



Sala de estar equipada com itens fabricados a partir de diferentes materiais, incluindo condutores e isolantes térmicos.

A temperatura tem uma participação importante na possibilidade de vida em um determinado ambiente, e, juntamente com a pressão, é um fator determinante no estado de agregação das partículas de uma substância.

Nossas primeiras noções a respeito da temperatura dizem respeito a corpos mais quentes ou mais frios. Para as crianças, as diferenças de temperatura entre a água fervendo e os cubos de gelo parecem ser extremas, mas quando comparamos esse intervalo de temperatura com aquela dos fornos de fundição, das lavas de um vulcão ou do coração de uma estrela, compreendemos como nosso mundo era pequeno.

Aprendemos mais tarde que os corpos que interagem tendem a entrar em equilíbrio térmico, como o leite quente que esperamos esfriar ou o doce congelado que esperamos descongelar no ambiente.

Mas a rapidez da troca de calor, ou, mais precisamente, o fluxo de energia térmica, é aquilo que nossos sentidos apontam. Se largamos rapidamente um objeto frio, o desconforto é menor do que se segurarmos por mais tempo, assim como objetos muito quentes.

Agora, considere uma sala com vários móveis, roupas e outros objetos e as janelas abertas em um dia muito nublado e responda às questões a seguir.

- Considerando os fluxos de energia térmica, por que os objetos metálicos nos parecem mais frios ao tocá-los?
- E por que toalhas ou cobertores nos parecem mais quentes?

Energia térmica e temperatura

Nosso planeta é uma grande máquina térmica. A energia recebida do Sol faz a água evaporar e elevar-se na atmosfera; em seguida, a água retorna e põe em curso, junto a outros fatores, a manutenção da vida.

Embora pareça muito antiga, a ideia de temperatura e de energia térmica, nos moldes atuais, é uma concepção recente.

Para Georg Ernst Stahl (1659-1734), o calor era concebido como uma substância especial – o flogístico –, sem massa ou volume perceptíveis, que habitava o interior dos corpos, e muitas vezes o termo "calor" era confundido com temperatura. Essa teoria foi dominante por mais de 80 anos sendo somente refutada definitivamente pelos trabalhos de Antoine Lavoisier (1743-1794).

Em 1798, Benjamin Thompson (1753-1814), conhecido como Conde de Rumford, propôs uma explicação para o calor como resultado do trabalho mecânico realizado pelas forças de atrito. Ao usinar canhões, ele verificava o aquecimento das ferramentas. Nesse mesmo ano, James Prescott Joule (1818-1889) publicou um histórico artigo sobre o equivalente mecânico do calor, relacionando a energia térmica como grandeza mensurável, tal como a energia mecânica, e estabelecendo uma correspondência entre quantidade de calor e quantidade de energia.

Considere como sistema um bloco de ferro em repouso. Embora o corpo como um todo esteja em repouso, as partículas que o constituem estão em determinado grau de agitação e têm energia cinética.

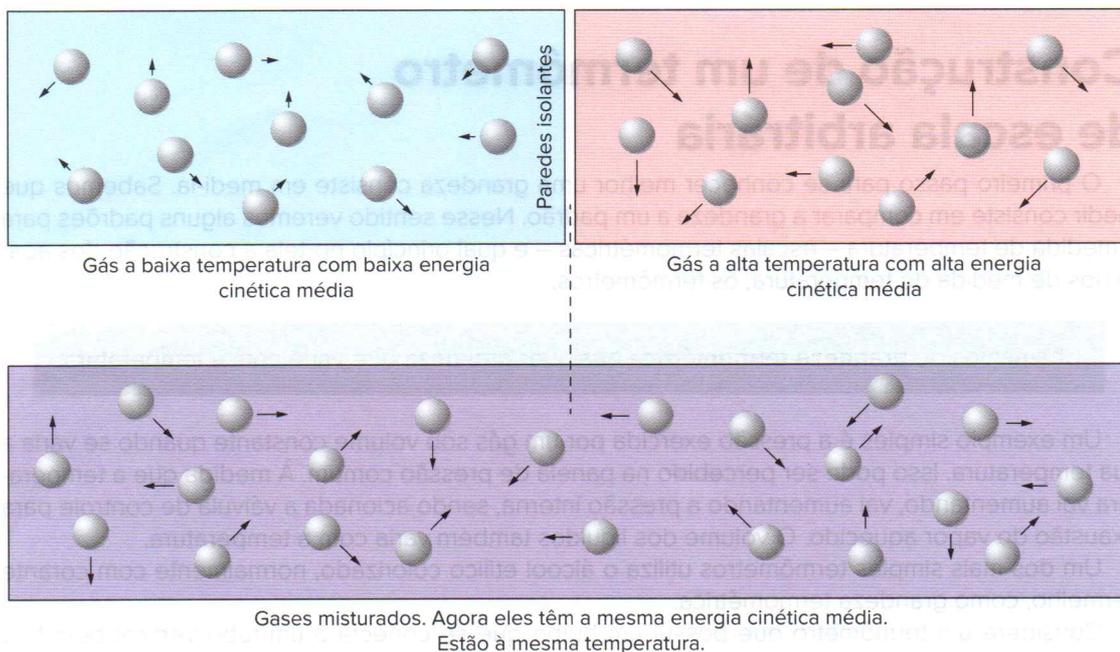
O somatório das energias cinéticas de todas as partículas é a energia térmica associada ao sistema.

Equilíbrio térmico

Quando dois corpos são colocados em contato, a energia térmica flui, em nível molecular, do corpo em que as partículas têm maior grau médio de agitação para o outro em que o grau médio de agitação é menor. Essa transferência de energia em nível microscópico cessa quando as partículas do primeiro corpo tiverem o mesmo grau médio de agitação que o segundo. Nessa situação final não há o corpo mais quente ou o corpo mais frio. Dizemos que os corpos estão em equilíbrio térmico.

É importante notar que podemos ter em equilíbrio térmico corpos de massas e dimensões muito diferentes. Na situação de equilíbrio térmico, as energias térmicas totais de cada corpo podem ser muito diferentes, mas, em média, todas as partículas terão o mesmo grau de agitação.

Foi essa concepção que possibilitou a interpretação simples e atual do significado da temperatura. Os termômetros já existiam antes de Joule, uma vez que Galileu construiu um no começo do século XVII, mas a Calorimetria era um ramo da Física não relacionado com a Mecânica.



Temperatura

A temperatura é uma medida da média das energias cinéticas das partículas que compõem o sistema.

No caso dos sólidos e dos líquidos, isso corresponde a uma vibração em torno da posição média da partícula, e, no caso dos gases, corresponde à translação dessas partículas. O valor médio desse grau de agitação é a temperatura do corpo.

Assim, se dois corpos estão em equilíbrio térmico, eles têm a mesma temperatura, independentemente do número total de partículas que cada um tenha. Essa conclusão justifica a lei zero da Termodinâmica.

A lei zero da Termodinâmica

Se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, então esses corpos estão em equilíbrio térmico entre si.

Colocamos o termômetro em contato com o primeiro corpo e esperamos o equilíbrio térmico. Atingido o equilíbrio, lemos a temperatura no termômetro.

Perceba que estamos lendo a temperatura do termômetro em si e, pelo conceito de equilíbrio térmico, concluímos que essa também é a temperatura do corpo. Como ele está em equilíbrio térmico com o segundo corpo, então a temperatura deste será a mesma.

Suponha que a temperatura ambiente sob a sombra seja $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Então você toca em uma torneira metálica e tem uma sensação térmica diferente daquela que teve quando tocou em uma toalha, seca, embora os dois objetos estejam em equilíbrio térmico com o ambiente. Então, qual é o motivo dessa diferença de sensação térmica?

Considerando a temperatura de nosso corpo $36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, quer você toque na toalha ou na torneira, a sua mão vai ceder calor, pois estará em contato com um corpo mais frio. Entretanto, como os metais são bons condutores de calor, você vai ceder calor muito mais rápido à torneira do que à toalha e as sensações serão diferentes. Vemos que não somos imparciais para avaliar a temperatura dos corpos, por isso precisamos de um termômetro.

Há mais fatores práticos que impõem a necessidade do termômetro. Por exemplo, saber se um paciente está febril, regular o conforto térmico de um ambiente ou controlar as condições de um forno de fundição.

Para comparar estados térmicos, elaboramos uma escala termométrica.

Construção de um termômetro de escala arbitrária

O primeiro passo para se conhecer melhor uma grandeza consiste em medi-la. Sabemos que medir consiste em comparar a grandeza a um padrão. Nesse sentido veremos alguns padrões para a medida de temperatura – escalas termométricas – e qual princípio norteia a construção dos aparelhos de medida de temperatura, os termômetros.

Chamamos de **grandeza termométrica** qualquer grandeza que varie com a temperatura.

Um exemplo simples é a pressão exercida por um gás sob volume constante quando se varia a sua temperatura. Isso pode ser percebido na panela de pressão comum. À medida que a temperatura vai aumentando, vai aumentando a pressão interna, sendo acionada a válvula de controle para exaustão do vapor aquecido. O volume dos líquidos também varia com a temperatura.

Um dos mais simples termômetros utiliza o álcool etílico colorizado, normalmente com corante vermelho, como grandeza termométrica.

Considere um termômetro que possui um bulbo que se conecta a um tubo vertical bem fino (capilar), conforme ilustra a figura ao lado.



O uso do capilar visa aumentar a precisão das medidas. Pequenas variações no volume do bulbo, provocadas pelas variações de temperatura, vão acarretar grandes variações na altura da coluna de líquido dentro do tubo capilar. Em seguida, o termômetro precisa ser calibrado, escolhendo-se estados térmicos bem definidos.

A relação entre a grandeza termométrica e a temperatura deve ser tal que a cada valor da grandeza corresponda uma única temperatura. Matematicamente, a função que relaciona a grandeza com a temperatura deve ser injetora.

A medida da temperatura de um corpo é feita, indiretamente, pelo efeito provocado na grandeza termométrica quando em equilíbrio térmico com o corpo.

Escolhida a grandeza termométrica, como a variação do volume do álcool do exemplo, podemos definir os procedimentos para a obtenção de uma escala termométrica:

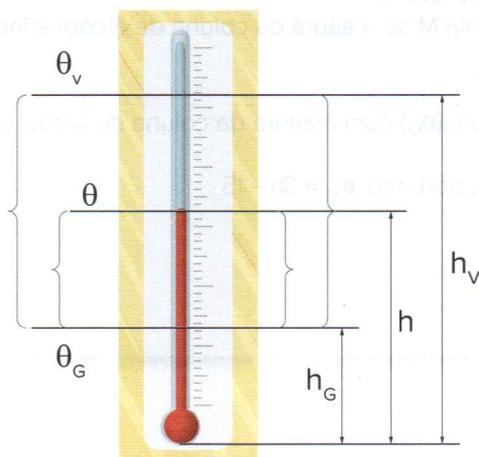
- Primeiramente, o dispositivo é colocado em contato com dois estados térmicos diferentes. Aguardando-se o equilíbrio térmico, são então atribuídos números que representem cada um desses estados. Geralmente, os dois estados térmicos, denominados **pontos fixos**, utilizados são a ebulição da água e a fusão do gelo, ambos sob pressão de 1 atm.

Pontos fixos para calibração do termômetro	
<p>Água e gelo em equilíbrio térmico</p> 	<p>Água e vapor de água em equilíbrio térmico</p> 

Em seguida, definimos:

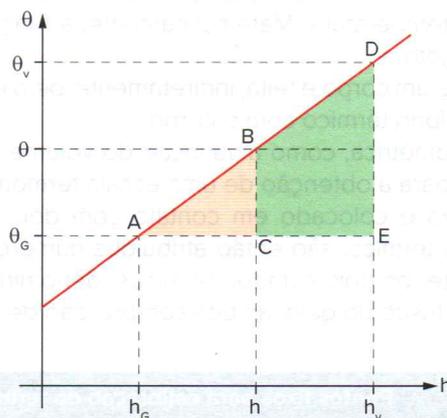
- θ_G , é o número atribuído ao ponto de fusão do gelo, que corresponde ao comprimento h_G da coluna de álcool;
- θ_V , é o número atribuído ao ponto de ebulição da água, que corresponde ao comprimento h_V da coluna de álcool (ver figura).

O intervalo entre os dois pontos fixos ($h_V - h_G$) é dividido por $(\theta_V - \theta_G)$, obtendo-se partes iguais e unitárias. Cada unidade recebe o nome de **grau da escala**.



Construção de uma escala termométrica.

- Finalmente, relacionamos os valores da grandeza termométrica (comprimento h da coluna de álcool) com os valores da temperatura (θ) através de uma função termométrica. Como nessa escolha a grandeza termométrica varia linearmente com a temperatura, a relação entre elas obedece a uma função de primeiro grau (função afim). Com ela, fazemos as marcações da escala.



A relação entre a temperatura (θ) e a grandeza termométrica (h) é uma função afim.

A semelhança dos triângulos ABC e ADE, mostrados na figura, nos permite obter a função termométrica ao escrever:

$$\frac{\theta - \theta_G}{\theta_V - \theta_G} = \frac{h - h_G}{h_V - h_G}$$

A função termométrica é a relação entre a grandeza termométrica (h) e a temperatura (θ).

QUESTÃO RESOLVIDA ✓

1 Um estudante, de nome Marcelo, resolveu criar uma escala termométrica (escala M) usando um velho termômetro de álcool com a escala totalmente apagada. Ele colocou o termômetro em equilíbrio térmico com gelo fundente e anotou a altura atingida pela coluna de álcool: 5,0 cm. A esse ponto ele atribuiu 0 °M. Em seguida, em equilíbrio térmico com água em ebulição sob pressão atmosférica normal, anotou a altura de 25 cm, atribuindo a esse ponto 60 °M.

- Qual é a função termométrica dessa escala M?
- Qual é o valor da temperatura na escala M se a altura da coluna de álcool atingir o valor de 17 cm?

Resolução:

a) A equação que relaciona a temperatura (θ_M) com a altura da coluna de álcool (h) é dada por:

$$\frac{\theta_M - 0}{60 - 0} = \frac{h - 5,0}{25 - 5,0} \Rightarrow \theta_M = \frac{60}{20}(h - 5,0), \text{ portanto } \theta_M = 3h - 15$$

b) Para $h = 17$ cm, temos:

$$\theta_M = 3 \cdot 17 - 15 \Rightarrow \theta_M = 36 \text{ °M}$$

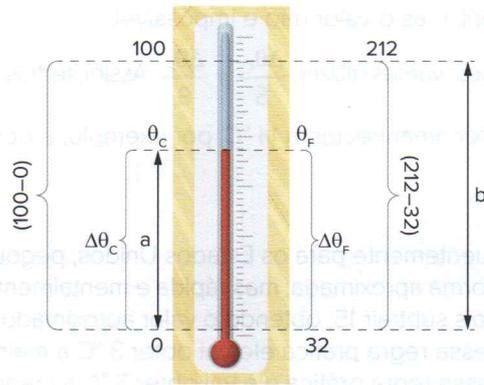
Escalas Celsius e Fahrenheit

Vejam, agora, as escalas termométricas de maior uso cotidiano. A escala de temperatura adotada pela maioria dos países é a escala Celsius, construída em 1742 por Anders Celsius (1701-1744). Essa escala adota para o ponto de fusão do gelo o valor 0 (zero) e, para o ponto de ebulição da água sob pressão normal, o valor 100 (cem). Em ambos os casos, a pressão é de 1 atm. O intervalo obtido entre os dois pontos fixos é dividido em cem partes iguais e cada parte corresponde à unidade da escala, denominada **grau Celsius (°C)**.

A escala Fahrenheit foi construída em 1727 por Daniel G. Fahrenheit (1686-1736). Originalmente, ele utilizou como primeiro ponto fixo uma mistura de água, gelo e sal, para a qual atribuiu o valor 0 (zero) e, como segundo ponto fixo, utilizou uma temperatura próxima à do corpo humano, para o qual atribuiu o valor 100 (cem).

Vamos colocar as escalas °C e °F lado a lado, como de fato acontece em alguns termômetros que permitem leituras nas duas escalas. Verificando os pontos fixos escolhidos por Celsius na escala Fahrenheit, obtemos os valores: 32 °F para o ponto de fusão do gelo e 212 °F para o ponto de ebulição da água. Assim, na escala Fahrenheit, o intervalo entre esses dois pontos fixos é dividido em 180 partes (212 – 32). Cada parte corresponde à unidade da escala, denominada grau Fahrenheit (°F).

A conversão de temperaturas entre as escalas é feita através da comparação dos segmentos **a** e **b** da grandeza termométrica, que correspondem aos mesmos estados térmicos, como indica a figura seguinte.



Podemos estabelecer a proporção:

$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta\theta_C}{100 - 0} = \frac{\Delta\theta_F}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\Delta\theta_C}{100} = \frac{\Delta\theta_F}{180}$$

Da relação acima, obtemos:

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$$

Como $\Delta\theta_C = \theta_C - 0$ e $\Delta\theta_F = \theta_F - 32$, obtemos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

A primeira expressão, $\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$, é utilizada quando queremos comparar somente as variações de temperatura. Já a segunda expressão nos fornece diretamente a comparação entre as temperaturas propriamente ditas.

QUESTÕES RESOLVIDAS ✓

2 Estamos tão habituados com a escala Celsius que os valores apresentados na escala Fahrenheit nos parecem muito estranhos. Considere os seguintes exemplos:

- Você está se preparando para sair de casa e ouve no rádio que a temperatura ambiente é 23 °F. É recomendável sair sem agasalho?
- O médico informa que o paciente está muito febril, com temperatura de 102,2 °F. É possível uma febre como essa?
- Uma pessoa afirma que a variação de temperatura em determinado dia foi muito expressiva, totalizando 27 °F. Quanto foi essa variação na escala Celsius?

Resolução:

- a) Vamos utilizar a expressão de conversão das escalas: $\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$. Temos: $\frac{\theta_C}{5} = \frac{23 - 32}{9} \Rightarrow \theta_C = -5 \text{ }^\circ\text{C}$.

A temperatura está muito baixa. É recomendável sair bem agasalhado.

- b) Utilizando a conversão, temos $\frac{\theta_C}{5} = \frac{102,2 - 32}{9} \Rightarrow \theta_C = 39 \text{ }^\circ\text{C}$.

Realmente, o paciente está muito febril, mas o valor não é impossível.

- c) Para comparar simplesmente as variações, vamos utilizar: $\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$. Assim, temos: $\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{27}{9} \Rightarrow \Delta\theta_C = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

É uma variação possível. O dia pode ter amanhecido a 14 °C, por exemplo, e depois a temperatura atingiu 29 °C.

3 Um brasileiro, habituado a viajar frequentemente para os Estados Unidos, pegou de um amigo a dica para converter temperaturas de °F para °C de forma aproximada, mas rápida e mentalmente. A dica era pegar o valor da temperatura em °F, dividir por 2 e depois subtrair 15, obtendo o valor aproximado da temperatura em °C.

- Em qual temperatura, em °F, ao usar essa regra prática ele vai obter 3 °C a mais do que o valor correto?
- Em qual temperatura, em °F, ao usar essa regra prática ele vai obter 3 °C a menos do que o valor correto?

Resolução:

- a) A transformação exata é descrita pela equação:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}, \text{ logo } \theta_C = \frac{5 \cdot (\theta_F - 32)}{9} \quad (I)$$

Com a regra de aproximação, ele obteve 3 °C a mais, isto é:

$$\theta_C + 3 = \frac{\theta_F}{2} - 15 \Rightarrow \theta_C = \frac{\theta_F}{2} - 18 \quad (II)$$

Igualando-se as expressões I e II, obtemos:

$$\frac{5 \cdot (\theta_F - 32)}{9} = \frac{\theta_F}{2} - 18$$

$$10 \cdot \theta_F - 320 = 9 \cdot \theta_F - 324$$

$$\theta_F = -4 \text{ }^\circ\text{F}$$

Em °C essa temperatura é -20 °C. Pela regra prática daria -17 °C (confira).

- b) Vamos acompanhar a sequência da resolução do item (a).

$$\theta_C = \frac{5 \cdot (\theta_F - 32)}{9} \quad (I)$$

Com a regra de aproximação, ele obteve 3 °C a menos, isto é:

$$\theta_C - 3 = \frac{\theta_F}{2} - 15 \Rightarrow \theta_C = \frac{\theta_F}{2} - 12 \quad (\text{II})$$

Logo:

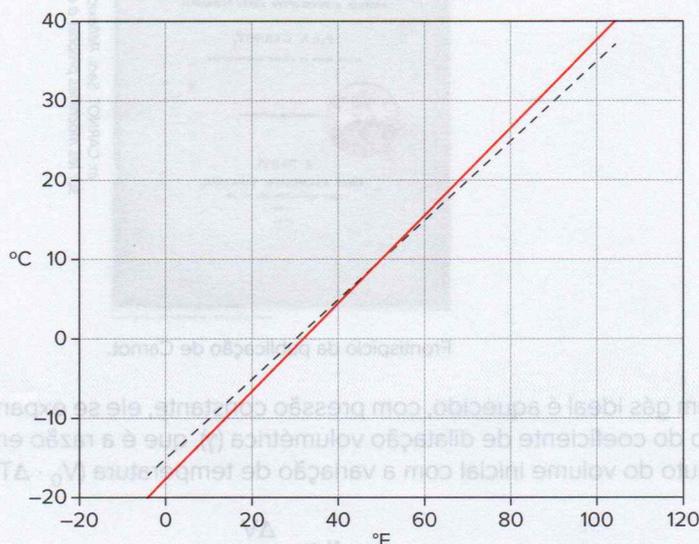
$$\frac{5 \cdot (\theta_F - 32)}{9} = \frac{\theta_F}{2} - 12$$

$$10 \cdot \theta_F - 320 = 9 \cdot \theta_F - 216$$

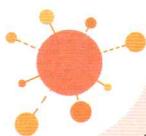
$$\theta_F = 104 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Em °C essa temperatura é 40 °C. Pela regra prática daria 37 °C (verifique).

O gráfico abaixo mostra a comparação entre a escala exata (linha vermelha cheia) e a aproximação (linha azul pontilhada).



Pelo gráfico, vemos que a aproximação, em temperaturas ordinárias, é muito boa.



CONECTANDO

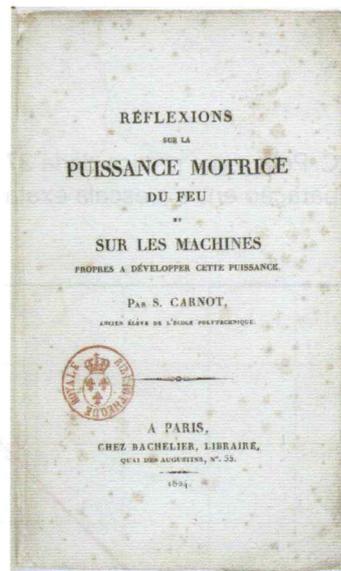
A questão resolvida 3 apresenta uma regra prática para conversão de temperaturas entre as unidades °C e °F. Essa regra é bastante funcional. Existe uma temperatura na qual ela dá o valor exato. Que valor é esse?

Uma escala absoluta: a escala Kelvin

O cenário é o começo do século XIX, no início da Primeira Revolução Industrial, e as máquinas a vapor se espalhavam pela Europa, sobretudo na Inglaterra, na França e na Alemanha. O carvão mineral, de difícil combustão em condições ordinárias, libera grande quantidade de calor, se for superalimentado com oxigênio através de foles. Esse carvão era extraído de minas, que se aprofundavam cada vez mais, e havia o problema de os poços de escavação se encherem de água, que precisava ser retirada. Antes das máquinas a vapor, esse processo era realizado com tração animal, mas Watt construiu uma máquina movida a carvão mineral que realizava essa tarefa muito mais rápido e com menor custo.

O aumento de disponibilidade de carvão mineral encorajou os fabricantes de máquinas a vapor a produzirem mais máquinas, que por sua vez aumentavam mais ainda a disponibilidade do carvão, incrementando a mineração.

Na França, em 1824, o jovem engenheiro Nicolas Sadi Carnot publicou às suas expensas 600 exemplares de um trabalho sobre potência motriz do fogo, usando um modelo de gás ideal para avaliar qual seria o rendimento máximo possível em uma máquina térmica, que seria a inspiração para uma escala universal.



In: CARNOT, Sadi. *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* [...]. Paris: Chez Bachelier, 1824.

Frontispício da publicação de Carnot.

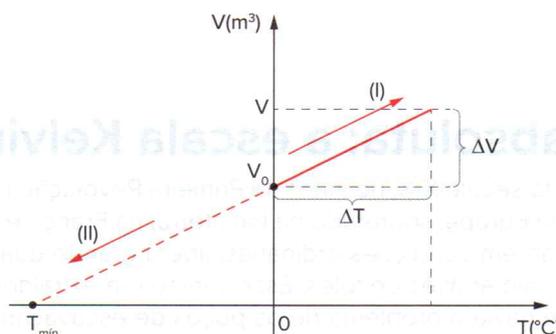
Quando um gás ideal é aquecido, com pressão constante, ele se expande. Essa expansão é medida por meio do coeficiente de dilatação volumétrica (γ), que é a razão entre a variação de volume (ΔV) e o produto do volume inicial com a variação de temperatura ($V_0 \cdot \Delta T$), isto é:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta T}$$

As medidas do coeficiente de dilatação dos gases em geral, em condições comparáveis às do modelo de gás ideal, apontavam que todos tinham, a 0 °C, o mesmo coeficiente de dilatação volumétrica em relação à temperatura, isto é:

$$\gamma = \frac{1}{273,15} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Essas medidas são feitas sob pressão constante. Observe o gráfico seguinte.



Em termos de equação termométrica, o volume é a grandeza termométrica.

No gráfico apresentado, as atenções estavam mais voltadas para a expansão do volume com o aumento de temperatura (seta I), mas por que não especular sobre a contração (seta II)?

Qual seria a menor temperatura possível nesse modelo de gás ideal?

Se a grandeza termométrica é o volume, o menor valor possível corresponde ao volume nulo. Como o coeficiente de dilatação era bem conhecido experimentalmente, bastava aplicar a definição do coeficiente e considerar uma **extrapolação** de $T_{\text{mín}}$ até $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, representada pela linha pontilhada no gráfico.

Assim, podemos fazer:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta T} \Rightarrow \frac{V_0 - 0}{V_0 \cdot (0 - T_{\text{mín}})} = \frac{1}{273,15}$$

$$\frac{1}{-T_{\text{mín}}} = \frac{1}{273,15} \Rightarrow$$

$$T_{\text{mín}} = -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temos a menor **temperatura possível para o gás ideal**, mas quem garante que essa é a menor temperatura possível para um tijolo, por exemplo?

Mais de 20 anos depois da publicação de Carnot, o cientista inglês William Thomson, que nascera no ano da publicação de Carnot, no outro lado do canal da Mancha, retomou esse trabalho e demonstrou que a escala do gás perfeito era aplicável aos corpos em geral.

Por suas descobertas, Thomson foi agraciado com título de Lord Kelvin.

O limite inferior de temperaturas é $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kelvin propôs então uma escala que tivesse o ponto zero nessa menor temperatura possível universalmente. As temperaturas nessa escala nunca assumiriam valores negativos, e os valores de temperatura seriam exatamente proporcionais às energias cinéticas médias das partículas; em suma, uma escala absoluta.

Nessa escala, o volume nulo corresponde, segundo a Física clássica, ao volume livre inexistente entre as partículas, com todas juntas em grau de agitação nulo.

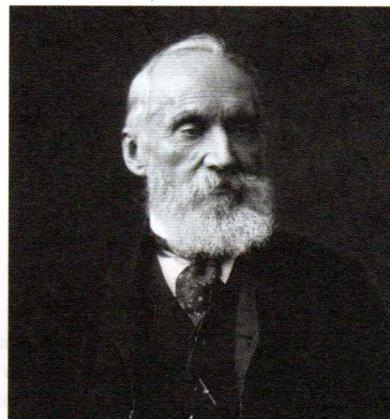
Se compararmos a escala de temperaturas com uma régua não numerada, podemos dizer que Kelvin encontrou o começo da régua. Mas faltava ainda escolher o tamanho das divisões dessa régua. Então:

- O tamanho da divisão (tamanho do grau) escolhido foi o mesmo que o da escala Celsius; assim, o $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ vai corresponder na escala Kelvin a $+273,15\text{ K}$.
 - Por ser uma escala absoluta, o termo grau foi retirado da unidade kelvin.
 - Além disso, usualmente, o valor 273,15 é arredondado para 273.
- Vamos agora comparar a escala Kelvin com a escala Celsius.

Extrapolação: é o processo de estimar o valor de uma variável (no caso, T) com base em sua relação com outra variável (no caso, V), além do intervalo de observação original.



Lord Kelvin
(1824-1907)



Messrs. Dickinson, Londres, New Bond Street



Seguir

O físico escocês-irlandês William Thomson, mais conhecido como Lord Kelvin, foi um dos mais eminentes cientistas do século XIX e hoje é mais conhecido por ter inventado uma escala absoluta de temperatura, que leva seu nome. Ele fez contribuições para eletricidade, magnetismo, termodinâmica, hidrodinâmica, geofísica, telegrafia e outras áreas, publicando mais de 650 artigos durante sua vida. Thomson também foi um engenheiro extremamente qualificado, que patenteou cerca de 70 invenções e se envolveu profundamente na instalação do primeiro cabo telegráfico transatlântico. Por esse esforço bem-sucedido, ele foi condecorado cavaleiro pela rainha Vitória em 1866.

"William Thomson, Lord Kelvin". *Magnet Academy. The National High Magnetic Field Laboratory*. Disponível em: <<http://p4ed.com/LBYVS>>.

Acesso: 4 jul. 2019. (Trad. livre).

Observe a figura.

Primeiramente, notemos que as **variações de temperatura são iguais**

nas duas escalas, pois $\frac{\Delta T_C}{0 - (-273)} = \frac{\Delta T_K}{273 - 0} \Rightarrow \Delta T_C = \Delta T_K$.

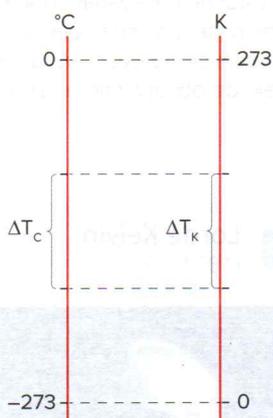
De certa forma, esse é um resultado óbvio, já que o tamanho da divisão é o mesmo nas duas escalas, por escolha prévia.

Agora vamos comparar as temperaturas em si, e não as variações. Tomando como referência $-273\text{ }^\circ\text{C} = 0\text{ K}$, obtemos na equação anterior:

$$T_C - (-273) = T_K - 0$$

$$T_K = T_C + 273$$

A disposição dos termos nessa última equação é de fácil lembrança, observando que a temperatura na escala Kelvin é sempre superior ao valor medido na escala Celsius.



CONECTANDO

Grandezas físicas, quando nulas, possuem valor nulo em qualquer sistema de unidades. Assim, $0\text{ m} = 0\text{ km} = 0$ polegadas. Nesse sentido, a escala Celsius e a escala Fahrenheit não são exatamente grandezas físicas; elas apenas demonstram um nível térmico, ao passo que a temperatura em kelvin é de fato uma grandeza física.

Mantidos a pressão e o volume, os corpos esfriam porque cedem calor. Na concepção da escala Kelvin, frio não existe. Se os corpos pudessem receber frio, não haveria um limite inferior de temperatura.

Kelvin poderia ter escolhido como divisão da escala o tamanho do grau da escala Fahrenheit, ou outro qualquer, obtendo outra escala absoluta. O zero continuaria sendo grau de agitação nulo. Nesse aspecto, podemos construir várias escalas absolutas, mas todas elas terão em comum a indicação nula.

QUESTÃO RESOLVIDA ✓

4 A escala Rankine foi uma escala absoluta proposta usando como tamanho das divisões (grau) as da escala Fahrenheit. Qual é o ponto de fusão do gelo sob pressão normal nessa escala?

Resolução:

Devemos procurar quantas divisões há entre o ponto de fusão do gelo e o zero absoluto na escala Fahrenheit. Para tanto, primeiro vamos obter o zero absoluto na escala Fahrenheit, com duas casas decimais:

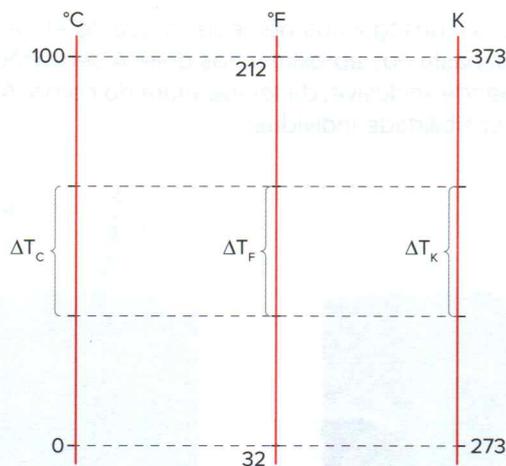
$$\frac{\Delta \theta_C}{5} = \frac{\Delta \theta_F}{9}, \text{ logo } \frac{0 - (-273,15)}{5} = \frac{\Delta \theta_F}{9} \Rightarrow \Delta \theta_F = 491,67\text{ }^\circ\text{F}$$

Assim, a escala Rankine acusa 491,67 R para o ponto de fusão do gelo.

Essa escala chegou a ser usada, sobretudo na Inglaterra, mas caiu em desuso.

Comparação das três principais escalas

Considerando todas as transformações entre as escalas, podemos resumir as igualdades colocando lado a lado as três principais escalas.



Podemos estabelecer as proporções para as variações de temperatura:

$$\frac{\Delta T_C}{100} = \frac{\Delta T_F}{180} = \frac{\Delta T_K}{100} \Rightarrow \frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_F}{9} = \frac{\Delta T_K}{5}$$

Para os valores de temperatura em si, temos:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5}$$

QUESTÃO RESOLVIDA ✓

5 Há séculos acostumados com seu sistema de unidades, os ingleses e norte-americanos vão paulatinamente absorvendo o SI e em breve, provavelmente, a escala Fahrenheit deixará de existir. Talvez um dia fiquemos somente com a escala Kelvin, a “verdadeira” escala de temperaturas. Imagine sua mãe dizendo: “Leve um agasalho pois a temperatura está muito baixa. A TV anunciou 280 K”. O conselho procede? Considere agora um corpo sendo aquecido desde 27 °C até 127 °C.

- Transforme esses valores para a escala Kelvin.
- Qual é a variação de temperatura sofrida por esse corpo nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin?

Resolução:

- Para transformarmos da escala Celsius para a escala Kelvin, aplicamos: $\theta_K = \theta_C + 273$, assim, para $\theta_C = 27^\circ\text{C}$, temos $\theta_K = 27 + 273 \Rightarrow \theta_K = 300\text{ K}$.
Para $\theta_C = 127^\circ\text{C}$, temos $\theta_K = 127 + 273 \Rightarrow \theta_K = 400\text{ K}$.
- De 27 °C até 127 °C temos uma variação de 100 °C e, como a escala Kelvin apresenta a mesma variação da escala Celsius, podemos escrever: $\Delta\theta_K = \Delta\theta_C = 100\text{ K}$.
Para a escala Fahrenheit, temos a seguinte relação: $\Delta\theta_F = 1,8 \cdot \Delta\theta_C$, logo $\Delta\theta_F = 1,8 \cdot 100 \Rightarrow \Delta\theta_F = 180^\circ\text{F}$.

EXPERIMENTO

Você como termômetro

Por meio de um simples contato com um objeto, conseguimos perceber o quanto ele está quente ou frio. Em alguns casos, o contato nem é necessário; basta nos aproximarmos dele. A sensação térmica está relacionada com a transferência de calor, que depende, inclusive, da temperatura do corpo. Além disso, ela é relativa, pois depende da situação e da nossa sensibilidade individual.



Materiais

- recipiente com água fria (mistura de água e gelo);
- recipiente com água quente.

Procedimentos

- Com a orientação do professor, mergulhe a mão direita em um recipiente com água fria e a mão esquerda em um com água quente, simultaneamente, e mantenha as mãos assim durante alguns minutos.
- Depois coloque as duas mãos em um mesmo recipiente com água morna e observe o que acontece.

Relate o ocorrido e discuta em sala.



CONECTANDO

Até o século XVIII não existia maneira de se medir corretamente diferentes graduações de frio e quente, apenas havia sensações de um corpo mais frio do que outro. Um médico media a febre de um paciente usando as mãos sobre a testa.

Os cientistas sentiam-se frustrados, porque não dispunham de qualquer instrumento satisfatório que pudesse medir a temperatura com mais precisão, até que o termômetro foi criado.

Desde que Galileu inventou o termoscópio, por volta de 1592, os termômetros têm sido extremamente úteis à humanidade, não apenas para saber se alguém tem febre.

1 UFPR Analise as seguintes afirmações sobre conceitos de termologia:

- I. Calor é uma forma de energia.
- II. Calor é o mesmo que temperatura.
- III. A grandeza que permite informar se dois corpos estão em equilíbrio térmico é a temperatura.

Está(ão) correta(s) apenas:

- (a) I.
- (b) II.
- (c) III.
- (d) I e II.
- (e) I e III.

2 UEM-PR 2018 Com relação aos conceitos de calor e temperatura e ao princípio geral das trocas de calor, assinale o que for correto.

- 01. O fato de o calor passar de um corpo para outro se deve à quantidade de calor existente em cada um.
- 02. Se dois corpos de materiais diferentes estão em equilíbrio térmico entre si, isolados do ambiente, então se pode afirmar que, nessa situação, o mais quente fornece calor ao mais frio.
- 04. Se três corpos de materiais diferentes estão em equilíbrio térmico entre si, isolados do ambiente, então se pode afirmar que os três corpos se apresentam necessariamente no mesmo estado (sólido, líquido ou gasoso).
- 08. Se dois corpos de materiais diferentes estão à mesma temperatura, então a sensação (apreendida pelo tato) ao tocar nesses corpos deve ser a mesma.
- 16. Quando dois corpos de um mesmo material (a diferentes temperaturas) são colocados em contato entre si, as moléculas do corpo de maior temperatura (mais rápidas) transferem energia para as moléculas do corpo de menor temperatura (mais lentas).

Soma:

3 UFPR 2017 Vários turistas frequentemente têm tido a oportunidade de viajar para países que utilizam a escala Fahrenheit como referência para medidas da temperatura. Considerando-se que quando um termômetro graduado na escala Fahrenheit assinala 32°F , essa temperatura corresponde ao ponto de gelo, e quando assinala 212°F , trata-se do ponto de vapor. Em um desses países, um turista observou que um termômetro assinalava temperatura de $74,3^\circ\text{F}$. Assinale a alternativa que apresenta a temperatura, na escala Celsius, correspondente à temperatura observada pelo turista.

- (a) $12,2^\circ\text{C}$.
- (b) $18,7^\circ\text{C}$.
- (c) $23,5^\circ\text{C}$.
- (d) 30°C .
- (e) $33,5^\circ\text{C}$.

4 Uma empresa vende sêmen bovino que é conservado sob temperatura de -195°C . Ao internacionalizar suas operações, percebe que, além de traduzir o texto das orientações sobre como preservar o sêmen, precisa utilizar outras unidades de medida. No manual de conservação do sêmen, a temperatura será expressa na escala Celsius, Fahrenheit e Kelvin. Qual será o valor da temperatura em que o sêmen tem de ser conservado nas escalas Kelvin e Fahrenheit?

5 Fatec-SP Um cientista coloca um termômetro em um béquer contendo água no estado líquido. Supondo que o béquer esteja num local ao nível do mar, a única leitura que pode ter sido feita pelo cientista é:

- (a) -30 K
- (b) 36 K
- (c) 130°C
- (d) 250 K
- (e) 350 K

6 Em determinado país, a diferença entre a máxima temperatura do verão e a mínima do inverno anterior foi $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual é o valor desta diferença na escala Fahrenheit?

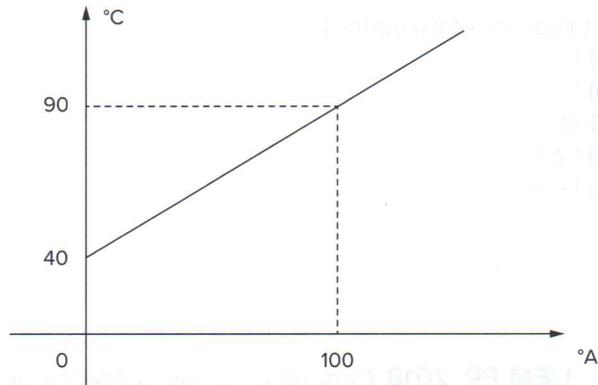
7 EEAR-SP 2019 Roberto, empolgado com as aulas de Física, decide construir um termômetro que trabalhe com uma escala escolhida por ele, a qual chamou de escala R. Para tanto, definiu $-20\text{ }^{\circ}\text{R}$ como ponto de fusão do gelo e $80\text{ }^{\circ}\text{R}$ como temperatura de ebulção da água, sendo estes os pontos fixos desta escala. Sendo R a temperatura na escala criada por Roberto e C a temperatura na escala Celsius, e considerando que o experimento seja realizado ao nível do mar, a expressão que relaciona corretamente as duas escalas será:

- (a) $C = R - 20$
- (b) $C = R + 20$
- (c) $C = \frac{R + 20}{2}$
- (d) $C = \frac{R - 20}{2}$

8 IFCE 2019 Um termômetro com defeito está graduado na escala Fahrenheit, indicando $30\text{ }^{\circ}\text{F}$ para o ponto de fusão do gelo e $214\text{ }^{\circ}\text{F}$ para o ponto de ebulção da água. A única temperatura neste termômetro medida corretamente, na escala Celsius, é:

- (a) 158.
- (b) 86.
- (c) 122.
- (d) 50.
- (e) 194.

9 Ulbra-RS 2016 Antônio, um estudante de Física, deseja relacionar a escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$) com a escala de seu nome ($^{\circ}\text{A}$). Para isso, ele faz leituras de duas temperaturas com termômetros graduados em $^{\circ}\text{C}$ e em $^{\circ}\text{A}$. Assim, ele monta o gráfico abaixo. Qual a relação termométrica entre a temperatura da escala Antônio e da escala Celsius?



- (a) $A = C + 40$
- (b) $A = \frac{C}{2} - 100$
- (c) $A = 2C - 80$
- (d) $A = \frac{C}{4} + 90$
- (e) $A = \frac{10C}{9} - 40$

1 UEPG-PR A temperatura é uma das grandezas físicas mais conhecidas dos leigos. Todos os dias boletins meteorológicos são divulgados anunciando as prováveis temperaturas máxima e mínima do período. A grande maioria da população conhece o termômetro e tem seu próprio conceito sobre temperatura. Sobre temperatura e termômetros, assinale o que for correto.

01. A fixação de uma escala de temperatura deve ser associada a uma grandeza física que, em geral, varia arbitrariamente com a temperatura.
02. Grau arbitrário é a variação de temperatura que provoca na propriedade termométrica uma variação correspondente a uma unidade da variação que esta mesma propriedade sofre quando o termômetro é levado do ponto de fusão até o ponto de ebulição da água.
04. Temperatura é uma medida da quantidade de calor do corpo.
08. A água é uma excelente substância termométrica, dada sua abundância no meio ambiente.
16. Dois ou mais sistemas físicos, colocados em contato e isolados de influências externas, tendem para um estado de equilíbrio térmico, que é caracterizado por uma uniformidade na temperatura dos sistemas.

Soma:

2 Acafe-SC Nos noticiários, grande parte dos apresentadores da previsão do tempo expressam, erroneamente, a unidade de temperatura em graus centígrados.

A maneira de expressar corretamente essa unidade é:

- (a) Celsius, pois não se deve citar os graus.
- (b) graus Kelvin, pois é a unidade do sistema internacional.
- (c) Centígrados, pois não se deve citar os graus.
- (d) graus Celsius, pois existem outras escalas em graus centígrados.
- (e) graus Fahrenheit, pois é a unidade do sistema internacional.

3 PUC-SP 2016 O Slide, nome dado ao *skate* futurista, usa levitação magnética para se manter longe do chão e ainda ser capaz de carregar o peso de uma pessoa. É o mesmo princípio utilizado, por exemplo, pelos trens ultrarrápidos japoneses.

Para operar, o Slide deve ter a sua estrutura metálica interna resfriada a temperaturas baixíssimas, alcançadas com nitrogênio líquido. Daí a “fumaça” que se vê nas imagens, que, na verdade, é o nitrogênio vaporizando novamente devido à temperatura ambiente e que, para permanecer no estado líquido, deve ser mantido a aproximadamente -200 graus Celsius. Então, quando o nitrogênio acaba, o *skate* para de “voar”.



Divulgação/Lexus

Fumaça que aparenta sair do *skate*, na verdade, é nitrogênio em gaseificação.

Fonte: www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/07/comofunciona-o-skate-voador-inspirado-no-filme-de-volta-para-o-futuro2.html. Consultado em: 03/07/2015

Com relação ao texto, a temperatura do nitrogênio líquido, -200 °C, que resfria a estrutura metálica interna do Slide, quando convertida para as escalas Fahrenheit e Kelvin, seria respectivamente:

- (a) -328 e 73
- (b) -392 e 73
- (c) -392 e -473
- (d) -328 e -73

4 ITA-SP Ao tomar a temperatura de um paciente, um médico só dispunha de um termômetro graduado em graus Fahrenheit. Para se precaver, ele fez antes alguns cálculos e marcou no termômetro a temperatura correspondente a 42 °C (temperatura crítica do corpo humano). Em que posição da escala do seu termômetro ele marcou essa temperatura?

- (a) 106,2
- (b) 107,6
- (c) 102,6
- (d) 180,0
- (e) 104,4

5 Unifesp O texto a seguir foi extraído de uma matéria sobre congelamento de cadáveres para sua preservação por muitos anos, publicada no jornal O Estado de S.Paulo de 21.07.2002.

Após a morte clínica, o corpo é resfriado com gelo. Uma injeção de anticoagulantes é aplicada e um fluido especial é bombeado para o coração, espalhando-se pelo corpo e empurrando para fora os fluidos naturais. O corpo é colocado numa câmara com gás nitrogênio, onde os fluidos endurecem em vez de congelar. Assim que atinge a temperatura de -321 , o corpo é levado para um tanque de nitrogênio líquido, onde fica de cabeça para baixo.

Na matéria, não consta a unidade de temperatura usada.

Considerando que o valor indicado de -321 esteja correto e que pertença a uma das escalas, Kelvin, Celsius ou Fahrenheit, pode-se concluir que foi usada a escala:

- (a) Kelvin, pois trata-se de um trabalho científico e esta é a unidade adotada pelo Sistema Internacional.
- (b) Fahrenheit, por ser um valor inferior ao zero absoluto e, portanto, só pode ser medido nessa escala.
- (c) Fahrenheit, pois as escalas Celsius e Kelvin não admitem esse valor numérico de temperatura.
- (d) Celsius, pois só ela tem valores numéricos negativos para a indicação de temperaturas.
- (e) Celsius, por tratar-se de uma matéria publicada em língua portuguesa e essa ser a unidade adotada oficialmente no Brasil.

6 UFF-RJ Um turista brasileiro, ao desembarcar no aeroporto de Chicago, observou que o valor da temperatura lá indicado, em $^{\circ}\text{F}$, era um quinto do valor correspondente em $^{\circ}\text{C}$.

O valor observado foi:

- (a) -2°F
- (b) 2°F
- (c) 4°F
- (d) 0°F
- (e) -4°F

7 Mackenzie-SP 2017 Uma escala termométrica A adota para a temperatura da água em ebulição à pressão normal, de 70°A , e para a temperatura de fusão do gelo à pressão normal, de 20°A . Outra escala termométrica B adota para a temperatura da água em ebulição à pressão normal, de 90°B , e para a temperatura de fusão do gelo à pressão normal, de 10°B . A expressão que relaciona a temperatura das escalas $A(\theta_A)$ e $B(\theta_B)$ é

- (a) $\theta_B = 2,6 \cdot \theta_A - 42$
- (b) $\theta_B = 2,6 \cdot \theta_A - 22$
- (c) $\theta_B = 1,6 \cdot \theta_A - 22$
- (d) $\theta_A = 1,6 \cdot \theta_B + 22$
- (e) $\theta_A = 1,6 \cdot \theta_B + 42$

8 Um pesquisador construiu uma escala termométrica X utilizando álcool colorizado colocado dentro de um reservatório ligado a um tubo capilar de vidro. No ponto de fusão do gelo, sob pressão de 1 atm, a coluna de álcool atingiu 20 cm e no ponto de ebulição da água, também sob pressão de 1 atm, a coluna de álcool atingiu 30 cm. A esses pontos o pesquisador atribuiu os valores 10°X e 60°X , respectivamente. Determine a relação entre a temperatura em $^{\circ}\text{X}$ e a altura da coluna de álcool (h).

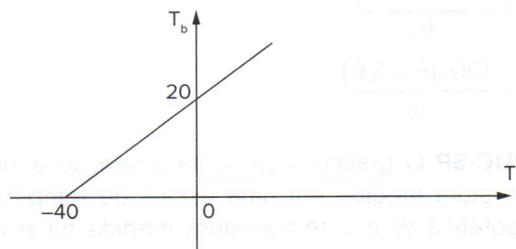
9 ITA-SP Para medir a febre de pacientes, um estudante de medicina criou sua própria escala linear de temperaturas. Nessa nova escala, os valores de 0 (zero) e 10 (dez) correspondem, respectivamente, a 37°C e 40°C . A temperatura de mesmo valor numérico em ambas as escalas é aproximadamente:

- (a) $52,9^{\circ}\text{C}$
- (b) $28,5^{\circ}\text{C}$
- (c) $74,3^{\circ}\text{C}$
- (d) $-8,5^{\circ}\text{C}$
- (e) $-28,5^{\circ}\text{C}$

10 Mackenzie-SP Um profissional, necessitando efetuar uma medida de temperatura, utilizou um termômetro cujas escalas termométricas inicialmente impressas ao lado da coluna de mercúrio estavam ilegíveis. Para atingir seu objetivo, colocou o termômetro inicialmente numa vasilha com gelo fundente, sob pressão normal, e verificou que no equilíbrio térmico a coluna de mercúrio atingiu 8,0 cm. Ao colocar o termômetro em contato com água fervente, também sob pressão normal, o equilíbrio térmico se deu com a coluna de mercúrio atingindo 20,0 cm de altura. Se nesse termômetro utilizarmos as escalas Celsius e Fahrenheit e a temperatura a ser medida for expressa pelo mesmo valor nas duas escalas, a coluna de mercúrio terá altura de:

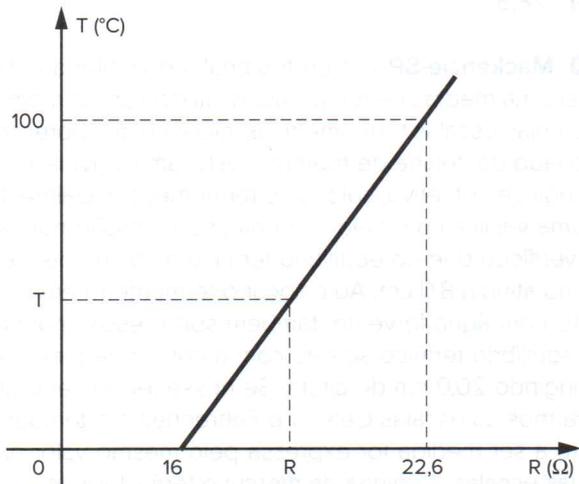
- (a) 0,33 cm
- (b) 0,80 cm
- (c) 3,2 cm
- (d) 4,0 cm
- (e) 6,0 cm

11 Inatel-MG O diagrama abaixo fornece a relação entre as temperaturas T_a e T_b de duas escalas termométricas A e B. Qual é a temperatura correspondente a 30°A na escala b?



- (a) 35°B ;
- (b) -35°B ;
- (c) 20°B ;
- (d) -40°B ;
- (e) nenhuma dessas temperaturas.

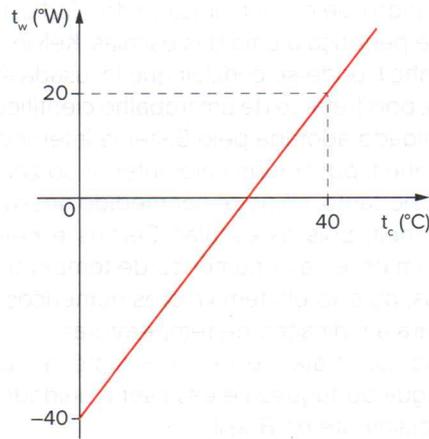
12 Vunesp Um estudante desenvolve um termômetro para ser utilizado especificamente em seus trabalhos de laboratório. Sua ideia é medir a temperatura de um meio fazendo a leitura da resistência elétrica de um resistor, um fio de cobre, por exemplo, quando em equilíbrio térmico com esse meio. Assim, para calibrar esse termômetro na escala Celsius, ele toma como referências as temperaturas de fusão do gelo e de ebulição da água. Depois de várias medidas, ele obtém a curva apresentada na figura.



A correspondência entre a temperatura T, em °C, e a resistência elétrica R, em Ω, é dada pela equação

- (a) $T = \frac{100 \cdot (R - 16)}{6,6}$
- (b) $T = \frac{100 \cdot 6,6}{(R - 16)}$
- (c) $T = \frac{(R - 6,6)}{(6,6 \cdot 100)}$
- (d) $T = \frac{100 \cdot (R - 16)}{16}$
- (e) $T = \frac{100 \cdot (R - 6,6)}{16}$

13 PUC-SP O gráfico representa a relação entre a temperatura medida em uma escala de temperatura hipotética W e a temperatura medida na escala Celsius, sob pressão normal.



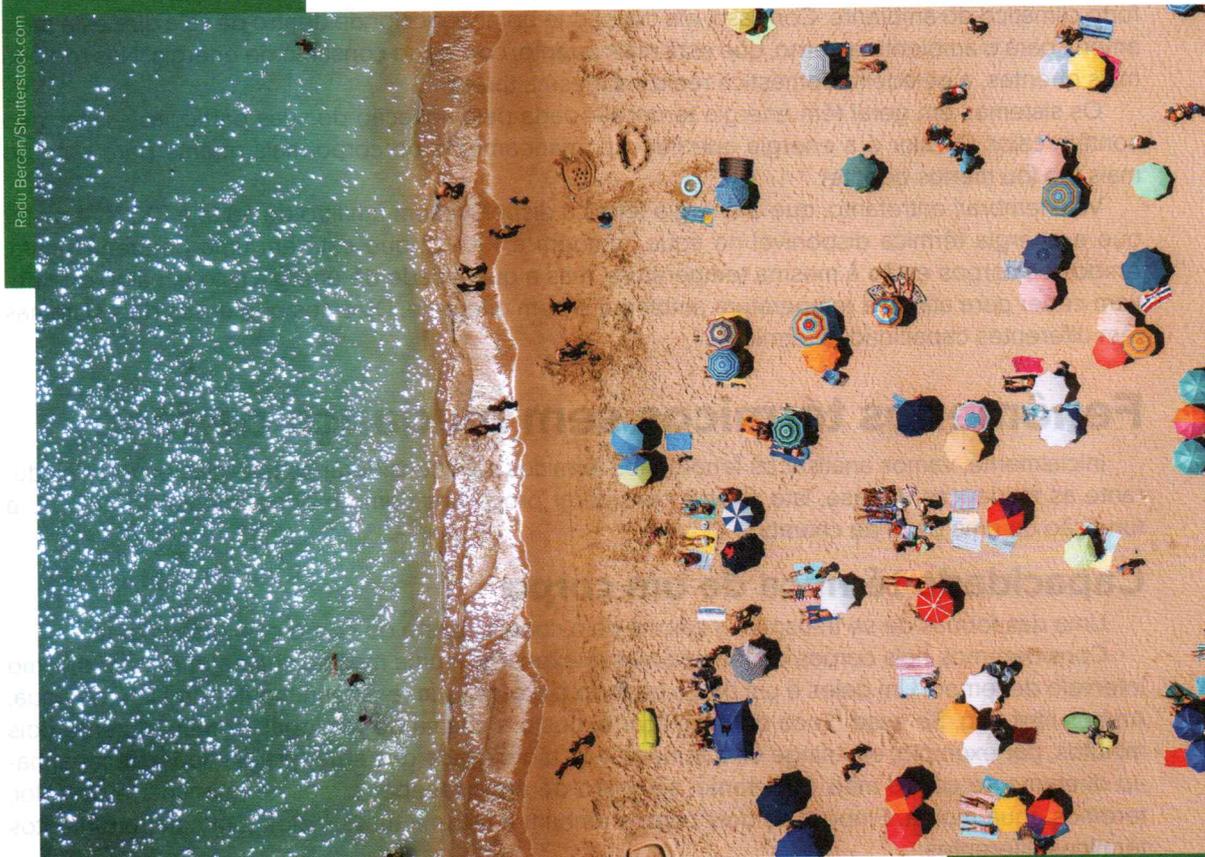
A temperatura de fusão do gelo e a de ebulição da água são, em graus W, respectivamente iguais a

- (a) -40 e 40
- (b) -40 e 110
- (c) 20 e 110
- (d) -40 e 100
- (e) 20 e 100

SUPERAÇÃO

O físico escocês William John Macquorn Rankine propôs, em 1859, uma escala de temperatura absoluta que foi denominada escala Rankine (símbolo R, Ra), em sua homenagem. Assim como a escala Kelvin, o valor 0 Ra é o zero absoluto, porém a variação do rankine é definida como sendo igual a um grau Fahrenheit.

- a) Determine a relação de conversão entre a escala Fahrenheit e a escala Rankine.
- b) Um norte-americano (estadunidense) não habituado com a escala Celsius faz a conversão somando uma determinada quantidade x ao valor lido em Celsius e depois multiplica o resultado por 2 para encontrar o valor em Fahrenheit. Quando a temperatura é 20 °C, o resultado é exato. Qual é o valor de x?
- c) Qual é o erro porcentual da temperatura convertida encontrada, se a temperatura for de 65 °C?



Vista aérea de praia em dia de sol.

Um dia de folga na praia proporciona muitas aventuras. Nos permite também constatar a variedade de temperaturas dos objetos ao nosso redor.

A areia seca fica tão quente que é quase impossível caminhar sobre ela descalço, mas, quando atingimos a areia úmida, caminhamos nela sem desconforto.

Pessoas aproveitam seus picolés frios, bebidas geladas, enquanto outros comem salgadinhos quentes.

Alguns se protegem sob os guarda-sóis, enquanto outros vão se bronzear sob a radiação solar.

Esportes na praia são muito prazerosos, incluindo desde pequenas corridas até o vôlei, jogado com os pés ou com as mãos.

Fazer castelos de areia e empinar pipas também são diversões apreciadas por crianças e adultos.

Há contratempos, como ataque de pernilongos, bronzeado de zebra por passar irregularmente o protetor solar e ventanias arrastando pertences, mas eles acabam temperando as boas lembranças.

- A areia seca e a areia molhada mencionadas no texto estão sob mesma temperatura?
- Onde geralmente é mais fácil correr: na areia seca e fofa ou na areia molhada?
- Repare que raramente uma pipa cai na água. Para que isso não aconteça, qual deve ser o sentido do vento?

Calor: energia em trânsito

Em um dia de verão muito quente, uma pessoa liga o condicionador de ar para melhorar o conforto climático do ambiente. Com isso, ela consegue bombear calor de dentro da sala que está mais amena para o ambiente externo, que está mais quente, com certo consumo de energia. Nas regiões mais quentes, a geladeira doméstica realiza a mesma tarefa.

Os sistemas em geral têm energia térmica – dada pela agitação de suas partículas –, mas não contêm calor. O calor é a energia que flui espontaneamente do corpo mais quente para o corpo mais frio (ou menos quente).

Vale lembrar, entretanto, que a energia térmica disponível em um litro de água a 100 °C é maior que a energia térmica disponível na água, também a 100 °C, que está em uma pequena xícara. Ambos os corpos estão à mesma temperatura, mas a quantidade de energia (isto é, calor) que devem ceder para atingir a temperatura ambiente é bem diferente. Dizemos que esses dois sistemas têm diferentes capacidades térmicas.

Fenômenos térmicos sem mudança de fase

Inicialmente, vamos analisar os fenômenos térmicos sem considerar as energias envolvidas durante as mudanças de fase, isto é, sem considerar processos como o derretimento do gelo ou a fundição de uma peça de chumbo.

Capacidade térmica de um corpo

Uma das formas de se transmitir o calor é pelo contato direto do corpo com uma chama.

Consideremos dois corpos de mesma massa expostos a uma mesma chama durante o mesmo intervalo de tempo. Um deles é um bloco de ferro e o outro, um recipiente contendo 1 litro de água. Ambos têm 1 kg. Se esse bloco de ferro ficar exposto à chama de um fogão comum durante dois minutos, por exemplo, ele atinge uma temperatura tão elevada que será quase impossível apanhá-lo diretamente com a mão. Entretanto, se o litro de água receber a mesma quantidade de calor, teremos água morna. Embora os dois corpos tenham a mesma massa, eles têm comportamentos térmicos diferentes.



Dois corpos de 1 kg cada recebendo a mesma quantidade de calor (considere que cada um deles não troca calor com o ambiente, isto é, são sistemas isolados).

Esses corpos, ao receberem quantidades de calor iguais, experimentaram variações de temperatura diferentes.

Dizemos que dois corpos são termicamente equivalentes quando, ao trocarem (cederem ou receberem) a mesma quantidade de calor, sofrem a mesma variação de temperatura, ou, em outras palavras, dois corpos são termicamente equivalentes quando possuem a mesma capacidade térmica. Assim, definimos capacidade térmica de um corpo como a razão entre a quantidade de calor recebida e a correspondente variação de temperatura:

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

A capacidade térmica se refere sempre a um corpo ou a uma quantidade de matéria, mas não a uma substância, e é uma grandeza sempre positiva.

No sistema usual da calorimetria a unidade para quantidade de calor é a **caloria**, que definiremos adiante. Como a variação de temperatura é usualmente medida na escala Celsius, é comum a

utilização da unidade de capacidade térmica como $\frac{\text{calorias}}{\text{grau Celsius}} = \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$.

QUESTÃO RESOLVIDA ✓

1 Considere dois corpos A e B, de mesma massa, mas com capacidades térmicas diferentes, sendo $C_A = 20 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ e $C_B = 300 \text{ cal/}^\circ\text{C}$.

- Se os dois corpos sofrerem a mesma variação de temperatura, qual deles receberá maior quantidade de calor?
- Se os dois corpos receberem a mesma quantidade de calor, qual deles experimentará a maior variação de temperatura?

Resolução:

a) Como $C = \frac{Q}{\Delta\theta}$, então $\Delta\theta = \frac{Q}{C}$. Além disso, $\Delta\theta_A = \Delta\theta_B = \Delta\theta$, logo $\frac{Q_A}{C_A} = \frac{Q_B}{C_B}$, resultando em

$$\frac{Q_A}{20} = \frac{Q_B}{300} \Rightarrow \frac{Q_A}{Q_B} = \frac{1}{15}$$

Assim, o corpo B, de maior capacidade térmica, necessita de quinze vezes o calor trocado pelo corpo A para sofrer a mesma variação de temperatura que o corpo A sofreu.

b) A quantidade de calor recebida pode ser calculada por $Q = C \cdot \Delta\theta$, assim, $C_A \cdot \Delta\theta_A = C_B \cdot \Delta\theta_B$,

$$\text{resultando em } 20 \cdot \Delta\theta_A = 300 \cdot \Delta\theta_B \Rightarrow \frac{\Delta\theta_A}{\Delta\theta_B} = 15.$$

A variação de temperatura sofrida pelo corpo A é 15 vezes a sofrida pelo corpo B, com uma mesma quantidade de calor. O corpo de menor capacidade térmica sofre maior variação de temperatura.

Em suma, quanto menor for a capacidade térmica de um corpo (ou sistema), menos calor será necessário para produzir determinada variação de temperatura.

Calor específico de uma substância

A capacidade térmica, além de depender da quantidade de matéria, depende também da substância que constitui o corpo. Com o intuito de diferenciar as substâncias, foi definida uma grandeza para medir a capacidade térmica por unidade de massa, chamada de calor específico.

Por definição, o calor específico é dado por:

$$c = \frac{C}{m}$$

As unidades de medida no sistema usual da calorimetria são: $\frac{\text{caloria}}{^\circ\text{C}} / \text{grama} = \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Perceba que o sistema usual não utiliza as unidades padrão do SI. Mesmo os nomes das grandezas definidas não são adequados de acordo com a concepção atual de energia térmica. Por exemplo, o termo “calor específico” parece sugerir que cada grama da substância contém uma determinada quantidade de calor, mas sabemos que isso não é uma concepção correta. Entretanto, consagrado pelo uso, o nome da grandeza permanece atrelado à sua origem histórica, a despeito do fato de ela medir, de fato, a capacidade térmica específica.

Fique ligado!

Mais tarde, medidas mais precisas mostraram que o calor específico da água tem pequenas variações de acordo com a temperatura, e a definição de caloria foi aprimorada, determinando que a variação de 1 °C **deve ser** entre 14,5 °C e 15,5 °C.

Calores específicos de algumas substâncias

Substância	c [cal/(g · °C)]
Água	1,00
Álcool (etílico)	0,58
Alumínio	0,215
Chumbo	0,0305
Cobre	0,0923
Gelo (-10 °C)	0,49
Mercúrio	0,033
Ouro	0,0301
Prata	0,0558
Tungstênio	0,0321
Vapor (a 1 atm)	0,048
Vidro	0,20

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. *Física para cientistas e engenheiros*. v. 1. 6. ed. LTC. Adaptado.



CONECTANDO

Sendo relativamente alto o calor específico da água, ela é a substância mais usada nos sistemas de **arrefecimento** dos motores a combustão.

Antigamente, havia o inconveniente da evaporação, que obrigava os automóveis a reporem a água de refrigeração com muita frequência. Com o aperfeiçoamento das vedações, vieram os circuitos de refrigeração selados, que praticamente eliminaram essa necessidade.

Arrefecimento: redução da temperatura, resfriamento.

A unidade padrão no SI para energia é o joule (J), mas historicamente se utilizou como substância padrão a água, e por isso o calor específico da água é exatamente 1 cal/(g · °C).

Uma caloria é a quantidade de calor necessária para mudar de 1 °C a temperatura de 1 g de água.

A tabela ao lado apresenta os calores específicos de algumas substâncias em temperaturas ordinárias. Os valores referentes à fase gasosa se restringem a um volume constante.

Observações sobre o calor específico:

- Mede a “inércia térmica” que a substância tem, em relação às variações de temperatura ao trocar calor, por unidade de massa.
- Depende da substância, mas não da massa do corpo.
- Depende do estado de agregação da matéria. Assim, por exemplo, o carvão e o diamante, embora sejam compostos apenas por carbono, têm calores específicos diferentes, assim como a água líquida e o gelo.
- Embora consideremos um valor constante, o calor específico tem pequenas variações de acordo com a temperatura.
- A água líquida é uma substância de alto calor específico.

Relembrando:

- Capacidade térmica é uma característica de um corpo, sistema ou quantidade de matéria.
- Calor específico é uma característica da substância.

Equação do calor sensível

Por ora, estamos considerando os corpos trocando calor sem sofrerem mudança de fase. Nessa condição, se o corpo receber calor, sua temperatura aumenta e, se ele ceder calor, sua temperatura diminui. Esses processos são perceptíveis (sensíveis) pelo uso de um termômetro, e por isso o calor é chamado de calor sensível.

As definições e conceitos se aplicam a sólidos, líquidos e gases. No caso dos gases, vamos considerar o volume constante.

Os volumes dos gases podem variar muito com a temperatura e pode haver troca de energia na forma de trabalho mecânico, além dos processos térmicos. Esses casos são analisados sob o aspecto da Termodinâmica, que estudaremos mais adiante.

Analisando a capacidade térmica de um sistema, temos que $C = \frac{Q}{\Delta\theta}$.

Por outro lado, sabemos também que $c = \frac{C}{m} \Rightarrow C = mc$. Igualando-se es-

ses dois resultados, obtemos: $\frac{Q}{\Delta\theta} = mc$. Então:

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

Esta última equação reúne em uma igualdade todos os conceitos e definições descritos até aqui.

Um resultado que está implícito na expressão do calor sensível é o do valor algébrico da quantidade de calor. A variação de temperatura (diferença entre a temperatura final e a inicial) é positiva quando o corpo recebe calor e negativa no caso contrário.

No sistema usual da Calorimetria, as unidades obedecem à regra:

$$\begin{cases} [Q] = \text{cal} \\ [m] = \text{g} \\ [\Delta\theta] = ^\circ\text{C} \end{cases} \text{ e, portanto, } [c] = \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Convenção de sinais para Q		
	Valor algébrico de Q	Variação de temperatura
Calor recebido	$Q > 0$	$\Delta\theta > 0$
Calor cedido	$Q < 0$	$\Delta\theta < 0$

QUESTÃO RESOLVIDA ✓

- 2** Em um experimento de Calorimetria, são utilizados um bloco de cobre e determinada quantidade de água.
- a) Qual a quantidade de calor que deve ser fornecida a 500 g de água a 20 °C para que sua temperatura atinja 80 °C?
- b) Se essa mesma quantidade de calor fosse fornecida a um bloco de cobre de 500 g, também inicialmente a 20 °C, qual a temperatura que ele atingiria? Considere o calor específico do cobre como 0,1 cal/(g · °C).

Resolução:

- a) $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$
 $Q = 500 \cdot 1 \cdot (80 - 20) \Rightarrow Q = 30\,000 \text{ cal ou } Q = 30 \text{ kcal}$
- b) $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$
 $30\,000 = 500 \cdot 0,1 \cdot (\theta - 20) \Rightarrow \theta = 620 \text{ }^\circ\text{C}$
 Como o calor específico da água, 1 cal/(g · °C), é dez vezes o calor específico do cobre, 0,1 cal/(g · °C), a variação de temperatura da água, 60 °C, é 1/10 da variação de temperatura sofrida pelo cobre, 600 °C, considerando a mesma massa.

A água como estabilizador climático

Na abertura deste capítulo comentamos o fato de a areia seca da praia estar muito mais quente que a areia úmida, embora ambas estejam expostas à mesma radiação solar.

Ocorre que o calor específico da areia é praticamente cinco vezes menor que o da água e, portanto, a areia vai esquentar bem mais, isto é, ela sofre maior variação de temperatura para a mesma quantidade de calor recebida.

Há cidades com alta umidade relativa do ar, conforme a quantidade e o volume de rios que a rodeiam, como é o caso de Manaus. A “inércia térmica” da água faz com que as amplitudes térmicas sejam menores, ou seja, as diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas são menores. No caso de Manaus, até as noites são muito quentes.

No planejamento e construção de Brasília, nossa capital, esse fator foi levado em conta e grandes lagos artificiais foram construídos, assim como vários espelhos de água em muitos edifícios, visando melhorar a umidade e reduzir as amplitudes térmicas.

Nos desertos de areia, as temperaturas durante o dia são muito altas, mas, com a pouca presença da água, as noites são muito frias.

Considerando o planeta como um todo, com quase 3/4 de água cobrindo a superfície, é a água um dos fatores que colabora para equilibrar as temperaturas entre o dia e a noite e mesmo para mitigar as grandes variações de temperatura ao longo das estações do ano. Em cidades à beira-mar, por exemplo, situadas a médias latitudes, o clima é mais amigável, porque elas compartilham a grande capacidade térmica dos oceanos.

Trocas de calor

As trocas de calor terão impacto na temperatura dos corpos, mas as variações de temperatura vão depender da capacidade térmica dos corpos que participam do processo.

Fluxo de calor

As trocas de calor ocorrem em determinados intervalos de tempo. Podem ser mais rápidas ou mais lentas. Para medir com que rapidez se processa a transferência de calor, define-se o fluxo de calor por:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

No SI, a unidade é $[\phi] = \frac{[\text{energia}]}{[\text{tempo}]} = \frac{\text{joule}}{\text{segundo}} = \text{watt}$, ou seja, é uma unidade de potência, no caso, a potência térmica da fonte.

No sistema usual da Calorimetria, a unidade de fluxo de calor é cal/s.

Sistema isolado termicamente

Um sistema isolado termicamente é um conjunto de corpos que apenas trocam calor entre si, ou seja, esse sistema não recebe nem cede calor de outras fontes.

Considerando que sejam apenas dois corpos A e B, e estando A inicialmente mais quente, todo calor cedido por A será recebido por B.



Em módulo, podemos escrever: $|Q_A| = |Q_B|$, mas, considerando a convenção de sinais em relação a calor recebido e cedido, temos: $Q_B = -Q_A$ e, portanto, $Q_A + Q_B = 0$.

Se o sistema for constituído por três ou mais corpos, o resultado anterior pode ser generalizado pelo somatório de todos os calores trocados no sistema isolado:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0$$

Na expressão anterior, n representa o número de corpos.

Caso haja trocas de calor também com o ambiente, esta troca pode ser incorporada na equação, obtendo-se:

$$\sum_{i=1}^n Q_i + Q_{\text{ambiente}} = 0$$

Como, por ora, estamos considerando apenas trocas de calor sem mudança de fase e sem intervenção de trabalho mecânico, cada um dos calores envolvidos no somatório pode ser calculado por: $Q = mc \cdot \Delta\theta$.

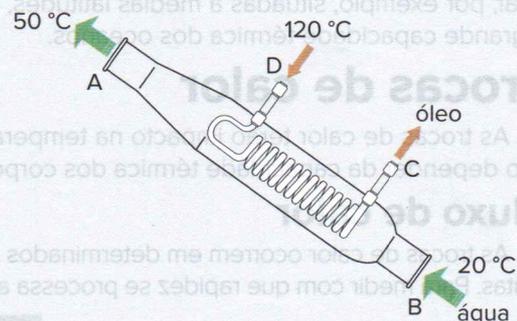
QUESTÃO RESOLVIDA ✓

3 Um sistema de refrigeração utiliza-se de uma serpentina por onde circulam 12,5 kg/min de um óleo que entra na serpentina pelo ponto D, a 120 °C, e sai pelo ponto C. O calor específico desse óleo é 0,8 cal/(g · °C). Pelo tubo que envolve a serpentina passam 30 litros de água por minuto, que entram a 20 °C pelo ponto B e saem a 50 °C pelo ponto A. Despreze as trocas de calor com o ambiente e indique se é certa (C) ou errada (E) cada uma das afirmativas seguintes, justificando a sua escolha.

- I. O fluxo de água recebe 900 kcal por minuto.
- II. O fluxo de óleo cede 1000 kcal por minuto.
- III. A temperatura do óleo na saída C é 30 °C.

Pode-se afirmar que:

- (a) apenas I é correta;
- (b) apenas I e II são corretas;
- (c) apenas I e III são corretas;
- (d) apenas II e III são corretas;
- (e) I, II e III são corretas.



Resolução:

Alternativa: C

Afirmativa I: correta. Em 1 minuto, a quantidade de água que atravessa a serpentina é $30 \text{ kg} = 30\,000 \text{ g}$ e a correspondente variação de temperatura é $(50 - 20)^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$.

Como $Q = mc \cdot \Delta\theta$, temos $Q = 30\,000 \cdot 1 \cdot 30 \Rightarrow Q = 900\,000 \text{ cal} = 900 \text{ kcal}$.

Em termos de fluxo: $\phi = 900 \frac{\text{cal}}{\text{min}}$

Afirmativa II: incorreta. Se consideramos a troca de calor exclusivamente entre esses dois fluidos, o calor recebido pela água corresponde, em módulo, ao calor cedido pelo óleo, ou seja, 900 kcal.

Afirmativa III: correta. Como $Q = mc \cdot \Delta\theta$ e $Q_{\text{óleo}} = -900\,000 \text{ cal}$ (calor cedido), temos:

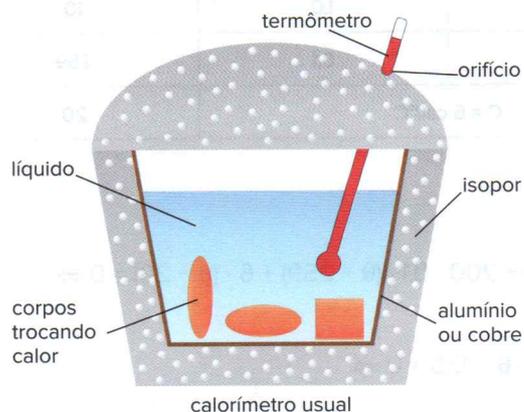
$-900\,000 = 12\,500 \cdot 0,8 \cdot (\theta - 120)$, logo $\theta - 120 = -90 \Rightarrow \theta = 30^\circ\text{C}$

Calorímetro

O calorímetro é um recipiente cuja função é propiciar um ambiente termicamente isolado para que possamos estudar as trocas de calor.

A popular garrafa térmica, usada para manter bebidas quentes ou frias por longo tempo, é um exemplo razoável. Se ela cumpre sua função, está mantendo o seu interior termicamente isolado.

No entanto, se colocarmos o café bem quente na garrafa térmica e medirmos a temperatura logo depois, veremos que o café esfriou um pouco. As paredes da garrafa e sua tampa constituem um segundo corpo, que vai trocar calor com o café que lá introduzimos, e isso vai acarretar pequena perda na temperatura da bebida. Os usuários mais experientes procuram aquecer todo o interior da garrafa, despejando a água fervendo remanescente do preparo do café no interior dela e retirando-a antes de pôr o café. Isso vai aquecer as paredes e resultar em menor redução de temperatura ao confinarmos o café dentro da garrafa.



Um calorímetro simples.

O fato é que o calorímetro em si tem paredes e tampa, possui determinada capacidade térmica e participa das trocas de calor que nele acontecem, o que parece uma má notícia.

Mas a boa notícia é que essa capacidade térmica pode ser facilmente medida, e depois levada em conta nos experimentos futuros. Um exemplo é apresentado na próxima questão resolvida.

Os calorímetros mais sofisticados possuem já em seu corpo a demarcação de sua capacidade térmica, para que o pesquisador use esse dado em seus cálculos.

Equilíbrio térmico em sistema isolado

Consideremos que vamos colocar vários corpos, com diferentes temperaturas, em um ambiente termicamente isolado e aguardar o equilíbrio térmico.

Resumindo:

$$\text{Sistema isolado} \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n Q_i = 0$$

$$\text{Equilíbrio térmico} \Leftrightarrow \theta_i = \theta_{\text{equilíbrio}} \quad (i = 1, \dots, n).$$

QUESTÕES RESOLVIDAS ✓

4 Um calorímetro está há bastante tempo em equilíbrio térmico com o ambiente a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Um pesquisador, desconhecendo a capacidade térmica do calorímetro, despeja nele 80 g de água a $80\text{ }^\circ\text{C}$, fecha a tampa, agita e espera um pouco até o equilíbrio térmico. O pesquisador constata que a temperatura final da água é $68\text{ }^\circ\text{C}$. Qual é a capacidade térmica desse calorímetro? Dado: $c_{\text{água}} = 1\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$.

Resolução:

Como $Q_A + Q_B = 0$, considerando que A seja o calorímetro, de modo que $Q_B = mc\Delta\theta$ e $Q_A = C_A\Delta\theta$, então:

$$C_A \cdot (68 - 20) + 80 \cdot 1 \cdot (68 - 80) = 0$$

$$C_A \cdot 48 = 80 \cdot 12$$

Portanto, $C_A = 20\text{ cal}/^\circ\text{C}$.

A quantidade de água que teria essa capacidade térmica é de 20 g .

5 Em um calorímetro de capacidade térmica $6\text{ cal}/^\circ\text{C}$, inicialmente a $20\text{ }^\circ\text{C}$, são colocados 200 g de determinado metal, cujo calor específico é $0,10\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ a $259\text{ }^\circ\text{C}$, e 100 g de água a $10\text{ }^\circ\text{C}$. Qual é a temperatura de equilíbrio desse sistema de corpos?

Resolução:

Primeiramente vamos organizar os dados numa tabela.

	m (g)	c (cal/g · °C)	θ_i (°C)	θ_f (°C)
1. Água	100	1,0	10	θ
2. Metal	200	0,1	259	θ
3. Calorímetro	C = 6 cal/°C		20	θ

Temos:

$$\begin{cases} Q = \frac{mc}{mc=C} \cdot \Delta\theta \\ Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \end{cases} \Rightarrow 100 \cdot 1 \cdot (\theta - 10) + 200 \cdot 0,1 \cdot (\theta - 259) + 6 \cdot (\theta - 20) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 100 \cdot \theta - 1000 + 20 \cdot \theta - 5180 + 6 \cdot \theta - 120 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 126 \cdot \theta = 6300, \text{ assim } \theta = \frac{6300}{126} \Rightarrow \theta = 50\text{ }^\circ\text{C}$$

Experimento de Joule

O cientista britânico James Prescott Joule (1818-1889) conhecia as conjecturas do Conde de Rumford sobre equivalência entre trabalho mecânico e energia térmica, como descrevemos no capítulo 1. Rumford estava intrigado com o aquecimento das peças ao usinar tubos de canhão.

Cuidadosamente, Joule elaborou um experimento para corroborar a concepção do calor como uma energia em trânsito, cuja descrição foi publicada em 1843.

Joule realizou diversos experimentos na busca do equivalente mecânico do calor. Por volta de 1840, inventou um recipiente com água, isolado termicamente, no qual colocou um sistema de pás que podiam agitar a água.

As pás giravam acionadas por blocos pendentes cujas massas eram conhecidas. A energia fornecida à água corresponde à variação de energia potencial dos blocos que desciam. Essa experiência, repetida várias vezes, comprovou que para cada unidade de energia mecânica fornecida existe uma mesma quantidade de calor associada: a água era aquecida devido à rotação das pás.

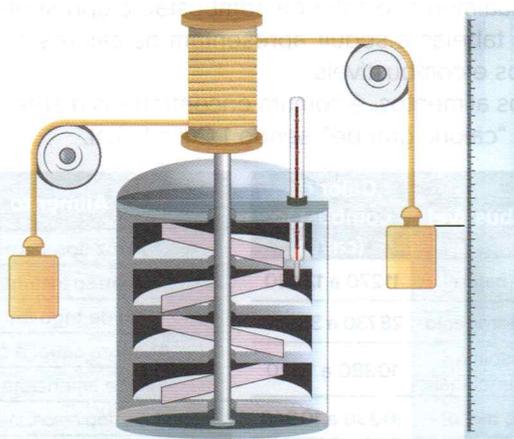


Figura conceitual sobre o aparato de Joule utilizado para determinar a equivalência mecânica do calor.

A obsessão de Joule por esse resultado era tanta que teve o cuidado de levar um grande e preciso termômetro em sua bagagem de lua de mel, em 1847, para Chamonix (França). Lá havia uma cachoeira, onde ele esperava constatar $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ de aumento na temperatura da água após a queda.

A importância histórica do trabalho de Joule reside no fato de ela unificar dois setores anteriormente separados da Física, a Calorimetria e a Mecânica. Assim, fica clara a seguinte afirmação:

A unidade caloria nada mais é que uma unidade de energia.

Com a evolução dos instrumentos de medida e a melhoria dos experimentos, o Escritório Internacional de Pesos e Medidas resolveu definir como padrão:

$$1 \text{ caloria} = 4,1868 \text{ joules (exatamente).}$$

Essa definição está em vigor desde 1948.

Nos cálculos rotineiros, é comum a aproximação: $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

No campo teórico, Julius Robert Mayer havia mostrado em 1841 uma relação para o equivalente mecânico do calor, mas seu trabalho teve pouca repercussão. Ele e Joule calcularam, por caminhos diferentes, a exata quantidade de trabalho necessária para produzir aumento da quantidade de calor.

Mayer, baseado na teoria, e Joule, nos experimentos, chegaram à verdadeira natureza do calor: uma forma de energia.

Calor de combustão

Todos os organismos vivos necessitam de energia para a sua sobrevivência. No caso dos animais, a principal fonte de energia é a alimentação. O homem, através da alimentação, ingere proteínas, gorduras, vitaminas, carboidratos e uma quantidade de energia necessária para a realização de todas as suas atividades diárias.

O mesmo podemos dizer das máquinas e motores. Para que possam realizar trabalho, eles necessitam de energia e, nestes casos, a principal fonte de energia é o combustível. Os combustíveis, assim como os alimentos, contêm energia que pode ser liberada e utilizada por outros mecanismos.

A energia contida nos alimentos e nos combustíveis pode ser medida através da queima (combustão). A combustão é uma reação exotérmica (liberação de calor) de uma substância com o oxigênio. Assim, a queima de 1 g de uma determinada substância libera uma quantidade de calor, denominada calor de combustão:

Calor de combustão é a quantidade de energia liberada na queima de uma substância, por unidade de massa.

Discussão em sala

Carros a álcool ou gasolina?

Considere dois automóveis idênticos, sendo um alimentado a gasolina e outro a álcool. Suponha que o aproveitamento de energia é 10% superior no carro puramente a álcool. Se o automóvel a gasolina perfaz, em média, 10 km/L, de quanto combustível precisará o abastecido a álcool, em L?

Abaixo de que percentual do preço da gasolina, por litro, se torna interessante economicamente o uso do álcool?

Dados: a densidade do álcool hidratado é 0,81 kg/L e a da gasolina é 0,79 kg/L.

Usualmente, o calor de combustão é apresentado em cal/g. As tabelas a seguir apresentam os calores de combustão de alguns alimentos e combustíveis.

Nos alimentos, é comum encontrarmos a abreviação Cal, também chamada de “caloria grande”, sendo 1 Cal = 1 kcal.

Combustível	Calor de combustão (cal/g)	Alimento	Valor energético (kcal/100 g)
Gás natural	11270 a 12480	Arroz tipo 1 cozido	128
Gás hidrogênio	28730 a 33980	Macarrão instantâneo	436
Gasolina convencional	10380 a 11120	Pão de trigo francês	300
Óleo diesel	10230 a 10940	Abóbora cabotiá cozida	48
Etanol	6440 a 7130	Alface americana crua	9
Lenha	4670 a 4920	Batata frita, tipo <i>chips</i> , industrializada	543
		Banana-nanica	92
		Contra-filé bovino com gordura, grelhado	278

Valores aproximados, calculados com base na tabela *Heating Values of Hydrogen and Fuels*, disponível em: <https://chemeng.queensu.ca/courses/CHEE332/files/ethanol_heating-values.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2019.

Para se obter o valor energético em unidades de cal/g, basta multiplicar os valores por 10. O cálculo do valor energético de cada alimento considerou o **calor de combustão** e a **digestibilidade**. Para detalhes, consultar a *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO*, disponível em: <www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao ampliada_e_revisada.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2019.

Leitura extra

Conceitos e controvérsias na história da ciência: teoria mecânica do calor

Somente em meados do século XIX houve a aceitação da teoria mecânica do calor, devido a novas experiências. Uma delas foi a de Julius Robert Mayer (1814-1878), que considerou calor e trabalho equivalentes e que poderiam ser convertidos um no outro. Rejeitando a teoria do calórico, para ele, o calor consistia em algo gerado a partir de alguma coisa. Dessa maneira o calor produzido mecanicamente é proporcional ao trabalho empregado em qualquer tipo de processo na natureza. Mayer fundamentou suas ideias, para publicação de um artigo, que a primeira instância não foi aceito por ser considerado vago e conter muitos erros sobre conceitos básicos: queda livre, adição vetorial de forças, etc.

Não desistindo, refaz o artigo, aprimorando seus conhecimentos, e, desta vez, foi aceito em 1842 pela revista *Annalen der Chemie und Pharmacie*. Nele propõe um novo conceito de “força” e como poderia se aplicar a física, que representa hoje energia de uma forma geral, admitindo o princípio de causas e efeitos. Mayer não tenta explicar o calor como uma forma de movimento, mas adota uma concepção muito mais geral: ele admite que o calor, o movimento (energia cinética) e a força de queda (energia potencial) são diferentes formas de uma mesma coisa, mas que essa coisa – a “força”, em abstrato – não é propriamente nenhuma dessas três coisas. Esta é uma concepção muito semelhante ao nosso conceito moderno de energia. Mayer publicou um dos primeiros trabalhos que levou à formulação da conservação da energia.

A descrença, em princípio, nos trabalhos de Rumford e Mayer mostra quão lento e dificultoso pode ser o processo de superação de um modelo científico.

O trabalho de Rumford, por exemplo, foi ignorado pelos cinquenta anos seguintes à sua apresentação.

Nesse período os trabalhos de James Prescott Joule (1818-1889) já haviam sido publicados (1843), e tratavam o calor a partir de fenômenos eletromagnéticos. Passados dois anos, Joule publicou um artigo que tratava das variações de temperatura produzidas na compressão e dilatação dos gases, e, no mesmo ano, publicou sua primeira descrição da experiência de agitação de água através de pás, obtendo êxito somente em 1847, publicando um novo artigo.

Um ano depois, Mayer publicou uma carta de indignação por não ter conseguido publicar seus artigos e requer o direito de pioneiro nas descobertas das transformações mútuas de poder mecânico em calor e por ter calculado o equivalente mecânico do calor. Por desconhecer os trabalhos de Joule, enfatizou que em seus trabalhos havia estudos a respeito dos poderes magnéticos, elétricos, químicos, etc.

A controvérsia entre Joule e Mayer pelo direito de ser considerado o primeiro a obter o equivalente mecânico do calor resulta na internação de Mayer num asilo para alienados mentais e em sua morte em 1878. No entanto foram os trabalhos de Joule, com suas experiências térmicas, que contribuíram para esses estudos, cuja formulação e determinação do equivalente mecânico do calor tiveram mais influência sobre o desenvolvimento e especialmente a aceitação do princípio da conservação da energia.

SOUZA, Rafaelle da Silva. O experimento de Joule e o ensino de termodinâmica baseado na história da ciência: uma proposta didática. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física), Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2012. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2309/1/PDF%20-%20Rafaelle%20da%20Silva%20Souza.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2019. Adaptado.

1 Os gráficos a seguir mostram a curva da temperatura em função da quantidade de calor fornecida para o aquecimento do ferro e do alumínio para duas amostras de cada. No gráfico 1, temos o resultado de duas amostras, uma de ferro e outra de alumínio, cada uma de 100 g. No gráfico 2, temos também o resultado de duas amostras, uma de ferro e outra de alumínio, mas de 50 g cada uma. Com base nos gráficos, complete, na tabela a seguir, os valores das capacidades térmicas e dos calores específicos.

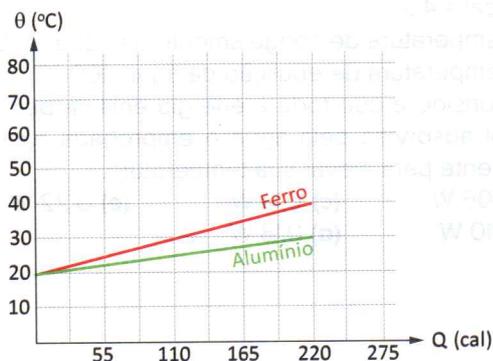


Gráfico 1 – massa = 100 g

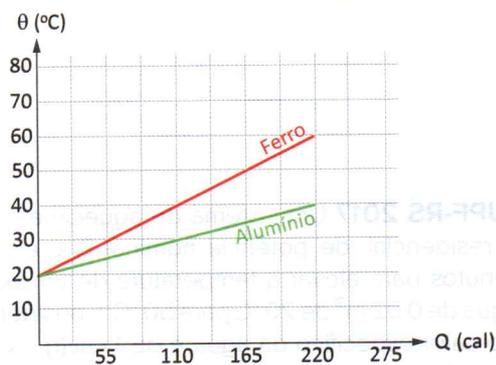


Gráfico 2 – massa = 50 g

Massa	Corpo de ferro	Corpo de alumínio
100 g	$C_{100g\ Fe} =$ $c_{Fe} =$	$C_{100g\ Al} =$ $c_{Al} =$
50 g	$C_{50g\ Fe} =$ $c_{Fe} =$	$C_{50g\ Al} =$ $c_{Al} =$

2 No sistema usual da Calorimetria o calor específico da água é $1\text{ cal/g }^\circ\text{C}$ e o da areia de praia, $0,20\text{ cal/g }^\circ\text{C}$.

- Qual é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 kg de água de $50\text{ }^\circ\text{C}$?
- Se a quantidade de calor calculada no item anterior for fornecida a 1 kg de areia, qual a variação de temperatura que seria observada?
- Qual é o equivalente em água para essa massa de areia?

3 Uerj 2018 Em um estudo sobre fenômenos térmicos, foram avaliados quatro objetos distintos, cujos valores de massa m , de quantidade de calor Q e de variação de temperatura $\Delta\theta$ estão apresentados na tabela abaixo.

Objeto	m (g)	Q (cal)	$\Delta\theta$ ($^\circ\text{C}$)
I	20	100	10
II	30	120	20
III	60	150	10
IV	40	180	15

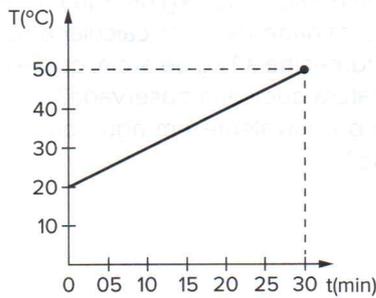
Com base nesses dados, o objeto com o maior calor específico está identificado pelo seguinte número:

- (a) I (b) II (c) III (d) IV

4 EEAR-SP 2019 Duas porções de líquidos A e B, de substâncias diferentes, mas de mesma massa, apresentam valores de calor específico respectivamente iguais a $0,58\text{ cal/g }^\circ\text{C}$ e $1,0\text{ cal/g }^\circ\text{C}$. Se ambas receberem a mesma quantidade de calor sem, contudo, sofrerem mudanças de estado físico, podemos afirmar corretamente que:

- a porção do líquido A sofrerá maior variação de temperatura do que a porção do líquido B.
- a porção do líquido B sofrerá maior variação de temperatura do que a porção do líquido A.
- as duas porções, dos líquidos A e B, sofrerão a mesma variação de temperatura.
- as duas porções, dos líquidos A e B, não sofrerão nenhuma variação de temperatura.

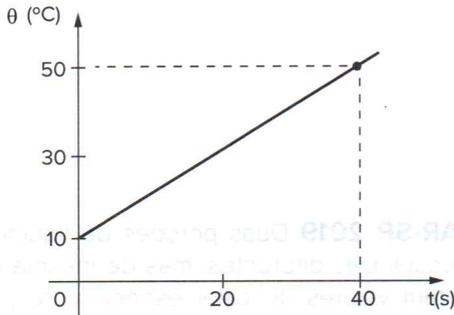
5 EEAR-SP 2018 Um corpo absorve calor de uma fonte a uma taxa constante de 30 cal/min e sua temperatura (T) muda em função do tempo (t) de acordo com o gráfico a seguir.



A capacidade térmica (ou calorífica), em cal/ $^{\circ}\text{C}$, desse corpo, no intervalo descrito pelo gráfico, é igual a

- (a) 1 (b) 3 (c) 10 (d) 30

6 USF-SP Abaixo está representado o gráfico de aquecimento de 200 g de um líquido que recebe calor de uma fonte de potência constante 100 cal/s. O calor específico do líquido, em cal/g $^{\circ}\text{C}$, é de



- (a) 0,50 (b) 0,40 (c) 0,30 (d) 0,25 (e) 0,20

7 Fuvest-SP 2017 No início do século XX, Pierre Curie e colaboradores, em uma experiência para determinar características do recém-descoberto elemento químico rádio, colocaram uma pequena quantidade desse material em um calorímetro e verificaram que 1,30 grama de água líquida ia do ponto de congelamento ao ponto de ebulição em uma hora.

A potência média liberada pelo rádio nesse período de tempo foi, aproximadamente,

Note e adote:

- Calor específico da água: 1 cal/(g \cdot $^{\circ}\text{C}$)
- 1 cal = 4 J
- Temperatura de congelamento da água: 0 $^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de ebulição da água: 100 $^{\circ}\text{C}$
- Considere que toda a energia emitida pelo rádio foi absorvida pela água e empregada exclusivamente para elevar sua temperatura.

- (a) 0,06 W (c) 0,14 W (e) 0,22 W
(b) 0,10 W (d) 0,18 W

8 UPF-RS 2017 Um sistema de aquecimento elétrico residencial, de potência nominal P , precisa de 10 minutos para elevar a temperatura de um volume de água de 0,02 m^3 de 20 $^{\circ}\text{C}$ para 50 $^{\circ}\text{C}$. Considerando que o calor específico da água é de 1 cal/(g \cdot $^{\circ}\text{C}$), podemos afirmar que a potência do aquecedor, em W, é de aproximadamente:

(Considere a densidade da água igual a 1000 kg/m^3 e que 1 cal = 4,2 J)

- (a) 1250
(b) 5500
(c) 4200
(d) 6500
(e) 3900

9 Uerj 2018 Para explicar o princípio das trocas de calor, um professor realiza uma experiência, misturando em um recipiente térmico 300 g de água a 80 °C com 200 g de água a 10 °C.

Desprezadas as perdas de calor para o recipiente e para o meio externo, a temperatura de equilíbrio térmico da mistura, em °C, é igual a:

- (a) 52
- (b) 45
- (c) 35
- (d) 28

10 UPF-RS 2018 Um professor de Física, ao final de seu dia de trabalho, resolve preparar um banho de banheira e deseja que sua água esteja exatamente a 38 °C. Entretanto, ele se descuida e verifica que a temperatura da água atingiu 42 °C. Para solucionar o problema, o professor resolve adicionar água da torneira, que está a 18 °C. Considerando que há, na banheira, 60 litros de água, e que haja trocas de calor apenas entre a água quente e a água fria, qual será o volume de água, em litros, que ele deverá acrescentar na banheira para atingir a temperatura desejada?

- (a) 12
- (b) 20
- (c) 18
- (d) 16
- (e) 6

11 UFJF/Pism-MG 2018 Em um laboratório de física é encontrado um frasco opaco contendo 100 g de um líquido desconhecido, armazenado na geladeira do laboratório a uma temperatura de 6 graus Celsius. Um estudante deseja identificar o líquido sem abrir o frasco, usando um calorímetro ideal. No calorímetro, o estudante insere 100 mL de água pura, a 20 graus Celsius, e em seguida insere o frasco contendo o líquido. Após certo tempo, o frasco com o líquido desconhecido entra em equilíbrio térmico com a água, que passa a ter uma temperatura de 16 graus Celsius. Vamos supor que

não há trocas de calor do conteúdo do calorímetro com o ambiente, e que a massa do frasco seja desprezível. O calor específico da água é de aproximadamente 4,2 J g⁻¹K⁻¹ e sua densidade é 1,0 g/mL.

A tabela abaixo tem a informação do calor específico de uma variedade de líquidos.

Substância	Calor específico (J g ⁻¹ K ⁻¹)
Tolueno	1,59
Azeite	1,68
Acetona	2,13
Glicerina	2,43
Parafina	3,26

Qual deles deve ser o líquido desconhecido?

- (a) Parafina.
- (b) Glicerina.
- (c) Acetona.
- (d) Azeite.
- (e) Tolueno.

12 Famerp-SP 2018 Em um recipiente de capacidade térmica desprezível, 300 g de água, inicialmente a 20 °C, foram aquecidos. Após 2,0 minutos, quando a temperatura da água era 40 °C, mais 300 g de água a 20 °C foram adicionados ao recipiente. Considerando que não ocorreu perda de calor da água para o meio e que a fonte fornece calor a uma potência constante durante o processo, o tempo decorrido, após a adição da água, para que a temperatura da água atingisse 80 °C foi de

- (a) 5,0 min.
- (b) 14,0 min.
- (c) 10,0 min.
- (d) 15,0 min.
- (e) 8,0 min.

Capacidade térmica de um corpo

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

Sistema de unidades usual: $[C] = \frac{\text{calorias}}{^{\circ}\text{C}}$

Calor específico de uma substância

Por definição: $c = \frac{C}{m}$, logo $C = m \cdot c$

Unidade no sistema usual: $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}}$

Equação do calor sensível

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

Fluxo de calor

Mede a potência térmica transmitida:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

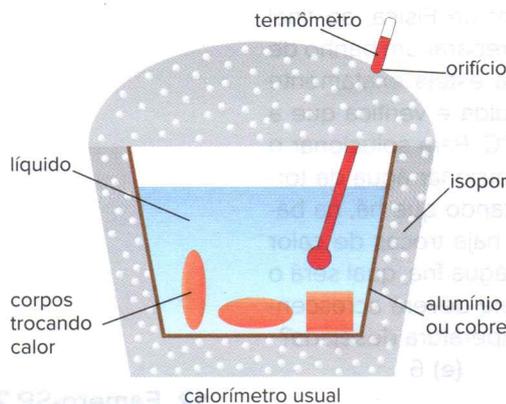
Unidade no sistema usual: $\frac{\text{cal}}{\text{s}}$

Sistema isolado termicamente

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0$$

Sistema não isolado: $\sum_{i=1}^n Q_i + Q_{\text{ambiente}} = 0$

Calorímetro



Experimento de Joule

Equivalente mecânico do calor:

$$1 \text{ caloria} = 4,1868 \text{ joules.}$$

Calor de combustão

É a quantidade de energia liberada na queima de uma substância, por unidade de massa.

MAIS



• Energy2D.

Aplicativo para visualizar o fluxo de calor a partir de um sólido aquecido (Mac e Windows).

Disponível em: <<http://p.p4ed.com/KCRXB>>. Acesso em: 03 dez. 2019.



• Capacidade Térmica de um Calorímetro, Prof BrunoZISc.

Vídeo sobre como determinar a capacidade térmica de um calorímetro.

Disponível em: <<http://p.p4ed.com/KCRXN>>. Acesso em: 03 dez. 2019.

1 Ufes Considere que 2,40 kg de uma substância cujo calor específico é 0,500 cal/g °C, que está inicialmente a 35,0 °C, perde 9,60 kcal em um processo que não apresenta mudança de fase. A temperatura final da substância é:

- (a) 43,0 °C
- (b) 27,0 °C
- (c) 12,0 °C
- (d) 10,8 °C
- (e) 8,0 °C

2 Mackenzie-SP 2018 Para a prática de esportes olímpicos, é adequada a piscina olímpica. As dimensões dela, segundo a Federação Internacional de Natação, devem ser de 50 m para o comprimento, 25 m para a largura e 2,0 m para a profundidade. A temperatura média ideal da água deve ser igual a 25 °C.

A quantidade de energia necessária, em joules, a ser fornecida para deixar a água da piscina na temperatura ideal – sendo essa a única troca de energia a se considerar –, observando que inicialmente a água, que preenche todo o volume da piscina, estava a 20 °C, é igual a

Dados:

$c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ (calor específico sensível da água)

$d_{\text{água}} = 1,0 \text{ g/cm}^3$ (massa específica da água)

1,0 cal = 4,0 J

- (a) $2,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$
- (b) $3,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$
- (c) $4,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$
- (d) $5,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$
- (e) $6,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$

3 Unicamp-SP 2019 A depilação a *laser* é um procedimento de eliminação dos pelos que tem se tornado bastante popular na indústria de beleza e no mundo dos esportes. O número de sessões do procedimento depende, entre outros fatores, da coloração da pele, da área a ser tratada e da quantidade de pelos nessa área.

Na depilação, o *laser* age no interior da pele, produzindo uma lesão térmica que queima a raiz do pelo. Considere uma raiz de pelo de massa $m = 2,0 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$, inicialmente a uma temperatura $T_i = 36 \text{ }^\circ\text{C}$, que é aquecida pelo *laser* a uma temperatura final $T_f = 46 \text{ }^\circ\text{C}$.

Se o calor específico da raiz é igual a $c = 3000 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$, o calor absorvido pela raiz do pelo durante o aquecimento é igual a

Dados: Se necessário, use aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$, aproxime $\pi = 3,0$ e $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$.

- (a) $6,0 \cdot 10^{-6} \text{ J}$
- (b) $6,0 \cdot 10^{-8} \text{ J}$
- (c) $1,3 \cdot 10^{-12} \text{ J}$
- (d) $6,0 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

4 Unigranrio-RJ 2017 Duas amostras de massas iguais, uma de ferro e uma de alumínio, recebem a mesma quantidade de calor Q . Sabendo que o calor específico do ferro vale 0,11 cal/g °C, que o calor específico do alumínio vale 0,22 cal/g °C e que a temperatura da amostra do ferro se elevou em 200 °C após receber a quantidade de calor Q , qual foi a variação da temperatura da amostra de alumínio após receber a mesma quantidade de calor Q ?

- (a) 50 °C
- (b) 100 °C
- (c) 150 °C
- (d) 200 °C
- (e) 250 °C

5 IFSul-RS 2018 Na refrigeração de motores de automóveis, a substância refrigerante tanto pode ser o ar como a água.

Dados:

calor específico do ar = 0,25 cal/g °C.

calor específico da água = 1,00 cal/g °C.

A razão entre a massa de ar e a massa de água, para proporcionar a mesma refrigeração no motor de um automóvel, deverá ser igual a

- (a) 0,25
- (b) 1,00
- (c) 1,20
- (d) 4,00

6 Furg-RS Suponha que tenhamos um tanque com certa massa de água a uma temperatura inicial T_0 , o qual está recebendo uma certa quantidade de calor, através da base. Após um intervalo de tempo determinado, a água adquire uma temperatura agradável ao toque humano. A experiência mostra que uma mesma massa, mas de ferro, à mesma temperatura inicial T_0 , recebendo a mesma quantidade de calor, no mesmo intervalo de tempo, fica com uma temperatura insuportável ao toque humano.

Assinale a alternativa que melhor explica essa diferença.

- (a) Como o ferro tem um calor específico menor do que o da água, para uma mesma quantidade de calor, e mesma massa, apresentará uma maior variação de temperatura.
- (b) Como o ferro tem um calor específico maior do que o da água, para uma mesma quantidade de calor, e mesma massa, apresentará uma maior variação de temperatura.
- (c) Como o ferro tem um calor específico menor do que o da água, para uma mesma quantidade de calor, e mesma massa, apresentará uma menor variação de temperatura.
- (d) Como a fonte de calor é a mesma e as massas são idênticas, sendo ambas aquecidas num mesmo intervalo de tempo, as variações das temperaturas deverão ser exatamente as mesmas.
- (e) Para essa situação será válida a seguinte relação $\Delta\theta_{\text{Ferro}} \cdot c_{\text{água}} = \Delta\theta_{\text{água}} \cdot c_{\text{Ferro}}$, onde c é o calor específico e $\Delta\theta$ a variação da temperatura.

7 Uerj Considere duas amostras, X e Y, de materiais distintos, sendo a massa de X igual a quatro vezes a massa de Y.

As amostras foram colocadas em um calorímetro e, após o sistema atingir o equilíbrio térmico, determinou-se que a capacidade térmica de X corresponde ao dobro da capacidade térmica de Y.

Admita que c_X e c_Y sejam os calores específicos, respectivamente, de X e Y.

A razão $\frac{c_X}{c_Y}$ é dada por:

- (a) $\frac{1}{4}$ (b) $\frac{1}{2}$ (c) 1 (d) 2

8 Fuvest-SP Um amolador de facas, ao operar um esmeril, é atingido por fagulhas incandescentes, mas não se queima.

Isso acontece porque as fagulhas:

- (a) têm calor específico muito grande.
 (b) têm temperatura muito baixa.
 (c) têm capacidade térmica muito pequena.
 (d) estão em mudança de fase.
 (e) não transportam energia.

9 Uerj 2016 Admita duas amostras de substâncias distintas com a mesma capacidade térmica, ou seja, que sofrem a mesma variação de temperatura ao receberem a mesma quantidade de calor.

A diferença entre suas massas é igual a 100 g, e a razão entre seus calores específicos é igual a $\frac{6}{5}$.

A massa da amostra mais leve, em gramas, corresponde a:

- (a) 250
 (b) 300
 (c) 500
 (d) 600

10 UEM-PR 2016 (Adapt.) Um corpo de massa 200 gramas é constituído por uma substância de calor específico $0,8 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$. Assinale o que for **correto**.

01. Para que esse corpo varie a temperatura de 8°C para 23°C é necessário que ele receba uma quantidade de calor de 2400 cal, assumindo que nenhuma transição de fases esteja envolvida no processo.
 02. A capacidade térmica do corpo é de $160 \text{ cal}/^\circ\text{C}$.
 04. O calor específico de um corpo depende de sua massa.
 08. A capacidade térmica de um corpo mede a quantidade de calor cujo ganho (ou cuja perda) produz nele uma variação de temperatura unitária.

Soma:

11 Mackenzie-SP 2018



No dia vinte e três de janeiro de 2018, a cidade de São Paulo ganhou a sua 72ª estação de metrô, a estação Higienópolis-Mackenzie, que faz parte da Linha 4 – Amarela. A estação é totalmente acessível aos usuários com deficiência e mobilidade reduzida. Os pavimentos contam com cinco elevadores que fazem a interligação da rua com o mezanino e com as plataformas, além de 26 escadas rolantes e 13 fixas. Supõe-se que uma pessoa com massa 80 kg rejeite os elevadores e as escadas rolantes e, disposta a emagrecer dissipando a sua energia, suba diariamente os 25 metros de profundidade da estação.

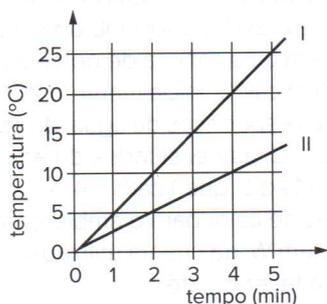
Considerando-se a massa específica da água $1,0 \text{ g}/\text{cm}^3$, seu calor específico sensível $1,0 \text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$, a aceleração gravitacional $g = 10 \text{ m}/\text{s}^2$ e $1,0 \text{ cal}$ equivalente aproximada a $4,0 \text{ joules}$, em cinco dias, a energia dissipada por essa pessoa aquece um litro de água de um intervalo de temperatura em $^\circ\text{C}$ igual a

- (a) 50
 (b) 25
 (c) 20
 (d) 10
 (e) 5,0

12 ITA-SP Uma resistência elétrica é colocada em um frasco contendo 600 g de água e, em 10 min, eleva a temperatura do líquido de 15°C . Se a água for substituída por 300 g de outro líquido a mesma elevação de temperatura ocorre em 7,0 min. Supondo que a taxa de aquecimento seja a mesma em ambos os casos, pergunta-se qual é o calor específico do líquido. O calor específico médio da água no intervalo de temperaturas dado é $4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ e considera-se desprezível o calor absorvido pelo frasco em cada caso:

- (a) $1,67 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
 (b) $3,3 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
 (c) $0,17 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
 (d) $12 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
 (e) outro valor.

13 Vunesp Massas iguais de água e óleo foram aquecidas num calorímetro, separadamente, por meio de uma resistência elétrica que forneceu energia térmica com a mesma potência constante, ou seja, em intervalos de tempo iguais cada uma das massas recebeu a mesma quantidade de calor. Os gráficos na figura representam a temperatura desses líquidos no calorímetro em função do tempo, a partir do instante em que se iniciou o aquecimento.



- a) Qual das retas, I ou II, é a da água, sabendo-se que seu calor específico é maior que o do óleo? Justifique sua resposta.
- b) Determine a razão entre os calores específicos da água e do óleo, usando os dados do gráfico.

14 UFRGS 2019 A telefonia celular utiliza radiação eletromagnética na faixa da radiofrequência (RF: 10 MHz – 300 GHz) para as comunicações. Embora não ionizantes, essas radiações ainda podem causar danos aos tecidos biológicos através do calor que elas transmitem. A taxa de absorção específica (SAR – *specific absorption rate*) mede a taxa na qual os tecidos biológicos absorvem energia quando expostos às RF's, e é medida em Watt por quilograma de massa do tecido (W/kg).

No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações, ANATEL, estabeleceu como limite o valor de 2 W/kg para a absorção pelas regiões da cabeça e tronco humanos. Os efeitos nos diferentes tecidos são medidos em laboratório. Por exemplo, uma amostra de tecido do olho humano exposta por 6 minutos à RF de 950 MHz, emitida por um telefone celular, resultou em uma SAR de 1,5 W/kg.

Considerando o calor específico desse tecido de 3600 J/(kg °C), sua temperatura (em °C) aumentou em

- (a) 0,0025
 (b) 0,15
 (c) 0,25
 (d) 0,67
 (e) 1,50

15 Vunesp Uma bacia contém 18 litros de água à temperatura de 24 °C. Desprezando-se a capacidade térmica da bacia e as perdas para o ambiente, pode-se obter uma mistura à temperatura final de 36 °C despejando-se na bacia certa quantidade de água a 72 °C. Esta quantidade de água deverá ser de

- (a) 7,5 litros.
 (b) 6,0 litros.
 (c) 4,5 litros.
 (d) 3,0 litros.
 (e) 1,5 litro.

16 Mackenzie-SP A menor massa de água (calor específico = 1 cal / g °C) a 20 °C que devemos colocar em um recipiente que contém 300 g de água a 80 °C, para obtermos água a 40 °C, é:

- (a) 200 g
 (b) 300 g
 (c) 400 g
 (d) 500 g
 (e) 600 g

17 PUC-SP 2017 Uma xícara contém 30 mL de café a 60 °C. Qual a quantidade, em mL, de leite frio, cuja temperatura é de 10 °C, que devemos despejar nessa xícara para obtermos uma mistura de café com leite a 40 °C?

Considere as trocas de calor apenas entre o café e o leite, seus calores específicos iguais e suas densidades iguais a 1 g/cm³.



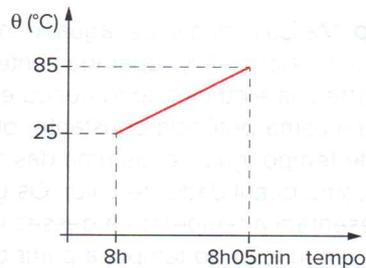
- (a) 15
 (b) 20
 (c) 25
 (d) 35

18 Cefet-MG Uma garrafa térmica contém 250 g de água a 10 °C. Colocando 100 g de um metal a 100 °C no interior da garrafa térmica, a temperatura de equilíbrio do sistema é de 20 °C. Determine o calor específico do metal, considerando que não há perdas de calor na garrafa térmica.

19 PUC-Rio 2018 O conteúdo de uma garrafa térmica tem 1/3 de seu volume preenchido com água à temperatura T_0 , e 2/3 preenchido com água à temperatura $T_0/2$. A temperatura de equilíbrio, em função de T_0 , é

(a) $2T_0/9$
 (b) $T_0/3$
 (c) $T_0/2$
 (d) $2T_0/3$
 (e) T_0

20 Unifesp 2018 Para a preparação de um café, 1 L de água é aquecido de 25 °C até 85 °C em uma panela sobre a chama de um fogão que fornece calor a uma taxa constante. O gráfico representa a temperatura (θ) da água em função do tempo, considerando que todo o calor fornecido pela chama tenha sido absorvido pela água.



Após um certo período de tempo, foram misturados 200 mL de leite a 20 °C a 100 mL do café preparado, agora a 80 °C, em uma caneca de porcelana de capacidade térmica 100 cal/°C, inicialmente a 20 °C. Considerando os calores específicos da água, do café e do leite iguais a 1 cal/g · °C, as densidades da água, do café e do leite iguais a 1 kg/L, que 1 cal/s = 4 W e desprezando todas as perdas de calor para o ambiente, calcule:

- a) a potência, em W, da chama utilizada para aquecer a água para fazer o café.
 b) a temperatura, em °C, em que o café com leite foi ingerido, supondo que o consumidor tenha aguardado que a caneca e seu conteúdo entrassem em equilíbrio térmico.

Na resolução, use quando necessário: $g = 10 \text{ m/s}^2$, $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$, $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\pi(\pi) = 3$.

SUPERAÇÃO

IME-SP 2019

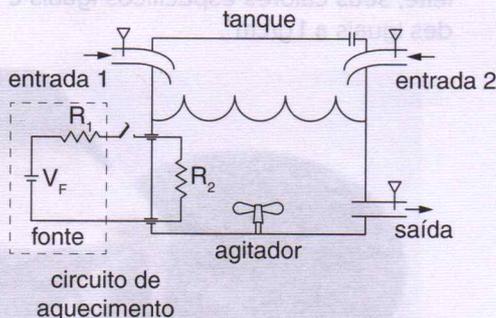


Figura 1

A Figura 1 ilustra um tanque industrial contendo duas entradas e uma saída, além de um circuito de aquecimento. A temperatura do líquido no interior do tanque deve ser controlada, a fim de alimentar o processo industrial conectado na saída do tanque. O agitador mistura continuamente os líquidos que chegam pelas entradas, de maneira que o volume total de líquido dentro do tanque esteja sempre numa única temperatura. A perda térmica do tanque pode ser desprezada.

Considere o tanque inicialmente vazio, com a válvula de saída fechada e o sistema de aquecimento desligado. Em $t = 0$ a válvula da entrada 1 é aberta com uma vazão de água de 1 L/min à temperatura de 10 °C e a válvula da entrada 2 com uma vazão de água de 0,25 L/min à temperatura de 30 °C. Nessas condições, determine:

- a) a temperatura da água no interior do tanque em $t = 50 \text{ min}$;

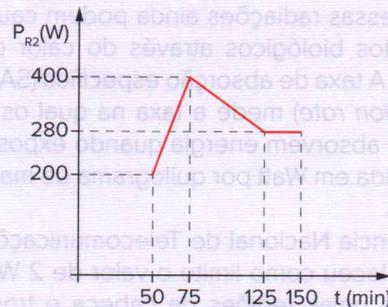


Figura 2

- b) a temperatura da água no interior do tanque em $t = 150 \text{ min}$, se o circuito de aquecimento é ligado em $t = 50 \text{ min}$ e a potência dissipada na resistência R_2 , P_{R2} , varia de acordo com o gráfico da Figura 2;
 c) a tensão V_F que deverá ser ajustada na fonte para manter a temperatura da água na saída em 22 °C após um longo tempo de funcionamento do sistema ($t \gg 150 \text{ min}$), sabendo que a válvula da entrada 2 foi fechada, o volume no interior do tanque encontra-se nessa mesma temperatura de 22 °C e a válvula de saída foi aberta com a mesma vazão da válvula da entrada 1.

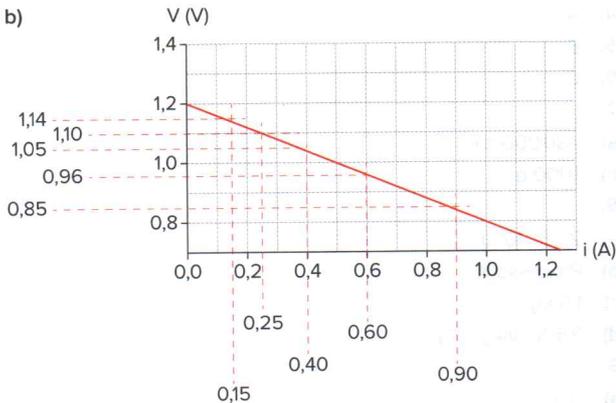
Dados:

- $R_1 = 2 \Omega$;
- $R_2 = 10 \Omega$;
- $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$;
- calor específico da água (c) = 1 cal/g °C; e
- densidade da água = 1 kg/L.

8.
 a) $i_{cc} = 6 \text{ A}$
 b) $r = 2 \Omega$
 c) $U = 12 - 2i \text{ (SI)}$
 9. B
 10. $R = 9 \Omega$ e $\eta = 75\%$

11.
 a) $r = 100 \Omega$
 b) $\mathcal{P}_t = 24 \text{ W}$, $\mathcal{P}_u = 20 \text{ W}$ e $\mathcal{P}_d = 4 \text{ W}$
 c) $\eta = 83,33\%$

12.
 a) $i = 0,60 \text{ A}$
 b)



- c) $\varepsilon = 1,2 \text{ V}$

13.
 a) $U = 32 \text{ A}$
 b) $\varepsilon = 40 \text{ V}$
 c) $r = 4 \Omega$

14.
 a) $\eta = 80\%$
 b) $\eta = 60\%$
 c) $\eta = 40\%$

15. C
 16. $\varepsilon = 6 \text{ V}$ e $r = 1,5 \Omega$

17. D
 18.
 a) $\varepsilon = 1,5 \text{ V}$
 b) $i = 3 \text{ A}$

19. $\Delta E = 90 \text{ J}$
 20. C
 21. B
 22. $R_{AB} = 1 \Omega$
 23. C

SUPERAÇÃO

E

Frente B

Unidade 1 – Capítulo 1

Termometria

Aplicando conhecimentos

- E
- Soma: 16
- C
- 78 K e $-319 \text{ }^\circ\text{F}$
- E
- $90 \text{ }^\circ\text{F}$
- B
- D
- C

Consolidando saberes

- Soma: $02 + 16 = 18$
- D
- A
- B
- C
- E
- C
- $\theta_x = 5h - 90$
- A
- C
- A
- A
- B

SUPERAÇÃO

- $\theta_R = \theta_F + 459,67$
- $x = 14$
- 1,5%

Unidade 1 – Capítulo 2

Calor sensível

Aplicando conhecimentos

1.	Massa	Corpo de ferro	Corpo de alumínio
	100 g	$C_{100\text{gFe}} = 11 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ $c_{\text{Fe}} = 0,11 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$	$C_{100\text{gAl}} = 22 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ $C_{\text{Al}} = 0,22 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$
	50 g	$C_{50\text{gFe}} = 5,5 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ $c_{\text{Fe}} = 0,11 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$	$C_{50\text{gAl}} = 11 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ $C_{\text{Al}} = 0,22 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$

- 50 000 cal
 - $250 \text{ }^\circ\text{C}$
 - 200 g
- A
- A

5. D
6. A
7. C
8. C
9. A
10. A
11. D
12. C

Consolidando saberes

1. B
2. D
3. A
4. B
5. D
6. A
7. B
8. C
9. C
10. Soma: $01 + 02 + 08 = 11$
11. B
12. E
13.
 - a) II. Quanto maior o calor específico, menor a variação de temperatura para uma mesma quantidade de calor.
 - b) $\frac{c_{\text{água}}}{c_{\text{óleo}}} = 2$
14. B
15. B
16. E
17. B
18. $c_m = 0,312 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$
19. D
20.
 - a) 800 W
 - b) 35°C

SUPERAÇÃO

- a) 14°C
- b) $16,4^\circ\text{C}$
- c) $\cong 110 \text{ V}$

Unidade 1 – Capítulo 3

Calor latente

Aplicando conhecimentos

1. D
2. D
3. B
4. D
5.
 - a) 0°C , porque é a única temperatura em que é possível haver equilíbrio térmico entre água e gelo a 1 atm.

- b) 810 s.
6. 90°C .
7.
 - a) $0,13 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$.
 - b) 100 g.
8. A
9. 50 g.

Consolidando saberes

1. B
2. A
3. D
4. A
5. B
6. C
7.
 - a) -80000 cal .
 - b) 1000 g.
8.
 - a) $2,28 \cdot 10^6 \text{ J}$.
 - b) Processo II.
 - c) 1,5 kg.
 - d) $2500 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$.
9.
 - a) 0°C .
 - b) 250 g.
10. A
11. 17800 cal e 690 g.
12.
 - a) 105°C .
 - b) Aproximadamente 1,85 g.
13. B

SUPERAÇÃO

- a) $r = \sqrt[3]{\frac{88}{115}} \cdot R$
- b) $-27,9^\circ\text{C}$.

No Enem é assim

1. C
2. D
3. D
4. D
5. C
6. B

Unidade 2 – Capítulo 4

Propagação do calor

Aplicando conhecimentos

1. A
2. 3600 cal