

Termometria

Para desenvolver o estudo da medida de temperatura, é de fundamental importância o conhecimento dos critérios adotados para a criação das escalas termométricas, tanto as escalas relativas usuais – Celsius e Fahrenheit – como a escala absoluta Kelvin, estabelecida com base no conceito de zero absoluto.

▶ **2.1 Medida da temperatura**

A avaliação da temperatura de um corpo, pela sensação térmica produzida por ele, tem caráter subjetivo.

▶ **2.2 Graduação de um termômetro. Escalas termométricas**

A graduação de um termômetro envolve a escolha de dois pontos fixos.

▶ **2.3 A temperatura como medida da agitação térmica. A escala absoluta Kelvin**

A medida da agitação térmica das partículas de um corpo permitiu o desenvolvimento da escala absoluta Kelvin. Sua origem é o zero absoluto.

Um dos primeiros dispositivos para avaliar as temperaturas foi criado por Galileu no século XVII. Desde então, esses equipamentos foram se tornando mais sofisticados e hoje se tem a possibilidade de medir com precisão temperaturas extremamente baixas, como a do nitrogênio líquido, ou extremamente elevadas, como a dos metais incandescentes nas siderúrgicas.



Medida da temperatura

Objetivos

- ▶ Conceituar grandeza termométrica.
- ▶ Relacionar as grandezas termométricas e as medidas de temperaturas.
- ▶ Descrever o termômetro de mercúrio.

Termos e conceitos

- sensação térmica
- substância termométrica
- grandeza termométrica
- função termométrica
- termômetro

Frequentemente usamos os termos frio, quente, morno etc. para traduzir a sensação que temos ao entrar em contato com um sistema. Assim, do mesmo modo que a luz impressiona nossa visão (sensação luminosa) e que o som impressiona nossa audição (sensação sonora), é o sentido do tato que nos proporciona a **sensação térmica**, que constitui a primeira noção de temperatura de um sistema.

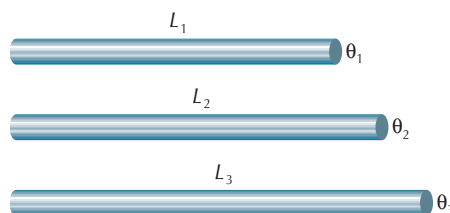
Esse critério sensorial para avaliar temperaturas, no entanto, é impreciso, pois depende da pessoa que sente e das condições nas quais se encontrava anteriormente.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
Atividade experimental: *Sensação térmica*

Termômetro

Para tornar mais precisa a noção de temperatura, recorreremos às variações que certas propriedades dos corpos sofrem quando muda a sensação térmica. Por exemplo, o comprimento de uma barra aumenta (dilatação) quando ela se torna mais quente. Desse modo, a temperatura θ da barra pode ser avaliada indiretamente pelo valor assumido por seu comprimento L (fig. 1).



◀ **Figura 1.** A cada valor L do comprimento da barra corresponde um valor θ de temperatura.

De modo geral, sendo x uma grandeza conveniente que define uma das propriedades do corpo (como o comprimento L , no caso da barra), a cada valor de x faz-se corresponder um determinado valor θ de temperatura.

A grandeza x é denominada **grandeza termométrica**. A correspondência entre os valores da grandeza x e da temperatura θ constitui a função termométrica. Ao corpo em observação dá-se o nome de **termômetro**. A barra da **figura 1**, na qual a cada valor do comprimento L (grandeza termométrica) corresponde um valor da temperatura θ , poderia, em princípio, ser usada como termômetro.

Até o advento dos modernos termômetros digitais, que usam recursos da eletrônica na medida da temperatura, os termômetros mais utilizados eram os de mercúrio, como o representado na **figura 2**. O **termômetro de mercúrio** baseia-se na dilatação de certa quantidade de mercúrio contido num recipiente de vidro (bulbo), ligado a um tubo capilar, isto é, um tubo de diâmetro bem pequeno. A escolha do mercúrio como **substância termométrica** deve-se ao fato de ser um líquido de dilatação regular numa faixa de temperaturas bem ampla. Além disso, o mercúrio é facilmente visualizável, por ser opaco e brilhante. Nas considerações seguintes, admitiremos sempre a utilização de termômetros de mercúrio no estudo das escalas de temperatura.

O emprego do termômetro para avaliação da temperatura de um sistema fundamenta-se no fato de que, após algum tempo em contato, o sistema e o termômetro adquirem a mesma temperatura, isto é, alcançam o equilíbrio térmico.



Figura 2. O termômetro de mercúrio. ▶

▶ O “termômetro” de Galileu

Um dos primeiros dispositivos criados para avaliar temperaturas foi o **termoscópio a ar** inventado por Galileu, do qual se vê uma réplica na foto. Esse termoscópio não pode ser considerado propriamente um termômetro, uma vez que não estabelece valores numéricos para a temperatura — ele apenas indica se um corpo está mais quente ou mais frio que outro, tomado como referência.

O termoscópio de Galileu é constituído de um bulbo ligado a um tubo de vidro que tem a extremidade inferior imersa em um líquido. Quando a temperatura do ar contido no bulbo aumenta, a pressão do ar também aumenta e o nível do líquido desce. Quando a temperatura do ar diminui, a pressão do ar diminui e o nível do líquido sobe. Consta que, originalmente, Galileu teria usado vinho no seu termoscópio para visualizar melhor o nível do líquido.

Antes dos primeiros termômetros, outros termoscópios foram construídos. Em 1631, o médico e químico francês Jean Rey (1583-1645) conectou um tubo vertical aberto a um recipiente cheio de água. Nesse aparelho, com o aumento da temperatura, a água subia pelo tubo. Embora a substância termométrica fosse o líquido e não o ar, a imprecisão ainda era grande, devido à influência da pressão atmosférica, à pouca dilatação da água e à evaporação do líquido.



◀ O princípio de funcionamento do termoscópio é hoje utilizado em brinquedos como o da figura. Colocando-se a mão em contato com o recipiente inferior, o vidro se aquece e aumenta a pressão interna do vapor existente na parte de baixo. Como consequência, o líquido é “empurrado” para cima.

Gradação de um termômetro. Escala termométrica

Objetivos

- ▶ Conceituar escala termométrica.
- ▶ Descrever o procedimento para se graduar um termômetro.
- ▶ Utilizar diferentes escalas termométricas.
- ▶ Relacionar as temperaturas nas escalas Celsius e Fahrenheit.
- ▶ Converter as variações de temperatura medidas nas escalas Celsius e Fahrenheit.
- ▶ Conhecer as diferentes grandezas termométricas.

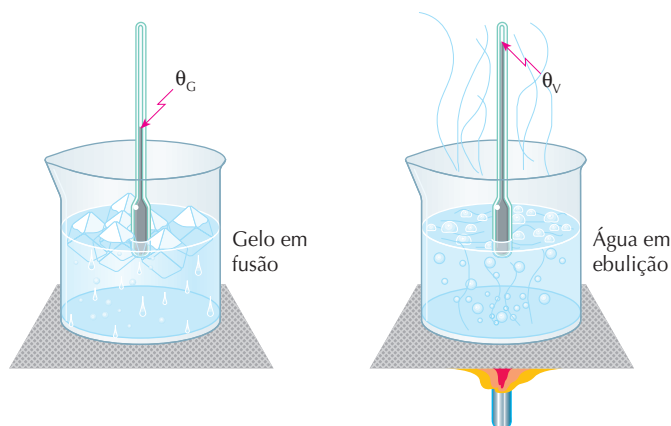
Termos e conceitos

- ponto do gelo
- ponto do vapor
- função termométrica
 - hipertermia
 - hipotermia

O conjunto dos valores numéricos que a temperatura θ pode assumir constitui uma escala termométrica, que é estabelecida ao se graduar um termômetro.

Para a gradação de um termômetro comum de mercúrio procede-se da seguinte maneira:

- 1ª) Escolhem-se dois sistemas cujas temperaturas sejam invariáveis no decorrer do tempo e que possam ser reproduzidos facilmente quando necessário. Essas temperaturas são denominadas pontos fixos, sendo usualmente escolhidas:
 - ponto do gelo (θ_G) – temperatura de fusão do gelo sob pressão normal (1 atm);
 - ponto do vapor (θ_V) – temperatura de ebulição da água sob pressão normal (1 atm).
- 2ª) O termômetro é colocado em presença dos sistemas que definem os pontos fixos (fig. 3). A cada um deles vai corresponder uma altura da coluna líquida. A cada altura atribui-se um valor numérico arbitrário de temperatura, geralmente fazendo o menor corresponder ao ponto do gelo (θ_G), e o outro, ao ponto do vapor (θ_V).



▲ **Figura 3.** Gradação de um termômetro: θ_G indica a temperatura da fusão do gelo, e θ_V , a temperatura da ebulição da água, sob pressão normal.

- 3ª) O intervalo delimitado entre as marcações feitas (correspondentes às temperaturas θ_V e θ_G) é dividido em partes iguais. Cada uma das partes em que fica dividido o intervalo é a unidade da escala (o grau da escala).

Atualmente a escala mais usada é a **escala Celsius***, que adota os valores 0 (zero) para o ponto do gelo e 100 para o ponto do vapor (fig. 4). O intervalo entre os pontos fixos é dividido em cem partes**. Cada uma dessas cem partes é a unidade da escala, o **grau Celsius**, cujo símbolo é **°C**.

* **CELSIUS**, Anders (1701-1744), astrônomo e físico sueco. Dedicou-se principalmente à Astronomia, tornando-se professor dessa ciência em 1730. Em 1948 seu nome foi adotado para a escala que criou.

** Toda escala em que o intervalo entre o ponto do gelo e o ponto do vapor é dividido em cem partes é dita **centesimal** ou **centígrada**. A escala Celsius é uma escala centesimal ou centígrada, mas não é a única.

Em alguns países usa-se a **escala Fahrenheit***, que adota os valores 32 para o ponto do gelo e 212 para o ponto do vapor (fig. 5). O intervalo é dividido em 180 partes, cada uma das quais corresponde ao **grau Fahrenheit**, cujo símbolo é **°F**.

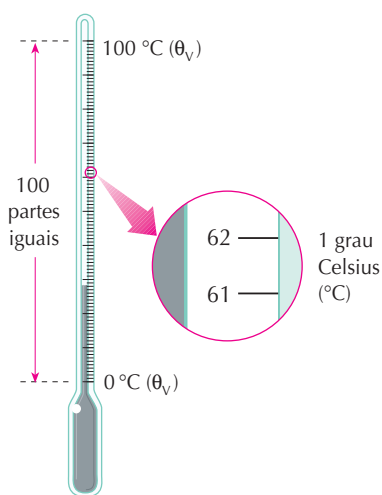


Figura 4. Escala Celsius.

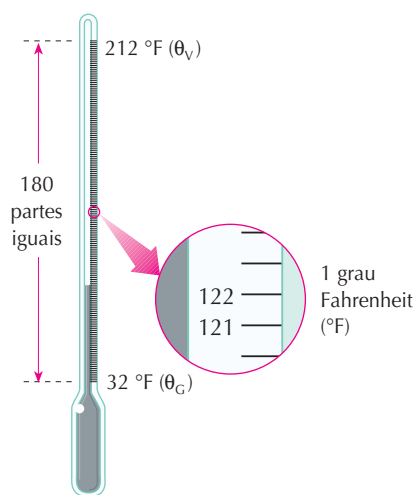


Figura 5. Escala Fahrenheit.

Note que a escolha dos valores que definem a escala é arbitrária: na escala Celsius os valores de θ_G e θ_V são 0 (zero) e 100, enquanto na escala Fahrenheit os valores são 32 e 212.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
História da Física: A história do termômetro e das escalas termométricas

1

Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit

Às vezes é necessário transformar a indicação da escala Fahrenheit na correspondente indicação da escala Celsius ou vice-versa. Para obtermos a relação entre as leituras nas duas escalas, devemos estabelecer a proporção entre os segmentos a e b (fig. 6), determinados no capilar do termômetro.

Sejam θ_C a leitura em graus Celsius e θ_F a leitura em graus Fahrenheit para a temperatura de um sistema. A relação entre os segmentos a e b não depende da unidade em que são expressos. Assim:

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

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

Isolando θ_C e θ_F , vem:

$$\theta_C = \frac{5}{9} (\theta_F - 32) \quad \text{e} \quad \theta_F = 1,8\theta_C + 32$$

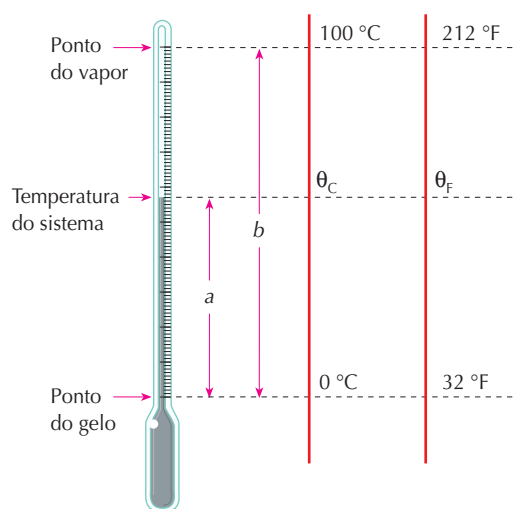


Figura 6. Conversão entre as leituras nas escalas Celsius e Fahrenheit.

* **FAHRENHEIT**, Daniel Gabriel (1686-1736), físico alemão. Foi quem propôs, em 1714, a utilização do mercúrio em vez de álcool nos termômetros. Em 1724 foi eleito membro da Sociedade Real inglesa.

A medida da temperatura corporal

A avaliação da temperatura do corpo humano é de grande importância na Medicina. Quando a temperatura corporal aumenta além de 37 °C (que pode ser considerado um valor médio normal), dizemos que a pessoa está com **febre** ou **hipertermia**. Há também situações de anormalidade em que a temperatura diminui abaixo de 37 °C, caracterizando uma **hipotermia**.

Os termômetros utilizados na medida da temperatura corporal são denominados **termômetros clínicos**. Atualmente existe um grande número deles no mercado, a maior parte do tipo digital. Entretanto, ainda é muito difundido o termômetro clínico de mercúrio. Nele, junto ao bulbo, no início do tubo capilar, há um estreitamento, que não impede a movimentação da coluna líquida quando a temperatura sobe e o mercúrio se dilata. Entretanto, se a temperatura diminuir, o mercúrio não consegue voltar para o bulbo, continuando a indicar a maior temperatura que foi medida. Portanto, trata-se de um termômetro de máxima. Para ser usado novamente, o termômetro deve ser vigorosamente sacudido, de tal maneira que o mercúrio retorne ao bulbo.

O termômetro clínico da foto está graduado nas escalas Celsius (entre 35 °C e 42 °C) e Fahrenheit (entre 94 °F e 108 °F). A graduação é feita apenas entre esses valores porque eles correspondem, aproximadamente, aos limites extremos da temperatura do corpo humano.



O estreitamento no tubo capilar impede o retorno do mercúrio ao bulbo, fixando a marcação da temperatura máxima. ▶

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 1 A temperatura média do corpo humano é 36,5 °C. Determine o valor dessa temperatura na escala Fahrenheit.

Solução:

Comparando as escalas Celsius e Fahrenheit, obtemos:

$$\frac{\theta_C}{100} = \frac{\theta_F - 32}{180} \text{ ou}$$

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

Sendo $\theta_C = 36,5$ °C, vem:

$$\frac{36,5}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 7,3 = \frac{\theta_F + 32}{9} \Rightarrow$$

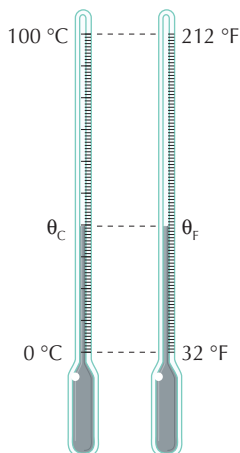
$$\Rightarrow 65,7 = \theta_F - 32 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\theta_F = 97,7 \text{ °F}}$$

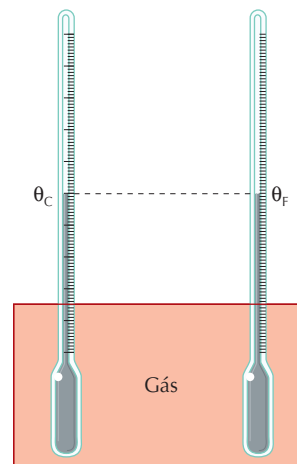
Resposta: 97,7 °F

Observação:

Na escala Fahrenheit, a temperatura do corpo humano está normalmente em torno de 100 °F.



R. 2 Dois termômetros, um graduado na escala Celsius e o outro na escala Fahrenheit, fornecem a mesma leitura para a temperatura de um gás. Determine o valor dessa temperatura.



Solução:

Se a temperatura do gás é indicada pelo mesmo número nas escalas Celsius e Fahrenheit, podemos escrever:

$$\theta_C = X \text{ °C} \quad \theta_F = X \text{ °F}$$

Substituindo na expressão de conversão, vem:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{X}{5} = \frac{X - 32}{9} \Rightarrow 9X = 5X - 160 \Rightarrow 4X = -160 \Rightarrow X = -40$$

Portanto: $\theta_C = -40^\circ\text{C}$ e $\theta_F = -40^\circ\text{F}$

Resposta: -40°C e -40°F

Observe que essa é a **única temperatura** indicada pelo mesmo valor nessas duas escalas.

R. 3 Certa escala termométrica adota os valores -20 e 580 , respectivamente, para os pontos do gelo e do vapor. Determine:

- a fórmula de conversão entre essa escala e a escala Celsius;
- a indicação que nessa escala corresponde a 20°C .

Solução:

a) Comparando a escala Celsius (C) e a escala (E) criada neste exercício, temos:

$$\frac{a}{b} = \frac{\theta_C - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_E - (-20)}{580 - (-20)} \Rightarrow \frac{\theta_C}{100} = \frac{\theta_E + 20}{600}$$

Simplificando:

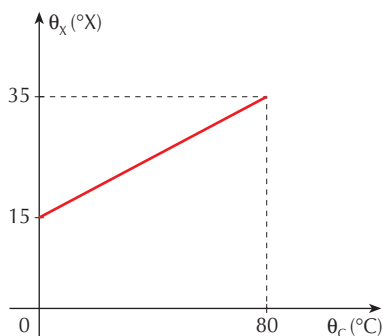
$$\theta_C = \frac{\theta_E + 20}{6} \Rightarrow 6\theta_C = \theta_E + 20 \Rightarrow \theta_E = 6\theta_C - 20$$

b) Para determinar a indicação θ_E que corresponde a $\theta_C = 20^\circ\text{C}$, usamos a relação anterior:

$$\theta_E = 6\theta_C - 20 \Rightarrow \theta_E = 6 \cdot 20 - 20 \Rightarrow \theta_E = 120 - 20 \Rightarrow \theta_E = 100^\circ\text{E}$$

Resposta: a) $\theta_E = 6\theta_C - 20$; b) 100°E

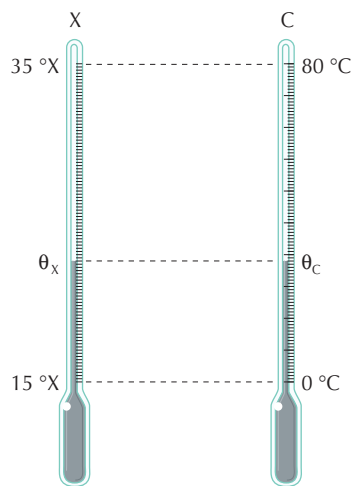
R. 4 Uma escala termométrica X relaciona-se com a escala Celsius segundo o gráfico apresentado, no qual em ordenadas se representam os valores de θ_X (temperaturas expressas na escala X) e em abscissas os valores de θ_C (temperaturas expressas na escala Celsius).



- Estabeleça a fórmula de conversão entre as duas escalas.
- Determine a temperatura registrada por um termômetro graduado na escala X quando a temperatura for 50°C .
- Determine que temperatura registra um termômetro graduado na escala Celsius para um sistema em que o termômetro graduado na escala X registra 10°X .
- Há uma temperatura em que os dois termômetros (graduados na escala X e na escala Celsius, respectivamente) registram valores que coincidem numericamente. Qual é essa temperatura?

Solução:

- Analisando o gráfico, verificamos que 15°X correspondem a 0°C e 35°X correspondem a 80°C .



Comparando as escalas, obtemos:

$$\frac{\theta_X - 15}{35 - 15} = \frac{\theta_C - 0}{80 - 0} \Rightarrow \frac{\theta_X - 15}{20} = \frac{\theta_C}{80} \Rightarrow \theta_X - 15 = \frac{\theta_C}{4} \Rightarrow \theta_X = \frac{\theta_C}{4} + 15 \Rightarrow \theta_X = 0,25\theta_C + 15$$

b) Para $\theta_C = 50^\circ\text{C}$, vem:

$$\theta_X = 0,25 \cdot 50 + 15 \Rightarrow \theta_X = 12,5 + 15 \Rightarrow \theta_X = 27,5^\circ\text{X}$$

c) Para $\theta_X = 10^\circ\text{X}$, vem:

$$10 = 0,25\theta_C + 15 \Rightarrow 0,25\theta_C = -5 \Rightarrow \theta_C = -20^\circ\text{C}$$

d) Se os valores coincidem numericamente nas duas escalas, temos: $\theta_X = \theta_C = \theta$. Na fórmula de conversão, temos:

$$\theta = 0,25\theta + 15 \Rightarrow \theta - 0,25\theta = 15 \Rightarrow 0,75\theta = 15 \Rightarrow \theta = 20$$

Portanto: $\theta_X = 20^\circ\text{X}$ e $\theta_C = 20^\circ\text{C}$

Respostas: a) $\theta_X = 0,25\theta_C + 15$; b) $27,5^\circ\text{X}$; c) -20°C ; d) 20°X ; 20°C

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P.1 Complete a tabela:

Celsius	Fahrenheit
400 °C	
	99,5 °F
180 °C	
	-49 °F

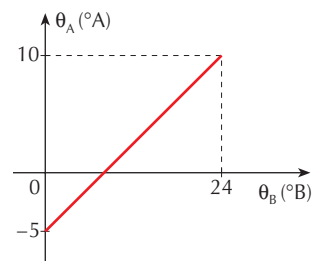
P.2 Medindo a temperatura de um líquido com dois termômetros, um de escala Celsius e o outro de escala Fahrenheit, um estudante verificou que ambos davam a mesma indicação em módulo, porém os sinais eram diferentes. Determine a temperatura do líquido.

P.3 No deserto do Saara registrou-se certo dia a temperatura de X °C. Se a escala utilizada tivesse sido a Fahrenheit, a leitura seria 72 unidades mais alta. Determine o valor dessa temperatura.

P.4 Uma escala arbitrária adota os valores 5 e 365 para os pontos fixos fundamentais (ponto do gelo e ponto do vapor, respectivamente). Determine que indicação nessa escala corresponde ao 0 °F.

P.5 Na temperatura do ponto do gelo um termômetro defeituoso marca -0,3 °C e na temperatura de ebulição da água sob pressão normal +100,2 °C. Determine qual é a única indicação correta desse termômetro. (Sugestão: admita que o termômetro defeituoso crie uma nova escala.)

P.6 O gráfico indica como se relacionam as leituras θ_A e θ_B para as temperaturas registradas por dois termômetros graduados respectivamente nas escalas A e B.



Determine:

- a fórmula de conversão entre θ_A e θ_B ;
- a indicação do termômetro graduado na escala A quando o outro registra 96 °B;
- a indicação do termômetro graduado na escala B quando o outro registra 0 °A;
- a temperatura em que coincidem as leituras nos dois termômetros.

2 Variação de temperatura

Consideremos que a temperatura de um sistema varie de um valor inicial θ_1 para um valor final θ_2 num dado intervalo de tempo. A variação de temperatura $\Delta\theta$ é dada pela diferença entre o valor final θ_2 e o valor inicial θ_1 :

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

Assim, a variação de temperatura será positiva ($\Delta\theta > 0$) quando a temperatura aumentar ($\theta_2 > \theta_1$); negativa ($\Delta\theta < 0$) quando a temperatura diminuir ($\theta_2 < \theta_1$); e será nula ($\Delta\theta = 0$) quando a temperatura final for igual à inicial ($\theta_2 = \theta_1$).

Vamos correlacionar as variações de temperatura expressas na escala Celsius ($\Delta\theta_C$) e na Fahrenheit ($\Delta\theta_F$). Na **figura 7**, a relação entre os segmentos *a* (correspondente à variação de temperatura ocorrida) e *b* (correspondente ao intervalo entre as temperaturas do ponto do gelo e do ponto do vapor) não depende da unidade em que são expressos.

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

$$\text{Simplificando: } \frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$$

$$\text{Isolando } \Delta\theta_C \text{ e } \Delta\theta_F, \text{ vem: } \Delta\theta_C = \frac{5}{9} \Delta\theta_F \text{ e } \Delta\theta_F = 1,8 \Delta\theta_C$$

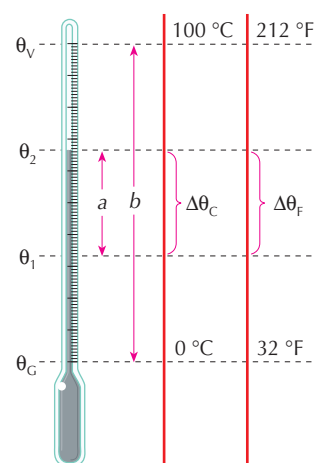


Figura 7. Conversão entre variações de temperatura.

O termômetro de máxima e mínima

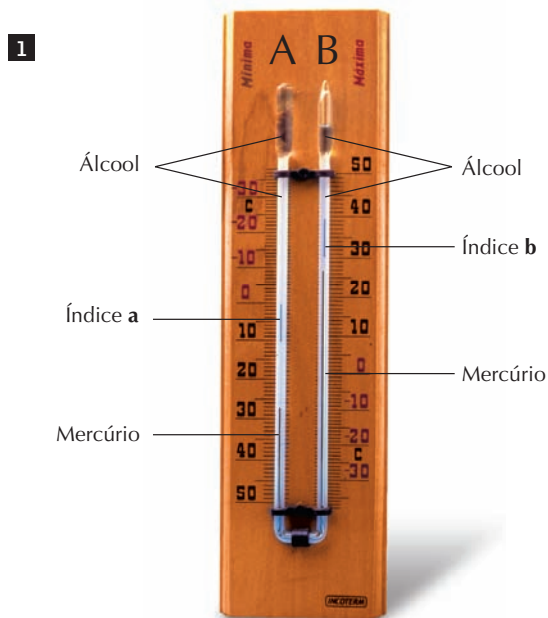
As temperaturas máxima e mínima de um ambiente, em dado intervalo de tempo, são registradas por um tipo especial de termômetro: o **termômetro de máxima e mínima**.

O termômetro apresentado na figura 1 é constituído de dois bulbos (**A e B**), ligados a um tubo em U de pequeno diâmetro, o qual contém mercúrio na parte inferior. O bulbo **A**, o ramo esquerdo e o ramo direito do tubo estão completamente cheios de álcool. O bulbo **B**, por sua vez, está parcialmente cheio de álcool. Nos ramos do termômetro existem dois índices de ferro esmaltado (**a e b**), banhados por álcool e aderentes à parede

interna do tubo. O índice **a** indica a menor temperatura e o índice **b** indica a maior temperatura ocorrida num determinado período.

Inicialmente os índices são colocados em contato com as superfícies livres do mercúrio, nos dois ramos, com o auxílio de um pequeno ímã.

Quando ocorre um aumento de temperatura, o álcool do bulbo **A** se dilata. Com isso, o nível do mercúrio no ramo esquerdo desce (sem arrastar o índice **a**) e o nível do mercúrio no ramo direito sobe, arrastando o índice **b** para cima, de modo a indicar a máxima temperatura ocorrida.



Nas estações meteorológicas, os termômetros de máxima e de mínima ficam dispostos na horizontal. Os termômetros na vertical são destinados à determinação da umidade do ar.

Quando há uma diminuição de temperatura, o álcool de **A** se contrai. Com isso, o nível do mercúrio no ramo direito desce (sem arrastar o índice **b**) e o nível do mercúrio no ramo esquerdo sobe, arrastando o índice **a** para cima, de modo a indicar a mínima temperatura ocorrida.

Observe na figura 1 que a temperatura máxima foi de 30 °C, a mínima de 10 °C e a temperatura num

determinado momento era de 27 °C (indicada pelo nível de mercúrio nos dois lados).

Os boletins meteorológicos, divulgados na tevê, na internet, no rádio e em jornais, geralmente informam as temperaturas máxima e mínima em várias cidades do planeta. Muitas vezes, essas temperaturas são avaliadas com o uso de termômetros desse tipo.



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 5 Em certo dia, na cidade de Salvador, o serviço de meteorologia anunciou uma temperatura máxima de $40\text{ }^\circ\text{C}$ e uma mínima de $25\text{ }^\circ\text{C}$.

- Qual é a variação de temperatura entre os instantes em que foram assinaladas as temperaturas máxima e mínima?
- Qual é o valor dessa variação de temperatura expresso na escala Fahrenheit?

Solução:

a) Quando o serviço de meteorologia anuncia a temperatura máxima e a temperatura mínima de um dia, usualmente não indica qual delas ocorreu antes. Assim, temos duas hipóteses a considerar:

1ª hipótese — A temperatura mínima ocorreu **antes** da máxima.

Então: $\theta_1 = 25\text{ }^\circ\text{C}$ e $\theta_2 = 40\text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta_C = \theta_2 - \theta_1 = 40 - 25 \Rightarrow \boxed{\Delta\theta_C = 15\text{ }^\circ\text{C}} \text{ (aumento de temperatura)}$$

2ª hipótese — A temperatura mínima ocorreu **depois** da máxima.

Então: $\theta_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ e $\theta_2 = 25\text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta_C = \theta_2 - \theta_1 = 25 - 40 \Rightarrow \boxed{\Delta\theta_C = -15\text{ }^\circ\text{C}} \text{ (diminuição de temperatura)}$$

b) A variação expressa na escala Fahrenheit, no caso de aumento de temperatura, será dada por:

$$\frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{\Delta\theta_C}{5} \Rightarrow \frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{15}{5} \Rightarrow \boxed{\Delta\theta_F = 27\text{ }^\circ\text{F}}$$

No caso de diminuição de temperatura: $\boxed{\Delta\theta_F = -27\text{ }^\circ\text{F}}$

Respostas: a) $15\text{ }^\circ\text{C}$ ou $-15\text{ }^\circ\text{C}$; b) $27\text{ }^\circ\text{F}$ ou $-27\text{ }^\circ\text{F}$

R. 6 Existe a possibilidade de as variações de temperatura nas escalas Celsius e Fahrenheit serem expressas pelo mesmo valor numérico?

Solução:

Se fizermos, na fórmula de conversão entre as variações de temperatura, $\Delta\theta_F = \Delta\theta_C = X$, obteremos:

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

Assim, essa igualdade só é válida para $X = 0$. Portanto, só há coincidência entre os valores numéricos das variações de temperatura nas escalas Celsius e Fahrenheit quando

$\boxed{\Delta\theta_C = 0\text{ }^\circ\text{C}}$ e

$\boxed{\Delta\theta_F = 0\text{ }^\circ\text{F}}$, isto é, quando a temperatura final é igual à temperatura inicial.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 7 Em certa região da Terra, a temperatura máxima registrada no decorrer de um ano foi de $42\text{ }^\circ\text{C}$ e a mínima foi de $17\text{ }^\circ\text{C}$. Determine:

- a variação de temperatura entre os instantes em que essas temperaturas foram registradas;
- o valor dessa variação de temperatura expresso em graus Fahrenheit.

P. 8 Um sistema inicialmente na temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$ sofre uma variação de $-35\text{ }^\circ\text{C}$. Determine:

- a temperatura final do sistema na escala Celsius;
- a variação de temperatura do sistema expressa na escala Fahrenheit;
- a temperatura final do sistema na escala Fahrenheit.



3 Função termométrica

Existem vários tipos de termômetros, diferindo uns dos outros pela grandeza termométrica. Por exemplo, nos termômetros de líquido, como os de mercúrio, a grandeza termométrica é o volume do líquido, que, ao variar, faz mudar a altura da coluna.

Nos termômetros de gás, a grandeza termométrica é o volume do gás (quando a pressão é mantida constante) ou a pressão do gás (quando o volume é mantido constante). No termômetro de resistência de platina, a grandeza termométrica é a resistência elétrica, que é estudada em Eletricidade, no Volume 3.

A fórmula que relaciona os valores da grandeza termométrica com os respectivos valores da temperatura é denominada **função termométrica**, que geralmente é do primeiro grau.



▶ No termômetro de platina, a grandeza termométrica é a resistência elétrica.

Outros tipos de termômetro

O termômetro de mercúrio ainda é de uso muito difundido, pela facilidade de construção e de manuseio aliada a uma boa precisão. Por isso, em laboratórios (nas situações em que não se exige um rigor muito grande nas medições) e nas residências (para medir a temperatura corporal ou para uso culinário), o termômetro de mercúrio é normalmente o escolhido.

Existem, entretanto, vários outros tipos de termômetro. Entre os mais simples estão o termômetro de álcool (1), em que o líquido termométrico é álcool com corante, e o termômetro metálico (2), baseado na dilatação de uma lâmina bimetálica. Dentre os mais sofisticados, destacam-se os chamados termômetros digitais (3), geralmente baseados na variação da resistência elétrica de um condutor metálico em função da temperatura.



▶ Diferentes aplicações demandam diferentes tipos de termômetro, cada um com sua própria grandeza termométrica.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

- R. 7** Num termômetro de mercúrio, a coluna líquida apresenta 0,4 cm quando em presença do gelo em fusão (0 °C) e 20,4 cm em presença de vapores de água em ebulição (100 °C). Determine:
- a função termométrica desse termômetro na escala Celsius;
 - a temperatura indicada por esse termômetro quando sua coluna líquida apresenta 8,4 cm de altura.

Solução:

- a) A função termométrica adotada é do primeiro grau. Assim, podemos fazer a comparação entre a grandeza termométrica (h) e a temperatura (θ):

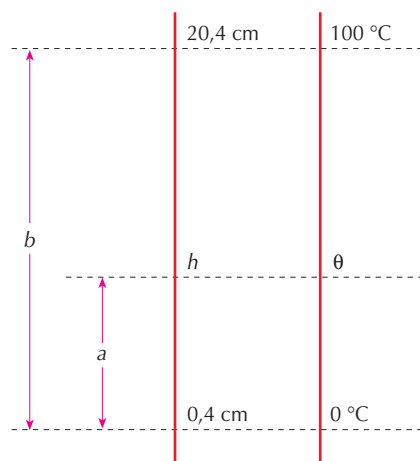
$$\frac{a}{b} = \frac{h - 0,4}{20,4 - 0,4} = \frac{\theta - 0}{100 - 0}$$

$$\frac{h - 0,4}{20} = \frac{\theta}{100}$$

$$h - 0,4 = \frac{\theta}{5}$$

$$\theta = 5h - 2$$

Essa equação expressa a função termométrica desse termômetro na escala Celsius.



- b) Substituindo na fórmula acima $h = 8,4$ cm, obtemos:

$$\theta = 5 \cdot 8,4 - 2 = 42 - 2 \Rightarrow \theta = 40 \text{ °C}$$

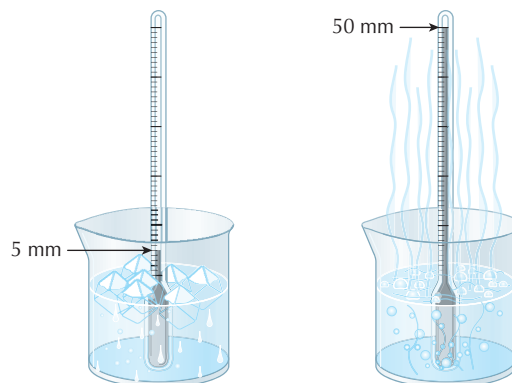
Respostas: a) $\theta = 5h - 2$; b) 40 °C

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 9** A coluna líquida de um termômetro de mercúrio apresenta altura de 5 mm quando o termômetro é colocado num recipiente contendo gelo em fusão. Quando o termômetro é colocado em vapores de água em ebulição sob pressão normal, a coluna líquida apresenta 50 mm.

Determine:

- a função termométrica desse termômetro na escala Celsius;
- a temperatura de um corpo em presença do qual a coluna líquida apresenta 15 mm de altura.



- P. 10** No termômetro de gás, a volume constante, a grandeza termométrica é a pressão que o gás exerce. Um termômetro nessas condições indica uma pressão de 5 mmHg quando em equilíbrio com o ponto do gelo, e uma pressão de 7 mmHg no equilíbrio térmico com o ponto do vapor.

- Estabeleça a função termométrica desse termômetro para a escala Fahrenheit.
- Determine a temperatura de um forno sabendo que a pressão do gás no equilíbrio térmico é 9,5 mmHg.

A temperatura como medida da agitação térmica. A escala absoluta Kelvin

Objetivos

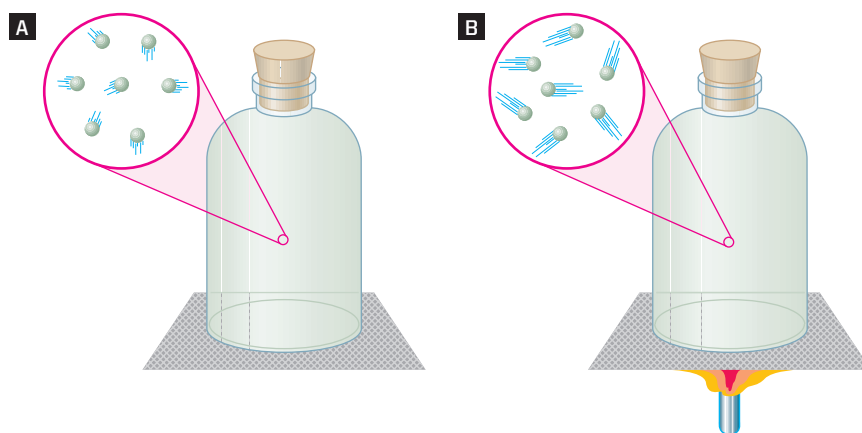
- ▶ Compreender os princípios da criação da escala Kelvin.
- ▶ Relacionar a temperatura na escala Kelvin com a temperatura na escala Celsius.
- ▶ Converter as variações de temperatura medidas nas escalas Celsius e Kelvin.

Termos e conceitos

- zero absoluto
- energia do ponto zero

As partículas constituintes de um gás estão em movimento desordenado. Esse movimento é denominado **agitação térmica**. Assim, cada partícula constituinte do gás é dotada de energia cinética própria. A soma das energias cinéticas individuais de todas as partículas constitui a **energia térmica** do gás.

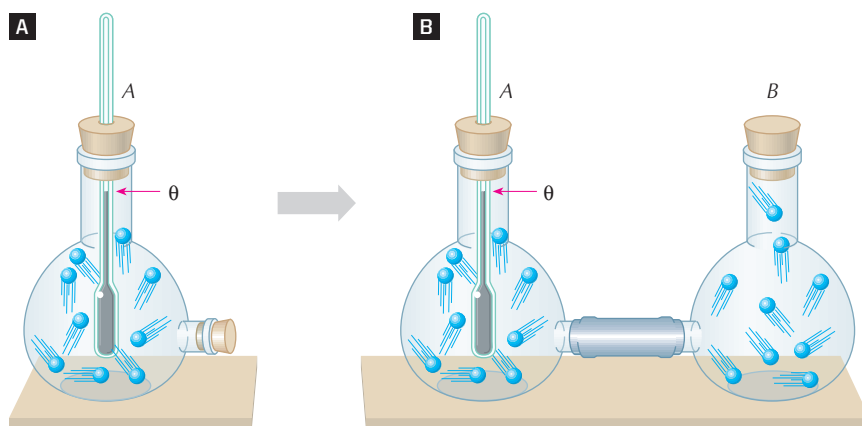
Quanto mais intensa a agitação térmica, maior será a energia cinética de cada molécula e, em consequência, maior a temperatura (fig. 8).



▲ **Figura 8.** Ao se aquecer o gás, suas moléculas se agitam mais intensamente. Na situação (B), a temperatura é maior que na situação (A).

O fato de haver um número maior ou menor de moléculas altera a energia térmica total do corpo; no entanto, se cada molécula continua com a mesma energia cinética média que possuía, o grau de agitação é o mesmo e, conseqüentemente, a temperatura também é a mesma.

Imaginemos, por exemplo, um recipiente A contendo um gás, no qual cada molécula tem uma energia cinética média de $4 \cdot 10^{-21}$ J (fig. 9A). Se o ligarmos a um recipiente B (fig. 9B) com o mesmo número de moléculas, tendo cada uma delas os mesmos $4 \cdot 10^{-21}$ J de energia cinética média, a energia térmica total do sistema formado será maior, mas a temperatura não irá se alterar.



▲ **Figura 9.** O sistema (A + B) possui maior energia térmica que o sistema A, mas a temperatura é a mesma.

No Capítulo 8 (*Estudo dos gases*) voltaremos a discutir a relação entre temperatura e agitação térmica. Por ora, podemos concluir:

A temperatura pode ser entendida como uma medida do nível energético de um sistema. Dois corpos podem apresentar temperaturas iguais (mesmo nível energético), mas possuir energias térmicas totais diferentes.

Experimentalmente, o físico irlandês William Thomson (lord Kelvin*) verificou que a pressão de um gás rarefeito diminuía $\frac{1}{273,15}$ do valor inicial, quando resfriado a volume constante, de 0 °C para -1 °C. Por extrapolação, concluiu que, se o gás não mudasse de estado, sua pressão seria nula na temperatura de -273,15 °C (que se costuma aproximar para -273 °C).

A esse estado térmico, em que se anularia a pressão do gás, foi dado o nome de **zero absoluto** – o limite inferior de temperatura. Todas as tentativas para alcançar o zero absoluto falharam. Ele é inatingível, embora seja possível aproximar-se dele indefinidamente. À medida que a temperatura de um corpo se aproxima do zero absoluto, a energia cinética de suas moléculas tende para um valor finito que se denomina **energia do ponto zero** – que, apesar do nome, **não é nula**.

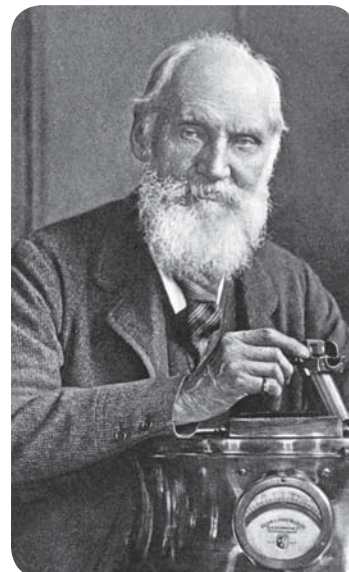
Com base nesse estado térmico, lord Kelvin estabeleceu, em 1848, a escala absoluta que hoje leva o seu nome. A origem (zero) da escala Kelvin é o zero absoluto e a unidade adotada é o **kelvin**** (símbolo **K**), cuja extensão é igual à do grau Celsius (°C). Assim, uma variação de temperatura de 1 °C corresponde a uma variação de temperatura de 1 K.

Generalizando, qualquer variação de temperatura na escala Celsius ($\Delta\theta_c$) é numericamente igual à variação de temperatura correspondente na escala Kelvin (ΔT):

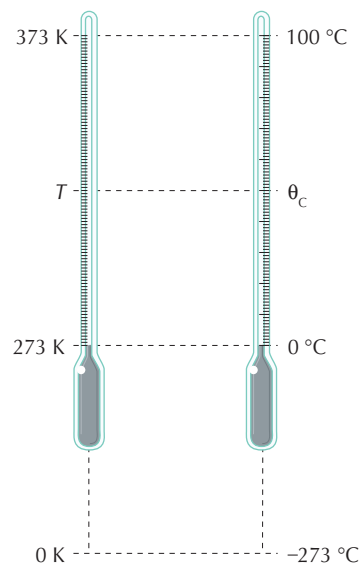
$$\Delta\theta_c = \Delta T$$

Observe que as indicações que se correspondem nas escalas Celsius (θ_c) e Kelvin (T) nunca coincidem. Realmente, o ponto de congelamento da água (0 °C) corresponde a 273 K (que se lê 273 kelvins) e o ponto de ebulição da água (100 °C) corresponde a 373 K. Assim, comparando as indicações da escala Celsius e da escala absoluta Kelvin, para um mesmo estado térmico (**fig. 10**), notamos que a temperatura absoluta (T) é sempre 273 unidades mais alta que a correspondente temperatura Celsius (θ_c).

$$T = \theta_c + 273$$



▶ Retrato de William Thomson, lord Kelvin.



▶ **Figura 10.** A temperatura absoluta T é igual à temperatura Celsius θ_c somada a 273.

Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/cero/cero.htm> (acesso em julho/2009), você poderá simular uma experiência na qual certo volume de ar é aquecido desde 0 °C até 100 °C. A variação de pressão do ar é analisada graficamente, verificando-se por extrapolação que se anula no zero absoluto (-273 °C).

- * **LORDE KELVIN** é o título de nobreza que o célebre físico irlandês William Thomson (1824-1907) recebeu em 1892 da rainha Vitória. Aos 34 anos, ao instalar o primeiro cabo telegráfico sob o Oceano Atlântico, foi sagrado cavaleiro, recebendo o título de *Sir*. Ao morrer, foi enterrado ao lado da sepultura de Newton, na Abadia de Westminster, Londres.
- ** A unidade de temperatura termodinâmica (absoluta) do Sistema Internacional de Unidades é o kelvin (K), não se utilizando mais o grau Kelvin (°K) como era feito antigamente.



Temperaturas absolutas notáveis

Apresentamos, a seguir, algumas temperaturas notáveis, expressas em kelvin, desde o interior das estrelas mais quentes até o zero absoluto, que representam os dois extremos conhecidos.

Interior das estrelas mais quentes	10^9 K
Bomba de hidrogênio	10^8 K
Interior do Sol	10^7 K
Coroa solar	10^6 K
Bomba atômica	$3 \cdot 10^5$ K
Temperatura em que todas as moléculas estão ionizadas	$1,5 \cdot 10^4$ K
Superfície do Sol	$6 \cdot 10^3$ K
Filamento de lâmpada incandescente	$3 \cdot 10^3$ K
Chama de fogão	$1,1 \cdot 10^3$ K

Turbina a vapor	$9 \cdot 10^2$ K
Temperaturas familiares ao homem	273 K a 373 K
Oxigênio vaporiza-se sob pressão normal	90 K
Superfície de Plutão	entre 38 K e 63 K
Hidrogênio vaporiza-se sob pressão normal	20 K
Hélio vaporiza-se sob pressão normal	4 K
Hélio solidifica-se sob alta pressão	1 K
Zero absoluto	0 K

Está no Guinness

De acordo com o *Guinness* 2008, o livro dos recordes, a temperatura mais baixa até hoje conseguida foi de $450 \cdot 10^{-12}$ K. Essa temperatura foi obtida por uma equipe do MIT, liderada por Aaron Leanhardt, em Cambridge, Massachusetts, EUA.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
A Física em nosso Mundo: *Criogenia - A Física das baixas temperaturas*

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 8 A temperatura corporal humana pode variar entre 35°C e 42°C na escala Celsius.

- Determine os valores desses limites na escala absoluta Kelvin.
- Calcule a variação quando a temperatura de uma pessoa se altera do menor para o maior dos valores citados acima, nas duas escalas.

Solução:

a) A indicação absoluta é 273 unidades maior que a indicação Celsius: $T = \theta_c + 273$. Assim:

$$\theta_c = 35^\circ\text{C} \Rightarrow T = 35 + 273 \Rightarrow T = 308 \text{ K}$$

$$\theta'_c = 42^\circ\text{C} \Rightarrow T' = 42 + 273 \Rightarrow T' = 315 \text{ K}$$

b) Na escala Celsius: $\theta_1 = 35^\circ\text{C}$ e $\Delta_2 = 42^\circ\text{C}$. Assim:

$$\Delta\theta_c = \theta_2 - \theta_1 = 42 - 35 \Rightarrow \Delta\theta_c = 7^\circ\text{C}$$

Na escala Kelvin: $T_1 = 308 \text{ K}$ e $T_2 = 315 \text{ K}$. Então:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 315 - 308 \Rightarrow \Delta T = 7 \text{ K}$$

Observe que as variações de temperatura coincidem nas duas escalas:

$$\Delta\theta_c = \Delta T$$

Respostas: a) A temperatura corporal na escala Kelvin varia entre 308 K e 315 K; b) 7°C e 7 K

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 11 O álcool etílico tem ponto de congelamento de $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ sob pressão normal. Determine essa temperatura na escala Kelvin.

P. 12 (FICB-DF) Quando um termômetro graduado na escala Celsius sofrer uma variação de 32 graus em sua temperatura, qual será a correspondente variação de temperatura para um termômetro graduado na escala Kelvin?

P. 13 Em certa cidade, num dia de verão, a temperatura mínima foi de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, e a máxima, de $33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determine:

- os valores das temperaturas mínima e máxima referidas expressos na escala absoluta Kelvin;
- a máxima variação de temperatura ocorrida nesse dia, expressa nas escalas Celsius e Kelvin.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

P. 14 (PUC-SP) Um médico inglês mede a temperatura de um paciente com suspeita de infecção e obtém em seu termômetro clínico o valor de $102,2\text{ }^{\circ}\text{F}$ (graus Fahrenheit).

- Tem ele motivo de preocupação com o paciente? Justifique.
- Por que um doente com febre sente frio? Responda e defina também o conceito físico de calor.

P. 15 Uma escala arbitrária adota para o ponto do gelo e para o ponto do vapor, respectivamente, os valores -10 e 240 . Estabeleça as fórmulas de conversão dessa escala para as escalas Celsius e Fahrenheit. Determine a indicação da referida escala para o zero absoluto.

P. 16 Numa escala arbitrária E, o zero corresponde a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a indicação $100\text{ }^{\circ}\text{E}$ corresponde a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determine:

- a fórmula de conversão entre as indicações da escala E e da escala Celsius;
- as leituras que, na escala E, correspondem ao ponto do gelo e ao ponto do vapor;
- as indicações cujos valores absolutos coincidem nas escalas E e Celsius.

P. 17 (Olimpíada Brasileira de Física) Ao se construir uma escala termométrica arbitrária X, verificou-se que a temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{X}$ coincide com o mesmo valor na antiga escala de temperatura Réaumur, que adota respectivamente $0\text{ }^{\circ}\text{R}$ e $80\text{ }^{\circ}\text{R}$ para os pontos fixos fundamentais (ponto do gelo e ponto do vapor). Verificou-se ainda que a temperatura de $-75\text{ }^{\circ}\text{X}$ coincide com o mesmo valor na escala Celsius. Determine na escala X as leituras correspondentes a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a $80\text{ }^{\circ}\text{R}$.

P. 18 Um termômetro de escala Celsius tornou-se inexacto, conservando, entretanto, seção interna uniforme. Quando as temperaturas são $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, ele marca, respectivamente, -2° e 71° . Determine uma fórmula que forneça as temperaturas exatas T em função das que se leem no termômetro defeituoso D. Quais das temperaturas lidas coincidem em valor absoluto?

P. 19 (EEM-SP) Pode-se medir a temperatura com um termômetro de mercúrio. Neste, a grandeza termométrica é o comprimento L de uma coluna capilar, medida a partir de uma origem comum. Verifica-se que $L = 2,34\text{ cm}$, quando o termômetro está em equilíbrio térmico com o gelo em fusão, e $L = 12,34\text{ cm}$, quando o equilíbrio térmico é com a água em ebulição (num ambiente em que a pressão atmosférica é 1 atm).

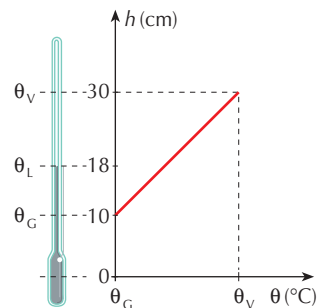
- Calcule o comprimento da coluna de mercúrio quando a temperatura é $\theta = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Calcule a temperatura do ambiente quando $L = 8,84\text{ cm}$.

P. 20 (UFRJ) Em uma escala termométrica, que chamaremos de escala médica, o grau é chamado de grau médico e representado por $^{\circ}\text{M}$. A escala médica é definida por dois procedimentos básicos: no primeiro, faz-se corresponder $0\text{ }^{\circ}\text{M}$ a $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }^{\circ}\text{M}$ a $44\text{ }^{\circ}\text{C}$; no segundo, obtém-se uma unidade de $^{\circ}\text{M}$ pela divisão do intervalo de $0\text{ }^{\circ}\text{M}$ a $100\text{ }^{\circ}\text{M}$ em 100 partes iguais.

- Calcule a variação em graus médicos que corresponde à variação de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Calcule, em graus médicos, a temperatura de um paciente que apresenta uma febre de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

P. 21 (Cesgranrio-RJ)

Com o objetivo de recalibrar um velho termômetro com a escala totalmente apagada, um estudante o coloca em equilíbrio térmico, primeiro com gelo fundente e,



depois, com água em ebulição sob pressão atmosférica normal. Em cada caso, ele anota a altura atingida pela coluna de mercúrio: $10,0\text{ cm}$ e $30,0\text{ cm}$, respectivamente, medida sempre a partir do centro do bulbo. Em seguida, ele espera que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o laboratório e verifica que, nessa situação, a altura da coluna de mercúrio é de $18,0\text{ cm}$.

Qual é a temperatura do laboratório na escala Celsius desse termômetro?