Figura 1.** O corpo A cede calor ao corpo B , até as temperaturas se igualarem.

Calor é energia térmica em trânsito entre corpos a **diferentes temperaturas**.



▶ O chá quente está a uma temperatura maior que a das mãos que seguram a xícara, fornecendo calor a elas.



▶ Estando a água à temperatura ambiente, o calor se propaga da água para o gelo.

Como vimos no Capítulo 1, a unidade em que é medida a quantidade de calor Q trocada pelos corpos é a unidade de energia, visto que se trata de energia térmica em trânsito. Assim, no Sistema Internacional, a unidade de quantidade de calor é o **joule (J)**. Entretanto, por razões históricas, existe outra unidade, a **caloria (cal)**, cuja relação com o joule é:

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}^*$$

Um múltiplo da caloria bastante utilizado é a **quilocaloria (kcal)**:

$$1 \text{ kcal} = 1.000 \text{ cal}$$

Calor sensível e calor latente

Se levamos ao fogo água líquida na temperatura ambiente (**fig. 2**), logo verificaremos pelo termômetro que ela se aquece, isto é, sofre uma elevação de temperatura. Se, entretanto, fizermos o mesmo com um bloco de gelo a 0°C (**fig. 3**), verificaremos que ele se derrete, isto é, se transforma em líquido, mas sua temperatura não se modifica até que todo o gelo se derreta.

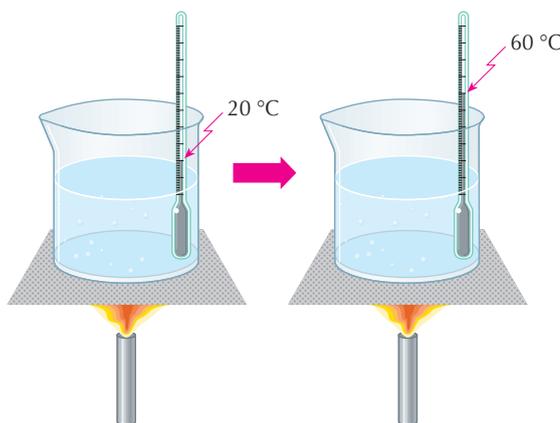


Figura 2. A água líquida se aquece ao ser levada ao fogo.

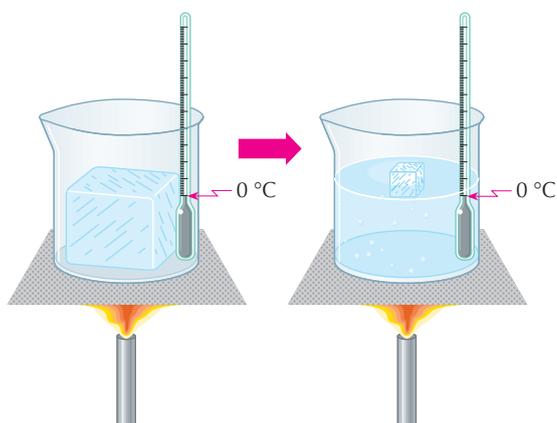


Figura 3. Em presença do fogo, o gelo a 0°C se derrete, não sofrendo variação de temperatura.

Portanto, quando um corpo recebe calor, este pode produzir **variação de temperatura** ou **mudança de estado**. Quando o efeito produzido é a variação de temperatura, dizemos que o corpo recebeu **calor sensível**. Se o efeito se traduz pela mudança de estado, o calor recebido pelo corpo é dito **calor latente**. Nos exemplos citados, a água líquida recebeu calor sensível e o gelo recebeu calor latente.

De modo análogo, quando um corpo cede calor, se houver diminuição de temperatura, diz-se que o corpo perdeu calor sensível; se houver mudança de estado, o corpo terá perdido calor latente.

Neste capítulo analisaremos apenas situações em que os corpos trocam calor sensível, isto é, situações em que não ocorrem mudanças de estado. As trocas de calor latente serão analisadas no capítulo seguinte, quando do estudo das mudanças de fase.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
História da Física: A evolução do conceito de calor
Vídeo: Calor sensível e calor latente

* Na leitura sobre a experiência de Joule, neste capítulo (página 80), você saberá como essa correspondência foi obtida pela primeira vez.



▶ **Objetivos**

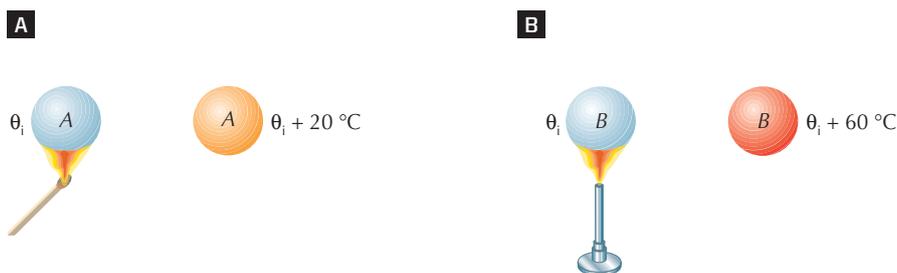
- ▶ Relacionar a quantidade de calor recebido ou cedido por um corpo com a variação da temperatura, com a massa e com o material do qual o corpo é feito.
- ▶ Enunciar a equação fundamental da Calorimetria.
- ▶ Conceituar calor específico, capacidade térmica e equivalente em água de um corpo.

▶ **Termos e conceitos**

- calor recebido
- calor cedido

Quantidade de calor sensível. Equação fundamental da Calorimetria. Calor específico

Considere uma esfera *A* de ferro, que é aquecida, recebendo 220 calorias. Sua temperatura se eleva de 20 °C (fig. 4A). Outra esfera *B*, idêntica à primeira, à mesma temperatura inicial θ_i , é aquecida por uma fonte mais intensa, recebendo uma quantidade de calor três vezes superior, isto é, 660 calorias. Com isso, sua temperatura se eleva de 60 °C (fig. 4B).

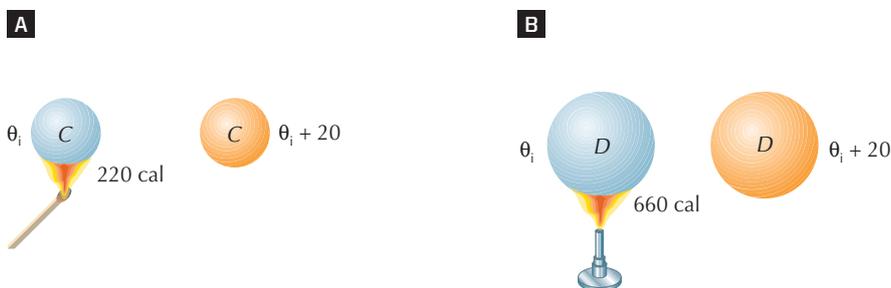


▶ **Figura 4.** O corpo *B* recebe maior quantidade de calor e, por isso, sofre maior variação de temperatura.

Estudos comprovam que essa proporcionalidade é válida para corpos de qualquer material. Assim, de modo geral, podemos enunciar:

As quantidades de calor *Q* recebidas (ou cedidas) por corpos de mesmo material e de mesma massa são diretamente proporcionais às variações de temperatura $\Delta\theta$.

Considere agora duas esferas *C* e *D* de mesmo material (ferro), mas de massas diferentes (por exemplo, $m_C = 100$ gramas e $m_D = 300$ gramas, isto é, $m_D = 3m_C$). Para que sofram a mesma variação de temperatura ($\Delta\theta = 20$ °C, por exemplo) essas esferas (fig. 5) devem receber quantidades de calor diferentes (por exemplo, *C* recebe $Q_C = 220$ calorias e *D* recebe $Q_D = 660$ calorias, isto é, $Q_D = 3Q_C$):



▶ **Figura 5.** O corpo *D* recebeu maior quantidade de calor para sofrer a mesma variação de temperatura que o corpo *C*.

As quantidades de calor recebidas (ou cedidas) por corpos de mesmo material e de massas diferentes, sujeitos à mesma variação de temperatura, são diretamente proporcionais às massas.



Resumindo as conclusões anteriores, podemos enunciar:

A quantidade de calor Q recebida (ou cedida) por um corpo é diretamente proporcional à sua massa m e à variação de temperatura $\Delta\theta$ sofrida pelo corpo.

Assim:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Nessa fórmula, conhecida como **equação fundamental da Calorimetria**, o coeficiente de proporcionalidade c é uma **característica do material** que constitui o corpo, denominada **calor específico**. Sua unidade usual é $\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, como se deduz a partir da equação anterior.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta} \quad \left(\text{unidade: } \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

Observe que, se $m = 1\text{ g}$ e $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$, $c = Q$ (numericamente), isto é, o calor específico de uma substância mede numericamente a quantidade de calor que faz variar em 1°C a temperatura da massa de 1 g da substância.

Vejamos um exemplo. O calor específico do ferro vale $0,11\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$; portanto, para elevar em 1°C a temperatura da massa de 1 g de ferro, devemos fornecer a essa massa $0,11\text{ cal}$.

Substâncias diferentes apresentam diferentes calores específicos. A água é uma das substâncias de maior calor específico na natureza. De modo geral, os metais apresentam baixo calor específico. Veja estes exemplos:

Latão: $0,092\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Prata: $0,056\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Ouro: $0,032\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Para uma dada substância, o calor específico depende do estado de agregação. Tomando como exemplo a água, temos os seguintes valores para o calor específico, de acordo com cada estado físico:

Gelo: $0,50\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Água líquida: $1,00\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Vapor d'água:** $0,48\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Quando a temperatura de um corpo aumenta, significa que ele recebeu calor. Se a temperatura de um corpo diminui, é porque ele cedeu calor. Essa diferença é analisada de acordo com o seguinte critério:

$$\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$$

Aumento de temperatura → **Calor recebido**

$$\theta_f > \theta_i \Rightarrow \Delta\theta > 0 \Rightarrow Q > 0$$

Diminuição de temperatura → **Calor cedido**

$$\theta_f < \theta_i \Rightarrow \Delta\theta < 0 \Rightarrow Q < 0$$



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
A Física em nosso Mundo: *As calorias dos alimentos*

- * O calor específico definido por essa fórmula é um valor médio para o intervalo de temperatura $\Delta\theta$. O calor específico a uma dada temperatura é dado pelo limite dessa expressão, quando $\Delta\theta$ tende a zero. A rigor, o calor específico de uma substância depende da temperatura. Em nosso curso, não levaremos em conta essa variação.
- ** Sob pressão de 1 atmosfera e a 110°C de temperatura.



Capacidade térmica de um corpo

Considere que a temperatura de um corpo sofra uma variação de temperatura $\Delta\theta$, ao receber certa quantidade de calor Q . Define-se **capacidade térmica C** desse corpo a grandeza dada pela fórmula:

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

A unidade usual de capacidade térmica é a **caloria por grau Celsius (cal/°C)**.

Vamos supor que, ao receber 2.000 calorias ($Q = 2.000 \text{ cal}$), a temperatura de um bloco metálico aumente de 20 °C para 420 °C, tendo ocorrido a variação de temperatura $\Delta\theta = 420 \text{ °C} - 20 \text{ °C} = 400 \text{ °C}$. A capacidade térmica desse bloco será dada por:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{2.000}{400} \Rightarrow C = 5 \text{ cal/°C}$$

A capacidade térmica representa numericamente a quantidade de calor que o corpo deve trocar para sofrer uma variação unitária de temperatura. No exemplo, o corpo deve receber 5 calorias para que sua temperatura varie de 1 grau Celsius.

O nome dessa grandeza (capacidade térmica) vem do seguinte fato: ela pode ser entendida como a medida da **capacidade de receber ou perder calor** que um corpo apresenta, para uma dada variação de temperatura. Um corpo de baixa capacidade térmica troca quantidades de calor relativamente pequenas para sofrer uma dada variação de temperatura. As fagulhas de um esmeril, por exemplo, apresentam alta temperatura, mas não queimam a pele do operador porque têm pequena capacidade térmica – isto é, elas cedem pouco calor até que o equilíbrio térmico se estabeleça.

Substituindo, na fórmula de definição da capacidade térmica, a quantidade de calor expressa pela equação fundamental de calorimetria ($Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$), teremos:

$$C = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta\theta} \Rightarrow C = mc$$

Portanto, a capacidade térmica de um corpo também pode ser expressa como o produto de sua massa (m) pelo calor específico da substância que o constitui (c).

Chama-se **equivalente em água** de um corpo a massa de água cuja capacidade térmica é igual à capacidade térmica do corpo. Por exemplo, seja $C = 5 \text{ cal/°C}$ a capacidade térmica de um corpo. Sendo o calor específico da água $c_a = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$, concluímos que o equivalente em água do corpo é $m_a = 5 \text{ g}$.



▶ Mesmo sem luvas, o operador não tem suas mãos queimadas pelas fagulhas por estas terem baixa capacidade térmica.



▶ Por que as gotas de óleo que espirram da frigideira queimam as mãos do cozinheiro?

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 20 Um corpo de massa 200 g é constituído por uma substância de calor específico 0,4 cal/g · °C. Determine:

- a) a quantidade de calor que o corpo deve receber para que sua temperatura varie de 5 °C para 35 °C;
- b) que quantidade de calor deve ceder para que sua temperatura diminua de 15 °C;
- c) a capacidade térmica do corpo.

Solução:

- a) Para a temperatura aumentar de $\theta_i = 5\text{ °C}$ para $\theta_f = 35\text{ °C}$ ($\theta_f > \theta_i$), o corpo deve receber calor ($Q > 0$):

$$\Delta\theta = \theta_f - \theta_i = 35 - 5 \Rightarrow \Delta\theta = 30\text{ °C}$$

Substituindo esse valor ($\Delta\theta = 30\text{ °C}$) e os demais dados ($m = 200\text{ g}$; $c = 0,4\text{ cal/g} \cdot \text{°C}$) na equação fundamental da Calorimetria, obtemos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 200 \cdot 0,4 \cdot 30 \Rightarrow Q = 2.400\text{ cal}$$

- b) Para a temperatura diminuir ($\theta_f < \theta_i$), o corpo deve ceder calor ($Q < 0$). Sendo $\Delta\theta = -15\text{ °C}$, $m = 200\text{ g}$ e $c = 0,4\text{ cal/g} \cdot \text{°C}$, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 200 \cdot 0,4 \cdot (-15) \Rightarrow Q = -1.200\text{ cal}$$

O sinal negativo indica calor cedido.

- c) Podemos calcular a capacidade térmica do corpo pela fórmula $C = \frac{Q}{\Delta\theta}$.

Como $Q = 2.400\text{ cal}$ para $\Delta\theta = 30\text{ °C}$, vem:

$$C = \frac{2.400}{30} \Rightarrow C = 80\text{ cal/°C}$$

Outra alternativa é utilizar a fórmula $C = mc$, sendo $m = 200\text{ g}$ e $c = 0,4\text{ cal/g} \cdot \text{°C}$:

$$C = 200 \cdot 0,4 \Rightarrow C = 80\text{ cal/°C}$$

Respostas: a) 2.400 calorias; b) 1.200 calorias; c) 80 cal/°C

R. 21 A temperatura de 100 g de um líquido cujo calor específico é 0,5 cal/g · °C sobe de -10 °C até 30 °C . Em quantos minutos será realizado esse aquecimento com uma fonte que fornece 50 calorias por minuto?

Solução:

A temperatura varia de $\theta_i = -10\text{ °C}$ para $\theta_f = 30\text{ °C}$. Logo, a variação de temperatura é:

$$\Delta\theta = \theta_f - \theta_i = 30\text{ °C} - (-10\text{ °C}) = 40\text{ °C}$$

São dados: $m = 100\text{ g}$; $c = 0,5\text{ cal/g} \cdot \text{°C}$. A quantidade de calor Q recebida pelo corpo vale:

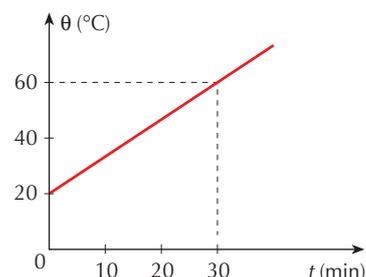
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 100 \cdot 0,5 \cdot 40 \Rightarrow Q = 2.000\text{ cal}$$

A fonte fornece 50 cal/min (fluxo ou potência da fonte). Assim, por regra de três simples e direta:

$$\left. \begin{array}{l} 50\text{ cal} \quad \text{---} \quad 1\text{ min} \\ 2.000\text{ cal} \quad \text{---} \quad x \end{array} \right\} x = \frac{2.000}{50} \Rightarrow x = 40\text{ min}$$

Resposta: 40 min

R. 22 Um corpo de massa 200 g é aquecido por uma fonte de potência constante e igual a 200 calorias por minuto. O gráfico mostra como varia, no tempo, a temperatura do corpo. Determine a capacidade térmica do corpo e o calor específico da substância que o constitui.



Solução:

Os dados para a solução do exercício são extraídos do gráfico. A temperatura do corpo variou de 20 °C para 60 °C em 30 min.

$$\Delta\theta = 60\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$$

O calor fornecido pela fonte pode ser calculado por regra de três simples e direta:

$$\left. \begin{array}{l} 1\text{ min} \text{ --- } 200\text{ cal} \\ 30\text{ min} \text{ --- } Q \end{array} \right\} Q = 6.000\text{ cal}$$

A capacidade térmica do corpo será dada por:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{6.000}{40} \Rightarrow C = 150\text{ cal/}^{\circ}\text{C}$$

O calor específico da substância pode ser calculado a partir da equação fundamental ($Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$):

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta} \left\{ \begin{array}{l} Q = 6.000\text{ cal} \\ m = 200\text{ g} \\ \Delta\theta = 40\text{ }^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} C = \frac{6.000}{200 \cdot 40} \Rightarrow C = 0,75\text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$$

O calor específico também pode ser obtido pela relação:

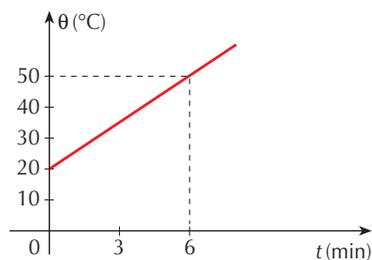
$$c = \frac{C}{m} \Rightarrow c = \frac{150}{200} \Rightarrow c = 0,75\text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$$

Resposta: 150 cal/°C e 0,75 cal/g · °C

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 50** Um corpo de massa 50 g recebe 300 cal e sua temperatura sobe de -10 °C até 20 °C. Determine a capacidade térmica do corpo e o calor específico da substância que o constitui.
- P. 51** Um quilograma de glicerina, de calor específico 0,6 cal/g · °C, inicialmente a -30 °C, recebe 12.000 cal de uma fonte. Determine a temperatura final da glicerina.
- P. 52** Uma fonte térmica fornece, em cada minuto, 20 cal. Para produzir um aquecimento de 30 °C em 50 g de um líquido, são necessários 15 min. Determine o calor específico do líquido e a capacidade térmica dessa quantidade de líquido.
- P. 53** Para sofrer determinada variação de temperatura, um bloco metálico deve permanecer 3 min em presença de uma fonte de fluxo constante. A mesma massa de água, para sofrer a mesma variação de temperatura, exige 12 min em presença da fonte (calor específico da água: $c = 1\text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$). Determine o calor específico do metal.

- P. 54** Um corpo é colocado em presença de uma fonte térmica de fluxo 2 cal/s. O gráfico do aquecimento em função do tempo, em minutos, é o apresentado. Sendo 60 g a massa do corpo, determine sua capacidade térmica e o calor específico do material que o constitui.



- P. 55** O gráfico fornece a quantidade de calor absorvida por três corpos A, B e C em função da temperatura. Calcule, para cada um dos corpos, a capacidade térmica e o calor específico das substâncias que os constituem. São dadas as massas: $m_A = m_B = 20\text{ g}$ e $m_C = 10\text{ g}$.

