

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).

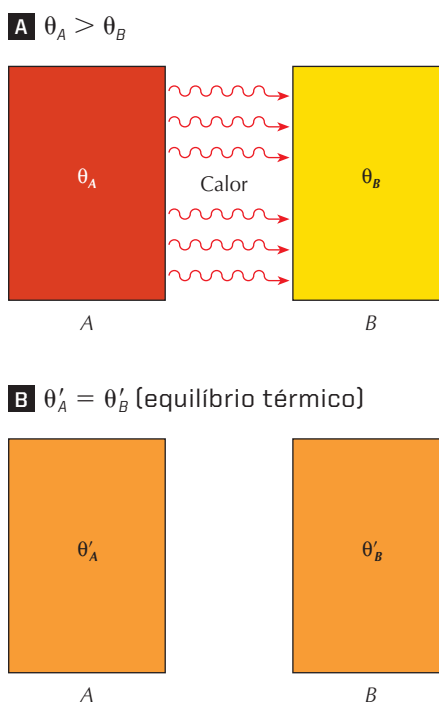


Figura 1. O corpo A cede calor ao corpo B , até as temperaturas se igualarem.

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:

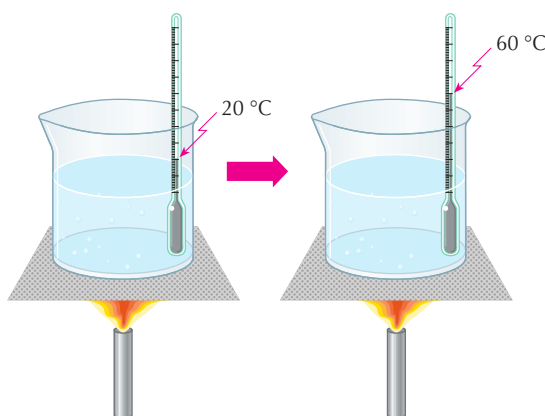
$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}^*$$

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

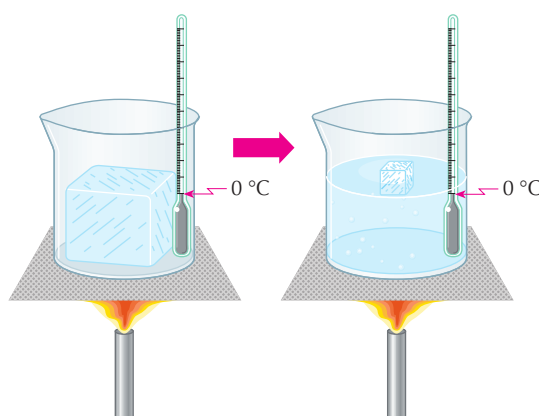
$$1 \text{ kcal} = 1.000 \text{ cal}$$

Calor sensível e calor latente

Se levarmos 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.

Seção 4.2

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).

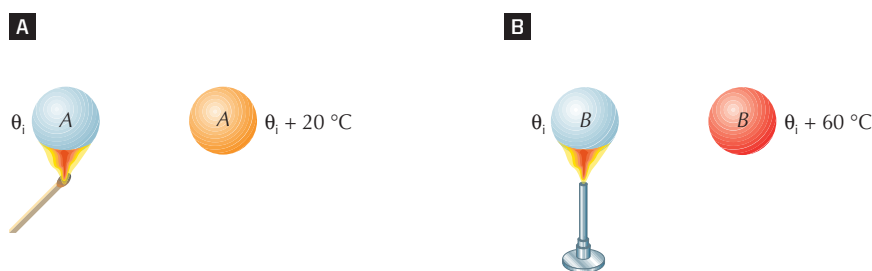


Figura 4. O corpo *B* recebe maior quantidade de calor e, por isso, sofre maior variação de temperatura.

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, $Q_D = 3Q_C$):

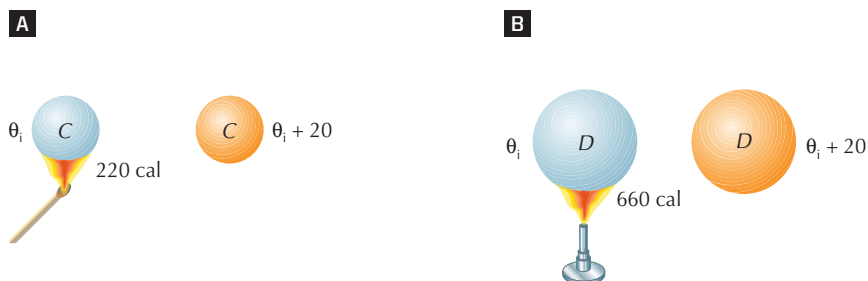


Figura 5. O corpo *D* recebeu maior quantidade de calor para sofrer a mesma variação de temperatura que o corpo *C*.

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 $1 ^\circ\text{C}$ 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 $1 ^\circ\text{C}$ 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 $\rightarrow$ Calor recebido

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

Diminuição de temperatura $\rightarrow$ 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 $110 ^\circ\text{C}$ 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 ($\text{cal}/^\circ\text{C}$)**.

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 $\Delta\theta = 420^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 400^\circ\text{C}$. A capacidade térmica desse bloco será dada por:

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

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 $C = 5 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ a capacidade térmica de um corpo. Sendo o calor específico da água $c_a = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, 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 quantidade de calor que o corpo deve receber para que sua temperatura varie de 5 °C para 35 °C;
- que quantidade de calor deve ceder para que sua temperatura diminua de 15 °C;
- a capacidade térmica do corpo.

Solução:

- 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:

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

- 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.

- 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:

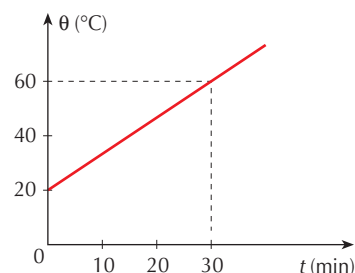
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 100 \cdot 0,5 \cdot 40 \Rightarrow Q = 2.000\text{ cal}$$

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:

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

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

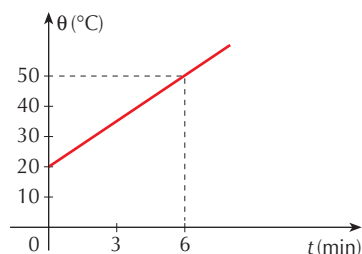
P. 50 Um corpo de massa 50 g recebe 300 cal e sua temperatura sobe de -10 °C até 20 °C. Determine a capacidade térmica do corpo e o calor específico da substância que o constitui.

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.

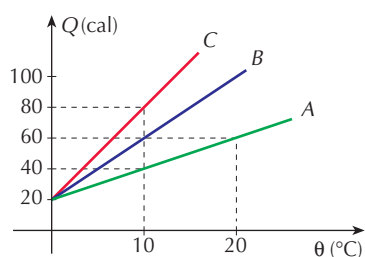
P. 52 Uma fonte térmica fornece, em cada minuto, 20 cal. Para produzir um aquecimento de 30 °C em 50 g de um líquido, são necessários 15 min. Determine o calor específico do líquido e a capacidade térmica dessa quantidade de líquido.

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 $m_C = 10\text{ g}$.



Seção 4.3

Objetivos

► Analisar o funcionamento de um calorímetro e as trocas de calor entre corpos em seu interior.

► Enunciar e aplicar o princípio geral das trocas de calor.

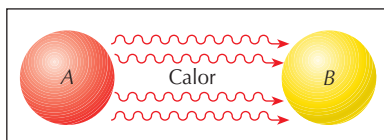
Termos e conceitos

• calorímetro

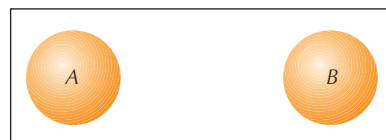
Trocas de calor. Calorímetro

Dois corpos A e B são colocados num recinto termicamente isolado. Se a temperatura de A é maior que a de B , há transferência de calor do primeiro para o segundo, até que se estabeleça o equilíbrio térmico (fig. 6). Como não há outros corpos trocando calor, se A perder, por exemplo, 50 cal nesse intervalo de tempo, B terá recebido exatamente 50 cal. Pela convenção de sinais estabelecida:

$$Q_A = -50 \text{ cal} \quad Q_B = 50 \text{ cal}$$



$\theta_A > \theta_B$: A cede calor para B



$\theta'_A = \theta'_B$: equilíbrio térmico

► Figura 6. Os corpos A e B trocam calor até atingir o equilíbrio térmico.

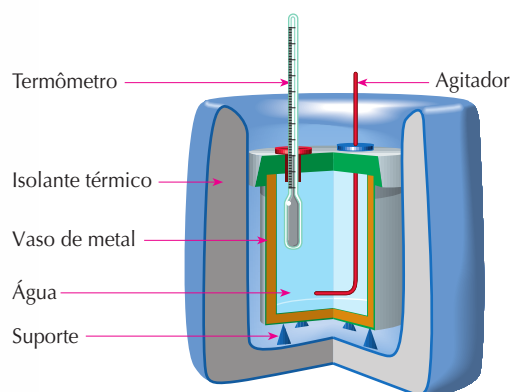
Percebe-se que:

$$Q_A = -Q_B \quad \text{ou} \quad Q_A + Q_B = 0$$

Podemos então enunciar o princípio geral que descreve as trocas de calor:

Se dois ou mais corpos trocam calor entre si, a soma algébrica das quantidades de calor trocadas pelos corpos, até o estabelecimento do equilíbrio térmico, é nula.

Geralmente, os corpos que trocam calor são colocados no interior de dispositivos especiais denominados **calorímetros**, isolados termicamente do meio exterior. O mais usado é o calorímetro de mistura, apresentado na foto a seguir e ilustrado em corte (fig. 7).



► Figura 7. Corte de um calorímetro de mistura.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
Simulador: Calorímetro

O calorímetro participa das trocas de calor, embora na maioria dos casos essa participação seja pouco acentuada. No entanto, quando o calorímetro absorve uma quantidade de calor considerável, devemos levar em conta sua **capacidade térmica** C , expressa pela relação entre o calor absorvido Q e a variação de temperatura $\Delta\theta$ que ele sofre $\left(C = \frac{Q}{\Delta\theta}\right)$.

Por exemplo: se numa variação de temperatura de 20°C o calorímetro absorve 60 cal, sua capacidade térmica vale:

$$\left. \begin{array}{l} Q = 60 \text{ cal} \\ \Delta\theta = 20^\circ\text{C} \end{array} \right\} C = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{60}{20} \Rightarrow C = 3 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

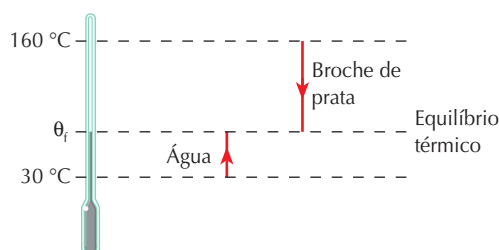
- R. 23** Um broche de prata de massa 20 g a 160°C é colocado em 28 g de água inicialmente a 30°C . Qual será a temperatura final de equilíbrio térmico, admitindo trocas de calor apenas entre a prata e a água?

(Dados: calor específico da prata = $0,056 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$; calor específico da água = $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$)

Solução:

A temperatura final θ_f de equilíbrio térmico deve ter um valor intermediário entre 30°C e 160°C . A água recebe calor, sua temperatura aumentando de 30°C para θ_f . A prata perde calor, sua temperatura diminuindo de 160°C para θ_f . Esquemáticamente, as variações de temperatura são as apresentadas ao lado.

Para facilitar os cálculos, é recomendável dispor os dados do problema em uma tabela:



	m	$c \text{ [cal/g} \cdot ^\circ\text{C]}$	θ_i	θ_f	$\Delta\theta$
Água	28 g	1,0	30°C	$x = ?$	$x - 30$
Broche de prata	20 g	0,056	160°C	$x = ?$	$x - 160$

Calculemos as quantidades de calor trocadas.

- 1) Calor recebido pela água: $Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 28 \cdot 1,0 (x - 30) \Rightarrow Q_1 = 28x - 840$
 - 2) Calor perdido pelo broche de prata: $Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 20 \cdot 0,056 (x - 160) \Rightarrow Q_2 = 1,12x - 179,2$
- De acordo com o princípio geral das trocas de calor, a soma das quantidades de calor trocadas é nula ($Q_1 + Q_2 = 0$). Logo:

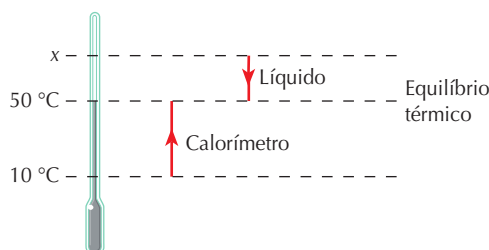
$$28x - 840 + 1,12x - 179,2 = 0 \Rightarrow 29,12x - 1.019,2 = 0 \Rightarrow 29,12x = 1.019,2 \Rightarrow \boxed{x = 35^\circ\text{C}}$$

Resposta: 35°C

- R. 24** Num calorímetro de capacidade térmica $8,0 \text{ cal/}^\circ\text{C}$, inicialmente a 10°C , são colocados 200 g de um líquido de calor específico $0,40 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$. Verifica-se que o equilíbrio térmico se estabelece a 50°C . Determine a temperatura inicial do líquido.

Solução:

A troca de calor se dá entre o calorímetro (que recebe) e o líquido (que perde). Esquemáticamente as variações de temperatura, teremos:



Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/calorimetro/calorimetro.htm> (acesso em julho/2009), você poderá simular um exercício de Calorimetria, calculando o valor do calor específico de um sólido ou o equivalente em água de um calorímetro, introduzindo dados no simulador e obtendo a resposta.

Dispondo os dados em uma tabela, para facilitar os cálculos:

	m	$c \text{ [cal/g} \cdot ^\circ\text{C]}$	θ_i	θ_f	$\Delta\theta$
Calorímetro	8,0 cal/ $^\circ\text{C}$		10 $^\circ\text{C}$	50 $^\circ\text{C}$	40 $^\circ\text{C}$
Líquido	200 g	0,40	$x = ?$	50 $^\circ\text{C}$	50 - x

Calculemos as quantidades de calor trocadas.

1) Calor recebido pelo calorímetro: $Q_1 = C \cdot \Delta\theta = 8,0 \cdot 40 \Rightarrow Q_1 = 320 \text{ cal}$

2) Calor perdido pelo líquido: $Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 200 \cdot 0,40 \cdot (50 - x) \Rightarrow Q_2 = 4.000 - 80x$

Aplicando o princípio geral das trocas de calor ($Q_1 + Q_2 = 0$):

$$320 + 4.000 - 80x = 0 \Rightarrow 80x = 4.320 \Rightarrow x = \frac{4.320}{80} \Rightarrow x = 54 \text{ }^\circ\text{C}$$

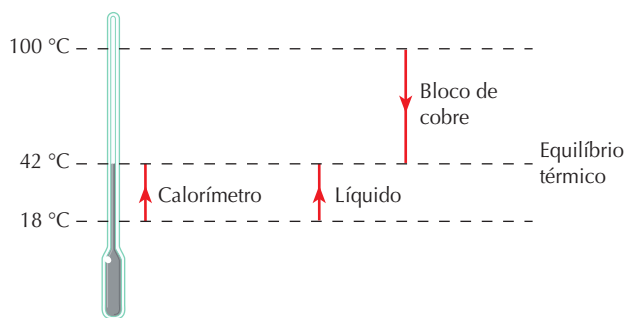
Resposta: 54 $^\circ\text{C}$

- R. 25** No interior de um calorímetro de capacidade térmica 6 cal/ $^\circ\text{C}$ encontram-se 85 g de um líquido a 18 $^\circ\text{C}$. Um bloco de cobre de massa 120 g e calor específico 0,094 cal/g $\cdot$ $^\circ\text{C}$, aquecido a 100 $^\circ\text{C}$, é colocado dentro do calorímetro. O equilíbrio térmico se estabelece a 42 $^\circ\text{C}$. Determine o calor específico do líquido.

Solução:

Três corpos trocam calor entre si: o calorímetro, o líquido e o bloco de cobre. A temperatura do calorímetro aumenta de 18 $^\circ\text{C}$ para 42 $^\circ\text{C}$; portanto, o calorímetro recebe calor. A temperatura do líquido também varia de 18 $^\circ\text{C}$ para 42 $^\circ\text{C}$ e, assim, o líquido recebe calor. O bloco de cobre sofre um abaixamento de temperatura de 100 $^\circ\text{C}$ para 42 $^\circ\text{C}$; logo, o bloco perde calor.

Podemos indicar em um único esquema as variações de temperatura dos vários corpos, até se estabelecer o equilíbrio térmico, como apresentado ao lado.



Para facilitar os cálculos, convém dispor os dados em uma tabela:

	m	$c \text{ [cal/g} \cdot ^\circ\text{C]}$	θ_i	θ_f	$\Delta\theta$
Calorímetro	$C = 6 \text{ cal/}^\circ\text{C}$		18 $^\circ\text{C}$	42 $^\circ\text{C}$	24 $^\circ\text{C}$
Líquido	85 g	$x = ?$	18 $^\circ\text{C}$	42 $^\circ\text{C}$	24 $^\circ\text{C}$
Bloco de cobre	120 g	0,094	100 $^\circ\text{C}$	42 $^\circ\text{C}$	-58 $^\circ\text{C}$

Calculemos as quantidades de calor trocadas.

1) Calor recebido pelo calorímetro: $Q_1 = C \cdot \Delta\theta = 6 \cdot 24 \Rightarrow Q_1 = 144 \text{ cal}$

2) Calor recebido pelo líquido: $Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 85 \cdot x \cdot 24 \Rightarrow Q_2 = 2.040x$

3) Calor perdido pelo bloco de cobre: $Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 120 \cdot 0,094 \cdot (-58) \Rightarrow Q_3 = -654,24 \text{ cal}$

Pelo princípio geral das trocas de calor, é nula a soma das quantidades de calor trocadas ($Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$):

$$144 + 2.040x - 654,24 = 0 \Rightarrow 2.040x = 510,24 \Rightarrow x \approx 0,25 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

Resposta: $\approx 0,25 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 56** Colocam-se 500 g de ferro ($c = 0,1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) a 42°C num recipiente de capacidade térmica desprezível contendo 500 g de água ($c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) a 20°C . Determine a temperatura final de equilíbrio térmico.
- P. 57** Um bloco de alumínio ($c = 0,22 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) de massa 100 g é deixado no interior de um forno até entrar em equilíbrio térmico com ele. Logo ao ser retirado, é colocado em 4.400 g de água ($c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) a 30°C . A temperatura de equilíbrio térmico é 32°C . Determine a temperatura do forno.
- P. 58** Num calorímetro cuja capacidade térmica é $5,0 \text{ cal/}^\circ\text{C}$, inicialmente a 10°C , são colocados 300 g de um líquido de calor específico $0,20 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ na temperatura de 41°C .
- A que temperatura se estabelece o equilíbrio térmico?
 - Em seguida, coloca-se no calorímetro um bloco metálico de massa 500 g a 200°C e o novo equilíbrio térmico se estabelece a 60°C . Qual é o calor específico do metal de que é feito o bloco?
- P. 59** (ITA-SP) Na determinação do calor específico de um metal, aqueceu-se uma amostra de 50 g desse metal

a 98°C e a amostra aquecida foi rapidamente transferida para um calorímetro de cobre bem isolado. O calor específico do cobre é $0,093 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e a massa de cobre no calorímetro é de 150 g. No interior do calorímetro há 200 g de água, cujo calor específico é $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$. A temperatura do calorímetro e da água antes de receber a amostra aquecida era de $21,0^\circ\text{C}$. Após receber a amostra, e restabelecido o equilíbrio térmico, a temperatura atingiu $24,6^\circ\text{C}$. Determine o calor específico do metal em questão.

- P. 60** (Mackenzie-SP) Um calorímetro de capacidade térmica $40 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ contém 110 g de água (calor específico = $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) a 90°C . Que massa de alumínio (calor específico = $0,2 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$), a 20°C , devemos colocar nesse calorímetro para esfriar a água a 80°C ?
- P. 61** Um bloco de cobre ($c = 0,095 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) de massa 300 g é aquecido até a temperatura de 88°C . A seguir é colocado em 548 g de água ($c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$), contidos em um calorímetro de alumínio ($c = 0,22 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) que está à temperatura de 25°C . O equilíbrio térmico se estabelece a 28°C . Determine a massa do calorímetro.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

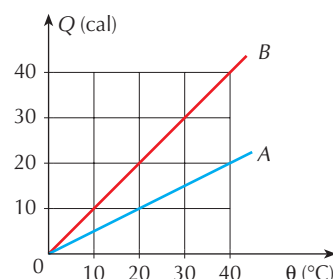
- P. 62** (F.M. Jundiaí-SP) A capacidade de um material absorver ou perder calor é uma propriedade característica desse material, conhecida como calor específico. A tabela fornece os valores do calor específico de alguns materiais, a 25°C e 1 atm.

Material	Calor específico a 25°C e 1 atm ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
Água	4,18
Etanol	2,44
Ferro	0,45

- Se iguais quantidades de água e de ferro ficarem expostas, durante o mesmo período de tempo, à mesma fonte de energia, qual ficará mais quente e alcançará temperatura mais elevada? Justifique.
- Para que as mesmas quantidades de água e de etanol sofram a mesma variação de temperatura em igual intervalo de tempo, deve ser fornecida maior ou menor quantidade de calor para a água? Justifique.

- P. 63** (UFPR) O gráfico mostrado na figura a seguir apresenta as quantidades de calor absorvidas por dois corpos A e B, cujas massas estão relacionadas por

$m_B = 30 m_A$, num intervalo em que a temperatura varia de 0°C a 40°C . Com base nesses dados, calcule a razão $\left(\frac{c_A}{c_B}\right)$ dos calores específicos das substâncias que compõem os corpos A e B, explicando como você obteve essa solução.



- P. 64** (Fuvest-SP) Um recipiente de vidro de 500 g e calor específico $0,20 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ contém 500 g de água cujo calor específico é $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$. O sistema encontra-se isolado e em equilíbrio térmico. Quando recebe uma certa quantidade de calor, o sistema tem sua temperatura elevada. Determine:
- a razão entre a quantidade de calor absorvida pela água e a recebida pelo vidro;
 - a quantidade de calor absorvida pelo sistema para uma elevação de $1,0^\circ\text{C}$ em sua temperatura.



P. 65 (UFPE) Considere que uma pequena boca de fogão a gás fornece tipicamente a potência de 250 cal/s. Supondo que toda a energia térmica fornecida é transmitida a 200 g de água, inicialmente a 30 °C, calcule o tempo, em segundos, necessário para que a água comece a ferver. Considere a pressão atmosférica de 1 atm e o calor específico da água igual a 1 cal/g · °C.

P. 66 (Fuvest-SP) Um recipiente contendo 3.600 g de água à temperatura inicial de 80 °C é posto num local onde a temperatura ambiente permanece sempre igual a 20 °C. Após 5 h o recipiente e a água entram em equilíbrio térmico com o meio ambiente. Durante esse período, ao final de cada hora, as seguintes temperaturas foram registradas para a água: 55 °C, 40 °C, 30 °C, 24 °C e 20 °C. Dado o calor específico da água ($c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$), pede-se:

- um esboço indicando valores nos eixos do gráfico da temperatura da água em função do tempo;
- em média, quantas calorias por segundo a água transferiu para o ambiente.

P. 67 (Unicamp-SP) Em um aquário de 10 ℓ, completamente cheio de água, encontra-se um pequeno aquecedor de 60 W. Sabendo-se que em 25 min a temperatura da água aumentou de 2 °C, pergunta-se:

- Que quantidade de energia foi absorvida pela água?
- Que fração da energia fornecida pelo aquecedor foi perdida para o exterior?

(Dados: calor específico da água = 1 cal/g · °C; densidade da água = 1 kg/ℓ; 1 cal = 4,0 J)

P. 68 (Unicamp-SP) Para resfriar um motor de automóvel, faz-se circular água por ele. A água entra no motor a uma temperatura de 80 °C com vazão de 0,4 ℓ/s, e sai a uma temperatura de 95 °C. A água quente é resfriada a 80 °C no radiador, voltando em seguida para o motor através de um circuito fechado.

- Qual é a potência térmica absorvida pela água ao passar pelo motor? Considere o calor específico da água igual a 4.200 J/kg · °C e sua densidade igual a 1.000 kg/m³.
- Quando um “aditivo para radiador” é acrescentado à água, o calor específico da solução aumenta para 5.250 J/kg · °C, sem mudança na sua densidade. Caso essa solução a 80 °C fosse injetada no motor em lugar da água, e absorvesse a mesma potência térmica, qual seria a sua temperatura na saída do motor?

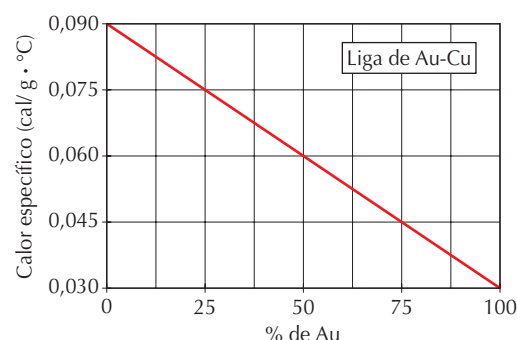
P. 69 (Unicamp-SP) Um escritório tem dimensões iguais a 5 m × 5 m × 3 m e possui paredes bem isoladas. Inicialmente a temperatura no interior do escritório é de 25 °C. Chegam então as 4 pessoas que nele trabalham, e cada uma liga seu microcomputador. Tanto a pessoa como o microcomputador dissipam em média 100 W cada, na forma de calor. O aparelho de ar condicionado instalado tem a capacidade de diminuir em 5 °C a temperatura do escritório em meia hora, com as pessoas presentes e os micros ligados. A eficiência do aparelho é de 50%. Considere o calor específico do ar igual a 1.000 J/kg · °C e sua densidade igual a 1,2 kg/m³.

- Determine a potência elétrica consumida pelo aparelho de ar condicionado.

b) O aparelho de ar condicionado é acionado automaticamente quando a temperatura do ambiente atinge 27 °C, abaixando-a para 25 °C. Quanto tempo depois da chegada das pessoas no escritório o aparelho é acionado?

P. 70 (Unicamp-SP) Desconfiada de que o anel que ganhara do namorado não era uma liga de ouro de boa qualidade, uma estudante resolveu tirar a dúvida, valendo-se de um experimento de calorimetria baseado no fato de que metais diferentes possuem diferentes calores específicos. Inicialmente, a estudante deixou o anel de 4,0 g por um longo tempo dentro de uma vasilha com água fervente (100 °C). Tirou, então, o anel dessa vasilha e o mergulhou em um outro recipiente, bem isolado termicamente, contendo 2,0 ml de água a 15 °C. Mediu a temperatura final da água em equilíbrio térmico com o anel. O calor específico da água é igual a 1,0 cal/g · °C, e sua densidade é igual a 1,0 g/cm³. Despreze a troca de calor entre a água e o recipiente.

- Sabendo-se que o calor específico do ouro é $c_{\text{Au}} = 0,03 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, qual deveria ser a temperatura final de equilíbrio se o anel fosse de ouro puro?
- A temperatura final de equilíbrio medida pela estudante foi de 22 °C. Encontre o calor específico do anel.
- A partir do gráfico e da tabela abaixo, determine qual é a porcentagem de ouro do anel e quantos quilates ele tem.



Liga de Au-Cu	
% de Au	Quilates
0	0
25	6
50	12
75	18
100	24

P. 71 (UFRJ) Em um calorímetro ideal, há 98 g de água a temperatura de 0 °C. Dois cubinhos metálicos são introduzidos no calorímetro. Um deles tem massa 8,0 g, calor específico 0,25 cal/g · °C e está à temperatura de 400 °C. O outro tem 10 g de massa, calor específico 0,20 cal/g · °C e está à temperatura de 100 °C. Posteriormente, esse último cubinho é retirado do calorímetro e verifica-se, nesse instante, que sua temperatura é 50 °C. Calcule a temperatura final de equilíbrio da água e do cubinho que permanece no calorímetro (dado: $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$).



P. 72 (Vunesp) Uma zelosa “mãe de primeira viagem” precisa preparar o banho do recém-nascido, mas não tem termômetro. Seu pediatra disse que a temperatura ideal para o banho é de 38 °C. Ela mora à beira-mar e acabou de ouvir, pelo rádio, que a temperatura ambiente é 32 °C. Como boa estudante de Física, resolve misturar água fervente com água à temperatura ambiente, para obter a temperatura desejada.

- Enuncie o princípio físico em que se baseia o seu procedimento.
- Suponha que ela dispõe de uma banheira com 10 litros de água à temperatura ambiente. Calcule qual é, aproximadamente, o volume de água fervente que ela deve misturar à água da banheira para obter a temperatura ideal. Admita desprezível o calor absorvido pela banheira e que a água não transborde.

P. 73 (UFG-GO) Um biólogo, querendo verificar se estava correta a temperatura indicada por sua estufa, fez a seguinte experiência:

- Colocou um objeto metálico na estufa. Após o equilíbrio térmico, colocou o objeto em uma

garrafa térmica (calorímetro de capacidade térmica desprezível) contendo 100 g de água a 20 °C. Mediu a temperatura de equilíbrio entre o objeto e a água e encontrou 31 °C.

- Colocou novamente na estufa dois objetos metálicos idênticos ao anterior. Após o equilíbrio térmico, colocou-os na garrafa térmica, contendo, novamente, 100 g de água a 20 °C. Mediu a nova temperatura de equilíbrio térmico entre os dois objetos e a água e encontrou 40 °C.

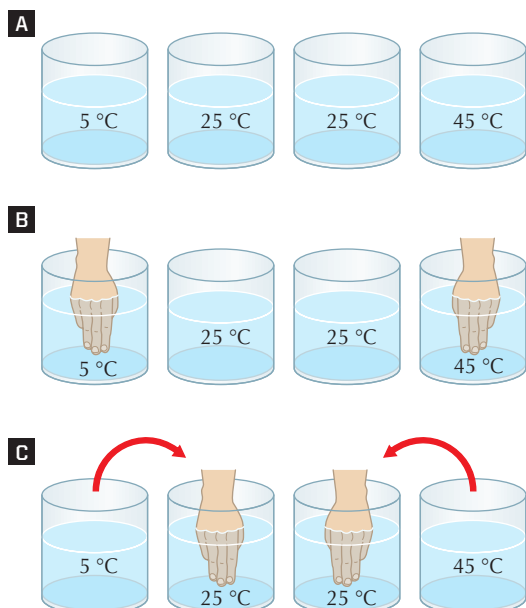
Admitindo-se que o indicador de temperatura da estufa estivesse funcionando corretamente, qual deveria ser a temperatura indicada na estufa?

P. 74 (UFU-MG) As temperaturas iniciais de uma massa m de um líquido A, $2m$ de um líquido B e $3m$ de um líquido C são respectivamente iguais a 60 °C, 40 °C e 20 °C. Misturando-se os líquidos A e C, a temperatura de equilíbrio é 30 °C; misturando-se os líquidos B e C, a temperatura de equilíbrio é 25 °C.

- Qual é a temperatura de equilíbrio, quando se misturam os líquidos A e B?
- Se o calor específico do líquido C é 0,5 cal/g · °C, qual é o calor específico do líquido B?

TESTES PROPOSTOS

T. 72 (UEPB) Considere a seguinte situação: Um aluno pegou quatro recipientes contendo água em temperaturas variadas. Em seguida mergulhou uma das mãos no recipiente com água fria (5 °C) e a outra mão no recipiente com água morna (45 °C). Após dois minutos, retirou-as e mergulhou imediatamente em outros dois recipientes com água a temperatura ambiente (25 °C), conforme a ilustração abaixo. Lembre-se de que a temperatura do corpo humano é de aproximadamente 36 °C.



Com base no exposto, julgue as afirmações a seguir.

- No recipiente com água fria ocorre transferência de energia na forma de frio da água fria para a mão; e no recipiente com água morna ocorre transferência de energia na forma de calor da água morna para a mão.
- No recipiente com água fria ocorre transferência de energia na forma de calor da mão para a água fria; e no recipiente com água morna ocorre transferência de energia na forma de calor da água morna para a mão.
- No recipiente com água fria ocorre transferência de energia na forma de trabalho da água fria para a mão; e no recipiente com água morna ocorre transferência de energia na forma de calor da água morna para a mão.
- No passo B (ver ilustração), a mão que sente a maior diferença de temperatura é a mão imersa na água fria. No passo C, apesar de a água dos recipientes estar a uma mesma temperatura (25 °C), a mão oriunda da água fria passa uma sensação de ser colocada em uma água morna; e a outra mão, uma sensação de água fria.

Estão corretas:

- apenas II, III e IV.
- apenas I, II e III.
- apenas II e IV.
- apenas I e IV.
- todas as alternativas.



T. 73 (Vunesp) A respeito da informação “O calor específico de uma substância pode ser considerado constante e vale $3 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ”, três estudantes, I, II e III, forneceram as explicações seguintes:

- Se não ocorrer mudança de estado, a transferência de 3 J de energia térmica para 1 g dessa substância provoca elevação de 1°C na sua temperatura.
- Qualquer massa em gramas de um corpo construído com essa substância necessita de 3 J de energia térmica para que sua temperatura se eleve de 1°C .
- Se não ocorrer mudança de estado, a transferência de 1 J de energia térmica para 3 g dessa substância provoca elevação de 1°C na sua temperatura.

Dentre as explicações apresentadas:

- apenas I está correta.
- apenas II está correta.
- apenas III está correta.
- apenas I e II estão corretas.
- apenas II e III estão corretas.

T. 74 (Ufes) Dois objetos, A e B, são constituídos do mesmo material e recebem a mesma quantidade de calor. Observa-se que a variação da temperatura do objeto A é o dobro da variação da temperatura do objeto B. Podemos, então, afirmar que:

- a capacidade térmica de B é o dobro da de A.
- o calor específico de B é o dobro do de A.
- a capacidade térmica de A é o dobro da de B.
- o calor específico de A é o dobro do de B.
- os dois objetos têm coeficiente de dilatação térmica diferente.

T. 75 (UCSal-BA) A massa, a temperatura e o calor específico de cinco amostras de materiais sólidos estão apresentados na tabela.

Amostra	Massa [g]	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Calor específico [$\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$]
1	10	80	0,20
2	20	70	0,10
3	15	80	0,10
4	30	60	0,05
5	20	50	0,20

Essas amostras são, simultaneamente, imersas em um recipiente com água, atingindo rapidamente o equilíbrio térmico a 30°C . Dentre essas, a que cedeu maior quantidade de calor para a água foi a amostra de número:

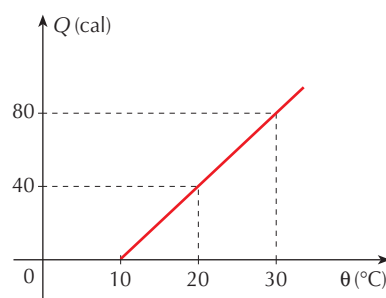
- 4
- 5
- 3
- 2
- 1

T. 76 (Mackenzie-SP) No laboratório de Física, um estudante observa que, fornecendo a mesma quantidade de calor a um corpo de 400 g de certa liga metálica e a uma massa de água líquida de 100 g ,

tanto o corpo metálico como a água sofrem igual variação de temperatura. Durante a experiência, não ocorre mudança do estado de agregação molecular das duas substâncias. Sendo $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ o calor específico da água, o calor específico da liga metálica é:

- $0,20 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $0,25 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $0,30 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $0,35 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $0,40 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

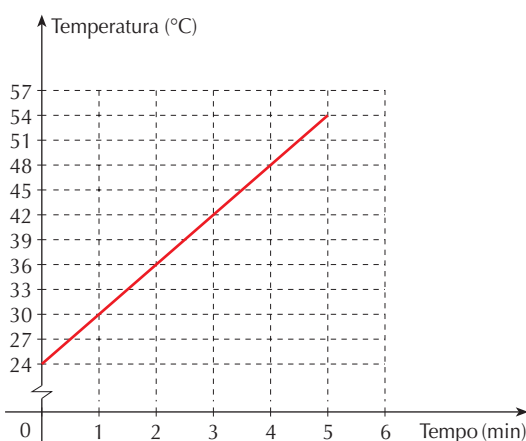
T. 77 (UFRRJ) Um estudante de Física Experimental fornece calor a um certo corpo, inicialmente à temperatura de 10°C . Ele constrói o gráfico indicado na figura, onde, no eixo vertical, registra as quantidades de calor cedidas ao corpo, enquanto, no eixo horizontal, vai registrando a temperatura do corpo.



Consideremos agora um outro corpo, com o dobro da massa do primeiro, feito da mesma substância e também inicialmente a 10°C . Com base no gráfico, podemos dizer que, fornecendo uma quantidade de calor igual a 120 calorias a esse outro corpo, sua temperatura final será de:

- 18°C
- 20°C
- 40°C
- 30°C
- 25°C

T. 78 (Vunesp) O gráfico representa a temperatura em função do tempo de um líquido aquecido em um calorímetro.

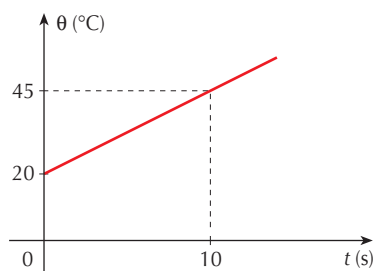


Considerando-se desprezível a capacidade térmica do calorímetro e que o aquecimento foi obtido através de uma resistência elétrica, dissipando energia à taxa constante de 120 W , a capacidade térmica do líquido vale:

- $12 \text{ J/}^\circ\text{C}$
- $20 \text{ J/}^\circ\text{C}$
- $120 \text{ J/}^\circ\text{C}$
- $600 \text{ J/}^\circ\text{C}$
- $1.200 \text{ J/}^\circ\text{C}$



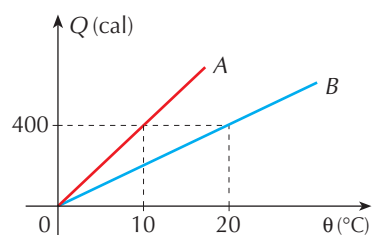
T. 79 (Uniupe-MG) Uma fonte térmica fornece 55 cal/s com potência constante. Um corpo de massa 100 g absorve totalmente a energia proveniente da fonte e tem temperatura variando em função do tempo, conforme o gráfico.



A capacidade térmica desse corpo e o calor específico da substância de que é constituído são, respectivamente, iguais a:

- 2,2 cal/°C e 0,022 cal/g · °C
- 2,2 cal/°C e 0,22 cal/g · °C
- 2,2 cal/°C e 2,2 cal/g · °C
- 22 cal/°C e 0,22 cal/g · °C
- 22 cal/°C e 0,022 cal/g · °C

T. 80 (UFSC) O gráfico representa a quantidade de calor absorvida por dois objetos, A e B, ao serem aquecidos, em função de suas temperaturas.



Observe o gráfico e assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

- 01) A capacidade térmica do objeto A é maior que a do objeto B.
- 02) A partir do gráfico é possível determinar as capacidades térmicas dos objetos A e B.
- 04) Pode-se afirmar que o calor específico do objeto A é maior que o do objeto B.
- 08) A variação de temperatura do objeto B, por calor absorvida, é maior que a variação de temperatura do objeto A, por calor absorvida.
- 16) Se a massa do objeto A for de 200 g, seu calor específico será 0,2 cal/g · °C.

Dê como resposta a soma dos números que precedem as afirmativas corretas.

T. 81 (UFG-GO) O cérebro de um homem típico, saudável e em repouso, consome uma potência de aproximadamente 16 W. Supondo que a energia gasta pelo cérebro em 1 min fosse completamente usada para aquecer 10 ml de água, a variação de temperatura seria de, aproximadamente:

Densidade da água: $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Calor específico da água: $4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

- 0,5 °C
- 2 °C
- 11 °C
- 23 °C
- 48 °C

T. 82 (UFF-RJ)

Duelo de Gigantes

O Rio Amazonas é o maior rio do mundo em volume de água, com uma vazão em sua foz de, aproximadamente, 175 milhões de litros por segundo. A usina hidrelétrica de Itaipu (foto) também é a maior do mundo, em operação. A potência instalada da usina é de $12,6 \times 10^9 \text{ W}$.

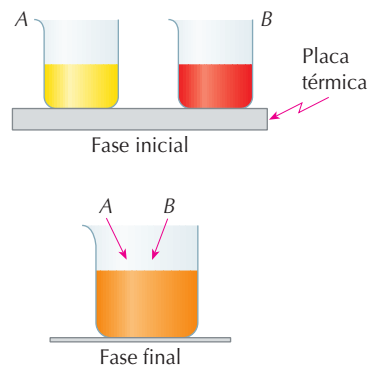


Suponha que toda essa potência fosse utilizada para aquecer a água que flui pela foz do Rio Amazonas, sem que houvesse perdas de energia. Nesse caso, a variação de temperatura dessa água, em graus Celsius, seria da ordem de:

- 10^{-2}
- 10^{-1}
- 10^0
- 10^1
- 10^2

Calor específico da água: $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
Densidade da água: $1,0 \text{ g/cm}^3$
 $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$

T. 83 (Fuvest-SP) Dois recipientes iguais A e B, contendo dois líquidos diferentes, inicialmente a 20 °C, são colocados sobre uma placa térmica, da qual recebem aproximadamente a mesma quantidade de calor. Com isso, o líquido em A atinge 40 °C, enquanto o líquido em B, 80 °C.



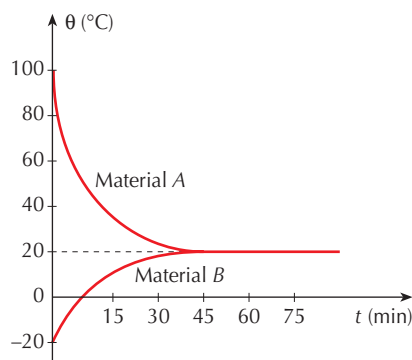
Se os recipientes forem retirados da placa e seus líquidos misturados, a temperatura final da mistura ficará em torno de:

- 45 °C
- 50 °C
- 55 °C
- 60 °C
- 65 °C

- T. 84** (ITA-SP) Numa cozinha industrial, a água de um caldeirão é aquecida de 10°C a 20°C , sendo misturada, em seguida, à água a 80°C de um segundo caldeirão, resultando 10ℓ de água a 32°C , após a mistura. Considere que haja troca de calor apenas entre as duas porções de água misturadas e que a densidade absoluta da água, de $1\text{ kg}/\ell$, não varia com a temperatura, sendo, ainda, seu calor específico $c = 1,0\text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. A quantidade de calor recebida pela água do primeiro caldeirão ao ser aquecida até 20°C é de:
- 20 kcal
 - 50 kcal
 - 60 kcal
 - 80 kcal
 - 120 kcal

- T. 85** (Mackenzie-SP) Em um experimento, dispõe-se de um bloco metálico de capacidade térmica $80\text{ cal}/^\circ\text{C}$, à temperatura de 100°C . Esse bloco é colocado no interior de um calorímetro de capacidade térmica $8\text{ cal}/^\circ\text{C}$, que contém 200 g de água ($c = 1\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$) a 20°C . Sabendo que o equilíbrio térmico ocorre a 40°C , podemos afirmar que a quantidade de energia térmica dissipada pelo calorímetro foi de:
- 280 cal
 - 340 cal
 - 480 cal
 - 520 cal
 - 640 cal

- T. 86** (UFC-CE) Uma quantidade m do material A, de calor específico desconhecido, foi posta em contato térmico com igual quantidade m do material B, cujo calor específico é $c_B = 0,22\text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$. Os materiais em contato foram isolados termicamente da vizinhança, e a temperatura de cada um foi medida ao longo do tempo até o equilíbrio térmico entre eles ser atingido. A figura mostra os gráficos de temperatura versus tempo, resultantes dessas medidas.



O calor específico c_A do material A vale:

- $0,44\text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $0,33\text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $0,22\text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $0,11\text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$
- $0,06\text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$

- T. 87** (Mackenzie-SP) Um calorímetro de capacidade térmica $5,0\text{ cal}/^\circ\text{C}$ contém 200 g de água (calor específico $= 1,0\text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$) a 20°C . Ao colocarmos um bloco metálico de 500 g à temperatura de 100°C no interior desse calorímetro, observamos que o sistema atinge o equilíbrio térmico a 60°C . O calor específico do metal que constitui esse bloco, em $\text{cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$, é:
- 0,30
 - 0,36
 - 0,41
 - 0,46
 - 0,52

- T. 88** (E. Naval-RJ) Um bloco metálico A encontra-se, inicialmente, à temperatura $\theta^\circ\text{C}$. Sendo colocado em contato com outro bloco B de material diferente, mas de mesma massa, inicialmente a 0°C , verifica-se, no equilíbrio térmico, que a temperatura dos dois blocos é de $0,75\theta^\circ\text{C}$. Supondo que só houve troca de calor entre os dois corpos, a relação entre os calores específicos dos materiais A e B $\left(\frac{c_A}{c_B}\right)$ é:
- $\frac{1}{4}$
 - 4
 - 0,4
 - 40
 - 3

- T. 89** (Fuvest-SP) Dois recipientes iguais, A e B, contêm, respectivamente, $2,0$ litros e $1,0$ litro de água à temperatura de 20°C . Utilizando um aquecedor elétrico, de potência constante, e mantendo-o ligado durante 80 s , aquece-se a água do recipiente A até a temperatura de 60°C . A seguir, transfere-se $1,0$ litro de água de A para B, que passa a conter $2,0$ litros de água à temperatura θ . Essa mesma situação final, para o recipiente B, poderia ser alcançada colocando-se $2,0$ litros de água a 20°C em B e, a seguir, ligando-se o mesmo aquecedor elétrico em B, mantendo-o ligado durante um tempo aproximado de:
- 40 s
 - 60 s
 - 80 s
 - 100 s
 - 120 s

A experiência de Joule

Para chegar ao equivalente mecânico do calor, James Prescott Joule realizou uma série de experiências. A mais conhecida delas, apresentada em 1845 numa monografia à Royal Society, consistia de uma série de pás girantes fixadas em torno de um eixo vertical, colocadas em uma cuba termicamente isolada do exterior, imersas em água.

O dispositivo utilizado por Joule está ilustrado, esquematicamente, na figura ao lado. O movimento de rotação das pás é obtido com o auxílio de um molinete, o qual é acionado pela queda de dois blocos. A velocidade de rotação do eixo vertical permanece praticamente constante, devido à grande resistência da água ao movimento das pás. Sendo assim, a energia cinética dos blocos também praticamente não varia durante a queda, mas a energia potencial deles é totalmente transformada em energia térmica; em consequência, a água se aquece. Utilizando-se um termômetro de precisão, mede-se a variação de temperatura sofrida pelo líquido.

Desse modo, sendo conhecido o peso P de cada bloco e a altura de queda H , é possível determinar a energia potencial E dos blocos à altura H :

$$E = 2P \cdot H$$

Sendo m a massa de água, c seu calor específico e $\Delta\theta$ a variação de temperatura, a quantidade de calor Q absorvida pela água no processo será dada por:

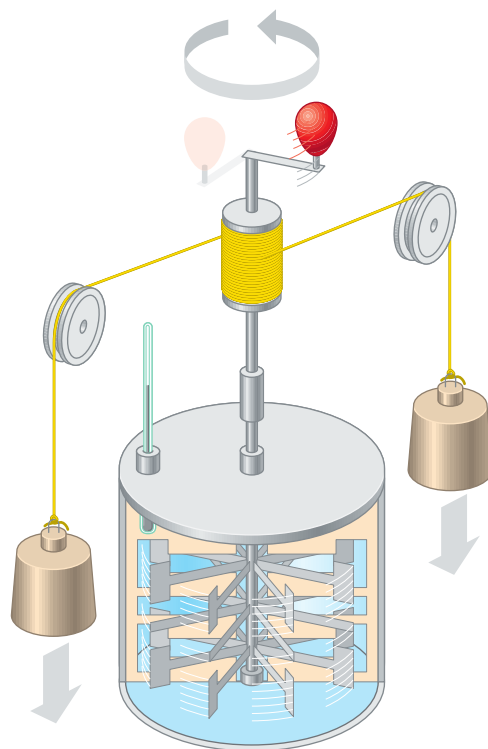
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Comparando as duas quantidades, é possível estabelecer a relação entre a unidade da energia mecânica (joule) e a unidade da quantidade de calor (caloria):

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

Originalmente, os pesos utilizados por Joule tinham 4 libras cada um, caíam de uma altura de 12 jardas e a velocidade de queda era de 1 pé por segundo. A operação foi repetida dezesseis vezes e a temperatura da água foi determinada com o auxílio de um termômetro sensível, capaz de detectar diferenças de temperatura de 1 centésimo de grau Fahrenheit. Todas essas unidades são do sistema inglês.

O valor do **equivalente mecânico do calor** (como então foi chamado) encontrado por Joule foi, em unidades de hoje, 4,15 joules* para 1 caloria — um valor bem aceitável para as condições em que os experimentos foram realizados. O valor exato dessa equivalência foi obtido posteriormente, fruto de experiências mais cuidadosamente conduzidas.



Reprodução proibida. Art.184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/joule/joule.htm> (acesso em julho/2009), você poderá reproduzir, por meio de uma simulação, a experiência de Joule, com a transformação de energia mecânica em calor.



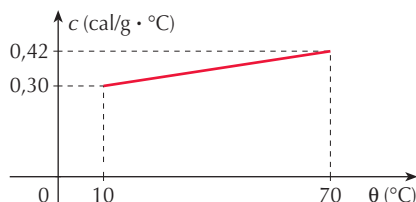
Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
Animação: A experiência de Joule

* O nome joule (J), que designa a unidade de energia no SI, foi atribuído em homenagem ao cientista, em 1889.

EXERCÍCIOS ESPECIAIS de Calorimetria

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R.26 O calor específico de uma substância no estado líquido varia com a temperatura, sob pressão constante, segundo o gráfico. Determine a quantidade de calor necessária para aquecer 50 g dessa substância entre 10 °C e 70 °C.



Solução:

Como o calor específico é variável, não se pode usar diretamente a equação fundamental da Calorimetria $Q = mc\Delta\theta$. No caso, como a variação do calor específico é linear com a temperatura, pode-se adotar no intervalo considerado o calor específico médio como a média aritmética dos valores extremos. Então:

$$c_M = \frac{0,30 + 0,42}{2} \Rightarrow c_M = 0,36 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

Aplica-se agora a equação fundamental da Calorimetria usando-se esse valor médio para o calor específico ($Q = m \cdot c_M \cdot \Delta\theta$).

Sendo $m = 50 \text{ g}$ e $\Delta\theta = 70^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$, temos:

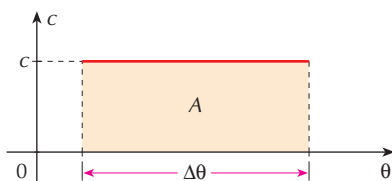
$$Q = 50 \cdot 0,36 \cdot 60 \Rightarrow Q = 1.080 \text{ cal}$$

Resposta: 1.080 calorias

Observação:

Outra solução (mais geral, pois pode ser usada mesmo que a variação do calor específico não seja linear) seria a utilização de uma propriedade do gráfico $c \times \theta$.

Se o calor específico fosse constante, teríamos o gráfico abaixo.



A área destacada, no intervalo de temperatura $\Delta\theta$, seria dada numericamente por:

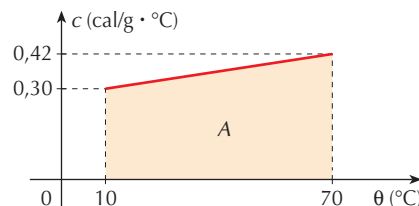
$$A = c \cdot \Delta\theta$$

Mas, da equação fundamental, obtemos:

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

Comparando: $A = \frac{Q}{m}$ (numericamente)

Essa propriedade pode ser generalizada para qualquer gráfico que forneça a variação do calor específico com a temperatura. Para o caso do problema apresentado:



$$A = \frac{Q}{m} = \frac{0,42 + 0,30}{2} \cdot (70 - 10) \Rightarrow \frac{Q}{m} = 0,36 \cdot 60 \Rightarrow \frac{Q}{50} = 21,6 \Rightarrow Q = 1.080 \text{ cal}$$

R.27

De que altura deve cair, partindo do repouso, um corpo de massa 2 kg, para que sua temperatura se eleve de 5 °C ao se chocar inelasticamente com o chão? Admita que somente o corpo absorva a energia térmica desprendida. O calor específico do material do corpo é 0,04 cal/g · °C. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$.

Solução:

A energia potencial gravitacional do corpo (E_p) em relação ao solo vai se converter totalmente em calor (Q) que aquece o corpo:

$$E_p = Q$$

Sendo $E_p = mgh$ e $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, vem:

$$mgh = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow h = \frac{c \cdot \Delta\theta}{g}$$

No entanto, para que essa fórmula possa ser usada, o calor específico deve ser expresso em $\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$. Assim:

$$c = 0,004 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,04 \cdot \frac{4 \text{ J}}{10^{-3} \text{ kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 160 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Portanto: } h = \frac{160 \cdot 5}{10} \Rightarrow h = 80 \text{ m}$$

Resposta: 80 m

R.28

Uma bala de chumbo de 5 g de massa move-se a uma velocidade de 40 m/s no instante em que se choca com uma parede, ficando nela incrustada. Supondo que toda a energia mecânica da bala tenha se convertido em calor que a aqueceu, determine sua elevação de temperatura (dados: calor específico do chumbo = 0,03 cal/g · °C; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$).

Solução:

A energia cinética da bala se converte, com o impacto, no calor que vai aquecê-la:

$$E_c = Q$$

Sendo $E_c = \frac{mv^2}{2}$ e $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, vem:

$$\frac{mv^2}{2} = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{v^2}{2c}$$

Para usar essa fórmula, o calor específico deve estar em $\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$. Então:

$$c = 0,03 \cdot \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,03 \cdot \frac{4,18 \text{ J}}{10^{-3} \text{ kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 125,4 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

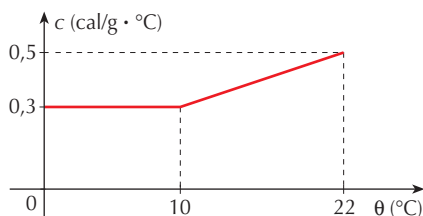
$$\text{Assim: } \Delta\theta = \frac{(40)^2}{2 \cdot 125,4} \Rightarrow \Delta\theta \approx 6,38^\circ\text{C}$$

Resposta: $\approx 6,38^\circ\text{C}$

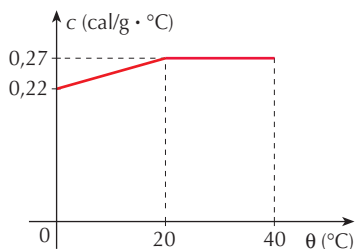


EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 75** Suponha que o calor específico de uma substância varie com a temperatura segundo o gráfico. Determine a quantidade de calor necessária para aquecer 60 g dessa substância no intervalo de temperaturas considerado.



- P. 76** Vamos supor que o calor específico de uma substância varie num certo intervalo de temperatura obedecendo ao gráfico abaixo.



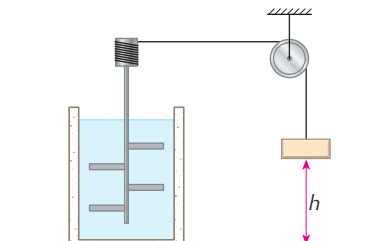
- Determine a quantidade de calor necessária para aquecer 150 g da substância de 0 a 40 °C.
- Qual é o calor específico médio da substância no intervalo de temperaturas considerado?

- P. 77** (Unifei-MG) As experiências básicas para a obtenção do equivalente mecânico da caloria foram realizadas durante um período de quase 30 anos pelo cervejeiro e cientista amador inglês James Prescott Joule. Mesmo em lua de mel, Joule foi encontrado, munido de um imenso termômetro, subindo ao topo de uma cachoeira. Queria verificar a diferença de temperatura que a água deveria apresentar, conforme seus cálculos, entre o início e o fim da queda (para as Cataratas do Niágara, ele estimou essa diferença em aproximadamente 0,2 °C). (Dados: $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$; $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- De que altura devem cair 10 g de água para que a sua temperatura aumente 1 °C? (admita que toda a energia potencial da água é transformada em energia interna quando a água se choca com o chão).
- E 100 g de água?

- P. 78** (Olimpíada Brasileira de Física) Uma bola de massa m , cuja velocidade inicial é $v_i = 20 \text{ m/s}$, sofre a ação de uma força aceleradora constante de 15 N, durante um percurso retilíneo de 10 m. Ao final do percurso a bola se choca inelasticamente com uma parede, produzindo, entre outros efeitos, deformação e calor. Suponha que apenas 50% da energia cinética da bola seja convertida em calor e que 75% deste calor seja absorvido pela bola. Se o calor específico da bola vale $0,2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e o aumento de temperatura da bola foi de 6 °C, qual é a massa da bola?

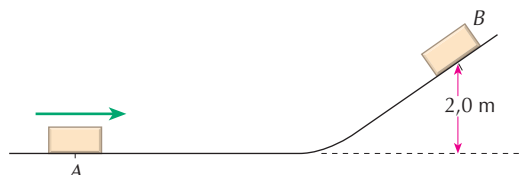
- P. 79** (AFA-SP) A figura apresenta o esquema simplificado da experiência de Joule. O bloco tem massa 10 kg e está a uma altura $h = 4,20 \text{ m}$. Quando ele cai, produz o movimento das pás, mergulhadas em 1 kg de água.



Supondo que toda a variação de energia potencial gravitacional do sistema foi transformada em calor, considerando $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine a variação de temperatura da água.

- P. 80** (UFRJ) Um recipiente de capacidade térmica desprezível contém 1 kg de um líquido extremamente viscoso. Dispara-se um projétil de $2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$ que, ao penetrar no líquido, vai rapidamente ao repouso. Verifica-se então que a temperatura do líquido sofre um acréscimo de 3 °C. Sabendo que o calor específico do líquido é $3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, calcule a velocidade com que o projétil penetra no líquido.

- P. 81** (Uerj) Um corpo de massa 2,0 kg é lançado do ponto A, conforme indicado na figura, sobre um plano horizontal, com uma velocidade de 20 m/s. Em seguida, sobe uma rampa até atingir uma altura máxima de 2,0 m, no ponto B (dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$).



Sabe-se que o calor gerado no processo foi todo absorvido pelo corpo e que um termômetro sensível ligado ao corpo acusa uma variação de temperatura de 1 °C.

- Determine o calor específico médio do material que constitui o corpo, em $\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Indique se a altura máxima atingida pelo corpo, caso não houvesse dissipação de energia, seria maior, menor ou igual a 2,0 m. Justifique sua resposta.

- P. 82** (Mackenzie-SP) Um martelo com 2 kg de massa é usado para golpear um bloco de chumbo de massa 5 kg, cuja temperatura se eleva de 20 °C a 30 °C após ter recebido 50 golpes. Admita que 80% da energia mecânica seja retida pelo chumbo. Determine:
- a altura de queda equivalente do martelo em cada golpe;
 - a velocidade do martelo no momento do golpe.
- (Dados: calor específico do chumbo = $0,031 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$)

