



ITA 2023



TERMOLOGIA

AULA 03

Termometria, calorimetria e Fluxos de calor

Prof. Vinícius Fulconi





Sumário

1. INTRODUÇÃO À TERMOLOGIA	5
1.1 A NOÇÃO DE TEMPERATURA	5
1.2. EQUILÍBRIO TÉRMICO	6
2. TERMÔMETROS	6
2.1 ESCALAS RELATIVAS USUAIS	8
2.4.1. ESCALA CELSIUS	8
2.4.2. ESCALA FAHRENHEIT	9
2.4.3. RELAÇÃO ENTRE AS ESCALAS RELATIVAS	10
2.4.4. A RELAÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA NAS ESCALAS RELATIVAS USUAIS	11
2.2 O ZERO ABSOLUTO E A ESCALA ABSOLUTA	12
2.3 Conversão entre escalas termométricas	15
3. DILATOMETRIA – DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS	17
3.1 DILATAÇÃO LINEAR DOS SÓLIDOS	18
3.2 TENSÃO TÉRMICA	26
3.3 A LÂMINA BIMETÁLICA	27
3.4 DILATAÇÃO SUPERFICIAL DOS SÓLIDOS	28
3.5 DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA DOS SÓLIDOS	32
3.6 DILATAÇÃO DE SÓLIDOS ANISÓTROPAS	34
3.7 A ALTERAÇÃO DA DENSIDADE COM A TEMPERATURA	37
3.8 DILATAÇÃO DE UM SÓLIDO OCO	39
3.9 DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS	40
3.10 DILATAÇÃO APARENTE	42
3.11 COMPORTAMENTO ANÔMALO DA ÁGUA	46
3.12 DILATAÇÃO DOS GASES	49



4.0 CALORIMETRIA	50
4.1 UNIDADES DE CALOR	52
4.2 POTÊNCIA DE UMA FONTE TÉRMICA	52
4.3 CAPACIDADE TÉRMICA OU CALORÍFICA (C) E CALOR ESPECÍFICO (C)	52
4.4 CALOR SENSÍVEL	53
4.5 SISTEMA FÍSICO TERMICAMENTE ISOLADO	57
4.6 EQUIVALENTE EM ÁGUA	58
4.7 CALORÍMETRO	59
5.0 MUDANÇAS DE ESTADO	63
5.1 CALOR LATENTE	64
5.2 A FUSÃO E A SOLIDIFICAÇÃO	65
5.3 SOBREFUSÃO OU SUPERFUSÃO OU SUPER-RESFRIAMENTO	74
5.4 VAPORIZAÇÃO E LIQUEFAÇÃO	77
5.4.1. EBULIÇÃO	77
5.4.2. EVAPORAÇÃO	79
5.5 PRESSÃO DE VAPOR	80
5.6 UMIDADE RELATIVA	82
5.7 SUBLIMAÇÃO	84
5.8 PONTO CRÍTICO E PONTO TRIPLO	84
5.8.1. PONTO CRÍTICO	84
5.8.2. PONTO TRIPLO	85
6.0 DIAGRAMA DE FASES	86
6.1 SÓLIDO ↔ LÍQUIDO	87
6.1.1. SUBSTÂNCIAS QUE DILATAM NA FUSÃO	87
6.1.2. SUBSTÂNCIAS QUE SE CONTRAEM NA FUSÃO	87
6.1.3. A EXPERIÊNCIA DE TYNDALL E O PATINADOR NO GELO	88
6.2 LÍQUIDO ↔ VAPOR	90
6.2.1 INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NO PONTO DE EBULIÇÃO	91



6.3 SÓLIDO ↔ VAPOR	93
6.4 DIAGRAMA PRESSÃO-VOLUME-TEMPERATURA ($P - V - T$)	94
Lista de questões	97
Nível 2	109
Gabarito	119
Questões comentadas	122
Lista de Questões Resolvidas e Comentadas	122
Nível 2	147
Considerações Finais	168

Siga minhas redes sociais!



Bizuario da física



@viniciusfulconi



@professorviniciusfulconi



1. INTRODUÇÃO À TERMOLOGIA

Dizemos que Termologia é o ramo da Física que estuda os fenômenos relacionados à existência de um tipo de energia capaz de aquecer, resfriar ou alterar o estado físico dos corpos que a recebem ou a cedem.

Além disso, a Termologia estuda as formas pelas quais a energia térmica muda de local, propagando-se por um meio ou não. Vamos estudar o comportamento de um modelo teórico de gás perfeito e as relações entre energia térmica e o trabalho.

Sempre que estudamos os fenômenos dentro da Termologia, um parâmetro muito importante a ser considerado é a temperatura. Ela é capaz de definir o estado térmico de um sistema físico. Por isso, vamos iniciar nosso estudo pela conceituação de temperatura, as formas de medição e as escalas termométricas.

1.1 A NOÇÃO DE TEMPERATURA

É comum as pessoas usarem o tato para dizer o estado térmico de um corpo pela sensação de quente ou frio. Porém, essa sensação é não confiável, pois cada pessoa tem uma percepção de quente e frio.

Agora, vamos imaginar um balão plástico, fechado, contendo ar no seu interior. Previamente, sabemos que o ar dentro do balão é composto por várias moléculas que se movimentam em todas as direções. O que acontece se aquecermos nosso conjunto? Experimentalmente, verifica-se que o balão aumenta de tamanho. Como isso foi possível? Quem provocou esse acréscimo no volume foi o ar no interior do balão, que ao ser aquecido, empurrou as paredes elásticas, estufando o nosso balão.

Podemos explicar esse fato pela análise da energia cinética das partículas no interior do balão. Inicialmente, as moléculas possuem uma certa energia cinética. Quando aumentamos a temperatura do conjunto, fornecemos uma quantidade de energia térmica que aumenta a energia cinética das pequenas partículas. Com isso, intensifica-se os choques das moléculas com as paredes internas do balão, em consequência, o volume do balão aumenta.

Dessa forma, associamos a temperatura do ar confinado no balão à energia cinética de suas partículas. Se analisarmos sólidos e líquidos, cujas partículas não possuem muita liberdade de movimento, o aumento na temperatura provoca um aumento na agitação das moléculas em determinadas regiões.

Com isso, podemos concluir que a temperatura está relacionada com o estado de movimento ou de agitação das partículas de um corpo. De outra forma, dizemos que temperatura é a medida da energia cinética média das moléculas.

Observação: a temperatura de um sistema é uma propriedade macroscópica que determina se o sistema está ou não em equilíbrio térmico com outros sistemas.



1.2. EQUILÍBRIO TÉRMICO

Em um almoço de domingo, quando retiramos o frango assado do forno e o refrigerante da geladeira e colocamos sobre a mesa, notamos que, após um certo tempo, ambos estarão na temperatura ambiente. Dizemos que o frango esfriou e o refrigerante esquentou. Vemos nesse processo que dois corpos, sempre que possível, tendem espontaneamente para um mesmo estado térmico.

Assim, concluímos que corpos a temperatura maiores fornecem parte da energia de agitação de suas partículas para os corpos com temperatura menores. Após certo tempo, os corpos terão o mesmo estado térmico. Dizemos que os corpos atingiram o **equilíbrio térmico**.

Diante de um sistema em equilíbrio térmico, pode-se aplicar a chamada **Lei Zero da Termodinâmica**:

Dois ou mais sistemas estão em equilíbrio térmico entre si se suas temperaturas são iguais.

A lei zero permite definir as escalas termométricas.

2. TERMÔMETROS

Como se pode imaginar, não somos capazes de medir diretamente a energia de agitação das partículas de um corpo. Então, como vamos medir a temperatura? Para isso, devemos utilizar um processo indireto, utilizando um segundo corpo que sofra alterações mensuráveis em suas propriedades físicas quando atingido o equilíbrio térmico com o corpo de prova. Chamamos esse corpo de **termômetro**.

Para cada aplicação, pode ser interessante um tipo de termômetro. Por exemplo, é comum usar um termômetro de lâmina bimetálica em forma espiral, como mostrado na figura 1. Esse instrumento de medida é muito empregado em câmaras frigoríficas e fornos de padaria.

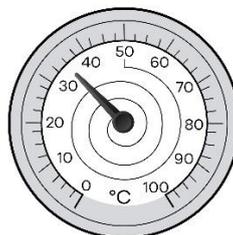


Figura 1: Termômetro de lâmina bimetálica utilizado em câmaras frigoríficas e fornos de padaria.

Para medir altas temperaturas, costuma-se utilizar o termômetro óptico ou pirômetro óptico. Ele se baseia na intensidade das radiações emitidas por um objeto muito aquecido. Normalmente, emprega-se esse aparelho em fundições e siderúrgicas. O ITA gosta de questões que analisam a influência da temperatura de um gás em diferentes pressões.

Por outro lado, para temperaturas muito baixas, é comum utilizar o termômetro a gás, a volume constante. De forma simplificada, podemos dizer que esse aparelho associa o valor da



pressão do gás a um valor de temperatura. Geralmente, utiliza-se esse instrumento em laboratório de pesquisa.

O termômetro de gás a volume constante é constituído de um reservatório *A* que contém um gás conhecido (por exemplo hidrogênio, hélio, nitrogênio etc.). Além disso, um manômetro *M*, contendo mercúrio, é utilizado para medir a pressão do gás, quando conhecida a altura *h*. Além disso, utiliza-se um reservatório que contém mercúrio, com o objetivo de manter o volume do gás constante em *A*.

Quando alteramos a temperatura, o volume de gás varia, podendo baixar ou elevar verticalmente no reservatório e o volume de gás se manterá constante. Dessa forma, para cada temperatura do gás teremos uma pressão.

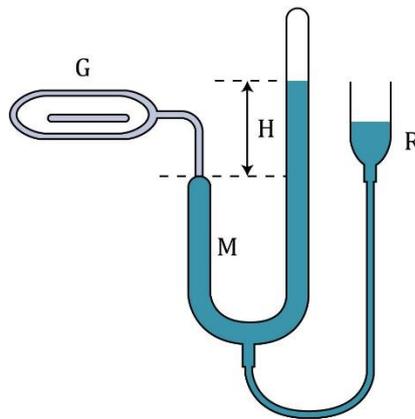


Figura 2: Esquema de um termômetro de gás a volume constante.

Um dos termômetros mais conhecido é o de mercúrio. O instrumento é constituído de uma haste graduada em certa unidade de medida, onde na parte inferior há um reservatório que armazena a **substância termométrica**. No nosso exemplo, temos que a substância é o mercúrio, mas poderia ser álcool, por exemplo.

Dentro da haste há um tubo bem estreito por onde a substância termométrica pode subir ou descer, de acordo com a temperatura a ser medida. Chamamos o valor da temperatura fornecida pela altura da coluna de **grandeza termométrica**.

Resumido:

- **Substância termométrica:** pelo menos uma de suas propriedades físicas (comprimento, volume, pressão etc.) varia de forma bem mensurável com a temperatura.
- **Grandeza termométrica:** propriedade física da substância termométrica que varia de forma determinável com a temperatura e é utilizada para medi-la.

Em um termômetro, geralmente, a grandeza termométrica varia praticamente de forma linear com a temperatura. É uma boa aproximação dizer que a grandeza termométrica (*G*) se relaciona com a temperatura (*θ*) como uma função do primeiro grau:

$$G = a\theta + B$$

Onde *a* e *b* são constantes definidas experimentalmente para o termômetro utilizado.



Chamamos essa relação entre G e θ de **equação termométrica**. Em termologia, usamos a letra θ para se referir a temperatura, pois usamos a letra T para representar outras grandezas físicas.

Da matemática, sabemos que para definir a equação de uma reta precisamos de duas informações. Assim, precisamos de valores arbitrários para a temperatura em dois estados térmicos bem definidos (pontos fixos), que possam ser realizados com facilidade. Normalmente, escolhemos como pontos fixos estados térmicos que correspondem a mudança de estado da substância pura, sob pressão normal, denominados pontos fixos fundamentais:

- 1) **Ponto do gelo:** temperatura em que gelo e água permanecem em equilíbrio térmico, sob pressão normal.
- 2) **Ponto do vapor:** temperatura em que a água entra em ebulição, sob pressão normal.

Em 1939, Francis Giauque defendeu a proposta de William Thomson, que é conhecido como Lorde Kelvin, que recomendava que as escalas termométricas usassem **um único ponto fixo**, o **ponto triplo da água** (temperatura na qual a água se apresenta em equilíbrio térmico os três estados físicos: sólido, líquido e gasoso). Para o ponto triplo temos pressão e temperatura iguais a 0,6117 kPa e 273,16 K, respectivamente. Em 1954 foi aprovada essa tese pela comunidade científica. Contudo, devido a praticidade, ainda utilizamos o ponto de gelo e o ponto de vapor como referência nas escalas termométricas.

2.1 ESCALAS RELATIVAS USUAIS

Existem duas escalas relativas muito utilizada no mundo: a escala Celsius e a escala Fahrenheit. A segunda é mais difundida nos Estados Unidos e na Inglaterra, enquanto a primeira é a escala mais utilizada no mundo.

2.4.1. ESCALA CELSIUS

Criada pelo físico sueco Anders Celsius (1701 – 1744) e oficializada em 1742 pela Real Sociedade Sueca. O curioso é que originalmente Celsius utilizou o valor 0 para o ponto de ebulição e o valor 100 para o ponto de congelamento da água. Mais tarde, o biólogo Lineu (1707 - 1778) quem inverteu essa escala, deixando-a como utilizando hoje.

Nessa escala atribuímos os valores 0 para o ponto de gelo e 100 para o ponto de vapor.

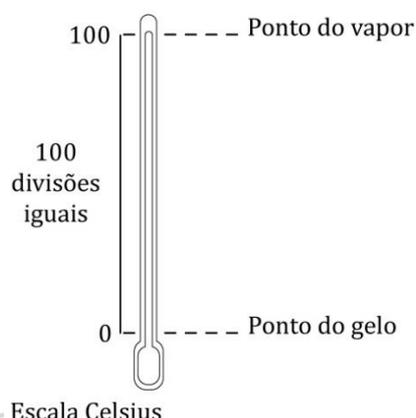


Figura 3: Representação da escala Celsius.



Na equação termométrica da escala, podemos dizer que:

$$\theta = a \cdot x + b$$

Onde x é a propriedade termométrica estuda, e a e b constantes termométricas a determinar.

Nesse caso:

- Ponto de gelo: $\theta_G = 0^\circ C \Rightarrow x_G$.
- Ponto de vapor: $\theta_V = 100^\circ C \Rightarrow x_V$.

Define-se intervalo fundamental o intervalo entre dois pontos fixos. Na escala Celsius, divide-se o intervalo fundamental em cem partes iguais. Dizemos que cada parte constitui a unidade da escala e chamamos essas subpartes de grau Celsius. Assim, um grau Celsius corresponde a um centésimo do intervalo fundamental.

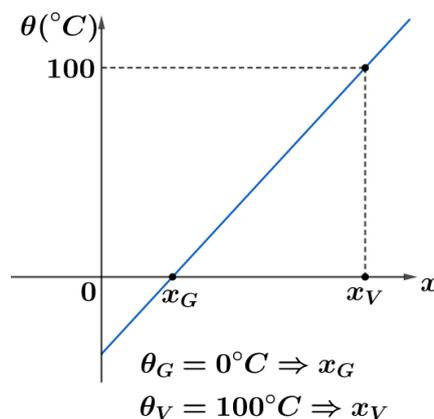


Figura 4: Gráfico da temperatura em Celsius em função do comprimento.

2.4.2. ESCALA FAHRENHEIT

Essa escala foi criada em 1708 pelo físico holandês Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 – 1736), baseada nas ideias do astrônomo dinamarquês Ole Romer (1644 – 1710), que estabeleceu os pontos de referência de uma nova escala. Para o ponto 0, Daniel utilizou a temperatura de uma mistura de gelo e cloreto de amônia e, para o ponto 100, a temperatura do corpo humano.

Posteriormente, passaram a utilizar a água como referência e observaram que a sua escala indicava 32 para o ponto de gelo e 212 para o ponto de vapor:

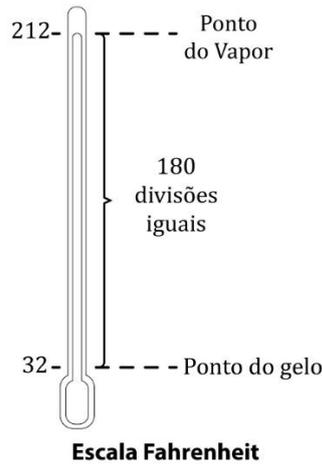


Figura 5: Esquema representativo da escala Fahrenheit.

Nessa escala, o intervalo fundamental é dividido em 180 partes iguais, onde cada uma delas constituem o grau Fahrenheit ($^{\circ}F$).

Nesse caso:

- Ponto de gelo: $\theta_G = 32^{\circ}C \Rightarrow x_G$.
- Ponto de vapor: $\theta_V = 212^{\circ}C \Rightarrow x_V$.

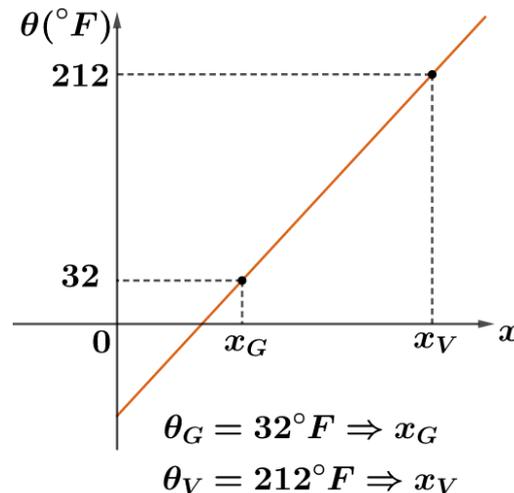


Figura 6: Gráfico da temperatura em Fahrenheit em função do comprimento.

2.4.3. RELAÇÃO ENTRE AS ESCALAS RELATIVAS

Sempre podemos criar uma relação entre duas escalas termométricas quaisquer. Quando visitamos os Estados Unidos e vemos um termômetro na rua, a primeira pergunta que surge é: que valor na escala Celsius corresponde $86^{\circ}F$?

Para responder a essa pergunta, devemos estabelecer uma relação de correspondência entre as duas escalas. Nesse sentido, vamos utilizar dois termômetros idênticos de mercúrio, sendo um graduado em Celsius e outro em Fahrenheit. Quando colocamos um corpo em contato com os dois corpos, observamos as mesmas alturas de mercúrios, mas assinalando diferentes marcações em cada mercúrio (θ_C e θ_F):

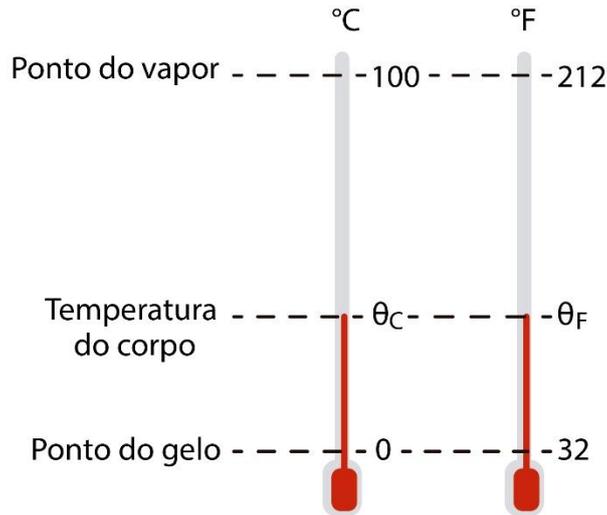


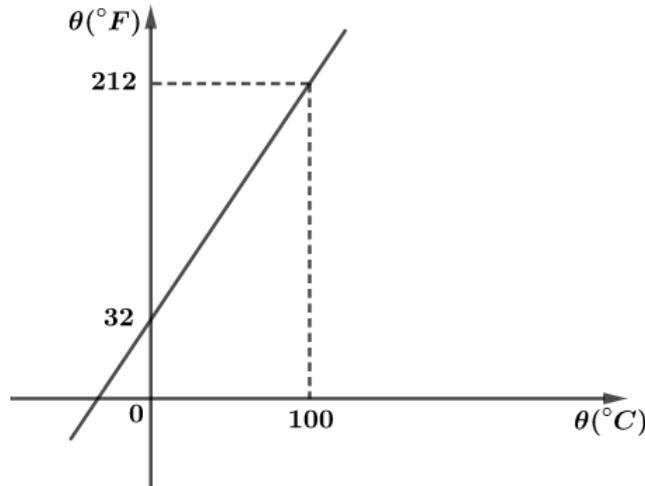
Figura 7: Relação entre as escalas relativas Celsius e Fahrenheit.

Note que os intervalos de temperaturas correspondentes são proporcionais, isto é:

$$\frac{\theta_C - 0}{\theta_F - 32} = \frac{100 - 0}{212 - 32}$$

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

Graficamente, as escalas se relacionam da seguinte forma:



2.4.4. A RELAÇÃO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA NAS ESCALAS RELATIVAS USUAIS

Se tomarmos duas temperaturas quaisquer em graus Celsius, θ_{C1} e θ_{C2} , temos seus respectivos valores em Fahrenheit, de acordo com a relação:

$$\frac{\theta_{C1}}{5} = \frac{\theta_{F1} - 32}{9}$$

$$\frac{\theta_{C2}}{5} = \frac{\theta_{F2} - 32}{9}$$

Fazendo a segunda menos a primeira, temos que:



$$\frac{\theta_{C2}}{5} - \frac{\theta_{C1}}{5} = \frac{\theta_{F2} - 32}{9} - \left(\frac{\theta_{F1} - 32}{9} \right)$$

$$\frac{\theta_{C2} - \theta_{C1}}{5} = \frac{\theta_{F2} - \theta_{F1}}{9}$$

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

Tal resultado poderia ser facilmente obtido também observado a proporção nas escalas termométricas:

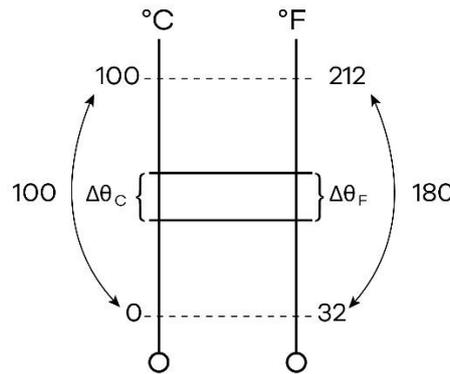


Figura 8: Relação entre as variações de temperaturas entre as escalas Celsius e Fahrenheit.

$$\frac{\Delta\theta_C}{100} = \frac{\Delta\theta_F}{180}$$

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

2.2 O ZERO ABSOLUTO E A ESCALA ABSOLUTA

Como vimos anteriormente, quando aquecemos um sistema físico qualquer, o estado de agitação das partículas aumenta também. Por outro lado, se esfriarmos nosso sistema, o estado de agitação das partículas também diminui. Mas o que aconteceria se começássemos a diminuir a temperatura cada vez mais?

O resultado seria que o estado de agitação das moléculas tenderia a diminuir cada vez mais, até uma temperatura mínima, chamada de **zero absoluto**. Nessa temperatura, temos a **energia fundamental (energia mínima)** da molécula. Não há energia cinética de translação, mas ainda tem energia potencial de vibração e energia potencial de rotação.

Zero absoluto é o limite inferior da temperatura de um dado sistema. É a temperatura na qual temos o menor estado de agitação das partículas possível, ou seja, praticamente nulo.

Em 1848, o físico inglês William Thomson (1824 – 1907), mais conhecido como Lorde Kelvin, verificou experimentalmente a variação da pressão de um gás a volume constante.



Fazendo uma extrapolação do seu resultado, ele pode concluir que a menor temperatura que aquele gás poderia atingir coincidia com a anulação da pressão.

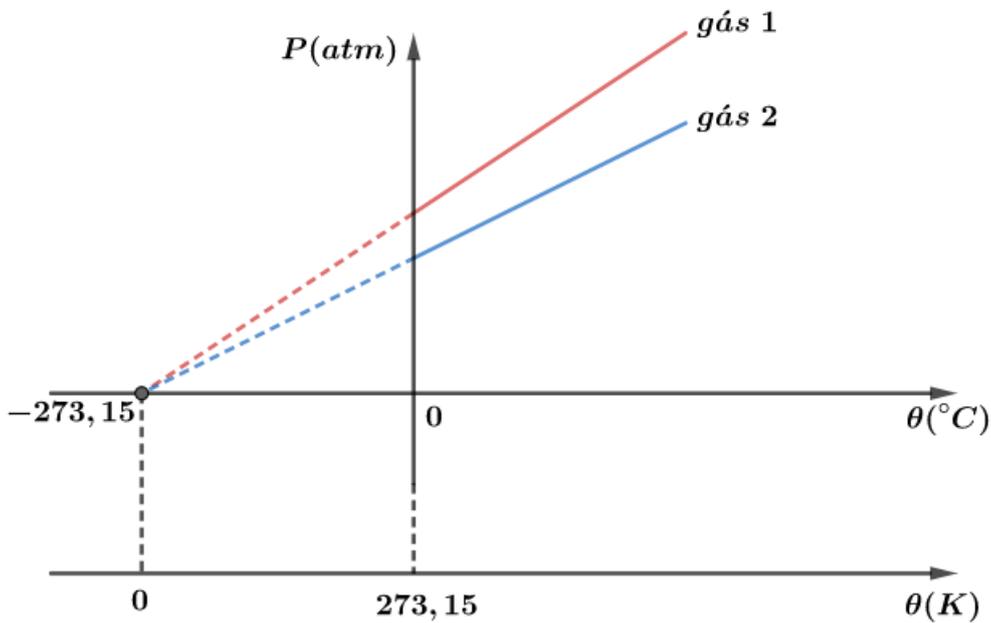


Figura 9: Gráfico da pressão pela temperatura de um gás, extrapolando para o zero absoluto.

Assim, foi definido como zero absoluto o estado térmico correspondente a temperatura de aproximadamente $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (normalmente adota-se $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ para facilitar os cálculos).

Essa escala tem origem no zero absoluto e utiliza o grau Celsius como unidade de variação. O símbolo utilizado na unidade é o K .

Dessa forma, a equação que define a conversão entre as escalas Kelvin e Celsius é dada por:

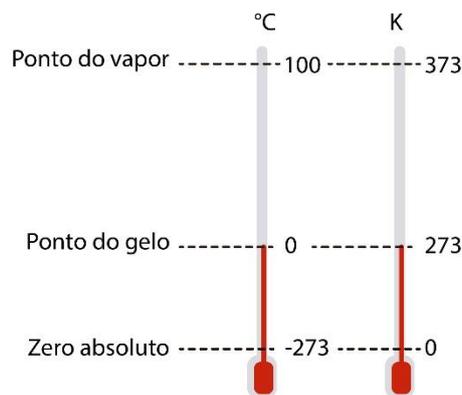


Figura 10: Relação das escalas Celsius e Kelvin

$$\theta(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Ou

$$\theta(^{\circ}\text{C}) = \theta(K) - 273,15$$

Note que:

$$\Delta\theta(K) = \Delta\theta(^{\circ}\text{C})$$



Observação: a partir de 1967, convencionou-se não utilizar a palavra grau para a escala Kelvin. Dessa forma, lemos 50 K como 50 Kelvins e não 50 graus Kelvin.

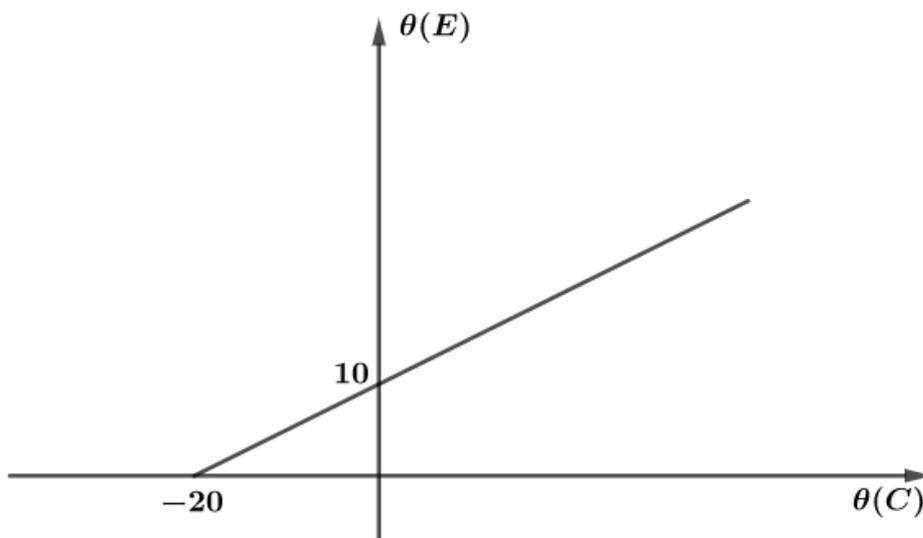
Além disso, devemos ter em mente sempre que a escala absoluta é definida tendo como ponto fixo o ponto triplo da água, onde a pressão é de 4,58 mmHg e a temperatura 0,01 °C.

Mais para frente, voltaremos a estudar o termômetro a gás, ampliando nossos conhecimentos sobre a escala absoluta.



Exemplo 1:

Um estudante construiu uma escala de temperatura E cuja relação com a escala Celsius é expressa no gráfico representado a seguir:



Qual a temperatura cujas leituras coincidem numericamente nessas duas escalas?

Comentários:

De acordo com o gráfico, temos que encontrar a relação da reta que relaciona $\theta(C)$ e $\theta(E)$. Na matemática, aprendemos que:

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$

Onde m é o coeficiente angular, dado por:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$m = \frac{10 - 0}{0 - (-20)} = \frac{1}{2}$$

Logo, escolhendo um ponto bem determinado, por exemplo (0,10), temos:

$$y - 10 = \frac{1}{2}(x - 0)$$

$$y = \frac{1}{2}x + 10$$



Ou seja:

$$\theta(E) = \frac{1}{2}\theta(C) + 10$$

Queremos que as leituras coincidam nas duas escalas, isto é, $\theta(C) = \theta(E)$, então:

$$\begin{cases} \theta(E) = \frac{1}{2}\theta(C) + 10 \\ \theta(C) = \theta(E) \end{cases} \Rightarrow \theta(C) = \frac{1}{2}\theta(C) + 10 \Rightarrow \theta(C) = 20\text{ }^\circ\text{C} = \theta(E)$$

2.3 Conversão entre escalas termométricas

Como visto nos exemplos acima, a conversão entre as escalas termométricas é extremamente simples. Dissemos que essa razão é constante para todas as escalas que utilizam os mesmos pontos fixos fundamentais. Todas as escalas enunciadas acima utilizam o ponto de vapor e o ponto de gelo da água como pontos fixos. Dessa forma, todas as razões de escala são iguais. Portanto, podemos igualar todas elas:

$$R. E. \text{ Celsius} = R. E. \text{ Kelvin} = R. E. \text{ Réaumur} = R. E. \text{ Fahrenheit} = R. E. \text{ Estratégia}$$

$$\frac{^\circ\text{C}}{100} = \frac{T_K - 273}{100} = \frac{^\circ\text{R}}{80} = \frac{^\circ\text{F} - 32}{180} = \frac{^\circ\text{E} - T_G}{T_V - T_G}$$

Simple, não?! 😊

Exemplo 2: Tentando fazer uma escala politicamente correta um físico propõe a escala P, cuja temperatura indicada em qualquer estado térmico é a média aritmética entre os valores lidos na escala Celsius e na Fahrenheit. Sobre a escala P proposta, é correto afirmar:

- Não é de fato, pois não foram definidos os pontos fixos.
- Para uma variação de $20\text{ }^\circ\text{C}$, teremos uma variação de $28\text{ }^\circ\text{P}$.
- Sempre apresentará valores maiores que os lidos na escala Celsius.
- O ponto do gelo da escala P é $-10\text{ }^\circ\text{C}$.
- O ponto do vapor na escala P é $166\text{ }^\circ\text{P}$.

Comentários:

Primeiramente, iremos igualar todas as razões de escala fornecidas no enunciado. Vamos supor que a temperatura do ponto de gelo seja T_G e a do ponto de vapor seja T_V

$$\frac{^\circ\text{C}}{100} = \frac{^\circ\text{F} - 32}{180} = \frac{P - T_G}{T_V - T_G}$$

A relação entre a escala Celsius e a escala Fahrenheit é dada por:

$$\frac{^\circ\text{C}}{100} = \frac{^\circ\text{F} - 32}{180}$$



$$^{\circ}F = \frac{9}{5} \cdot ^{\circ}C + 32 \quad eq1$$

Do enunciado, podemos fazer a seguinte igualdade:

$$P = \frac{^{\circ}C + ^{\circ}F}{2}$$

Substituindo a equação 1:

$$P = \frac{^{\circ}C + \left(\frac{9}{5} \cdot ^{\circ}C + 32\right)}{2}$$

$$P = \frac{7}{5} \cdot ^{\circ}C + 16$$

Agora, vamos analisar as alternativas:

a) Falso. Os pontos fixos estão ocultos, isto é, estão embutidos na expressão dada por ele no enunciado. Note que pela expressão acima, que vincula graus P com graus Celsius, conseguimos encontrar os pontos fixos, fazendo $^{\circ}C = 0$ e $^{\circ}C = 100$.

b) Verdadeira.

$$P_1 = \frac{7}{5} \cdot ^{\circ}C_1 + 16$$

$$P_2 = \frac{7}{5} \cdot ^{\circ}C_2 + 16$$

Fazendo $P_1 - P_2$, temos:

$$P_1 - P_2 = \frac{7}{5} \cdot (^{\circ}C_1 - ^{\circ}C_2) + 16 - 16$$

$$\Delta P = \frac{7}{5} \cdot \Delta ^{\circ}C$$

Para $\Delta ^{\circ}C = 20$:

$$\Delta P = \frac{7}{5} \cdot 20 = 28$$

c) Falso. Os valores são sempre maiores na escala P.

d) Falso. O ponto de gelo é encontrado fazendo $^{\circ}C = 0$:

$$P(\text{fusão}) = \frac{7}{5} \cdot 0 + 16 = 16$$

e) Falso. O ponto de gelo é encontrado fazendo $^{\circ}C = 100$:

$$P(\text{ebulição}) = \frac{7}{5} \cdot 100 + 16 = 156$$

Exemplo 3: É dado um termômetro X tal que $60^{\circ}X$ correspondem a $100^{\circ}C$; $20^{\circ}X$ correspondem a $20^{\circ}C$; $0^{\circ}X$ correspondem a $0^{\circ}C$. As leituras Celsius variam conforme trinômio de segundo grau nas leituras X. Deduza a equação que dá as leituras Celsius em função de leituras X:

Comentários:

O enunciado nos diz que a representação em graus Celsius pela escala X é uma trinômio do segundo grau.

$$C(x) = ax^2 + bx + c$$

Sabemos que:



$$C(60) = a60^2 + b \cdot 60 + c = 100$$

$$C(20) = a \cdot 20^2 + b \cdot 20 + c = 20$$

$$C(0) = a \cdot 0^2 + b \cdot 0 + c = 0$$

Chegamos em $c = 0$; $a = \frac{1}{60}$; $b = \frac{2}{3}$

$$C(x) = \frac{1}{60} \cdot x^2 + \frac{2}{3}x$$

3. DILATOMETRIA – DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS

É o ramo da Física que estuda a dilatação dos corpos. Experimentalmente, verifica-se que ao variar a temperatura, as dimensões dos corpos também variam. Inicialmente, vamos estudar a dilatação térmica dos sólidos que podem ser divididos em sólidos isotrópicos e anisotrópicos.

Dizemos que um sólido é isotrópico quando suas propriedades físicas em torno de qualquer ponto independem da direção observada. De outra forma, quando variamos a temperatura de um corpo isotrópico, a dilatação será a mesma em todas as direções. Por outro lado, se o corpo não é isotrópico, ele recebe o nome de anisotrópico. Geralmente, os cristais são corpos anisotrópicos.

Diariamente, os efeitos da dilatação são levados em consideração nos projetos de engenharia. Desde construção de ferrovias a cimentação de uma calçada, consideramos o fato de que os sólidos ao dilatarem podem ou não afetar nossas estruturas físicas.

A análise da dilatação térmica é experimental. Normalmente, a dilatação é dividida em três tipos, dependendo das condições do problema. Para problemas em uma única dimensão, utilizamos a dilatação linear, para problemas em duas dimensões, temos a dilatação superficial e, para problemas em três dimensões, a dilatação volumétrica ou cúbica. Claro que ao aquecer um corpo físico que possui três dimensões, pode ocorrer da dilatação ser desprezível em alguma das dimensões e o problema ser tratado como dilatação superficial ou até mesmo dilatação linear, tudo depende do problema.



3.1 DILATAÇÃO LINEAR DOS SÓLIDOS

Experimentalmente, verifica-se que a variação do tamanho de uma barra (ΔL) depende do seu comprimento inicial (L_i) e da variação de temperatura que ela sofre ($\Delta\theta$).

Vamos considerar duas barras de mesmo material, mas comprimentos iniciais diferentes (L_{i_1}) e L_{i_2} . Ambas estão à mesma temperatura inicial e sofrerão a mesma variação de temperatura ($\Delta\theta$). Assim, verifica-se experimentalmente que a barra maior dilata mais, ou seja, se $L_{i_2} > L_{i_1}$, então $\Delta L_2 > \Delta L_1$.

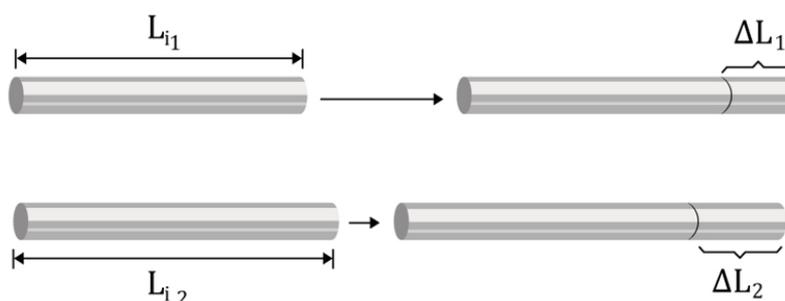


Figura 11: Sendo $L_{i_2} > L_{i_1}$, $\Delta L_2 > \Delta L_1$ para o mesmo $\Delta\theta$.

Quando analisamos a dilatação para variações de temperatura não tão grandes, é possível notar que ΔL_i é diretamente proporcional ao tamanho inicial L_i . Atribuindo a constante e proporcionalidade de K_i , temos:

$$\frac{\Delta L}{L_i} = K_L$$

Observação: chamamos $\Delta L/L$ de deformação relativa.

Agora, considere duas barras de mesmo tamanho inicial, e mesma temperatura inicial. Se ambas as barras sofrerem variações de temperaturas diferentes, com $\Delta\theta_2 > \Delta\theta_1$, então $\Delta L_2 > \Delta L_1$. Dentro de certas restrições, verificamos que a variação no comprimento é diretamente proporcional a variação de temperatura, ou seja:

$$\frac{\Delta L}{\Delta\theta} = K_\theta$$

Com isso, verificamos que a variação de comprimento de uma barra é diretamente proporcional ao comprimento inicial e a variação de temperatura sofrida pelo corpo. Assim, podemos definir a constante de proporcionalidade (α), denominada coeficiente de dilatação linear do material. Dessa forma, podemos escrever que:

$$\boxed{\Delta L = \alpha \cdot L_i \cdot \Delta\theta}$$

Ou ainda:

$$\alpha = \frac{\left(\frac{\Delta L}{L_i}\right)}{\Delta\theta}$$

A rigor, o valor de α depende da temperatura inicial do intervalo térmico considerado. Desse modo, o α_1 para uma variação de 10 °C é diferente se ela ocorre de 5°C para 15°C ou se ocorre de



250 °C para 260°C. Entretanto, desde que o intervalo não seja muito amplo, consideraremos que o coeficiente de dilatação linear seja constante naquele intervalo, como é feito pelos vestibulares.

Algumas considerações sobre o coeficiente α :

1. Sua unidade é o inverso do grau correspondente à escala empregada no problema, ou seja, se a variação da temperatura sofrida pela barra estiver em Fahrenheit, o α é expresso na unidade com $^{\circ}F^{-1}$.
2. Geralmente, os coeficientes de dilatação linear são da ordem de 10^{-6} . Assim, nas considerações teóricas, não levamos em consideração fatores do tipo α^n , quando $n \geq 2$. Esse erro é considerado praticamente nulo, não afetando nossos cálculos práticos.

Diante disso, podemos expressar o comprimento final da barra da seguinte forma:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_i \cdot \Delta \theta$$

$$L - L_i = \alpha \cdot L_i \cdot \Delta \theta$$

$$\boxed{L = L_i(1 + \alpha \cdot \Delta \theta)}$$

Denominamos $(1 + \alpha \cdot \Delta \theta)$ binômio de dilatação linear.

Se fizermos um gráfico do comprimento em função da temperatura, teremos que:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_i \cdot \Delta \theta$$

$$L - L_i = \alpha \cdot L_i \cdot (\theta - \theta_i)$$

$$L = (\alpha \cdot L_i)\theta + (L_i - \alpha \cdot L_i \cdot \theta_i)$$

Note que se trata de uma reta com coeficiente angular $\alpha \cdot L_i$ e coeficiente linear $L_i - \alpha \cdot L_i \cdot \theta_i$. Assim, o gráfico é dado por:

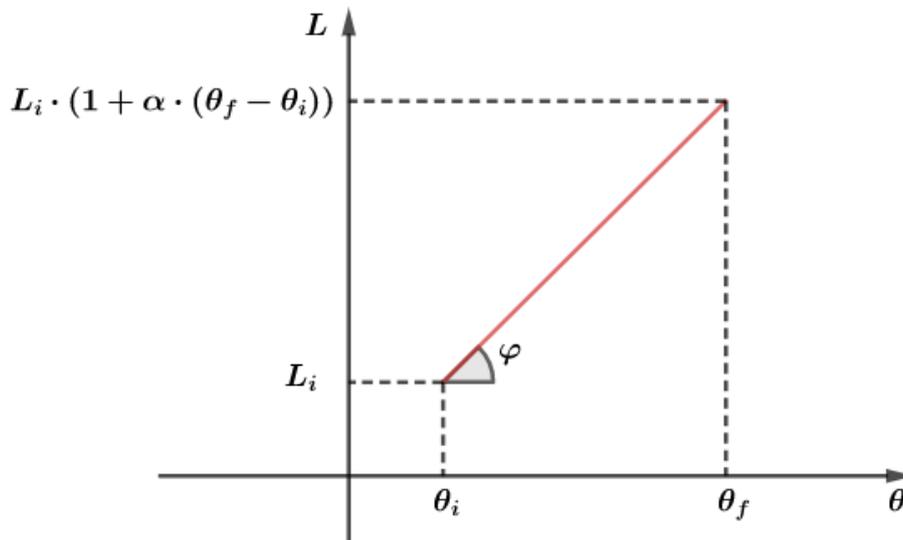


Figura 12: Gráfico do comprimento variando com a temperatura.

Onde verificamos que:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta L}{\Delta \theta} = \alpha \cdot L_i$$



Vamos fazer uma abordagem não tão comum sobre a dilatação térmica. Vamos definir que o coeficiente de dilatação seja dado por:

$$\alpha = \frac{\Delta L/L}{\Delta \theta}$$

Se tomarmos pequenos intervalos de temperatura, então teremos pequenas variações de comprimento. Tomando o limite quando $\Delta \theta$ tende a zero, temos que:

$$\alpha = \lim_{\Delta \theta \rightarrow 0} \frac{\Delta L/L}{\Delta \theta} = \frac{1}{L} \frac{dL}{d\theta}$$

$$\alpha = \frac{1}{L} \frac{dL}{d\theta}$$

$$\alpha d\theta = \frac{1}{L} dL$$

Se considerarmos o intervalo de temperatura tão pequeno que o α pode ser considerado constante, teríamos que:

$$\int_{\theta_i}^{\theta_f} \alpha d\theta = \int_{L_i}^{L_f} \frac{1}{L} dL$$

$$\alpha(\theta_f - \theta_i) = \ln L_f - \ln L_i$$

$$\alpha \cdot \Delta \theta = \ln \frac{L_f}{L_i}$$

$$\boxed{L_f = L_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta \theta}}$$

Dado que α é bem pequeno, ao fazermos o gráfico de $L \times \theta$ vemos que é praticamente uma reta. Então, fazer a aproximação para uma reta produz um erro muito pequeno.

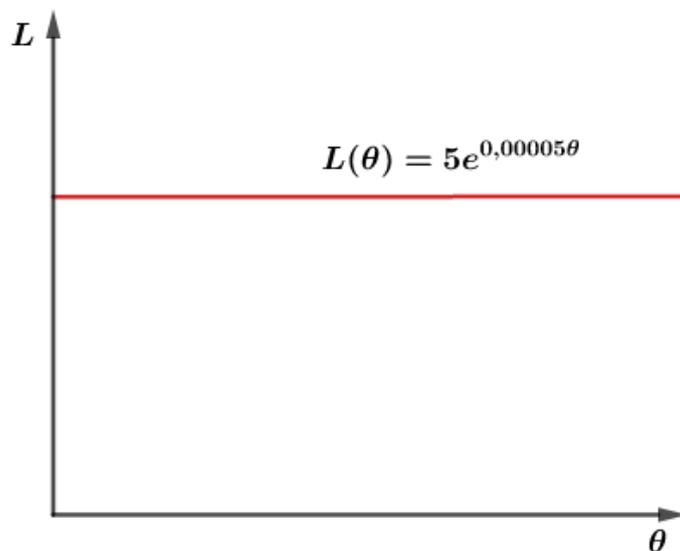


Figura 13: Gráfico do comprimento em função da temperatura para dilatação exponencial.



Se usarmos aproximação de Taylor (assunto que verá no seu primeiro ano da faculdade), podemos truncar da seguinte forma:

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0) \frac{(x - x_0)^1}{1!} + f''(x_0) \frac{(x - x_0)^2}{2!} + \dots$$

Considerando $L(\theta) = L_i e^{\alpha \cdot \theta}$, com isso, $L'(\theta) = L_i \cdot \alpha \cdot e^{\alpha \cdot \theta}$ e que $x_0 = \theta_i$, então temos que:

$$L(\theta) = L(\theta_i) + L'(\theta_i) \frac{(\theta - \theta_i)^1}{1!} + L''(\theta_i) \frac{(\theta - \theta_i)^2}{2!} + \dots$$

Como α é muito pequeno, podemos dizer termos a partir de $L''(\theta_i)$ são desprezíveis (chamamos de aproximação de primeira ordem), portanto:

$$L(\theta) \cong L_i + \alpha \cdot L_i \frac{(\theta - \theta_i)}{1}$$

$$\boxed{L(\theta) = L_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta\theta} \cong L_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)}$$

Além disso, se α varia com a temperatura, podemos calcular o coeficiente quando fazemos uma aproximação da seguinte forma:

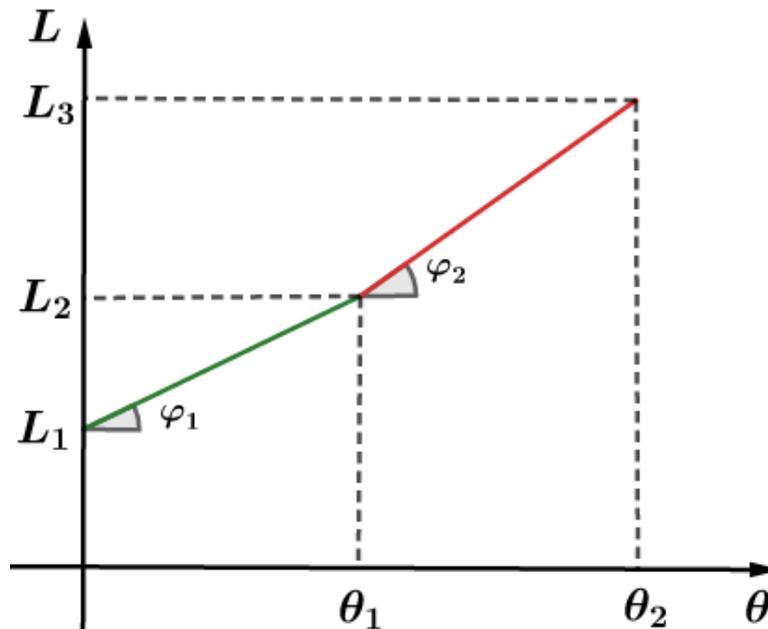


Figura 14: Gráfico do comprimento em função da temperatura para coeficiente de dilatação linear variando com a temperatura.

Podemos escrever a dilatação linear em cada trecho e considerar que $\varphi_1 \cong \varphi_2$, então:

$$\text{coef angular 1} = \text{coef angular 2}$$

$$\text{tg}(\varphi_1) = \text{tg}(\varphi_2)$$

$$L_1 \alpha_1 = L_2 \alpha_2$$

Mas, $L_2 = L_1(1 + \alpha_1 \Delta\theta)$, então:

$$L_1 \alpha_1 = L_1(1 + \alpha_1 \Delta\theta) \cdot \alpha_2$$

$$\boxed{\alpha_2 = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta}}$$

Dado que α_1 é muito pequeno, então $\alpha_1 \cdot \Delta\theta \ll 1$, logo:



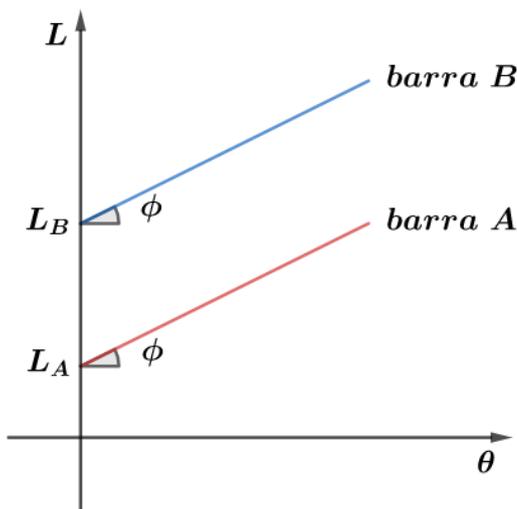
$$1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta \cong 1$$

$$\alpha_1 \cong \alpha_2$$



Exemplo 4:

Considere o gráfico que representa a variação dos comprimentos das barras A e B, em função da temperatura. Qual das barras possuem o maior coeficiente de dilatação linear?



Comentários:

Notamos que as duas barras possuem o mesmo coeficiente angular, ou seja:

$$\alpha_A \cdot L_A = \alpha_B \cdot L_B$$

Pela construção do gráfico, o comprimento inicial da barra B é maior que o comprimento inicial da barra A, isto é, $L_B > L_A$. Portanto:

$$L_B > L_A$$

$$\frac{L_B}{L_A} > 1$$

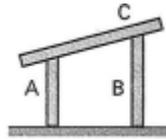
$$\alpha_B \left(\frac{L_B}{L_A} \right) > \alpha_B$$

Mas, $\alpha_A = \frac{L_B}{L_A} \alpha_B$, logo:

$$\boxed{\alpha_A > \alpha_B}$$

Exemplo 5: (FEI – SP – modificada)

As barras A e B da figura têm, respectivamente, L_{A_0} e L_{B_0} a θ_0 . Se os coeficientes são α_A e α_B , qual deve ser a variação de temperatura para que a barra C fique na posição horizontal?



Comentários:

No momento em que a barra C estiver na horizontal, os comprimentos finais das barras A e B serão iguais, portanto:

$$L_A = L_B$$

$$L_{A_0}(1 + \alpha_A \cdot \Delta\theta) = L_{B_0}(1 + \alpha_B \cdot \Delta\theta)$$

$$\Delta\theta = \frac{L_{A_0} - L_{B_0}}{L_{B_0} \cdot \alpha_B - L_{A_0} \cdot \alpha_A}$$

Exemplo 6:

Duas barras A e B, de coeficientes de dilatação linear α_A e α_B e comprimentos L_A e L_B , são emendados de modo a constituir uma única barra de comprimento $(L_A + L_B)$. Qual é o coeficiente de dilatação linear dessa nova barra?

Comentários:

Lembrando que o coeficiente de dilatação linear é dado por:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \Delta\theta}$$

Quando aquecemos o sistema de $\Delta\theta$, temos:

$$\Delta L_A = L_{A_i} \cdot \alpha_A \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta L_B = L_{B_i} \cdot \alpha_B \cdot \Delta\theta$$

Onde a deformação da nova barra é a soma das deformações:

$$\Delta L = \Delta L_A + \Delta L_B$$

Então:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \Delta\theta} = \frac{\Delta L_A + \Delta L_B}{(L_{A_i} + L_{B_i}) \Delta\theta} = \frac{L_{A_i} \cdot \alpha_A \cdot \Delta\theta + L_{B_i} \cdot \alpha_B \cdot \Delta\theta}{(L_{A_i} + L_{B_i}) \Delta\theta}$$

$$\alpha = \frac{L_{A_i} \cdot \alpha_A + L_{B_i} \cdot \alpha_B}{L_{A_i} + L_{B_i}}$$

A partir desse resultado, concluímos que o coeficiente de dilatação linear da nova barra será a média aritmética ponderada dos coeficientes já existentes, tendo como pesos os respectivos comprimentos iniciais.

Exemplo 7:

O fio de um pêndulo simples possui coeficiente de dilatação igual a $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Quando o pêndulo está a $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ o período de oscilação é de 4 segundos. Calcule o período de oscilação quando o pêndulo estiver a $50 \text{ } ^\circ\text{C}$. Caso necessário utilize $(1 + x)^n \approx 1 + nx$, se $x \ll 1$.

Comentários:



O período de um pêndulo simples é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Onde L é o comprimento do fio e g é a aceleração da gravidade local.

Dessa forma, temos dois períodos, já que a $10\text{ }^\circ\text{C}$ temos um comprimento inicial do fio e a $50\text{ }^\circ\text{C}$ o fio sofreu uma dilatação térmica.

Assim, podemos escrever que:

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{L_i}{g}} \text{ e } T_f = 2\pi \sqrt{\frac{L_f}{g}}$$

Pela lei da dilatação linear, o comprimento do fio a $50\text{ }^\circ\text{C}$ pode ser expresso por:

$$L_f = L_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Fazendo uma relação dos dois períodos, vem:

$$\frac{T_f}{T_i} = \frac{2\pi \sqrt{\frac{L_f}{g}}}{2\pi \sqrt{\frac{L_i}{g}}}$$

$$\frac{T_f}{T_i} = \frac{\sqrt{L_f}}{\sqrt{L_i}}$$

$$\frac{T_f}{T_i} = \sqrt{\frac{L_f}{L_i}}$$

$$\frac{T_f}{T_i} = \sqrt{\frac{L_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)}{L_i}}$$

$$\frac{T_f}{T_i} = \sqrt{1 + \alpha \cdot \Delta\theta}$$

Como $\alpha \cdot \Delta\theta$ é muito pequeno, podemos utilizar a aproximação:

$$\frac{T_f}{T_i} = (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^{\frac{1}{2}}$$

$$\boxed{\frac{T_f}{T_i} \cong 1 + \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \Delta\theta}$$

Substituindo valores, encontramos que:

$$\frac{T_f}{4} = 1 + \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 40$$

$$T_f = 4 + 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 40$$

$$\boxed{T_f = 4,00008 \text{ s}}$$



Perceba que a diferença no período é muito pequena (0,00008 s). Em relógios antigos, onde se usava pêndulos para seu funcionamento, quando aquecia o conjunto com uma certa amplitude de temperatura, verificava-se um atraso no seu funcionamento, pois o período aumentava.

Exemplo 8:

Ao medir o comprimento de uma barra de ferro a θ_f , com uma régua de cobre, obteve-se a leitura de L . A régua foi graduada na temperatura θ_0 , determine o comprimento real da barra.

Comentários:

Note que o valor L obtido, não levou em consideração o fato que o instrumento de medida, no caso a barra de cobre, também dilatou. Se a unidade de graduação da barra de cobre era u_0 a θ_0 , então, a θ_f , a unidade de graduação passou a ser:

$$u_f = u_0(1 + \alpha_{cu}\Delta\theta)$$

Assim, notamos que o comprimento da barra medida é o comprimento da barra real vezes a nova unidade de graduação:

$$L_{real} = L_{medido} \cdot u_f$$

$$L_{real} = L \cdot u_0 \cdot (1 + \alpha_{cu}\Delta\theta)$$

Exemplo 9: Marque nas opções abaixo qual grandeza não interfere na dilatação dos sólidos:

- a) Natureza do material
- b) Comprimento inicial do sólido
- c) Variação de temperatura sofrida pelo sólido
- d) Tempo em que o sólido fica exposto à fonte de calor.

Comentário:

A dilatação térmica não depende do tempo exposto ao calor. O tempo não é contabilizado e não faz nenhuma diferença para o fenômeno de distanciamento das partículas.





3.2 TENSÃO TÉRMICA

Quando as extremidades de uma barra são fixas, ao aquecer nosso corpo surgirão **tensões térmicas**, pois há um impedimento de dilatação. Tais tensões podem ser muito intensas e chega a atingir o limite de elasticidade do material ou até mesmo o limite de ruptura da barra.

As forças que surgem podem ser consideradas, dentro de um intervalo considerável, como diretamente proporcional a dilatação, como na Lei de Hooke:

$$F = k \cdot \Delta x$$

Se considerarmos uma barra de comprimento L , presa entre duas paredes indeformáveis e que não se deslocam:

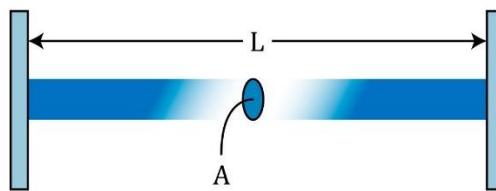


Figura 15: Barra fixada nas duas extremidades.

Ao aquecer a barra, ela não consegue se dilatar, já que está presa nas extremidades. Assim, forças de tensão internas podem encurvar a barra. Se admitirmos que a barra não se curve e caso ela estivesse livre, teríamos uma deformação ΔL da barra. Com isso, sabemos que:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Define-se módulo de Young como sendo:

$$Y = \frac{\text{Tensão}}{\text{Deformação relativa}}$$

Onde a unidade de Y é N/m^2 . É comum representar o módulo de Young pela letra E .

Dessa forma, temos que:

$$Y = \frac{\text{Tensão}}{\text{Deformação relativa}} = \frac{F}{\frac{\Delta L}{L}}$$

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L}$$

$$\boxed{\frac{F}{A} = Y \cdot \alpha \cdot \Delta \theta} \text{ ou } \boxed{F = Y \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta \theta}$$

Com esse resultado, podemos ver que um fenômeno mecânico produzido em consequência da ação térmica tem como efeito opor-se ao fenômeno térmico.



Exemplo 10:

Um fio de aço de secção transversal $A = 1,0 \text{ mm}^2$, com coeficiente de dilatação linear $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e módulo de elasticidade $E = 2,2 \cdot 10^7 \text{ N/cm}^2$, sustenta na vertical um corpo de peso P . O fio experimenta uma variação de temperatura $\Delta\theta = -20 \text{ }^\circ\text{C}$. Qual o acréscimo que se deve dar ao peso P de forma que o comprimento do fio não se altere?

Comentários:

Dado que a força para não variar a dimensão do fio é expressa por:

$$F = E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Substituindo os valores e adequando as unidades, vem:

$$F = 2,2 \cdot 10^7 \cdot 1,0 \cdot 10^{-2} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot |-20|$$

$$F = 52,8 \text{ N}$$

3.3 A LÂMINA BIMETÁLICA

Denominamos lâmina bimetálica o conjunto formado por duas tiras metálicas, com coeficientes de dilatação diferentes, soldadas ou rebatadas entre si.

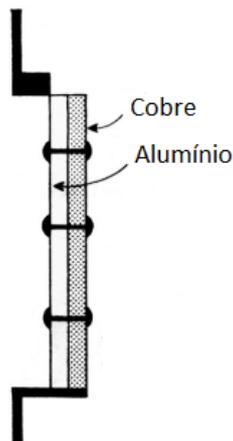


Figura 16: Lâmina bimetálica sem sofrer aquecimento.

Devido ao fato da lâmina bimetálica ser constituída de dois materiais com coeficientes de dilatação térmica diferentes, ao aquecer o conjunto uma das barras possuirá uma maior variação no seu comprimento. No nosso caso, temos que $\alpha_{\text{alumínio}} = 24 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $\alpha_{\text{cobre}} = 16 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Dessa forma, o alumínio ocupa a face convexa, já que sofre maior variação no seu comprimento.



Devido ao fato de as lâminas metálicas estarem rigidamente unidas, ao aquecer surgem forças de tensões internas que curvarão o conjunto para o lado da chapa menor. Um exemplo de aplicação é no chaveamento elétrico, onde ao passar uma corrente elétrica no conjunto, devido ao efeito Joule, haverá um aquecimento das tiras e o encurvamento das lâminas:

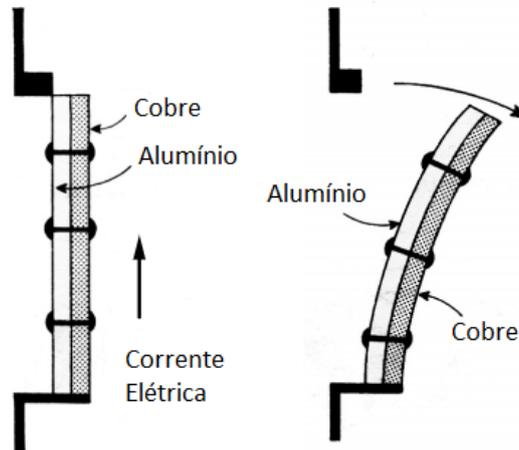


Figura 17: Lâmina bimetálica sofrendo aquecimento.

Esse sistema é muito utilizado em circuitos elétricos com objetivo de fazer chaveamento, sem a necessidade de um operador humano. Após certo tempo, o conjunto se resfria e se contrai. Ao voltar ao comprimento inicial, a lâmina fecha o circuito e, assim, volta a ter corrente elétrica no circuito, como no exemplo abaixo:

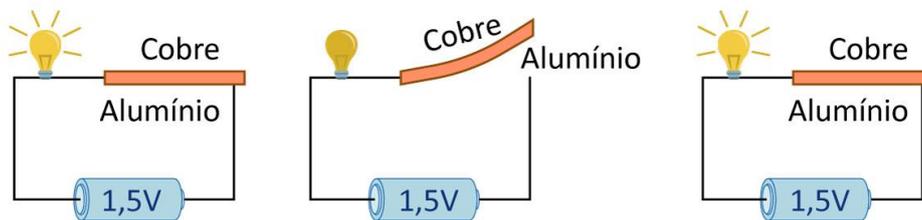
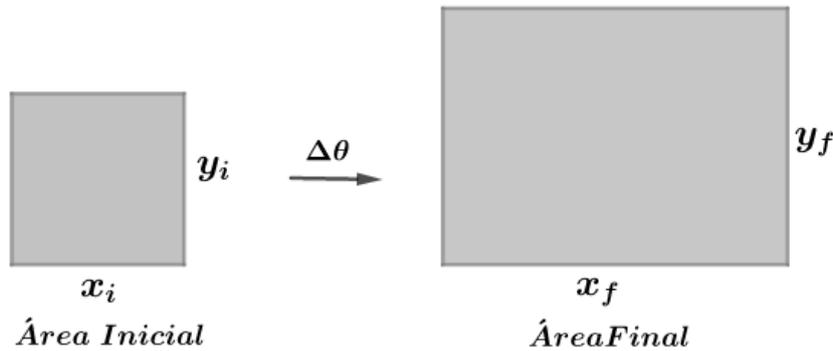


Figura 18: Lâmina bimetálica fazendo chaveamento do circuito.

3.4 DILATAÇÃO SUPERFICIAL DOS SÓLIDOS

Dado uma superfície com área A_i de dimensões x_i e y_i , quando aquecemos por igual a chapa, ocorrerá dilatação linear em cada direção. Se considerarmos o material isotrópico, o coeficiente de dilatação linear será o mesmo em qualquer dimensão. Assim, temos que:



A área inicial da superfície pode ser dada por:

$$A_i = x_i \cdot y_i$$

Aplicando a lei da dilatação linear para cada uma das dimensões, temos que:

$$x_f = x_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$y_f = y_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Com isso, a área final pode ser escrita como:

$$A_f = x_f \cdot y_f$$

$$A_f = x_i \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) \cdot y_i \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$A_f = x_i \cdot y_i \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^2$$

$$A_f = A_i \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^2$$

Ao desenvolver o produto notável, temos:

$$(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^2 = 1^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta + \alpha^2 \cdot (\Delta\theta)^2$$

Como vimos, os coeficientes de dilatação linear dos materiais são da ordem de 10^{-6} , então α^2 é muito pequeno, tornando $\alpha^2 \cdot (\Delta\theta)^2$ pode ser considerado desprezível, portanto:

$$(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^2 \cong 1^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Com esse resultado, chegamos que:

$$A_f = A_i \cdot (1 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta)$$

O termo $2 \cdot \alpha$ é indicado por β e chamado de coeficiente de dilatação superficial do material de que é feita a placa. Então, podemos escrever que:

$$A_f = A_i \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$$

Onde $(1 + \beta \cdot \Delta\theta)$ é chamado de binômio de dilatação superficial do material para o $\Delta\theta$.

Se desenvolvermos a equação acima, podemos escrever a variação da área para uma dada variação de temperatura:

$$A_f = A_i \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$$

$$A_f = A_i + A_i \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

$$A_f - A_i = A_i \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$



$$\Delta A = A_i \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

Assim, a lei de dilatação superficial mostra que a variação da área superfície (ΔA) é diretamente proporcional à área inicial (A_i) e a variação de temperatura sofrida pelo corpo ($\Delta \theta$).

Vale lembrar que nós consideraremos nos exercícios que o β obtido ou fornecido na questão é um valor médio correspondente ao intervalo de temperatura em questão. Assim como o α , β também depende da temperatura.

INDO MAIS
FUNDO!



Assim como fizemos para a dilatação linear, poderíamos fazer um tratamento considerando a dilatação superficial como uma função exponencial. Dessa forma, teríamos que cada dimensão varia de forma exponencial e que o corpo fosse isotrópico. Com isso, chegaríamos que:

$$x_f = x_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta \theta}$$

$$y_f = y_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta \theta}$$

$$A_f = x_f \cdot y_f$$

$$A_f = (x_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta \theta}) \cdot (y_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta \theta})$$

$$A_f = x_i \cdot y_i \cdot e^{2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta}$$

$$A_f = A_i \cdot e^{2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta}$$

Fazendo $\beta = 2 \cdot \alpha$, chegamos que:

$$A_f = A_i \cdot e^{\beta \cdot \Delta \theta}$$

Resultado semelhante ao encontrado para a dilatação exponencial em uma dimensão.

HORA DE
PRATICAR!



Exemplo 11: (Mackenzie – SP)

Uma chapa plana de uma liga metálica de coeficiente de dilatação linear $2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ tem área A_0 à temperatura de $20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Para que a área dessa placa aumente 1%, devemos elevar a sua temperatura para:

- a) $520 \text{ } ^\circ\text{C}$
- b) $470 \text{ } ^\circ\text{C}$
- c) $320 \text{ } ^\circ\text{C}$



d) 270 °C

e) 170 °C

Comentários:

Pela lei da dilatação superficial, temos que:

$$\Delta A = A \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

Perceba que 1 % representa o quanto variou em relação ao inicial, isto é:

$$\frac{\Delta A}{A} = 1\%$$

$$\frac{\Delta A}{A} = \beta \cdot \Delta \theta$$

$$\frac{1}{100} = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta \theta = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_f - \theta_i = 250$$

$$\theta_f - 20 = 250$$

$$\boxed{\theta_f = 270 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

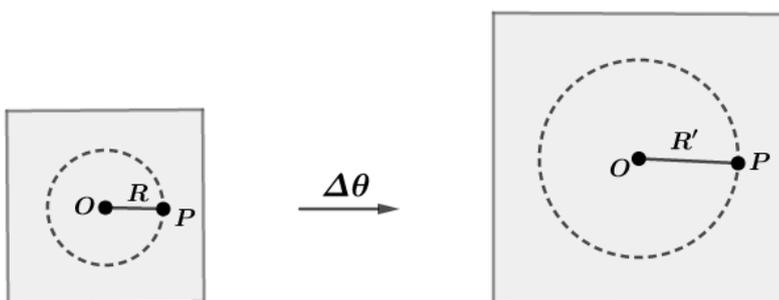
Alternativa correta letra d.

Exemplo 12:

Numa chapa de latão, a 10 °C, um furo circular possui raio de 10 cm. Determine a o acréscimo na área do orifício, quando se aumenta a temperatura da chapa para 260 °C. Considere o coeficiente linear do latão igual a $2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Comentários:

Imagine que o chapa não tivesse o furo. Assim, se consideramos um ponto P a uma distância R do ponto O , ao esquentar a chapa vemos que R aumenta:



Dessa forma, a área inicial é dada por:

$$A_0 = \pi R^2 = 3,14 \cdot (10)^2 = 314 \text{ cm}^2$$

Utilizando a expressão simplificada da dilatação superficial, encontramos que:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta A = 314 \cdot (2 \cdot 2 \cdot 10^{-5}) \cdot (260 - 10)$$



$$\Delta A = 3,14 \text{ cm}^2$$

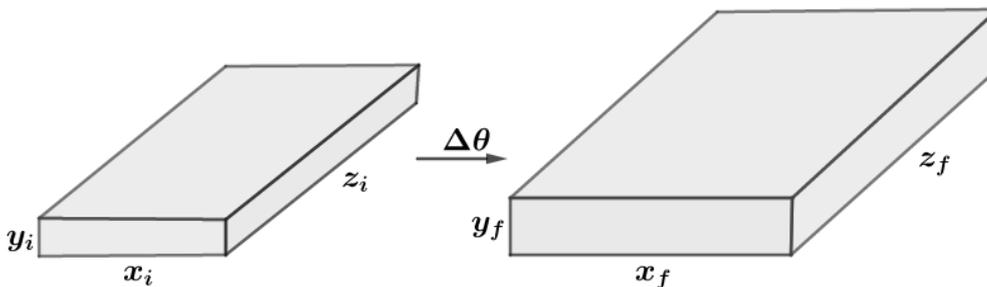
Assim, se retirarmos a porção de material no interior da circunferência tracejada, vemos que se trata do nosso problema do furo. Isso vai contra a ideia primitiva de que ao esquentar uma chapa com orifício, o raio do furo iria diminuir. Ao contrário, vimos que ele também aumenta.

3.5 DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA DOS SÓLIDOS

Vamos analisar a variação do volume de corpo, a partir da dilatação linear de cada dimensão. Para isso, considere um paralelepípedo que possui as dimensões x_i, y_i e z_i na temperatura θ_i . Seu volume nessa condição é dado por:

$$V_i = x_i \cdot y_i \cdot z_i$$

Ao variarmos a temperatura do sistema para θ_f , observamos que os lados passaram a ser x_f, y_f e z_f .



Fazendo a lei da dilatação linear em cada dimensão e considerando nosso corpo isotrópico, obtemos:

$$x_f = x_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$y_f = y_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$z_f = z_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Dessa forma, o novo volume será dado por:

$$V_f = x_f \cdot y_f \cdot z_f$$

$$V_f = (x_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)) \cdot (y_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)) \cdot (z_i(1 + \alpha \cdot \Delta\theta))$$

$$V_f = x_i \cdot y_i \cdot z_i \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^3$$

Expandindo o produto notável $(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^3$, teremos:

$$(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^3 = 1 + 3 \cdot 1^2 \cdot (\alpha \cdot \Delta\theta) + 3 \cdot 1 \cdot (\alpha \cdot \Delta\theta)^2 + (\alpha \cdot \Delta\theta)^3$$

Os termos $3 \cdot 1 \cdot (\alpha \cdot \Delta\theta)^2$ e $(\alpha \cdot \Delta\theta)^3$ podem ser considerados desprezíveis, já que α é muito pequeno. Portanto:



$$(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^3 = 1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Dessa forma, podemos reescrever a expressão do volume final:

$$V_f = x_i \cdot y_i \cdot z_i \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Como $V_i = x_i \cdot y_i \cdot z_i$ e chamando $3 \cdot \alpha$ de coeficiente de dilatação volumétrica ou cúbica do material, representado pela letra γ , chegamos que:

$$\boxed{V_f = V_i(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)}$$

Onde $\gamma = 3\alpha$. Chamamos o termo adimensional $(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$ de binômio da dilatação volumétrica ou cúbica do material para o $\Delta\theta$.

Expandindo a expressão do volume final, podemos determinar a variação volumétrica sofrida pelo sólido:

$$V_f = V_i(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

$$V_f = V_i + V_i \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

$$V_f - V_i = V_i \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

$$\boxed{\Delta V = V_i \cdot \gamma \cdot \Delta\theta}$$

Novamente, considere sempre que γ é constante no intervalo de temperatura trabalhado, como sendo um valor médio. Contudo, sabemos que o coeficiente de dilatação volumétrica depende da temperatura.



Podemos fazer o tratamento da expansão volumétrica como sendo exponencial. Se considerarmos que as dimensões se dilatam de forma exponencial e que o material é isotrópico, temos que:

$$x_f = x_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta\theta}$$

$$y_f = y_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta\theta}$$

$$z_f = z_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta\theta}$$

Assim, o volume final é dado por:

$$V_f = x_f \cdot y_f \cdot z_f$$

$$V_f = (x_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta\theta}) \cdot (y_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta\theta}) \cdot (z_i \cdot e^{\alpha \cdot \Delta\theta})$$

$$V_f = x_i \cdot y_i \cdot z_i \cdot e^{3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta}$$

Chamando 3α de γ , temos que:

$$\boxed{V_f = V_i \cdot e^{\gamma \cdot \Delta\theta}}$$



Existem materiais com elevado coeficiente de dilatação, como grande parte dos metais. O vidro pirex possui um coeficiente de dilatação pequeno, bem menor que o vidro comum e isso garante que ele suporte grandes variações de temperatura sem gerar grandes tensões internas na sua estrutura. Tal fato garante ao vidro pirex a possibilidade de ir ao fogo.

Há ainda materiais com coeficiente de dilatação negativo, como é o caso da borracha vulcanizada. Estes materiais quando submetidos a aumento de temperatura diminuem suas dimensões.



3.6 DILATAÇÃO DE SÓLIDOS ANISÓTROPAS

Nas nossas abordagens, sempre consideramos que nossos sólidos eram isotrópicos, ou seja, o coeficiente de dilatação é o mesmo em qualquer direção.

Contudo, existem sólidos cristalinos que em cada direção existe um valor de coeficiente de dilatação. Esses cristais são chamados de anisótropos. Como consequência disso, quando esses corpos são aquecidos, não existe uma simetria nas dilatações.

Sempre é possível descrever as dimensões de um sólido através de três eixos perpendiculares entre si, de tal forma que as dilatações ocorreram nas direções dos eixos. Tais direções são chamadas de **eixos principais de dilatação** e os coeficientes de dilatação linear relativos a essas direções são denominados **coeficientes de dilatação linear principais**.

Chamando de α_x , α_y e α_z os coeficientes de dilatação linear principais de um cristal. Vamos considerar que nosso cristal é um paralelepípedo, cujas dimensões são L_{x_0} , L_{y_0} e L_{z_0} na temperatura θ_i . Se aquecermos nosso cristal para a temperatura θ_f , então, teremos as novas dimensões:

$$L_x = L_{x_0}(1 + \alpha_x \cdot \Delta\theta)$$

$$L_y = L_{y_0}(1 + \alpha_y \cdot \Delta\theta)$$

$$L_z = L_{z_0}(1 + \alpha_z \cdot \Delta\theta)$$

Logo, o novo volume será de:

$$V_f = L_x \cdot L_y \cdot L_z$$

$$V_f = [L_{x_0}(1 + \alpha_x \cdot \Delta\theta)] \cdot [L_{y_0}(1 + \alpha_y \cdot \Delta\theta)] \cdot [L_{z_0}(1 + \alpha_z \cdot \Delta\theta)]$$

$$V_f = L_{x_0} \cdot L_{y_0} \cdot L_{z_0} \cdot (1 + \alpha_x \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \alpha_y \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \alpha_z \cdot \Delta\theta)$$

Vamos desenvolver o produto $(1 + \alpha_x \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \alpha_y \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \alpha_z \cdot \Delta\theta)$ e desprezar termos pequenos, já que os coeficientes de dilatação são muito pequenos:

$$1 + \alpha_x \cdot \Delta\theta + \alpha_y \cdot \Delta\theta + \alpha_z \cdot \Delta\theta + \alpha_x \alpha_y \cdot \Delta\theta^2 + \alpha_x \alpha_z \cdot \Delta\theta^2 + \alpha_y \alpha_z \cdot \Delta\theta^2 + \alpha_x \alpha_y \alpha_z \cdot \Delta\theta^3$$



Termos como $\alpha_x \alpha_y \cdot \Delta\theta^2 + \alpha_x \alpha_z \cdot \Delta\theta^2 + \alpha_y \alpha_z \cdot \Delta\theta^2 + \alpha_x \alpha_y \alpha_z \cdot \Delta\theta^3$ podem ser desconsiderados, já que os coeficientes de dilatação são da ordem de 10^{-6} . Assim, chegamos que:

$$(1 + \alpha_x \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \alpha_y \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \alpha_z \cdot \Delta\theta) \cong 1 + \alpha_x \cdot \Delta\theta + \alpha_y \cdot \Delta\theta + \alpha_z \cdot \Delta\theta$$

$$(1 + \alpha_x \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \alpha_y \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \alpha_z \cdot \Delta\theta) \cong 1 + (\alpha_x + \alpha_y + \alpha_z)\Delta\theta$$

Portanto, o volume final pode ser expresso por:

$$V_f = V_0(1 + (\alpha_x + \alpha_y + \alpha_z)\Delta\theta)$$

Denominando o coeficiente de dilatação volumétrica $\gamma = \alpha_x + \alpha_y + \alpha_z$, chegamos que:

$$V_f = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$



Exemplo 13: Um cubo de metal é aquecido de 20 °C até 23°C. O coeficiente de dilatação térmica linear do metal é $\alpha = 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. O volume inicial do cubo, a temperatura de 20 °C, vale 3 m³. Qual foi a variação de volume do cubo?

Comentários:

A expressão de dilatação volumétrica é dada por:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Note que ele não forneceu γ . O valor fornecido foi o α . A dilatação em função α é dada por:

$$\Delta V = V_0 \cdot 3\alpha \cdot \Delta T$$

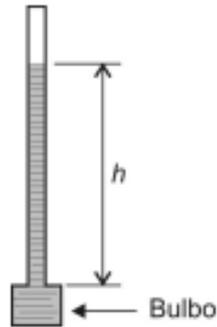
Substituindo os valores, temos:

$$\Delta V = 3 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 = 27 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta V = 27 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Exemplo 14: Em um laboratório de física é proposta uma experiência onde os alunos deverão construir um termômetro, o qual deverá ser constituído de um bulbo, um tubo muito fino e uniforme, ambos de vidro, além de álcool colorido, conforme a figura abaixo.

O bulbo tem capacidade de 2,0 cm³, o tubo tem área de secção transversal de $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$ e comprimento de 25 cm.



No momento da experiência, a temperatura no laboratório é $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, e o bulbo é totalmente preenchido com álcool até a base do tubo. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação do álcool é $11 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e que o coeficiente de dilatação do vidro utilizado é desprezível comparado ao do álcool, a altura h , em cm, atingida pelo líquido no tubo, quando o termômetro for utilizado em um experimento a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, é

- a) 5,50
- b) 11,0
- c) 16,5
- d) 22,0

Comentários:

Pela equação da dilatação volumétrica e sabendo que a variação de volume causada pela dilatação do líquido é o responsável pelo volume no tubo:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

$$V = A \cdot h$$

$$\Delta V = V$$

$$V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t = A \cdot h$$

$$2 \cdot 10^{-6} \cdot 11 \cdot 10^{-4} \cdot 50 = 10^{-2} \cdot 10^{-4} \cdot h$$

$$\boxed{h = 11\text{ cm}}$$

Exemplo 15: (ITA – SP)

Um cristal (anisótropo) tem o coeficiente de dilatação linear $\alpha_x = 1,3 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ na direção do eixo x . Na direção dos eixos y e z o coeficiente de dilatação linear é o mesmo e igual a $\alpha_y = \alpha_z = 5,3 \cdot 10^{-7}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Assim, determine:

- a) o coeficiente de dilatação superficial aproximado no plano xy .
- b) o coeficiente de dilatação cúbica aproximado.
- c) o coeficiente de dilatação superficial aproximado no plano yz .
- d) o coeficiente de dilatação superficial aproximado no plano xz .

Comentários:



a) conforme visto em teoria, podemos dizer que o coeficiente de dilatação superficial no plano xy é dado por:

$$\beta_{xy} = \alpha_x + \alpha_y$$

Substituindo valores, temos:

$$\beta_{xy} = 1,3 \cdot 10^{-6} + 5,3 \cdot 10^{-7} = 1,3 \cdot 10^{-6} + 0,53 \cdot 10^{-6}$$

$$\boxed{\beta_{xy} = 1,83 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}$$

b) o coeficiente de dilatação cúbica (ou volumétrica) é expresso por:

$$\gamma = \alpha_x + \alpha_y + \alpha_z = 1,3 \cdot 10^{-6} + 5,3 \cdot 10^{-7} + 5,3 \cdot 10^{-7}$$

$$\gamma = 1,3 \cdot 10^{-6} + 0,53 \cdot 10^{-6} + 0,53 \cdot 10^{-6}$$

$$\boxed{\gamma = 2,36 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}$$

c) semelhantemente ao item a, temos que:

$$\beta_{yz} = \alpha_y + \alpha_z = 2 \cdot 5,3 \cdot 10^{-7}$$

$$\boxed{\beta_{yz} = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}$$

d) novamente, temos:

$$\beta_{xz} = \alpha_x + \alpha_z$$

$$\beta_{xz} = 1,3 \cdot 10^{-6} + 0,53 \cdot 10^{-6}$$

$$\boxed{\beta_{xz} = 1,83 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}$$

3.7 A ALTERAÇÃO DA DENSIDADE COM A TEMPERATURA

Ao aquecermos um sólido, sua massa não varia, mas as dimensões sim. Dessa forma, temos o volume V_i na temperatura θ_i e V_f na temperatura θ_f , que se relacionam pela expressão:

$$V_f = V_i(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

A densidade em cada temperatura é dada por:

$$d_i = \frac{m}{V_i} \text{ e } d_f = \frac{m}{V_f}$$

Relacionando as duas fórmulas de densidade, temos que:

$$d_f = \frac{m}{V_f} = \frac{m}{V_i(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)} = \frac{m}{V_i} \frac{1}{(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)}$$

$$\boxed{d_f = \frac{d_i}{(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)}}$$

Com esse resultado, podemos verificar que a densidade varia de forma oposta ao volume, ou seja, quando aumentamos a temperatura do corpo, sua densidade diminui, dizemos que a densidade e a variação de temperatura são grandezas inversamente proporcionais.



Exemplo 16: (Mackenzie – SP)

A densidade de um sólido é $10,00 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ e $10,03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ a $32 \text{ }^\circ\text{F}$. O coeficiente de dilatação linear do sólido é igual a:

- a) $5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- b) $10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- c) $15 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- d) $20 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- e) $30 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Comentários:

Inicialmente, devemos calcular a variação da temperatura em Celsius:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

$$\frac{C}{5} = \frac{32 - 32}{9}$$

$$C = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

Logo:

$$\Delta\theta = 0 - 100 = -100 \text{ }^\circ\text{C}$$

Então, o coeficiente é de:

$$d_f = \frac{d_i}{1 + \gamma\Delta\theta}$$

$$1 + \gamma\Delta\theta = \frac{d_i}{d_f}$$

$$\gamma\Delta\theta = \frac{d_i - d_f}{d_f}$$

$$\gamma = \frac{d_i - d_f}{\Delta\theta \cdot d_f}$$

$$\gamma = \frac{-0,03}{(-100) \cdot 10,03}$$

$$\gamma = 30 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Como $\gamma = 3\alpha$, então:

$$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Alternativa correta b.



3.8 DILATAÇÃO DE UM SÓLIDO OCO

Quando um corpo for oco, ou seja, existe um espaço vazio no interior do sólido. Verifica-se experimentalmente que as paredes do recipiente variam como se fosse um corpo maciço. Tudo se passa como se o espaço interno fosse ocupado totalmente pelo material das paredes.

Assim, um sólido de capacidade volumétrica C_i a temperatura θ_i , cujas paredes são feitas de um material com coeficiente de dilatação volumétrica γ , a sua capacidade passará a ser C_f quando o conjunto é aquecido até a temperatura θ_f , obedecendo a relação:

$$C_f = C_i(1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

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



Exemplo 17:

A $10\text{ }^\circ\text{C}$ uma caneca de alumínio apresenta volume de 100 ml . Ela é aquecida até $50\text{ }^\circ\text{C}$. Calcule a variação no seu volume, dado que o coeficiente de dilatação linear do alumínio é $2,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Comentários:

Desenvolvendo a equação da capacidade volumétrico do sólido oco, de modo semelhante ao que fizemos anteriormente, verificamos que:

$$\Delta C = C_i \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta C = 100 \cdot 3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot (50 - 10)$$

$$\Delta C = 0,264\text{ ml}$$



3.9 DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

Líquidos aquecidos, em geral, também obedecem a lei da dilatação semelhante aos sólidos. Logo, se o um líquido possui volume inicial V_i a temperatura θ_i e volume final V_f na temperatura θ_f , então, a variação no volume é expressa por:

$$\Delta V = V_i \cdot \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta$$

Onde γ_{liq} é o **coeficiente de dilatação real do líquido**. Como a variação de volume é a diferença entre os dois volumes nas respectivas temperaturas, temos:

$$V_f - V_i = V_i \cdot \gamma_{liq} \Delta\theta$$

$$V_f = V_i(1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta)$$

Novamente, o termo $(1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta)$ é chamado de binômio da dilatação real do líquido para o $\Delta\theta$.

Como bem sabemos, líquidos não apresentam forma própria. Como consequência disso, sempre que estudamos o comportamento térmico dos líquidos utilizamos um recipiente sólido. Dessa forma, também devemos levar em consideração a dilatação sofrida pelo recipiente.

Geralmente, os líquidos apresentam coeficiente de dilatação maior que dos sólidos. Se um recipiente tiver completamente preenchido por um líquido, ao aquecer o conjunto fatalmente irá transbordar o líquido.



Exemplo 18:

Um frasco de vidro possui volume de 540 cm^3 à temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro é $27 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e o do mercúrio $180 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Determine o volume de mercúrio que deve ser colocado no frasco de vidro, de modo que o volume da parte vazia não se altere ao variar a temperatura do sistema.

Comentários:

Desejamos saber qual o volume inicial de mercúrio e a condição para que o volume da parte vazia continue sendo a mesma é que a variação sofrida pelo líquido seja a mesma do frasco sólido. Então:

$$\Delta V_{liq} = \Delta V_{frasco}$$

$$V_{Merc} \cdot \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta = V_{frasco} \cdot \gamma_{vidro} \cdot \Delta\theta$$

$$V_{merc} = \frac{\gamma_{vidro}}{\gamma_{liq}} V_{frasco}$$

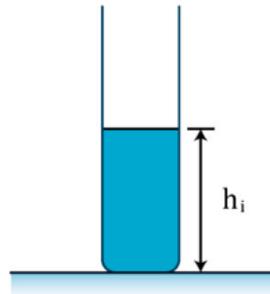
$$V_{merc} = \frac{27 \cdot 10^{-6}}{180 \cdot 10^{-6}} 540$$

$$V_{merc} = 81 \text{ cm}^3$$



Exemplo 19:

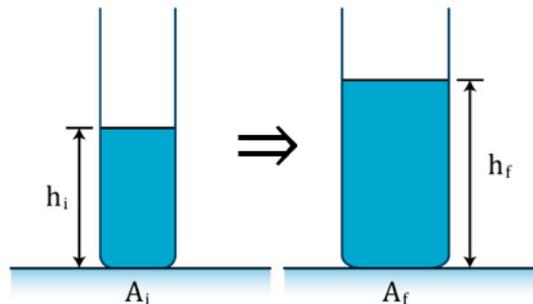
Considere um tubo de vidro com formato cilíndrico, colocado na posição vertical e preenchido com mercúrio até a altura $h_i = 100,0 \text{ cm}$, a temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Considere que $\alpha_{\text{vidro}} = 9,0 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $\gamma_{\text{mercúrio}} = 180 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Determine a nova altura da coluna de mercúrio, quando o conjunto é aquecido até a temperatura de $140 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Considere que o tubo de vidro é grande o suficiente para não haver transbordamento.



Comentários:

Ao aquecer o conjunto, verificamos que a um aumento na temperatura provoca um aumento na área da base do cilindro. Assim, o volume ocupado pelo mercúrio pode ser dado por:

$$V_i = A_i \cdot h_i \text{ e } V_f = A_f \cdot h_f$$



Pela lei da dilatação superficial, temos que:

$$A_f = A_i(1 + 2 \cdot \alpha_{\text{vidro}} \cdot \Delta\theta)$$

Por outro lado, a dilatação volumétrica do mercúrio é expressa por:

$$V_f = V_i(1 + \gamma_{\text{mercúrio}} \cdot \Delta\theta)$$

Assim, combinando as equações, temos que:

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{A_f \cdot h_f}{A_i \cdot h_i}$$

$$\frac{V_i(1 + \gamma_{\text{mercúrio}} \cdot \Delta\theta)}{V_i} = \frac{A_i(1 + 2 \cdot \alpha_{\text{vidro}} \cdot \Delta\theta) \cdot h_f}{A_i \cdot h_i}$$

$$\boxed{h_f = \frac{(1 + \gamma_{\text{mercúrio}} \cdot \Delta\theta)}{(1 + 2 \cdot \alpha_{\text{vidro}} \cdot \Delta\theta)} h_i}$$

Substituindo valores, encontramos que:

$$h_f = \frac{(1 + 180 \cdot 10^{-6} \cdot 100)}{(1 + 2 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 100)} 100$$



$$h_f = 101,6 \text{ cm}$$

PRESTE MAIS
ATENÇÃO!



3.10 DILATAÇÃO APARENTE

Vamos considerar um líquido dentro de um recipiente volumétrico, onde cada divisão tem a capacidade C_0 , na temperatura inicial θ_0 . Dessa forma, qualquer leitura feita no nosso recipiente é dada por:

$$V_i = L \cdot C_i$$

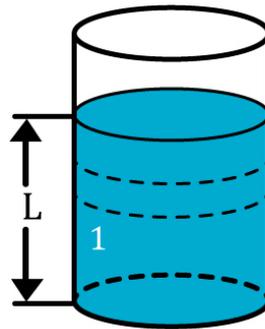


Figura 19: Recipiente e líquido sem sofrer aquecimento.

Quando aquecemos nosso conjunto, uma nova leitura L' é feita na graduação do recipiente. Se não levarmos em conta a variação na capacidade de cada divisão, teríamos um **volume final aparente do líquido**:

$$V_{ap} = L' \cdot C_i$$

No recipiente, sua capacidade de cada divisão obedece a lei da dilatação da seguinte forma:

$$C_f = C_i(1 + \gamma_R \cdot \Delta\theta)$$

O volume final do líquido pode ser dado por:

$$V_f = L' \cdot C_f$$

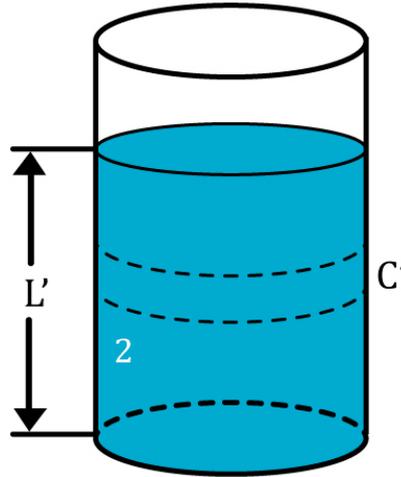


Figura 20: Recipiente e líquido ao sofrer aquecimento.

Substituindo a capacidade final e lembrando que $V_{ap} = L' \cdot C_i$, temos que:

$$V_f = L' \cdot C_i(1 + \gamma_R \cdot \Delta\theta)$$

$$V_f = V_{ap}(1 + \gamma_R \cdot \Delta\theta)$$

Por outro lado, o volume final é dado pela lei de dilatação do líquido:

$$V_f = V_i(1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta)$$

Portanto:

$$V_{ap}(1 + \gamma_R \cdot \Delta\theta) = V_i(1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta)$$

$$V_{ap} = \frac{(1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta)}{(1 + \gamma_R \cdot \Delta\theta)} V_i$$

Como os coeficientes são pequenos, podemos usar a aproximação $(1 + x)^n \approx 1 + nx$, assim temos a seguinte aproximação:

$$V_{ap} = V_i(1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta) \cdot (1 + \gamma_R \cdot \Delta\theta)^{-1}$$

$$V_{ap} \cong V_i(1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta) \cdot (1 - \gamma_R \cdot \Delta\theta)$$

$$V_{ap} \cong V_i[1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta - \gamma_R \cdot \Delta\theta + \gamma_{liq} \cdot \gamma_R \cdot (\Delta\theta)^2]$$

Desconsiderando o termo $\gamma_{liq} \cdot \gamma_R \cdot (\Delta\theta)^2$, encontramos que:

$$V_{ap} = V_i[1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta - \gamma_R \cdot \Delta\theta]$$

$$\boxed{V_{ap} = V_i[1 + (\gamma_{liq} - \gamma_R)\Delta\theta]}$$

Definindo o coeficiente de dilatação aparente como sendo:

$$\gamma_{ap} = \gamma_{liq} - \gamma_R$$

Finalmente, concluímos que:

$$\boxed{V_{ap} = V_i(1 + \gamma_{ap} \cdot \Delta\theta)}$$

Chamamos o termo adimensional $(1 + \gamma_{ap} \cdot \Delta\theta)$ de binômio de dilatação aparente do líquido para o frasco em que se encontra, para o $\Delta\theta$.



Denominamos **dilatação aparente de um líquido**, para um $\Delta\theta$, a diferença entre o volume final aparente e o volume inicial:

$$\Delta V_{ap} = V_{ap} - V_i$$

Assim, chegamos à lei da dilatação aparente:

$$\Delta V_{ap} = V_i(1 + \gamma_{ap} \cdot \Delta\theta) - V_i$$

$$\Delta V_{ap} = V_i \cdot \gamma_{ap} \cdot \Delta\theta$$

Experimentalmente, o valor do coeficiente de dilatação é facilmente obtido já que $\Delta V_{ap} = C_i(L' - L)$ e pela lei da dilatação aparente $\Delta V_{ap} = V_i \cdot \gamma_{ap} \cdot \Delta\theta$ e a partir daí podemos determinar o γ_{liq} .

GABARITO



Exemplo 20.

Considere um recipiente de vidro graduado em *ml*, a 30 °C. Coloca-se um líquido desconhecido dentro do recipiente até a marcação de 500 *ml*, com a temperatura em 30 °C. O conjunto é aquecido até a temperatura de 130 °C e observa-se que o líquido atingiu a marcação de 510 *ml*. Dado que o $\gamma_{vidro} = 27 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, determine o γ_{liq} e o volume real do líquido a 130 °C.

Comentários:

De acordo com o enunciado, a variação no volume aparente é dada pela diferença entre o volume observado a 130 °C e o volume medido a 30 °C:

$$\Delta V_{ap} = 510 - 500 = 10 \text{ ml}$$

Pela teoria, sabemos que ΔV_{ap} é expresso por:

$$\Delta V_{ap} = V_i \cdot \gamma_{ap} \cdot \Delta\theta$$

$$10 = 500 \cdot \gamma_{ap} \cdot (130 - 30)$$

$$\gamma_{ap} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Assim, podemos determinar γ_{liq} da seguinte forma:

$$\gamma_{ap} = \gamma_{liq} - \gamma_R$$

$$\gamma_{liq} = \gamma_{ap} + \gamma_R$$

$$\gamma_{liq} = 2 \cdot 10^{-4} + 27 \cdot 10^{-6}$$

$$\gamma_{liq} = 227 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Com o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido encontramos o volume real do líquido a 130 °C:

$$V_{liq} = V_i(1 + \gamma_{liq} \cdot \Delta\theta)$$

$$V_{liq} = 500(1 + 227 \cdot 10^{-6} \cdot 100)$$

$$V_{liq} = 511,35 \text{ ml}$$



Exemplo 21:

Considere um frasco de vidro, inicialmente a 10 °C, com um volume de 400 ml, completamente cheio de um líquido desconhecido. O conjunto é aquecido até a temperatura de 60 °C e observa-se que a derramamento de 8 ml do líquido. Dado que o $\gamma_{vidro} = 27 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, determine o coeficiente de dilatação aparente do líquido e o coeficiente de dilatação real do líquido.

Comentários:

Observe que o volume derramado (que transborda) é aproximadamente igual à variação aparente do volume do líquido:

$$\Delta V_{ap} = 8 \text{ ml} = V_i \cdot \gamma_{ap} \cdot \Delta\theta$$

$$\gamma_{ap} = \frac{8}{400 \cdot (60-10)} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Logo, o γ_{liq} é dado por:

$$\gamma_{ap} = \gamma_{liq} - \gamma_R$$

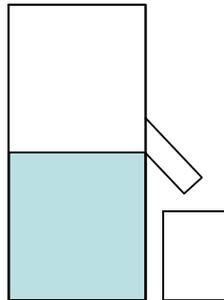
$$\gamma_{liq} = \gamma_R + \gamma_{ap}$$

$$\gamma_{liq} = 27 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-4}$$

$$\gamma_{liq} = 427 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Exemplo 22:

Um recipiente especial é preenchido até o gargalo de extravasamento conforme indica a figura, sob temperatura de 20 °C. A seguir, o conjunto é aquecido até 120 °C e 0,3% do líquido extravasa. Durante o processo, analisando-se a escala lateral do recipiente, verifica-se que ela sofreu uma dilatação de 0,4%. Qual é o coeficiente de dilatação do líquido?



Comentários:

Temos a seguinte relação dos volumes:

$$\Delta V_{real} = \Delta V_{aparente, líquido} + \Delta V_{frasco}$$

$$V_0 \cdot \gamma_{Líquido} \cdot \Delta T = V_0 \cdot \gamma_{aparente} \cdot \Delta T + V_0 \cdot \gamma_{frasco} \cdot \Delta T$$

$$\gamma_{Líquido} = \gamma_{aparente} + \gamma_{frasco} \quad (eq1)$$

A dilatação do recipiente foi dado por:

$$\Delta V_{frasco} = V_0 \cdot \gamma_{frasco} \cdot \Delta T$$

Entretanto, o enunciado fornece a dilatação em função de sua medida linear:

$$\Delta l_{frasco} = l_0 \cdot \alpha_{frasco} \cdot \Delta T$$

$$\frac{0,4}{100} \cdot l_0 = l_0 \cdot \alpha_{frasco} \cdot 100$$

$$\alpha_{frasco} = 4 \cdot 10^{-5}$$

Deste modo, temos:

$$\gamma_{frasco} = 3 \cdot \alpha_{frasco} = 12 \cdot 10^{-5} \quad (eq2)$$

O líquido extravasa 0,3%. Assim, temos:



$$\frac{0,3}{100} \cdot V_0 = V_0 \cdot \gamma_{aparente} \cdot 100$$

$$\gamma_{aparente} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ (eq3)}$$

Dessa maneira, das equações 1, 2 e 3, temos:

$$\gamma_{Líquido} = \gamma_{aparente} + \gamma_{frasco}$$

$$\gamma_{Líquido} = 3 \cdot 10^{-5} + 12 \cdot 10^{-5}$$

$$\gamma_{Líquido} = 15 \cdot 10^{-5}$$



3.11 COMPORTAMENTO ANÔMALO DA ÁGUA

Devido ao fato de as moléculas de água no estado líquido estarem ligadas por pontes de hidrogênio, a água apresenta um comportamento anômalo quando aquecida de 0 °C a 4 °C.

Experimentalmente, verificamos que ao aquecer uma dada massa de água de 0°C a 4 °C, o volume diminui. Se manter o aquecimento, para temperaturas acima de 4 °C, o volume aumenta, conforme a dilatação normal dos líquidos. Nota-se no laboratório que a água atinge seu valor mínimo na temperatura de 4 °C.

Podemos esboçar a variação do volume da água em função da temperatura conforme o gráfico abaixo:

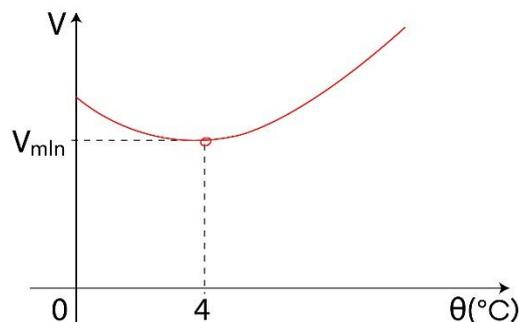


Figura 21: Gráfico do volume da água em função da temperatura na região entre 0 e 4 °C.

Como notamos no gráfico do volume pela temperatura, não podemos dizer que a variação do volume da água obedece a nossa lei linear conforme visto para os outros líquidos em geral.

Para explicar esse fenômeno, vamos lembrar das formas como a água se compacta nos diferentes estados físicos:



ESTADOS FÍSICOS DA ÁGUA

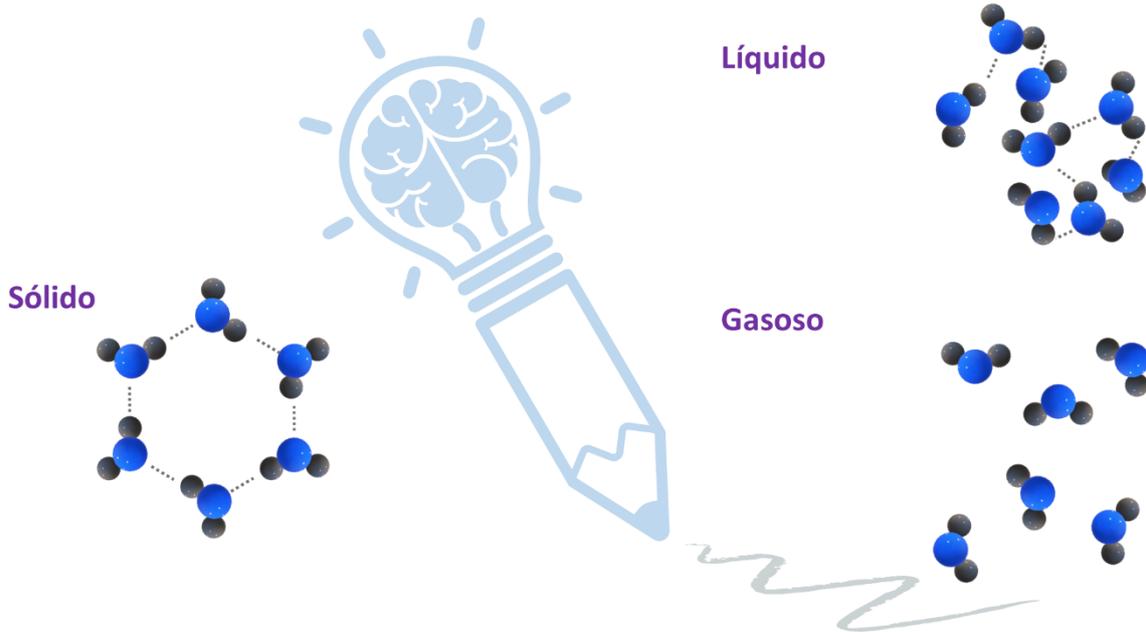


Figura 22: Estados físicos da água.

Quando a água vai de 0 °C a 4 °C, estamos tirando a água do seu estado sólido para o estado líquido, fornecendo energia ao sistema. Note que no estado sólido, devido aos dipolos elétricos da molécula, é formado uma estrutura hexagonal que possui um espaço vazio no seu interior, que garante um maior volume da estrutura.

Ao passar para o estado líquido, esse espaço vazio é eliminado e, com isso, o volume diminui. Esse efeito predomina até a temperatura de 4 °C, a partir daí o afastamento intermolecular é predominante e, por isso, há dilatação.

Assim, a densidade ($d = m/V$) aumenta de 0°C a 4 °C e diminui acima de 4 °C, conforme o gráfico da figura abaixo:

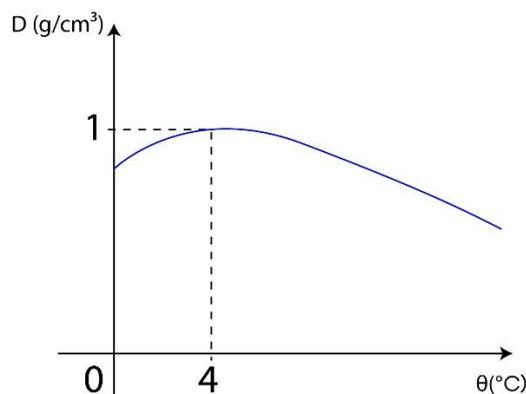


Figura 23: Gráfico da densidade da água em função da temperatura na região entre 0 e 4 °C.

A densidade da água apresenta seu valor máximo (1 g/cm^3) na temperatura de 4 °C.

Em regiões muito frias, onde a temperatura está constantemente abaixo de 0 °C, verifica-se que os lagos, mares e rios congelam apenas na superfície, de forma que a água no fundo permanece no estado líquido devido ao comportamento anômalo da água.



Figura 24: Lago congelado.

Se a temperatura ambiente, acima da superfície da água no lago, for superior a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e começa a diminuir, o resfriamento do líquido, como um todo, é praticamente uniforme, pois a densidade da água na superfície (região mais fria) é maior que a da água do fundo (região mais quente). Assim, ocorre uma troca de posição entre as moléculas, o que faz com que a água se misture.

Quando a temperatura atinge $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, cessa a movimentação por diferença de densidade, já que nessa temperatura a água tem densidade máxima. Uma vez que a temperatura ambiente continue diminuindo, somente a água da superfície se esfria (vale lembrar que os líquidos são maus condutores térmicos). Com isso, forma-se uma camada de gelo, que adquire certa espessura à medida que a temperatura diminui. Entretanto, a água no fundo do lago permanece no estado líquido, preservando a fauna e a flora aquática.



3.12 DILATAÇÃO DOS GASES

Como veremos futuramente na Termodinâmica, em gases ideais, as partículas apenas trocam forças devido às colisões. Como consequência, despreza-se qualquer interação de campo entre elas.

Assim, verifica-se que a distância média entre as partículas é função exclusivamente da temperatura e não depende da natureza do gás.

Diante dessas duas condições, podemos dizer que gases com comportamento perto da idealidade, com mesmos volumes iniciais, quando submetidos a mesma variação de temperatura (não alterando a pressão do sistema), apresentarão o mesmo volume final.

Experimentalmente, verifica-se que um gás ideal apresenta coeficiente de dilatação volumétrica próximo de:

$$\gamma_{gás} = 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \approx \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Quando analisamos diversos gases ideais, com diferentes volumes iniciais, ao manter a pressão constante, vemos que seus volumes em função da temperatura (na escala absoluta, geralmente em kelvin) seguem o gráfico abaixo:

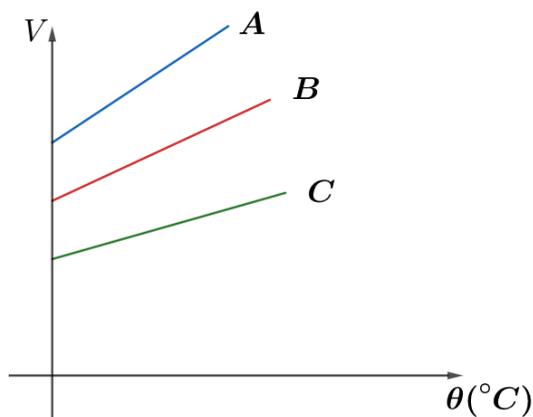


Figura 25: Volumes de gases ideais em função da temperatura.

Se extrapolarmos as retas de cada gás até o zero absoluto, verificaremos volumes de gases nulos. Podemos dizer que a eliminação dos espaços vazios entre as partículas do gás implicaria cessar qualquer agitação térmica. Podemos calcular essa temperatura de convergência da seguinte forma:

$$V_f = V_i [1 + \gamma_{gás} \cdot (\theta_f - 0)]$$

$$0 = V_i (1 + \gamma_{gás} \cdot \theta_f)$$

$$\theta_f = -\frac{1}{\gamma_{gás}}$$

$$\theta_f = -\frac{1}{3,66 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}}$$

$$\theta_f \cong -273 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Como já sabemos, essa temperatura corresponde ao zero absoluto. De acordo com o modelo clássico, toda agitação térmica deve desaparecer nessa temperatura, mas vale lembrar que ainda poderiam restar energias de vibração ou de rotação.

4.0 CALORIMETRIA

Em nosso cotidiano nos deparamos com diversas situações onde ocorre trocas de calor, isto é, vemos corpos quentes se esfriarem e corpos frios aquecerem. De alguma forma, o corpo quente agirá sobre o corpo frio, unicamente por causa da diferença de temperatura entre eles, sem que haja uma intervenção mecânica no sistema.

Chamamos esse fenômeno de transferência de energia de um corpo para outro de calor, que sempre ocorrerá do corpo mais quente para o corpo mais frio.

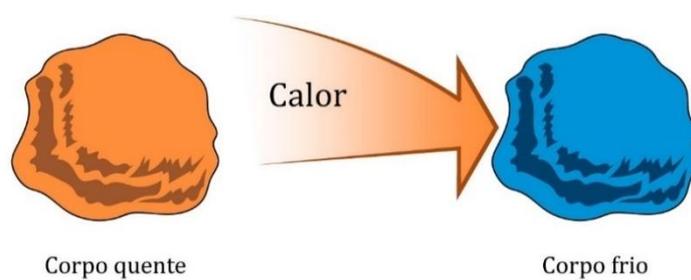


Figura 26: Calor sendo transferido do corpo quente para o frio.

É comum utilizarmos os seguintes termos em calorimetria:

CORPO QUENTE	CORPO FRIO
Cede calor	Recebe calor
Perde calor	Ganha calor
Libera calor	Absorve calor

Evidentemente, essa troca de calor não é para sempre. Ela cessa quando atingimos o equilíbrio térmico, isto é, a temperatura dos corpos se iguala.

Se os dois corpos compõem um sistema isolado, o corpo quente cede uma certa quantidade calor que é completamente absorvido pelo corpo frio, conforme o princípio da conservação de energia.

Geralmente, se não houver alteração no estado de físico dos corpos envolvidos, ocorrerá o seguinte:

- Conforme o corpo quente for perdendo calor, sua temperatura irá caindo.
- Conforme o corpo frio for ganhando calor, sua temperatura irá aumentando.
- Obviamente, em um dado instante as temperaturas se igualarão e não haverá mais troca de calor.

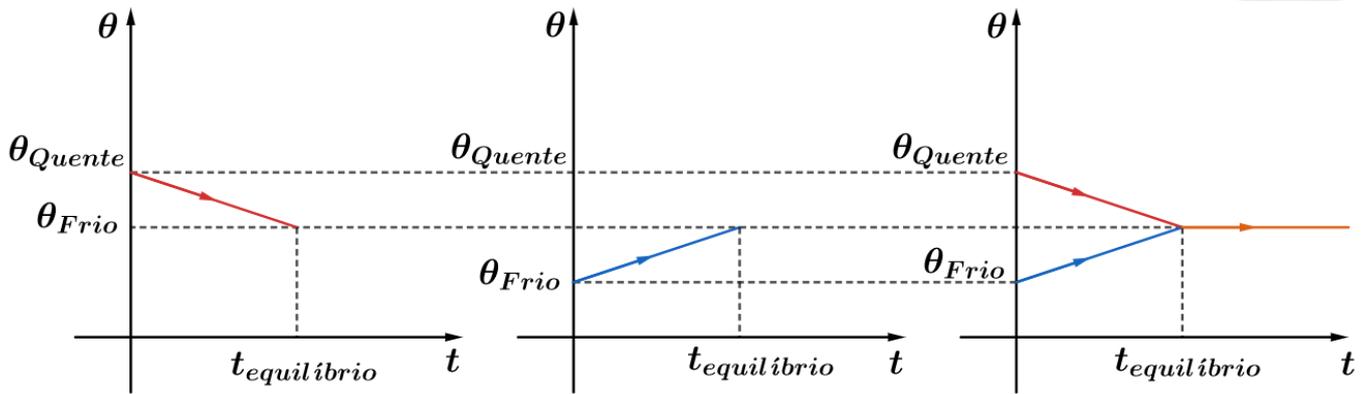


Figura 27: Trocas de calor em função do tempo.

Como já mencionamos, calor é uma forma de “energia em trânsito”, ou seja, é uma energia que passa de um corpo para outro, ou de um sistema para outro. O que causa essa transferência de calor é a diferença de temperatura entre os corpos ou sistemas. Um erro comum é pensar que o corpo que forneceu calor possuía mais energia que o outro.

Para melhor entendermos isso, vamos definir energia térmica:

Energia térmica é soma da energia cinética de vibração, de rotação e de translação das moléculas de um sistema.

Essa energia está diretamente relacionada com a **temperatura absoluta** do sistema e do **número de moléculas**. Por exemplo, considere o sistema 1 possui n moléculas de um determinado gás a temperatura de 400 K e o sistema 2 possui $2n$ moléculas do mesmo gás na temperatura de 400 K, como na figura abaixo:

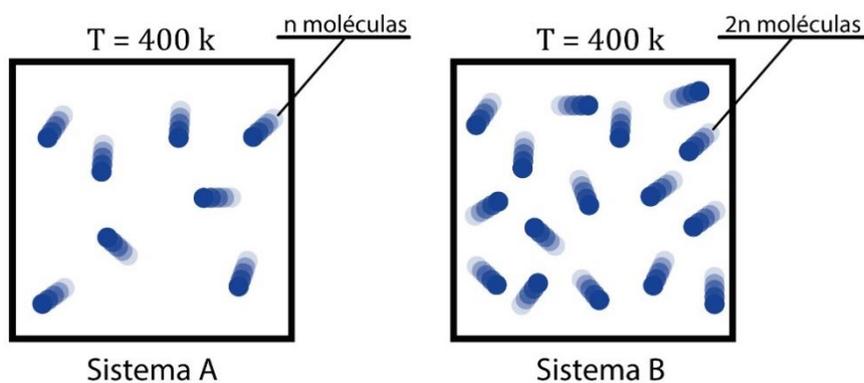


Figura 28: Sistemas em diferentes números de moléculas e com mesma temperatura, portanto tem a mesma energia cinética de translação, mas energias térmicas diferentes.

Note que em ambos os sistemas, 1 e 2, as moléculas estão à 400K e, por isso, cada uma delas tem a mesma energia cinética. Entretanto, no sistema 2 temos o dobro de moléculas, portanto, nele há mais energia térmica.

Contudo, quando colocamos os dois sistemas em contato térmico, não observaremos troca de calor entre eles, já que as temperaturas são iguais. Esse fato mostra que a troca de calor não é determinada pela quantidade de energia armazenada em cada corpo, mas sim da diferença de temperatura entre ambos.



4.1 UNIDADES DE CALOR

No SI, a unidade de medida de energia é joules (J), que é a mesma unidade para calor, já que ele é uma energia. Entretanto, por razões históricas, a unidade caloria ainda é usada. Define-se caloria como:

A quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grama de água de 14,5 °C a 15,5 °C, sob pressão normal.

Em Termodinâmica apresentaremos a experiência de James Prescott Joule que define a relação entre joule e caloria, por enquanto, apenas apresentaremos o resultado:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Ainda existem outras unidades de calor, como por exemplo o Btu (*British thermal unit*), muito empregada em ar condicionados. A relação entre as unidades é dada por:

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 1055 \text{ J}$$

4.2 POTÊNCIA DE UMA FONTE TÉRMICA

Se uma fonte térmica fornece a um sistema a quantidade Q de calor, em um intervalo de tempo Δt , então definimos como potência média da fonte a razão:

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

Quando a fonte térmica fornece a mesma quantidade de calor em intervalos de tempos iguais, dizemos que a potência será constante, ou seja:

$$P = P_m \Rightarrow P = \frac{Q}{\Delta t}$$

4.3 CAPACIDADE TÉRMICA OU CALORÍFICA (C) E CALOR ESPECÍFICO (c)

Se um corpo cede ou recebe calor, podemos observar uma variação de temperatura ou uma mudança em seu estado físico. Essa variação de temperatura corresponde a variação no estado de agitação das partículas do corpo. Por isso, nesse caso a energia térmica transferida é chamada de **calor sensível**.

Dado um corpo de massa m e temperatura inicial θ_1 , ao fornecer uma quantidade de calor Q , sua temperatura irá para θ_2 . Define-se capacidade térmica (C) ou capacidade calorífica do corpo como o quociente da quantidade de calor pela variação de temperatura, ou seja:

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



Onde $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$. A unidade usual da capacidade térmica é o $cal/^\circ C$.

Trata-se de uma característica do corpo e pode ser vista como uma resistência do corpo a variação de temperatura.

Denominamos calor específico (c) a quantidade de calor que cada unidade de massa de um corpo precisa receber ou fornecer para que sua temperatura varie uma unidade. De outra forma:

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

Ainda que na expressão do calor específico apareça a massa, devemos ter em mente que se trata de uma característica da substância e não depende da massa.

Com exatidão, nem a capacidade térmica nem o calor específico de uma substância possuem valores constantes com a temperatura. Eles dependem da temperatura, mas para a faixa de valores pequenas, como geralmente é feito nos exercícios, costuma-se adotar um valor médio de cada um no intervalo de temperatura em questão.

A tabela a seguir apresenta alguns valores de calor específico mais comuns:

SUBSTÂNCIA	CALOR ESPECÍFICO EM CAL/G °C	SUBSTÂNCIA	CALOR ESPECÍFICO EM CAL/G °C
Alumínio	0,219	Ferro	0,119
Água	1,000	Gelo	0,550
Álcool	0,590	Mercúrio	0,033
Bronze (liga metálica)	0,090	Prata	0,056
Chumbo	0,031	Vapor de água	0,480
Cobre	0,093	Vidro	0,118

4.4 CALOR SENSÍVEL

Chamamos de calor sensível aquele que, recebido ou cedido por um corpo, altera a sua temperatura. Para calcular o calor sensível que um corpo ganhou (ou perdeu) usamos a definição de calor específico sensível:

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

Essa é a **Equação Fundamental da Calorimetria**.

Note que $\Delta\theta = \theta_{final} - \theta_{inicial}$. Assim:

- se $\theta_{final} > \theta_{inicial}$, então $\Delta\theta > 0$, logo $Q > 0$, ou seja, calor recebido pelo corpo.
- Se $\theta_{final} < \theta_{inicial}$, então $\Delta\theta < 0$, logo $Q < 0$, ou seja, calor cedido pelo corpo.



Exemplo 23.

Considere uma fonte térmica com potência de 6 kcal/min. Quanto tempo leva para a fonte elevar de 20 °C para 80 °C um volume de 10 litros de água? Dados: $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $d_{\text{água}} = 1,0 \text{ kg/l}$.

Comentários:

Utilizando a Equação Fundamental da Calorimetria, temos que:

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

$$Q = \left(10\text{l} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{g}}{\text{l}}\right) \cdot \left(1,0 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}\right) \cdot ((80 - 20)^\circ\text{C})$$

$$Q = 6,0 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

$$Q = 6,0 \cdot 10^2 \text{ kcal}$$

A potência é dada por:

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

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

$$\Delta t = \frac{6,0 \cdot 10^2}{6}$$

$$\boxed{\Delta t = 100 \text{ min}}$$

Exemplo 24.

Um chuveiro elétrico possui uma potência elétrica de 4,2 kW, com uma vazão de 10 litros a cada minuto. Sabendo que a temperatura da água na entrada do chuveiro é de 25 °C, calcule a temperatura da água na saída do chuveiro. Considere $c_{\text{água}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ e $d_{\text{água}} = 1,0 \text{ kg/l}$.

Comentários:

O calor absorvido pela água durante um determinado intervalo de tempo é expresso por:

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

Onde a massa pode ser dada por:

$$m = d \cdot V$$

Lembrando da equação de potência, temos que:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{d \cdot V \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t}$$

Repare que a razão $\frac{V}{\Delta t}$ é a vazão (em volume) da água no nosso chuveiro, portanto:

$$\boxed{P = d \cdot z \cdot c \cdot \Delta\theta}$$

Onde z é a vazão volumétrica.

Como a vazão dada é por minuto, precisamos transformar em litros por segundo. Para isso, fazemos que:

$$z = 10 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 10 \frac{\text{l}}{60 \text{ s}} = \frac{1 \text{ l}}{6 \text{ s}}$$

Dessa forma, temos que:



$$4,2 \cdot 10^3 \frac{J}{s} = 1,0 \frac{kg}{l} \cdot \frac{1l}{6s} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \frac{J}{kg^\circ C} \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = 6^\circ C$$

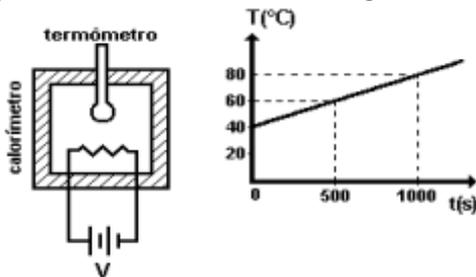
Logo:

$$\theta_f - \theta_i = 6$$

$$\theta_f = 31^\circ C$$

Exemplo 25. (Fuvest – 1994/modificada)

Um calorímetro, constituído por um recipiente isolante térmico ao qual estão acoplados um termômetro e um resistor elétrico, está completamente preenchido por 0,400 kg de uma substância cujo calor específico deseja-se determinar. Num experimento em que a potência dissipada pelo resistor era de 80 W, a leitura do termômetro permitiu a construção do gráfico da temperatura T em função do tempo t , mostrado na figura adiante. O tempo t é medido a partir do instante em que a fonte que alimenta o resistor é ligada.



Qual o calor específico da substância em **joules/(kg°C)**?

Comentários:

A potência média térmica é dada por:

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

Pelo gráfico vemos que em intervalos de tempos iguais, a variação de temperatura é a mesma, ou seja, a potência é constante. Portanto, temos que:

$$80 = \frac{0,4 \cdot c \cdot (80 - 60)}{1000 - 500}$$

$$c = 5,0 \cdot 10^3 J/kg^\circ C$$

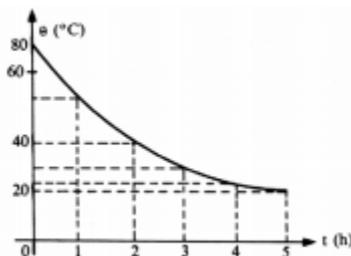
Exemplo 26.

Um recipiente contendo 3600 g de água à temperatura inicial de 80 °C é posto num local onde a temperatura ambiente permanece sempre igual a 20 °C. Após 5 h o recipiente e a água entram em equilíbrio térmico com o meio ambiente. Durante esse período, ao final de cada hora, as seguintes temperaturas foram registradas para a água: 55 °C, 40 °C, 30 °C, 24 °C e 20 °C. Pede-se:

- a) um esboço, indicando valores nos eixos, do gráfico da temperatura da água em função do tempo;
 - b) em média, quantas calorias por segundo a água transferiu para o ambiente.
- Considere o calor específico da água = 1 cal/(g °C).

Comentários:

a) De acordo com os dados do enunciado, temos que o gráfico da temperatura em função do tempo é:



b) Calculando a potência térmica média temos:

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

$$P_m = \frac{m \cdot c \cdot \Delta \theta}{\Delta t}$$

$$P_m = \frac{3600 \cdot 1 \cdot (80 - 20)}{5 \cdot 60 \cdot 60}$$

$$\boxed{P_m = 12 \text{ cal/s}}$$

Exemplo 27:

Qual é a quantidade de calor que deve ser fornecido a 10 g de gelo a -20°C para se tornar gelo a 0°C ? Dados: Calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$.

Comentários:

Como o gelo não muda de estado físico, o calor utilizado será o calor sensível.

$$Q_{\text{sensível}} = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q_{\text{sensível}} = 10 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-20))$$

$$\boxed{Q_{\text{sensível}} = 100 \text{ cal}}$$

Exemplo 28:

Considere um recipiente isolado. Colocam-se 30 g de água a 65°C e 5 g de água a 0°C . Determine a temperatura final do sistema. O calor específico do gelo é metade do calor específico da água.

Comentários:

Como o sistema está isolado termicamente:

$$\sum Q_{\text{recebido}} + \sum Q_{\text{cedidos}} = 0$$

Seja T a temperatura do sistema:

$$Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{água}} = 0$$

$$5 \cdot c \cdot (T - 0) + 30 \cdot 2c \cdot (T - 65) = 0$$

$$5T + 60T - 4140 = 0$$

$$65T = 4140$$

$$\boxed{T = 63,7^\circ\text{C}}$$



TOME
NOTA!



Definimos como calor específico molar ou capacidade calorífica específica molar (\bar{C}) ao produto:

$$\bar{C} = M_M \cdot c$$

Onde M_M é a massa molar da substância.

Nesse caso, a quantidade de calor trocada é dada por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = n \cdot M_M \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$\therefore Q = n \cdot \bar{C} \cdot \Delta\theta$$

Em que n é o número de mols da substância.

Para os sólidos, utilizamos a regra de Dulong-Petit:

Os sólidos possuem calor molar próximo de $6 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C}$.

A grafite é uma exceção com calor molar igual a $2,6 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C}$.

PRESTE MAIS
ATENÇÃO!



4.5 SISTEMA FÍSICO TERMICAMENTE ISOLADO

Naturalmente os corpos buscam um equilíbrio térmico. Corpos mais “quentes” tendem a ceder calor para corpos mais “frios”.

Em muitos casos, podemos criar um meio que não troca calor com o meio externo a ele, isto é, criar um sistema físico termicamente isolado:

Dizemos que um sistema é termicamente isolado se não existe troca de calor entre seus elementos e o meio externo.

Na prática, por melhor que seja o isolamento do seu sistema, sempre haverá uma troca de calor com o meio externo. Para muitos fins, podemos considerar que essas trocas de calor com o ambiente externo são nulas e o seu sistema está de fato isolado.



Podemos observar isso quando vamos a praia, por exemplo. Inserimos uma quantidade de latinhas com temperatura ambiente dentro de um cooler com gelo. O cooler apenas reduzirá as trocas de calor que podem existir entre os componentes no seu interior e o ambiente externo. Mesmo que o sistema fosse perfeitamente isolado, elas chegariam ao equilíbrio térmico, pois dentro do sistema elas trocariam calor entre si.

Assim, em um sistema termicamente isolado, podemos considerar que as trocas de calor ocorrem apenas entre os seus componentes. Dessa forma, toda energia térmica cedida por alguns corpos é recebida por outros dentro do sistema, de tal forma que:

$$\sum Q_{cedido} + \sum Q_{recebido} = 0$$



4.6 EQUIVALENTE EM ÁGUA

Trata-se de um artifício para facilitar os cálculos quando vamos fazer as trocas de calor entre os corpos dentro de um sistema isolado.

Em teoria, podemos substituir um determinado corpo por uma massa de água equivalente ao corpo nas trocas de calor, isto é, a massa de água deve ter a mesma capacidade térmica do corpo:

$$C_{corpo} = C_{\text{água}}$$

$$m_{corpo} \cdot c_{corpo} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}}$$

É comum representar a massa de água (expressa em gramas) pela letra **E** e como o calor específico da água pode ser considerado igual a $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, temos a relação:

$$m_{corpo} \cdot c_{corpo} = E \cdot 1$$

Dizemos que o **equivalente em água** de um corpo é a massa **E** de água que tem a mesma capacidade térmica do corpo considerado, sendo assim, possível substituir o corpo pelo equivalente em água de forma que não afeta o equacionamento das trocas de calores.

Por exemplo, um corpo de massa igual a 200 gramas, feito de um material que apresenta calor específico igual a $0,22 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Dessa forma, a capacidade térmica desse corpo é de:

$$C_{corpo} = m_{corpo} \cdot c_{corpo} = 200 \cdot 0,22$$

$$C_{corpo} = 44 \text{ cal}^\circ\text{C}$$

Para determinar o equivalente em água, devemos ter que a capacidade térmica do corpo tem que ser igual à da água:

$$C_{corpo} = C_{\text{água}}$$



$$44 \text{ cal}/^{\circ}\text{C} = m_{\text{água}} \cdot 1 \text{ cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{água}} = 44 \text{ g}$$

Ou seja, uma porção de água de 44 gramas teria efeito equivalente ao corpo referido, quando efetuadas as trocas de calor. Assim, podemos dizer que o equivalente em água desse corpo é igual a 44 gramas:

$$E_{\text{corpo}} = 44 \text{ g}$$



4.7 CALORÍMETRO

Normalmente, quando vamos fazer uma mistura térmica de dois ou mais corpos, é necessário utilizar um recipiente adequado, principalmente, se algum dos corpos está no estado líquido. Chamamos esse tipo de recipiente de **calorímetro**.

Geralmente, utilizamos calorímetros metálicos (alumínio ou cobre), isolados termicamente por um revestimento de isopor. Em sua tampa, que também é revestida de isopor, é feito um pequeno orifício por onde se introduz um termômetro, que monitora a temperatura da mistura. Quando estudamos transferência de calor, veremos a razão de usar isopor como isolante térmico.

Na figura abaixo temos um exemplo de um calorímetro comum:

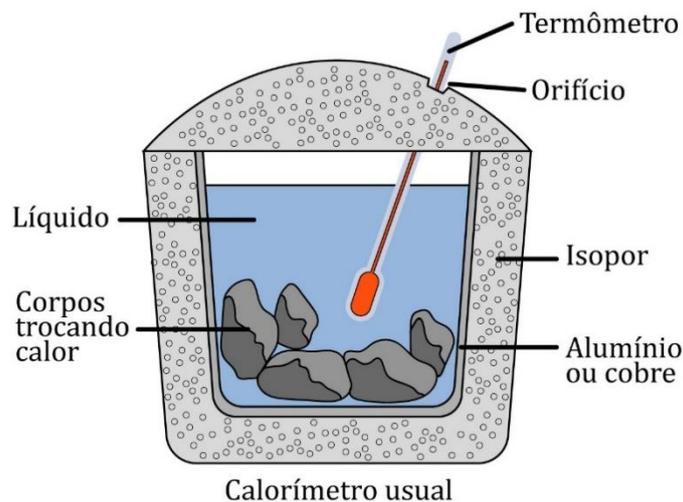


Figura 29: Calorímetro usual.

Note que o calorímetro além de ser recipiente onde ocorre as trocas de calor, ele também participa recebendo ou cedendo calor. Portanto, devemos levar em consideração sua capacidade calorífica no equacionamento. Entretanto, é comum não ser fornecido os valores do calor



específico do material de que é feito o calorímetro, nem a sua massa. Para isso, utilizamos o seu equivalente em água, da seguinte forma:

$$C_{\text{calorímetro}} = E \cdot c_{\text{água}}$$

Denotamos como **calorímetro ideal** aquele que permite as trocas de calor no seu interior e o meio externo não troca calor com os corpos nele contidos. Na prática, esse calorímetro não existe, mas é comum ele aparecer nos exercícios, quando os enunciados mencionam que a capacidade térmica do calorímetro é desprezível ou equivalente em água desprezível.



Exemplo 29:

Considere um sistema termicamente isolado, contendo uma mistura de 200 gramas de água a 10 °C com um bloco de ferro de 400 gramas a 100 °C. Qual a temperatura final do equilíbrio térmico?

Dados: $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $c_{\text{Fe}} = 0,12 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$.

Comentários:

De acordo com o enunciado, o recipiente possui capacidade térmica desprezível, portanto, temos um sistema termicamente isolado, onde podemos escrever que:

$$\sum Q_{\text{cedido}} + \sum Q_{\text{recebido}} = 0$$

Notamos que o ferro está a uma temperatura mais alta que a água, portanto, ele cede calor que é recebido pela água:

$$Q_{\text{Fe}} + Q_{\text{água}} = 0$$

$$m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot \Delta\theta_{\text{Fe}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_{\text{água}} = 0$$

$$400 \cdot 0,12 \cdot (\theta_e - 100) + 200 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 10) = 0$$

Simplificando a equação acima, temos:

$$2 \cdot 12(\theta_e - 100) + 100(\theta_e - 10) = 0$$

$$124\theta_e = 3400$$

$$\theta_e = 27,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Note que a temperatura de equilíbrio está dentro do intervalo das temperaturas dos componentes da mistura, isto é, $10 < 27,4 < 100$. Se você está fazendo um exercício de trocas de calor e encontra uma temperatura fora do intervalo da maior e da menor temperatura é porque tem algo errado nas contas ou na montagem da equação que representa as trocas de calor.

Se tivéssemos feito no literal esse problema, não havendo nenhuma mudança de fase entre algum dos dois dentro do calorímetro, teríamos o seguinte equacionamento:

$$\sum Q_{\text{cedido}} + \sum Q_{\text{recebido}} = 0$$

$$Q_{\text{Fe}} + Q_{\text{água}} = 0$$

$$m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot \Delta\theta_{\text{Fe}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_{\text{água}} = 0$$

$$m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot (\theta_e - \theta_{\text{Fe}}) + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_e - \theta_{\text{água}}) = 0$$



$$\theta_e (m_{Fe} \cdot c_{Fe} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}}) = m_{Fe} \cdot c_{Fe} \cdot \theta_{Fe} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \theta_{\text{água}}$$

$$\theta_e = \frac{m_{Fe} \cdot c_{Fe} \cdot \theta_{Fe} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \theta_{\text{água}}}{m_{Fe} \cdot c_{Fe} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}}}$$

Como $m_{Fe} \cdot c_{Fe} = C_{Fe}$ e $m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} = C_{\text{água}}$, temos que:

$$\theta_e = \frac{C_{Fe} \cdot \theta_{Fe} + C_{\text{água}} \cdot \theta_{\text{água}}}{C_{Fe} + C_{\text{água}}}$$

Este resultado mostra que a temperatura de equilíbrio é uma média aritmética ponderada das temperaturas iniciais, tendo como pesos as capacidades térmicas de cada corpo.

Exemplo 30.

Em um calorímetro de equivalente em água de 10 g, à temperatura ambiente de 20 °C, foi misturado 200 gramas de um líquido de calor específico 0,79 cal/g°C, a 35 °C, com um bloco de metal de 300 gramas, a 150 °C. Dado que $\theta_e = 40$ °C, calcule o calor específico do metal.

Comentários:

Considerando o sistema como termicamente isolado, temos que:

$$\sum Q_{\text{cedido}} + \sum Q_{\text{recebido}} = 0$$

$$Q_{\text{metal}} + Q_{\text{líquido}} + Q_{\text{calorímetro}} = 0$$

$$C_{\text{metal}} \cdot (\theta_e - \theta_{0_{\text{metal}}}) + C_{\text{líquido}} \cdot (\theta_e - \theta_{0_{\text{líquido}}}) + C_{\text{calorímetro}} \cdot (\theta_e - \theta_{0_{\text{calorímetro}}}) = 0$$

Como bem sabemos, a capacidade térmica do calorímetro pode ser expressa por:

$$C_{\text{calorímetro}} = E \cdot c_{\text{água}} = 10 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} = 10 \text{ cal}/^\circ\text{C}$$

Portanto:

$$300 \cdot c_{\text{metal}} \cdot (40 - 150) + 200 \cdot 0,79 \cdot (40 - 35) + 10 \cdot (40 - 20) = 0$$

$$c_{\text{metal}} = 0,03 \text{ cal}/\text{g}^\circ\text{C}$$

Exemplo 31.

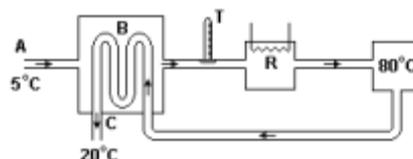
O processo de pasteurização do leite consiste em aquecê-lo a altas temperaturas, por alguns segundos, e resfriá-lo em seguida. Para isso, o leite percorre um sistema, em fluxo constante, passando por três etapas:

I) O leite entra no sistema (através de A), a 5 °C, sendo aquecido (no trocador de calor B) pelo leite que já foi pasteurizado e está saindo do sistema.

II) Em seguida, completa-se o aquecimento do leite, através da resistência R, até que ele atinja 80 °C.

Com essa temperatura, o leite retorna a B.

III) Novamente, em B, o leite quente é resfriado pelo leite frio que entra por A, saindo do sistema (através de C), a 20 °C.



Em condições de funcionamento estáveis, e supondo que o sistema seja bem isolado termicamente, pode-se afirmar que a temperatura indicada pelo termômetro T, que monitora a temperatura do leite na saída de B, é aproximadamente de



- a) 20 °C
- b) 25 °C
- c) 60 °C
- d) 65 °C
- e) 75 °C

Comentários:

Vamos considerar o sistema funcionando em condições estáveis e que ele seja isolado termicamente. Dessa forma, há apenas troca de calor entre o leite quente e o leite frio. Do enunciado, ele considera que o fluxo de massa é constante, portanto, se pegarmos um intervalo de tempo, a massa de leite quente é igual a massa de leite frio ($m_f = m_q$). Logo, todo calor cedido pelo leite quente que se resfria de 80 °C (após passar pela resistência) para 20 °C, será cedido para esquentar o leite frio que está entrando a 5 °C:

$$Q_{frio} + Q_{quente} = 0$$

$$m_f \cdot c \cdot (\theta - 5) + m_q \cdot c \cdot (20 - 80) = 0$$

Como $m_f \cdot c = m_q \cdot c$, então:

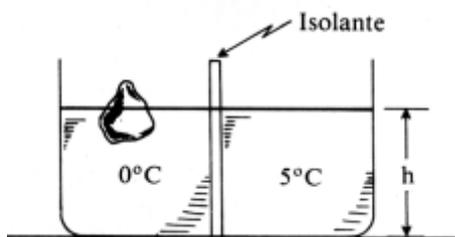
$$(\theta - 5) + (20 - 80) = 0$$

$$\boxed{\theta = 65 \text{ °C}}$$

Alternativa correta D.

Exemplo 32.

A figura mostra dois recipientes idênticos, um deles contendo 100 g de água a 5 °C e outro, água em equilíbrio térmico com gelo, separados com um isolante térmico. Retirando-se o isolante, o gelo funde-se totalmente e o sistema entra em equilíbrio térmico a 0 °C. Não há trocas de calor com o meio exterior. O calor latente do gelo é 80 cal/g, a densidade da água 1 g/cm³ e a densidade do gelo 0,90 g/cm³.



Pede-se:

- a) a massa total do sistema;
- b) a quantidade de gelo inicial.

Comentários:

O volume do lado esquerdo for igual ao volume do lado direito, demonstraremos esse fato em hidrostática.

Por isso, se derretêssemos o gelo do lado esquerdo, o volume de água do lado esquerdo seria igual ao volume da água do lado direito.

Dessa forma, nosso sistema teria 100 gramas de cada lado, totalizando 200 gramas.

b) Fazendo o balanço de energia, lembrando que a temperatura de equilíbrio é de 0 °C, temos que:

$$\sum Q_{cedido} + \sum Q_{recebido} = 0$$

$$100 \cdot 1 \cdot (0 - 5) + m_{gelo} \cdot 80 + m_{água} \cdot 1 \cdot (0 - 0) = 0$$



$$m_{\text{gelo}} = 6,25 \text{ gramas}$$

5.0 MUDANÇAS DE ESTADO

O estado físico de um corpo depende do estado de agregação de suas partículas.

O estado sólido é caracterizado pelas partículas não terem grande liberdade de movimentação, não indo além as vibrações em torno de posições pré-definidas. De fato, as moléculas estão muito próximas nesse estado e as forças de atração (coesão) predominam nesse estado. Com isso, os corpos possuem um arranjo geométrico definido.

No estado líquido, existe uma maior liberdade de agitação das partículas da substância do que no estado sólido, mas ainda com uma coesão considerável. As partículas nos líquidos “deslizam” umas sobre as outras e se movem, fazendo com que o líquido tenha uma fluidez. Por isso, os líquidos possuem volume bem definido, mas forma variável se ajustando ao formato do recipiente que o contém.

Já no estado gasoso, as moléculas estão afastadas umas das outras de tal forma que as forças de coesão entre elas sejam muito fracas, inclusive para gases ideais (assunto muito cobrado em química) essas forças são ignoradas. Com isso, elas podem se movimentar com uma liberdade maior do que no estado líquido. Dessa forma, substâncias gasosas não possuem volume nem forma definida.

Dependendo da quantidade de energia que um corpo cede ou recebe, ele pode passar de um estado físico para outro. Podemos representar as mudanças de estado conforme no esquema abaixo:



Figura 30: Mudanças de estado físico.

Na sublimação, passagem do estado sólido para o gasoso (ou sentido inverso, gasoso para o sólido) ocorre sem que a substância passe pela fase líquida.

Chamamos de **transformações endotérmicas** aqueles em que é necessário **receber calor** para ocorrer. São elas: a fusão, a vaporização e a sublimação (do sólido para o gasoso).

Denominamos **transformações exotérmicas** aqueles em que é necessário **perder calor** para ocorrer. São elas: a solidificação, a liquefação e a sublimação (do gasoso para o sólido).

Vale ressaltar que a quantidade de calor necessária para a substância sofrer a fusão é mesma quantidade necessários na transformação inversa, solidificação, estando submetidos à



mesma temperatura ambiente. O mesmo raciocínio é válido para a vaporização e para a liquefação.

5.1 CALOR LATENTE

Até agora, vimos o calor que produz variação de temperatura. Entretanto, pode haver uma transferência de energia térmica capaz de mudar o estado físico do corpo, chamamos de calor latente.

Dessa forma, dizemos que o calor sensível é a energia térmica que altera a energia cinética de translação das partículas. Como veremos mais a frente, essa energia cinética está diretamente ligada à temperatura do corpo.

Por outro lado, o calor latente é a energia térmica que se transforma em energia potencial de agregação. Com isso, altera-se o arranjo físico das partículas do sistema e muda o estado, sem alteração de temperatura.

Definimos calor latente como:

A quantidade de calor que a substância troca por unidade de massa durante a mudança de estado.

Por exemplo, o calor latente para vaporizar a água sob pressão normal é de:

$$L_V = 540 \text{ cal/g}$$

Quando ocorre a transformação inversa, ou seja, a água passa do estado vapor para o estado líquido, processo chamado condensação ou liquefação, a quantidade de calor envolvida nesse processo teria o mesmo módulo de L_V mas, por convenção de sinal, seria negativa, já que foi perdida pela substância. Dessa forma, o calor latente de liquefação da água, sob pressão normal, vale:

$$L_C = -540 \text{ cal/g}$$

Assim, o calor latente de uma determinada substância depende da transição que está ocorrendo. Por exemplo, quando o gelo se derrete, transformando-se em água no estado líquido, processo denominado fusão, o calor latente é $L_F = 80 \text{ cal/g}$. Para a transformação inversa, isto é, processo de solidificação da água ou congelamento, o calor latente é $L_S = -80 \text{ cal/g}$.

Como definimos, calor latente é a quantidade de calor por unidade de massa, em outras palavras:

$$L = \frac{Q}{m} \text{ ou } Q = m \cdot L$$



5.2 A FUSÃO E A SOLIDIFICAÇÃO

Vamos considerar um bloco de gelo de massa m , com temperatura inicial de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, sob pressão normal. Se fornecermos calor a esse bloco, suas moléculas absorvem essa energia, o que provoca um aumento de temperatura.

Se continuarmos fornecendo calor, iremos até a temperatura na qual a estrutura molecular não consegue se manter, denominada de **temperatura de fusão**. Quando atingida esta temperatura, a estrutura molecular sólida começa a se desarranjar. Com isso, a substância torna-se líquida e chamamos esse processo de **fusão**. Se continuarmos a fornecer calor, veremos que a temperatura do líquido aumentará.

Vale salientar que a temperatura de fusão de uma substância é bem definida e depende apenas da substância e da pressão a que está sujeita. Sempre adotaremos que a pressão permanece constante durante os processos de mudança de estado físico.

Se o nosso bloco de gelo é aquecido de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, temos que:

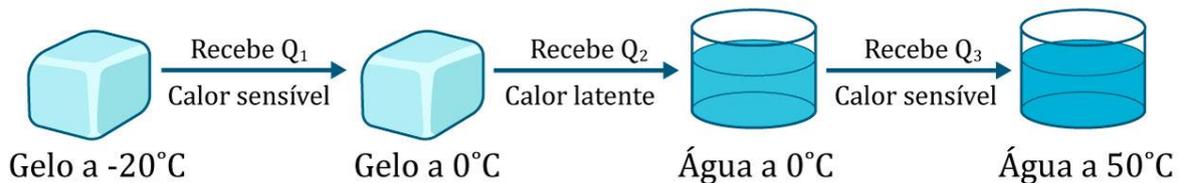


Figura 31: Gelo à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ virando água à $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Assim, o calor total recebido pelo sistema para elevar a temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ é dado por:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot (0 - \theta_{0_{\text{gelo}}}) + m_{\text{gelo}} \cdot L_{F_{\text{gelo}}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_f - 0)$$

Podemos representar a curva de aquecimento desse sistema conforme o gráfico abaixo:

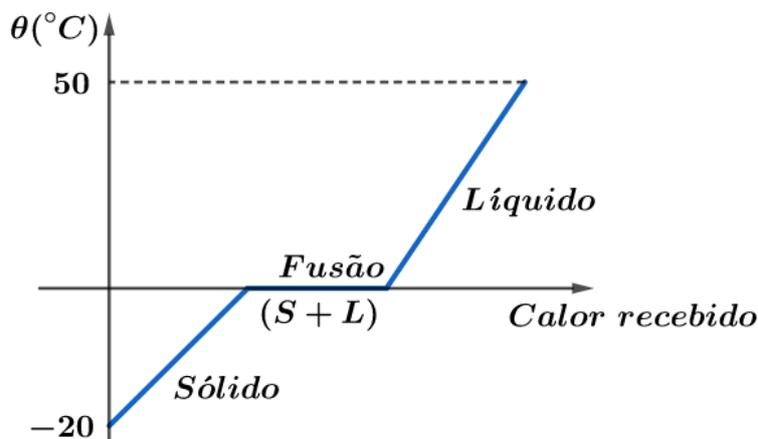


Figura 32: Gráfico da temperatura em função do calor recebido.

Note que o trecho da fusão corresponde a um intervalo que fornecemos calor, mas não há variação de temperatura. Como é esperado, o **processo inverso da fusão** é a **solidificação**.



Se tivéssemos tomado o processo inverso, isto é, partir da água a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e levarmos a gelo $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nesse processo, é necessário retirar calor da água. Dessa forma, a energia cinética de translação das partículas diminui, em outras palavras, sua temperatura reduz.

Esse decréscimo na temperatura da água líquida possui um valor limite. Quando o sistema atinge a temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ cessa o processo e a partir daí, se continuarmos o processo de retirada de calor, as moléculas se reorganizarão na estrutura do estado sólido, promovendo a diminuição da energia potencial de agregação, sem alteração de temperatura.

Após o rearranjo molecular (solidificação), se mantermos a retirada de calor da água, a temperatura irá voltar a diminuir, como no esquema representativo abaixo:

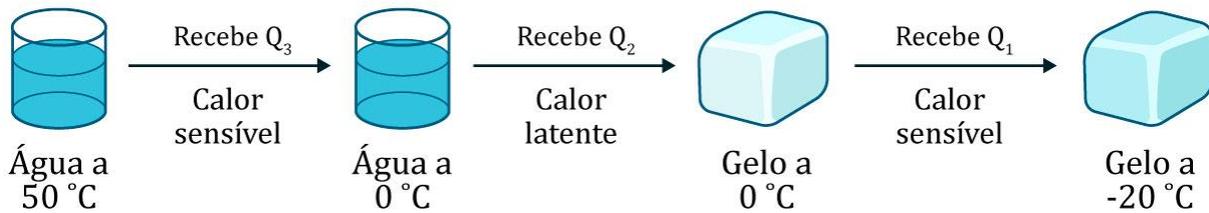


Figura 33: Água à $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ virando gelo à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Podemos calcular o calor total cedido pelo sistema da seguinte forma:

$$Q = Q_3 + Q_2 + Q_1$$

$$Q = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (0 - \theta_{0_{\text{água}}}) + m_{\text{água}} \cdot L_{S_{\text{água}}} + m_{\text{gelo}} \cdot c_{\text{gelo}} (\theta_f - 0)$$

Como bem sabemos, L_S e L_F são iguais em módulos, mas é convencionalizado que L_F seja positivo (calor recebido) e L_S seja negativo (calor cedido).

A curva de resfriamento desse processo pode ser representada de acordo com o gráfico abaixo:

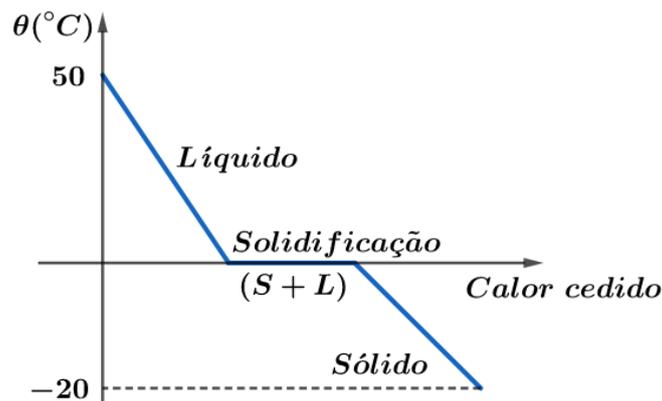


Figura 34: Gráfico da temperatura em função do calor cedido.

Observe que as mesmas considerações e explicações feitas para a fusão-solidificação do gelo vale para a maioria das substâncias. A tabela abaixo mostra os valores de calor latente e de temperatura de fusão para algumas substâncias, sob pressão atmosférica normal:



SUBSTÂNCIA	L_F (cal/g)	θ_F (°C)
Água (H_2O)	80	0
Alumínio (Al)	94	660
Cobre (Cu)	41	1083
Ferro (Fe)	49	1535
Mercúrio (Hg)	2,8	-39



Exemplo 33:

Qual a quantidade de calor 100 gramas de gelo precisam ganhar para ir de -20 °C a 50 °C ? Dados que: $c_{\text{gelo}} = 0,50\text{ cal/g °C}$, $L_F = 80\text{ cal/g}$, $c_{\text{água}} = 1,0\text{ cal/g °C}$.

Comentários:

Da teoria, sabemos que o gelo sofre fusão a 0 °C . Assim, teremos as seguintes etapas:

- 1) Q_1 : gelo recebe calor até atingir a temperatura de 0 °C (calor sensível).
- 2) Q_2 : gelo recebe calor para se fundir (calor latente).
- 3) Q_3 : água recebe calor para ir de 0 °C a 50 °C

Logo, a quantidade de calor total é dada por:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

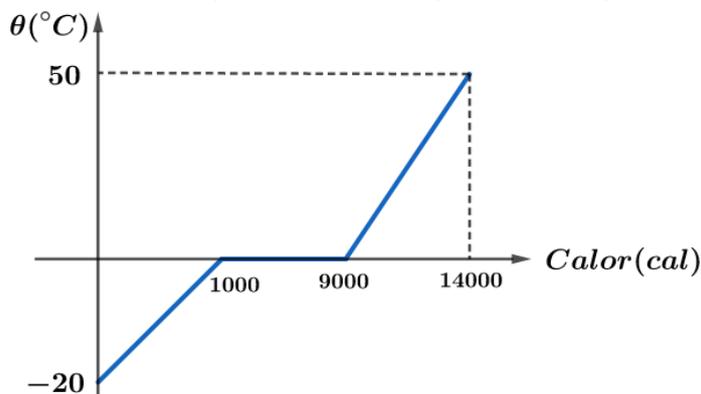
$$Q = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot (0 - \theta_{0_{\text{gelo}}}) + m_{\text{gelo}} \cdot L_{F_{\text{gelo}}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_f - 0)$$

$$Q = 100 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-20)) + 100 \cdot 80 + 100 \cdot 1 \cdot (50 - 0)$$

$$Q = 1000 + 8000 + 5000$$

$$Q = 14000\text{ cal ou } Q = 14\text{ kcal}$$

Para esse processo, a curva de aquecimento é representada por:



Exemplo 34:

Em um calorímetro ideal misturam-se 200 gramas de gelo a -20 °C com 100 gramas de água a uma temperatura θ .

Considere que: $c_{\text{gelo}} = 0,50\text{ cal/g °C}$, $L_F = 80\text{ cal/g}$, $c_{\text{água}} = 1,0\text{ cal/g °C}$.

Calcule:



- a) a temperatura inicial da água (θ), para que no equilíbrio térmico coexistam massas iguais de gelo e de água.
 b) a temperatura da água, quando o gelo atinge 0°C , de acordo com as considerações do item a.

Comentários:

a) Se considerarmos o calorímetro ideal, podemos escrever que:

$$(Q_{cedido})_{\text{água}} + (Q_{recebido})_{\text{gelo}} = 0$$

A condição do item a é que coexista água e gelo, portanto, a temperatura de equilíbrio térmico é de 0°C e do enunciado, a massa de gelo é maior que a massa de água, então:

$$m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (0 - \theta) + m_{\text{gelo}} \cdot c_{\text{gelo}} \cdot (0 - (-20)) + (m_{\text{gelo}})_{\text{fundido}} \cdot L_F = 0$$

$$100 \cdot 1 \cdot (-\theta) + 200 \cdot 0,5 \cdot 20 + (m_{\text{gelo}})_{\text{fundido}} \cdot 80 = 0$$

Como as massas devem ser iguais, então:

$$m_{\text{água}} = m_{\text{gelo}}$$

$$100 + 200 = m_{\text{água}} + m_{\text{gelo}}$$

$$m_{\text{água}} = m_{\text{gelo}} = 150 \text{ g}$$

Como a massa inicial de gelo é de 200 gramas, logo, se fundirá 50 gramas de gelo. Portanto:

$$100 \cdot 1 \cdot (-\theta) + 200 \cdot 0,5 \cdot 20 + 50 \cdot 80 = 0$$

$$-100\theta + 2000 + 4000 = 0$$

$$\theta = 60^\circ\text{C}$$

b) Do item a, notamos que o gelo precisou receber 2000 cal para atingir a temperatura de 0°C e mais 4000 cal para fundir 50 gramas de gelo. Logo, a água perdeu apenas 2000 cal para que o gelo chegasse a 0°C .

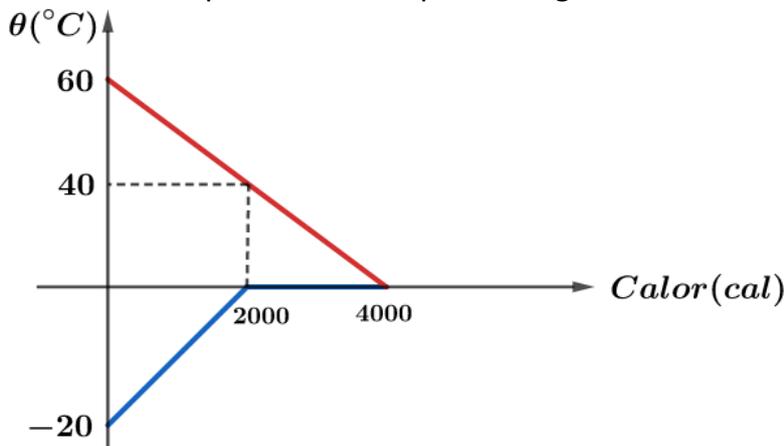
Portanto:

$$Q_{cedido} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_a - 60)$$

$$-2000 = 100 \cdot 1 \cdot (\theta_a - 60)$$

$$\theta_a = 40^\circ\text{C}$$

Poderíamos representar esse processo graficamente da seguinte forma:

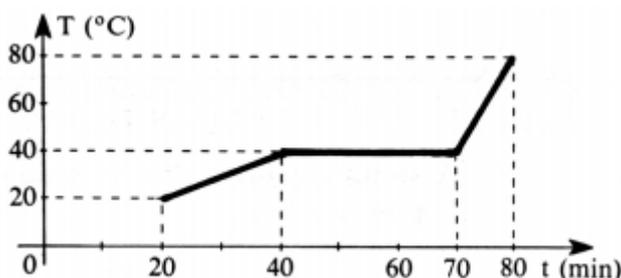




Exemplo 35. (FUVEST-SP)

Aquecendo-se 30 g de uma substância à razão constante de 30 cal/min, dentro de um recipiente bem isolado, sua temperatura com o tempo de acordo com a figura. A 40 °C ocorre uma transição entre duas fases distintas.

- Qual o calor latente de transição?
- Qual o calor específico entre 70 °C e 80 °C?



Comentários:

a) Dado que a potência é constante e de 30 cal/min, durante a transição de estados, o tempo gasto foi de $70 - 40 = 30 \text{ min}$. Portanto, a quantidade de calor é de:

$$Q_L = P \cdot \Delta t$$

$$Q_L = 30 \cdot 30 = 900 \text{ cal}$$

Logo, o calor latente é dado por:

$$L = \frac{Q_L}{m}$$

$$L = \frac{900}{30}$$

$$\boxed{L = 30 \text{ cal/g}}$$

b) Inicialmente, devemos encontrar quanto tempo ele leva para sair 70 °C para 80 °C. Considerando a potência fornecida constante, então, se ele leva 10 minutos (80 – 70) para ir de 40 °C a 80 °C, ele gasta 2,5 min para elevar a temperatura de 10 °C. Logo, a quantidade de calor trocado de 70 °C para 80 °C é dado por:

$$Q = P \cdot \Delta t$$

$$Q = 30 \cdot 2,5 = 75 \text{ cal}$$

Assim, temos que:

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

$$75 = 30 \cdot c \cdot (80 - 70)$$

$$\boxed{c = 0,25 \text{ cal/g}^\circ\text{C}}$$

Observação: como já vimos, trabalhamos com um valor médio de calor específico. Como ele é constante durante todo o intervalo de 70 min a 80 min, então poderíamos ter pensado também:

$$Q = P \cdot \Delta t$$

$$Q = 30 \cdot 10$$

$$Q = 300 \text{ cal}$$

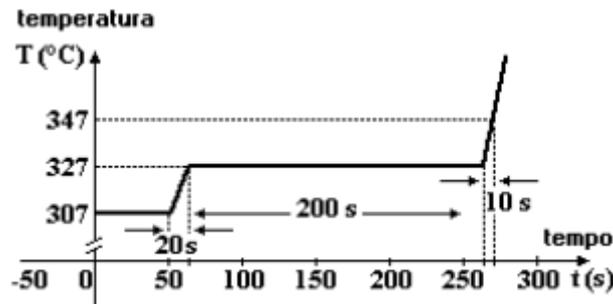
$$300 = 30 \cdot c \cdot (80 - 40)$$

$$\boxed{c = 0,25 \text{ cal/g}^\circ\text{C}}$$



Exemplo 36. (Fuvest – 1996)

Um recipiente de paredes finas contém 100g de uma liga metálica. O gráfico representa a temperatura T da liga em função do tempo t . Até o instante $t = 50s$, a liga recebe de um aquecedor a potência $P_0 = 30 W$ e, a partir desse instante, passa a receber a potência $P_1 = 43 W$. A temperatura de fusão da liga é $327^\circ C$ e a de ebulição é superior a $1500^\circ C$. Na situação considerada a liga perde calor para o ambiente a uma taxa constante. Avalie:



- a) a quantidade de calor perdida pela liga, a cada segundo, em J .
- b) a energia (em J) necessária para fundir 1g da liga.
- c) a energia (em J) necessária para elevar, de $1^\circ C$, a temperatura de 1g da liga no estado líquido.
- d) a energia (em J) necessária para elevar, de $1^\circ C$, a temperatura de 1g da liga no estado sólido.

Comentários:

a) Note que pelo gráfico, de 0 a 50 segundos, a temperatura permaneceu rigorosamente a $307^\circ C$. Assim, concluímos que todo calor recebido pela liga é liberado pela liga. Portanto, a quantidade de calor perdida pela liga é de $30 J/s$.

b) A partir de 50 segundos, a potência passa a ser de $43 W$, portanto, o acréscimo de $13 W$ é responsável para fundir a liga. Portanto:

$$Q = P \cdot \Delta t$$

$$Q = 13 \cdot 200 = 2600 J$$

Note que essa quantidade de calor é para fundir 100 gramas da liga, então, para fundir 1 grama, precisamos de $26 J$.

c) Na fase líquida, mantida a potência fornecida constante, a liga leva 10 segundo para elevar sua temperatura de $327^\circ C$ para $347^\circ C$. Logo, a quantidade de calor nesse processo é de:

$$Q = P \cdot \Delta t$$

$$Q = 13 \cdot 10$$

$$Q = 130 J$$

Notamos que foram necessários $130 J$ para elevar a temperatura em $347 - 327 = 20^\circ C$. Logo, por regra de três simples, podemos dizer que precisamos de $6,5 J$ para elevar 100 gramas da liga em $1^\circ C$. Portanto, para 1 grama de liga, precisamos de $6,5 \cdot 10^{-2} J$ para elevar a liga líquida de $1^\circ C$.

d) Na fase sólida, mantida a potência fornecida constante, a liga leva 20 segundo para elevar a temperatura de $307^\circ C$ para $327^\circ C$. Logo, a quantidade de calor nesse processo é de:

$$Q = P \cdot \Delta t$$

$$Q = 13 \cdot 20$$



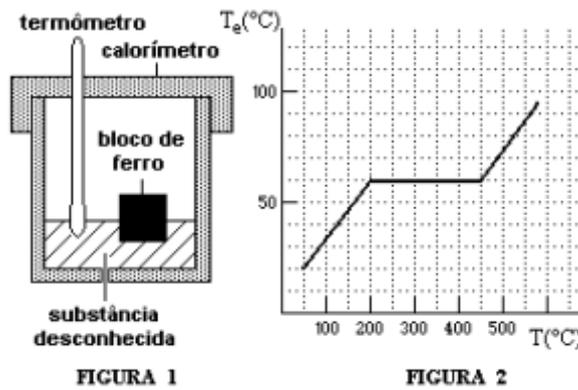
$$Q = 260 J$$

Portanto, precisamos de 13 J para elevar 100 gramas de liga em 1°C. Logo, para 1 grama de liga, são necessários $1,3 \cdot 10^{-1} J$ para elevar a liga sólida de 1 °C.

Exemplo 37. (Fuvest – 1997)

Um pesquisador estuda a troca de calor entre um bloco de ferro e certa quantidade de uma substância desconhecida, dentro de um calorímetro de capacidade térmica desprezível (ver Figura 1). Em sucessivas experiências, ele coloca no calorímetro a substância desconhecida, sempre no estado sólido à temperatura $T_0 = 20\text{ °C}$, e o bloco de ferro, a várias temperaturas iniciais T , medindo em cada caso a temperatura final de equilíbrio térmico T_e . O gráfico da Figura 2 representa o resultado das experiências. A razão das massas do bloco de ferro e da substância desconhecida é $m_f/m_s = 0,8$.

Considere o valor do calor específico do ferro igual a $0,1\text{ cal}/(g\text{ °C})$. A partir destas informações, determine para a substância desconhecida:



- a) a temperatura de fusão, $T_{\text{fusão}}$.
- b) o calor específico, c_s , na fase sólida.
- c) o calor latente de fusão L .

Comentários:

a) Olhando o gráfico fornecido na figura 2, concluímos que a temperatura de fusão é de 60 °, pois o bloco de ferro fornece calor para a substância e não há variação de temperatura de equilíbrio nesse patamar, simbolizando uma mudança de estado, no caso a fusão.

b) Fazendo o balanço de energia entre o sólido e a substância misteriosa temos:

$$Q_{\text{bloco}} + Q_{\text{substância}} = 0$$

$$m_f \cdot c_f \cdot (60 - 200) + m_s \cdot c_s \cdot (60 - 20) = 0$$

$$c_s = \frac{m_f}{m_s} \cdot c_f \cdot \left(\frac{140}{40}\right)$$

$$c_s = 0,8 \cdot 0,1 \cdot \frac{14}{4}$$

$$\boxed{c_s = 0,28\text{ cal}/g\text{ °C}}$$

c) Note que a partir de 450 °C, a substância está na fase líquida, pois ao adicionar mais calor por blocos a temperaturas mais altas, veremos que a temperatura de equilíbrio aumentará sempre. Portanto, todo o calor cedido pelo bloco com temperatura inicial de 450 °C e temperatura final de 60 °C, será utilizado pela substância para elevá-la de 20 °C a 60 °C e fundi-la totalmente. Pelo balanço de energia, temos que:



$$(Q_{\text{bloco}})_{450^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}} + (Q_S)_{20^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}} + (Q_S)_{\text{fusão}} = 0$$

$$m_f \cdot c_f \cdot (60 - 450) + m_S \cdot c_S \cdot (60 - 20) + m_S \cdot L_S = 0$$

$$\frac{m_f}{m_S} \cdot 0,1 \cdot (-390) + 0,28 \cdot 40 + L_S = 0$$

$$\boxed{L_S = 20 \text{ cal/g}}$$

Exemplo 38:

Dentro de um calorímetro ideal são colocados 40 g de água a 40 °C e um bloco de gelo de massa 10 g, à temperatura de -10 °C. Qual a temperatura final de equilíbrio térmico?

Considere que: $c_{\text{gelo}} = 0,50 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$, $L_F = 80 \text{ cal/g}$, $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$.

Comentários:

Nesse tipo de questão, vamos estabelecer 0 °C como referência, isto é, levar o sistema para 0 °C e analisar o calor cedido e o calor recebido. Vamos lá:

1) calor para resfriar a água até 0 °C:

$$Q_1 = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (0 - 40) = 40 \cdot 1 \cdot (-40) = -1600 \text{ cal}$$

Note que o sinal negativo mostra que a água cede calor para atingir 0 °C.

2) calor para aquecer o gelo até 0 °C:

$$Q_2 = m_{\text{gelo}} \cdot c_{\text{gelo}} \cdot (0 - (-10)) = 10 \cdot 0,5 \cdot (0 + 10) = 50 \text{ cal}$$

Note que o sinal positivo mostra que o gelo recebe calor para atingir 0 °C

Observe ainda que o saldo entre Q_1 e Q_2 é de -1550 cal. Isso mostra que a água e o gelo à temperatura de 0 °C e ainda estão sobrando 1550 cal. Não podemos nos esquecer que o calorímetro é ideal, por isso, não há trocas de calor com o exterior.

3) calor para derreter o gelo:

$$Q_3 = m_{\text{gelo}} \cdot (L_F)_{\text{gelo}} = 10 \cdot 80 = 800 \text{ cal}$$

Ao fazermos a soma $Q_1 + Q_2 + Q_3 = -750 \text{ cal}$, notamos que ainda sobram 750 cal no nosso sistema.

4) com o item 3, vemos que se tivéssemos a quantidade energia para levar toda água de 40 °C até 0 °C é maior que a quantidade de calor necessária para levar o gelo até a temperatura de 0 °C e derreter todo o gelo. Então, para esse sistema, é esperado que a temperatura final de equilíbrio seja acima de 0 °C. Assim, temos que:

$$Q_2 + Q_3 + (m_{\text{gelo}})_{\text{derretido}} \cdot c_{\text{água}}(\theta_e - 0) + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_e - 40) = 0$$

$$50 + 800 + 10 \cdot 1 \cdot \theta_e + 40 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 40) = 0$$

$$850 + 50\theta_e - 1600 = 0$$

$$50\theta_e = 750$$

$$\boxed{\theta_e = 25^{\circ}\text{C}}$$

Exemplo 39:

Considere a energia para derreter totalmente 50 g de a 0°C. Se essa energia fosse utilizada para erguer um corpo de 1 kg, qual altura ele atingiria?

Dados:

- Calor latente de fusão da água = 80 cal/g
- Aceleração da gravidade = 10 m/s²
- 1 Caloria = 4,2 Joules

Comentários:



A energia para derreter 50 g de gelo é dada por:

$$Q_{latente} = m \cdot L$$

$$Q_{latente} = 50 \cdot 80 = 4000 \text{ cal}$$

Em Joules:

$$Q_{latente} = 16800 \text{ J}$$

Se a energia fosse utilizada para erguer um corpo, teríamos apenas energia potencial gravitacional E_p .

$$E_p = m \cdot g \cdot h = Q_{latente}$$

$$1 \cdot 10 \cdot h = 16800$$

$$\boxed{h = 1680 \text{ m}}$$

Impressionante, não é? 😊

Note que o calor para realizar a fusão de uma substância é extremamente alto.

Exemplo 40:

Misturam-se quantidades iguais de gelo e de água. O gelo está a -20°C e a água está a 20°C . Qual é a temperatura final do sistema?

Dados:

- Calor latente de fusão da água = 80 cal/g
- Calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- Calor específico da água = $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Comentários:

A abordagem deste tipo de problema é com base nas análises das energias envolvidas. Primeiramente, calcularemos todas as energias.

Calcularemos a energia para o todo gelo passar de -20°C até 0°C e depois derreter. Chamaremos esse calor de Q .

$$Q = Q_{sensível} + Q_{latente}$$

$$Q = m \cdot 0,5 \cdot (0 - (-20)) + m \cdot 80$$

$$Q = 90m$$

Agora, calcularemos a energia necessária para toda a água ir de 20°C a 0°C . Chamaremos esse calor de q .

$$q = m \cdot 1 \cdot (0 - 20)$$

$$q = -10m$$

Percebemos que $q < Q$ e, portanto, a água líquida não conseguirá fornecer quantidade de calor suficiente para que o gelo aumente sua temperatura e depois derreta. A água líquida fornece calor para o gelo apenas aumentar sua temperatura. Note que o calor sensível do gelo é igual a $10m$, que é justamente o calor para a água ir de 20°C para 0°C . Dessa maneira, a temperatura final do sistema é 0°C , com equilíbrio estável entre água e gelo.



Observação:

- 1) Até aqui, consideramos nossos sólidos cristalinos, aqueles que apresentam moléculas dispostas ordenadamente num retículo. Entretanto, substâncias como o vidro não apresentam estruturas cristalinas, é considerado por algumas literaturas como um líquido de altíssima viscosidade. Tais “sólidos” sofrem um processo chamado **fusão pastosa**, quando aquecidos e não apresentam características bem definidas.
- 2) Considera-se apenas que a substância vai se tornando menos viscosa, passando por um “estado intermediário pastoso” e depois adquire características de líquido. Nesse caso, a temperatura não se mantém constante.
- 3) Em algumas substâncias compostas quando aquecidas, podem ocorrer sua decomposição antes de alcançar a temperatura de mudança de estado, como é o caso da madeira.



5.3 SOBREFUSÃO OU SUPERFUSÃO OU SUPER-RESFRIAMENTO

Em situações especiais, quando resfriamos um líquido podemos atingir temperaturas abaixo daquela que corresponde à de solidificação e a substância ainda se mantém na fase líquida.

O estado de sobrefusão é um equilíbrio metaestável, isto é, existe ilusoriamente um equilíbrio, que na verdade é uma passagem muito lenta para a outra fase. Basta uma pequena perturbação no recipiente e, bruscamente, o líquido se solidifica parcialmente ou totalmente.

Com isso, a temperatura do sistema aumenta até o ponto de solidificação. Isso ocorre devido ao calor liberado pela parte do líquido que se solidifica (a solidificação é uma transformação exotérmica).

Podemos representar graficamente a sobrefusão da seguinte forma:

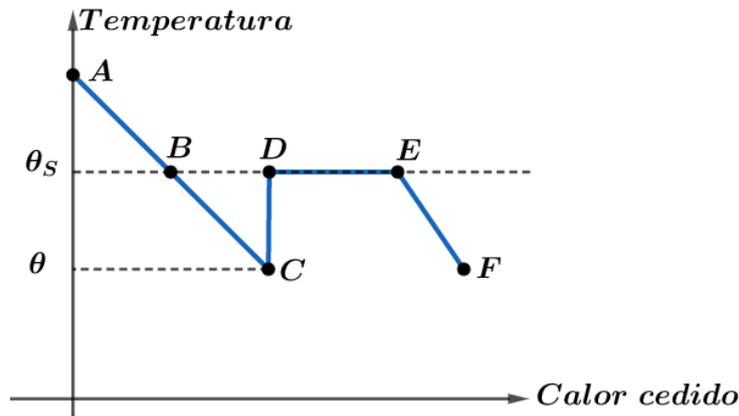


Figura 35: Temperatura em função do calor recebido para a superfusão.

Note que a substância se apresenta em sobrefusão no trecho BC e quando sofre a perturbação, altera-se bruscamente para o ponto D, que corresponde à temperatura de solidificação.

Se tomarmos uma massa M de um líquido em sobrefusão em uma temperatura θ menor que a temperatura de solidificação ($\theta < \theta_S$). Ao perturbamos o sistema, uma parte m da massa total do nosso líquido se solidifica e ao fazer isso, libera uma quantidade de calor suficiente para aquecer o sistema, voltando a temperatura de solidificação (θ_S). Podemos escrever que:

$$m \cdot L_F = M \cdot c_{liq} \cdot (\theta - \theta_S)$$



Exemplo 41. (Fuvest – SP)

Quando água pura é cuidadosamente resfriada, nas condições normais de pressão, pode permanecer no estado líquido até temperaturas inferiores a 0°C , num estado instável de "superfusão". Se o sistema é perturbado, por exemplo, por vibração, parte da água se transforma em gelo e o sistema se aquece até se estabilizar em 0°C . O calor latente de fusão da água é 80cal/g . Considerando-se um recipiente termicamente isolado e de capacidade térmica desprezível, contendo um litro de água a $-5,6^\circ\text{C}$, à pressão normal, determine:

- a) a quantidade, em gramas, de gelo formada, quando o sistema é perturbado e atinge uma situação de equilíbrio a 0°C ;
- b) a temperatura final de equilíbrio do sistema e a quantidade de gelo existente (considerando-se o sistema inicial no estado de "superfusão" a $-5,6^\circ\text{C}$), ao colocar-se, no recipiente, um bloco metálico de capacidade térmica $400\text{cal}/^\circ\text{C}$, na temperatura de 91°C .

Comentários:

a) Conforme visto em teoria, podemos dizer que o calor necessário para trazer a água até 0°C é expresso por:

$$Q = M \cdot c_{liq} \cdot (0 - (-5,6))$$



$$Q = 1000 \cdot 1 \cdot 5,6 = 5600 \text{ cal}$$

Esse calor ao ser cedido ao sistema, é responsável pela solidificação da seguinte quantidade de gelo:

$$Q = m \cdot L_F$$

$$5600 = m \cdot 80$$

$$m = 70 \text{ g}$$

b) notamos que o bloco metálico vai ceder 5600 cal para derreter as 70 gramas de gelo e teremos 70 + 930 gramas de água a 0 °C. A partir daí, todo calor ainda fornecido pelo bloco será utilizado pelos 1000 gramas de água até atingir a temperatura de equilíbrio:

$$\sum Q_{cedido} + \sum Q_{recebido} = 0$$

$$400 \cdot (\theta_e - 91) + 70 \cdot 80 + 1000 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 0) = 0$$

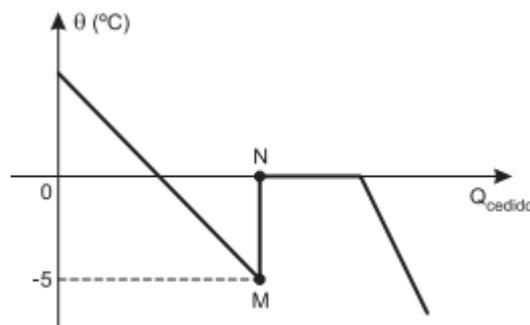
$$1400 \theta_e = 30800$$

$$\theta_e = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dado que a temperatura de equilíbrio é de 22 °C, a quantidade de gelo será nula.

Exemplo 42. (AFA – 2010)

A água, em condições normais, solidifica-se a 0 °C. Entretanto, em condições especiais, a curva de resfriamento de 160 g de água pode ter o aspecto a seguir.



Sabendo-se que o calor latente de fusão do gelo e o calor específico da água valem, respectivamente, 80 cal/g e 1,0 cal/g°C, a massa de água, em gramas, que se solidifica no trecho MN é

- a) 8
- b) 10
- c) 16
- d) 32

Comentários:

Note que no ponto M o líquido está em sobrefusão. Dessa forma, quando perturbado, o sistema solidifica parte da água (trecho MN). Considerando o sistema termicamente isolado, escrevemos que:

$$\sum Q_{cedido} + \sum Q_{recebido} = 0$$

$$Q_{cedido} + Q_{recebido} = 0$$

$$(m \cdot L_F)_{gelo} + (m \cdot c \cdot \Delta\theta)_{\acute{a}gua} = 0$$

$$m \cdot (-80) + 160 \cdot 1 \cdot (0 - (-5)) = 0$$

$$m = 10 \text{ g}$$

Alternativa correta B.



5.4 VAPORIZAÇÃO E LIQUEFAÇÃO

Liquefação ou condensação é a passagem de uma substância gasosa para a fase líquida. Trata-se de um processo **exotérmico**, onde há liberação de calor.

Por outro lado, vaporização é a passagem de uma substância líquida para a fase gasosa. Trata-se de um processo endotérmico, pois há recebimento de calor.

A ebulição e a evaporação são os principais processos de vaporização.

5.4.1. EBULIÇÃO

Ao fornecer calor a uma substância líquida, aumenta-se a energia de agitação de suas partículas, com isso, aumenta-se sua temperatura. Contudo, a temperatura aumenta até um certo limite, dependendo da substância e da pressão. A partir daí, a estrutura molecular começa a sofrer mudanças.

Se continuar fornecendo calor, a energia recebida pelo líquido é usada para desagregar a estrutura, transformando o líquido em vapor. Denominamos esse processo de ebulição.

Para a realização desse processo, toda massa líquida participa, o que provoca rápida produção de vapores em diversos pontos do líquido, gerando uma agitação intensa que pode ser observada.

Vale salientar que a temperatura de ebulição é bem definida e depende da natureza do líquido e da pressão a que está sujeito.

Como veremos na aula de fluidodinâmica, a pressão atmosférica depende do local e diminui à medida que se aumenta a altitude. Por isso, a temperatura de ebulição varia de local para local, aumentando conforme cresce a pressão.

Para lidar com esse fato, o homem inventou a panela de pressão, que, trata-se de um método para elevar a pressão dentro do recipiente, fazendo com que a água em seu interior ferva a uma temperatura mais alta e, com isso, o alimento cozinha a uma temperatura maior, reduzindo o tempo de cozimento.

Para a fusão dos sólidos de estrutura cristalina ($\theta_{Fusão}$) e para a ebulição dos líquidos ($\theta_{Ebulição}$) vale, de um modo geral, as três leis básicas:

1ª Lei:

Para uma dada pressão, cada substância possui uma $\theta_{Fusão}$ e uma $\theta_{Ebulição}$.

Por exemplo, a água sofre fusão a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e entra em ebulição a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, sob pressão normal (101325 Pa), já o álcool se solidifica a $-117,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e entra em ebulição a $78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, nessa pressão.

2ª Lei:

Para uma mesma substância, $\theta_{Fusão}$ e $\theta_{Ebulição}$ dependem da pressão.

Por exemplo, a água entra em ebulição a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ao nível do mar (altitude zero) e na cidade de São Paulo (altitude de 731 metros) a aproximadamente $98\text{ }^{\circ}\text{C}$.



3ª Lei:

Se a pressão permanecer constante, durante a fusão e a ebulição de uma substância $\theta_{Fusão}$ e $\theta_{Ebulição}$ permanecerão constante.

Quando não é mencionado no exercício, subentendesse que em uma mudança de estado a pressão permanece constante e igual à pressão atmosférica normal (101325 Pa).

Para exemplificar as mudanças de estado, vamos pegar um bloco de gelo de 100 gramas e aquecê-lo de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, sob pressão normal.

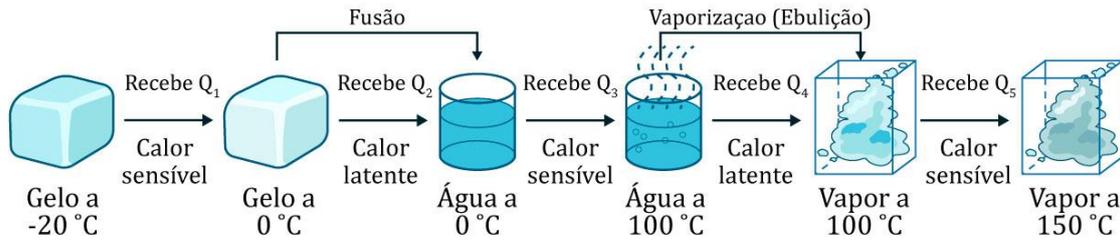


Figura 36: Todas as mudanças de estado físico para água.

O calor total pode ser escrito como:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$Q = (Q_{\text{gelo}})_{-20 \rightarrow 0} + (Q_{\text{gelo}})_{\text{derreter}} + (Q_{\text{água}})_{0 \rightarrow 100} + (Q_{\text{água}})_{\text{vaporizar}} + (Q_{\text{vapor}})_{100 \rightarrow 150}$$

$$Q = m \cdot c_{\text{gelo}}(0 - (-20)) + m \cdot L_F + m \cdot c_{\text{água}}(100 - 0) + m \cdot L_V + m \cdot c_{\text{vapor}}(150 - 100)$$

$$Q = 100 \cdot 0,5 \cdot 20 + 100 \cdot 80 + 100 \cdot 1 \cdot 100 + 100 \cdot 540 + 100 \cdot 0,48 \cdot 50$$

$$Q = 1000 + 8000 + 10000 + 54000 + 2400$$

$$Q = 75400 \text{ cal}$$

Onde todas as temperaturas são dadas em $^{\circ}\text{C}$. graficamente, temos a seguinte curva de aquecimento:

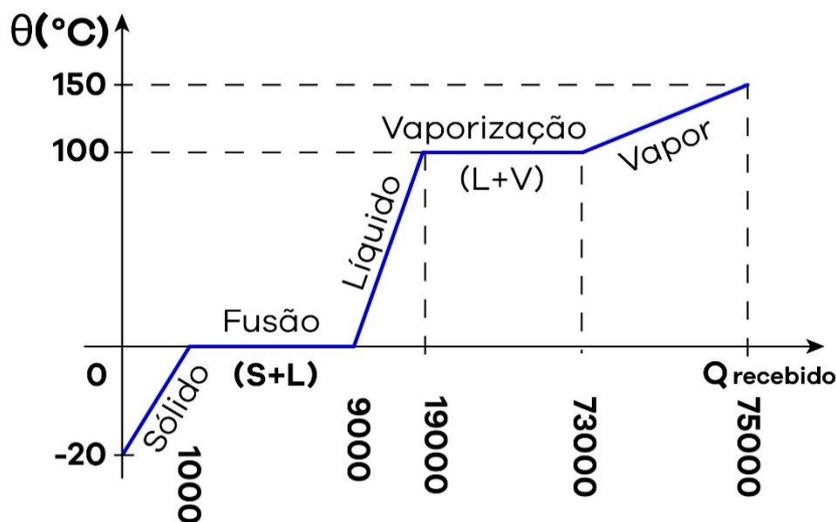


Figura 37: Gráfico da temperatura em função do calor recebido para o gelo à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.



TOME
NOTA!



5.4.2. EVAPORAÇÃO

Na evaporação, as partículas que possuem energia cinética grande o suficiente para escapar da força de interação com as outras moléculas, conseguem escapar se afastando das demais.

Ao contrário da ebulição, a evaporação é processo natural que não depende de uma certa temperatura para ocorrer. Trata-se de um processo lento, que ocorre somente na superfície livre do líquido.

A taxa com que ocorre a evaporação de um líquido depende de 5 fatores:

- 1) **Natureza do líquido (k):** Líquidos mais voláteis evaporam mais rápidos. Por exemplo, nas mesmas condições o éter evapora mais rápido que a água. Esse fato pode ser explicado pelas forças de coesão entre as moléculas dos dois líquidos. No éter, as forças de coesão são menores que as forças de coesão na água.
- 2) **Pressão na superfície livre do líquido (P_{Ext}):** quanto maior a pressão na superfície livre do líquido, mais difícil será para as partículas do líquido, diminuindo a rapidez de evaporação. Portanto, quanto maior a pressão externa na superfície livre do líquido, menor será a velocidade de evaporação.
- 3) **Área da superfície livre (A):** quanto maior for a área da superfície livre, maior será a rapidez da evaporação. Vemos esse fato na prática quando deixamos uma peça de roupa embolada e colocamos uma aberta no mesmo ambiente. Observamos que a peça de roupa aberta secará muito mais rápido.
- 4) **Temperatura:** quanto maior a temperatura, maior será a velocidade de evaporação. Apesar da evaporação não depender da temperatura para ocorrer, a temperatura influenciará na pressão máxima de vapor (P_{MV}), assunto do nosso próximo subtópico.
- 5) **Pressão de vapor do líquido (P_V):** esse fator mostra que quanto mais vapor do líquido estiver nas proximidades da superfície livre do líquido, menor será a rapidez da evaporação.

Diante desses fatores, Dalton propôs a seguinte lei para a evaporação:

$$v = k \cdot A \cdot \left(\frac{P_{MV} - P_V}{P_{ext}} \right)$$

Onde:

- k : fator que depende da natureza do líquido.
- A : área da superfície livre.
- P_{MV} : pressão máxima de vapor.



- P_V : pressão de vapor.
- P_{ext} : pressão externa a superfície livre.

Como o fator $\frac{P_{MV}-P_V}{P_{ext}}$ é adimensional, a análise da unidade da taxa de evaporação dependerá das unidades utilizadas em k e em A .



5.5 PRESSÃO DE VAPOR

Para entendermos esse conceito, vamos fazer um experimento considerando a temperatura constante.

Suponha que dispomos de um êmbolo, contendo água no estado líquido. No início, o êmbolo está em contato direto com a superfície livre da água.

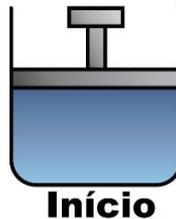


Figura 38: Êmbolo no estado inicial

Se levantarmos o êmbolo, surgirá um espaço entre ele e a superfície livre do líquido, que começa a ser preenchida por moléculas desse líquido vaporizadas. Entretanto, algumas dessas partículas ainda voltam para a fase líquida. Inicialmente, temos um maior número de partículas indo para o estado de vapor do que voltando para o líquido.

Após certo tempo, o sistema alcançará um equilíbrio dinâmico, isto é, o número de partículas que saem da fase líquida é igual ao número das que entram.

Quando atingida o equilíbrio, denominamos a região gasosa de **vapor saturante**, e sua pressão não aumentará mais para aquela temperatura do experimento. Dizemos que chegamos na **pressão máxima de vapor (P_{MV})**.

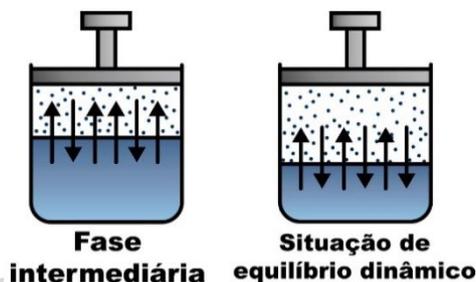


Figura 39: Variação no êmbolo até a situação de equilíbrio dinâmico.



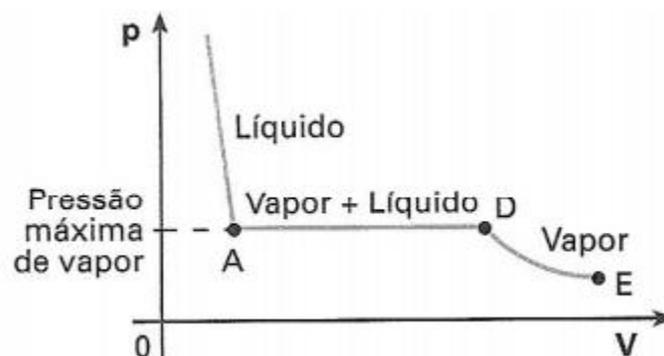
Caso ergamos o êmbolo um pouco mais, notaremos que o equilíbrio líquido/vapor será interrompido. Novamente, teremos vaporização do líquido, até que um novo equilíbrio dinâmico seja atingido, diante das novas condições, e a pressão voltará novamente ao seu valor máximo, para aquela temperatura em questão.

Dado que o nosso êmbolo é grande o suficiente para transformar todo líquido em vapor (podemos levantar o êmbolo indefinidamente), chegaremos até o ponto em que a última gota se evapore. Nesse momento, quando aumento no volume provocará uma queda de pressão e, como não existe mais líquido para vaporizar, ela não voltará mais ao seu valor máximo.

Dizemos que nessas condições o vapor é **não-saturante**.

Com o vapor não-saturante, se comprimirmos o vapor, observaremos que a pressão aumentará, quase que inversamente proporcional ao volume. Contudo, a pressão aumentará até um valor máximo, por mais que tentamos comprimir o vapor. Chegamos novamente a P_{MV} . A partir de um certo volume, ocorrerá liquefação, isto é, todo vapor passará para a fase líquida. Aumentando ainda mais a compressão, não haverá mais variação significativa de volume, já que os líquidos são praticamente incompressíveis.

O processo pode ser observado no gráfico abaixo:



Observação:

- 1) a pressão máxima de vapor depende apenas da temperatura e da substância, e ela aumenta com a temperatura.
- 2) Relembrando que a taxa de evaporação depende do fator $\frac{P_{MV}-P_V}{P_{ext}}$, quando o ambiente gasoso se torna saturado pelo vapor do líquido, isto é, $P_V = P_{MV}$, a rapidez de evaporação anula-se. Entretanto, quanto maior a diferença entre P_V e P_{MV} , maior será a taxa de evaporação.
- 3) A ebulição acontece à temperatura em que $P_{MV} = P_{Ext}$. Por exemplo, a $P_{MV} = 760 \text{ mmHg}$ a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Por isso, nessa pressão (760 mmHg) a água entra em ebulição a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Se tomarmos outro lugar como o pico do monte Everest, onde a pressão atmosférica é de 240 mmHg, a temperatura de ebulição da água é de $71 \text{ }^\circ\text{C}$, onde $P_{MV} = 240 \text{ mmHg}$.



ATENÇÃO
DECORE!



5.6 UMIDADE RELATIVA

Para falar sobre umidade relativa, peguei emprestado um trecho da aula do grande Thiago Cardoso, professor de química para ITA/IME.

A chuva ou precipitação pode ser entendida como a passagem do vapor de água para o estado líquido em quantidades suficientes para exercer um efeito visível.

Para estimar a probabilidade de chuva em uma região, a meteorologia frequentemente utiliza o conceito de umidade relativa do ar (URA).

Para entender esse conceito, você precisa ter em mente que **a atmosfera não é um sistema fechado** e é um sistema muito amplo. Por conta disso, é natural que apareçam desequilíbrios.

A água é um elemento bastante abundante na superfície do planeta. Por conta disso, o equilíbrio da água líquida envolvendo a água no estado de vapor é uma parte crucial do ciclo da água.

Já aprendemos que esse equilíbrio é caracterizado por uma pressão de vapor saturante. A umidade relativa do ar, por sua vez, diz respeito à razão entre a pressão de vapor efetivamente medida e a pressão de vapor saturante (pressão máxima de vapor).

$$URA = \frac{P_{\text{vapor}}}{P_{\text{sat}}}$$

A pressão de vapor é escrita em termos percentuais. Por exemplo, a 25°C, a pressão de vapor saturante da água é de 24 mmHg.

Se a pressão de vapor medida for de 12 mmHg, então a umidade relativa do ar será:

$$URA = \frac{12}{24} = 0,50 = 50\%$$

Agora, vamos fazer a interpretação inversa. Quais as implicações de umidade relativa do ar igual a 50%?

Primeiramente, já vimos que a pressão de vapor medida é inferior a 24 mmHg que seria a pressão de equilíbrio. Isso significa que água deve passar do estado líquido para o estado de vapor.



FIQUE
ATENTO!



Sendo assim, a umidade relativa do ar inferior a 100% implica em evaporação. Diante disso, ainda assim, existe a possibilidade de chuva?

Pense bem na sua resposta.

A resposta correta seria que sim, ainda existe a possibilidade de chuva.

Isso acontece porque **o equilíbrio químico é dinâmico**. Quando temos a água líquida em equilíbrio com o seu vapor, existe água líquida passando para o estado gasoso e vapor passando para o estado líquido o tempo inteiro.

Da mesma forma, quando temos a umidade relativa inferior a 100%, o que podemos dizer é que **mais água líquida passa para o estado de vapor do que contrário**. Porém, o vapor ainda continua passando para o estado líquido.

Porém, de maneira geral, podemos afirmar que, quanto maior a umidade relativa do ar, maior será a probabilidade de chuva.

Se, por outro lado, a umidade relativa do ar for muito próxima ou até mesmo superior a 100%, a chuva é quase certa. E provavelmente será daquelas.

Pense, por exemplo, numa situação em que a umidade relativa do ar está 150%. Nesse caso, a pressão de vapor é de 36 mmHg, enquanto a pressão saturante é de 24 mmHg. Nesse caso, necessariamente, haverá vapor passando para o estado líquido, o que se traduz numa altíssima probabilidade de chuva.



Exemplo 43: (ITA – 1993)

Quando dizemos que o ar tem 15% de umidade relativa, queremos dizer que:

- a) 15% das moléculas são de água.
- b) 15% da massa do ar é de água.
- c) A pressão parcial do vapor de água é 15% da pressão total
- d) A pressão parcial do vapor de água é 0,15.760 mmHg
- e) A pressão parcial do vapor de água é 15% da pressão de vapor saturante para a temperatura que se encontra o ar.

Comentários



Questão bastante literal em que o ITA cobrou diretamente o conceito de umidade relativa do ar.

A umidade relativa do ar é a razão entre a pressão parcial do vapor de água e a pressão de vapor saturante para aquela temperatura.

Gabarito: “e”

5.7 SUBLIMAÇÃO

Em sólidos cristalinos, a vaporização é muito lenta a inúmeras temperaturas. Como exemplo, temos os cristais de naftalina que, sob condições normais de pressão e temperatura, sofre o processo de evaporação de forma bem lenta, semelhante à de um líquido.

Contudo, quando a pressão máxima de vapor do cristal iguala-se a pressão externa, a liberação de vapor passa a ser bem rápida, tornando o processo semelhante à ebulição de um líquido.

Esses dois processos são denominados de **sublimação**. Portanto:

Sublimação é a passagem do estado físico para o gasoso ou vice-versa, quando a pressão máxima de vapor se iguala a pressão externa, sem que a substância passe pela fase líquida.

5.8 PONTO CRÍTICO E PONTO TRIPLO

5.8.1. PONTO CRÍTICO

Como já ouvimos falar, no estado gasoso há vapores e gases, mas qual a diferença entre eles?

Gás é um estado de uma substância no qual, a temperatura constante, é impossível condensá-la apenas por compressão.

Por outro lado, **vapor** é o estado em que, a temperatura constante, pode haver liquefação quando aumentasse a pressão.

Existe uma situação limite entre vapor e gás na qual a temperatura é chamada de **temperatura crítica**, que juntamente com a pressão crítica definem o **ponto crítico**.

Vale salientar que acima da temperatura crítica a substância é chamada de gás, não sendo capaz de liquefazer apenas por compressão isotérmica. Para a água, por exemplo, a temperatura crítica é de 374 °C, a pressão crítica de 218 atm.



5.8.2. PONTO TRIPLO

Estamos acostumados com apenas duas fases em equilíbrio. Entretanto, sob determinadas condições, as três fases de uma substância pura podem coexistir em equilíbrio.

Caracterizamos o **ponto triplo** por um valor de pressão e outro de temperatura onde coexistam, em equilíbrio, os estados físicos sólido, líquido e gasoso (vapor) simultaneamente.

Para a água, o ponto triplo é definido pela pressão de 4,58 mmHg e temperatura de 0,0098 °C. nessa condição, coexistam gelo, água e vapor de água, sem que aconteça mudanças nas proporções relativas de qualquer um deles.



6.0 DIAGRAMA DE FASES

Ao criar um diagrama envolvendo duas variáveis de estado, cada ponto representará um estado físico da substância. Nele podemos representar todas as fases de nossa substância referida.

Por exemplo, podemos ter uma substância com o seguinte diagrama $P \times \theta$:

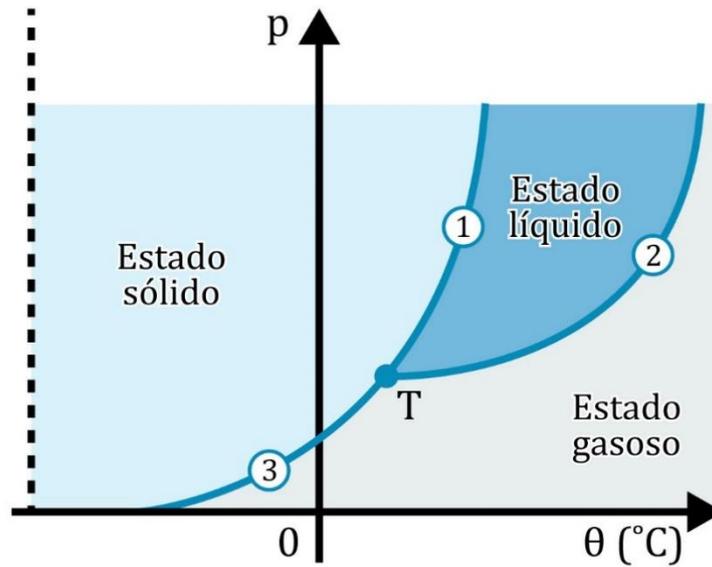


Figura 40: Diagrama de fases pressão por temperatura.

Cada parte do diagrama é separado por curvas que definem os pares de pressão e temperatura em que ocorrem as mudanças de fase:

- 1) Curva de fusão (entre as fases sólida e líquida): um ponto de fusão representa uma situação em que as fases líquida e sólida podem coexistir.
- 2) Curva de vaporização (entre as fases líquidas e gasosas). um ponto de vaporização representa uma situação em que as fases líquida e gasosa podem coexistir.
- 3) Curva de sublimação (entre as fases sólida e gasosa). um ponto de fusão representa uma situação em que as fases sólida e gasosa podem coexistir.

Como vimos anteriormente, o ponto triplo corresponde a situação em que coexistem as três fases da substância. Para o dióxido de carbono (CO_2), por exemplo, o ponto triplo é definido na pressão de $5,1 \text{ atm}$ e à temperatura de $-56,6 \text{ }^\circ\text{C}$.



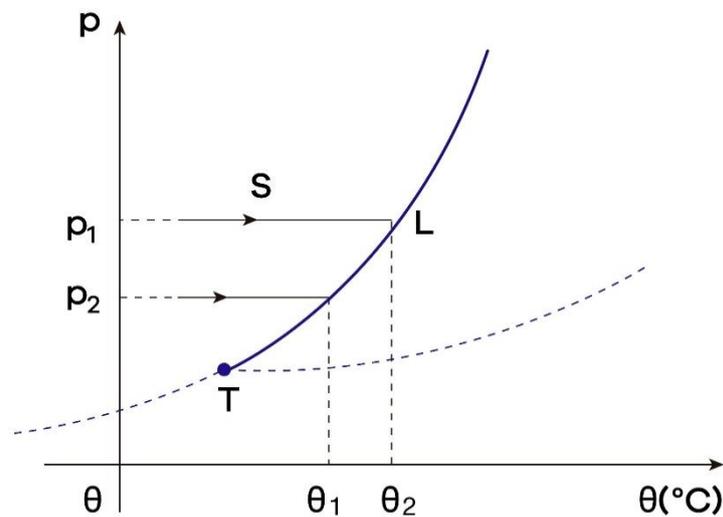
6.1 SÓLIDO ↔ LÍQUIDO

Existem dois aspectos de curvas nesse caso dependendo de como a substância se comporte durante a fusão.

6.1.1. SUBSTÂNCIAS QUE DILATAM NA FUSÃO

De um modo geral, a maioria das substâncias se expandem ao sofrer fusão. Trata-se de um processo endotérmico, ou seja, ocorre absorção de calor.

A curva que representa a fusão dessas substâncias é dada por:



A temperatura de fusão aumenta com a pressão

Figura 41: Diagrama de fases para substâncias que se dilatam.

Tomando uma substância no estado sólido, ao aquecer sob pressão P_1 , ela sofrerá fusão na temperatura θ_1 . Caso o processo for repetido, mas com uma pressão $P_2 > P_1$, vemos que a nova temperatura de fusão será maior que θ_1 ($\theta_2 > \theta_1$).

Podemos explicar esse fato pelo acréscimo de volume que essas substâncias sofrem, o que promove o afastamento das moléculas. Quando aumentamos a pressão, estamos indo contra a tendência natural de afastamento, dificultando a transição de um estado para outro. Com isso, é necessário aumentar a temperatura do sistema, para se ter maior agitação molecular.

6.1.2. SUBSTÂNCIAS QUE SE CONTRAEM NA FUSÃO

Existem algumas substâncias como água, ferro, bismuto e antimônio, sofrem redução de volume ao se fundirem. Nesse caso, a curva de fusão possui o seguinte aspecto:

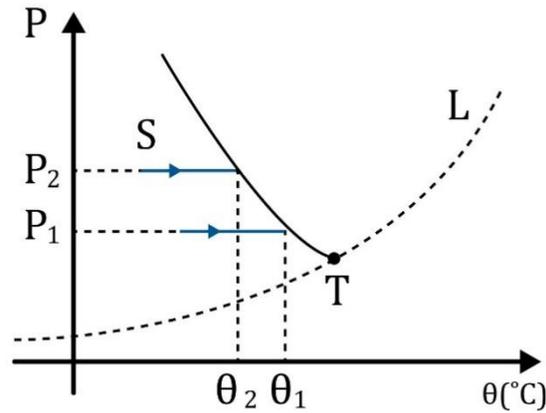


Figura 42: Diagrama de fases para substâncias que se contraem na fusão.

Se tomarmos um sólido em estado sólido, a fusão ocorre na temperatura θ_1 , sob pressão P_1 . Caso o processo seja repetido o processo, mas com uma pressão $P_2 > P_1$, a fusão ocorrerá a uma temperatura menor θ_2 ($\theta_2 < \theta_1$).

Esse fenômeno é explicado pelo fato dessas substâncias diminuírem de volume, ao sofrerem fusão, devido a uma aproximação entre as moléculas. Dessa forma, aumentar a pressão sobre o sistema facilita a transição de estados, tornando mais baixa a temperatura de fusão.

6.1.3. A EXPERIÊNCIA DE TYNDALL E O PATINADOR NO GELO

Como vimos no item acima, o aumento da pressão diminui a temperatura de fusão. Se tomarmos um bloco de gelo em temperatura abaixo de 0°C é atravessado por um fio metálico, com corpos nas extremidades, que traciona o fio de tal forma que o bloco de gelo não se parta.

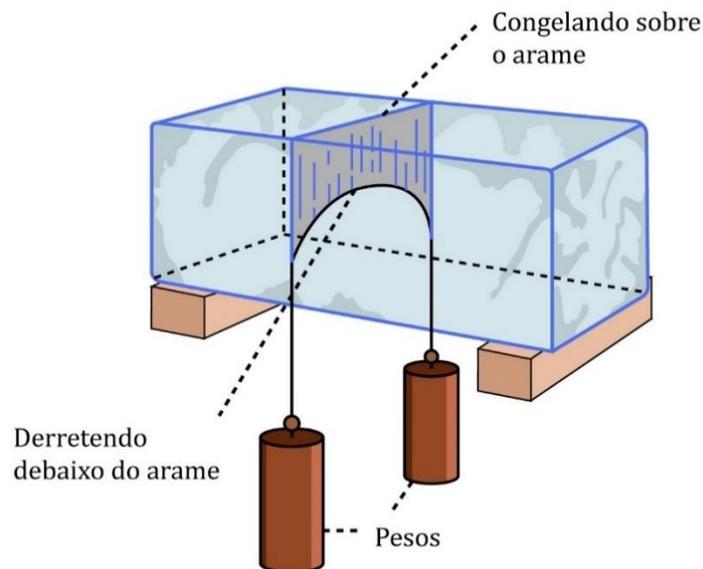


Figura 43: Desenho esquemático do efeito Tyndall.

Esse fenômeno é explicado pelo fato do gelo se fundir a uma temperatura menor que 0°C embaixo do fio, devido ao aumento na pressão pela ação do fio sobre o gelo. Entretanto, quando o fio vai descendo e atravessando o bloco, a água formada na fusão fica aliviada do acréscimo de pressão e volta a se congelar, já que volta as condições iniciais de temperatura e pressão. Com isso, o fio pode atravessar todo o bloco de gelo, sem dividi-lo.



Outro exemplo de regelo ocorre na patinação no gelo. Quando o patinador desliza sobre o gelo, as lâminas dos patins provocam a fusão do gelo (AB), devido a pressão exercida por elas. Entretanto, depois a pressão volta ao estado inicial (CD) e a água retorna ao estado sólido.

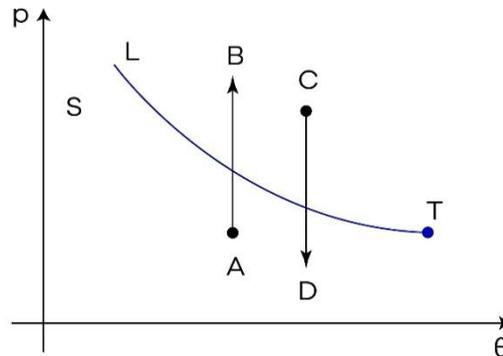


Figura 44: Gráfico da pressão em função da temperatura para o regelo.

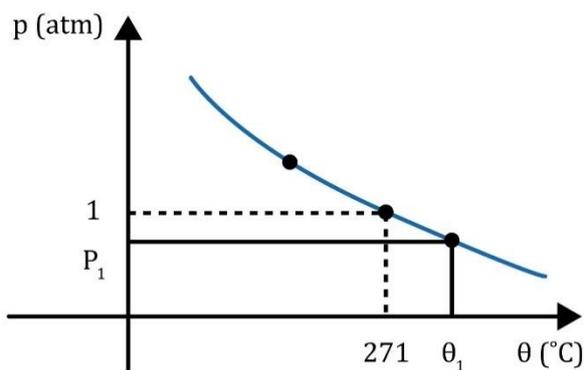


Exemplo 44:

Ao se fundir, o bismuto reduz o seu volume. A temperatura de fusão do bismuto é 271 °C, sob pressão de 1 atm. Qual o efeito no valor da temperatura de fusão se a pressão for reduzida?

Comentários:

Relembrando o diagrama de fases do bismuto, vemos que se a pressão diminuir, a temperatura de fusão irá aumentar.

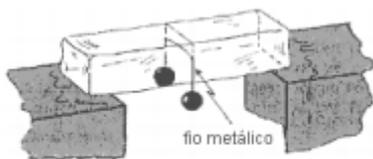


Note que:

$$P_1 < 1 \text{ atm} \Rightarrow \theta_1 > 271 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Exemplo 45: (UFPR)

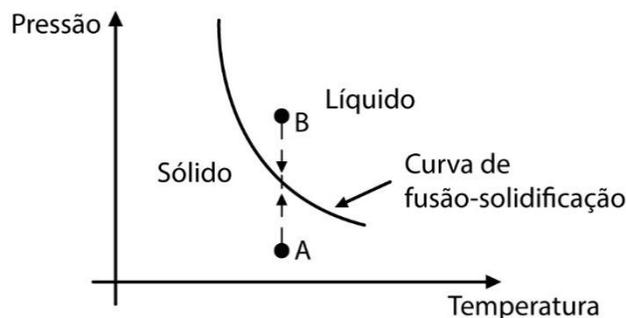
Pode-se atravessar uma barra de gelo usando-se um fio metálico em cujas extremidades estão fixos corpos de pesos adequados, sem dividir a barra em duas partes. Qual é a explicação para tal fenômeno?



- a) a pressão exercida pelo fio metálico sobre o gelo abaixa seu ponto de fusão.
- b) o gelo já cortado pelo fio metálico, devido à baixa temperatura, solda-se novamente.
- c) a pressão exercida pelo fio metálico sobre o gelo aumenta seu ponto de fusão, mantendo a barra sempre sólida.
- d) o fio metálico estando naturalmente mais aquecido funde o gelo; esse calor, uma vez perdido para a atmosfera, deixa a barra novamente sólida.
- e) há uma ligeira flexão da barra; as duas partes, já cortadas pelo arame, são comprimidas uma conta a outra, soldando-se.

Comentários:

Como visto em teoria, o fio metálico aumenta a pressão no local de contato. De acordo com o diagrama de fases da água, quando aumentamos a pressão, diminui-se a temperatura de fusão.

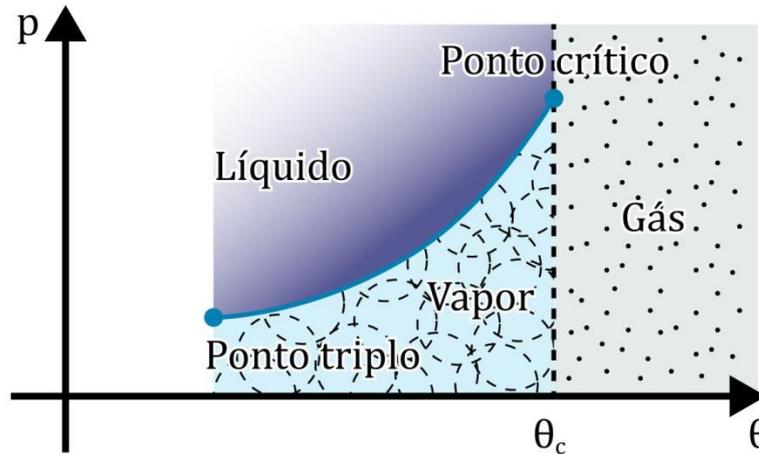


Portanto a alternativa correta é a letra a.

6.2 LÍQUIDO ↔ VAPOR

Trata-se da passagem da fase líquida para o estado de vapor, na qual chamamos genericamente **vaporização**, divididas em duas maneiras básicas: evaporação e ebulição (fervura).

Como já vimos cada conceito de ebulição e de evaporação, a curva que representa a vaporização de uma substância pura é dada por:



Cada substância possui o seu ponto crítico (C) e o seu ponto triplo (T).

6.2.1 INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NO PONTO DE EBULIÇÃO

Como já vimos, a temperatura de ebulição de uma substância depende da pressão a que está submetida. Se tomarmos dois pontos na curva de vaporização, notaremos que se $P_2 > P_1$, então $\theta_2 > \theta_1$.

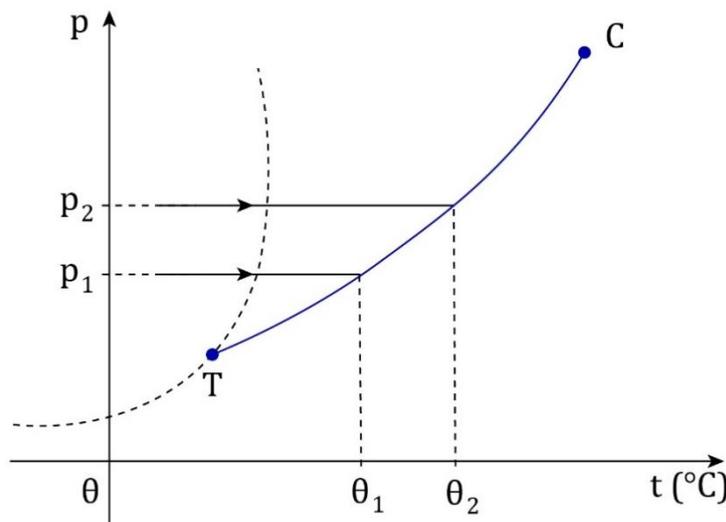


Figura 45: Gráfico da pressão em função da temperatura mostrando a influência da pressão no ponto de ebulição.

Usamos esse fato nas panelas de pressão, pois quando aumentamos a pressão interna da panela, aumentamos a temperatura de fervura da água e, com isso, aceleramos o cozimento dos nossos alimentos.

Como visto anteriormente, a ebulição começa a ocorrer quando a pressão de vapor é igual a pressão externa. Por isso, a presença de bolhas gasosas no interior do líquido é essencial para que aconteça a ebulição. Dessa forma, as bolhas chegando à superfície livre do líquido se rompe, libertando o vapor.

Quando retiramos as bolhas existentes no líquido, podemos superaquecê-lo e levar a uma temperatura de ebulição mais alta.



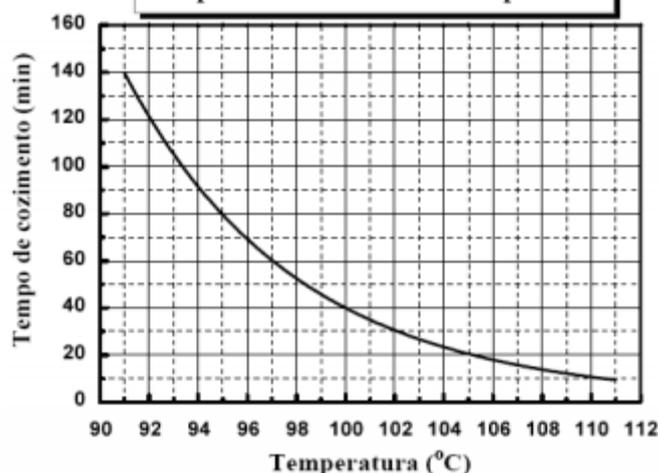
Exemplo 46: (Unicamp – 1996)

No Rio de Janeiro (ao nível do mar), uma certa quantidade de feijão demora 40 minutos em água fervente para ficar pronta. A tabela abaixo fornece o valor da temperatura de fervura da água em função da pressão atmosférica, enquanto o gráfico fornece o tempo de cozimento dessa quantidade de feijão em função da temperatura. A pressão atmosférica ao nível do mar vale 760 mmHg e ela diminui 10 mmHg para cada 100 m de altitude.

Temperatura de fervura da água em função da pressão

Pressão em mm de Hg	600	640	680	720	760	800	840	880	920	960	1000	1040
Temperatura em °C	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	109	110

Tempo de cozimento versus temperatura



- a) Se o feijão fosse colocado em uma panela de pressão a 880 mmHg, em quanto tempo ele ficaria pronto?
- b) Em uma panela aberta, em quanto tempo o feijão ficará pronto na cidade de Gramado (RS) na altitude de 800 m?
- c) Em que altitude o tempo de cozimento do feijão (em uma panela aberta) será o dobro do tempo de cozimento ao nível do mar?

Comentários:

- a) Para a pressão de 880 mmHg, de acordo com a tabela, a temperatura de ebulição é de 105 °C. Assim, olhando o gráfico do tempo de cozimento, vemos que para a temperatura de 105 °C, o tempo de cozimento é de 20 minutos.
- b) A cidade do Rio de Janeiro está a nível do mar, isto é, a pressão atmosférica é de 760 mmHg. Em Gramado, a altitude é de 800 m. Como a cada 100 metro a pressão diminui 10 mmHg (segundo o enunciado), na cidade de gramado a pressão será de $760 - 80 =$



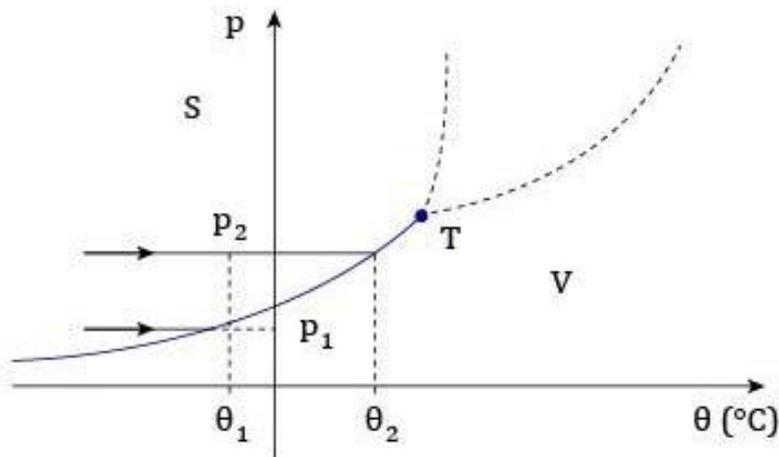
680 mmHg. Da tabela, a temperatura de ebulição para 680 mmHg é de 97 °C. Com isso, vemos no gráfico que o tempo de cozimento é de 60 minutos.

c) O cozimento a nível do mar (760 mmHg) é de 40 minutos, portanto, queremos a altitude que terá tempo de cozimento de 80 minutos. Segundo o gráfico, a temperatura de fervura correspondente a esse tempo é de 95 °C. Da tabela, vemos que a pressão atmosférica correspondente é de 640 mmHg, ou seja, 120 mmHg a menos que a pressão de 760 mmHg. Como a cada 100 metros a pressão reduz 10 mmHg (segundo o enunciado), então a redução de 120 mmHg corresponde a uma altura de 1200 metros. Logo, a altitude é de 1200 metros.

6.3 SÓLIDO ↔ VAPOR

Como já sabemos, sublimação é a passagem do estado sólido para o gasoso (vapor). No sentido contrário (gasoso para sólido) dizemos sublimação inversa ou ressublimação ou cristalização.

Quando observamos a curva de sublimação, verificamos que ela só ocorre em pressões menores que a do ponto triplo.



A temperatura de sublimação aumenta com o aumento de pressão.

Figura 46: Gráfico da pressão em função da temperatura para a sublimação.

Entretanto, existem substâncias como a cânfora e o iodo que podem sofrer sublimação às pressões ambientes. Assim, quando aquecemos iodo e cânfora, sob pressão ambiente, eles passam diretamente do estado sólido para o estado de vapor.





6.4 DIAGRAMA PRESSÃO-VOLUME-TEMPERATURA ($P - V - T$)

Chamamos de propriedades intensivas aquelas que não dependem da massa de um sistema, como temperatura, pressão e densidade. Por outro lado, as propriedades extensivas são aquelas que dependem do tamanho (ou extensão) do sistema, como a massa total, o volume total e a quantidade de movimento total.

Denominamos por propriedades específicas como sendo as propriedades extensivas por unidade de massa, por exemplo, volume específico ($v = V/m$).

Estamos acostumados com apenas duas fases em equilíbrio, mas como já vimos é possível coexistirem as três fases em equilíbrio. Quando fazemos o diagrama de pressão por temperatura, aparece apenas um ponto triplo. Contudo, se fizermos um diagrama de pressão por volume específico ou temperatura por volume específico, veremos que trata-se de uma linha chamada **linha tripla**.

Quando fazemos o diagrama de fases levando em conta as três variáveis de estado, temos os dois possíveis gráficos.

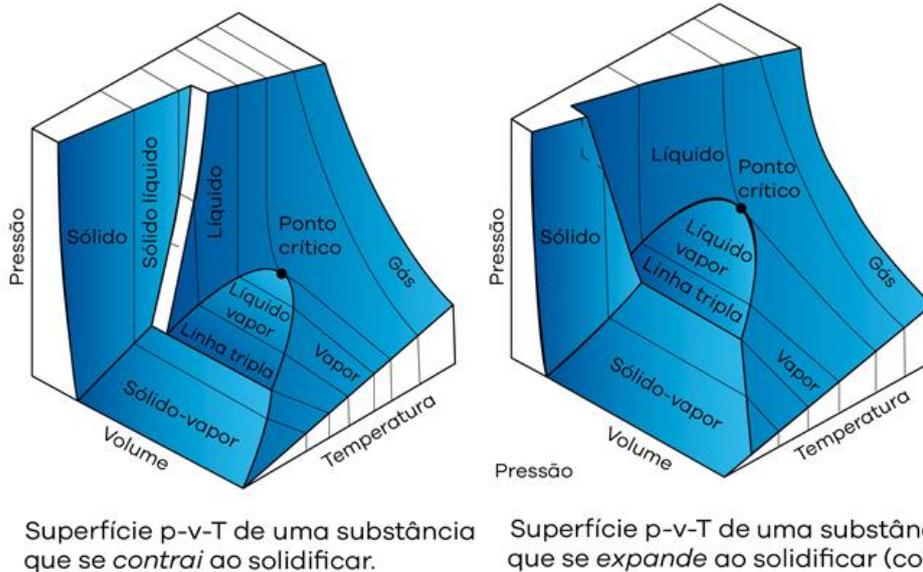


Figura 47: Diagrama de fases P-V-T.

Observe que a linha tripla mostra que não existe um único ponto onde coexistam as três fases, mas sim uma linha.

Note que quando olhamos para o diagrama *pressão* \times *temperatura* (como se tivéssemos olhando frontalmente o eixo da temperatura) a linha tripla se torna o ponto triplo e não estamos olhando para o volume específico da substância.

Lembre-se o estado de uma substância compressível simples pode ser determinado por duas propriedades intensivas independentes. Com isso, após determinadas duas propriedades, todas as outras se tornam propriedades dependentes.

Na geometria espacial, aprendemos que toda equação da forma $z = z(x, y)$, isto é, as variáveis x e y definem a variável z e, assim, elas definem uma superfície do espaço. Portanto, o



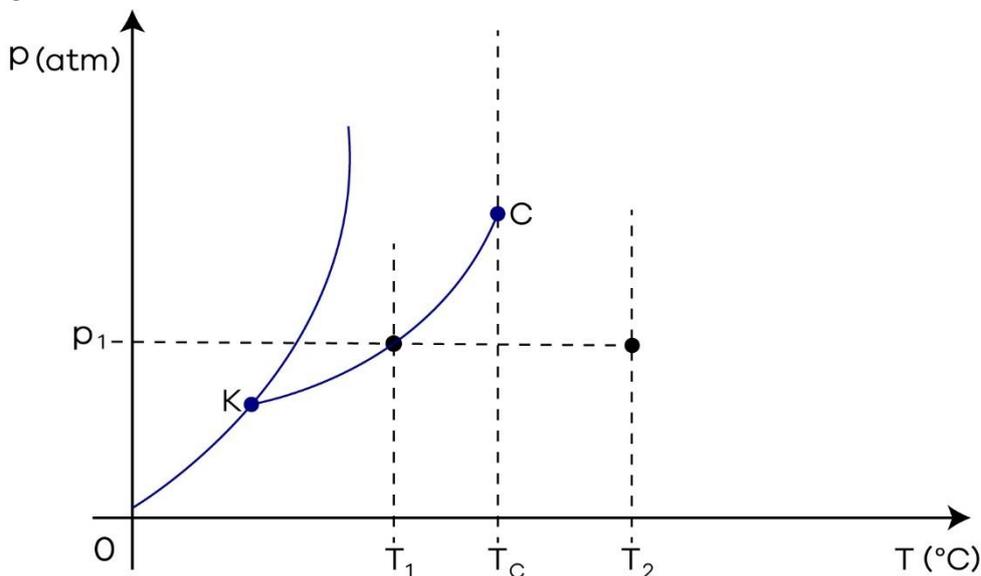
diagrama *Pressão – Volume – Temperatura* representam o comportamento de uma substância.

Todos os diagramas bidimensionais que apresentamos até aqui são apenas projeções dessa superfície tridimensional nos planos apropriados. Por exemplo, um diagrama $P - V$ é apenas uma projeção da superfície $P - V - T$ no plano $P - V$.



Exemplo 47: (EFOA-MG)

Para o diagrama de fases de uma substância pura como a da figura abaixo, afirma-se que:



I – Aumentando a pressão com a temperatura mantida constante em T_1 temperatura tem-se vaporização;

II – Aumentando a pressão com a temperatura mantida constante em T_2 temperatura tem-se sublimação;

III – Para qualquer pressão, com a temperatura mantida constante e maior que T_c somente existe gás;

IV – Com a pressão mantida constante em P_1 e variando a temperatura de $T = 0$ a $T = T_2$ tem-se duas mudanças de estado;

V – A curva KC define todos os pontos de pressão máxima de vapor.

As alternativas que apresentam as afirmativas *corretas* são:

- a) somente III e IV
- b) somente III, IV e V
- c) somente I e II
- d) somente I e V
- e) todas

Comentários:



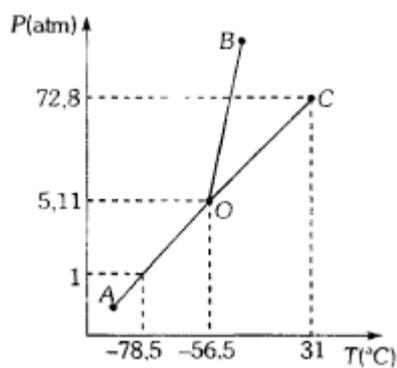
Vamos analisar cada item:

- I) INCORRETA. A curva KC é a curva de vaporização, portanto, quando aumentamos a pressão, mantida a temperatura T_1 , vamos liquefazer a substância pura.
- II) INCORRETA. Na temperatura $T_2 > T_c$ temos apenas a substância no estado gasoso.
- III) CORRETA. Podemos claramente esse fato pelo gráfico.
- IV) CORRETA. Mantida pressão P_1 constante, ao aumentar a temperatura até T_2 temos as seguintes mudanças de estado:
sólido → *líquido* e *líquido* → *gasoso*
- V) CORRETA. Consequência direta da definição da pressão máxima de vapor.

Gabarito: B

Exemplo 48:

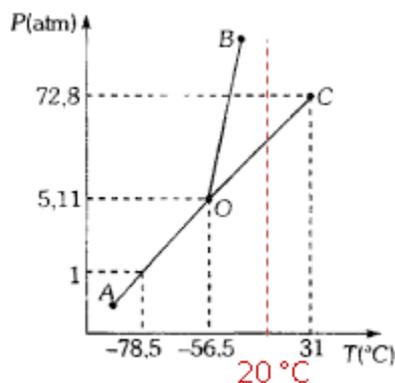
Em relação ao diagrama de fases do CO_2 assinale a alternativa incorreta.



- a) A 4 atm e $-75^\circ C$, o CO_2 é encontrado em estado sólido.
- b) A 20 atm, o CO_2 pode ser encontrado em sólido, líquido ou gasoso.
- c) A 0,5 atm e $25^\circ C$, o CO_2 é encontrado no estado líquido.
- d) Na curva BO há um equilíbrio entre fase sólida-líquido-gás.
- e) Em mais de $31^\circ C$, o CO_2 está na forma gasosa.

Comentários:

- a) Verdadeiro. Se localizarmos esse ponto no gráfico estará no estado sólido.
- b) Verdadeiro. A $20^\circ C$ só poderá estar no estado líquido, de vapor e sólido.



- c) Falso. Estará no estado de vapor.
- d) Verdadeiro. Há um (apenas um) equilíbrio no ponto triplo.
- e) Verdadeiro. Pois estará acima da temperatura do ponto crítico.



Lista de questões

1. (Colégio Naval - 2018)

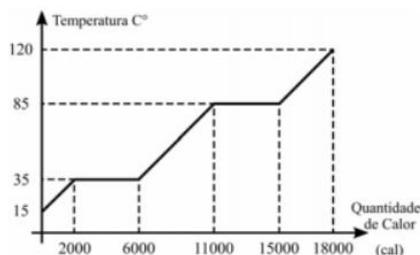
Considere 2L de água pura líquida a uma temperatura inicial de 30°C . Fornecendo certa quantidade de energia sob a forma de calor, ela se aquece até atingir os 40°C . Supondo que toda a energia fornecida à água fosse utilizada para elevar uma pedra de 5 kg a partir do solo (0 m) a fim de posicioná-la em repouso a certa altura do solo, que altura máxima seria essa? Despreze o atrito com o ar e qualquer outra troca de calor da água com o meio ambiente além da mencionada.

Dados: $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$, $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$; $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) 240 m
- b) 840 m
- c) 1.680 m
- d) 2.360 m
- e) 3.200 m

2. (EEAR - 2018)

A figura a seguir mostra a curva de aquecimento de uma amostra de 200g de uma substância hipotética, inicialmente a 15°C , no estado sólido, em função da quantidade de calor que esta recebe.



Determine o valor aproximado do calor latente de vaporização da substância, em cal/g.

- a) 10



- b) 20
- c) 30
- d) 40

3. (EEAR - 2018)

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

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

4. (EEAR - 2016)

Segundo Bonjorno & Clinton, em seu livro Física, História e Cotidiano, “O nível de energia interna de um corpo depende da velocidade com que as partículas se movimentam. Se o movimento é rápido, o corpo possui um alto nível de energia interna. Se o movimento é lento, o corpo tem um nível de energia interna baixo”. Investigando-se microscopicamente um corpo, com foco no grau de agitação de suas partículas, podemos medir indiretamente seu (sua) _____, que será obtido(a) com o uso de um _____.

- a) temperatura – calorímetro
- b) temperatura – termômetro
- c) quantidade de calor – termômetro
- d) coeficiente de dilatação linear – calorímetro

5. (EEAR - 2012)

Um sistema armazena 500 litros de água a 20°C , na pressão ambiente. Para esse sistema atingir a temperatura de 80°C , na pressão ambiente, deverá ser transmitido ao mesmo, a quantidade de calor de _____ cal.

Considere: Calor específico da água = $1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$;

Densidade da água = 1 g/cm^3

- a) $30 \cdot 10^3$
- b) $30 \cdot 10^6$
- c) $40 \cdot 10^3$
- d) $40 \cdot 10^6$

**6. (EEAR - 2012)**

Considere 2 corpos de mesmo material que ao absorverem a mesma quantidade de calor apresentam diferentes variações de temperatura. Esse fato pode ser explicado, corretamente, pelo conceito de

- a) Calor latente
- b) Ponto de fusão
- c) Calor específico
- d) Capacidade térmica ou calorífica

7. (Colégio Naval - 2017)

Durante uma avaliação de desempenho físico, um candidato percorreu, em 12 min, a distância de 2400 metros e consumiu uma energia total estimada em 160 kcal.

Supondo que a energia consumida nessa prova possa ser usada integralmente no aquecimento de 50 kg de água, cujo calor específico vale $1 \text{ cal} / \text{g} \text{ } ^\circ\text{C}$, é correto afirmar que a variação da temperatura da água, na escala Fahrenheit, e a velocidade média do candidato valem, respectivamente:

- a) $5,76 \text{ } ^\circ\text{F}$ e 12 km/h
- b) $5,76 \text{ } ^\circ\text{F}$ e 14 km/h
- c) $4,28 \text{ } ^\circ\text{F}$ e 12 km/h
- d) $3,20 \text{ } ^\circ\text{F}$ e 12 km/h
- e) $3,20 \text{ } ^\circ\text{F}$ e 14 km/h

8. (EAM - 2017)

Quantas calorias são necessárias para aquecer 500g de certa substância de 20°C a 70°C ?

Dados: $c_{\text{água}} = 0,24 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$;

- a) 3000 calorias
- b) 4000 calorias
- c) 5000 calorias
- d) 6000 calorias
- e) 7000 calorias

9. (EAM - 2017)

A termologia é a parte da física que estuda os fenômenos ligados à energia térmica. Dentre os conceitos relacionados aos fenômenos térmicos, marque a opção INCORRETA:

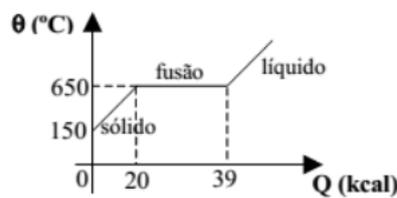
- a) Temperatura é a grandeza que mede o estado de agitação das moléculas de um corpo.
- b) Calor é a sensação que se tem quando o dia está muito quente.
- c) Fusão é a passagem do estado sólido para o estado líquido.
- d) Convecção é a principal forma de transmissão do calor através dos fluídos (líquidos e gases).



e) Transformação isométrica é aquela que ocorre sem alteração do volume ocupado pelo gás.

10. (EEAR - 2012)

Em um laboratório de Física, 200g de uma determinada substância, inicialmente sólida, foram analisados e os resultados foram colocados em um gráfico da temperatura em função do calor fornecido à substância, conforme mostrado na figura a seguir. Admitindo que o experimento ocorreu à pressão normal (1 atm), determine, respectivamente, o valor do calor específico no estado sólido, em $\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ e o calor latente de fusão, em **cal/g**, da substância.



- a) 0,2 e 95
- b) 2,0 e 95
- c) 0,5 e 195
- d) 0,67 e 195

11. (EEAR - 2009)

Considere o seguinte enunciado: “Se um corpo 1 está em equilíbrio térmico com um corpo 2 e este está em equilíbrio térmico com um corpo 3, então, pode-se concluir corretamente que o corpo 1 está em equilíbrio térmico com o corpo 3”. Esse enunciado refere-se

- a) Ao ponto triplo da água.
- b) A lei zero da Termodinâmica.
- c) Às transformações de um gás ideal.
- d) À escala termodinâmica da temperatura.

12. (EEAR - 2011)

Calorímetros são recipientes termicamente isolados utilizados para estudar a troca de calor entre corpos. Em um calorímetro, em equilíbrio térmico com uma amostra de 100 g de água a 40 °C, é colocado mais 60 g de água a 80 °C. Sabendo que o sistema atinge uma temperatura de equilíbrio igual a 52 °C, qual a capacidade térmica, em cal/°C, deste calorímetro?

Dados: Calor específico da água = 1 cal/g°C

- a) 20
- b) 40
- c) 100



d) 240

13. (EAM - 2016)

A termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos determinados por energia térmica, que é a forma de energia relacionada à agitação das partículas de um corpo.

Com relação á termologia, analise as afirmativas abaixo.

I - Quanto maior a energia cinética média das partículas, menor a temperatura do corpo.

II - Para que haja transferência de calor entre dois corpos, eles devem estar a temperaturas diferentes.

III - Quanto maior o calor específico de um material, menor a quantidade de calor necessária para o material ser aquecido até determinada temperatura.

IV - No Sistema Internacional de Unidades, a quantidade de calor transferida de um corpo para outro é medida em joules.

Assinale a opção correta.

Apenas a afirmativa I é verdadeira.

b) Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.

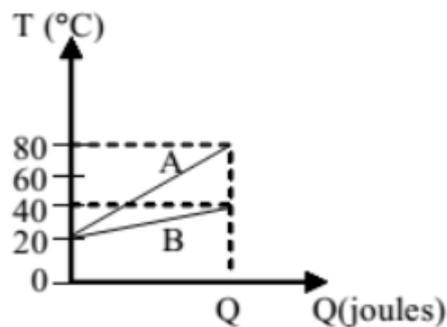
c) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.

Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.

e) Apenas as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

14. (EEAR - 2014)

O gráfico a seguir relaciona a variação de temperatura (T) para um mesmo calor absorvido (Q) por dois líquidos A e B diferentes.



Considerando:

-massa de A = m_A ;

-massa de B = m_B ;

-calor específico de A = c_A ;

-calor específico de B = c_B .

Pode-se dizer que $\frac{m_A \cdot c_A}{m_B \cdot c_B}$ é igual a:

a) 1/3

b) 1/2

c) 2



d) 3

15. (EEAR – 2011)

As pistas de aeroportos são construídas de maneira que sua direção coincida com a dos ventos típicos da região onde se encontram, de forma que, na descida, as aeronaves estejam no sentido contrário desses ventos. Pode-se dizer, corretamente que o sentido de descida da aeronave é feito de uma região de

- a) Alta para baixa pressão devido a convecção do ar
- b) Baixa para alta pressão devido a convecção do ar
- c) Alta para baixa pressão devido a condução do ar
- d) Baixa para alta pressão devido a condução do ar

16. (EEAR – 2016 - Adaptada)

Em uma panela foi adicionada uma massa de água de 200 g a temperatura de 25°C. Para transformar essa massa de água totalmente em vapor a 100°C, qual deve ser a quantidade total de calor fornecida, em calorias?

Considere o calor específico da água: $c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e o calor latente de vaporização da água $L = 540 \text{ cal/g}$.

- a) 1500
- b) 20000
- c) 100000
- d) 123000

17. (EEAR - 2016)

Um estudante irá realizar um experimento de física e precisará de 500 g de água a 0°C. Acontece que ele tem disponível somente um bloco de gelo de massa igual a 500 g e terá que transformá-lo em água. Considerando o sistema isolado, a quantidade de calor, em cal, necessária para que o gelo derreta será:

Dados: calor de fusão do gelo = 80 cal/g°C

- a) 40
- b) 400
- c) 4000
- d) 40000

18. (EEAR - 2016)

Um buffet foi contratado para servir 100 convidados em um evento. Dentre os itens do cardápio constava água a 10°C. Sabendo que o buffet tinha em seu estoque 30 litros de água a 25°C, determine a quantidade de gelo, em quilogramas, a 0°C, necessário para obter água à temperatura de 10° C. Considere que a água e o gelo estão em um sistema isolado.

Dados: densidade da água = 1 g/cm³;



calor específico da água = 1 cal/g°C;
calor de fusão do gelo = 80 cal/g;
calor específico do gelo = 0,5 cal/g°C

- a) 2
- b) 3
- c) 4
- d) 5

19. (EEAR - 2015)

Considere um cubo de gelo de massa 1kg que se encontra à temperatura de -2 °C. Colocado ao sol, recebe 14 J de calor a cada segundo. Dados o calor específico do gelo igual a 0,5 cal/g°C e 1 cal igual a 4,2J. Quantos minutos o gelo deverá ficar ao sol para começar a se fundir?

- a) 0,005
- b) 0,5
- c) 5
- d) 50

20. (Colégio Naval - 2013)

A sensação de contato com algo gelado que é sentida ao passar um algodão embebido em álcool em temperatura ambiente na mão é um fenômeno atribuído a

- a) Sublimação do álcool.
- b) Insolubilidade do álcool em água.
- c) Mudança de estado do álcool, que é um fenômeno exotérmico.
- d) Liquefação do álcool.
- e) Evaporação do álcool, que é um fenômeno endotérmico.

21. (EEAR - 2018)

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

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

**22. (EAM-2012)**

O local onde se renne o sistema de propulsão de um navio é chamado de praça de máquinas. A caldeira é um dos equipamentos mais comuns nas embarcações como os porta-aviões. Um operador desse tipo de sistema aferiu a temperatura de uma caldeira em 842°F. Qual o valor dessa temperatura na escala Celsius?

- a) 300°C
- b) 350°C
- c) 400°C
- d) 450°C
- e) 500°C

23. (CN - 2018)

Sobre calor, luz, som, analise as afirmativas abaixo e assinale a opção que apresenta o conceito correto.

- a) Temperatura é a energia contida em um corpo aquecido.
- b) Ao ferver água destilada em uma panela com tampa aberta e ao nível do mar, após a água atingir e permanecer em ebulição sua temperatura se mantém constante.
- c) Um raio de luz se propaga em uma linha reta em meios homogêneos e opacos.
- d) Um raio de luz ao atravessar de um meio material para outro tem necessariamente a sua direção e propagação e velocidade alteradas.
- e) O som e a luz se propagam no vácuo.

24. (EEAR - 2016)

Um portão de alumínio retangular de 1m de largura e 2m de altura a 10°C, cujo coeficiente de dilatação linear é $24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, sob o sol, atingiu a temperatura de 30°C. Qual a porcentagem aproximada de aumento de sua área após a dilatação?

- a) 0,1
- b) 0,2
- c) 0,3
- d) 0,4

25. (EEAR - 2009)

A maioria das substâncias tende a diminuir de volume (contração) com a diminuição da temperatura e tendem a aumentar de volume (dilatação) com o aumento da temperatura. Assim, desconsiderando as exceções, quando diminuimos a temperatura de uma substância tende a:

Obs: Considere a pressão constante.

- a) Diminuir.
- b) Aumentar.
- c) Manter-se invariável.
- d) Aumentar ou diminuir dependendo do intervalo de temperatura considerado.

**26. (EEAR - 2013)**

Um técnico em mecânica recebeu a informação que uma placa metálica de área igual a 250 cm^2 , enviada para análise em laboratório especializado, retornara. Os resultados da análise de dilatação térmica dessa placa estavam descritos em uma tabela.

Medida inicial	Medida final	Temperatura inicial	Temperatura final
$250,00 \text{ cm}^2$	$251,00 \text{ cm}^2$	$32 \text{ }^\circ\text{F}$	$212 \text{ }^\circ\text{F}$

De acordo com dados da tabela acima, pode-se afirmar, corretamente, que o coeficiente de dilatação superficial, em $^\circ\text{C}^{-1}$, do material que compõe a placa vale

- a) $2,0 \cdot 10^{-5}$
- b) $2,2 \cdot 10^{-6}$
- c) $4,0 \cdot 10^{-5}$
- d) $4,4 \cdot 10^{-6}$

27. (EEAR - 2012)

Dilatação é um fenômeno térmico relativo

- a) Somente aos sólidos
- b) Somente aos fluidos
- c) Somente aos sólidos e líquidos
- d) Tanto aos sólidos, quanto aos líquidos e gases

28. (EEAR - 2010)

Uma barra de aço, na temperatura de 59°F , apresenta $10,0 \text{ m}$ de comprimento. Quando a temperatura da barra atingir 212°F , o comprimento final desta será de m.

Adote:

Coeficiente de dilatação linear térmica do aço: $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- a) 10,0102
- b) 10,102
- c) 11,024
- d) 11,112

29. (EEAR - 2010)

Um material de uso aeronáutico apresenta coeficiente de dilatação linear de $15 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Uma placa quadrada e homogênea, confeccionado com este material, apresenta, a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 40 cm de lado. Qual o valor da área final desta placa, em m^2 , quando a mesma for aquecida até 80°C ?

- a) 40,036
- b) 1602,88
- c) $1602,88 \cdot 10^{-2}$
- d) $1602,88 \cdot 10^{-4}$

30. (EEAR - 2015)



Uma chapa de cobre, cujo coeficiente de dilatação linear vale $2 \cdot 10^{-5}$, tem um orifício de raio 10 cm a 25°C . Um pino cuja área da base é $314,5 \text{ cm}^2$ a 25°C é preparado para ser introduzido no orifício da chapa. Dentre as opções abaixo, a temperatura da chapa, em $^\circ\text{C}$, que torna possível a entrada do pino no orifício, é

Adote: $\pi = 3,14$

- a) 36
- b) 46
- c) 56
- d) 66

31. (EEAR - 2014)

A partir da expressão da dilatação linear ($\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$), pode-se dizer que o coeficiente de dilatação linear (α) pode possuir como unidade

- a) $^\circ\text{C}$.
- b) $\text{m}/^\circ\text{C}$.
- c) $^\circ\text{C}^{-1}$
- d) $^\circ\text{C}/\text{m}$

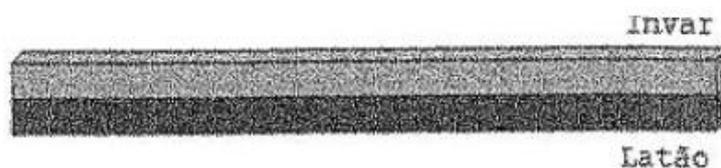
32. (EAM - 2014)

O Brasil é um país de dimensões continentais, por isso deve fortalecer cada vez mais sua frota de trens e metrô. O projeto dos trilhos dessas composições ferroviárias prevê espaçamentos muito pequenos entre dois trilhos consecutivos porque:

- a) Com o aumento da temperatura ao longo do dia, cada trilho deve se contrair ocupando o espaço vazio entre eles.
- b) Com a diminuição de temperatura ao longo do dia, cada trilho deve se dilatar ocupando o espaço vazio entre eles.
- c) Com a variação de temperatura ao longo do dia, cada trilho deve se contrair ocupando o espaço vazio entre eles.
- d) Se a temperatura aumentar durante o dia, cada trilho irá se dilatar e ocupar os pequenos espaços vazios sabiamente projetados.
- e) Se a temperatura diminuir durante o dia, cada trilho irá se contrair até tornar o espaçamento suficientemente grande para uma passagem segura da composição ferroviária.

33. (EAM - 2012)

A figura a seguir representa uma lâmina bimetálica composta de duas lâminas de ligas metálicas fixadas entre si: Invar (níquel e ferro) e latão (cobre e zinco).





Essas lâminas são bastante usadas em disjuntores elétricos e, ao serem aquecidas, encurvam-se com a função de abrir um circuito. Esse encurvamento das lâminas é causado pelo fato de:

- a) Uma ser condutora de calor, e a outra ser isolante.
- b) Uma delas apresentar maior flexibilidade que a outra.
- c) Elas apresentarem resistências elétricas diferentes.
- d) Uma ser condutora de eletricidade, e a outra ser isolante.
- e) Elas sofrerem diferentes dilatações térmicas.

34. (EAM - 2015)

Considere uma certa quantidade de água, inicialmente no estado sólido. Aquecendo gradativamente de forma homogênea toda essa quantidade de água, ela passa para o estado líquido e, mantendo-se o mesmo regime de aquecimento, a mesma passa do estado líquido para o gasoso. Sobre as propriedades da água nos referidos estados físicos e sobre os processos de mudança de estado físico, pode-se afirmar que:

- a) O processo de mudança do estado sólido para o estado líquido chama-se fusão.
- b) O processo de mudança do estado sólido para o estado líquido chama-se liquefação.
- c) A densidade da água no estado sólido é maior que no estado líquido.
- d) O processo de mudança do estado líquido para o estado gasoso chama-se condensação.
- e) No processo de mudança do estado sólido para o estado líquido, a água perde calor.

35. (Colégio Naval – 2019-Adaptada)

Em relação aos conceitos de mecânica, hidrostática e termologia, assinale a opção correta.

- a) A transferência de calor por condução e convecção é possível através do vácuo.
- b) Quando uma pessoa toca com o dedo em um bloco de gelo, o frio flui do gelo para a pessoa.
- c) Ao tocar em uma porta de madeira e em sua maçaneta de metal uma pessoa nota diferentes sensações térmicas, por exemplo, que a maçaneta está mais fria do que a porta.
- d) A energia potencial gravitacional não depende da escolha do referencial adotado.
- e) O módulo do empuxo exercido por um líquido sobre um corpo totalmente submerso nesse líquido é sempre igual ao módulo do peso do corpo.

36. (EAM - 2019)

Um termômetro registra a temperatura de 932°F. Converta esse valor para a escala Celsius e marque a opção correta.

Dados: pontos fixos de fusão e ebulição, respectivamente, nas escalas Celsius (0°C e 100°C) e Fahrenheit (32 °F e 212 °F), sob pressão normal.

- a) 100
- b) 200
- c) 300



- d) 400
- e) 500

37. (EAM - 2018)

Três termômetros são colocados num mesmo líquido e, atingido o equilíbrio térmico, o graduado na escala Celsius registra 45°C . Os termômetros graduados nas escalas Kelvin e Fahrenheit, respectivamente, devem registrar que valores?

- a) 218 K e 113°F
- b) 318 K e 223°F
- c) 318 K e 223°F
- d) 588 K e 313°F
- e) 628 K e 423°F

38. (EEAR - 2006)

A quantidade de calor que é preciso fornecer ao corpo para que haja mudança em sua temperatura, denomina-se calor

- a) Sensível
- b) Estável
- c) Latente
- d) Interno

39. (EEAR - 2009)

Um equipamento eletrônico foi entregue na Sala de Física da Escola de Especialistas de Aeronáutica, porém, na etiqueta da caixa estava escrito que o equipamento deveria funcionar sob uma temperatura de 59°F . Logo, os professores providenciaram um sistema de refrigeração, que deveria ser ajustado em valores na escala Celsius. Portanto, a temperatura correta que o sistema deve ser ajustado, em $^{\circ}\text{C}$, é de:

- a) 15,0
- b) 32,8
- c) 42,8
- d) 59,0

40. (EEAR - 2010)

As trocas de energia térmica envolvem processos de transferências de calor. Das alternativas a seguir, assinale a única que não se trata de um processo de transferência de calor.

- a) Ebulição
- b) Radiação
- c) Condução
- d) Convecção

**Nível 2****41. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Um corpo sofre uma queda de temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual é a queda de temperatura na escala Fahrenheit?

- a) 20
- b) 36
- c) 18
- d) 90

42. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um estudante criou uma escala de temperatura que tem o ponto de fusão com a temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{X}$. A variação de temperatura da escala criada é igual a variação de temperatura na escala Fahrenheit. Qual é a temperatura do ponto de ebulição na escala criada?

- a) $80\text{ }^{\circ}\text{X}$
- b) $90\text{ }^{\circ}\text{X}$
- c) $200\text{ }^{\circ}\text{X}$
- d) $190\text{ }^{\circ}\text{X}$

43. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um termômetro registra a temperatura de um objeto como 32°F . Se o mesmo objeto fosse medido por um termômetro que registra temperaturas em $^{\circ}\text{C}$, qual seria a marcação?

- a) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) $64\text{ }^{\circ}\text{C}$
- c) $32\text{ }^{\circ}\text{C}$
- d) 0°C

44. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma escala termométrica absoluta Q marca 160 Q para -43°C . Para uma substância que inicialmente estava a -16°F e que aumenta sua temperatura em 80 Q, qual é a temperatura final em $^{\circ}\text{F}$?

- a) 207
- b) 191
- c) 201
- d) 180

45. (Prof. Vinícius Fulconi)



Ao introduzirmos em água sobre-resfriada (-8°C) um cristal de gelo, a mesma imediatamente começa a congelar. Qual é a quantidade de gelo que se forma de 1 kg de água sobre-resfriada? O calor específico da água é $1 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ e o calor latente de fusão é 80 cal/g .

- a) 40 g
- b) 30 g
- c) 80 g
- d) 100 g

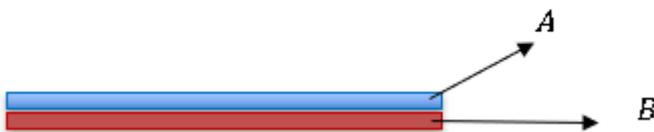
46. (Prof. Vinícius Fulconi)

Considere 3 esferas inicialmente separadas com temperaturas distintas. A temperatura da primeira esfera 4°C e capacidade térmica é igual a $1 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$. A segunda esfera tem temperatura de 8°C e capacidade térmica $2 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$. A terceira esfera tem temperatura 16°C e capacidade térmica $4 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$. Se as esferas forem colocadas em contato, qual será a temperatura final do sistema? Não mudança de estado físico das esferas.

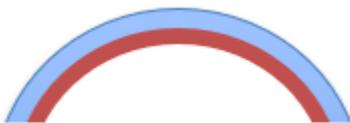
- a) 10°C
- b) 8°C
- c) 12°C
- d) $28/3^{\circ}\text{C}$

47. (Prof. Vinícius Fulconi)

Considere duas lâminas de mesmo comprimento soldadas. A lâmina A tem coeficiente de dilatação linear α_A e a lâmina B tem coeficiente de dilatação linear α_B . As lâminas são aquecidas. Sabendo que $\alpha_A > \alpha_B$, qual será a nova forma da barra?



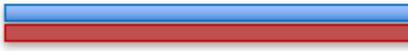
a)



b)



c)



d) Não é possível prever o comportamento da barra.

48. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um certo líquido possui densidade 5 g/cm^3 na temperatura de 0°C . Se o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido é $4 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, qual é a densidade do corpo a 100°C ?

- a) 500 g/cm^3
- b) $0,05 \text{ g/cm}^3$
- c) 100 g/cm^3
- d) 1 g/cm^3

49. (Prof. Vinícius Fulconi)

Considere que em um recipiente há 100 g de gelo a -10°C . Para derreter todo o gelo e transforma-lo em água a 10°C devemos fornecer uma certa quantidade de energia. Essa energia é proveniente de um corpo de 5 kg que cai de uma altura h . Qual é o valor de h , para que o fenômeno desejado ocorra? O calor específico do gelo é $0,5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, o calor específico da água é $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e o calor latente de fusão é 80 cal/g .

- a) 30 m
- b) 25 m
- c) 190 m
- d) 45 m

50. (Prof. Vinícius Fulconi)

Patinagem no gelo é o ato de usar patins com lâminas no lugar de rodas para deslizar em superfícies cobertas de gelo. A patinação ocorre devido ao fenômeno do regelo.

Qual das alternativas descreve o fenômeno do regelo?

- a) Ocorre a fusão do gelo por aumento de pressão.
- b) Ocorre a fusão do gelo por aumento e posterior diminuição da pressão.
- c) Ocorre a solidificação da água por diminuição da pressão externa.
- d) Ocorre a fusão do gelo por diminuição pelo aumento da pressão externa.

51. (Prof. Vinícius Fulconi)

Qual das alternativas abaixo melhor descreve o ponto triplo de uma substância?

- a) O ponto triplo é uma condição de temperatura e pressão na qual há equilíbrio entre sólido e vapor.
- b) O ponto triplo é uma condição de temperatura e pressão na qual há três, ou mais, substâncias em equilíbrio.
- c) O ponto triplo é uma condição de pressão para a qual não há mais vapor.



d) O ponto triplo é uma condição de temperatura e pressão na qual há equilíbrio entre sólido, líquido e vapor.

52. (Prof. Vinícius Fulconi)

A temperatura em uma escala “Coruja” é a média geométrica entre a temperatura na escala Kelvin e a temperatura na escala Celsius. Qual é o valor da temperatura na escala “Coruja” para $T = 546 \text{ K}$?

- a) 200 K
- b) 180 K
- c) 386 K
- d) 75 K

53. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma escala absoluta é:

- a) a escala que apresenta valor zero para a temperatura do zero absoluto.
- b) a escala que só apresenta valores inteiros para as temperaturas.
- c) a escala que tem ponto de gelo igual a zero.
- d) a escala que tem ponto de vapor igual a 100.

54. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um corpo A está a uma temperatura de $400 \text{ }^\circ\text{C}$ e um corpo B está a uma temperatura de $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Os dois corpos entram em contato e espera-se o equilíbrio térmico ser atingido. Qual das alternativas abaixo pode representar a temperatura de equilíbrio do sistema?

- a) $150 \text{ }^\circ\text{C}$
- b) $200 \text{ }^\circ\text{C}$
- c) $300 \text{ }^\circ\text{C}$
- d) $550 \text{ }^\circ\text{C}$

55. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um sistema armazena V litros de água a $T \text{ }^\circ\text{C}$, na pressão ambiente. Para esse sistema atingir a temperatura de $4T \text{ }^\circ\text{C}$, na pressão ambiente, deverá ser transmitido ao mesmo, a quantidade de calor de _____ cal.

Considere: Calor específico da água = $1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

Densidade da água = 1 g/cm^3

- a) $2000VT$
- b) $3000VT$
- c) $4000VT$
- d) $5000VT$

**56. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Calorímetros são recipientes termicamente isolados utilizados para estudar a troca de calor entre corpos. Em um calorímetro, em equilíbrio térmico com uma amostra de m gramas de água a $4T$ °C, é colocado mais m gramas de água a $8T$ °C. Sabendo que o sistema atinge uma temperatura de equilíbrio igual a $5T$ °C, qual a capacidade térmica, em cal/°C, deste calorímetro? O calor específico da água vale c cal/g°C.

- a) $C = 4mc$
- b) $C = 2mc$
- c) $C = 10mc$
- d) $C = 12mc$

57. (Prof. Vinícius Fulconi)

Em uma panela foi adicionada uma massa de água de M (gramas) a temperatura de T (°C). Para transformar essa massa de água totalmente em vapor a $4T$ °C, qual deve ser a quantidade total de calor fornecida, em calorias? Considere a temperatura de ebulição da água como $4T$.

Considere o calor específico da água vale c cal/g°C e o calor latente de vaporização da água L cal/g.

- a) $3 \cdot m \cdot c \cdot T$
- b) $m \cdot c \cdot T + 3m \cdot L$
- c) $m \cdot c \cdot T + m \cdot L$
- d) $3 \cdot m \cdot c \cdot T + m \cdot L$

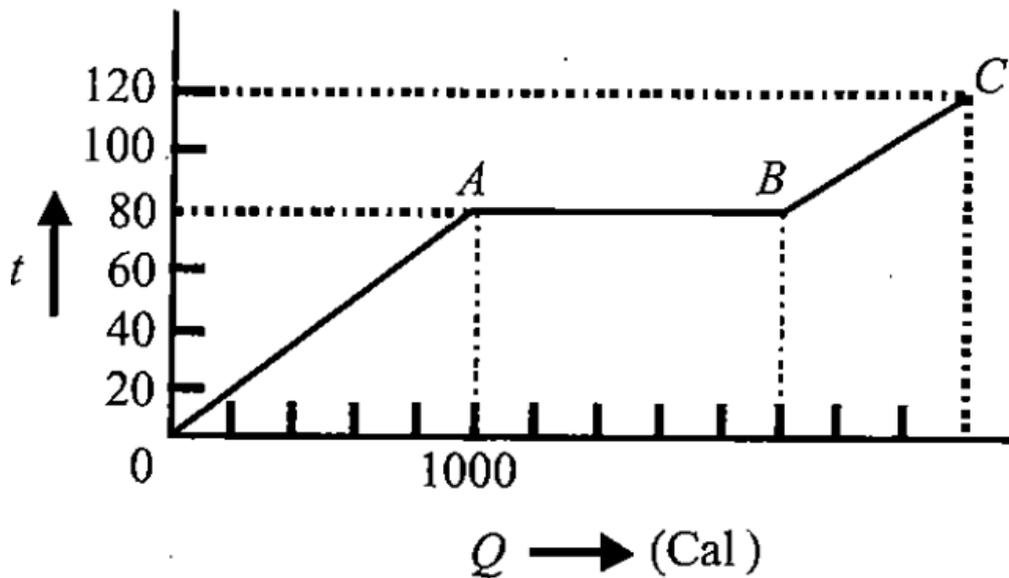
58. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um portão de alumínio retangular de lados a e b está inicialmente a uma temperatura T_0 , cujo coeficiente de dilatação linear é α . Após receber uma quantidade de calor, o portão atingiu a temperatura $3T_0$. Qual a porcentagem aproximada de aumento de sua área após a dilatação?

- a) $400 \cdot \alpha \cdot T_0$ %
- b) $4 \cdot \alpha \cdot T_0$ %
- c) $a \cdot b \cdot \alpha \cdot T_0$ %
- d) $100 \cdot \alpha \cdot T_0$ %

59. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma substância está no estado sólido na temperatura de 0°C . Uma quantidade de calor é fornecida ao sólido ao longo de um determinado intervalo de tempo. Um gráfico desse aquecimento foi plotado e está mostrado pela figura abaixo. A capacidade térmica específica do material vale $0,5 \frac{\text{cal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. A capacidade térmica específica da água é $1000 \frac{\text{cal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Julgue os itens abaixo:



I. A massa da substância é de 0,025 kg.

II. O calor específico latente da substância vale $40000 \frac{\text{cal}}{\text{kg}}$.

III. A capacidade térmica específica da substância no estado líquido vale $500 \frac{\text{cal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas I verdadeira.
- b) Apenas II é falsa.
- c) Apenas III é falsa.
- d) Só há uma correta.
- e) Há duas falsas.

60. (Prof. Vinícius Fulconi)

Com relação à termometria, é possível afirmar que:

- a) As escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit são exemplos de escalas centígradas.
- b) Se a equação $k = 4f - \frac{2}{5}c$, onde k é o valor de uma determinada temperatura em Kelvin, f é o valor de uma determinada temperatura em Fahrenheit e c é o valor de uma determinada temperatura em Celsius. Então, 30°C é solução da equação.
- b) A variação de temperatura para a escala Celsius é sempre igual a variação da escala Fahrenheit.
- d) Pela lei zero da termodinâmica, se dois corpos 1 e 2 estão isoladamente em equilíbrio térmico com um corpo 3, então os dois primeiros também estarão em equilíbrio entre si.
- e) Não existe temperatura que possua o mesmo valor nas escalas Celsius e Fahrenheit.

61. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma peça de metal de 80g que se encontra a uma temperatura de 300°C é colocada dentro de um calorímetro de $50 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ que contém 100 g de água a 10°C . Após atingido o equilíbrio térmico, mediu-se a temperatura de 50°C . Determine o calor específico do metal em $\text{cal}/\text{g}\cdot^\circ\text{C}$.



Dados: Calor específico da água = $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

- a) 0,012
- b) 0,015
- c) 0,020
- d) 0,023
- e) 0,030

62. (Prof. Vinícius Fulconi)

De um forno cuja temperatura é $T_f = 200^\circ\text{C}$ se extrai uma peça cuja massa é 50g e o calor específico é $0,2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Tal peça é inserida num calorímetro cujo equivalente em água é 890 g. Nesse calorímetro se encontravam 100 g de água a 20°C . Determine a temperatura final do sistema.

- a) $20,8^\circ\text{C}$
- b) $21,8^\circ\text{C}$
- c) $22,7^\circ\text{C}$
- d) $24,7^\circ\text{C}$
- e) $30,2^\circ$

63. (Prof. Vinícius Fulconi)

Inicialmente temos três líquidos A, B e C, com temperaturas de 30°C , 20°C e 10°C e massas m , $2m$ e $3m$, respectivamente. Misturando os líquidos A e B, temos que a temperatura de equilíbrio é 25°C . Misturando os líquidos B e C, temos que a temperatura de equilíbrio é $14,5^\circ\text{C}$. Portanto, qual será a temperatura de equilíbrio quando misturamos os líquidos A e C. Desconsidere qualquer interferência do calorímetro.

- a) 15°C
- b) 16°C
- c) 17°C
- d) 18°C
- e) 19°C

64. (Prof. Vinícius Fulconi)

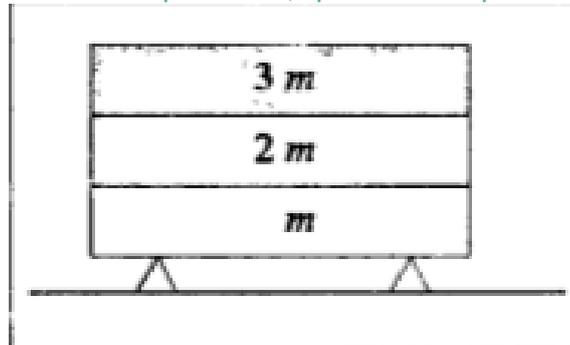
Uma mesma quantidade de calor Q é fornecida a todos os corpos desse problema. Qual deles haverá a maior variação de temperatura? Os corpos não mudam de estado físico.

- a) Sólido A de massa 2 g e calor específico $7 \text{ cal}/^\circ\text{C} \cdot \text{g}$.
- b) Sólido B de massa 4 g e calor específico $5 \text{ cal}/^\circ\text{C} \cdot \text{g}$.
- c) Sólido C de massa 6 g e calor específico $4 \text{ cal}/^\circ\text{C} \cdot \text{g}$.
- d) Sólido D de massa 8 g e calor específico $4 \text{ cal}/^\circ\text{C} \cdot \text{g}$.



65. (Prof. Vinícius Fulconi)

Temos 3 barras, feitas de um mesmo material, de massas m , $2m$ e $3m$. Tais barras são dispostas uma acima da outra como mostra a figura abaixo. Sabendo que a barra central e superior se encontra na temperatura 120°C e 20°C , respectivamente, e a temperatura da barra inferior é a mesma no início e fim do processo, qual é a temperatura final do sistema?



- a) 40°C
- b) 50°C
- c) 60°C
- d) 70°C

66. (Prof. Vinícius Fulconi)

Qual deve ser a quantidade de calor fornecida a 50 g de gelo a -20°C para transformar em água a 20°C ?

Dados:

Calor específico do gelo = $0,5\text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$

Calor específico da água = $1\text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$

Calor latente de fusão da água = 80 cal/g

- a) 550 cal
- b) 1200 cal
- c) 5000 cal
- d) 5500 cal
- e) 850 cal

67. (Prof. Vinícius Fulconi)

Considere uma placa quadrada de coeficiente linear de dilatação de $10^{-2}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Na temperatura de 23°C a área da placa é 1 m^2 . Qual a área da placa a 223°C ?

- a) 3 m^2
- b) 5 m^2
- c) 7 m^2
- d) 9 m^2
- e) 11 m^2

**68. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Um disco de certo metal está girando em torno de seu eixo principal e seus pontos periféricos tem uma velocidade de 20 m/s . Ao fornecer calor para o disco, sua temperatura aumenta em 300°C . O coeficiente de dilatação linear do metal é igual a $\alpha_{\text{METAL}} = 11,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Determine qual são as velocidades dos pontos periféricos da placa após o aquecimento, considerando que a velocidade angular da placa não varia.

- a) $26,9 \text{ m/s}$
- b) 26 m/s
- c) $25,9 \text{ m/s}$
- d) 25 m/s
- e) $24,9 \text{ m/s}$

69. (Prof. Vinícius Fulconi)

Dois sólidos de massas diferentes estão na mesma temperatura inicial. Esses sólidos recebem a mesma quantidade de calor e, ao final, estão com a mesma temperatura novamente (diferente da inicial). Assinale a alternativa correta. Não há mudança de estado físico nos sistemas.

- a) Suas capacidades caloríficas são iguais.
- b) Seus calores específicos são iguais.
- c) Seus volumes são iguais.
- d) Suas densidades são iguais.
- e) Seus coeficientes de dilatação linear são iguais.

70. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma escala termométrica chamada Coruja registra a temperatura de 33 graus Coruja para o ponto de gelo (fusão da água) e 133 graus Coruja para o ponto de vapor (ebulição da água). Qual é a temperatura em graus Celsius para uma marcação de 43 graus Coruja?

- a) 10
- b) 20
- c) 30
- d) 40
- e) 50

71. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um objeto de massa m é colocado em um determinado líquido à temperatura T . O volume submerso desse corpo foi de V_1 . Se a temperatura do líquido fosse $2T$, qual seria o volume submerso do objeto? A coeficiente de dilatação volumétrico do líquido é γ .

- a) $V_1(1 + \gamma T)$
- b) $\frac{V_1}{V_1(1+\gamma T)}$



- c) $V_1 \gamma T$
- d) V_1
- e) $\frac{V_1 \gamma T}{2}$

72. (Prof. Vinícius Fulconi)

Qual é a quantidade de calor necessária para levar 500 g de gelo à -10 °C até vapor a 100 °C ?

Dado:

Calor específico do gelo = $0,5\text{ cal/g °C}$

Calor específico do água = $1,0\text{ cal/g °C}$

Calor latente de fusão = 80 cal/g

Calor latente de vaporização da água = 540 cal/g

- a) $352,5 \cdot 10^3\text{ cal}$
- b) $360 \cdot 10^3\text{ cal}$
- c) $362,5 \cdot 10^3\text{ cal}$
- d) $342,5 \cdot 10^3\text{ cal}$

73. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um menino decidiu lavar seu 10° uniforme para a formatura no dia seguinte. Após a lavagem, ele retira seu uniforme da máquina de lavar e pendura em seu varal exposto ao sol. A roupa do menino secará devido ao fenômeno da evaporação. A roupa do menino secará mais rápido

- a) quanto menor for a área de contato com a atmosfera.
- b) quanto menor for a pressão externa.
- c) quanto maior for a umidade.
- d) quanto menor for a pressão de vapor do líquido.



Gabarito

- 1.C
- 2.B
- 3.A
- 4.B
- 5.B
- 6.D
- 7.A
- 8.C
- 9.B
- 10.A
- 11.B
- 12.B
- 13.B
- 14.A
- 15.A
- 16.D
- 17.D
- 18.D
- 19.C
- 20.E
- 21.B
- 22. D
- 23. B
- 24. A
- 25. B
- 26. C
- 27. D
- 28. A
- 29. D
- 30. D
- 31. C



32. D

33. E

34. A

35. C

36. E

37. B

38. A

39. A

40. A

41. D

42. C

43. D

44. B

45. D

46. C

47. A

48. D

49. C

50. B

51. D

52. C

53. A

54. C

55. B

56. B

57. D

58. A

59. C

60. D

61. A

62. B

63. E

64. A



65. C

66. D

67. B

68. B

69. A

70. A

71. A

72. C

73. D



Questões comentadas

Lista de Questões Resolvidas e Comentadas

1. (Colégio Naval - 2018)

Considere 2L de água pura líquida a uma temperatura inicial de 30°C. Fornecendo certa quantidade de energia sob a forma de calor, ela se aquece até atingir os 40°C. Supondo que toda a energia fornecida à água fosse utilizada para elevar uma pedra de 5 kg a partir do solo (0 m) a fim de posicioná-la em repouso a certa altura do solo, que altura máxima seria essa? Despreze o atrito com o ar e qualquer outra troca de calor da água com o meio ambiente além da mencionada.

Dados: $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$, $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$; $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) 240 m
- b) 840 m
- c) 1.680 m
- d) 2.360 m
- e) 3.200 m

Comentário:

Inicialmente, vamos calcular a energia fornecido para a água:

A densidade da água é de $1 \text{ g/cm}^3 = 1\text{g/mL}$, pois $1 \text{ mL} = 1\text{cm}^3$. Dessa forma, a massa de água contida em $2\text{L} = 2.000 \text{ mL}$ de água é:

$$m_{\text{água}} = \frac{V}{d} = \frac{2.000}{1} = 2.000 \text{ g}$$

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

Sendo $c = \frac{1\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ e $\Delta\theta = 40 - 30 = 10^\circ\text{C}$, temos:

$$Q_{\text{água}} = 2000 \cdot 1 \cdot 10 = 20.000 \text{ cal}$$

Vamos expressar essa grandeza em Joules, unidade do S.I, uma vez que $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

$$Q_{\text{água}} = 20000 \cdot 4,2 = 8.4000 \text{ J}$$

Toda essa energia será utilizada para levantar a pedra de 5kg, ou seja, a energia será convertida em energia potencial gravitacional:

$$Q_{\text{água}} = m_{\text{pedra}} \cdot g \cdot h$$

$$8.4000 = 5 \cdot 10 \cdot h$$

Logo,

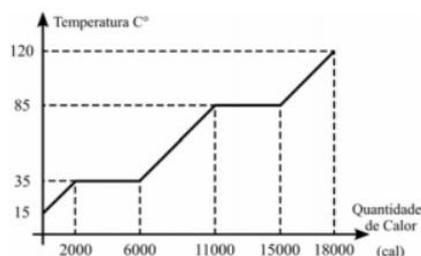
$$h = 1680 \text{ m}$$

Gabarito: C

2. (EEAR - 2018)



A figura a seguir mostra a curva de aquecimento de uma amostra de 200g de uma substância hipotética, inicialmente a 15°C, no estado sólido, em função da quantidade de calor que esta recebe.



Determine o valor aproximado do calor latente de vaporização da substância, em cal/g.

- a) 10
- b) 20
- c) 30
- d) 40

Comentário:

A substância começa no estado sólido e é aquecida até o estado gasoso. Sabemos disso porque em duas regiões do gráfico fornecido, o trecho de gráfico é um segmento de reta horizontal: Observe o gráfico entre os pontos de 2000 cal a 6000 cal e também de 11000 a 15000 cal. Nessas regiões, a substância está recebendo calor e não está variando de temperatura: Está mudando de fase!

Se queremos o calor latente de vaporização, devemos olhar a quantidade de calor recebida na segunda mudança de fase: vaporização. Ou seja, o trecho entre 11000 e 15000 cal.

$$Q = 15.000 - 11.000 = 4.000 \text{ cal}$$

Mas $Q = m_{\text{substância}} \cdot L$, sendo L o calor latente de vaporização da substância.

$$4.000 = 200 \cdot L$$

$$L = 20 \text{ cal/g}$$

Gabarito: B

3. (EEAR - 2018)

Duas porções de líquidos A e B, de substâncias diferentes, mas de mesma massa, apresentam valores de calor específico respectivamente iguais a 0,58 cal/g°C e 1,0 cal/g°C. Se ambas receberem a mesma quantidade de calor sem, contudo, sofrerem mudanças de estado físico, podemos afirmar corretamente que:

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

**Comentário:**

Seja Q a quantidade de calor fornecida para as duas substâncias diferentes.

Para a substância 1, temos:

$$Q_A = m \cdot c_A \cdot \Delta\theta_A$$

Para a substância 2, temos:

$$Q_B = m \cdot c_B \cdot \Delta\theta_B$$

Sendo $c_A = 0,58 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$, $c_B = 1,0 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ e $Q_A = Q_B$:

$$m \cdot 0,58 \cdot \Delta\theta_A = m \cdot 1,0 \cdot \Delta\theta_B$$

$$\Delta\theta_B = 0,58 \cdot \Delta\theta_A$$

Logo, a variação de temperatura da substância B é menor que a variação de temperatura da substância A.

Gabarito: A**4. (EEAR - 2016)**

Segundo Bonjorno & Clinton, em seu livro Física, História e Cotidiano, “O nível de energia interna de um corpo depende da velocidade com que as partículas se movimentam. Se o movimento é rápido, o corpo possui um alto nível de energia interna. Se o movimento é lento, o corpo tem um nível de energia interna baixo”. Investigando-se microscopicamente um corpo, com foco no grau de agitação de suas partículas, podemos medir indiretamente seu (sua) _____, que será obtido(a) com o uso de um _____.

- a) temperatura – calorímetro
- b) temperatura – termômetro
- c) quantidade de calor – termômetro
- d) coeficiente de dilatação linear – calorímetro

Comentário:

Investigando o grau de agitação das partículas de um corpo, que aumenta à medida que o corpo se torna mais quente, é possível obter sua temperatura, e isso é feito utilizando-se um termômetro, que é justamente um medidor de agitação das moléculas de um corpo.

Gabarito: B**5. (EEAR - 2012)**

Um sistema armazena 500 litros de água a 20°C , na pressão ambiente. Para esse sistema atingir a temperatura de 80°C , na pressão ambiente, deverá ser transmitido ao mesmo, a quantidade de calor de _____ cal.

Considere: Calor específico da água = $1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$;

Densidade da água = 1 g/cm^3

- a) $30 \cdot 10^3$
- b) $30 \cdot 10^6$
- c) $40 \cdot 10^3$
- d) $40 \cdot 10^6$

**Comentário:**

Sendo a densidade da água igual a $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1 \text{g/mL}$, pois $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$, podemos calcular a massa de água contida em 500 L:

$$m_{\text{água}} = \frac{V_{\text{água}}}{d_{\text{água}}} = \frac{500}{1} = 500 \text{ g}$$

Da calorimetria, sabemos que $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, logo:

$$Q = 500000 \cdot 1.60 = 30.000 = 30.10^6 \text{ cal}$$

Gabarito: B**6. (EEAR - 2012)**

Considere 2 corpos de mesmo material que ao absorverem a mesma quantidade de calor apresentam diferentes variações de temperatura. Esse fato pode ser explicado, corretamente, pelo conceito de

- a) Calor latente
- b) Ponto de fusão
- c) Calor específico
- d) Capacidade térmica ou calorífica

Comentário:

O calor específico de uma substância é uma grandeza intensiva, ou seja, não varia com as dimensões ou a massa de uma substância. Já a capacidade térmica de uma substância é uma grandeza física extensiva, que depende da massa de sua respectiva substância.

Para que 2 corpos de um mesmo material absorvendo quantidades iguais de calor apresentem diferentes variações de temperatura, esses corpos devem possuir capacidades térmicas diferentes, ou seja, massas diferentes. Diferente do calor específico, que é característica de um determinado material.

Vamos analisar as demais opções:

- a) O calor latente de um corpo define o quanto de energia ele precisa para mudar de fase;
 - b) O ponto de fusão de um corpo define a temperatura em que ocorre a sua fusão;
- Nenhuma dessas propriedades explica as diferentes variações de temperatura para dois corpos de um mesmo material. Portanto, a alternativa correta é a letra D.

Gabarito: D**7. (Colégio Naval - 2017)**

Durante uma avaliação de desempenho físico, um candidato percorreu, em 12 min, a distância de 2400 metros e consumiu uma energia total estimada em 160 kcal.

Supondo que a energia consumida nessa prova possa ser usada integralmente no aquecimento de 50 kg de água, cujo calor específico vale $1 \text{ cal} / \text{g} \text{ } ^\circ\text{C}$, é correto afirmar que a variação da temperatura da água, na escala Fahrenheit, e a velocidade média do candidato valem, respectivamente:

- a) $5,76 \text{ } ^\circ\text{F}$ e 12 km/h
- b) $5,76 \text{ } ^\circ\text{F}$ e 14 km/h
- c) $4,28 \text{ } ^\circ\text{F}$ e 12 km/h



d) 3,20 °F e 12 km/h

e) 3,20 °F e 14 km/h

Comentário:

Vamos inicialmente calcular a velocidade média do candidato:

$$v_{\text{média}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Mas $\Delta S = 2400 \text{ m} = 2,4 \text{ km}$ e $\Delta t = 12 \text{ min} = \frac{12}{60} = 0,2 \text{ h}$.

Portanto,

$$v_{\text{média}} = \frac{2,4}{0,2} = 12 \text{ km/h}$$

Já eliminamos então as alternativas B e E. Vamos agora calcular a variação de temperatura da água:

$$Q = m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta = 50000 \cdot 1 \cdot \Delta\theta$$

Como $Q = 160 \text{ kcal} = 160.000 \text{ cal}$, temos:

$$160.000 = 50000 \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = 3,2^\circ \text{ C}$$

Devemos lembrar então das fórmulas de conversão de temperatura. Sendo $\Delta\theta_{\text{C}}$ e $\Delta\theta_{\text{F}}$ as variações de temperatura em Celcius e em Fahrenheit, respectivamente, temos:

$$\frac{\Delta\theta_{\text{C}}}{100} = \frac{\Delta\theta_{\text{F}}}{180}$$

Portanto,

$$\Delta\theta_{\text{F}} = 1,8 \cdot 3,2 = 5,76^\circ \text{ F}$$

Gabarito: A

8. (EAM - 2017)

Quantas calorias são necessárias para aquecer 500g de certa substância de 20°C a 70°C?

Dados: $c_{\text{água}} = 0,24 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$;

a) 3000 calorias

b) 4000 calorias

c) 5000 calorias

d) 6000 calorias

e) 7000 calorias

Comentário:

Sabemos que $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, logo:

$$Q = 500 \cdot 0,24 \cdot (70 - 20) = 6.000 \text{ calorias}$$

Gabarito: C

9. (EAM - 2017)

A termologia é a parte da física que estuda os fenômenos ligados à energia térmica. Dentre os conceitos relacionados aos fenômenos térmicos, marque a opção INCORRETA:

a) Temperatura é a grandeza que mede o estado de agitação das moléculas de um corpo.

b) Calor é a sensação que se tem quando o dia está muito quente.

c) Fusão é a passagem do estado sólido para o estado líquido.



d) Convecção é a principal forma de transmissão do calor através dos fluidos (líquidos e gases).

e) Transformação isométrica é aquela que ocorre sem alteração do volume ocupado pelo gás.

Comentário:

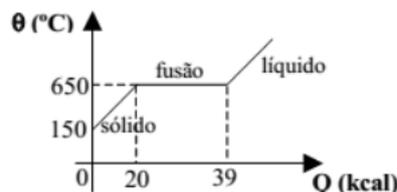
Vamos analisar todas as alternativas:

- a) Verdadeiro. A temperatura mede o grau de agitação das moléculas de um corpo.
- b) Falso, calor é energia térmica em trânsito. Nós chamamos incorretamente de calor o desconforto sentido em dias quentes, devido às altas temperaturas.
- c) Verdadeiro. Essa é a definição de fusão.
- d) Verdadeiro. Nos fluidos, as partes diferentemente aquecidas movimentam-se no interior devido às diferenças de densidades das porções quente e fria do fluido.
- e) Verdadeiro. Trata-se da definição de transformação isotérmica.

Gabarito: B

10. (EEAR - 2012)

Em um laboratório de Física, 200g de uma determinada substância, inicialmente sólida, foram analisados e os resultados foram colocados em um gráfico da temperatura em função do calor fornecido à substância, conforme mostrado na figura a seguir. Admitindo que o experimento ocorreu à pressão normal (1 atm), determine, respectivamente, o valor do calor específico no estado sólido, em $\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ e o calor latente de fusão, em **cal/g**, da substância.



- a) 0,2 e 95
- b) 2,0 e 95
- c) 0,5 e 195
- d) 0,67 e 195

Comentário:

Vamos primeiro determinar o valor do calor específico no estado sólido. Para isso, devemos analisar a substância no estado sólido, entre 0 e 20 kcal de energia fornecida, conforme o gráfico.

Sabemos que $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$,

Pelo gráfico, $Q = 20 - 0 = 20 \text{ kcal}$ e $\Delta\theta = 650 - 150 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$

Como $m = 200 \text{ g}$, temos:

$$20.000 = 200 \cdot c \cdot 500$$

$$c = 0,2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$



Vamos agora determinar o calor latente de fusão. Basta olhar para a região do gráfico que corresponde a uma reta horizontal em que está escrito “fusão”. Nessa região, entre 20 e 39 kcal, ocorre a fusão do material.

$$Q_{\text{fusão}} = 39 - 20 = 19 \text{ kcal.}$$

Para a fusão de um corpo, temos:

$$Q_{\text{fusão}} = m_{\text{corpo}} \cdot L_{\text{fusão}}$$
$$19.000 = 200 \cdot L_{\text{fusão}}$$

Portanto,

$$L_{\text{fusão}} = 95 \text{ cal/g}$$

Gabarito: A**11. (EEAR - 2009)**

Considere o seguinte enunciado: “Se um corpo 1 está em equilíbrio térmico com um corpo 2 e este está em equilíbrio térmico com um corpo 3, então, pode-se concluir corretamente que o corpo 1 está em equilíbrio térmico com o corpo 3”. Esse enunciado refere-se

- a) Ao ponto triplo da água.
- b) A lei zero da Termodinâmica.
- c) Às transformações de um gás ideal.
- d) À escala termodinâmica da temperatura.

Comentário:

Esse enunciado se trata exatamente da lei zero da termodinâmica. Vamos analisar as outras alternativas:

- a) Ponto triplo da água: Ponto em que estão em equilíbrio térmico as três fases da água.
- c) Alternativa completamente fora de contexto.
- d) Falso. A escala de temperatura mede diferentes temperaturas, que representam os graus de agitação das moléculas de um corpo.

Gabarito: B**12. (EEAR - 2011)**

Calorímetros são recipientes termicamente isolados utilizados para estudar a troca de calor entre corpos. Em um calorímetro, em equilíbrio térmico com uma amostra de 100 g de água a 40 °C, é colocado mais 60 g de água a 80 °C. Sabendo que o sistema atinge uma temperatura de equilíbrio igual a 52 °C, qual a capacidade térmica, em cal/°C, deste calorímetro?

Dados: Calor específico da água = 1 cal/g°C

- a) 20
- b) 40
- c) 100
- d) 240

Comentário:

Como inicialmente o calorímetro está em equilíbrio térmico com a água, a temperatura inicial do calorímetro é de 40°C. Seja C sua capacidade térmica. Temos:



Para a água inicialmente a 40°C:

$$Q_{\text{água}40} = m_{\text{água}40} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_1$$

$$Q_{\text{água}40} = 100 \cdot 1 \cdot (52 - 40) = 1200 \text{ cal}$$

Para a água inicialmente a 80°C:

$$Q_{\text{água}80} = m_{\text{água}80} \cdot c_{\text{água}80} \cdot \Delta\theta_2$$

$$Q_{\text{água}80} = 60 \cdot 1 \cdot (52 - 80) = -1680 \text{ cal}$$

Para o calorímetro:

$$Q_{\text{calorímetro}} = C \cdot \Delta\theta_1 = C \cdot (52 - 40) = 12C$$

Da conservação da energia, temos:

$$Q_{\text{água}40} + Q_{\text{água}80} + Q_{\text{calorímetro}} = 0$$

Logo,

$$1200 - 1680 + 12C = 0$$

$$C = 40 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Gabarito: B

13. (EAM - 2016)

A termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos determinados por energia térmica, que é a forma de energia relacionada à agitação das partículas de um corpo.

Com relação à termologia, analise as afirmativas abaixo.

I - Quanto maior a energia cinética média das partículas, menor a temperatura do corpo.

II - Para que haja transferência de calor entre dois corpos, eles devem estar a temperaturas diferentes.

III - Quanto maior o calor específico de um material, menor a quantidade de calor necessária para o material ser aquecido até determinada temperatura.

IV - No Sistema Internacional de Unidades, a quantidade de calor transferida de um corpo para outro é medida em joules.

Assinale a opção correta.

Apenas a afirmativa I é verdadeira.

b) Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.

c) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.

Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.

e) Apenas as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

Comentário:

Vamos analisar todas as afirmativas:

I. Falso. Quanto maior a energia cinética das partículas, maior o seu grau de agitação. Logo, maior é a temperatura do corpo.

II. Verdadeiro. É a diferença de temperatura que causa o fluxo de calor.

III. Falso. O calor específico é descrito pela expressão $c = \frac{Q}{(m\Delta\theta)}$. Logo, quanto maior o calor específico (c), maior a quantidade de calor (Q) necessária para o aquecimento do material.

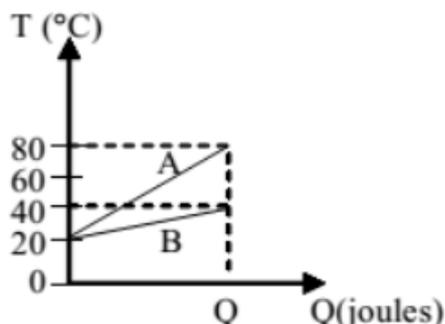
IV. Verdadeiro, por definição.



Gabarito: D

14. (EEAR - 2014)

O gráfico a seguir relaciona a variação de temperatura (T) para um mesmo calor absorvido (Q) por dois líquidos A e B diferentes.



Considerando:

-massa de A = m_A ;

-massa de B = m_B ;

-calor específico de A = c_A ;

-calor específico de B = c_B .

Pode-se dizer que $\frac{m_A \cdot c_A}{m_B \cdot c_B}$ é igual a:

a) $1/3$

b) $1/2$

c) 2

d) 3

Comentário:

Vamos analisar os aquecimentos dos corpos A e B de 0 a 20 °C e a 80°C, respectivamente:

Corpo A:

$$Q_A = m_A \cdot c_A \cdot \Delta\theta_A = m_A \cdot c_A \cdot (80 - 20) = 60m_A \cdot c_A$$

Corpo B:

$$Q_B = m_B \cdot c_B \cdot \Delta\theta_B = m_B \cdot c_B \cdot (40 - 20) = 20m_B \cdot c_B$$

Como o calor absorvido pelos dois corpos é igual, como menciona o enunciado, temos:

$$60m_A \cdot c_A = 20m_B \cdot c_B$$

Logo,

$$\frac{(m_A \cdot c_A)}{m_B \cdot c_B} = 1/3$$

Gabarito: A

15. (EEAR – 2011)

As pistas de aeroportos são construídas de maneira que sua direção coincida com a dos ventos típicos da região onde se encontram, de forma que, na descida, as aeronaves estejam no sentido contrário desses ventos. Pode-se dizer, corretamente que o sentido de descida da aeronave é feito de uma região de

a) Alta para baixa pressão devido a convecção do ar



- b) Baixa para alta pressão devido a convecção do ar
- c) Alta para baixa pressão devido a condução do ar
- d) Baixa para alta pressão devido a condução do ar

Comentário:

O tipo de transferência de calor para fluidos mostrado nessa questão é a convecção. Por isso, já eliminamos as alternativas C e D.

Para que na descida, as aeronaves estejam no sentido contrário dos ventos, eles devem estar subindo. Esse fenômeno ocorre da região de alta pressão (solo) para a região de baixa pressão (altitude do avião), por convecção.

Gabarito: A**16. (EEAR – 2016 - Adaptada)**

Em uma panela foi adicionada uma massa de água de 200 g a temperatura de 25°C. Para transformar essa massa de água totalmente em vapor a 100°C, qual deve ser a quantidade total de calor fornecida, em calorias?

Considere o calor específico da água: $c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e o calor latente de vaporização da água $L = 540 \text{ cal/g}$.

- a) 1500
- b) 20000
- c) 100000
- d) 123000

Comentário:

Para evaporar completamente toda a água, primeiro devemos aquecê-la até 100°C (calor sensível) e depois devemos aquecer o suficiente para que a água mude de fase (calor latente de ebulição). Logo, temos:

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_{\text{sensível}} + Q_{\text{latente}} = m \cdot c \cdot \Delta\theta + m \cdot L \\ Q_{\text{total}} &= 200 \cdot 1 \cdot (100 - 25) + 200 \cdot 540 \\ Q_{\text{total}} &= 15.000 + 108.000 = 123.000 \text{ cal} \end{aligned}$$

Gabarito: D**17. (EEAR - 2016)**

Um estudante irá realizar um experimento de física e precisará de 500 g de água a 0°C. Acontece que ele tem disponível somente um bloco de gelo de massa igual a 500 g e terá que transformá-lo em água. Considerando o sistema isolado, a quantidade de calor, em cal, necessária para que o gelo derreta será:

Dados: calor de fusão do gelo = 80 cal/g°C

- a) 40
- b) 400
- c) 4000
- d) 40000

Comentário:



Como a água que o estudante precisa deve estar a 0°C , ele deve fornecer calor ao gelo suficiente apenas para derretê-lo. Esse calor é chamado calor latente de fusão e é dado por:

$$Q = m \cdot L$$

Em que L é o calor de fusão do gelo. Logo:

$$Q = 500 \cdot 80 = 40.000 \text{ cal}$$

Gabarito: D

18. (EEAR - 2016)

Um buffet foi contratado para servir 100 convidados em um evento. Dentre os itens do cardápio constava água a 10°C . Sabendo que o buffet tinha em seu estoque 30 litros de água a 25°C , determine a quantidade de gelo, em quilogramas, a 0°C , necessário para obter água à temperatura de 10°C . Considere que a água e o gelo estão em um sistema isolado.

Dados: densidade da água = 1 g/cm^3 ;

calor específico da água = $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$;

calor de fusão do gelo = 80 cal/g ;

calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$

a) 2

b) 3

c) 4

d) 5

Comentário:

O gelo deverá ser derretido (calor latente de fusão) e depois aquecido a 10°C (calor sensível).

Essa energia deve vir do resfriamento dos 30 litros de água de 25°C a 10°C . Logo, temos:

Seja m a massa de gelo utilizada. Temos:

$$Q_{\text{gelo}} = Q_{\text{fusão}} + Q_{\text{aquecimento}}$$

$$Q_{\text{gelo}} = m \cdot L + m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta$$

$$Q_{\text{gelo}} = m \cdot 80 + m \cdot 1 \cdot (10 - 0) = 90m \text{ cal}$$

Para o resfriamento da água, temos:

$$d_{\text{água}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

Logo,

$$m_{\text{água}} = \frac{V}{d_{\text{água}}} = \frac{30.000}{1} = 30.000 \text{ g}$$

$$Q_{\text{água}} = m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta = 30000 \cdot 1 \cdot (10 - 25) = -450.000 \text{ cal}$$

Da conservação da energia (sistema isolado), temos: $Q_{\text{água}} + Q_{\text{gelo}} = 0$. Logo,

$$90m - 450.000 = 0$$

$$m = 5000 \text{ g} = 5 \text{ kg}$$

Gabarito: D

19. (EEAR - 2015)

Considere um cubo de gelo de massa 1kg que se encontra à temperatura de -2°C . Colocado ao sol, recebe 14 J de calor a cada segundo. Dados o calor específico do gelo



igual a $0,5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e 1 cal igual a $4,2\text{J}$. Quantos minutos o gelo deverá ficar ao sol para começar a se fundir?

- a) 0,005
- b) 0,5
- c) 5
- d) 50

Comentário:

A taxa de recebimento de calor do gelo é de 14 J/s . Logo, num tempo Δt de exposição ao sol, temos:

$$Q = 14 \cdot \Delta t \text{ J}$$

Para calcular essa taxa em calorias, devemos dividi-la por 4,2. Logo, temos:

$$Q = \frac{14}{4,2} \cdot \Delta t = \frac{10}{3} \cdot \Delta t \text{ cal}$$

Para que comece a se fundir, o gelo deve chegar a 0°C , logo deve receber uma quantidade de calor dada por:

$$Q_{\text{gelo}} = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta\theta = 1000 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-2)] = 1000 \text{ cal}$$

Vamos então descobrir o tempo que o gelo leva para receber essa quantidade de calor:

$$\frac{10}{3} \cdot \Delta t = 1000$$
$$\Delta t = 300 \text{ s}$$

Como cada 1 min possui 60 s, temos:

$$\Delta t = \frac{300}{60} = 5 \text{ min}$$

Gabarito: C

20. (Colégio Naval - 2013)

A sensação de contato com algo gelado que é sentida ao passar um algodão embebido em álcool em temperatura ambiente na mão é um fenômeno atribuído a

- a) Sublimação do álcool.
- b) Insolubilidade do álcool em água.
- c) Mudança de estado do álcool, que é um fenômeno exotérmico.
- d) Liquefação do álcool.
- e) Evaporação do álcool, que é um fenômeno endotérmico.

Comentário:

Ao passarmos o algodão embebido em álcool na nossa mão, que está mais quente que o ambiente, o álcool evapora. Como esse é um processo endotérmico (absorve energia), o calor que flui das nossas mãos devido à diferença de temperatura é o responsável pela sensação de contato com algo gelado.

Esse fenômeno está descrito na letra E, que é a resposta correta.

Gabarito: E

21. (EEAR - 2018)

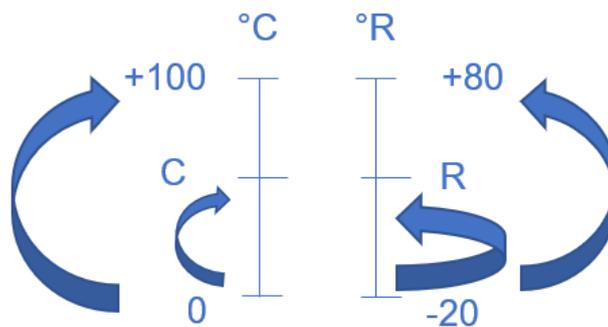


Roberto, empolgado com as aulas de Física, decide construir um termômetro que trabalhe com uma escala escolhida por ele, a qual chamou de escala R. Para tanto, definiu -20°R como ponto de fusão do gelo e 80°R como temperatura de ebulição da água, sendo estes os pontos fixos desta escala. Sendo R a temperatura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

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

Comentário:

De acordo com o enunciado, construímos o esquema abaixo:



Daí, temos:

$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{R - (-20)}{80 - (-20)}$$

$$\frac{C}{100} = \frac{R + 20}{100}$$

$$C = R + 20$$

Gabarito: B

22. (EAM-2012)

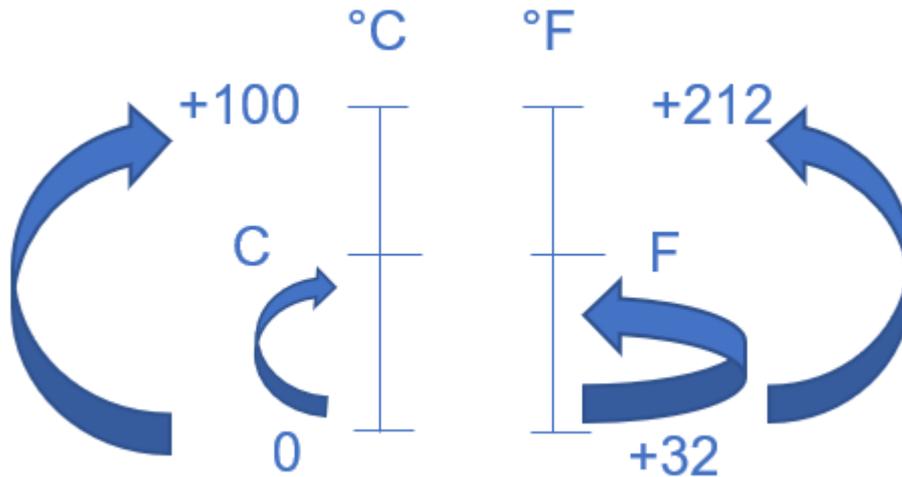
O local onde se renne o sistema de propulsão de um navio é chamado de praça de máquinas. A caldeira é um dos equipamentos mais comuns nas embarcações como os porta-aviões. Um operador desse tipo de sistema aferiu a temperatura de uma caldeira em 842°F . Qual o valor dessa temperatura na escala Celsius?

- f) 300°C
- g) 350°C
- h) 400°C
- i) 450°C
- j) 500°C



Comentário:

De acordo com o enunciado, podemos montar o esquema abaixo:



Daí, temos:

$$\begin{aligned} \frac{F - 32}{212 - 32} &= \frac{C - 0}{100 - 0} \\ \frac{F - 32}{180} &= \frac{C}{100} \\ \frac{810 - 32}{9} &= \frac{C}{5} \\ \frac{778}{9} &= \frac{C}{5} \\ 90 &= \frac{C}{5} \\ C &= 450 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Gabarito: D

23. (CN - 2018)

Sobre calor, luz, som, analise as afirmativas abaixo e assinale a opção que apresenta o conceito correto.

- f) Temperatura é a energia contida em um corpo aquecido.
- g) Ao ferver água destilada em uma panela com tampa aberta e ao nível do mar, após a água atingir e permanecer em ebulição sua temperatura se mantém constante.
- h) Um raio de luz se propaga em uma linha reta em meios homogêneos e opacos.
- i) Um raio de luz ao atravessar de um meio material para outro tem necessariamente a sua direção e propagação e velocidade alteradas.
- j) O som e a luz se propagam no vácuo.

Comentário:

Vamos analisar item por item:



- a) Falso. Temperatura é a medida do grau de agitação das moléculas de um corpo.
- b) Verdadeiro. Afirmação irretocável.
- c) Falso. Um raio de luz se propaga em uma linha reta apenas no vácuo.
- d) Falso. Em uma refração (nome do fenômeno descrito pelo item), eu sempre posso garantir que a velocidade de propagação se alterará, mas não posso afirmar nada sobre as outras características
- e) Falso. O som é uma onda mecânica e, como tal, só se propaga em meios materiais.

Gabarito: B

24. (EEAR - 2016)

Um portão de alumínio retangular de 1m de largura e 2m de altura a 10°C, cujo coeficiente de dilatação linear é $24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, sob o sol, atingiu a temperatura de 30°C. Qual a porcentagem aproximada de aumento de sua área após a dilatação?

- e) 0,1
- f) 0,2
- g) 0,3
- h) 0,4

Comentário:

Para a dilatação superficial, temos:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

Contudo, sabemos que:

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

Logo:

$$\Delta A = A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta A = A_0 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 10)$$

Perceba que a razão $\frac{\Delta A}{A_0}$ já representa o aumento (A) de sua área. Daí:

$$\frac{\Delta A}{A_0} = 2 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 10)$$

$$A = 48 \cdot 10^{-6} \cdot 20$$

$$A = 96 \cdot 10^{-5}$$

$$A = 0,00096$$

$$A \cong 0,001$$

Em porcentagem:

$$A = 0,1\%$$

Gabarito: A

25. (EEAR - 2009)

A maioria das substâncias tende a diminuir de volume (contração) com a diminuição da temperatura e tendem a aumentar de volume (dilatação) com o aumento da temperatura. Assim, desconsiderando as exceções, quando diminuimos a temperatura de uma substância tende a:



Obs: Considere a pressão constante.

- e) Diminuir.
- f) Aumentar.
- g) Manter-se invariável.
- h) Aumentar ou diminuir dependendo do intervalo de temperatura considerado.

Comentário:

Ora, da fórmula da densidade, temos:

$$d = \frac{m}{V}$$

Como, ao diminuir a temperatura, a substância tende a diminuir do volume, o denominador tende a ficar com um valor menor, o que implica que a fração terá um maior valor, ou seja, a densidade tende a aumentar, visto, também, que a massa não se altera nesse processo.

Gabarito: B

26. (EEAR - 2013)

Um técnico em mecânica recebeu a informação que uma placa metálica de área igual a 250 cm², enviada para análise em laboratório especializado, retornara. Os resultados da análise de dilatação térmica dessa placa estavam descritos em uma tabela.

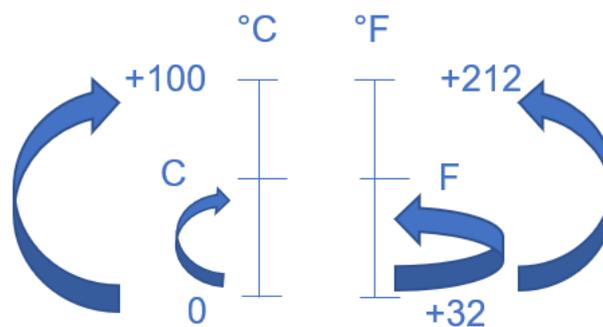
Medida inicial	Medida final	Temperatura inicial	Temperatura final
250,00 cm ²	251,00 cm ²	32 °F	212 °F

De acordo com dados da tabela acima, pode-se afirmar, corretamente, que o coeficiente de dilatação superficial, em °C⁻¹, do material que compõe a placa vale

- a) $2,0 \cdot 10^{-5}$
- b) $2,2 \cdot 10^{-6}$
- c) $4,0 \cdot 10^{-5}$
- d) $4,4 \cdot 10^{-6}$

Comentário:

Como queremos trabalhar em °C, vamos converter as temperaturas que estão inicialmente em °F. Daí, temos:



Isso, resulta:

$$\frac{F - 32}{180} = \frac{C}{100}$$



Contudo, perceba que 32°F e 212°F são justamente os pontos representativos da fusão e ebulição da água, respectivamente, à 1 atm. Logo:

$$\theta_0 = 0^\circ\text{C}$$
$$\theta_f = 100^\circ\text{C}$$

Daí, vem:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$
$$251 - 250 = 250 \cdot \beta \cdot (100 - 0)$$
$$1 = 25000 \cdot \beta$$

$$\beta = 4 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Gabarito: C

27. (EEAR - 2012)

Dilatação é um fenômeno térmico relativo

- e) Somente aos sólidos
- f) Somente aos fluidos
- g) Somente aos sólidos e líquidos
- h) Tanto aos sólidos, quanto aos líquidos e gases

Comentário:

A dilatação é um fenômeno relativo tanto aos sólidos, quanto aos líquidos e gases. Isso ocorre pois o fenômeno tem a ver com a variação da distância relativa entre os átomos de uma substância. Como todos os estados físicos apresentam a possibilidade de mudança nessa distância, então o fenômeno da dilatação é possível a substância, independente do seu estado físico.

Gabarito: D

28. (EEAR - 2010)

Uma barra de aço, na temperatura de 59°F, apresenta 10,0 m de comprimento. Quando a temperatura da barra atingir 212°F, o comprimento final desta será de m.

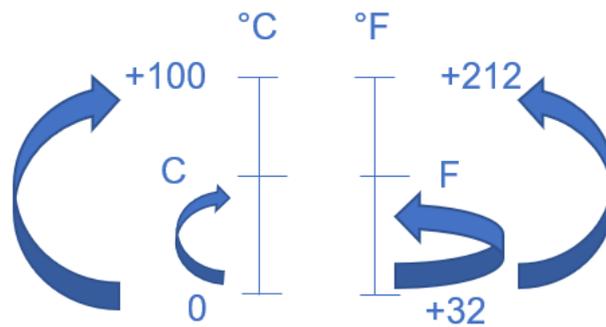
Adote:

Coeficiente de dilatação linear térmica do aço: $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- e) 10,0102
- f) 10,102
- g) 11,024
- h) 11,112

Comentário:

Como queremos trabalhar em °C, vamos converter as temperaturas que estão inicialmente em °F. Daí, temos:



Isso, resulta:

$$\frac{F - 32}{180} = \frac{C}{100}$$

Logo, para a temperatura inicial, vem:

$$\begin{aligned} \frac{59 - 32}{180} &= \frac{\theta_o}{100} \\ \frac{27}{9} &= \frac{\theta_o}{5} \\ \theta_o &= 15^\circ \text{C} \end{aligned}$$

Para a temperatura final, temos:

$$\begin{aligned} \frac{212 - 32}{180} &= \frac{\theta_f}{100} \\ \frac{180}{180} &= \frac{\theta_f}{100} \\ 1 &= \frac{\theta_f}{100} \\ \theta_f &= 100^\circ \text{C} \end{aligned}$$

Daí, temos:

$$\begin{aligned} \Delta l &= l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \\ l - l_0 &= l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \\ l &= l_0 + l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \\ l &= 10 + 10 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (100 - 15) \\ l &= 10 + 10 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 85 \\ l &= 10,0102 \end{aligned}$$

Gabarito: A

29. (EEAR - 2010)

Um material de uso aeronáutico apresenta coeficiente de dilatação linear de $15 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Uma placa quadrada e homogênea, confeccionado com este material, apresenta, a $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, 40 cm de lado. Qual o valor da área final desta placa, em m^2 , quando a mesma for aquecida até $80 \text{ } ^\circ\text{C}$?

- a) 40,036
- b) 1602,88
- c) $1602,88 \cdot 10^{-2}$



d) $1602,88 \cdot 10^{-4}$

Comentário:

Vamos calcular a área inicial da placa quadrada em m^2 (lembrando que $40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$)

$$S = l^2$$

$$S = 0,4^2$$

$$S = 0,16 \text{ m}^2$$

Daí, para a dilatação superficial, temos:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

Contudo, sabemos que:

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

Logo:

$$\Delta A = A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$A - A_0 = A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$A = A_0 + A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$A = S + S \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$A = 0,16 + 0,16 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot (80 - 20)$$

$$A = 0,16 + 0,16 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 60$$

$$A = 0,160288 \text{ m}^2$$

$$A = 1602,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Gabarito: D

30. (EEAR - 2015)

Uma chapa de cobre, cujo coeficiente de dilatação linear vale $2 \cdot 10^{-5}$, tem um orifício de raio 10 cm a 25°C . Um pino cuja área da base é $314,5 \text{ cm}^2$ a 25°C é preparado para ser introduzido no orifício da chapa. Dentre as opções abaixo, a temperatura da chapa, em $^\circ \text{C}$, que torna possível a entrada do pino no orifício, é

Adote: $\pi = 3,14$

e) 36

f) 46

g) 56

h) 66

Comentário:

Vamos calcular a área inicial do orifício:

$$A_0 = \pi \cdot r^2$$

$$A_0 = 3,14 \cdot 10^2$$

$$A_0 = 3,14 \cdot 100$$

$$A_0 = 314 \text{ cm}^2$$

A chapa precisa ter área de $314,5 \text{ cm}^2$ para que o pino consiga entrar. Logo, para a dilatação superficial, temos:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$



Contudo, sabemos que:

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

Logo:

$$\begin{aligned} \Delta A &= A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \\ A - A_0 &= A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \\ 314,5 - 314 &= 314 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta \theta \\ 0,5 &= 1256 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta \theta \\ \Delta \theta &= \frac{0,5}{1256 \cdot 10^{-5}} \\ \Delta \theta &\cong 40 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \theta_f - \theta_0 &= 40 \\ \theta_f - 25 &= 40 \\ \theta_f &= 40 + 25 \\ \theta_f &= 65 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Como essa é a temperatura limite, em qualquer temperatura acima dela será possível acoplar o pino. Logo, 66°C satisfaz.

Gabarito: D

31. (EEAR - 2014)

A partir da expressão da dilatação linear ($\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$), pode-se dizer que o coeficiente de dilatação linear (α) pode possuir como unidade

- e) °C.
- f) m/°C.
- g) °C⁻¹
- h) °C/m

Comentário:

De modo intuitivo, vamos analisar as unidades, adotando comprimento em “m” e temperatura em “°C”, temos:

$$\begin{aligned} m &= [\alpha] \cdot m \cdot ^\circ\text{C} \\ 1 &= [\alpha] \cdot ^\circ\text{C} \\ [\alpha] &= \frac{1}{^\circ\text{C}} \\ [\alpha] &= ^\circ\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

Gabarito: C

32. (EAM - 2014)

O Brasil é um país de dimensões continentais, por isso deve fortalecer cada vez mais sua frota de trens e metrô. O projeto dos trilhos dessas composições ferroviárias prevê espaçamentos muito pequenos entre dois trilhos consecutivos porque:

- f) Com o aumento da temperatura ao longo do dia, cada trilho deve se contrair ocupando o espaço vazio entre eles.



- g) Com a diminuição de temperatura ao longo do dia, cada trilho deve se dilatar ocupando o espaço vazio entre eles.
- h) Com a variação de temperatura ao longo do dia, cada trilho deve se contrair ocupando o espaço vazio entre eles.
- i) Se a temperatura aumentar durante o dia, cada trilho irá se dilatar e ocupar os pequenos espaços vazios sabiamente projetados.
- j) Se a temperatura diminuir durante o dia, cada trilho irá se contrair até tornar o espaçamento suficientemente grande para uma passagem segura da composição ferroviária.

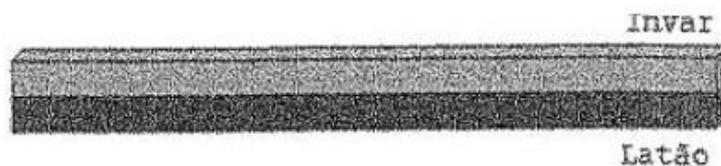
Comentário:

Quanto maior a temperatura, os trilhos se dilatarão. Logo, se eles estivessem perfeitamente ajustados eles não teriam espaço para se acomodarem, o que iria gerar danos a malha ferroviária. Por isso, os espaços são projetados para que os trilhos tenham espaço para ocupar caso a temperatura aumente ao longo do dia.

Gabarito: D

33. (EAM - 2012)

A figura a seguir representa uma lâmina bimetálica composta de duas lâminas de ligas metálicas fixadas entre si: Invar (níquel e ferro) e latão (cobre e zinco).



Essas lâminas são bastante usadas em disjuntores elétricos e, ao serem aquecidas, encurvam-se com a função de abrir um circuito. Esse encurvamento das lâminas é causado pelo fato de:

- f) Uma ser condutora de calor, e a outra ser isolante.
- g) Uma delas apresentar maior flexibilidade que a outra.
- h) Elas apresentarem resistências elétricas diferentes.
- i) Uma ser condutora de eletricidade, e a outra ser isolante.
- j) Elas sofrerem diferentes dilatações térmicas.

Comentário:

Esse encurvamento das lâminas é causado pois cada material possui um diferente coeficiente de dilatação térmica, o que resulta em uma barra dilatando mais que a outra. Desse modo, como estão fixadas entre si, uma acaba empurrando a outra por crescer mais, o que gera o efeito de curvatura nas lâminas.

Gabarito: E

34. (EAM - 2015)

Considere uma certa quantidade de água, inicialmente no estado sólido. Aquecendo gradativamente de forma homogênea toda essa quantidade de água, ela passa para o estado líquido e, mantendo-se o mesmo regime de aquecimento, a mesma passa do estado líquido



para o gasoso. Sobre as propriedades da água nos referidos estados físicos e sobre os processos de mudança de estado físico, pode-se afirmar que:

- f) O processo de mudança do estado sólido para o estado líquido chama-se fusão.
- g) O processo de mudança do estado sólido para o estado líquido chama-se liquefação.
- h) A densidade da água no estado sólido é maior que no estado líquido.
- i) O processo de mudança do estado líquido para o estado gasoso chama-se condensação.
- j) No processo de mudança do estado sólido para o estado líquido, a água perde calor.

Comentário:

Vamos examinar item por item:

- a) Verdadeiro.
- b) Falso. O processo referido no item chama-se fusão.
- c) Falso. A água apresenta comportamento anômalo, apresentando densidade menor no estado sólido (basta lembrar que o gelo flutua na água).
- d) Falso. O processo referido chama-se vaporização.
- e) Falso. A água absorve calor.

Gabarito: A

35. (Colégio Naval – 2019-Adaptada)

Em relação aos conceitos de mecânica, hidrostática e termologia, assinale a opção correta.

- f) A transferência de calor por condução e convecção é possível através do vácuo.
- g) Quando uma pessoa toca com o dedo em um bloco de gelo, o frio flui do gelo para a pessoa.
- h) Ao tocar em uma porta de madeira e em sua maçaneta de metal uma pessoa nota diferentes sensações térmicas, por exemplo, que a maçaneta está mais fria do que a porta.
- i) A energia potencial gravitacional não depende da escolha do referencial adotado.
- j) O módulo do empuxo exercido por um líquido sobre um corpo totalmente submerso nesse líquido é sempre igual ao módulo do peso do corpo.

Comentário:

Vamos examinar item por item:

- a) Falso. Essas formas de transferência de calor dependem da existência de meio material.
- b) Falso. O calor sempre flui do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura.
- c) Verdadeiro.
- d) Falso, pois depende do referencial
- e) Falso, pois basta que exista uma outra força atuante para que essa igualdade não seja válida.

Gabarito: C

36. (EAM - 2019)

Um termômetro registra a temperatura de 932°F. Converta esse valor para a escala Celsius e marque a opção correta.

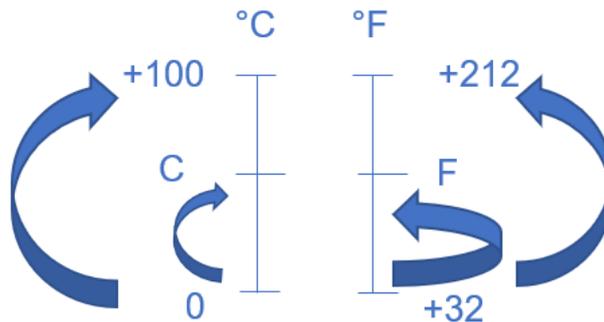


Dados: pontos fixos de fusão e ebulição, respectivamente, nas escalas Celsius (0°C e 100°C) e Fahrenheit (32°F e 212°F), sob pressão normal.

- f) 100
- g) 200
- h) 300
- i) 400
- j) 500

Comentário:

Vejamos:



Isso, resulta:

$$\frac{F - 32}{180} = \frac{C}{100}$$

Logo, para a temperatura dada, vem:

$$\begin{aligned} \frac{932 - 32}{180} &= \frac{C}{100} \\ \frac{900}{180} &= \frac{C}{100} \\ \frac{9}{18} &= \frac{C}{100} \\ \frac{1}{2} &= \frac{C}{100} \end{aligned}$$

$$C = 500^{\circ}\text{C}$$

Gabarito: E

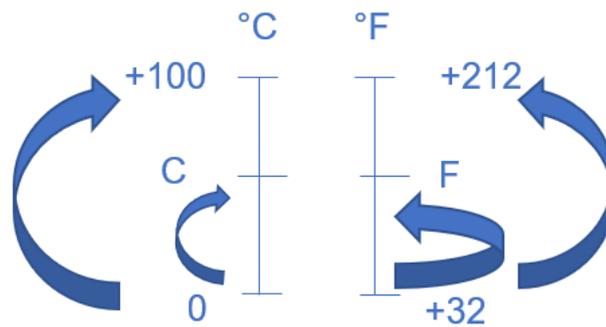
37. (EAM - 2018)

Três termômetros são colocados num mesmo líquido e, atingido o equilíbrio térmico, o graduado na escala Celsius registra 45°C . Os termômetros graduados nas escalas Kelvin e Fahrenheit, respectivamente, devem registrar que valores?

- f) 218 K e 113°F
- g) 318 K e 223°F
- h) 318 K e 223°F
- i) 588 K e 313°F
- j) 628 K e 423°F

Comentário:

Temos:



Isso, resulta:

$$\frac{F - 32}{180} = \frac{C}{100}$$

$$\frac{F - 32}{9} = \frac{C}{5}$$

$$\frac{F - 32}{9} = \frac{45}{5}$$

$$\frac{F - 32}{9} = 9$$

$$F - 32 = 81$$

$$F = 113 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Por outro lado, para a conversão em K, vem:

$$T_k = T_c + 273$$

$$T_k = 45 + 273$$

$$T_k = 318 \text{ K}$$

Gabarito: B

38. (EEAR - 2006)

A quantidade de calor que é preciso fornecer ao corpo para que haja mudança em sua temperatura, denomina-se calor

- e) Sensível
- f) Estável
- g) Latente
- h) Interno

Comentário:

Ora, o calor sensível é a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo para variar a sua temperatura, enquanto o calor latente é o calor envolvido em mudanças de estado físico.

Logo, o item correto é o “a”.

Gabarito: A

39. (EEAR - 2009)

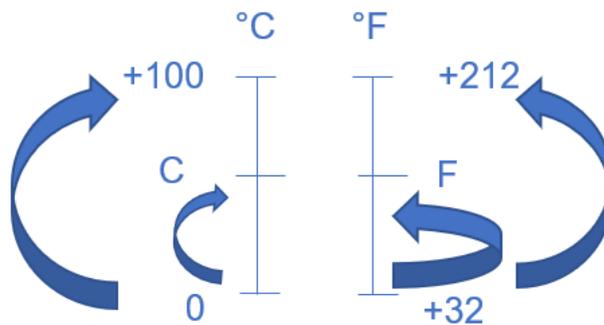


Um equipamento eletrônico foi entregue na Sala de Física da Escola de Especialistas de Aeronáutica, porém, na etiqueta da caixa estava escrito que o equipamento deveria funcionar sob uma temperatura de 59°F. Logo, os professores providenciaram um sistema de refrigeração, que deveria ser ajustado em valores na escala Celsius. Portanto, a temperatura correta que o sistema deve ser ajustado, em °C, é de:

- a) 15,0
- b) 32,8
- c) 42,8
- d) 59,0

Comentário:

Temos:



Isso, resulta:

$$\frac{F - 32}{180} = \frac{C}{100}$$

$$\frac{F - 32}{9} = \frac{C}{5}$$

$$\frac{59 - 32}{9} = \frac{C}{5}$$

$$C = \frac{27}{9} \cdot 5$$

$$C = 3 \cdot 5$$

$$C = 15 \text{ °C}$$

Gabarito: A

40. (EEAR - 2010)



As trocas de energia térmica envolvem processos de transferências de calor. Das alternativas a seguir, assinale a única que não se trata de um processo de transferência de calor.

- e) Ebulição
- f) Radiação
- g) Condução
- h) Convecção

Comentário:

A ebulição não é um processo de transferência de calor, mas, sim, uma das formas da vaporização, ou seja, transferência de uma substância do estado líquido para o estado gasoso.

Gabarito: A

Nível 2

41. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um corpo sofre uma queda de temperatura de 50 °C. Qual é a queda de temperatura na escala Fahrenheit?

- a) 20
- b) 36
- c) 18
- d) 90

Comentários:

A variação de temperatura na escala Fahrenheit e Celsius tem a seguinte relação:

$$\Delta^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} \cdot \Delta^{\circ}\text{F}$$

$$50 = \frac{5}{9} \cdot \Delta^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta^{\circ}\text{F} = 90$$

Gabarito: D

42. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um estudante criou uma escala de temperatura que tem o ponto de fusão com a temperatura de 20 °X. A variação de temperatura da escala criada é igual a variação de temperatura na escala Fahrenheit. Qual é a temperatura do ponto de ebulição na escala criada?

- a) 80 °X
- b) 90 °X
- c) 200 °X
- d) 190 °X

Comentários:

Se a variação de temperatura nas escalas criadas e na escala Fahrenheit são as mesmas, as duas escalas apresentam mesmo distanciamento na graduação. Sabe-se que na escala Fahrenheit a



“distância” entre o ponto de gelo e ponto de vapor é de 180 marcações de temperatura. Desta maneira, a escala criada também apresenta esse distanciamento.

Portanto, temos:

$$T_{\text{vapor}} = 20^{\circ}\text{X} + 180^{\circ}\text{X} = 200^{\circ}\text{X}$$

Gabarito: C

43. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um termômetro registra a temperatura de um objeto como 32°F . Se o mesmo objeto fosse medido por um termômetro que registra temperaturas em $^{\circ}\text{C}$, qual seria a marcação?

- a) 25°C
- b) 64°C
- c) 32°C
- d) 0°C

Comentário:

A conversão entre a escala Celsius e a escala Fahrenheit é dada por:

$$\frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180}$$
$$\frac{C}{100} = \frac{32 - 32}{180}$$
$$\boxed{C = 0^{\circ}\text{C}}$$

Gabarito: D

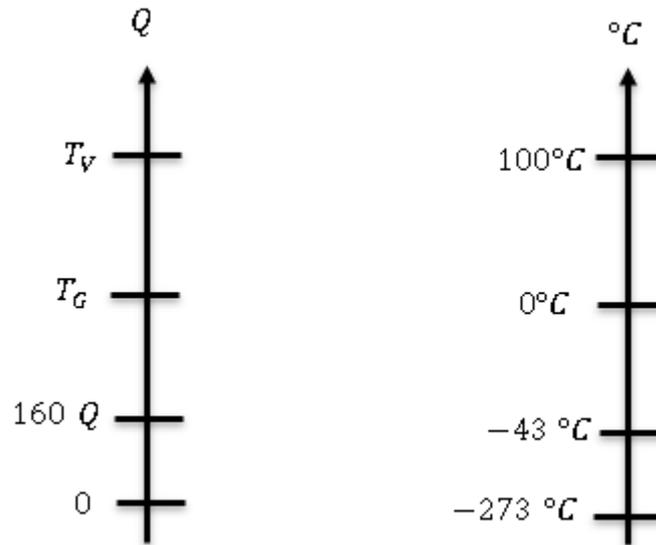
44. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma escala termométrica absoluta Q marca 160 Q para -43°C . Para uma substância que inicialmente estava a -16°F e que aumenta sua temperatura em 80 Q, qual é a temperatura final em $^{\circ}\text{F}$?

- a) 207
- b) 191
- c) 201
- d) 180

Comentário:

Primeiramente, devemos realizar o desenho das escalas. Como a escala é absoluta, o zero representa a temperatura do zero absoluto.



$$\frac{160}{T_G} = \frac{230}{273} \rightarrow T_G = 189,91$$

$$\frac{160}{T_V} = \frac{230}{373} \rightarrow T_G = 259,47$$

Relação entre as variações na escala Q e na escala Fahrenheit:

$$\frac{\Delta^{\circ}\text{F}}{180} = \frac{\Delta Q}{T_V - T_G}$$

$$\frac{\Delta^{\circ}\text{F}}{180} = \frac{80}{\frac{16 \cdot 100}{23}}$$

$$\Delta^{\circ}\text{F} = 207^{\circ}\text{F}$$

Portanto, temos:

$$T = T = -16 + 207 = 191^{\circ}\text{F}$$

$$\boxed{T = 191^{\circ}\text{F}}$$

Gabarito: B

45. (Prof. Vinícius Fulconi)

Ao introduzirmos em água sobre-resfriada (-8°C) um cristal de gelo, a mesma imediatamente começa a congelar. Qual é a quantidade de gelo que se forma de 1 kg de água sobre-resfriada? O calor específico da água é $1 \text{ cal/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ e o calor latente de fusão é 80 cal/g .

- a) 40 g
- b) 30 g
- c) 80 g
- d) 100 g

Comentário:



Para a água sobre-resfriada, o calor sensível para água ir de 0 °C até -8 °C é perdido para que a água se torne gelo. Desta maneira, calor sensível se torna latente.

$$Q_{\text{sensível}} = Q_{\text{latente}}$$

$$m \cdot c \cdot \Delta T = m_{\text{gelo}} \cdot L$$

$$1000 \cdot 1 \cdot 8 = m_{\text{gelo}} \cdot 80$$

$$\boxed{m_{\text{gelo}} = 100 \text{ g}}$$

Gabarito: D

46. (Prof. Vinícius Fulconi)

Considere 3 esferas inicialmente separadas com temperaturas distintas. A temperatura da primeira esfera 4° C e capacidade térmica é igual a 1 cal/°C. A segunda esfera tem temperatura de 8 °C e capacidade térmica 2 cal/°C. A terceira esfera tem temperatura 16 °C e capacidade térmica 4 cal/°C. Se as esferas forem colocadas em contato, qual será a temperatura final do sistema? Não mudança de estado físico das esferas.

- a) 10 °C
- b) 8 °C
- c) 12 °C
- d) 28/3 °C

Comentário:

Como as esferas só alteram sua temperatura, a temperatura de equilíbrio pode ser calculada por:

$$T_{\text{eq}} = \frac{C_1 \cdot T_1 + C_2 \cdot T_2 + C_3 \cdot T_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$T_{\text{eq}} = \frac{1 \cdot 4 + 2 \cdot 8 + 4 \cdot 16}{1 + 2 + 4}$$

$$\boxed{T_{\text{eq}} = 12 \text{ °C}}$$

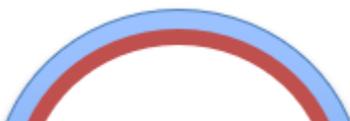
Gabarito: C

47. (Prof. Vinícius Fulconi)

Considere duas lâminas de mesmo comprimento soldadas. A lâmina A tem coeficiente de dilatação linear α_A e a lâmina B tem coeficiente de dilatação linear α_B . As lâminas são aquecidas. Sabendo que $\alpha_A > \alpha_B$, qual será a nova forma da barra?



a)





b)



c)



d) Não é possível prever o comportamento da barra.

Comentário:

A variação do comprimento da barra é dada por:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Para as barras, temos:

$$\Delta L_A = L_0 \cdot \alpha_A \cdot \Delta T$$

$$\Delta L_B = L_0 \cdot \alpha_B \cdot \Delta T$$

Como $\alpha_A > \alpha_B$:

$$\Delta L_A > \Delta L_B$$

Desta maneira, a barra A deve possuir maior comprimento que a barra B. Como elas estão soldadas, as barras formam um arco de circunferência. Além disso, elas se encurvam na direção da barra B.

Gabarito: A

48. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um certo líquido possui densidade 5 g/cm^3 na temperatura de 0°C . Se o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido é $4 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, qual é a densidade do corpo a 100°C ?

- a) 500 g/cm^3
- b) $0,05 \text{ g/cm}^3$
- c) 100 g/cm^3
- d) 1 g/cm^3

Comentário:

A densidade de um corpo variado segundo a temperatura da seguinte maneira:

$$d = \frac{d_0}{1 + \gamma \cdot \Delta T}$$

Substituindo os valores:

$$d = \frac{5}{1 + 4 \cdot 10^{-2} \cdot 100}$$



$$d = \frac{5}{5}$$

$$\boxed{d = 1 \text{ g/cm}^3}$$

Gabarito: D

49. (Prof. Vinícius Fulconi)

Considere que em um recipiente há 100 g de gelo a -10°C . Para derreter todo o gelo e transforma-lo em água a 10°C devemos fornecer uma certa quantidade de energia. Essa energia é proveniente de um corpo de 5 kg que cai de uma altura h . Qual é o valor de h , para que o fenômeno desejado ocorra? O calor específico do gelo é $0,5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, o calor específico da água é $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e o calor latente de fusão é 80 cal/g .

- a) 30 m
- b) 25 m
- c) 190 m
- d) 45 m

Comentários:

Para transformar todo gelo em água, precisamos uma energia Q :

$$Q = m \cdot c' \cdot \Delta T + m \cdot L + m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 100 \cdot 0,5 \cdot 10 + 100 \cdot 80 + 100 \cdot 1 \cdot 10$$

$$Q = 500 + 8000 + 1000 = 9500 \text{ cal}$$

A energia Q é advinda da energia potencial do corpo de 10 kg.

$$Q = 9500 = M \cdot g \cdot h$$

$$9500 = 5 \cdot 10 \cdot h$$

$$\boxed{h = 190 \text{ m}}$$

Gabarito: C

50. (Prof. Vinícius Fulconi)

Patinagem no gelo é o ato de usar patins com lâminas no lugar de rodas para deslizar em superfícies cobertas de gelo. A patinação ocorre devido ao fenômeno do regelo.

Qual das alternativas descreve o fenômeno do regelo?

- a) Ocorre a fusão do gelo por aumento de pressão.
- b) Ocorre a fusão do gelo por aumento e posterior diminuição da pressão.
- c) Ocorre a solidificação da água por diminuição da pressão externa.
- d) Ocorre a fusão do gelo por diminuição pelo aumento da pressão externa.

Comentários:

Regelo é o fenômeno de fusão do gelo por aplicação de pressão e posterior solidificação, quando a pressão é reduzida.

Gabarito: B

51. (Prof. Vinícius Fulconi)

Qual das alternativas abaixo melhor descreve o ponto triplo de uma substância?



- a) O ponto triplo é uma condição de temperatura e pressão na qual há equilíbrio entre sólido e vapor.
- b) O ponto triplo é uma condição de temperatura e pressão na qual há três, ou mais, substâncias em equilíbrio.
- c) O ponto triplo é uma condição de pressão para a qual não há mais vapor.
- d) O ponto triplo é uma condição de temperatura e pressão na qual há equilíbrio entre sólido, líquido e vapor.

Comentários:

O ponto triplo é a coexistência dos três estados físicos da matéria: sólido, líquido e vapor.

Gabarito: D**52. (Prof. Vinícius Fulconi)**

A temperatura em uma escala “Coruja” é a média geométrica entre a temperatura na escala Kelvin e a temperatura na escala Celsius. Qual é o valor da temperatura na escala “Coruja” para $T = 546 \text{ K}$?

- a) 200 K
- b) 180 K
- c) 386 K
- d) 75 K

Comentários:

A relação entre a escala Celsius e Kelvin é dada por:

$$C = K - 273 \quad (I)$$

Para a escala Estratégia, temos:

$$E = \sqrt{C \cdot K}$$

Substituindo a relação (I):

$$E = \sqrt{(K - 273) \cdot K}$$
$$E = \sqrt{(546 - 273) \cdot 546}$$

Para $T = 6,5 \text{ K}$:

$$E = \sqrt{273 \cdot 546}$$

$$\boxed{E \cong 386 \text{ K}}$$

Gabarito: C**53. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Uma escala absoluta é:

- a) a escala que apresenta valor zero para a temperatura do zero absoluto.
- b) a escala que só apresenta valores inteiros para as temperaturas.
- c) a escala que tem ponto de gelo igual a zero.
- d) a escala que tem ponto de vapor igual a 100.

Comentário:

Uma escala absoluta tem o valor zero para o zero absoluto. A escala Kelvin é uma escala absoluta.

**Gabarito: A****54. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Um corpo A está a uma temperatura de 400 °C e um corpo B está a uma temperatura de 250°C. Os dois corpos entram em contato e espera-se o equilíbrio térmico ser atingido. Qual das alternativas abaixo pode representar a temperatura de equilíbrio do sistema?

- a) 150 °C
- b) 200 °C
- c) 300 °C
- d) 550°C

Comentários:

O enunciado não forneceu dados suficientes para que pudéssemos calcular a temperatura final. Entretanto, a temperatura de equilíbrio do sistema sempre está entre os extremos de temperatura de seus corpos. Dessa maneira, a única possibilidade seria a alternativa C.

Gabarito: C**55. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Um sistema armazena V litros de água a T° C, na pressão ambiente. Para esse sistema atingir a temperatura de 4T°C, na pressão ambiente, deverá ser transmitido ao mesmo, a quantidade de calor de _____ cal.

Considere: Calor específico da água = $1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$;

Densidade da água = 1 g/cm^3

- a) 2000VT
- b) 3000VT
- c) 4000VT
- d) 5000VT

Comentário:

Podemos calcular a massa de água como:

$$m_{\text{água}} = V \cdot 10^3 = 1000V \text{ gramas}$$

Da calorimetria, sabemos que $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, logo:

$$Q = 1000V \cdot 1 \cdot (4T - T)$$

$$\boxed{Q = 3000VT}$$

Gabarito: B**56. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Calorímetros são recipientes termicamente isolados utilizados para estudar a troca de calor entre corpos. Em um calorímetro, em equilíbrio térmico com uma amostra de m gramas de água a 4T °C, é colocado mais m gramas de água a 8T °C. Sabendo que o sistema atinge uma temperatura de equilíbrio igual a 5T °C, qual a capacidade térmica, em cal/°C, deste calorímetro? O calor específico da água vale c cal/g°C.

- a) $C = 4mc$
- b) $C = 2mc$



c) $C = 10mc$

d) $C = 12mc$

Comentário:

Para a água inicialmente a 40°C :

$$Q_{\text{água}} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_{40}$$

$$Q_{\text{água}-40} = m \cdot c \cdot (5T - 4T) = m \cdot c \cdot T$$

Para a água inicialmente a 80°C :

$$Q_{\text{água}} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_{80}$$

$$Q_{\text{água}-80} = m \cdot c \cdot (5T - 8T) = -3 \cdot m \cdot c \cdot T$$

Para o calorímetro:

$$Q_{\text{calorímetro}} = C \cdot \Delta\theta_1 = C \cdot (5T - 4T) = C \cdot T$$

Da conservação da energia, temos:

$$Q_{\text{água}-40} + Q_{\text{água}-80} + Q_{\text{calorímetro}} = 0$$

Logo,

$$m \cdot c \cdot T - 3 \cdot m \cdot c \cdot T + C \cdot T = 0$$

$$\boxed{C = 2mc}$$

Gabarito: B

57. (Prof. Vinícius Fulconi)

Em uma panela foi adicionada uma massa de água de M (gramas) a temperatura de T ($^{\circ}\text{C}$). Para transformar essa massa de água totalmente em vapor a $4T$ $^{\circ}\text{C}$, qual deve ser a quantidade total de calor fornecida, em calorias? Considere a temperatura de ebulição da água como $4T$.

Considere o calor específico da água vale c cal/ g°C e o calor latente de vaporização da água L cal/g.

a) $3 \cdot m \cdot c \cdot T$

b) $m \cdot c \cdot T + 3m \cdot L$

c) $m \cdot c \cdot T + m \cdot L$

d) $3 \cdot m \cdot c \cdot T + m \cdot L$

Comentário:

Para evaporar completamente toda a água, primeiro devemos aquecê-la até 100°C (calor sensível) e depois devemos aquecer o suficiente para que a água mude de fase (calor latente de ebulição).

Logo, temos:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{sensível}} + Q_{\text{latente}} = m \cdot c \cdot \Delta\theta + m \cdot L$$

$$\boxed{Q = 3 \cdot m \cdot c \cdot T + m \cdot L}$$

Gabarito: D

58. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um portão de alumínio retangular de lados a e b está inicialmente a uma temperatura T_0 , cujo coeficiente de dilatação linear é α . Após receber uma quantidade de calor, o portão atingiu a temperatura $3T_0$. Qual a porcentagem aproximada de aumento de sua área após a dilatação?



- a) $400 \cdot \alpha \cdot T_0 \%$
- b) $4 \cdot \alpha \cdot T_0 \%$
- c) $a \cdot b \cdot \alpha \cdot T_0 \%$
- d) $100 \cdot \alpha \cdot T_0 \%$

Comentário:

Para a dilatação superficial, temos:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

Contudo, sabemos que:

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

Logo:

$$\begin{aligned} \Delta A &= A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \\ \Delta A &= A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot (3T_0 - T_0) \\ \Delta A &= 4 \cdot A_0 \cdot \alpha \cdot T_0 \\ \frac{\Delta A}{A_0} &= 4 \cdot \alpha \cdot T_0 \end{aligned}$$

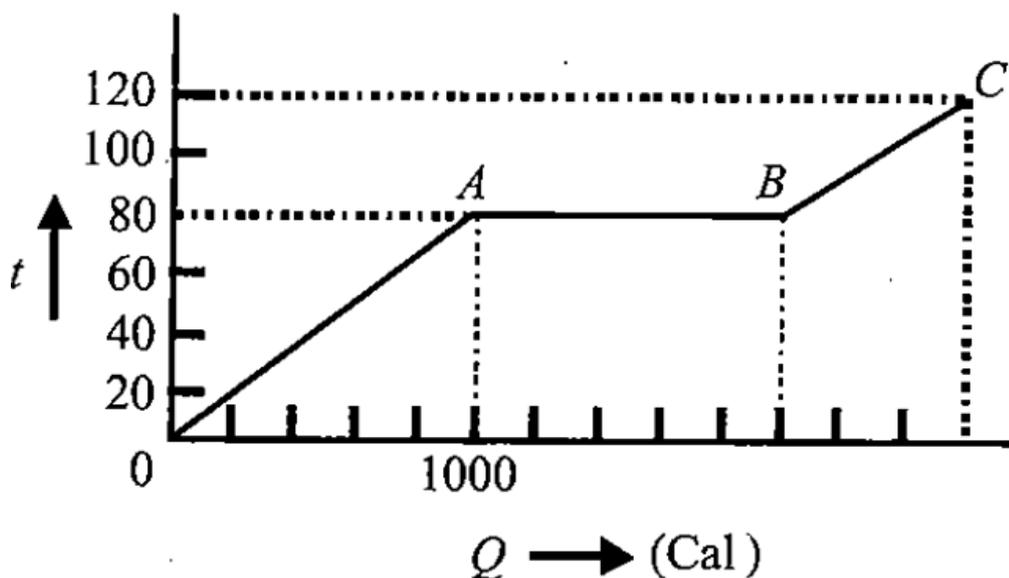
Para transformar em porcentagem, multiplicamos por 100:

$$\boxed{\frac{\Delta A}{A_0} = 400 \cdot \alpha \cdot T_0 \%}$$

Gabarito: A

59. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma substância está no estado sólido na temperatura de 0°C . Uma quantidade de calor é fornecida ao sólido ao longo de um determinado intervalo de tempo. Um gráfico desse aquecimento foi plotado e está mostrado pela figura abaixo. A capacidade térmica específica do material vale $0,5 \frac{\text{cal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. A capacidade térmica específica da água é $1000 \frac{\text{cal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Julgue os itens abaixo:



I. A massa da substância é de $0,025 \text{ kg}$.



II. O calor específico latente da substância vale $40000 \frac{\text{cal}}{\text{kg}}$.

III. A capacidade térmica específica da substância no estado líquido vale $500 \frac{\text{cal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas I verdadeira.
- b) Apenas II é falsa.
- c) Apenas III é falsa.
- d) Só há uma correta.
- e) Há duas falsas.

Comentário:

- 1000 calorias aquecem o material de 0° até 80°C

$$1000 = m(1000 \cdot 0,5) \cdot 80$$

$$m = 0,025 \text{ kg}$$

- Para ir de A até B são 1000 calorias, mudando a fase da substância:

$$1000 = L \cdot 0,025$$

$$L = 40000 \frac{\text{cal}}{\text{kg}}$$

- No estado líquido para ir de 80° até 120°C , o material absorve 600 calorias

$$0,025 \cdot c \cdot 40 = 600$$

$$c = 500 \frac{\text{cal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

Gabarito: C

60. (Prof. Vinícius Fulconi)

Com relação à termometria, é possível afirmar que:

- a) As escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit são exemplos de escalas centígradas.
- b) Se a equação $k = 4f - \frac{2}{5}c$, onde k é o valor de uma determinada temperatura em Kelvin, f é o valor de uma determinada temperatura em Fahrenheit e c é o valor de uma determinada temperatura em Celsius. Então, 30°C é solução da equação.
- b) A variação de temperatura para a escala Celsius é sempre igual a variação da escala Fahrenheit.
- d) Pela lei zero da termodinâmica, se dois corpos 1 e 2 estão isoladamente em equilíbrio térmico com um corpo 3, então os dois primeiros também estarão em equilíbrio entre si.
- e) Não existe temperatura que possua o mesmo valor nas escalas Celsius e Fahrenheit.

Comentário:



a) Falsa, pois a escala fahrenheit não é centígrada.

b) Da termometria, temos que:

$$\frac{c}{5} = \frac{f - 32}{9} = \frac{k - 273}{5} \Rightarrow k = c + 273 \text{ e } f = \frac{9c}{5} + 32$$

Do enunciado, temos:

$$k = 4f - \frac{2}{5}c \Rightarrow c + 273 = 4 \cdot \left(\frac{9c}{5} + 32\right) - \frac{2}{5}c$$

$$\frac{5c}{5} + 273 = \frac{36c}{5} + 128 - \frac{2}{5}c \Rightarrow \frac{29c}{5} = 145$$

$$c = 25^\circ\text{C}$$

Logo, a afirmativa está incorreta.

c) Falsa, pois a variação em Fahrenheit é 1,8 vezes maior que a variação em Celsius.

d) Verdadeira.

e) Da termometria, temos que:

$$\frac{c}{5} = \frac{f - 32}{9}$$

Como queremos ter o mesmo valor em Celsius e em Fahrenheit:

$$\frac{x}{5} = \frac{x - 32}{9} \Rightarrow 9x = 5x - 160 \Rightarrow 4x = -160$$

$$x = -40^\circ\text{C} = -40^\circ\text{F}$$

Logo, a alternativa está incorreta.

Gabarito: D

61. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma peça de metal de 80g que se encontra a uma temperatura de 300°C é colocada dentro de um calorímetro de 50 cal/°C que contém 100 g de água a 10°C. Após atingido o equilíbrio térmico, mediu-se a temperatura de 50°C. Determine o calor específico do metal em cal/g°C.

Dados: Calor específico da água = 1 cal/g°C

- a) 0,012
- b) 0,015
- c) 0,020
- d) 0,023
- e) 0,030

Comentário:

Observe que num sistema fechado, a soma dos calores trocados é nula:

$$Q_i = Q_f$$

$$Q_{\text{metal}} = Q_{\text{água}} + Q_{\text{calorímetro}}$$

$$80 \cdot c \cdot (300 - 50) = 10 \cdot 1 \cdot (50 - 10) + 50 \cdot (50 - 10)$$



$$80. c. 250 = 400 + 2000 \rightarrow c = \frac{3}{250} = 0,012 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$$

Gabarito: A

62. (Prof. Vinícius Fulconi)

De um forno cuja temperatura é $T_f = 200^\circ\text{C}$ se extrai uma peça cuja massa é 50g e o calor específico é $0,2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Tal peça é inserida num calorímetro cujo equivalente em água é 890 g. Nesse calorímetro se encontravam 100 g de água a 20°C . Determine a temperatura final do sistema.

- a) $20,8^\circ\text{C}$
- b) $21,8^\circ\text{C}$
- c) $22,7^\circ\text{C}$
- d) $24,7^\circ\text{C}$
- e) $30,2^\circ$

Comentário:

Num sistema fechado, a soma dos calores trocados é nula:

$$Q_i = Q_f$$

$$Q_{\text{metal}} = Q_{\text{água}} + Q_{\text{calorímetro}}$$

Seja T a temperatura de equilíbrio:

$$50.0,2. (200 - T) = 100.1. (T - 20) + 890.1. (T - 20)$$

Perceba que o calorímetro possui um “equivalente em água” de 890 g, isto é, numa troca de calor, o calorímetro é equivalente à uma quantidade de 890 g de água realizando a mesma troca de calor. Como se o calorímetro fosse feito de água ☺

$$50.0,2. (200 - T) = 990.1. (T - 20)$$

$$200 - T = 99T - 1980 \rightarrow T = 21,8^\circ\text{C}$$

Gabarito: B

63. (Prof. Vinícius Fulconi)

Inicialmente temos três líquidos A, B e C, com temperaturas de 30°C , 20°C e 10°C e massas m, 2m e 3m, respectivamente. Misturando os líquidos A e B, temos que a temperatura de equilíbrio é 25°C . Misturando os líquidos B e C, temos que a temperatura de equilíbrio é $14,5^\circ\text{C}$. Portanto, qual será a temperatura de equilíbrio quando misturamos os líquidos A e C. Desconsidere qualquer interferência do calorímetro.

- a) 15°C
- b) 16°C
- c) 17°C
- d) 18°C
- e) 19°C

Comentário:



Organizando as informações, temos:

A: massa M e Temp. 30°C

B: massa $2M$ e Temp 20°C

C: massa $3M$ e Temp 10°C

Assim, da mistura A e B, temos:

$$m \cdot c_A \cdot (30 - 25) = 2m \cdot c_B \cdot (25 - 20)$$

$$\rightarrow c_A = 2c_B$$

Da mistura B e C, temos:

$$2m \cdot c_B \cdot (20 - 14,5) = 3m \cdot c_C \cdot (14,5 - 10)$$

$$\rightarrow c_B = \frac{27}{11} \cdot c_C$$

Logo, podemos perceber que:

$$c_A = \frac{27}{11} \cdot c_C$$

Por fim, seja T a temperatura de equilíbrio da mistura A e C:

$$m \cdot c_A \cdot (30 - T) = 3m \cdot c_C \cdot (T - 10)$$

$$\rightarrow 270 - 9T = 11T - 110 \rightarrow T = 19^{\circ}\text{C}$$

Gabarito: E

64. (Prof. Vinícius Fulconi)

Uma mesma quantidade de calor Q é fornecida a todos os corpos desse problema. Qual deles haverá a maior variação de temperatura? Os corpos não mudam de estado físico.

- a) Sólido A de massa 2 g e calor específico $7 \text{ cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}$.
- b) Sólido B de massa 4 g e calor específico $5 \text{ cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}$.
- c) Sólido C de massa 6 g e calor específico $4 \text{ cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}$.
- d) Sólido D de massa 8 g e calor específico $4 \text{ cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}$.

Comentário:

O calor dado aos blocos é o calor sensível:

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

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c}$$

a)

$$\Delta T = \frac{Q}{2 \cdot 7}$$

$$\Delta T = \frac{Q}{14}$$



b)

$$\Delta T = \frac{Q}{4 \cdot 5}$$

$$\Delta T = \frac{Q}{20}$$

c)

$$\Delta T = \frac{Q}{6 \cdot 4}$$

$$\Delta T = \frac{Q}{24}$$

d)

$$\Delta T = \frac{Q}{8 \cdot 4}$$

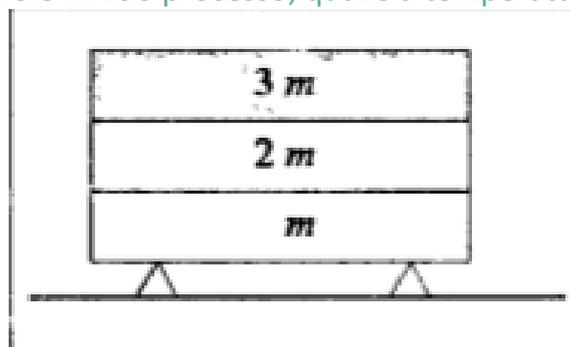
$$\Delta T = \frac{Q}{32}$$

A maior variação de temperatura é para o sólido A.

Gabarito: A

65. (Prof. Vinícius Fulconi)

Temos 3 barras, feitas de um mesmo material, de massas m , $2m$ e $3m$. Tais barras são dispostas uma acima da outra como mostra a figura abaixo. Sabendo que a barra central e superior se encontra na temperatura 120°C e 20°C , respectivamente, e a temperatura da barra inferior é a mesma no início e fim do processo, qual é a temperatura final do sistema?



- a) 40°C
- b) 50°C
- c) 60°C
- d) 70°C

Comentário:

Seja T a temperatura final do sistema. Conservando a quantidade de calor, temos:



$$Q_f = Q_i$$

$$(m + 2m + 3m) \cdot c \cdot T = m \cdot c \cdot T_1 + 2m \cdot c \cdot T_2 + 3m \cdot c \cdot T_3$$

Do enunciado, temos que:

$$T = T_1$$

Logo:

$$6m \cdot T = m \cdot T + 2m \cdot 120 + 3m \cdot 20 \rightarrow 5T = 240 + 60$$

$$\boxed{T = 60^\circ\text{C}}$$

Gabarito: C

66. (Prof. Vinícius Fulconi)

Qual deve ser a quantidade de calor fornecida a 50 g de gelo a -20°C para transformar em água a 20°C ?

Dados:

Calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$

Calor específico da água = $1 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$

Calor latente de fusão da água = 80 cal/g

- a) 550 cal
- b) 1200 cal
- c) 5000 cal
- d) 5500 cal
- e) 850 cal

Comentário:

Para transformar o gelo em água, devemos somar dois calores sensíveis e um calor latente:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot (0 - (-20)) + m \cdot L + m \cdot c_{\text{água}} \cdot (20 - 0)$$

$$Q = 50 \cdot 0,5 \cdot (20) + 50 \cdot 80 + 50 \cdot 1 \cdot (20)$$

$$\boxed{Q = 5500 \text{ cal}}$$

Gabarito: D

67. (Prof. Vinícius Fulconi)

Considere uma placa quadrada de coeficiente linear de dilatação de $10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Na temperatura de 23°C a área da placa é 1 m^2 . Qual a área da placa a 223°C ?

- a) 3 m^2
- b) 5 m^2
- c) 7 m^2
- d) 9 m^2
- e) 11 m^2

Comentário:



A dilatação de uma placa é guiada pela seguinte expressão:

$$A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

Entretanto, o exercício nos forneceu o coeficiente de dilatação linear α .

$$\alpha = \frac{\beta}{2}$$

$$\beta = 2 \cdot 10^{-2}$$

Substituindo, temos:

$$A = 1 \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-2} \cdot 200)$$

$$\boxed{A = 5 \text{ m}^2}$$

Gabarito: B

68. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um disco de certo metal está girando em torno de seu eixo principal e seus pontos periféricos tem uma velocidade de 20 m/s . Ao fornecer calor para o disco, sua temperatura aumenta em 300°C . O coeficiente de dilatação linear do metal é igual a $\alpha_{\text{METAL}} = 11,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Determine qual são as velocidades dos pontos periféricos da placa após o aquecimento, considerando que a velocidade angular da placa não varia.

- a) $26,9 \text{ m/s}$
- b) 26 m/s
- c) $25,9 \text{ m/s}$
- d) 25 m/s
- e) $24,9 \text{ m/s}$

Comentário:

Antes de aquecer a placa, tínhamos:

$$v_0 = \omega \cdot R_0$$

Após o aquecimento da placa, a área da placa irá aumentar devido ao fenômeno de dilatação térmica:

$$\pi R^2 = \pi R_0^2 (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

Desta maneira, a velocidade final é dada por:

$$v = \omega \cdot R$$

$$v^2 = \omega^2 \cdot R^2$$

Substituindo, temos:

$$v^2 = \omega^2 \cdot R_0^2 (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

$$v^2 = v_0^2 (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

O coeficiente de dilatação superficial β é dobro do coeficiente de dilatação linear α .

$$v^2 = v_0^2 (1 + 2\alpha \cdot \Delta T)$$

$$v^2 = 400 \cdot (1 + 23 \cdot 10^{-4} \cdot 300)$$



$$v^2 = 676$$

$$v = 26 \text{ m/s}$$

Gabarito: B**69. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Dois sólidos de massas diferentes estão na mesma temperatura inicial. Esses sólidos recebem a mesma quantidade de calor e, ao final, estão com a mesma temperatura novamente (diferente da inicial). Assinale a alternativa correta. Não há mudança de estado físico nos sistemas.

- a) Suas capacidades caloríficas são iguais.
- b) Seus calores específicos são iguais.
- c) Seus volumes são iguais.
- d) Suas densidades são iguais.
- e) Seus coeficientes de dilatação linear são iguais.

Comentário:

Como não há mudança de estado físico nos sistemas, o calor recebido pelos corpos é o calor sensível.

Para o primeiro corpo, temos:

$$Q = m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T$$

Para o segundo corpo, temos:

$$Q = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T$$

Igualando as expressões:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T$$

$$m_1 \cdot c_1 = m_2 \cdot c_2$$

Como $m_1 \neq m_2 \rightarrow c_1 \neq c_2$ e, portanto, a alternativa (B) está incorreta.

A capacidade calorífica é dada pelo produto entre a massa do corpo e o calor específico.

$$C = m \cdot c$$

Desta maneira:

$$m_1 \cdot c_1 = m_2 \cdot c_2$$

$$C_1 = C_2$$

Gabarito: A**70. (Prof. Vinícius Fulconi)**

Uma escala termométrica chamada Coruja registra a temperatura de 33 graus Coruja para o ponto de gelo (fusão da água) e 133 graus Coruja para o ponto de vapor (ebulição da água). Qual é a temperatura em graus Celsius para uma marcação de 43 graus Coruja?

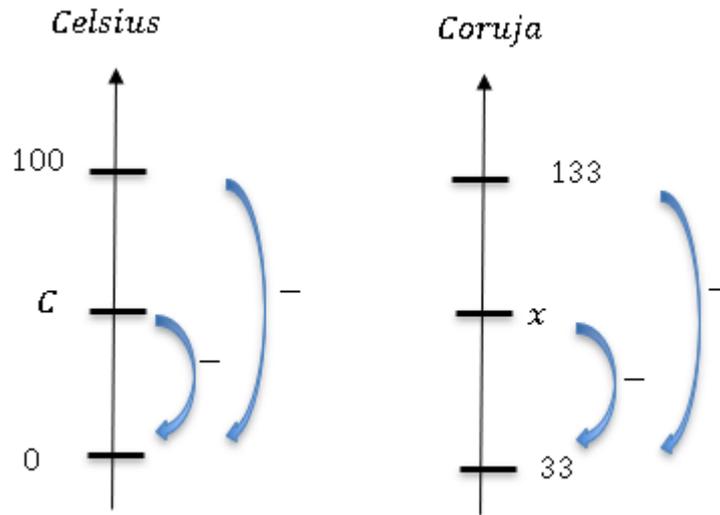
- a) 10
- b) 20



- c) 30
- d) 40
- e) 50

Comentário:

Faremos a conversão entre as escalas.



$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{X - 33}{133 - 33}$$

$$\frac{C}{100} = \frac{X - 33}{100}$$

Para $x = 43$ graus Coruja:

$$\frac{C}{100} = \frac{43 - 33}{100}$$

$$\boxed{C = 10^\circ\text{C}}$$

Gabarito: A

71. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um objeto de massa m é colocado em um determinado líquido à temperatura T . O volume submerso desse corpo foi de V_1 . Se a temperatura do líquido fosse $2T$, qual seria o volume submerso do objeto? A coeficiente de dilatação volumétrica do líquido é γ .

- a) $V_1(1 + \gamma T)$
- b) $\frac{V_1}{V_1(1 + \gamma T)}$
- c) $V_1\gamma T$
- d) V_1
- e) $\frac{V_1\gamma T}{2}$

Comentários:

Para o líquido na temperatura T , temos:

$$E = mg$$

$$d \cdot V_1 \cdot g = mg$$



$$d = \frac{m}{V_1}$$

Para uma temperatura $2T$, temos:

$$d' = \frac{d}{1 + \gamma(2T - T)}$$

$$d' = \frac{d}{1 + \gamma T}$$

Assim, o no equilíbrio é dado por:

$$E' = mg$$

$$d' \cdot V_2 = m$$

$$\frac{m}{1 + \gamma T} \cdot V_2 = m$$

$$\boxed{V_2 = V_1(1 + \gamma T)}$$

Gabarito: A

72. (Prof. Vinícius Fulconi)

Qual é a quantidade de calor necessária para levar 500 g de gelo à -10°C até vapor a 100°C ?

Dado:

Calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

Calor específico do água = $1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

Calor latente de fusão = 80 cal/g

Calor latente de vaporização da água = 540 cal/g

a) $352,5 \cdot 10^3 \text{ cal}$

b) $360 \cdot 10^3 \text{ cal}$

c) $362,5 \cdot 10^3 \text{ cal}$

d) $342,5 \cdot 10^3 \text{ cal}$

Comentários:

Quantidade de calor para levar gelo -10°C até gelo a 0°C

$$Q_1 = 500 \cdot 0,5 \cdot 10 = 2500 \text{ cal} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

Quantidade de calor para derreter todo o gelo

$$Q_2 = 500 \cdot 80 = 40000 \text{ cal} = 40 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

Quantidade de calor para levar água 0°C até água a 100°C

$$Q_3 = 500 \cdot 1 \cdot 100 = 50000 \text{ cal} = 50 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

Quantidade de calor para vaporizar toda a água:

$$Q_4 = 500 \cdot 540 = 270000 \text{ cal} = 270 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

Portanto, a quantidade de calor total é:



$$Q = 362,5 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

Gabarito: C

73. (Prof. Vinícius Fulconi)

Um menino decidiu lavar seu 10° uniforme para a formatura no dia seguinte. Após a lavagem, ele retira seu uniforme da máquina de lavar e pendura em seu varal exposto ao sol. A roupa do menino secará devido ao fenômeno da evaporação. A roupa do menino secará mais rápido

- a) quanto menor for a área de contato com a atmosfera.
- b) quanto menor for a pressão externa.
- c) quanto maior for a umidade.
- d) quanto menor for a pressão de vapor do líquido.

Comentário:

A velocidade evaporação de um líquido respeita a seguinte fórmula de proporcionalidade:

$$V_{\text{evaporação}} \propto \frac{A \cdot P_{\text{vapor}} \cdot (1 - H)}{P_{\text{externa}}}$$

Em que A é área de contato com a atmosfera e H é a umidade relativa do ar.

Desta maneira, temos:

- a) falsa.
- b) verdade.
- c) falsa.
- d) falsa.

Gabarito: B



Considerações Finais

Querido aluno(a),

Espero que você tenha gostado dessa lista. Qualquer dúvida, entre em contato



Você também pode me encontrar nas redes sociais! 😊

Conte comigo,

Siga minhas redes sociais!



Bizuário da Física



@viniciusfulconi



@professorviniciusfulconi



Estratégia