

Capítulo 23 – A Primeira Lei da Termodinâmica

23.1 – Calor: energia em movimento

Séculos XVII e XVIII = calor seria substância (“calórico”) ou movimento?



Antoine Lavoisier
(1743-1794)

Calor = substância fluida indestrutível que “preenche os poros” dos corpos e escoar do corpo quente para o frio

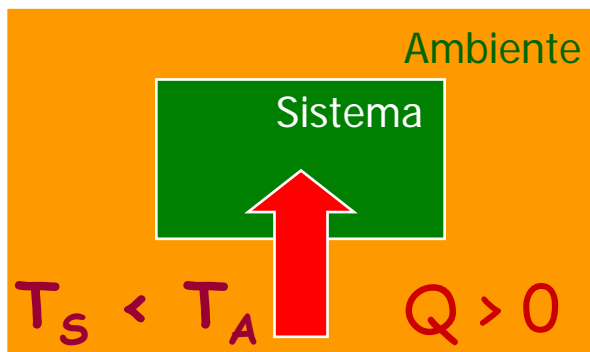
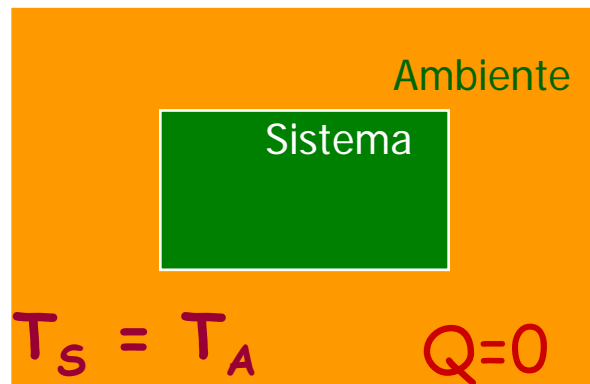
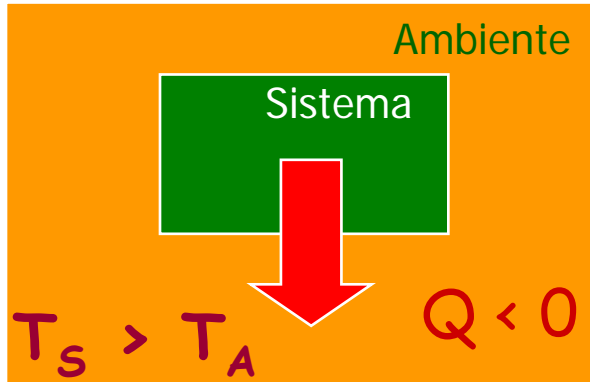


Francis Bacon
(1561-1626)

Calor = “Minúsculo movimento de vibração das partículas dos corpos” (Newton)

Saiba mais no livro do Moysés!

Calor flui entre dois corpos quando há diferença de temperatura entre eles



Convenção:

$Q > 0$: calor absorvido pelo sistema

$Q < 0$: calor liberado pelo sistema

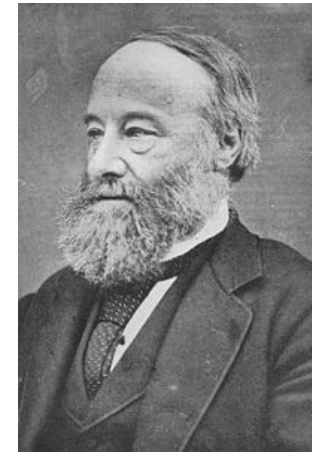
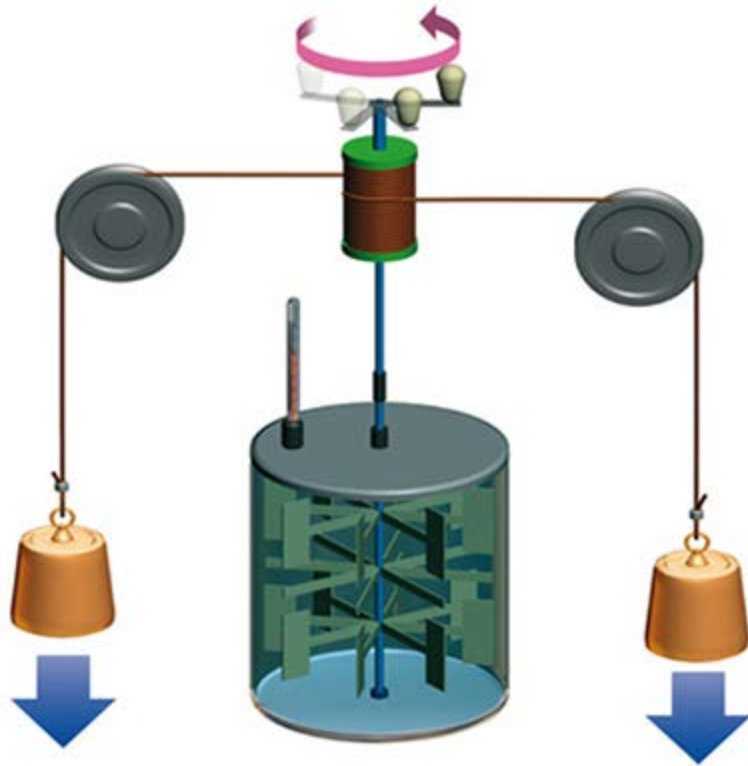
Unidades:

1 caloria (cal): quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1g de água de 14,5 °C para 15,5 °C

1 Btu ("British thermal unit") = 252,0 cal

1 cal = 4,1868 joules

Experimento de Joule: equivalente mecânico da caloria



James Joule
(1818-1889)

O trabalho realizado pelos pesos em queda aumenta a temperatura da água

Saiba mais em: http://pruffle.mit.edu/3.00/Lecture_04_web/node4.html

Exemplo: Na montagem de Joule, de que altura uma massa de 1 kg teria que cair para elevar a temperatura de 1 litro de água por 1 grau?

23.2 – Transporte de calor

Ar quente torna-se menos denso e sobe (há transporte de matéria)

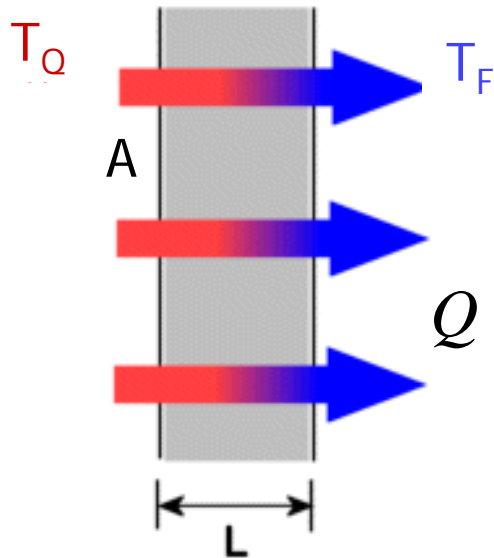


Agitação do movimento vibratório dos átomos ou dos elétrons é transmitida pelo sólido

Crédito da imagem:
<http://passingnebosh.com/fire/2008/01/01/element-2-principles-of-fire-and.html>

Energia é transmitida pelas ondas eletromagnéticas

Condução de calor

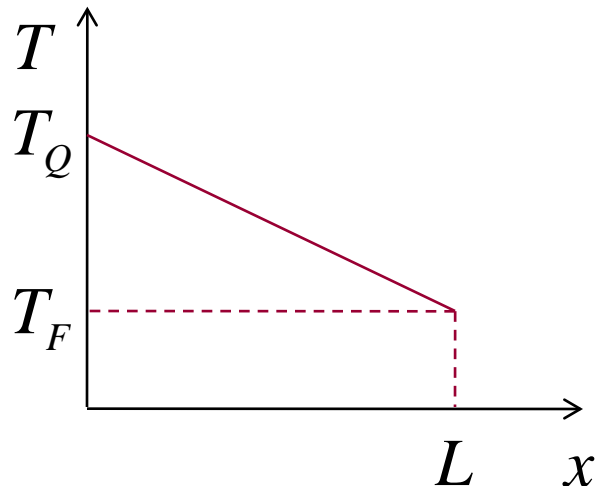


T_F e T_Q mantidas constantes
(contato com reservatórios)

H : taxa de transmissão de calor

Lei empírica:
$$H = \frac{Q}{\Delta t} = kA \frac{(T_Q - T_F)}{L}$$

k : condutividade térmica
(depende do material)



$$H = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

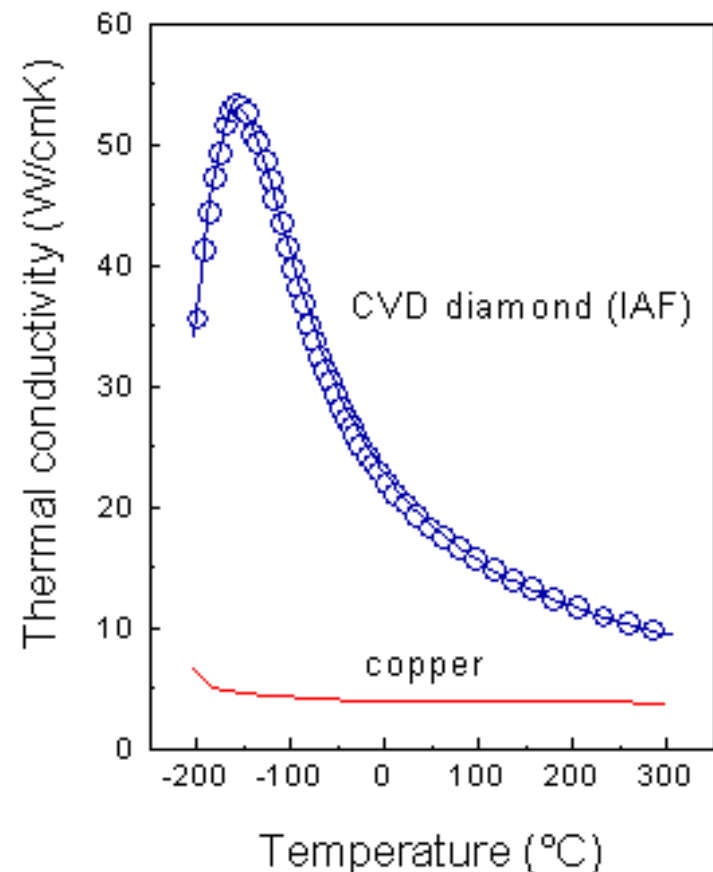
Gradiente de temperatura

Forma diferencial:
$$H = -kA \frac{dT}{dx}$$

TABELA 23-1 Algumas Condutividades Térmicas e Valores- R^a

Material	Condutividade k (W/m · K)	Valor- R (ft ² · F° · h/Btu)
Metais		
Aço inoxidável	14	0,010
Chumbo	35	0,0041
Alumínio	235	0,00061
Cobre	401	0,00036
Prata	428	0,00034
Gases		
Ar (seco)	0,026	5,5
Hélio	0,15	0,96
Hidrogênio	0,18	0,80
Materiais de Construção		
Espuma de poliuretano	0,024	5,9
Rock wool	0,043	3,3
Fibra de vidro	0,048	3,0
Pinho	0,14	1,0
Concreto	0,80	0,18
Vidro de janela	1,0	0,14

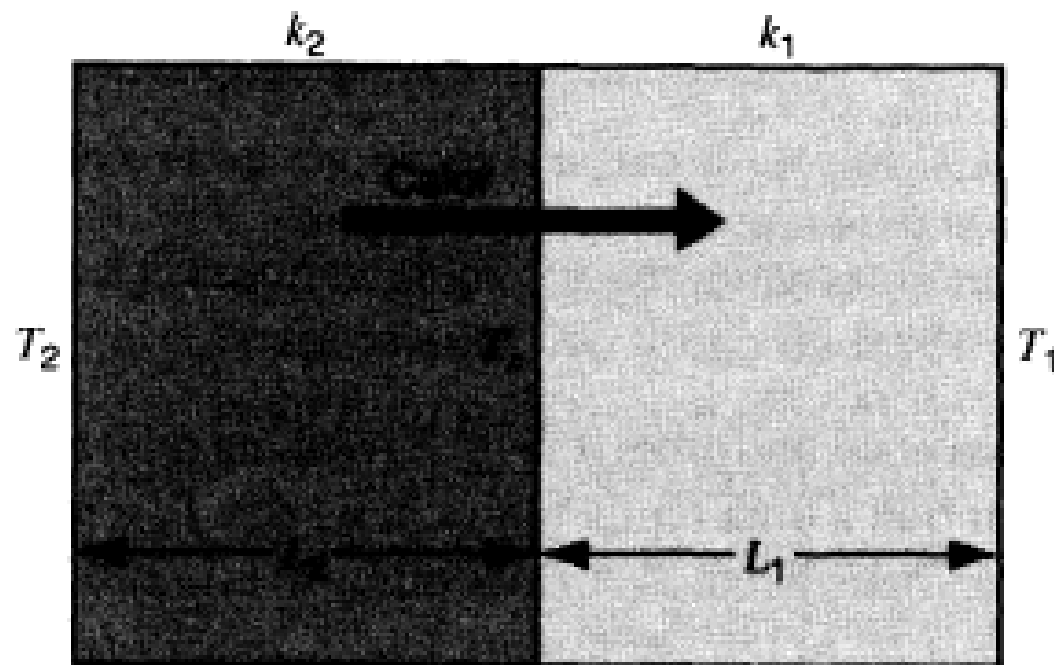
^aOs valores são para a temperatura ambiente. Note que os valores de k são dados nas unidades do SI e aquelas para R nas unidades inglesas costumeiras. Os valores- R são para uma lâmina de 1 in.



Nem sempre os metais são os melhores condutores térmicos...

PROBLEMA RESOLVIDO 23-1.

Considere uma placa composta de dois materiais com diferentes espessuras, L_1 e L_2 , e diferentes condutividades térmicas, k_1 e k_2 . Se as temperaturas das superfícies externas são T_1 e T_2 ($T_2 > T_1$), determine a taxa de transferência de calor através da placa composta (Fig. 23-5) em regime permanente.



5. A baixas temperaturas (abaixo de 50 K), a condutividade térmica de um metal é proporcional à temperatura absoluta; isto é, $k = aT$, onde a é uma constante com um valor numérico que depende do material. Mostre que a taxa de fluxo de calor através de uma haste de comprimento L e seção transversal A , cujas extremidades estão às temperaturas T_1 e T_2 , é dada por

$$H = \frac{aA}{2L} (T_1^2 - T_2^2).$$

(Ignore a perda de calor na superfície.)

23.4 – Capacidade térmica e calor específico

Capacidade térmica de um corpo: $C = \frac{Q}{\Delta T}$

Quanto maior a capacidade térmica, menor será a variação de temperatura para a mesma quantidade de calor (“inércia térmica”)

Unidades S.I.: J/K

A capacidade térmica é proporcional à massa

Calor específico: capacidade térmica por unidade de massa $c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\Delta T}$

Unidades S.I.: J/kg.K

Exemplo: água entre 14,5 e 15,5 celsius $c = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}}$

(pela definição de cal)

Calor específico molar: capacidade térmica por número de moles

TABELA 23-2 Capacidades Térmicas de Algumas Substâncias^a

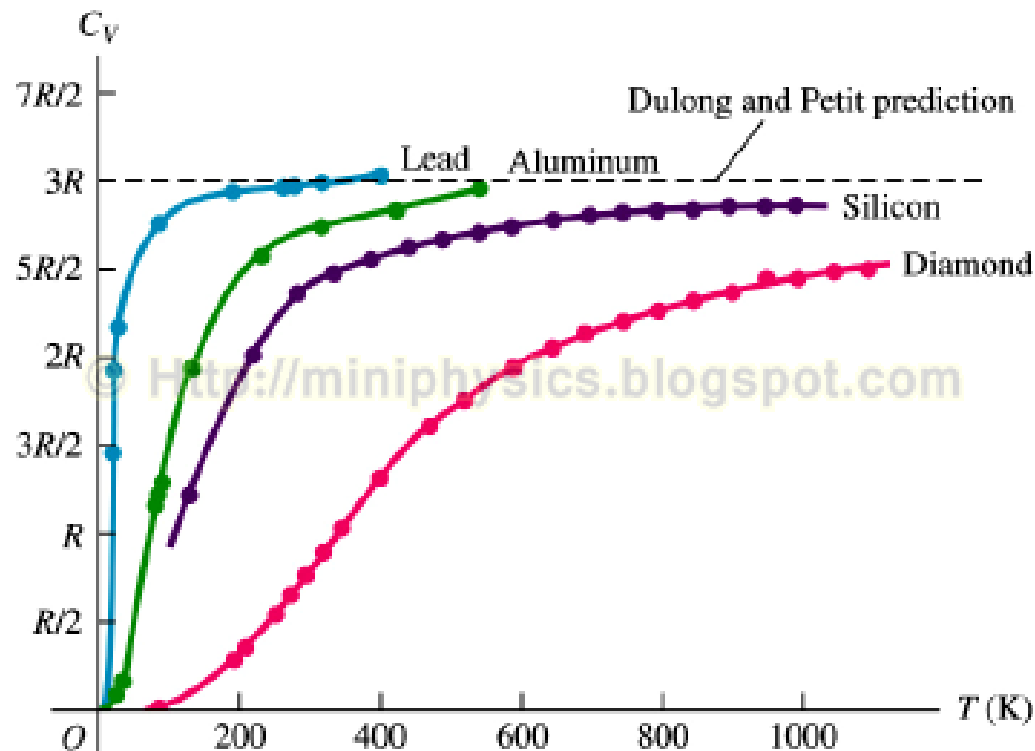
<i>Substância</i>	<i>Capacidade Térmica Específica</i> (J/kg · K)	<i>Capacidade Térmica Molar</i> (J/mol · K)
Sólidos em estado puro		
Chumbo	129	26,7
Tungstênio	135	24,8
Prata	236	25,5
Cobre	387	24,6
Carbono	502	6,02
Alumínio	900	24,3
Outros sólidos		
Latão	380	
Granito	790	
Vidro	840	
Gelo (−10°C)	2220	
Líquidos		
Mercúrio	139	
Álcool etílico	2430	
Água do mar	3900	
Água	4190	

^aMedidos à temperatura ambiente e à pressão atmosférica, exceto quando indicado.

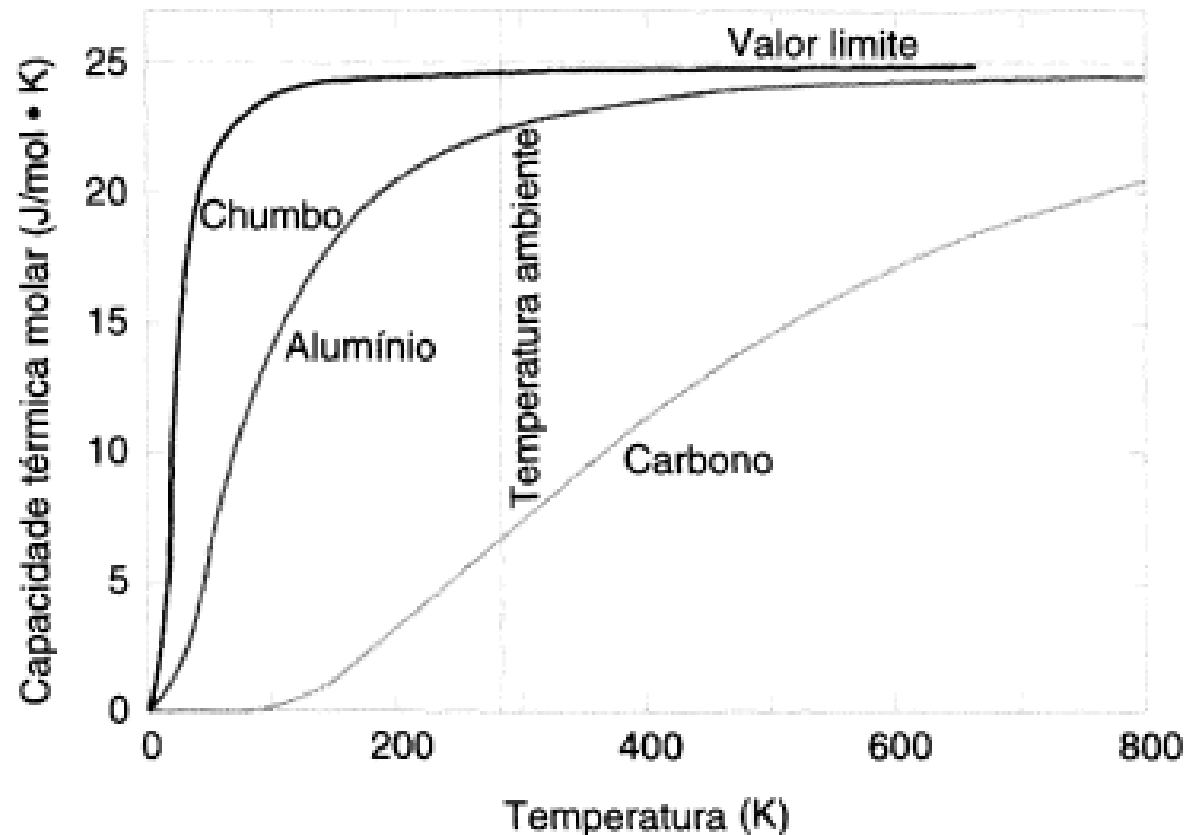
Em geral, o calor específico depende da temperatura:

$$dQ = mc(T)dT \Rightarrow Q = \int dQ = m \int_{T_i}^{T_f} c(T)dT$$

Calor específico dos sólidos:

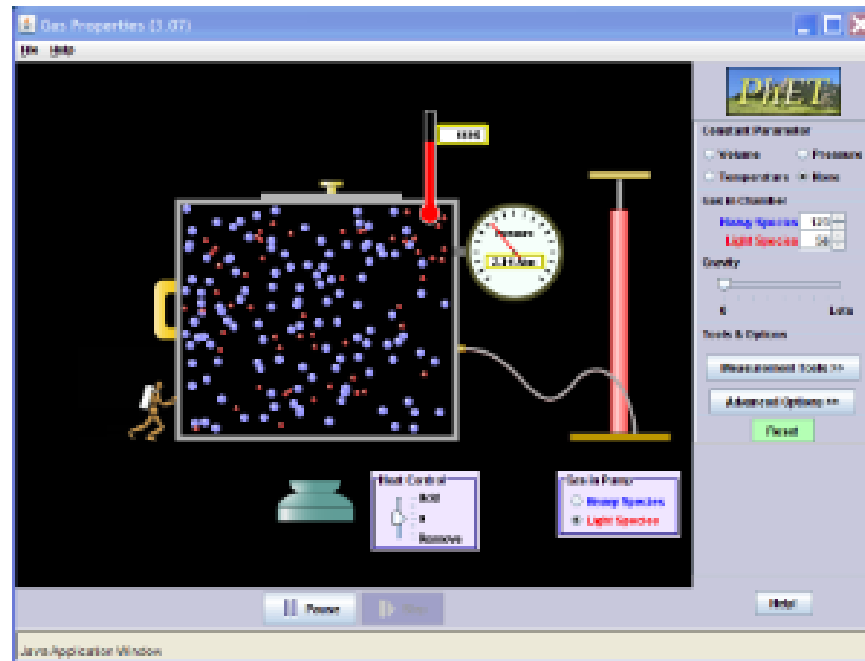


11. Da Fig. 23-11, estime a quantidade de calor necessário para elevar a temperatura de 0,45 mol de carbono de 200 para 500 K. (Sugestão: Aproxime a curva real nesta região por um segmento de linha reta.)



O calor específico depende também da forma como o calor é fornecidos.

Exemplo: calores específicos de um gás a volume constante e pressão constante são diferente



<http://phet.colorado.edu/en/simulation/gas-properties>

Calor de transformação (calor latente): durante uma transformação de fase, o calor é usado para quebrar (ou refazer) as ligações químicas, e com isso a temperatura permanece constante

$$Q = Lm \quad L: \text{ calor latente (por unidade de massa)}$$

TABELA 23-3 Alguns Calores de Transformação

<i>Substância^a</i>	<i>Ponto de Fusão (K)</i>	<i>Calor de Fusão (kJ/kg)</i>	<i>Ponto de Ebulição (K)</i>	<i>Calor de Vaporização (kJ/kg)</i>
Hidrogênio	14,0	58,6	20,3	452
Oxigênio	54,8	13,8	90,2	213
Mercúrio	234	11,3	630	296
Água	273	333	373	2256
Chumbo	601	24,7	2013	858
Prata	1235	105	2485	2336
Cobre	1356	205	2840	4730

^aAs substâncias estão listadas em ordem crescente dos pontos de fusão.

7. Uma pessoa faz uma porção de chá gelado misturando 520 g de chá quente (essencialmente água) a uma massa igual de gelo a 0°C . Qual a temperatura final e a massa de gelo remanescente, se o chá quente está inicialmente a uma temperatura de (a) $90,0^{\circ}\text{C}$ e (b) $70,0^{\circ}\text{C}$?

Questões

2. Forneça um exemplo de um processo no qual nenhum calor seja transferido para, ou do sistema, mas que a temperatura do sistema varie.
11. Qual a melhor forma de se usar uma colher para esfriar uma xícara de café? Mexendo — o que envolve a realização de trabalho — pode dar a impressão de que o café aqueceria em vez de esfriar.
14. Você põe a sua mão dentro de um forno quente para retirar um tabuleiro e queima os seus dedos no tabuleiro quente. No entanto, o ar dentro do forno está à mesma temperatura do tabuleiro, mas ele não queima os seus dedos. Por que não?