

MAT

Física

221

222

Capítulo 13.....	138
Módulo 31.....	149
Módulo 32.....	154
Capítulo 14.....	158
Módulo 33.....	167

QUÍ

BIO

LPO

HIS

GEO

FIL

SOC

RES

FIS



1. Temperatura	140
2. Termômetros	140
3. Lei zero da termodinâmica	141
4. Escalas Celsius e Fahrenheit	141
5. Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit	142
6. Escala Kelvin	144
7. Unidades arbitrárias de temperatura	145
8. Variação de temperatura	146
9. Organizador gráfico	148
Módulo 31 – Temperatura e escalas de temperatura Celsius e Fahrenheit	149
Módulo 32 – Escala Kelvin e variação de temperatura	154



- Calcular a temperatura de sistemas, associando os valores a diferentes escalas termométricas.
- Interpretar temperatura como medida de agitação térmica de átomos e moléculas para explicar propriedades térmicas e expressar seu valor nas escalas Celsius e Kelvin.
- Reconhecer as características básicas dos termômetros e das escalas termométricas.





Termologia

13

Termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos que ocorrem por causa da ação da chamada energia térmica, os quais são denominados fenômenos térmicos.

Neste capítulo, estudaremos a termometria, ramo da Física que trata das medidas de temperatura.

1. Temperatura

Desde criança estamos acostumados somente a avaliar quando um corpo está quente ou frio entrando em contato com ele. Mas, dessa forma, estamos realizando uma avaliação simplificada da temperatura desse corpo.

A temperatura é um conceito macroscópico, que usa a comparação de um ou mais corpos. Se dois corpos estão em equilíbrio térmico, eles apresentam a mesma temperatura. Assim, podemos dizer a princípio que:

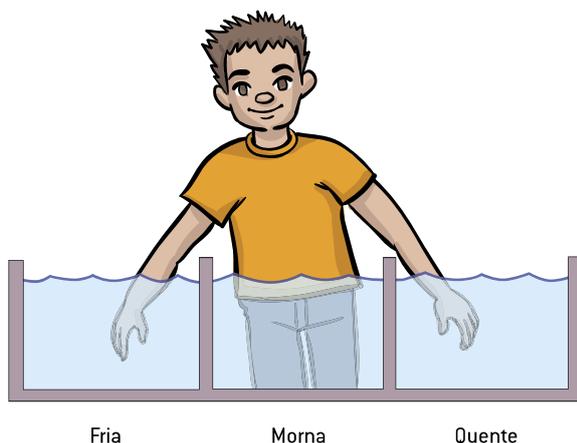
Temperatura é uma grandeza física que mede o grau de aquecimento de um corpo.

Será que nosso tato pode ser um instrumento confiável na avaliação da temperatura?

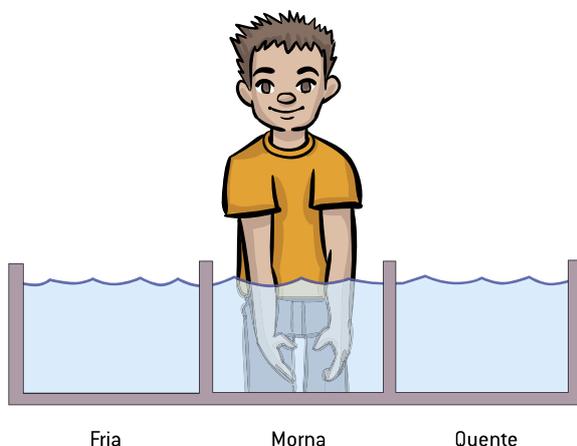
Faça um teste:

Pegue três recipientes, um com água fria, outro com água morna (natural) e outro com água quente (não tão quente que possa lhe queimar).

Coloque uma das mãos no recipiente com água fria e a outra no de água levemente aquecida, durante cerca de 30 segundos.



Passados os 30 segundos, coloque as duas mãos ao mesmo tempo na água morna e mantenha-as por 10 segundos.



Qual foi a sensação em cada uma das mãos?
Essa experiência ilustra como nossos sentidos podem nos enganar a respeito da temperatura dos corpos.

Outra prática comum de “medir” a temperatura de uma pessoa é colocar a mão em sua testa para verificar se ela está com febre. Como observado anteriormente, a mão não é um instrumento confiável e pode gerar grandes enganos. Desse modo, a maneira correta de medir a temperatura do corpo de uma pessoa é utilizando um termômetro.

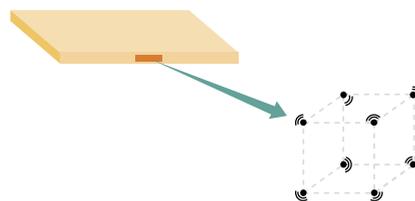


Disponível em: <<http://drauziovarella.com.br/letras/f/febre/>>.

A. Descrição microscópica da temperatura

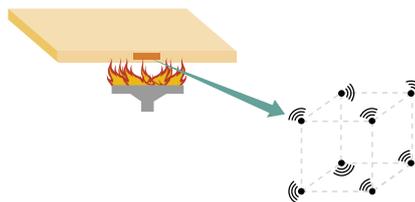
Com a descoberta de que os corpos são feitos de átomos, o conceito de temperatura pode ser ampliado.

Por meio de experiências, foi possível perceber que os átomos que constituem um corpo estão em constante movimento.



Representação esquemática da vibração dos átomos de uma placa

Ao aquecer o corpo, seus átomos ganham energia e ficam mais agitados.



Átomos mais agitados

Dessa forma, pode-se associar a temperatura do corpo com o grau de agitação de seus átomos. Assim, podemos ter mais uma definição de temperatura.

Temperatura é a grandeza física que mede o estado de agitação dos átomos ou moléculas do corpo.

2. Termômetros

Quando aquecemos ou resfriamos um corpo, algumas de suas propriedades físicas variam. A essas características dá-se o nome de **propriedade termométrica**.

Como exemplo, podemos citar a variação do volume. A maioria dos materiais, ao ser aquecida, expande-se, e, ao ser resfriada, contrai-se. Sendo assim, a variação do volume é uma grandeza termométrica.

De modo simplificado:

Termômetro é o instrumento que utiliza a propriedade termométrica para medir a temperatura.

Existem diversos tipos de termômetro:

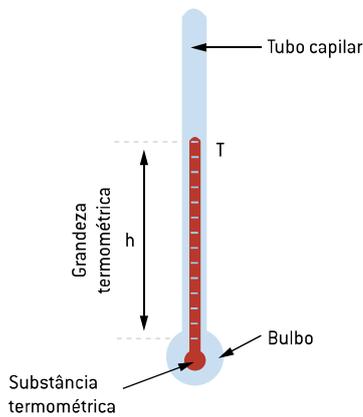
Termômetros a gás: utilizam a variação da pressão para medir a temperatura.

Termômetros metálicos: utilizam a variação do comprimento de uma barra metálica para medir a temperatura.

Termômetros de bulbo: utilizam a variação do volume de um líquido para medir a temperatura.

Termômetros de resistência elétrica: utilizam a variação na resistência elétrica para medir a temperatura.

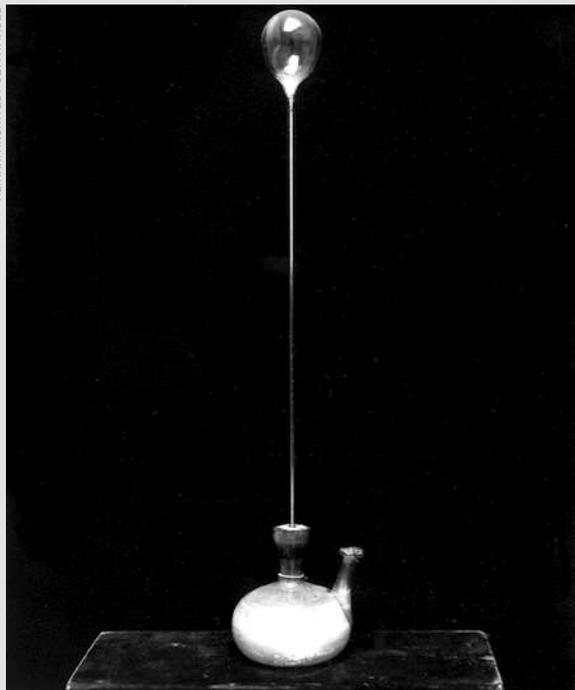
Os termômetros de bulbo utilizam como **substância termométrica** mercúrio (Hg) ou álcool e operam com base na dilatação térmica desses líquidos com a variação de temperatura. Nesses termômetros, a temperatura de um corpo é medida em função da variação da altura h do líquido no tubo capilar.



Representação de um termômetro de bulbo



Por volta de 1592, com base na obra de Fílon-Herão, Galileu Galilei construiu um dos primeiros termômetros ao qual chamou **termoscópio**.



Reprodução do termoscópio de Galileu

EMI-16-110



Para aprender a construir um termoscópio semelhante ao de Galileu, acesse:



Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_termoscopiodegalileu-termologia-txttem0004>.

Observação

Esse termoscópio parece um termômetro de bulbo, com água como líquido termométrico, mas, na verdade, ele é semelhante ao termômetro a gás, já que a dilatação do ar é muito maior comparada à do líquido. Outro ponto importante é que a água não é adequada para se usar como líquido termométrico, pois, entre 0 °C e 4 °C, ela apresenta um comportamento anômalo (anormal). Isso será abordado mais adiante.

3. Lei zero da termodinâmica

Suponha que temos duas barras, uma de ferro (A) e uma de alumínio (B), e um tanque cheio de água quente, que chamaremos de C. Esse tanque é suficientemente grande para que não percebamos seu resfriamento. Colocando a barra de ferro em contato térmico com C, ela se aquece até ficar em equilíbrio térmico com a água, ou seja, mesma temperatura, ficando assim um pouco maior por causa da dilatação. Colocando agora a barra de alumínio em contato térmico com C, ocorre o mesmo fato, isto é, a barra se aquece até ficar em equilíbrio térmico com a água, ou seja, mesma temperatura, ficando assim um pouco maior.

Por fim, colocamos as duas barras em contato térmico e percebemos que seus tamanhos não mudam, ou seja, já estão em equilíbrio térmico. Embora essa afirmação pareça muito simples, ela não pode ser deduzida por outras leis, e, por isso, é considerada a **antepimeira lei da termodinâmica** ou **lei zero da termodinâmica**

A está em equilíbrio térmico com C
 $Temperatura A = Temperatura C$
 e
 B está em equilíbrio térmico com C
 $Temperatura B = Temperatura C$

A está em equilíbrio térmico com B
 $Temperatura A = Temperatura B$

4. Escalas Celsius e Fahrenheit

Com o desenvolvimento do termômetro, várias escalas de uso cotidiano foram surgindo, e as mais bem-sucedidas foram as escalas Celsius e Fahrenheit.



Termômetro graduado na escala Celsius e Fahrenheit



A. Escala Celsius

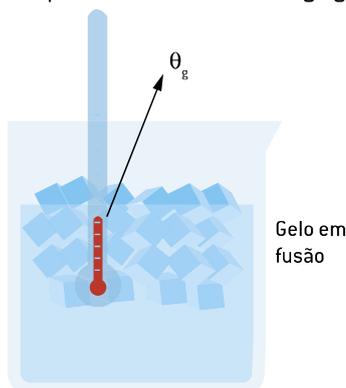


ROGER VUILLET/AFP

Anders Celsius (1701-1744)

A escala do sueco Anders Celsius tem como base dois pontos fixos.

O primeiro ponto fixo é o de fusão do gelo, isto é, a temperatura na qual o gelo e a água permanecem em equilíbrio térmico, quando sob pressão normal de 1 atm ou ao nível do mar. Para representar a temperatura, usaremos a letra grega θ [teta].

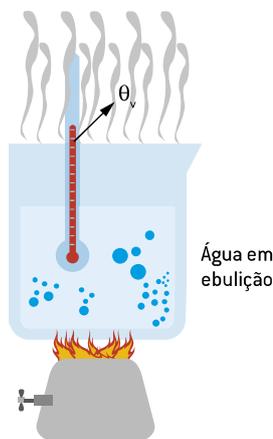


Gelo em fusão

Representação de um termômetro imerso em gelo em processo de fusão

A essa temperatura foi dado o valor de zero grau Celsius, $\theta_g = 0^\circ\text{C}$.

O segundo ponto fixo é o do vapor, isto é, a temperatura na qual a água entra em ebulição, quando sob pressão normal de 1 atm.

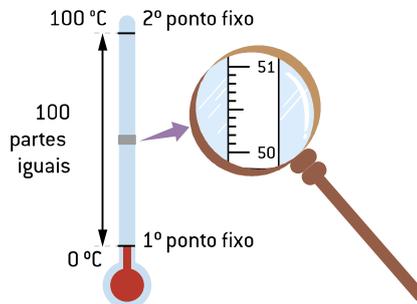


Água em ebulição

Representação de um termômetro imerso em água em processo de ebulição

A essa temperatura foi dado o valor de cem graus Celsius, $\theta_g = 100^\circ\text{C}$.

O espaço entre os pontos fixos foi dividido em 100 partes (por isso também era chamada antigamente de escala centígrada), e cada divisão corresponde a um grau Celsius (1°C). Essa escala é a mais utilizada no mundo.



Representação da construção da escala Celsius

B. Escala Fahrenheit



Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736)

Daniel Fahrenheit deu uma enorme contribuição à ciência ao substituir a água e o álcool como líquidos termométricos pelo mercúrio, que não congelava e não entrava em ebulição com facilidade.

Além disso, ele também construiu sua própria escala termométrica, com o intuito de tornar positivas as temperaturas medidas comumente. Para isso, ele tomou como primeiro ponto fixo a temperatura mais baixa que podia obter na época, usando uma mistura de água, gelo e sal. A essa temperatura ele chamou zero grau Fahrenheit, ou $\theta_1 = 0^\circ\text{F}$.

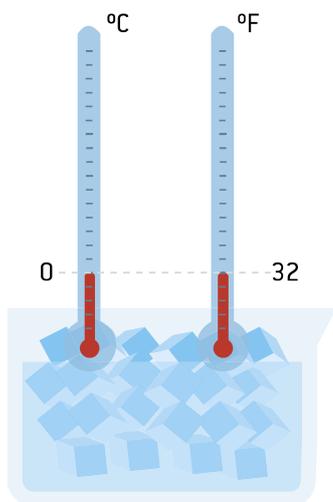
O segundo ponto fixo foi feito com base na temperatura do corpo humano, o que ele chamou inicialmente de $\theta_2 = 96^\circ\text{F}$. Mais tarde, ele a modificou ligeiramente, de modo que o ponto de gelo e de vapor ficasse inteiro. Assim, a temperatura normal do corpo humano fica entre 98°F e 99°F .

Essa escala é muito usada em países de língua inglesa, principalmente Estados Unidos e Inglaterra.

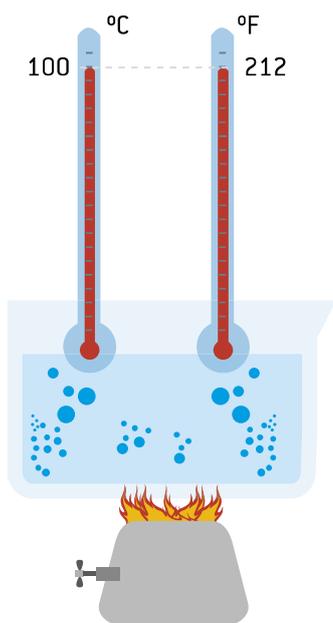
5. Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit

Para equiparar as escalas Celsius e Fahrenheit, colocaremos ambos os termômetros, sob pressão normal, na água com gelo e depois na água fervente.

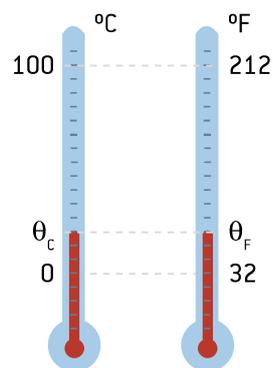
Fazendo esse experimento, nota-se que, na água com gelo, o termômetro graduado em Celsius marca $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o graduado em Fahrenheit, $32\text{ }^{\circ}\text{F}$.



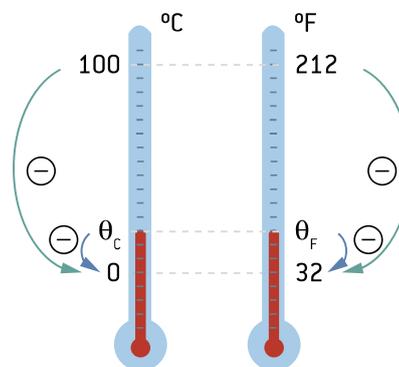
Quando colocados na água fervente, verifica-se que o termômetro graduado em Celsius marca $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o graduado em Fahrenheit, $212\text{ }^{\circ}\text{F}$.



Para uma temperatura θ_c qualquer, teremos uma correspondente θ_f .



Para estabelecermos uma relação entre as escalas, podemos fazer uma razão entre as diferenças de temperatura.



$$\frac{\theta_c - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_f - 32}{212 - 32}$$

$$\frac{\theta_c}{100} = \frac{\theta_f - 32}{180}$$

Dividindo ambos os lados por 20, temos:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9}$$

Equação de conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit.

APRENDER SEMPRE

23

01.

Encontre a temperatura na escala Fahrenheit que corresponde a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resolução

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9}$$

$$\frac{25}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9}$$

$$\theta_f = 77\text{ }^{\circ}\text{F}$$

02.

Uma pessoa com temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{F}$ já é considerada com febre. Calcule o valor dessa temperatura em graus Celsius.

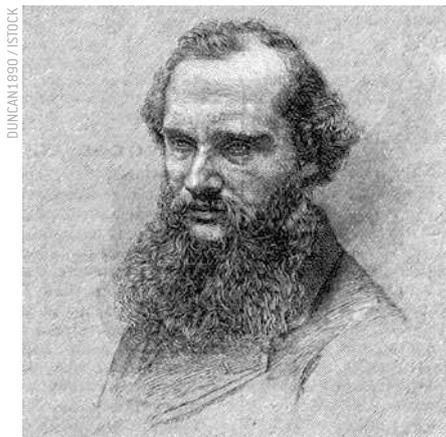
Resolução

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{100 - 32}{9}$$

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{68}{9}$$

$$\theta_c \approx 38\text{ }^{\circ}\text{C}$$

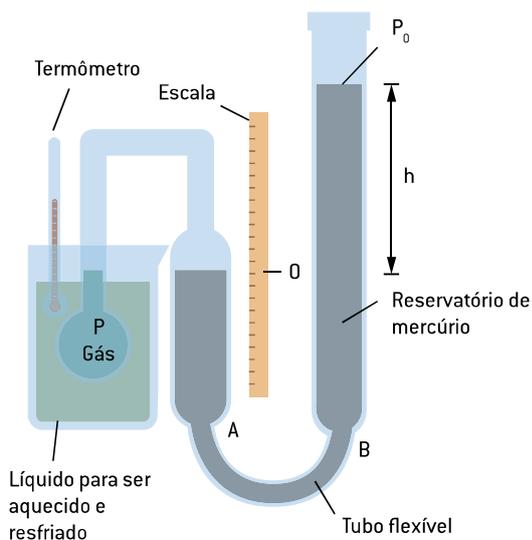
6. Escala Kelvin



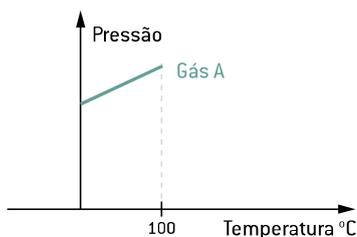
William Thomson (1824-1907)

Com o progresso dos estudos do comportamento dos gases, os pesquisadores perceberam que eles tinham algumas coisas em comum.

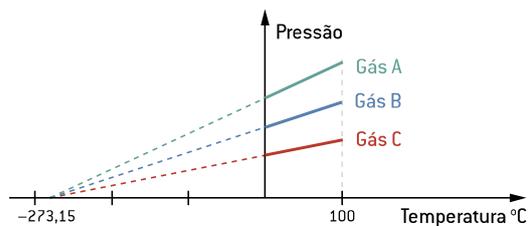
Usando um aparato experimental semelhante ao mostrado na figura, os pesquisadores puderam medir a pressão de um gás e compará-la com sua temperatura.



Começando com a temperatura de 100 °C e abaixando para 0 °C, percebemos que a pressão (numa escala arbitrária) também diminui, conforme o gráfico.



Fazendo esse experimento para diversos gases, os pesquisadores perceberam algo interessante: prolongando as retas do gráfico, elas coincidiam em um único ponto, que equivale a $-273,15$ °C.



Com esse experimento, eles interpretaram que, com a diminuição da temperatura, as moléculas do gás ficavam cada vez mais lentas, a ponto de, em $-273,15$ °C, elas estariam em repouso, o que seria a menor temperatura possível.

Com base nessa constatação, William Thomson, conhecido como Lord Kelvin em virtude de seu título de nobreza, construiu uma escala semelhante à de Celsius, mas com o zero na temperatura de $-273,15$ °C. A essa temperatura deu-se o nome de **zero absoluto**.

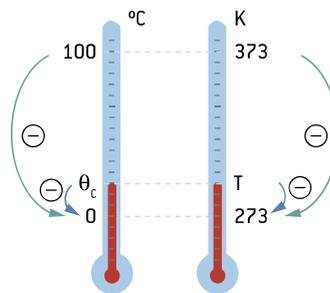
Assim, os pontos fixos convencionais (fusão do gelo e ponto de vapor) correspondem aos valores 273,15 K e 373,15 K, respectivamente. Entre esses pontos, foram feitas 100 divisões, em que cada uma corresponde a um kelvin (1 K). Não se utiliza o símbolo (°) nem se pronuncia graus Kelvin, apenas kelvin.

Para facilitar os cálculos, é comum aproximar os pontos fixos como 273 K e 373 K.

Essa escala é muito usada em experimentos científicos, principalmente com gases, e é reconhecida como unidade-padrão de temperatura no Sistema Internacional de Unidades (SI).

A. Equação de conversão

Para converter a escala Celsius para a escala Kelvin, podemos proceder do mesmo modo que fizemos com a escala Fahrenheit.



Para a escala absoluta, costuma-se usar a letra T no lugar de θ para representar a temperatura. Assim:

$$\frac{\theta_c - 0}{100 - 0} = \frac{T - 273}{373 - 273}$$

$$\frac{\theta_c}{100} = \frac{T - 273}{100}$$

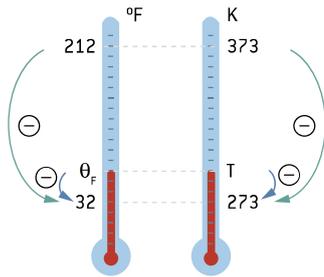
$$\theta_c = T - 273$$

ou

$$T = \theta_c + 273$$

Equações de conversão entre as escalas Celsius e Kelvin

Podemos também obter uma equação que relacione as escalas Fahrenheit e Kelvin.



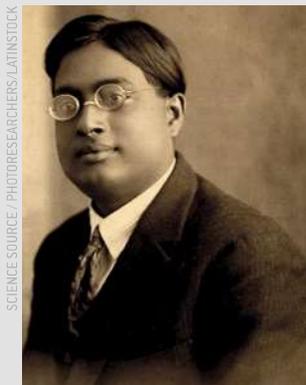
$$\frac{\theta_F - 32}{212 - 32} = \frac{T - 273}{373 - 273}$$

$$\frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{T - 273}{100}$$

Dividindo ambos os lados por 20, temos:

$$\frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{T - 273}{5}$$

Equações de conversão entre as escalas Fahrenheit e Kelvin



Satyendra Nath Bose (1894-1974)

A escala Kelvin é de grande importância científica, pois nela o zero é o zero absoluto, ou seja, o ponto onde, teoricamente, as moléculas não possuiriam mais agitação térmica, apresentando uma quantidade finita de energia cinética conhecida como energia de ponto zero. O zero absoluto é um ponto inatingível, pois a natureza não permite

parar todas as moléculas de um corpo. Nos anos 1920, os físicos Satyendra Nath Bose e Albert Einstein previram que, a temperaturas muito baixas, partículas como os átomos vão se aglomerar com exatamente o mesmo estado quântico de menor energia possível. Esse estado da matéria é conhecido como Condensado de Bose-Einstein. Esse fenômeno foi finalmente observado em laboratório, em 1995, resfriando-se átomos de rubídio na fase de vapor até a temperatura de 50 nanokelvin acima do zero absoluto. Os físicos que fizeram o experimento, Carl Weiman e Eric Cornell, ganharam o Prêmio Nobel de Física em 2001.

7. Unidades arbitrárias de temperatura

Além das três unidades citadas, existem inúmeras outras unidades de temperatura e, para fazer a conversão entre elas, basta saber a temperatura de fusão do gelo e de ebulição da água e efetuar a relação de proporção ensinada anteriormente.

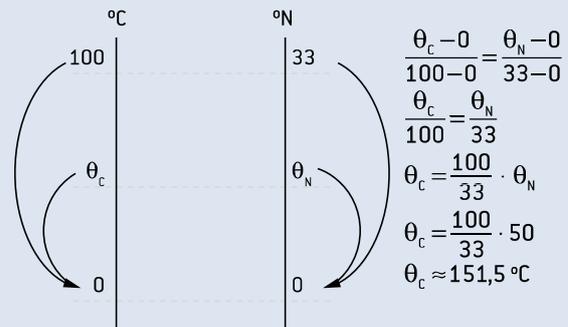
APRENDER SEMPRE

24

01.

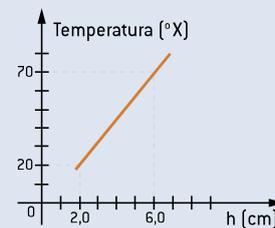
A escala de temperatura de Newton tinha como pontos fixos 0 °N para o derretimento do gelo e 33 °N para a ebulição da água. Qual a temperatura em graus Celsius correspondente a 50 °N?

Resolução

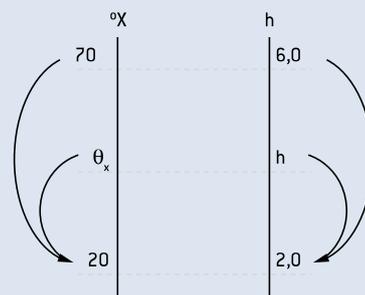


02.

A temperatura medida em um termômetro de bulbo varia com a altura h da coluna de mercúrio, conforme o diagrama. Encontre a função termométrica no intervalo de 2,0 cm a 6,0 cm.



Resolução



$$\frac{\theta_X - 20}{70 - 20} = \frac{h - 2,0}{6,0 - 2,0}$$

$$\frac{\theta_X - 20}{50} = \frac{h - 2,0}{4,0}$$

$$\frac{\theta_X - 20}{12,5} = \frac{h - 2,0}{1,0}$$

$$\theta_X - 20 = 12,5 \cdot h - 25$$

$$\theta_X = 12,5 \cdot h - 5$$

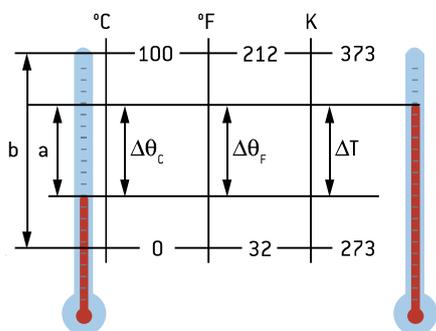
8. Variação de temperatura

É útil fazermos a distinção entre uma temperatura θ e um intervalo (variação) de temperatura $\Delta\theta$. Por exemplo: numa dada localidade, a temperatura ao amanhecer era de 25 °C, mas, às 15 horas, a temperatura atingia 38 °C. A variação de temperatura $\Delta\theta$ é dada pela diferença entre a temperatura final θ_f e temperatura inicial θ_i :

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

Para a situação acima: $\Delta\theta = 38 - 15 = 23$ °C

Relacionando as variações de temperatura nas três escalas, Celsius, Fahrenheit e Kelvin, temos o segmento **a**, que corresponde à variação de temperatura ocorrida nas três escalas, e o segmento **b**, que corresponde ao intervalo de temperatura entre os pontos de vapor e de gelo, também nas três escalas. Como eles não dependem da unidade em que foram medidos, podemos estabelecer a proporção:



$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta\theta_c}{100-0} = \frac{\Delta\theta_f}{212-32} = \frac{\Delta T}{373-273}$$

Simplificando:

$$\frac{\Delta\theta_c}{5} = \frac{\Delta\theta_f}{9} = \frac{\Delta T}{5}$$

Resumindo:

$$1. \quad \frac{\Delta\theta_c}{5} = \frac{\Delta\theta_f}{9}$$

2. Uma variação de temperatura na escala Celsius equivale à mesma variação na escala Kelvin.

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

APRENDER SEMPRE

25

01.

Certo corpo encontra-se à temperatura de 0 °C e é aquecido a 30 °C. Determine a variação de temperatura do corpo nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin.

Resolução

Usando a equação de conversão entre as escalas, temos:

$$0 \text{ °C} = 32 \text{ °F} = 273 \text{ K}$$

$$30 \text{ °C} = 86 \text{ °F} = 303 \text{ K}$$

Assim:

$$\Delta\theta_c = 30 - 0 = 30 \text{ °C}$$

$$\Delta\theta_f = 86 - 32 = 54 \text{ °F}$$

$$\Delta T = 303 - 273 = 30 \text{ K}$$

Outra maneira seria:

Para a escala Fahrenheit:

$$\frac{\Delta\theta_c}{5} = \frac{\Delta\theta_f}{9}$$

$$\frac{30}{5} = \frac{\Delta\theta_f}{9}$$

$$\Delta\theta_f = 54 \text{ °F}$$

Para a escala Kelvin:

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

$$\Delta T = 30 \text{ K}$$



Febre: aliada ou inimiga?

Experimentos realizados com lagartos têm levado pesquisadores a interessantes conclusões a respeito da febre e suas funções.



Iguana

Os lagartos, como todos os répteis, têm seu corpo aquecido e resfriado de acordo com a temperatura do ambiente em que estão. Entre os vertebrados, essa característica é também encontrada nos anfíbios, ao contrário das aves e mamíferos, cuja temperatura interna do corpo independe da temperatura do ambiente.

Partindo dessa característica dos lagartos, os pesquisadores fizeram, inicialmente, um experimento para descobrir a que temperatura uma certa espécie de lagarto – os iguanas – tende a manter a temperatura do corpo. Colocaram esses lagartos numa caixa com uma das extremidades mantida a 50 °C e a outra, à temperatura ambiente. Os lagartos se moveram de um microclima a outro até que sua temperatura interna se estabilizou em torno de 38 °C, que os pesquisadores passaram a considerar como temperatura normal para esses lagartos.

Tendo descoberto a temperatura normal dos iguanas, os pesquisadores procuraram verificar se esses animais, à semelhança de muitos outros, desenvolvem febre em resposta a uma infecção. Injetaram nos lagartos determinadas bactérias e observaram que eles permaneceram maior tempo na porção mais aquecida da caixa, até conseguirem uma elevação de 1 a 2 °C acima dos 38 °C.

Na última etapa dos experimentos, infectaram 34 lagartos e os dividiram em dois lotes iguais. A um lote foi dado um medicamento que suprime a febre. Ambos os lotes foram então colocados num ambiente com várias temperaturas. Os lagartos que não tomaram medicamentos procuraram os locais mais aquecidos e ficaram com a temperatura acima do normal durante vários dias. Depois, procuraram locais mais frescos e voltaram à temperatura normal. Desse lote, apenas um morreu em consequência da infecção. Do lote que recebeu o medicamento supressor da febre, mais da metade morreu.

Os pesquisadores reforçaram suas conclusões, mantendo lagartos doentes em uma série de incubadoras, cada qual a uma determinada temperatura. De novo constataram que os lagartos mantidos à temperatura febril sobreviveram, enquanto muitos dos que foram mantidos à temperatura normal (38 °C), ou um pouco abaixo, morreram. A 34 °C, temperatura mais baixa, todos os lagartos morreram.

Todos esses resultados indicam que a febre constitui uma defesa do organismo, mas qual será o mecanismo pelo qual ela exerce a sua ação defensiva?

Ocorre que, no organismo febril, a produção de células T (elementos importantes do sistema imunológico) torna-se dez vezes maior para cada grau de elevação da temperatura. Além disso, para cada grau de elevação da temperatura triplica a eficácia de uma substância chamada interferon presente no organismo e essencial no combate às infecções por vírus.

Outras perguntas – Quem faz o papel de “termostato”, ou seja, qual o órgão responsável pela regulação da temperatura no organismo? De que maneira é levada a esse órgão a informação de que a temperatura do corpo precisa ser elevada? Qual o processo utilizado pelo organismo para elevar e baixar sua temperatura?

A função de termostato é desempenhada por uma parte do cérebro, o hipotálamo, que, entre outras funções, regula a maior ou menor produção de calor pelo organismo.

A informação de que a temperatura do corpo precisa subir é levada ao hipotálamo pelo pirogênio, substância liberada pelos glóbulos bran-

cos do sangue assim que a corrente sanguínea é invadida pelas toxinas associadas à infecção.

Quanto ao processo utilizado pelo organismo para elevar sua temperatura, há três recursos possíveis, aliás, os mesmos três recursos que podem ser utilizados quando se deseja elevar a temperatura de qualquer sistema termodinâmico: produzir mais calor no interior do próprio sistema, reduzir as perdas de calor para fora do sistema ou introduzir calor no sistema.

O que faz o organismo para produzir mais calor? Todos sabemos que, enquanto a febre está subindo, nossos músculos se contraem e até mesmo tremem. Por mais surpreendente que isso possa parecer, esse é o processo que nosso organismo utiliza para gerar o calor necessário à elevação de temperatura. Nesse processo, há consumo de energia armazenada nas ligações químicas, mas acontece que somente 25% da energia consumida é utilizada na realização do trabalho mecânico dos tremores; os restantes 75% são liberados como calor, o qual eleva a temperatura do corpo. É exatamente o que ocorre quando efetuamos um esforço, como subir correndo uma escada; sentimos um aquecimento, análogo a uma febre, em virtude de só aproveitarmos para o trabalho mecânico 1 J de cada 4 J liberados pelo organismo.

O outro recurso utilizado pelo organismo para elevar sua temperatura interna é diminuir as perdas para o ambiente. Consegue isso reduzindo a circulação periférica, ou seja, transportando menos calor para a superfície do corpo, onde seria perdido através da pele. Com o mesmo objetivo (o de minimizar perdas de calor), costumamos dar uma ajuda aos mecanismos automáticos de nosso organismo, tratando de nos agasalhar enquanto a febre sobe.

Inversamente, quando nosso organismo não precisa mais da defesa da febre, o hipotálamo comanda um abaixamento da temperatura e começamos a transpirar, o que contribui para reduzir a temperatura do corpo. Ao mesmo tempo, livramo-nos dos agasalhos, para perder mais calor rapidamente.

O último recurso – introduzir calor no sistema – fica por conta dos chás quentes e da procura de um bom fogo, quando esse luxo está disponível.

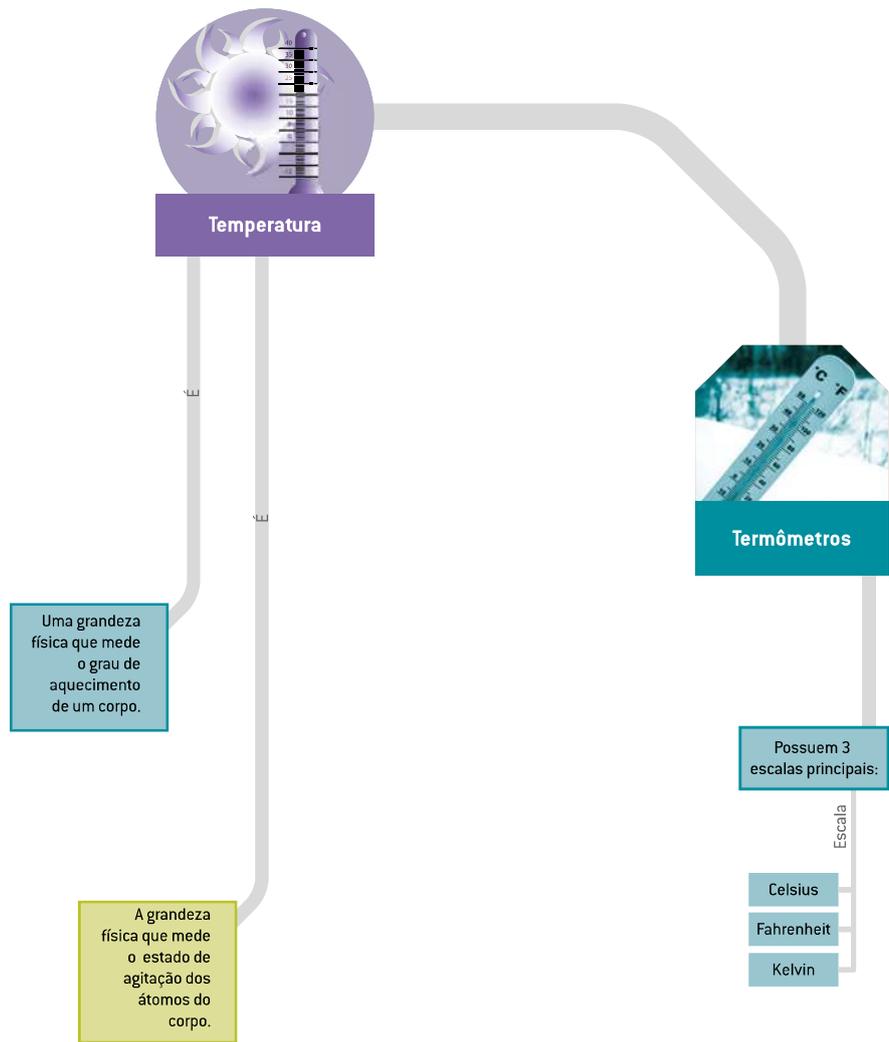
O intrincado mecanismo de regulação da temperatura e da ação da febre como defesa mostra o grau de refinamento dos programas que regem o funcionamento dos organismos vivos, até os mínimos detalhes: tudo pode ser explicado a partir dos átomos, suas ligações e energias.

TEIXEIRA JÚNIOR, Antonio de Souza. *Revista de Ensino de Ciência*. n. 12, mar. 1985, p. 7-9. Retirado do livro *Física*, volume 2. Autor: Paraná, p. 27-29. Adaptado.

9. Organizador gráfico

A. Temperatura

YURU77 / ISTOCK / EVRYKA23 / ISTOCK



Módulo 31

Temperatura e escalas de temperatura Celsius e Fahrenheit

Exercícios de Aplicação

01. UEPG-RS

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 o seu próprio conceito sobre temperatura. Sobre temperatura e termômetros, dê a soma dos itens que estiverem corretos.

01. A fixação de uma escala de temperatura deve estar associada a uma propriedade 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 de um corpo.
08. A água é uma excelente substância termométrica, dada a 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.

Resolução

18 (02 + 16)

01. Incorreto. A fixação de uma escala termométrica exige a associação com uma propriedade física que possua uma relação bem definida com a temperatura.
02. Correto
04. Incorreto. Temperatura é a grandeza física que mede o estado de agitação dos átomos do corpo.
08. Incorreto. A água não é uma boa substância termométrica, pois a sua dilatação térmica possui comportamento anômalo.
16. Correto

02.

Ao tomar a temperatura de um paciente, um médico só dispõe de um termômetro graduado na escala 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?

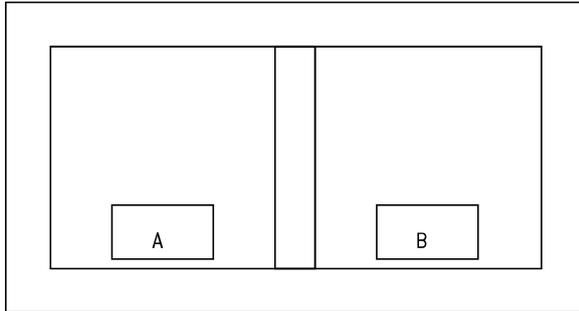
Resolução

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9} \Rightarrow \frac{42}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9}$$
$$5\theta_f - 160 = 378 \Rightarrow \theta_f = \frac{378 + 160}{5}$$
$$\theta_f = 107,6^\circ\text{F}$$

03. PUCCamp-SP

Um termoscópio é um aparelho que indica variações numa propriedade que é função da temperatura. Por exemplo, a resistência elétrica de um fio aumenta com o aumento da temperatura.

Dois corpos, A e B, são colocados num recipiente de paredes adiabáticas, separados por outra parede isolante.



Um termoscópio de resistência elétrica é colocado em contato com o corpo A. Após estabilização, a leitura do termoscópio é 40,0. Colocado, a seguir, em contato com o corpo B, o mostrador do termoscópio indica também 40,0.

Retirando a parede divisória e colocando o termoscópio em contato com A e B, a sua indicação deverá ser:

- 10,0
- 20,0
- 40,0
- 80,0
- 160

Resolução

Pela lei zero da termodinâmica, sabemos que, se o termoscópio estiver em equilíbrio tanto com o corpo A como com o corpo B, A e B estarão em equilíbrio entre si. Por isso, quando colocados em contato, continuam com a mesma temperatura de equilíbrio, 40,0 °C.

Alternativa correta: C

Habilidade

Interpretar temperatura como medida de agitação térmica de átomos e moléculas para explicar propriedades térmicas e expressar seu valor nas escalas Celsius e Kelvin.

Exercícios Extras

04. PUC-RJ

Temperaturas podem ser medidas em graus Celsius (°C) ou Fahrenheit (°F). Elas têm uma proporção linear entre si. Temos: $32\text{ °F} = 0\text{ °C}$; $20\text{ °C} = 68\text{ °F}$. Qual a temperatura em que ambos os valores são iguais?

- 40
- 20
- 100
- 40
- 0

05.

No mesmo dia, foram registradas as seguintes temperaturas máximas: em São Paulo, 20 °C; em Salvador, 30 °C; em Miami, 77 °F; e, em Nova York, 50 °F. Qual das cidades apresentou a maior temperatura? E qual apresentou a menor temperatura?

Seu espaço

Sobre o módulo

Mostrar aos alunos que temperatura é um conceito macroscópico, mas que pode ser descrito de modo microscópico. Associar a lei zero da termodinâmica com o conceito macroscópico de temperatura.

Se possível, levar alguns tipos de termômetros para ilustrar a aula. Também seria muito produtivo realizar em sala a experiência mostrada na teoria.

Na teoria, é apresentada uma maneira de construir o termoscópio de Galileu. Assim, seria interessante pedir aos alunos que construam seus termômetros ou termoscópios, para que possam aplicar a teoria e desenvolver habilidades manuais.

Na web

Para fazer o termoscópio, acesse:



Disponível em: <http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_termoscopiodegalileu-termologia-txttem0004>.

<http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_termoscopiodegalileu-termologia-txttem0004>.



Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.danielfritzsch.temperatureconverter>>.

Em razão da disseminação dos *smartphones*, é muito fácil converter as temperaturas usando aplicativos como:

Os alunos podem dispor da tecnologia para auxiliá-los nos estudos, utilizando, por exemplo, tais aplicativos para conferir suas respostas.

Exercícios Propostos

Da teoria, leia os tópicos 1, 1.A, 2, 3, 4, 4.A, 4.B e 5.

Exercícios de  tarefa  reforço  aprofundamento

06.

Qual é a leitura de um termômetro graduado em Fahrenheit para a leitura de 40 °C?

07. UFAL

Utilizando dois termômetros, um graduado na escala Celsius e outro, na escala Fahrenheit, um menino mediu a temperatura de um corpo, obtendo o valor nessas duas unidades de medida. Com base nisso, analise as afirmações seguintes:

Os dois valores medidos, um em cada escala, podem ter sido numericamente iguais.

Se o termômetro graduado na escala Celsius mediu 42 °C, o termômetro graduado em Fahrenheit mediu 74 °F.

Se o corpo cuja temperatura foi medida era formado inteiramente por gelo, é impossível que a leitura do termômetro graduado na escala Fahrenheit tenha sido positiva.

Se as medidas foram tomadas em um local ao nível do mar, e se o termômetro graduado em Celsius mediu 100 °C, o outro termômetro mediu 212 °F.

O valor numérico da temperatura do corpo em graus Celsius foi, sem dúvida, menor do que o valor numérico da mesma temperatura em graus Fahrenheit.

08. UEPG-PR

Em algumas cidades brasileiras encontramos, em vias de grande circulação, termômetros que indicam a temperatura local medida na escala Celsius.

Por causa dos jogos da Copa, no Brasil, os termômetros passaram por modificações que permitiram a informação da temperatura também na escala Fahrenheit, utilizada por alguns países. Portanto, após essa adaptação, um desses termômetros que indique, por exemplo, 25 °C também apontará a temperatura de:

Dado

Equação de conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit:

$$\frac{\theta_{\text{Celsius}}}{5} = \frac{\theta_{\text{Fahrenheit}} - 32}{9}$$

- 44 °F
- 58 °F
- 64 °F
- 77 °F
- 86 °F

09. UFU-MG

Para construir-se uma escala de temperatura, **não** é necessário que:

- todos os termômetros concordem suas leituras nos pontos fixos.
- os pontos fixos possam ser reproduzidos em qualquer ocasião.
- a propriedade termométrica seja referente ao comportamento de um gás perfeito.
- a propriedade termométrica seja função biunívoca (bijetora) da temperatura.
- atribua-se a mesma temperatura a dois corpos em equilíbrio térmico.

10. UFR-RJ

Um mecânico, medindo a temperatura de um dispositivo do motor do carro de um turista americano, usou um termômetro cuja leitura digital foi de 92 °C. Para que o turista entendesse melhor a temperatura, o mecânico teve de converter a unidade de temperatura para Fahrenheit.

Qual foi o valor da temperatura após esta conversão?

11.

Uma pessoa colocou um termômetro graduado na escala Fahrenheit e verificou que sua temperatura era de 97,7 °F. Considerando que a temperatura normal do corpo humano é de 36,5 °C, responda se esta pessoa estava com febre.

12. UEA-AM

Um turista estrangeiro leu em um manual de turismo que a temperatura média do estado do Amazonas é 87,8 graus, medido na escala Fahrenheit. Não tendo noção do que esse valor significa em termos climáticos, o turista consultou um livro de Física, encontrando a seguinte tabela de conversão entre escalas termométricas:

	Celsius	Fahrenheit
Fusão do gelo	0	32
Ebulição da água	100	212

Com base nessa tabela, o turista fez a conversão da temperatura fornecida pelo manual para a escala Celsius e obteve o resultado:

- 25
- 31
- 21
- 36
- 16

13. Cefet-SC

O lugar mais frio do mundo

Ainda existe um lugar na Terra onde o homem jamais pisou. Ele se chama Ridge A (“cordilheira A”, em inglês), fica a 4 mil metros de altitude – 30 % mais alto que a cidade de La Paz, na Bolívia – e está a 600 quilômetros do Polo Sul. Mas a principal característica desse lugar, que acaba de ser revelado por imagens de satélite, é outra: Ridge A é o ponto mais frio da face da Terra, com temperatura média de 70 graus Celsius negativos. Até então, acreditava-se que o lugar mais frio do mundo fosse o lago Vostok, na Antártida, que chegou a registrar 90 graus Celsius negativos. Mas isso foi uma exceção. “Na média, Ridge A é muito mais frio do que o lago Vostok ou qualquer outro lugar conhecido”, afirma Will Saunders, astrônomo da Universidade de New South Wales e descobridor do lugar.

Revista *Superinteressante*. Ed. 271, p. 32, nov. 2009. Adaptado.

Diferentemente de nós, que usamos a escala de temperatura Celsius, os americanos utilizam a escala de temperatura Fahrenheit. Se esse texto fosse dirigido a estudantes americanos, como seria expressa a temperatura de –70 °C?

- 0 °F
- 60 °F
- 55 °F
- 40 °F
- 94 °F

14. UFPE-RS

A água na atmosfera

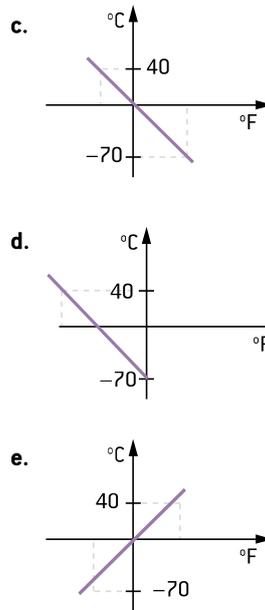
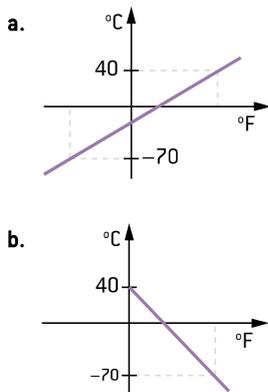
O calor proveniente do Sol por irradiação atinge o nosso Planeta e evapora a água que sobe, por ser ela, ao nível do mar, menos densa que o ar. Ao encontrar regiões mais frias na atmosfera, o vapor se condensa, formando pequenas gotículas de água que compõem, então, as nuvens, podendo, em parte, solidificar-se em diferentes tamanhos.

Os ventos fortes facilitam o transporte do ar próximo ao chão – a temperatura, em dias de verão, chega quase a 40 °C – para o topo das nuvens, quando a temperatura alcança 70 °C. Há um consenso, entre pesquisadores, de que, devido à colisão entre partículas de gelo, água e granizo, ocorre a eletrização da nuvem, sendo possível observar a formação de dois centros: um de cargas positivas e outro de cargas negativas. Quando a concentração de cargas nesses centros cresce muito, acontecem, então, descargas entre regiões com cargas elétricas opostas. Essas descargas elétricas – raios – podem durar até 2 s, e sua voltagem encontra-se entre 100 milhões e 1 bilhão de volts, sendo a corrente da ordem de 30 mil ampères, podendo chegar a 300 mil ampères e a 30 000 °C de temperatura. A luz produzida pelo raio chega quase instantaneamente, enquanto o som, considerada sua velocidade de 300 m/s, chega num tempo 1 milhão de vezes maior. Esse trovão, no entanto, dificilmente será ouvido, se acontecer a uma distância superior a 35 km, já que tende seguir em direção à camada de ar com menor temperatura.

Física na escola, v. 2, n. 1, 2001. Adaptado.

É comum, no painel de informações das cabines dos aviões, estar registrada a temperatura externa de duas maneiras: em graus Celsius e em Fahrenheit.

Assinale a alternativa com o gráfico que representa corretamente as temperaturas registradas para o ar, no painel do avião, quando ele se desloca do solo ao topo das nuvens.



15. Mackenzie-SP (adaptado)

Para medir a temperatura de um certo corpo, utilizou-se um termômetro graduado na escala Fahrenheit. O valor obtido correspondeu a 4/5 da indicação de um termômetro graduado na escala Celsius, para o mesmo estado térmico. Qual o valor dessa temperatura na escala Celsius?

- a. -247,4 °C
- b. -241 °C
- c. -32 °C
- d. 0 °C
- e. 32 °C

16. Fatec-SP

Os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água na escala Fahrenheit são, respectivamente, 32 °F e 212 °F. Um termômetro A, graduado na escala Fahrenheit, e outro B, graduado na escala Celsius, são colocados simultaneamente em um frasco contendo água quente. Verifica-se que o termômetro A apresenta uma leitura que supera em 80 unidades a leitura do termômetro B.

Podemos afirmar que a temperatura da água no frasco é:

- a. 60 °C
- b. 80 °C
- c. 112 °C
- d. 50 °F
- e. 112 °F

Módulo 32

Escala Kelvin e variação de temperatura

Exercícios de Aplicação

01.

Em uma panela, existe água a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, que é aquecida até $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Expresse esses dois valores de temperatura na escala Kelvin.
- Qual é a variação de temperatura sofrida pela água nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin?

Resolução

- a. A relação entre as escalas Celsius e Kelvin é:

$$T = \theta_c + 273. \text{ Assim:}$$

- $T = 20 + 273 = 293\text{ K}$
- $T = 90 + 273 = 363\text{ K}$

- b. A variação de temperatura na escala Celsius é:

$$\Delta\theta_c = 90 - 20 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Na escala Fahrenheit:

$$\Delta\theta_f = \frac{9}{5} \cdot \Delta\theta_c = \frac{9}{5} \cdot 70$$

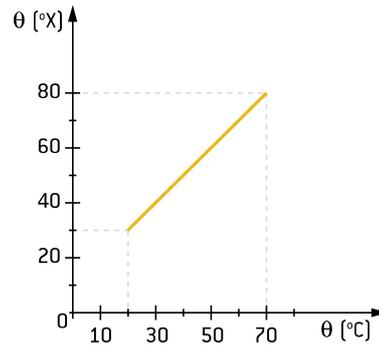
$$\Delta\theta_f = 126\text{ }^{\circ}\text{F}$$

- Na escala Kelvin:

$$\Delta T = \Delta\theta_c \Rightarrow \Delta T = 70\text{ K}$$

02. UFPE

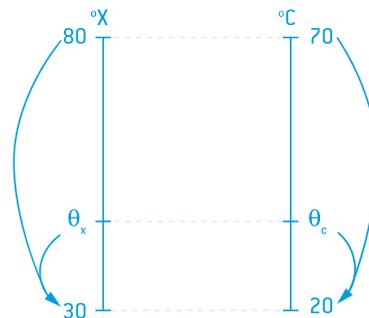
O gráfico apresenta a relação entre a temperatura na escala Celsius e a temperatura numa escala termométrica arbitrária X. Calcule a temperatura de fusão do gelo na escala X. Considere a pressão de 1 atm.



Resolução

Existem duas maneiras proveitosas de resolver esse exercício:

1.



$$\frac{\theta_x - 30}{80 - 30} = \frac{\theta_c - 20}{70 - 20}$$

$$\frac{\theta_x - 30}{50} = \frac{\theta_c - 20}{50}$$

$$\theta_x - 30 = \theta_c - 20$$

$$\theta_x = \theta_c + 10$$

$$\theta_x = 0 + 10$$

$$\theta_x = 10\text{ }^{\circ}\text{X}$$

2. Analisando o gráfico, vemos que, quando a temperatura varia $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$), na escala X também varia 50° . Assim, concluímos que as variações são iguais. Considerando o ponto $(20,30)$, para a temperatura em Celsius chegar a zero, ela deve diminuir $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, já que as variações são iguais, a escala X também deve diminuir $20\text{ }^{\circ}\text{X}$, chegando a $10\text{ }^{\circ}\text{X}$.

03.

Um pesquisador, ao realizar a leitura da temperatura de um determinado sistema, obteve o valor -450 . Considerando as escalas usuais (Celsius, Fahrenheit e Kelvin), podemos afirmar que o termômetro utilizado certamente **não** poderia estar graduado:

- a. apenas na escala Celsius.
- b. apenas na escala Fahrenheit.
- c. apenas na escala Kelvin.
- d. nas escalas Celsius e Kelvin.
- e. nas escalas Fahrenheit e Kelvin.

Resolução

A menor temperatura possível é o zero absoluto. O seu valor apresenta o limite mínimo para todas as escalas. Ele assume diferentes valores em cada escala:

Kelvin: 0 K

Celsius: $-273\text{ }^\circ\text{C}$

Fahrenheit: $-459,4\text{ }^\circ\text{F}$.

Portanto, o valor de -450 é menor que os limites mínimos das escalas Kelvin e Celsius, só podendo corresponder a um valor na escala Fahrenheit.

Alternativa correta: D

Habilidade

Reconhecer as características básicas dos termômetros e escalas termométricas.

Exercícios Extras

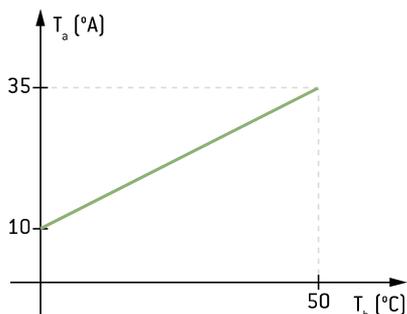
04. Unesp

Uma panela com água é aquecida de $25\text{ }^\circ\text{C}$ para $80\text{ }^\circ\text{C}$. A variação de temperatura sofrida pela panela com água, nas escalas Kelvin e Fahrenheit, foi de:

- a. 32 K e $105\text{ }^\circ\text{F}$
- b. 55 K e $99\text{ }^\circ\text{F}$
- c. 57 K e $105\text{ }^\circ\text{F}$
- d. 99 K e $105\text{ }^\circ\text{F}$
- e. 105 K e $32\text{ }^\circ\text{F}$

05.

Considere o diagrama, que representa a relação entre duas escalas termométricas arbitrárias.



- a. Sabendo-se que a escala T_b é a escala Celsius, qual é a temperatura de congelamento da água na escala T_a ?
- b. Qual a relação termométrica existente entre as duas escalas?
- c. Qual o valor da temperatura do corpo humano ($37\text{ }^\circ\text{C}$) na escala T_a ?
- d. Qual a temperatura de ebulição da água, ao nível do mar, na escala T_a ?
- e. Qual a temperatura que possui a mesma leitura nas duas escalas?

Seu espaço

Sobre o módulo

Deixar claro que a escala Kelvin é uma escala absoluta, que não apresenta valores negativos. Dependendo do nível da turma, pode-se demonstrar por meio do gráfico como ela foi definida.

Mostrar que o método da conversão de temperaturas é sempre o mesmo e vale para qualquer unidade arbitrária.

Exercícios Propostos

Da teoria, leia os tópicos 6, 6.A, 7 e 8.

Exercícios de  tarefa  reforço  aprofundamento

06. Fatec-SP

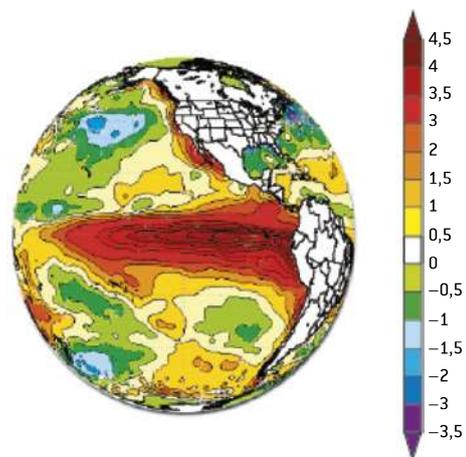
Ao aferir-se um termômetro malconstruído, verificou-se que os pontos $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de um termômetro correto correspondiam, respectivamente, a $97,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do primeiro.

Se esse termômetro malconstruído marcar $19,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperatura correta deverá ser de:

- $18,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $28,4\text{ }^{\circ}\text{C}$

07. UERJ

No mapa, está representada a variação média da temperatura dos oceanos em um determinado mês do ano. Ao lado, encontra-se a escala, em graus Celsius, utilizada para a elaboração do mapa.



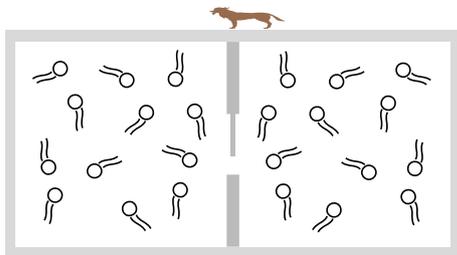
Determine, em kelvin, o módulo da variação entre a maior e a menor temperatura da escala apresentada.

08.

Em uma das regiões mais frias do planeta, o termômetro indica $-76\text{ }^{\circ}\text{F}$. Expresse esse valor nas escalas Celsius e Kelvin.

◆ 09. UFSCar-SP

Maxwell, notável físico escocês da segunda metade do século XIX, inconformado com a possibilidade da morte térmica do Universo, consequência inevitável da segunda lei da termodinâmica, criou o “demônio de Maxwell”, um ser hipotético capaz de violar essa lei. Essa fictícia criatura poderia selecionar as moléculas de um gás que transitassem entre dois compartimentos, controlando a abertura que os divide, como ilustra a figura.



Por causa dessa manipulação diabólica, as moléculas mais velozes passariam para um compartimento, enquanto as mais lentas passariam para o outro. Se isso fosse possível:

- esse sistema nunca entraria em equilíbrio térmico.
- esse sistema estaria em equilíbrio térmico permanente.
- o princípio da conservação da energia seria violado.
- não haveria troca de calor entre os dois compartimentos.
- haveria troca de calor, mas não haveria troca de energia.

◆ 10. Mackenzie-SP

Os termômetros são instrumentos utilizados para efetuar medidas de temperaturas. Os mais comuns se baseiam na variação de volume sofrida por um líquido considerado ideal, contido num tubo de vidro cuja dilatação é desprezada. Num termômetro em que se utiliza mercúrio, vemos que a coluna desse líquido "sobe" cerca de 2,7 cm para um aquecimento de 3,6 °C. Se a escala termométrica fosse a Fahrenheit, para um aquecimento de 3,6 °F, a coluna de mercúrio "subiria":

- 11,8 cm
- 3,6 cm
- 2,7 cm
- 1,8 cm
- 1,5 cm

◆ 11.

Num termômetro de mercúrio, a coluna líquida apresenta 0,6 cm, em presença do gelo em fusão (0 °C), e 20,6 cm em presença de vapores de água em ebulição (100 °C). Determine:

- a função termométrica desse termômetro na escala Celsius;
- a temperatura da água de um recipiente, em contato com a qual o termômetro apresenta coluna líquida de altura 8,6 cm.

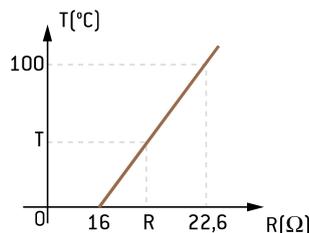
◆ 12. UERN

Em um determinado aeroporto, a temperatura ambiente é exibida por um mostrador digital que indica, simultaneamente, a temperatura em três escalas termométricas: Celsius, Fahrenheit e Kelvin. Se em um determinado instante a razão entre a temperatura exibida na escala Fahrenheit e na escala Celsius é igual a 3,4, então a temperatura registrada na escala Kelvin, nesse mesmo instante, é:

- 272 K
- 288 K
- 293 K
- 301 K
- 08 K

◆ 13. Unesp

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:

- $T = \frac{100 \cdot (R - 16)}{6,6}$
- $T = \frac{100 \cdot 6,6}{R - 16}$
- $T = \frac{R - 6,6}{6,6 \cdot 100}$
- $T = \frac{100 \cdot (R - 16)}{16}$
- $T = \frac{100 \cdot (R - 6,6)}{16}$

◆ 14. Mackenzie-SP

Um pesquisador verifica que uma certa temperatura obtida na escala Kelvin é igual ao correspondente valor na escala Fahrenheit acrescido de 145 unidades. Esta temperatura na escala Celsius é:

- 55 °C
- 60 °C
- 100 °C
- 120 °C
- 248 °C

◆ 15.

As leituras de dois termômetros, um calibrado na escala X e o outro, na escala Y, relacionam-se pela equação $\theta_x = 2 \cdot \theta_y + 20$.

- Com base na equação dada, construa o gráfico de θ_x em função de θ_y , para o intervalo de 0 °Y a 100 °Y.
- Sabendo-se que 0 °Y = 300 K e 100 °Y = 400 K, determine a variação de temperatura na escala Kelvin, que corresponde à variação de 100 °X, na escala X.

◆ 16. Cesgranrio-RJ

Duas escalas termométricas, E_1 e E_2 , foram criadas. Na escala E_1 , o ponto de fusão do gelo sob pressão de 1 atm (ponto de gelo) corresponde a + 12 e o ponto de ebulição da água sob pressão de 1 atm (ponto de vapor) corresponde a + 87. Na escala E_2 , o ponto de gelo é + 24. Os números x e y são, respectivamente, as medidas nas escalas E_1 e E_2 correspondentes a 16 °C. Se os números 16, x e y formam, nessa ordem, uma progressão geométrica, o ponto de vapor na escala E_2 é:

- 120
- 99
- 787
- 64
- 57