

Calorimetria, mudanças de estado e diagramas de estados

IME 2020

Prof. João Maldonado

Aula 10

SUMÁRIO

Introdução	4
1. Calorimetria	5
1.1. Unidades de calor	7
1.2. Potência de uma fonte térmica.....	7
1.3. Capacidade térmica ou calorífica (C) e calor específico (c)	7
1.4. Calor sensível	8
1.5. Sistema físico termicamente isolado	11
1.6. Equivalente em água	12
1.7. Calorímetro	13
2. Mudanças de estado	18
2.1. Calor latente	19
2.2. A fusão e a solidificação	19
2.2.1. Sobre fusão ou super fusão ou super-resfriamento.....	27
2.3. Vaporização e liquefação	30
2.3.1. Ebulição.....	30
2.3.2. Evaporação.....	32
2.4. Pressão de vapor	33
2.5. Umidade relativa	35
2.6. Sublimação	37
2.7. Ponto crítico e ponto triplo.....	37
2.7.1. Ponto crítico.....	37
2.7.2. Ponto triplo.....	37
3. Diagrama de fases	39
3.1. Sólido ↔ Líquido	39
3.1.1. Substâncias que dilatam na fusão	39
3.1.2. Substâncias que se contraem na fusão.....	40
3.1.3. A experiência de Tyndall e o patinador no gelo.....	41
3.2 Líquido ↔ Vapor	43
3.3.1 Influência da pressão no ponto de ebulição	43
3.3. Sólido ↔ Vapor	46
3.4. Diagrama pressão-volume-temperatura (P-V-T).....	46
4. Lista de questões.....	49



5. Gabarito sem comentários	64
6. Lista de questões resolvidas e comentadas	65
7. Considerações finais da aula	103
8. Referências bibliográficas	104
9. Versão de aula	105



Introdução

Nessa aula vamos dar continuidade no estudo de Termologia. Veremos os tipos de calor, conceitos sobre pressão, diagrama de fases, ponto crítico e ponto triplo.

Veremos conceitos importantes para termos bons fundamentos para o estudo de termodinâmica.

Alguns temas dessa aula também são abordados pela química, mas com um enfoque um pouco diferente.

É muito importante ter todos os conceitos sobre mudanças de fases e suas propriedades para o vestibular do IME, pois eles constituem partes das questões em enunciados maiores.

Caso tenha alguma dúvida entre em contato conosco através do fórum de dúvidas.



1. 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.

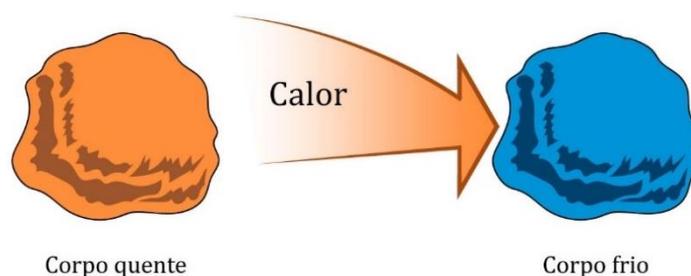


Figura 1: Calor sendo transferido do corpo quente para o frio.

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.



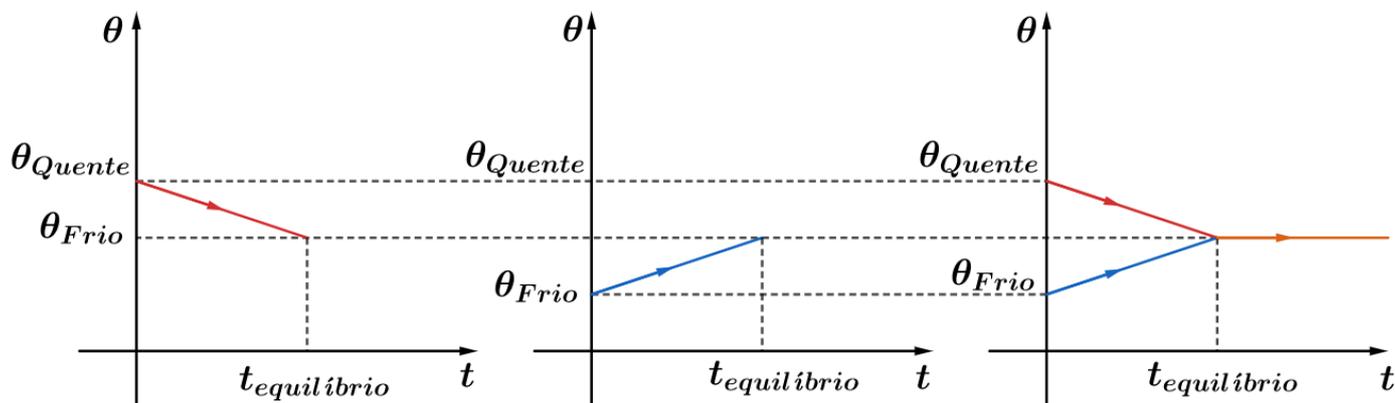


Figura 2: Trocas de calor em função do tempo.

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:

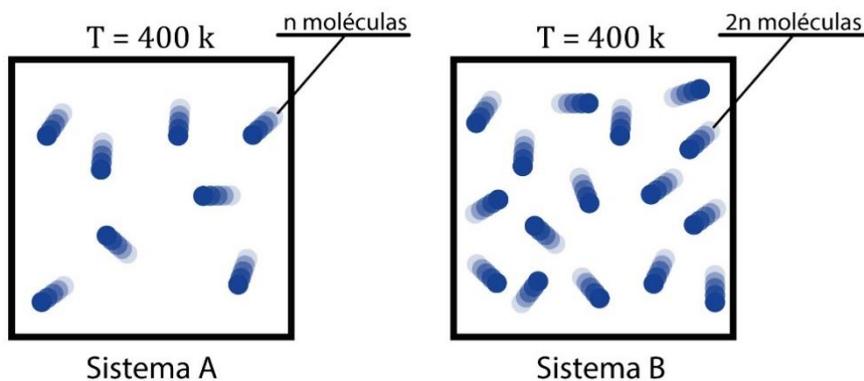


Figura 3: Sistemas em diferentes números de moléculas e com mesma temperatura, portanto tem a mesma energia cinética de translação, mas energias térmicas diferentes.

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.



1.1. 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:

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

1.2. 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:

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

1.3. 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:

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

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

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

1.4. 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.

ATENÇÃO
DECORE!



1)



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:

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$
$$\Delta t = \frac{Q}{P}$$
$$\Delta t = \frac{6,0 \cdot 10^2}{6}$$
$$\boxed{\Delta t = 100 \text{ min}}$$

2)

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:

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

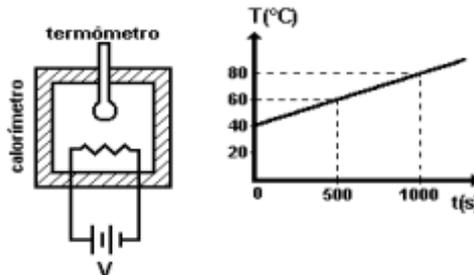
Logo:

$$\theta_f - \theta_i = 6$$
$$\boxed{\theta_f = 31^\circ\text{C}}$$

3) (Fuvest – 1994/modificada)



Um calorímetro, constituído por um recipiente isolante térmico ao qual estão acoplados um termómetro e um resistor elétrico, está completamente preenchido por $0,400 \text{ kg}$ 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 termómetro 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:

$$80 = \frac{0,4 \cdot c \cdot (80 - 40)}{1000 - 500}$$

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

4) (FUVEST-SP)

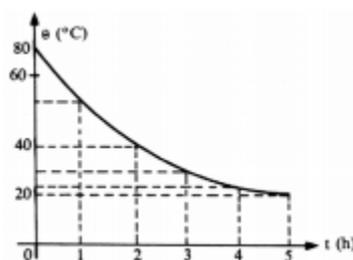
Um recipiente contendo 3600 g de água à temperatura inicial de 80°C é posto num local onde a temperatura ambiente permanece sempre igual a 20°C . Após 5 h o recipiente e a água entram em equilíbrio térmico com o meio ambiente. Durante esse período, ao final de cada hora, as seguintes temperaturas foram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

- um esboço, indicando valores nos eixos, do gráfico da temperatura da água em função do tempo;
- em média, quantas calorias por segundo a água transferiu para o ambiente.

Considere o calor específico da água = $1 \text{ cal/(g}^\circ\text{C)}$.

Comentários:

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



- Calculando a potência térmica média temos:

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



$$P_m = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t}$$
$$P_m = \frac{3600 \cdot 1 \cdot (80 - 20)}{5 \cdot 60 \cdot 60}$$
$$P_m = 12 \text{ cal/s}$$



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 $2,6 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C}$.



1.5. 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:

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

ATENÇÃO
DECORE!



1.6. 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:



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

$$m_{\text{água}} = 44 \text{ g}$$

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:

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

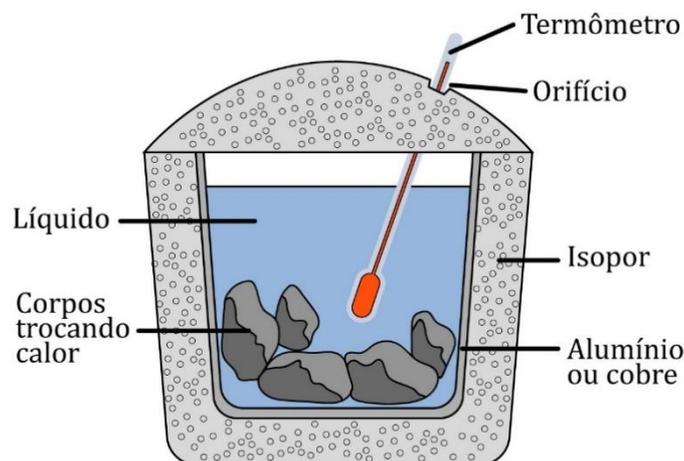


1.7. Calorímetro

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:



Calorímetro usual

Figura 4: 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.

ATENÇÃO
DECORE!



5)

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:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Fe}} + Q_{\text{água}} &= 0 \\ m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot \Delta\theta_{\text{Fe}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_{\text{água}} &= 0 \\ 400 \cdot 0,12 \cdot (\theta_e - 100) + 200 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 10) &= 0 \end{aligned}$$

Simplificando a equação acima, temos:

$$\begin{aligned} 2 \cdot 12(\theta_e - 100) + 100(\theta_e - 10) &= 0 \\ 124\theta_e &= 3400 \end{aligned}$$

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

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:

$$\begin{aligned} \sum Q_{\text{cedido}} + \sum Q_{\text{recebido}} &= 0 \\ Q_{\text{Fe}} + Q_{\text{água}} &= 0 \\ m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot \Delta\theta_{\text{Fe}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_{\text{água}} &= 0 \\ m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot (\theta_e - \theta_{\text{Fe}}) + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_e - \theta_{\text{água}}) &= 0 \\ \theta_e (m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}}) &= m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot \theta_{\text{Fe}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \theta_{\text{água}} \end{aligned}$$



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

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.

6)

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:

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

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

7) (Fuvest 2001)

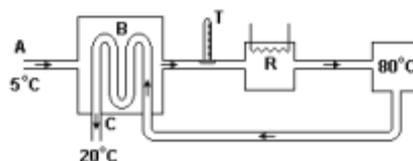
O processo de pasteurização do leite consiste em aquecê-lo a altas temperaturas, por alguns segundos, e resfriá-lo em seguida. Para isso, o leite percorre um sistema, em fluxo constante, passando por três etapas:

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:

$$Q_{frio} + Q_{quente} = 0$$
$$m_f \cdot c \cdot (\theta - 5) + m_q \cdot c \cdot (20 - 80) = 0$$

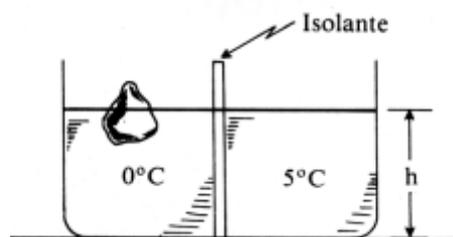
Como $m_f \cdot c = m_q \cdot c$, então:

$$(\theta - 5) + (20 - 80) = 0$$
$$\boxed{\theta = 65 \text{ °C}}$$

Alternativa correta D.

8) (FUVEST-SP)

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:

- a) 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:

$$\sum Q_{cedido} + \sum Q_{recebido} = 0$$
$$100 \cdot 1 \cdot (0 - 5) + m_{gelo} \cdot 80 + m_{\text{água}} \cdot 1 \cdot (0 - 0) = 0$$



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



2. 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 5: 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.



2.1. 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:

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

2.2. A fusão e a solidificação

Vamos considerar um bloco de gelo de massa m , com temperatura inicial de -20°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:

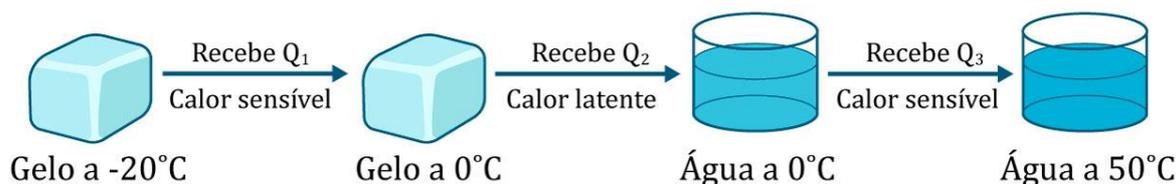


Figura 6: Gelo à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ virando água à $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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:

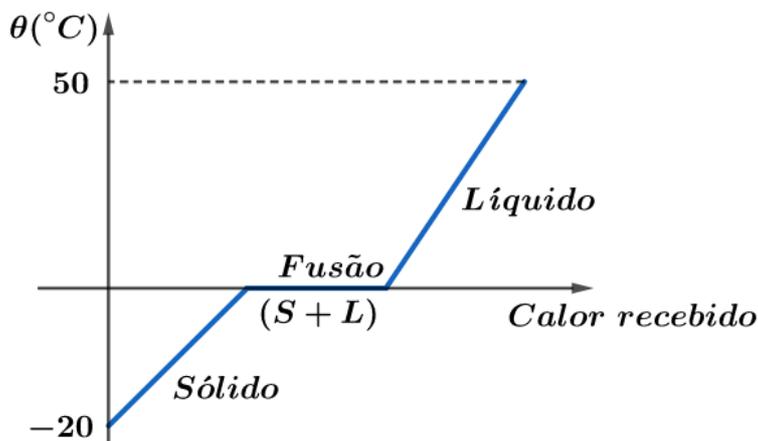


Figura 7: Gráfico da temperatura em função do calor recebido.

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 rearranjarão 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:



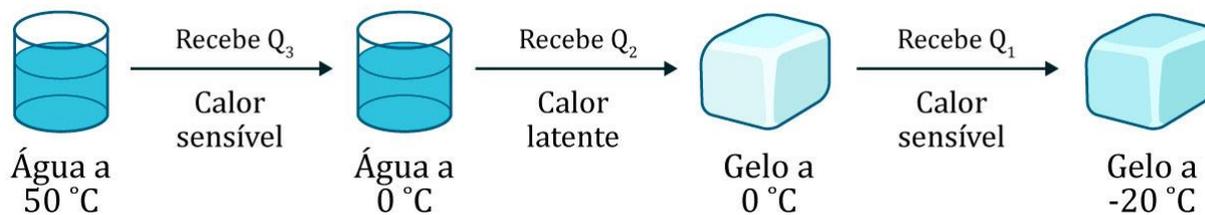


Figura 8: Água a 50 °C virando gelo a -20 °C.

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:

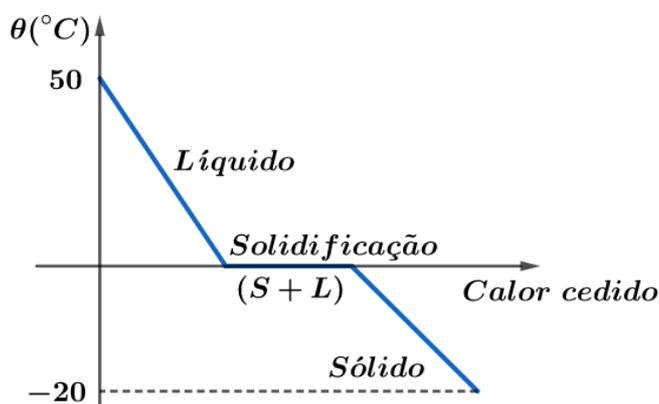


Figura 9: Gráfico da temperatura em função do calor cedido.

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

ATENÇÃO
DECORE!



9)



Qual a quantidade de calor 100 gramas de gelo precisam ganhar para ir de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$? Dados 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:

Da teoria, sabemos que o gelo sofre fusão a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Assim, teremos as seguintes etapas:

- 1) Q_1 : gelo recebe calor até atingir a temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (calor sensível).
- 2) Q_2 : gelo recebe calor para se fundir (calor latente).
- 3) Q_3 : água recebe calor para ir de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Logo, a quantidade de calor total é dada por:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

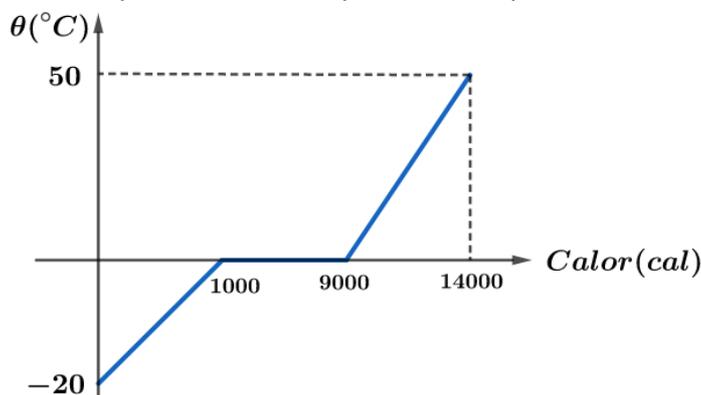
$$Q = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot (0 - \theta_{0\text{gelo}}) + m_{\text{gelo}} \cdot L_{F\text{gelo}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_f - 0)$$

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

$$Q = 1000 + 8000 + 5000$$

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

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



10)

Em um calorímetro ideal misturam-se 200 gramas de gelo a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ com 100 gramas de água a uma temperatura θ .

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

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, de acordo com as considerações do item a.

Comentários:

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

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

A condição do item a é que coexista água e gelo, portanto, a temperatura de equilíbrio térmico é de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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:

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

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

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

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.

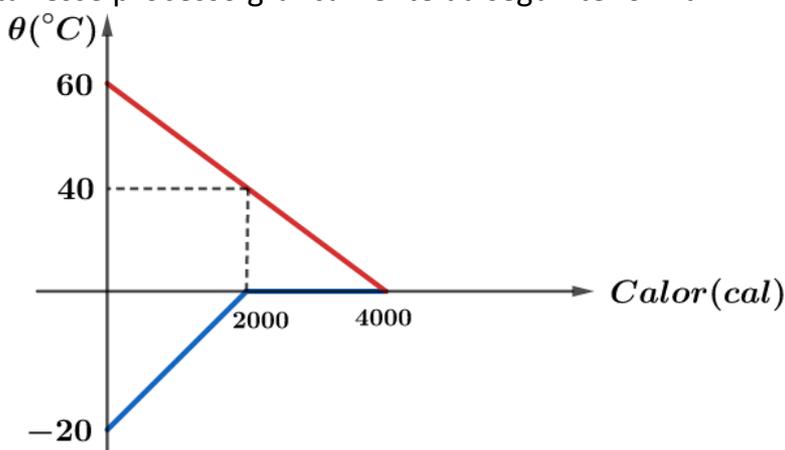
Portanto:

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

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

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

Poderíamos representar esse processo graficamente da seguinte forma:

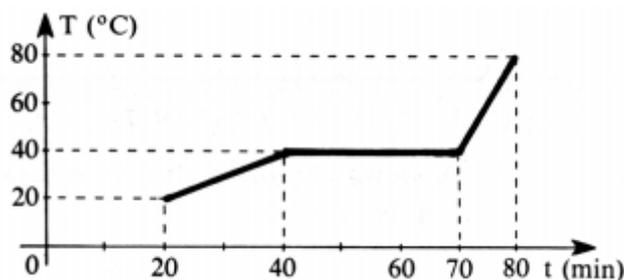


11) (FUVEST-SP)

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.

a) Qual o calor latente de transição?

b) 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:

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

$$Q = 30 \cdot 10$$

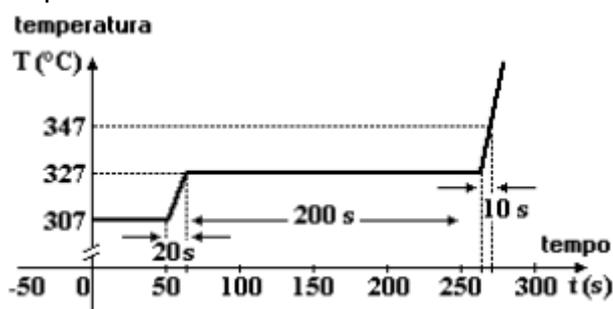
$$Q = 300 \text{ cal}$$

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

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

12) (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 $P_0 = 30 \text{ W}$ e, a partir desse instante, passa a receber a potência $P_1 = 43 \text{ W}$. A temperatura de fusão da liga é 327°C e a de ebulição é superior a 1500°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°C , a temperatura de 1g da liga no estado líquido.
- d) a energia (em J) necessária para elevar, de 1°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°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 °C para 347 °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 $347 - 327 = 20$ °C. Logo, por regra de três simples, podemos dizer que precisamos de 6,5 J para elevar 100 gramas da liga em 1 °C. Portanto, para 1 grama de liga, precisamos de $6,5 \cdot 10^{-2} J$ para elevar a liga líquida de 1 °C.

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

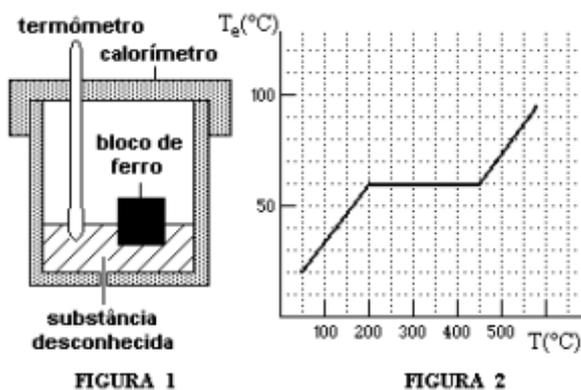
$$Q = P \cdot \Delta t$$
$$Q = 13 \cdot 20$$
$$Q = 260 J$$

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.

13) (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 $T_0 = 20$ °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 $0,1 \text{ cal}/(g \text{ } ^\circ\text{C})$. A partir destas informações, determine para a substância desconhecida:



a) a temperatura de fusão, $T_{fusão}$.

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°C , 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:

$$Q_{\text{bloco}} + Q_{\text{substância}} = 0$$
$$m_f \cdot c_f \cdot (60 - 200) + m_s \cdot c_s \cdot (60 - 20) = 0$$

$$c_s = \frac{m_f}{m_s} \cdot c_f \cdot \left(\frac{140}{40}\right)$$

$$c_s = 0,8 \cdot 0,1 \cdot \frac{14}{4}$$

$$\boxed{c_s = 0,28 \text{ cal/g}^\circ\text{C}}$$

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:

$$(Q_{\text{bloco}})_{450^\circ\text{C} \rightarrow 60^\circ\text{C}} + (Q_s)_{20^\circ\text{C} \rightarrow 60^\circ\text{C}} + (Q_s)_{\text{fusão}} = 0$$
$$m_f \cdot c_f \cdot (60 - 450) + m_s \cdot c_s \cdot (60 - 20) + m_s \cdot L_s = 0$$
$$\frac{m_f}{m_s} \cdot 0,1 \cdot (-390) + 0,28 \cdot 40 + L_s = 0$$

$$\boxed{L_s = 20 \text{ cal/g}}$$

14)

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Assim, temos que:

$$\begin{aligned} Q_2 + Q_3 + (m_{\text{gelo}})_{\text{derretido}} \cdot c_{\text{água}}(\theta_e - 0) + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot (\theta_e - 40) &= 0 \\ 50 + 800 + 10 \cdot 1 \cdot \theta_e + 40 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 40) &= 0 \\ 850 + 50\theta_e - 1600 &= 0 \\ 50\theta_e &= 750 \\ \theta_e &= 25\text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

CURIOSIDADE



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.



2.2.1. Sobrefusão ou super fusão 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:



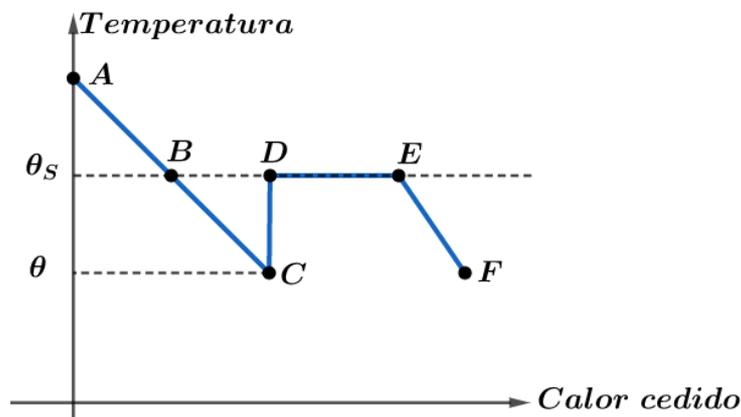


Figura 10: Temperatura em função do calor recebido para a superfusão.

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:

$$m \cdot L_F = M \cdot c_{liq} \cdot (\theta - \theta_s)$$



15) (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:



$$Q = m \cdot L_F$$
$$5600 = m \cdot 80$$
$$m = 70 \text{ g}$$

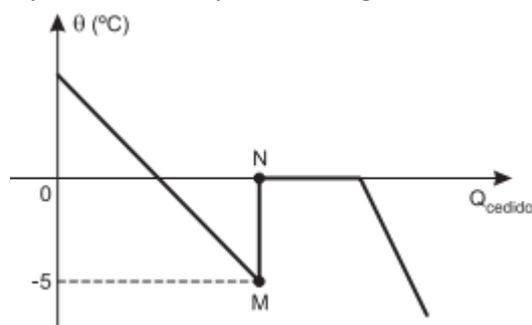
b) notamos que o bloco metálico vai ceder 5600 cal para derreter as 70 gramas de gelo e teremos 70 + 930 gramas de água a 0 °C. A partir daí, todo calor ainda fornecido pelo bloco será utilizado pelos 1000 gramas de água até atingir a temperatura de equilíbrio:

$$\sum Q_{cedido} + \sum Q_{recebido} = 0$$
$$400 \cdot (\theta_e - 91) + 70 \cdot 80 + 1000 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 0) = 0$$
$$1400 \theta_e = 30800$$
$$\theta_e = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dado que a temperatura de equilíbrio é de 22 °C, a quantidade de gelo será nula.

16) (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:

$$\sum Q_{cedido} + \sum Q_{recebido} = 0$$
$$Q_{cedido} + Q_{recebido} = 0$$
$$(m \cdot L_F)_{\text{gelo}} + (m \cdot c \cdot \Delta\theta)_{\text{água}} = 0$$
$$m \cdot (-80) + 160 \cdot 1 \cdot (0 - (-5)) = 0$$
$$m = 10 \text{ g}$$

Alternativa correta B.



2.3. 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.

2.3.1. 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 entre 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.

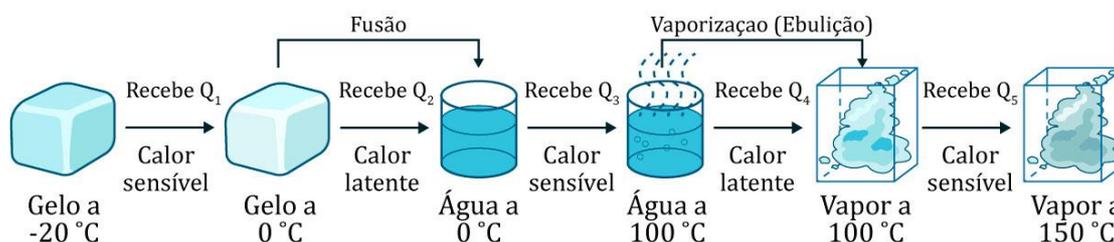


Figura 11: Todas as mudanças de estado físico para água.

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:



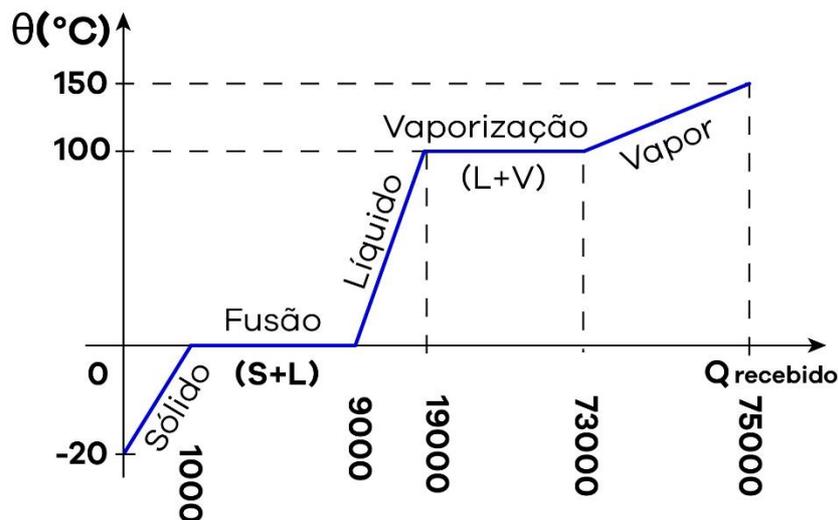


Figura 12: Gráfico da temperatura em função do calor recebido para o gelo à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.



2.3.2. 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 .

Essa fórmula não precisa ser decorada, mas entendida!



2.4. 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.

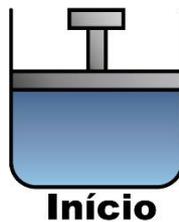


Figura 13: Êmbolo no estado inicial

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})**.

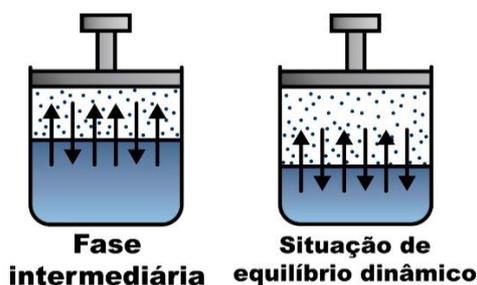


Figura 14: Variação no êmbolo até a situação de equilíbrio dinâmico.

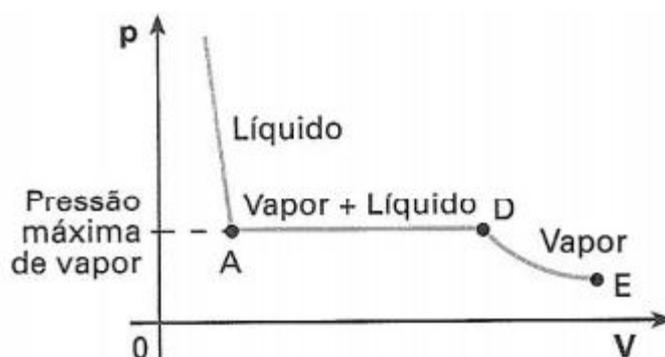
Caso ergamos o êmbolo um pouco mais, notaremos que o equilíbrio líquido/vapor será interrompido. Novamente, teremos vaporização do líquido, até que um novo equilíbrio dinâmico seja atingido, diante das novas condições, e a pressão voltará novamente ao seu valor máximo, para aquela temperatura em questão.

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°C . Por isso, nessa pressão (760 mmHg) a água entra em ebulição a 100°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°C , onde $P_{MV} = 240 \text{ mmHg}$.



2.5. 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).

$$URA = \frac{P_{vapor}}{P_{sat}}$$

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.





PEGADINHA

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.

ATENÇÃO
DECORE!



17) (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.



2.6. 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.

2.7. Ponto crítico e ponto triplo

2.7.1. 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.

2.7.2. 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.



3. 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 $P \times \theta$:

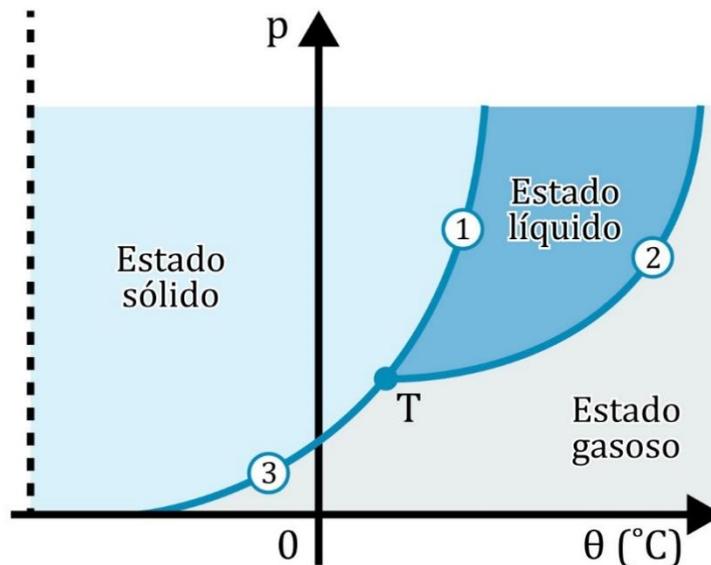


Figura 15: Diagrama de fases pressão por temperatura.

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 $-56,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.1. Sólido \leftrightarrow Líquido

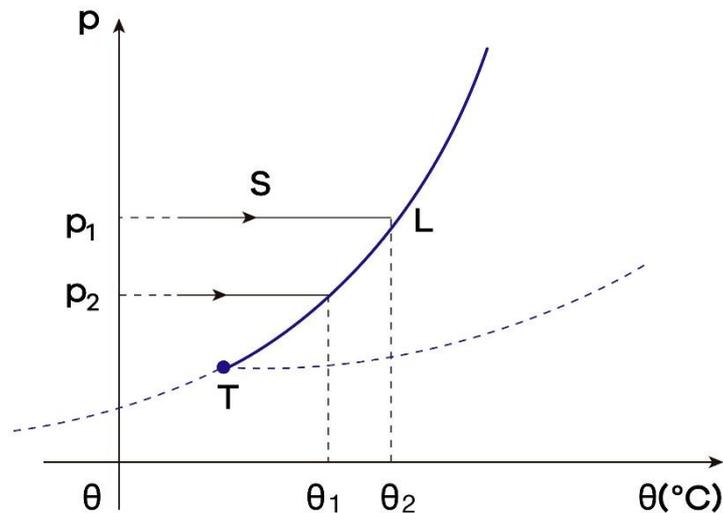
Existem dois aspectos de curvas nesse caso dependendo de como a substância se comporte durante a fusão.

3.1.1. 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 16: 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.

3.1.2. 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:

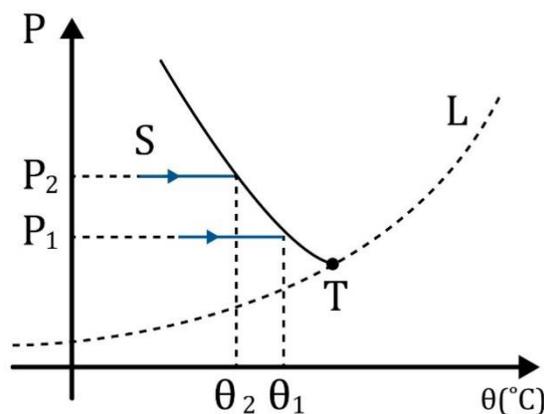


Figura 17: Diagrama de fases para substâncias que se contraem na fusão.

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.



3.1.3. 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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.

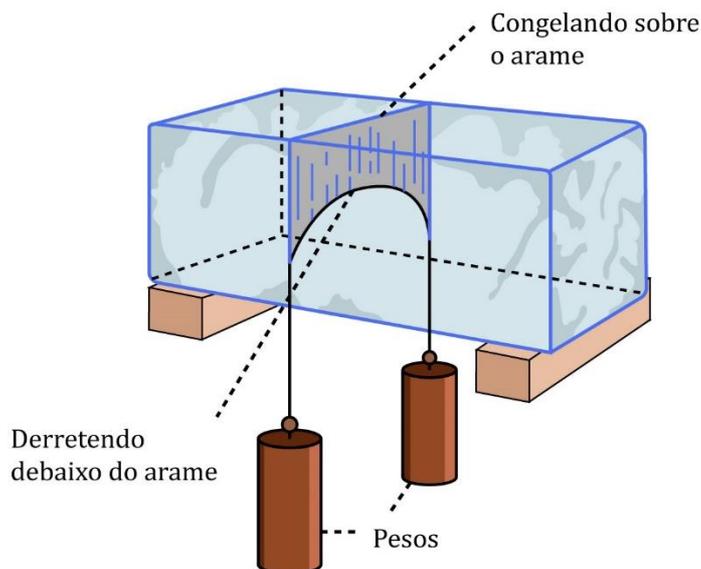


Figura 18: Desenho esquemático do efeito Tyndall.

Esse fenômeno é explicado pelo fato do gelo se fundir a uma temperatura menor que $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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.

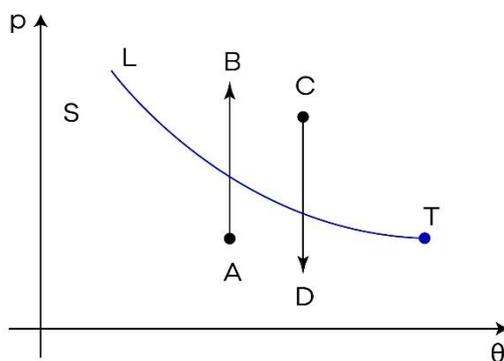


Figura 19: Gráfico da pressão em função da temperatura para o regelo.



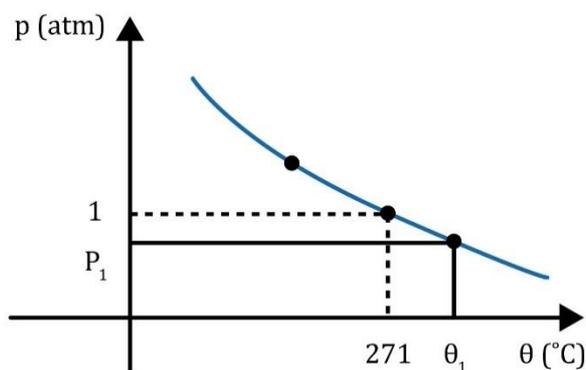
ATENÇÃO
DECORE!



18) Ao se fundir, o bismuto reduz o seu volume. A temperatura de fusão do bismuto é $271\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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.

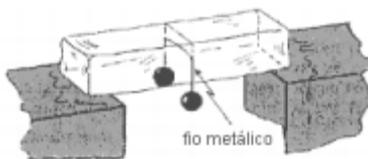


Note que:

$$P_1 < 1\text{ atm} \Rightarrow \theta_1 > 271\text{ }^{\circ}\text{C}$$

19) (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?

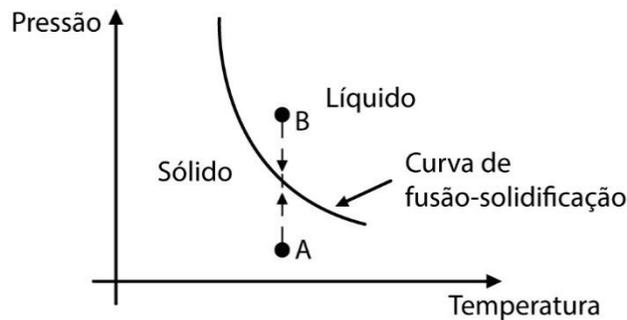


- a) a pressão exercida pelo fio metálico sobre o gelo abaixa seu ponto de fusão.
- b) o gelo já cortado pelo fio metálico, devido à baixa temperatura, solda-se novamente.
- c) a pressão exercida pelo fio metálico sobre o gelo aumenta seu ponto de fusão, mantendo a barra sempre sólida.
- d) o fio metálico 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 contra 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.



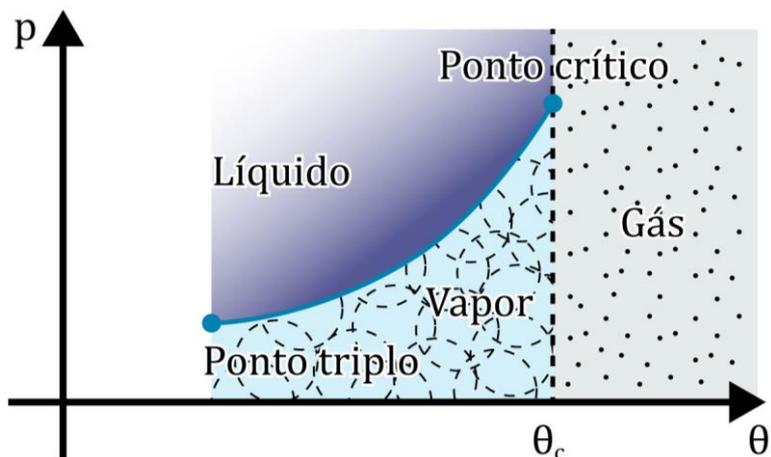


Portanto a alternativa correta é a letra a.

3.2 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).

3.3.1 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 $\theta_2 > \theta_1$.



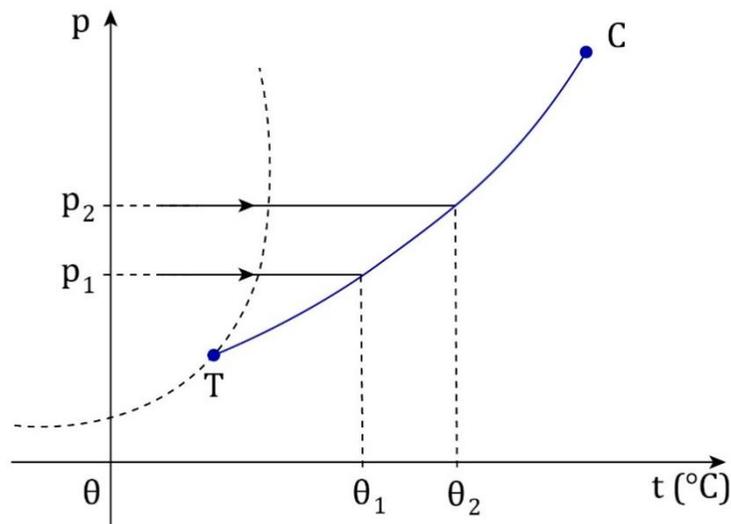


Figura 20: Gráfico da pressão em função da temperatura mostrando a influência da pressão no ponto de ebulição.

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.



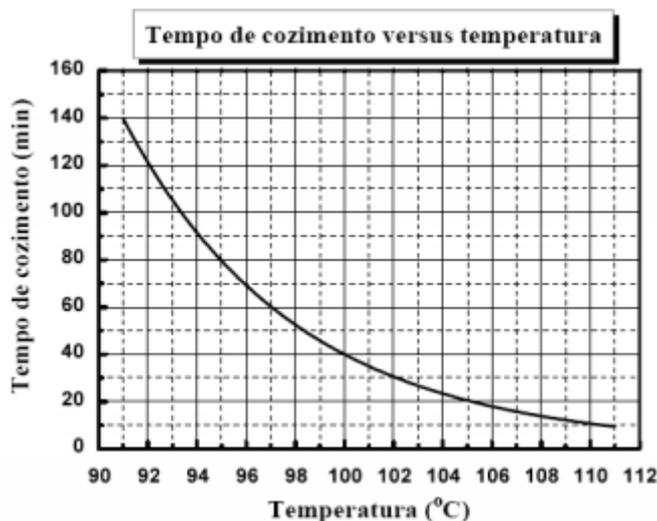
20) (Unicamp – 1996)

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





- Se o feijão fosse colocado em uma panela de pressão a 880 mmHg, em quanto tempo ele ficaria pronto?
- Em uma panela aberta, em quanto tempo o feijão ficará pronto na cidade de Gramado (RS) na altitude de 800 m?
- 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:

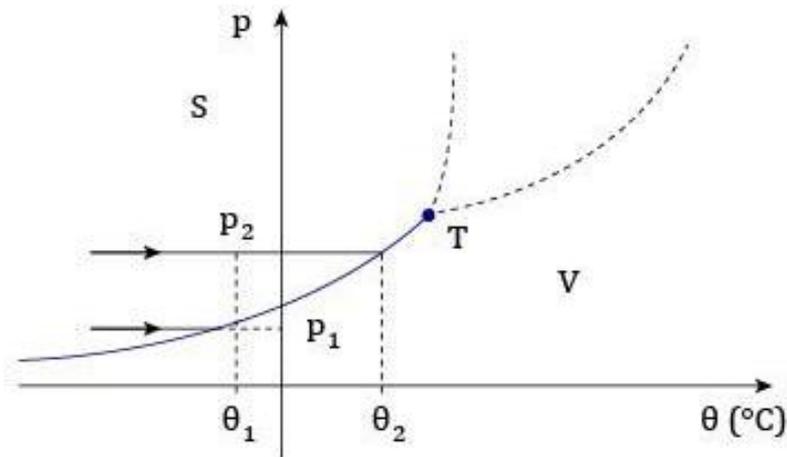
- Para a pressão de 880 mmHg, de acordo com a tabela, a temperatura de ebulição é de 105 °C. Assim, olhando o gráfico do tempo de cozimento, vemos que para a temperatura de 105 °C, o tempo de cozimento é de 20 minutos.
- A cidade do Rio de Janeiro está a nível do mar, isto é, a pressão atmosférica é 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.
- 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.



3.3. 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 21: 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.



3.4. 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.

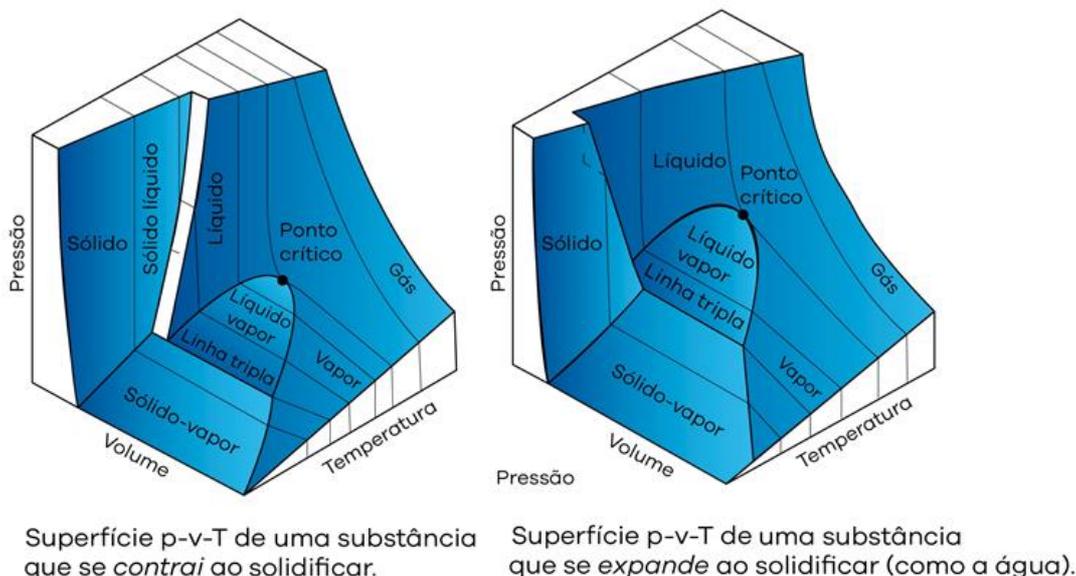


Figura 22: Diagrama de fases P-V-T.

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* × *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 $P - V$.

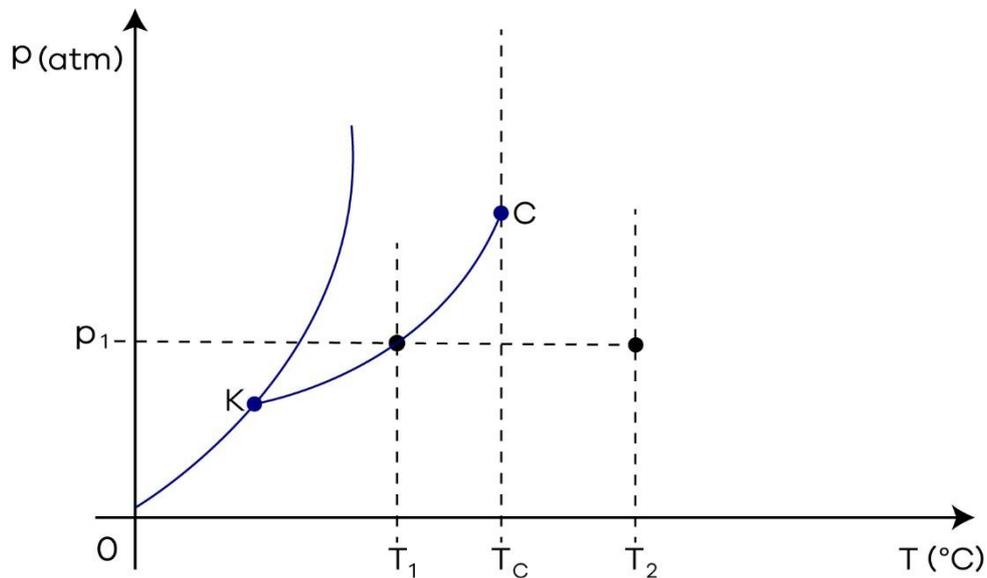
ATENÇÃO
DECORE!



21) (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





4. Lista de questões

1. (IME – 1997)

Considere um calorímetro no qual existe uma certa massa de líquido. Para aquecer o conjunto líquido-calorímetro de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ para $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ são necessários $Q_1\text{ J}$. Por outro lado, $Q_2\text{ J}$ elevam de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ para $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ o calorímetro juntamente com o triplo da massa do líquido.

a) Determine a capacidade térmica do calorímetro nas seguintes situações:

$$Q_1 = 2000\text{ J}, Q_2 = 4000\text{ J}$$

$$Q_1 = 2000\text{ J}, Q_2 = 7992\text{ J}$$

b) Com base nestes dados, em qual das duas situações a influência do material do calorímetro pode ser desconsiderada? Justifique sua conclusão.

2. (IME – 2003)

Uma experiência é realizada em um recipiente termicamente isolado, onde são colocados: $176,25\text{ ml}$ de água a 293 K ; um cubo de uma liga metálica homogênea com $2,7\text{ kg}$ de massa, aresta de 100 mm , a $212\text{ }^{\circ}\text{F}$; e um cubo de gelo de massa m , a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. O equilíbrio térmico é alcançado a uma temperatura de $32\text{ }^{\circ}\text{E}$, lida em um termômetro graduado em uma escala E de temperatura. Admitindo que o coeficiente de dilatação linear da liga metálica seja constante no intervalo de temperaturas da experiência, determine:

a) A equação de conversão, para a escala Celsius, de uma temperatura t_E , lida na escala E .

b) A massa m de gelo, inicialmente a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, necessária para que o equilíbrio ocorra a $32\text{ }^{\circ}\text{E}$.

c) O valor da aresta do cubo da liga metálica a $32\text{ }^{\circ}\text{E}$.

Dados:

Coeficiente de dilatação linear da liga metálica: $2,5 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Calor específico da liga metálica: $0,20\text{ cal}/(g\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Calor específico do gelo: $0,55\text{ cal}/(g\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Calor específico da água: $1,00\text{ cal}/(g\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Calor latente de fusão da água: $80\text{ cal}/g$.

Massa específica da água: $1\text{ g}/\text{cm}^3$.

Temperatura de fusão da água na escala E : $-16\text{ }^{\circ}\text{E}$.

Temperatura de ebulição da água na escala E : $+64\text{ }^{\circ}\text{E}$

3. (IME – 2011)

A água que alimenta um reservatório, inicialmente vazio, escoar por uma tubulação de 2 m de comprimento e seção reta circular. Percebe-se que uma escala no reservatório registra um volume de 36 L após 30 min de operação. Nota-se também que a temperatura na entrada da



tubulação é $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a temperatura na saída é $57\text{ }^{\circ}\text{C}$. A água é aquecida por um dispositivo que fornece $16,8\text{ kW}$ para cada metro quadrado da superfície do tubo. Dessa forma, o diâmetro da tubulação, em mm , e a velocidade da água no interior do tubo, em cm/s , valem, respectivamente:

Dados:

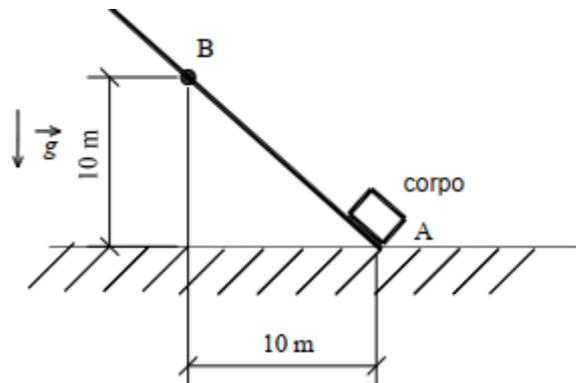
$$\pi/4 = 0,8;$$

Massa específica da água: 1 kg/L ; e

Calor específico da água: $4200\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$.

- 2,5 e 40
- 25 e 4
- 25 e 40
- 2,5 e 4
- 25 e 0,4

4. (IME – 2012)



Um corpo com velocidade v parte do ponto A , sobe a rampa AB e atinge o repouso no ponto B . Sabe-se que existe atrito entre o corpo e a rampa e que a metade da energia dissipada pelo atrito é transferida ao corpo sob a forma de calor. Determine a variação volumétrica do corpo devido à sua dilatação.

Dados:

- aceleração da gravidade: $g = 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- volume inicial do corpo: $v_i = 0,001\text{ m}^3$;
- coeficiente de dilatação térmica linear do corpo: $\alpha = 0,00001\text{ K}^{-1}$;
- calor específico do corpo: $c = 400\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Observações:

- o coeficiente de atrito cinético é igual a 80% do coeficiente de atrito estático;
- o coeficiente de atrito estático é o menor valor para o qual o corpo permanece em repouso sobre a rampa no ponto B .

5. (IME – 2013)

Em um experimento existem três recipientes E_1 , E_2 e E_3 . Um termômetro graduado numa escala X assinala $10\text{ }^{\circ}\text{X}$ quando imerso no recipiente E_1 , contendo uma massa M_1 de água a $41\text{ }^{\circ}\text{F}$. O termômetro, quando imerso no recipiente E_2 contendo uma massa M_2 de água a



293 K, assinala 19 °X. No recipiente E_3 existe inicialmente uma massa de água M_3 a 10 °C. As massas de água M_1 e M_2 , dos recipientes E_1 e E_2 , são transferidas para o recipiente E_3 e, no equilíbrio, a temperatura assinalada pelo termômetro é de 13 °X. Considerando que existe somente troca de calor entre as massas de água, a razão M_1/M_2 é:

- a) $2 + 0,2 \frac{M_3}{M_2}$
 b) 2
 c) $1 + \frac{M_3}{M_2}$
 d) 0,5
 e) $0,5 - 2 \frac{M_3}{M_2}$

6. (IME – 2016)

Um copo está sobre uma mesa com a boca voltada para cima. Um explosivo no estado sólido preenche completamente o copo, estando todo o sistema a 300 K. O copo e o explosivo são aquecidos. Nesse processo, o explosivo passa ao estado líquido, transbordando para fora do copo. Sabendo que a temperatura final do sistema é 400 K, determine:

- a) a temperatura de fusão do explosivo;
 b) o calor total fornecido ao explosivo.

Dados:

- volume transbordado do explosivo líquido: 10^{-6} m^3 ;
- coeficiente de dilatação volumétrica do explosivo no estado líquido: 10^{-4} K^{-1} ;
- coeficiente de dilatação volumétrica do material do copo: $4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$;
- volume inicial do interior do copo: 10^{-3} m^3 ;
- massa do explosivo: 1,6 kg;
- calor específico do explosivo no estado sólido: $10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- calor específico do explosivo no estado líquido: $10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; e
- calor latente de fusão do explosivo: $10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Consideração:

- o coeficiente de dilatação volumétrica do explosivo no estado sólido é muito menor que o coeficiente de dilatação volumétrica do material do copo.

7. (ITA-1972)

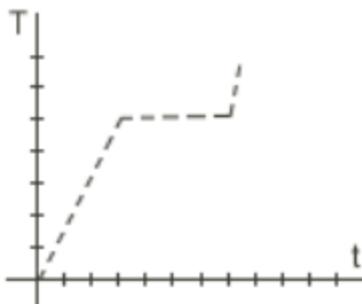
Numa aula prática sobre ebulição faz-se a seguinte experiência: leva-se até a fervura a água de um balão (não completamente cheio). Em seguida, fecha-se o frasco e retira-se o mesmo do fogo. Efetuando-se um resfriamento brusco do balão, a água volta a ferver. Isto se dá porque:

- a) na ausência de ar a água ferve com maior facilidade.
 b) a redução da pressão de vapor no frasco é mais rápida que a queda de temperatura do líquido.
 c) com o resfriamento, a água se contrai expulsando bolhas de ar que estavam no seio do líquido.
 d) com o resfriamento brusco a água evapora violentamente.
 e) com o resfriamento brusco, o caminho livre médio das moléculas no líquido aumenta.

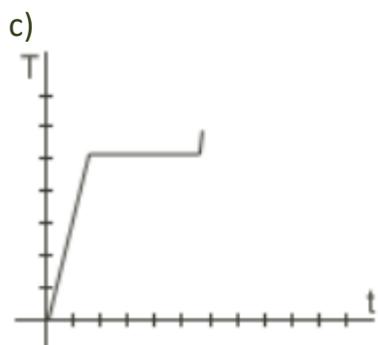
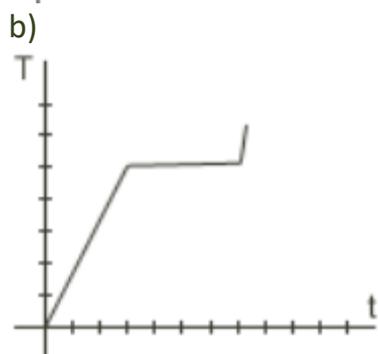
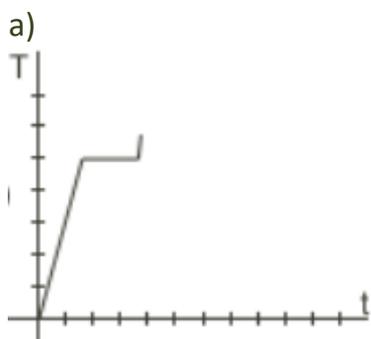


8. (ITA-1973)

Numa garrafa térmica contendo água foi introduzido um aquecedor de imersão cuja resistência praticamente não varia com a temperatura. O aquecedor é ligado a uma fonte de tensão constante. O gráfico (curva tracejada) corresponde aproximadamente ao que se observa caso a garrafa térmica contenha 200 gramas de água. Escolha o gráfico (todos na mesma escala) que melhor representa o que se pode observar caso a garrafa térmica contenha só 100 gramas de água.

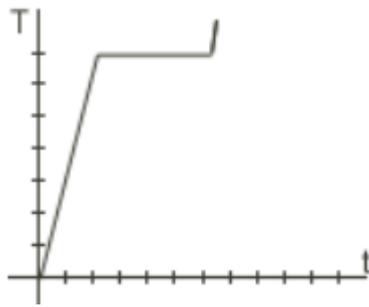


Observação: A garrafa não é fechada com rolha. T = temperatura. t = tempo

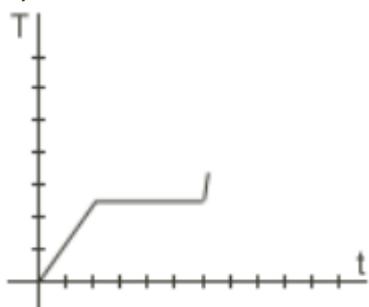


d)





e)



9. (ITA-1974)

A temperatura de ebulição do nitrogênio, à pressão normal, é aproximadamente 77 K e o seu calor de vaporização é de 48 kcal/kg . Qual é, aproximadamente, a massa de nitrogênio vaporizada ao introduzir-se $0,5\text{ kg}$ de água a $0\text{ }^\circ\text{C}$ num botijão de nitrogênio líquido, onde a temperatura é de 77 K ?

- a) $1,25\text{ kg}$.
- b) $2,875\text{ kg}$.
- c) $1,57\text{ kg}$.
- d) $2,04\text{ kg}$.
- e) nenhuma das respostas anteriores.

Dados:

Calor específico médio do gelo no intervalo de temperatura considerado = $0,35\text{ cal/g }^\circ\text{C}$

Calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

10. (ITA-1974)

A umidade relativa num ambiente gasoso (atmosfera, por exemplo) é definida como:

- a) relação entre a pressão de vapor de água existente e a pressão ambiente.
- b) relação entre o volume ocupado pelo vapor de água e o volume total do ambiente.
- c) relação entre a pressão de vapor de água existente à temperatura ambiente e a pressão de vapor de água a $0\text{ }^\circ\text{C}$.
- d) relação entre a pressão de vapor de água existente e a pressão de vapor saturante à mesma temperatura.
- e) nenhuma das afirmações acima é verdadeira.

11. (ITA-1976)



A potência elétrica dissipada por um aquecedor de imersão é de 200W. Mergulha-se o aquecedor num recipiente que contém 1 litro de água a 20 °C. Supondo que 70% da potência dissipada pelo aquecedor sejam aproveitados para o aquecimento da água, quanto tempo será necessário para que a temperatura da água atinja 90 °C?

Dado: Calor específico da água = 4,2 J/g °C.

- a) 2,1 s.
- b) $2,1 \cdot 10^3$ s.
- c) $5 \cdot 10^2$ s.
- d) $1,2 \cdot 10^2$ s.
- e) $5 \cdot 10^3$ s.

12. (ITA-1977)

Um corpo é aquecido pela água de um calorímetro que por sua vez é aquecida por uma resistência onde passa uma corrente elétrica. Durante o aquecimento, que durou 20 segundos, o corpo absorveu a quantidade de calor equivalente a $5,0 \cdot 10^2$ calorias e o calorímetro reteve, separadamente, $2,05 \cdot 10^3$ calorias. Sabendo-se que a potência elétrica dissipada pela resistência foi de 550W, pode-se afirmar que a perda de calor do calorímetro para o ambiente, durante o aquecimento, foi de:

- a) valor tão pequeno que não se pode avaliar com os dados acima.
- b) $5,9 \cdot 10^2$ calorias.
- c) $5,4 \cdot 10^2$ calorias.
- d) $0,9 \cdot 10^2$ calorias.
- e) nenhum dos valores acima.

13. (ITA-1979)

Três recipientes metálicos, de igual volume, contêm respectivamente água, gelo e vapor d'água. O gelo e a água têm a mesma massa e o volume que eles ocupam é de 9/10 do recipiente. Fecham-se os três recipientes à pressão de $1,01 \cdot 10^5$ Pa e colocam-se os mesmos, simultaneamente, no interior de um forno pré-aquecido a 200 °C, de modo a receberem calor em idênticas condições. Assim sendo, para um mesmo intervalo de tempo no interior do forno, pode-se afirmar que:

- a) o gelo necessitará de menor energia para aumentar sua temperatura do que a água e o vapor d'água.
- b) a água é, das três fases, a que maior quantidade de energia necessita para aumentar sua temperatura.
- c) o vapor d'água é o que necessita de menor quantidade de energia para aumentar sua temperatura.
- d) água e gelo necessitam da mesma quantidade de calor para aumentar igualmente suas temperaturas e tal quantidade de calor é menor que aquela para o vapor.
- e) o gelo e o vapor d'água necessitam de menor quantidade de calor para aumentarem suas temperaturas do mesmo valor do que a da água.



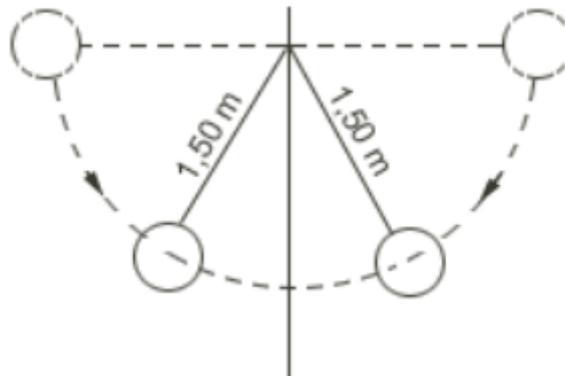
14. (ITA-1984)

Um fogareiro é capaz de fornecer 250 calorias por segundo. Colocando-se sobre o fogareiro uma chaleira de alumínio de massa 500 g, tendo no seu interior 1,2kg de água à temperatura ambiente de 25 °C, a água começará a ferver após 10 minutos de aquecimento. Admitindo-se que a água ferve a 100 °C e que o calor específico da chaleira de alumínio é 0,23 cal/g °C e o da água 1,0 cal/g °C, pode-se afirmar que:

- a) toda a energia fornecida pelo fogareiro é consumida no aquecimento da chaleira com água, levando a água à ebulição.
- b) somente uma fração inferior a 30% da energia fornecida é gasta no aquecimento da chaleira com água, levando a água à ebulição.
- c) uma fração entre 30% e 40% da energia fornecida pelo fogareiro é perdida.
- d) 50% da energia fornecida pelo fogareiro é perdida.
- e) a relação entre a energia consumida no aquecimento da chaleira com água e a energia fornecida pelo fogão em 10 minutos situa-se entre 0,70 e 0,90.

15. (ITA-1985)

Dois corpos feitos de chumbo estão suspensos a um mesmo ponto por fios de comprimentos iguais a 1,50 m. Esticam-se os dois fios ao longo de uma mesma horizontal e, em seguida, abandonam-se os corpos, de forma que eles se chocam e ficam em repouso. Desprezando as perdas mecânicas e admitindo que toda a energia se transforma em calor e sabendo que o calor específico do chumbo é 0,130 J/g °C e a aceleração da gravidade 9,80 m/s², podemos afirmar que a elevação de temperatura dos corpos é:



- a) 0,113 °C.
- b) 0,226 °C.
- c) 113 °C.
- d) 0,057 °C.
- e) impossível de calcular, porque não se conhecem as massas dos corpos.

16. (ITA-1988)

Um bloco de gelo de massa 3,0 kg, que está a uma temperatura de -10,0 °C, é colocado em um calorímetro (recipiente isolado de capacidade térmica desprezível) contendo 5,0 kg de água à temperatura de 40,0 °C. Qual a quantidade de gelo que sobra sem se derreter?

Dados:



Calor específico do gelo: $c_G = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$.
Calor específico da água: $c_A = 1,0 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$.
Calor latente de fusão do gelo: $L = 80 \text{ kcal/kg}$.

17. (ITA-1989)

Cinco gramas de carbono são queimados dentro de um calorímetro de alumínio, resultando o gás CO_2 . A massa do calorímetro é de 1000 g e há 1500 g de água dentro dele. A temperatura inicial do sistema era de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e a final de $43 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcule o calor produzido (em calorias) por grama de carbono. Despreze a pequena capacidade calorífica do carbono e do dióxido de carbono.

- a) 7,9 kcal.
- b) 7,8 kcal.
- c) 39 kcal.
- d) 57,5 kcal.
- e) 11,5 kcal.

Dados:

$$c_{Al} = 0,215 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}.$$

$$c_{\text{água}} = 1,00 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}.$$

18. (ITA-1996)

Num dia de calor, em que a temperatura ambiente era de $30 \text{ }^\circ\text{C}$, João pegou um copo com volume de 200 cm^3 de refrigerante à temperatura ambiente e mergulhou nele dois cubos de gelo de massa 15 g cada um. Se o gelo estava à temperatura de $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ e derreteu-se por completo e supondo que o refrigerante tem o mesmo calor específico que a água, a temperatura final da bebida de João ficou sendo aproximadamente de:

- a) $16 \text{ }^\circ\text{C}$.
- b) $25 \text{ }^\circ\text{C}$.
- c) $0 \text{ }^\circ\text{C}$.
- d) $12 \text{ }^\circ\text{C}$.
- e) $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dados:

$$\text{Calor específico da água} = 4,18 \text{ kJ/kgK}.$$

$$\text{Calor latente de fusão da água} = 333,5 \text{ kJ/kg}.$$

$$\text{Calor específico do gelo} = 2,05 \text{ kJ/kgK}.$$

$$\text{Densidade do refrigerante} = 1,0 \text{ g/cm}^3.$$

19. (ITA-1997)

Um vaporizador contínuo possui um bico pelo qual entra água a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, de tal maneira que o nível de água no vaporizador permanece constante. O vaporizador utiliza 800W de potência, consumida no aquecimento da água até $100 \text{ }^\circ\text{C}$ e na sua vaporização a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. A vazão de água pelo bico é:

- a) $0,31 \text{ mL/s}$.



- b) 0,35 mL/s.
- c) 2,4 mL/s.
- d) 3,1 mL/s.
- e) 3,5 mL/s.

Dados:

Calor específico da água = $4,18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$.

Massa específica da água = $1,0 \text{ g/cm}^3$.

Calor latente de vaporização da água = $2257,2 \text{ kJ/kg}$.

20. (ITA-1999)

Numa cavidade de 5 cm^3 feita num bloco de gelo, introduz-se uma esfera homogênea de cobre de 30 g aquecida a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, conforme o esquema. Sabendo-se que o calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g , que o calor específico do cobre é de $0,096 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$ e que a massa específica do gelo é de $0,92 \text{ g/cm}^3$. O volume total da cavidade após o equilíbrio ser atingido é igual a:

- a) $8,9 \text{ cm}^3$.
- b) $3,9 \text{ cm}^3$.
- c) $39,0 \text{ cm}^3$.
- d) $8,5 \text{ cm}^3$.
- e) $7,4 \text{ cm}^3$.

21. (ITA-2000)

O ar dentro de um automóvel fechado tem massa de $2,6 \text{ kg}$ e calor específico de $720 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$. Considere que o motorista perde calor a uma taxa constante de 120 joules por segundo e que o aquecimento do ar confinado se deva exclusivamente ao calor emanado pelo motorista. Quanto tempo levará para a temperatura variar de $2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ a $37 \text{ }^\circ\text{C}$?

- a) 540 s.
- b) 480 s.
- c) 420 s.
- d) 360 s.
- e) 300 s.

22. (ITA-2002)

Mediante chave seletora, um chuveiro elétrico tem a sua resistência graduada para dissipar $4,0 \text{ kW}$ no inverno, $3,0 \text{ kW}$ no outono, $2,0 \text{ kW}$ na primavera e $1,0 \text{ kW}$ no verão. Numa manhã de inverno, com temperatura ambiente de $10 \text{ }^\circ\text{C}$, foram usados $10,0 \text{ litros}$ de água desse chuveiro para preencher os 16% do volume faltante do aquário de peixes ornamentais, de modo a elevar sua temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C}$ para $28 \text{ }^\circ\text{C}$. Sabe-se que 20% da energia é perdida no aquecimento do ar, a densidade da água é $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ e o calor específico da água é $4,18 \text{ J/g} \cdot \text{K}$. Considerando que a água do chuveiro foi colhida em 10 minutos, em que posição se encontrava a chave seletora?

Justifique.



23. (ITA-2002)

Colaborando com a campanha de economia de energia, um grupo de escoteiros construiu um fogão solar, consistindo de um espelho de alumínio curvado que foca a energia térmica incidente sobre uma placa coletora. O espelho tem um diâmetro efetivo de $1,00\text{ m}$ e 70% da radiação solar incidente é aproveitada para de fato aquecer uma certa quantidade de água. Sabemos ainda que o fogão solar demora $18,4$ minutos para aquecer $1,00\text{ L}$ de água desde a temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$ até $100\text{ }^\circ\text{C}$, e que $4,186 \cdot 10^3\text{ J}$ é a energia necessária para elevar a temperatura de $1,00\text{ L}$ de água de $1,000\text{ K}$. Com base nos dados, estime a intensidade irradiada pelo Sol na superfície da Terra, em W/m^2 . Justifique.

24. (ITA-2004)

Um painel coletor de energia solar para aquecimento residencial de água, com 50% da eficiência, tem superfície coletora com área útil de 10 m^2 . A água circula em tubos fixados sob a superfície coletora. Suponha que a intensidade da energia solar incidente é de $1,0 \cdot 10^3\text{ W}/\text{m}^2$ e que a vazão de suprimento de água aquecida é de $6,0$ litros por minuto. Assinale a opção que indica a variação da temperatura da água.

- a) $12\text{ }^\circ\text{C}$.
- b) $10\text{ }^\circ\text{C}$.
- c) $1,2\text{ }^\circ\text{C}$.
- d) $1,0\text{ }^\circ\text{C}$.
- e) $0,10\text{ }^\circ\text{C}$.

25. (ITA-2005)

Inicialmente 48 g de gelo a $0\text{ }^\circ\text{C}$ são colocados num calorímetro de alumínio de $2,0\text{ g}$, também a $0\text{ }^\circ\text{C}$. Em seguida, 75 g de água a $80\text{ }^\circ\text{C}$ são despejados dentro desse recipiente. Calcule a temperatura final do conjunto.

Dados:

Calor latente do gelo $L_G = 80\text{ cal}/\text{g}$.

Calor específico da água $c_{H_2O} = 1,0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Calor específico do alumínio $c_{Al} = 0,22\text{ cal g}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

26. (ITA-2006)

Um bloco de gelo com 725 g de massa é colocado num calorímetro contendo $2,50\text{ kg}$ de água a uma temperatura de $5,0\text{ }^\circ\text{C}$, verificando-se um aumento de 64 g na massa desse bloco, uma vez alcançado o equilíbrio térmico. Considere o calor específico da água ($c = 1,0\text{ cal}/\text{g }^\circ\text{C}$) o dobro do calor específico do gelo, e o calor latente de fusão do gelo de $80\text{ cal}/\text{g}$. Desconsiderando a capacidade térmica do calorímetro e a troca de calor com o exterior, assinale a temperatura inicial do gelo.

- a) $-191,4\text{ }^\circ\text{C}$.
- b) $-48,6\text{ }^\circ\text{C}$.



- c) $-34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- d) $-24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- e) $-14,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

27. (ITA-2006)

Calcule a área útil das placas de energia solar de um sistema de aquecimento de água, para uma residência com quatro moradores, visando manter um acréscimo médio de $30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação à temperatura ambiente. Considere que cada pessoa gasta $30,0\text{ litros}$ de água quente por dia e que, na latitude geográfica da residência, a conversão média mensal de energia é de $60,0\text{ kWh/mês}$ por metro quadrado de superfície coletora. Considere ainda que o reservatório de água quente com capacidade para 200 litros apresente uma perda de energia de $0,30\text{ kWh}$ por mês para cada litro. É dado o calor específico da água $c = 4,19\text{ J/g }^{\circ}\text{C}$.

28. (ITA - 2007)

Um corpo indeformável em repouso é atingido por um projétil metálico com a velocidade de 300 m/s e a temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabe-se que, devido ao impacto, $1/3$ da energia cinética é absorvida pelo corpo e o restante transforma-se em calor, fundindo parcialmente o projétil. O metal tem ponto de fusão $t_f = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$, calor específico $c = 0,02\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$ e calor latente de fusão $L_f = 6\text{ cal/g}$. Considerando $1\text{ cal} \cong 4\text{ J}$, a fração x da massa total do projétil metálico que se funde é tal que:

- a) $x < 0,25$.
- b) $x = 0,25$.
- c) $0,25 < x < 0,5$.
- d) $x = 0,5$.
- e) $x > 0,5$.

Dado: a energia cinética de um corpo de massa m e velocidade v é expressa por $E_c = \frac{1}{2}mv^2$.

29. (ITA – 2007)

Numa cozinha industrial, a água de um caldeirão é aquecida de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo misturada, em seguida, à água a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ de um segundo caldeirão, resultando 10 l de água a $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, após a mistura. Considere que haja troca de calor apenas entre as duas porções de água misturadas e que a densidade absoluta da água, de 1 kg/l , não varia com a temperatura, sendo, ainda, seu calor específico $c = 1,0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. A quantidade de calor recebida pela água do primeiro

caldeirão ao ser aquecida até $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ é de

- a) 20 kcal.
- b) 50 kcal
- c) 60 kcal.
- d) 80 kcal.
- e) 120 kcal.



30. (ITA - 2007)

A água de um rio encontra-se a uma velocidade inicial V constante, quando despenca de uma altura de 80 m , convertendo toda a sua energia mecânica em calor. Este calor é integralmente absorvido pela água, resultando em um aumento de 1 K de sua temperatura. Considerando $1\text{ cal } 4\text{ J}$, aceleração da gravidade $g = 10\text{ m/s}^2$ e calor específico da água $c = 1,0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, calcula-se que a velocidade da água V é de:

- a) $10\sqrt{2}\text{ m/s}$.
- b) 20 m/s .
- c) 50 m/s .
- d) $10\sqrt{32}\text{ m/s}$.
- e) 80 m/s .

31. (ITA – 2008)

De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, o equilíbrio da atmosfera terrestre é obtido pelo balanço energético entre a energia de radiação do Sol absorvida pela Terra e a reemitida pela mesma. Considere que a energia fornecida por unidade de tempo pela radiação solar é dada por $P = A \cdot e \cdot \sigma \cdot T^4$, em que $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$; A é a área da superfície do corpo; T a temperatura absoluta, e o parâmetro e é a emissividade que representa a razão entre a taxa de radiação de uma superfície particular e a taxa de radiação de uma superfície de um corpo ideal, com a mesma área e mesma temperatura. Considere a temperatura média da Terra $\bar{T} = 287\text{ K}$ e, nesta situação, $e = 1$. Sabendo que a emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global reduz a emissividade, faça uma estimativa de quanto aumentará a temperatura média da Terra devido à emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global, se a emissividade diminuir 8%.

Considere $(1 - x)^{1/4} \cong 1 - \frac{x}{4}$.

32. (OBF – 2005)

Em um calorímetro, de capacidade térmica desprezível, são colocados 40 g de água a $40\text{ }^\circ\text{C}$, e 30 g de gelo a $0\text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que o calor latente de fusão da água vale 80 cal/g e o calor específico da água vale $1,0\text{ cal/g }^\circ\text{C}$, a temperatura final da mistura será:

- a) $14,5\text{ }^\circ\text{C}$
- b) $11,4\text{ }^\circ\text{C}$
- c) $9,4\text{ }^\circ\text{C}$
- d) $0\text{ }^\circ\text{C}$
- e) $20\text{ }^\circ\text{C}$

33. (OBF – 2005)

Suponha que você despeje $0,2\text{ kg}$ de café, a $90\text{ }^\circ\text{C}$, no interior de uma jarra de $0,4\text{ kg}$ de massa, a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Assumindo que nenhum calor é transferido para o meio externo e que o calor específico da jarra é $c_{\text{jarra}} = 0,20\text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$ e do café $c_{\text{café}} = 1,0\text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$, qual será a temperatura final do café?



34. (OBF – 2006)

Num recipiente adiabático de capacidade térmica desprezível em que existe uma massa m_a de 200g de água a 100 °C, é misturada uma massa m_g de 100g de gelo moído a 0 °C. Considerando o calor latente de fusão do gelo igual a 80cal/g,

- determine, em °C, a temperatura θ da mistura quando se atinge o equilíbrio térmico.
- calcule, em calorias, a quantidade de calor Q cedida pela água quente para se resfriar desde 100 °C até a temperatura de equilíbrio térmico.

35. (OBF – 2007)

Tem-se três líquidos A , B e C , com calores específicos 0,2 cal/g°C , 0,1 cal/g°C e 0,4 cal/g°C, respectivamente, e que se encontram em temperaturas diferentes. Quando são misturadas massas iguais dos líquidos A e B , obtém-se uma temperatura de equilíbrio de 40 °C e, quando são misturadas massas iguais dos líquidos A e C , a temperatura de equilíbrio é de 20 °C. Sabendo que a temperatura inicial do líquido A é de 50 °C, determine a temperatura de equilíbrio da mistura de massas iguais dos líquidos B e C .

36. (OBF – 2008)

Desejando determinar a temperatura de um forno, um estudante colocou em seu interior um cilindro de massa de 50 g e calor específico igual a 0,22 cal/g°C. Após certo intervalo de tempo o cilindro foi retirado do forno e imediatamente colocado no interior de uma garrafa térmica com 330 g de água. A temperatura da água variou de 19 °C para 20 °C. Considerando o calor específico da água 1,0 cal/g°C, calcule a temperatura que se encontrava o forno no momento que o cilindro foi retirado do seu interior. Despreze as perdas de calor para o ambiente e a capacidade térmica da garrafa.

37. (OBF – 2011/modificada)

Um micro-ondas de 3.000W potência é utilizado para aquecer a xícara de chá com 100 g de água. Qual o tempo (em minutos) necessário para que a água ferva a 100 °C. (capacidade térmica da água $c_{\text{água}} = 4,2 \text{ J/g}^\circ\text{C}$)

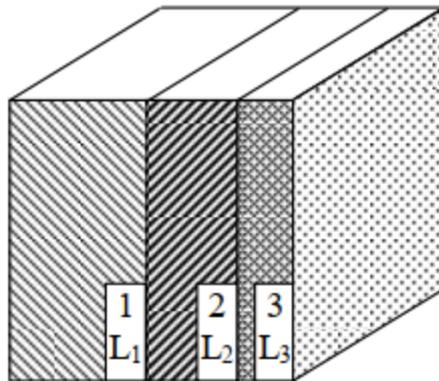
38. (OBF – 2011)

Em uma região de inverno rigoroso, um tanque com água é deixado aberto ao ar livre até que se forme sobre a superfície da água uma camada de gelo com espessura igual a 5 cm. O ar acima da água está a -10 °C. Calcule a taxa de formação de gelo (em cm/h) sobre a superfície inferior da camada de gelo. Considere a condutividade térmica, a densidade e o calor de fusão do gelo como sendo 0,0040 cal/s.cm°C, 0,92 g/cm³ e 80 cal/g, respectivamente. Assuma que nenhuma quantidade de calor deixa ou passa para a água através das paredes do tanque.



39. (OBF – 2013)

A figura mostra uma parede feita de três camadas de espessuras L_1 , $L_2 = 0,7L_1$ e $L_3 = 0,35L_1$. As condutividades térmicas são k_1 , $k_2 = 1,4k_1$ e $k_3 = 0,7k_1$. As temperaturas das faces esquerda e direita, da camada 1 e 3, são respectivamente 30°C e 10°C . Qual é a diferença de temperatura entre as faces esquerda e direita da camada 2?



40. (OBF – 2013)

Um pedaço de gelo de $0,30\text{kg}$ a 0°C é colocado em um recipiente termicamente isolado contendo $2,0\text{kg}$ de água a 10°C . Determine a temperatura e a composição final do sistema. Dados: calor específico da água = $1,0\text{cal/g}^\circ\text{C}$; calor específico do gelo = $0,50\text{cal/g}^\circ\text{C}$; calor latente de fusão da água = 80cal/g .

41. (OBF – 2015)

Um aluno, mistura 800g de água a 20°C com uma certa massa de gelo a -20°C dentro de um recipiente com paredes adiabáticas. Diante do experimento verifica que o sistema alcançou o equilíbrio térmico a temperatura de 10°C . Qual a massa inicial de gelo?

42. (OBF – 2016)

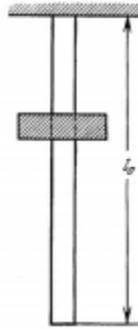
Aquários de peixes tropicais devem ser mantidos à temperatura de 30°C . Para tanto, são usados aquecedores com termostatos, que aquecem a água até que a temperatura desejada seja atingida. A limpeza periódica é feita substituindo-se parte da água do aquário por água nova, mas deve-se evitar variações bruscas de temperatura. Considere um aquário de 100L dos quais 40L são substituídos por água a 20°C , equipado com um aquecedor de 100W . Responda as perguntas desprezando outros corpos que não a massa de água e considerando que não há trocas de calor com o ambiente.

- Qual será a temperatura de equilíbrio da água depois da substituição e antes do termostato ser ligado?
- Quanto tempo será necessário para que o aquário volte à temperatura de 30°C ? Considere o calor específico da água igual $c = 4\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$.

43. (Saraeva)



Ao longo de um cordão de peso desprezível e de comprimento l_0 desliza uma arruela. A força de atrito, que atua entre o cordão e a arruela, é constante e igual a f . O coeficiente de elasticidade do cordão é conhecido e igual a k . Encontrar a quantidade de calor despreendida Q .



44. (Saraeva)

Uma lâmpada de aquecimento que gasta $N = 54 \text{ watts}$, foi submersa em um calorímetro transparente que contém $V = 650 \text{ cm}^3$ de água. Em $\tau = 3 \text{ min}$ a água se aquece em $t = 3,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Que parte da energia Q , gasta pela lâmpada, é emitida ao exterior em forma de energia radiante pelo calorímetro?

45. (Zubov)

300g de gelo a uma temperatura de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ é imerso em um calorímetro contendo 200g de água a uma temperatura de $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Qual vai ser a temperatura do calorímetro e seu conteúdo após o equilíbrio térmico ser alcançado?

46. (Zubov)

Um pedaço de ferro de massa $m = 325 \text{ g}$ é colocado em um calorímetro cheio de gelo. Determine a quantidade de gelo que vai derreter até o equilíbrio térmico ser atingido se o volume do pedaço de ferro for $V = 48 \text{ cm}^3$. A densidade do ferro a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ é $d_0 = 6,8 \text{ g/cm}^3$, seu calor específico $c = 0,12 \frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot^\circ\text{C}}$ e o coeficiente de expansão volumétrica $\beta = 0,33 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$.

47. (Zubov)

Um recipiente do qual ar está sendo bombeado rapidamente contém uma pequena quantidade de água a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. A evaporação intensa causa uma solidificação gradual da água. Qual fração da quantidade original da água pode ser convertida em gelo através desse método?





5. Gabarito sem comentários

- 1) 6 K
2) a) $50 J \cdot ^\circ C^{-1}$, $0,1 J \cdot ^\circ C^{-1}$ b) Segunda.
3) a) $\theta_E = \frac{4}{5}\theta_C - 16$, b) 0,48 kg, c) 99,8 mm
4) B
5) 3 mm^3
6) B
7) a) 350 K b) $3,2 \cdot 10^5 J$
8) B
9) A
10) C
11) D
12) B
13) D
14) E
15) C
16) A
17) 0,7 kg
18) A
19) A
20) B
21) A
22) A
23) inverno
24) $552 W/m^2$
25) A
26) $17,5 ^\circ C$
27) B
28) $3,1 \text{ m}^2$
29) B
30) D
31) E
32) D
33) $70 ^\circ C$
34) a) $40 ^\circ C$ b) 12000 cal
35) $8 ^\circ C$
36) $50 ^\circ C$
37) 10,5 s
38) 0,39 cm/h
39) $5 ^\circ C$
40) $0 ^\circ C$, 2,25 kg de água e 0,05 kg de gelo.
41) 80 g
42) a) $26 ^\circ C$ b) 16000 s
43) $\frac{f}{k}(kl_0 + f)$
44) 0,95
45) $0 ^\circ C$, 317,5 g de gelo e 182,5 g de água
46) 63,4 g
47) 0,87





6. Lista de questões resolvidas e comentadas

1. (IME – 1997)

Considere um calorímetro no qual existe uma certa massa de líquido. Para aquecer o conjunto líquido-calorímetro de 30 °C para 60 °C são necessários $Q_1 J$. Por outro lado, $Q_2 J$ elevam de 40 °C para 80 °C o calorímetro juntamente com o triplo da massa do líquido.

c) Determine a capacidade térmica do calorímetro nas seguintes situações:

$$Q_1 = 2000 J, Q_2 = 4000 J$$

$$Q_1 = 2000 J, Q_2 = 7992 J$$

d) Com base nestes dados, em qual das duas situações a influência do material do calorímetro pode ser desconsiderada? Justifique sua conclusão.

Comentários:

a) Os calores são divididos no aquecimento do líquido e calorímetro. Seja m a massa do líquido, temos:

$$Q = Q_{liq} + Q_{cal}$$

$$Q_1 = (mc_{liq} + C_{cal})(60 - 30) = 30(mc_{liq} + C_{cal})$$

$$Q_2 = (3mc_{liq} + C_{cal})(80 - 40) = 40(3mc_{liq} + C_{cal})$$

$$2C_{cal} = \frac{Q_1}{10} - \frac{Q_2}{40}$$

$$C_{cal} = \frac{4Q_1 - Q_2}{80}$$

Substituindo os valores, obtemos:

1° Caso –

$$C_{cal} = 50 J \cdot ^\circ C^{-1}$$

2° Caso –

$$C_{cal} = 0,1 J \cdot ^\circ C^{-1}$$

b) Na segunda situação, já que a menor capacidade calorífica indica que o calorímetro absorveu menos energia para a mesma variação de temperatura, necessário para atingir o equilíbrio:

$$Q_{cal} = C_{cal}\Delta\theta$$

Gabarito: a) $50 J \cdot ^\circ C^{-1}$, $0,1 J \cdot ^\circ C^{-1}$ b) Segunda.



Uma experiência é realizada em um recipiente termicamente isolado, onde são colocados: 176,25 ml de água a 293 K; um cubo de uma liga metálica homogênea com 2,7 kg de massa, aresta de 100 mm, a 212 °F; e um cubo de gelo de massa m, a -10 °C. O equilíbrio térmico é alcançado a uma temperatura de 32 °E, lida em um termômetro graduado em uma escala E de temperatura. Admitindo que o coeficiente de dilatação linear da liga metálica seja constante no intervalo de temperaturas da experiência, determine:

- A equação de conversão, para a escala Celsius, de uma temperatura t_E , lida na escala E.
- A massa m de gelo, inicialmente a -10 °C, necessária para que o equilíbrio ocorra a 32 °E.
- O valor da aresta do cubo da liga metálica a 32 °E.

Dados:

Coeficiente de dilatação linear da liga metálica: $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Calor específico da liga metálica: $0,20 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$.

Calor específico do gelo: $0,55 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$.

Calor específico da água: $1,00 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$.

Calor latente de fusão da água: $80 \text{ cal}/\text{g}$.

Massa específica da água: $1 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Temperatura de fusão da água na escala E: $-16 \text{ } ^\circ\text{E}$.

Temperatura de ebulição da água na escala E: $+64 \text{ } ^\circ\text{E}$

Comentários:

- As temperaturas de ebulição e fusão da água devem ser equivalentes nas duas escalas, com uma relação linear para se manter a equivalência das temperaturas intermediárias:

$$\frac{\Delta\theta_C}{\Delta\theta_E} = \text{constante}$$
$$\frac{\Delta\theta_C}{\Delta\theta_E} = \frac{(100 - 0)}{(64 - (-16))} = \frac{\theta_C - 0}{\theta_E + 16}$$

$$\theta_E = \frac{4}{5}\theta_C - 16$$

- Primeiramente faremos a conversão das temperaturas iniciais para Celsius:

Água –

$$\theta_C = \theta_K - 273 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Liga –

$$\theta_C = \frac{5\theta_F - 160}{9} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para a temperatura de equilíbrio, temos:

$$\theta_C = \frac{5\theta_E - 80}{4} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como o sistema é fechado, temos que a soma das trocas de energia deve ser nula:

$$\sum Q = 0$$
$$Q_{\text{agua},20} + Q_{\text{liga}} + Q_{\text{agua},-10} = 0$$
$$0 + m_{\text{liga}}c_{\text{liga}}(20 - 100) + (mc_{\text{agua}}(0 - (-10)) + L_{\text{agua}}m) = 0$$



$$m = \frac{1,6}{9} m_{\text{agua},20}$$
$$m = 0,48 \text{ kg}$$

- c) A variação de comprimento que ocorre no cubo pode ser calculada a partir de seu coef. De dilatação:

$$\Delta l = l_0 \alpha_{\text{liga}} (20 - 100)$$
$$l_f = l_0 (1 - 80 \alpha_{\text{liga}})$$
$$l_f = 100(1 - 0,002) = 99,8 \text{ mm}$$

Gabarito: a) $\theta_E = \frac{4}{5} \theta_C - 16$, b) 0,48 kg, c) 99,8 mm

3. (IME – 2011)

A água que alimenta um reservatório, inicialmente vazio, escoar por uma tubulação de 2 m de comprimento e seção reta circular. Percebe-se que uma escala no reservatório registra um volume de 36 L após 30 min de operação. Nota-se também que a temperatura na entrada da tubulação é 25 °C e a temperatura na saída é 57 °C. A água é aquecida por um dispositivo que fornece 16,8 kW para cada metro quadrado da superfície do tubo. Dessa forma, o diâmetro da tubulação, em mm, e a velocidade da água no interior do tubo, em cm/s, valem, respectivamente:

Dados:

$$\pi/4 = 0,8;$$

Massa específica da água: 1 kg/L; e

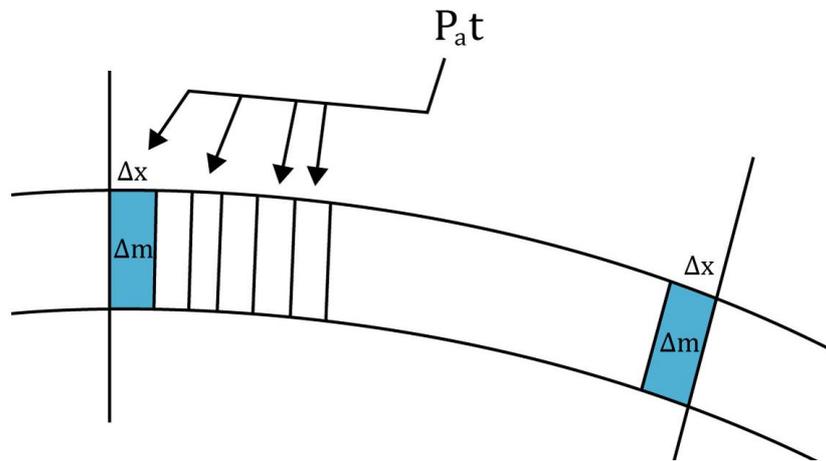
Calor específico da água: 4200 J/kg °C.

- a) 2,5 e 40
- b) 25 e 4
- c) 25 e 40
- d) 2,5 e 4
- e) 25 e 0,4

Comentários:

Considere a representação abaixo, onde um Δm de massa recebe energia o suficiente em todo seu percurso para elevar sua temperatura de 25 °C para 57 °C:





A energia recebida será a potência vezes o tempo de todo o percurso, representado por Δt_{total} . Sejam l o comprimento da tubulação e Pot_A a potência por metro de superfície de tubo. Temos:

$$\left(\frac{\Delta x}{l} \cdot Pot\right) \cdot \Delta t_{total} = \Delta m \cdot c \cdot \Delta \theta$$

Note que a energia é distribuída por todo o comprimento da tubulação, logo, em dado instante, a massa que estamos considerando apenas recebe $\frac{\Delta x}{l} \cdot Pot$.

$$\frac{\Delta x}{l} \cdot (Pot_A \cdot \pi \cdot d \cdot l) \cdot \Delta t_{total} = \Delta m \cdot c \cdot \Delta \theta$$

$$Pot_A \cdot \pi \cdot d \cdot l = \frac{l}{\Delta t_{total}} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta x \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)} \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \cdot c \cdot \Delta \theta$$

$$Pot_A l = v \cdot \rho \cdot \left(\frac{d}{4}\right) \cdot c \cdot \Delta \theta$$

$$v = \frac{4 \cdot Pot_A \cdot l}{\rho \cdot d \cdot c \cdot \Delta \theta} \quad (eq. 1)$$

Pela equação da continuidade, temos:

$$V_{azao} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = A_{sec} \cdot v = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right) \cdot v$$

Substituindo (1) na equação acima, temos:

$$V_{azao} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{4 \cdot Pot_A \cdot l}{\rho \cdot d \cdot c \cdot \Delta \theta}$$

$$d = \frac{\rho \cdot V_{azao} \cdot c \cdot \Delta \theta}{Pot_A \cdot l \cdot \pi} = \frac{1 \cdot \left(\frac{36}{30 \cdot 60}\right) 4200 \cdot 32}{16,8 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 3,2} = 25 \text{ mm}$$

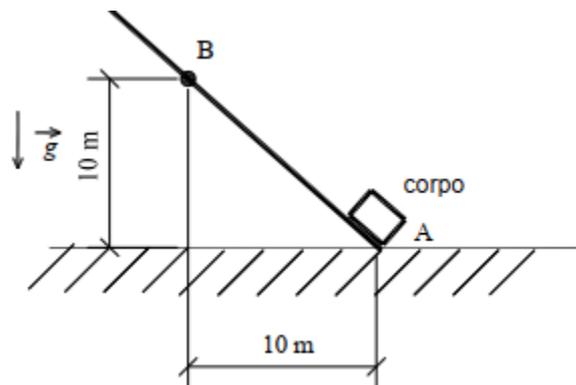
Substituindo o resultado encontrado acima em (1), obtemos:

$$v = \frac{4 \cdot 16,8 \cdot 10^3 \cdot 2}{10^3 \cdot 0,025 \cdot 4200 \cdot 32} = 4 \text{ cm/s}$$



Gabarito: B

4. (IME – 2012)



Um corpo com velocidade v parte do ponto A , sobe a rampa AB e atinge o repouso no ponto B . Sabe-se que existe atrito entre o corpo e a rampa e que a metade da energia dissipada pelo atrito é transferida ao corpo sob a forma de calor. Determine a variação volumétrica do corpo devido à sua dilatação.

Dados:

- aceleração da gravidade: $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- volume inicial do corpo: $v_i = 0,001 \text{ m}^3$;
- coeficiente de dilatação térmica linear do corpo: $\alpha = 0,00001 \text{ K}^{-1}$;
- calor específico do corpo: $c = 400 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Observações:

- o coeficiente de atrito cinético é igual a 80% do coeficiente de atrito estático;
- o coeficiente de atrito estático é o menor valor para o qual o corpo permanece em repouso sobre a rampa no ponto B .

Comentários:

Pelo equilíbrio do corpo em B , temos:

$$\mu_{estatico} mg \cos 45^\circ = mg \sin 45^\circ$$
$$\mu_{estatico} = 1$$

Como o coeficiente dinâmico é 80 % do dinâmico, temos:

$$\mu_{dinamico} = 0,8$$

O trabalho realizado pela força de atrito é:

$$E_{atrito} = \mu_{dinamico} mg \cos 45^\circ d = 80 \text{ m}$$

Para pequenas variações na temperatura podemos considerar:

$$\gamma = 3\alpha$$

Onde γ é o coeficiente de dilatação térmica volumétrica do corpo.

Sabemos que metade de E_{atrito} é absorvida pelo corpo, logo:



$$Q = mc\Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \frac{40}{400} = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{eq. 1})$$

Usando a equação de dilatação volumétrica, temos:

$$\Delta V = V_0\gamma\Delta\theta = 3V_0\alpha\Delta\theta$$

Substituindo (1), na equação acima, obtemos:

$$\Delta V = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

Gabarito: 3 mm³

5. (IME – 2013)

Em um experimento existem três recipientes E_1 , E_2 e E_3 . Um termômetro graduado numa escala X assinala $10 \text{ } ^\circ X$ quando imerso no recipiente E_1 , contendo uma massa M_1 de água a $41 \text{ } ^\circ F$. O termômetro, quando imerso no recipiente E_2 contendo uma massa M_2 de água a 293 K , assinala $19 \text{ } ^\circ X$. No recipiente E_3 existe inicialmente uma massa de água M_3 a $10 \text{ } ^\circ C$. As massas de água M_1 e M_2 , dos recipientes E_1 e E_2 , são transferidas para o recipiente E_3 e, no equilíbrio, a temperatura assinalada pelo termômetro é de $13 \text{ } ^\circ X$. Considerando que existe somente troca de calor entre as massas de água, a razão M_1/M_2 é:

- a) $2 + 0,2 \frac{M_3}{M_2}$
- b) 2
- c) $1 + \frac{M_3}{M_2}$
- d) 0,5
- e) $0,5 - 2 \frac{M_3}{M_2}$

Comentários:

Convertendo as temperaturas para Celsius:

Massa 1 –

$$\theta_{1,C} = \frac{5\theta_{F,1} - 160}{9} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Massa 2 –

$$\theta_{2,C} = \theta_{2,K} - 273 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A conversão entre as escalas mantém linearidade, assim:

$$\frac{\Delta\theta_X}{\Delta\theta_C} = \frac{\theta_X - 10}{\theta_C - 5} = \frac{19 - 10}{20 - 5}$$
$$\theta_C = \frac{5}{3}(\theta_X - 10) + 5 \quad (\text{eq. 1})$$

Usando (1), podemos determinar a temperatura de equilíbrio da mistura no recipiente 3 em Celsius:



$$\theta_{C,eq} = \frac{5}{3}3 + 5 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A mistura no recipiente 3 pode ser considerada como um sistema fechado, assim a soma das trocas de energia deve ser nula:

$$\begin{aligned}\Sigma Q &= 0 \\ Q_1 + Q_2 + Q_3 &= 0 \\ M_1c(10 - 5) + M_2c(10 - 20) + 0 &= 0 \\ \frac{M_1}{M_2} &= 2\end{aligned}$$

Gabarito: B.

6. (IME – 2016)

Um copo está sobre uma mesa com a boca voltada para cima. Um explosivo no estado sólido preenche completamente o copo, estando todo o sistema a 300 K . O copo e o explosivo são aquecidos. Nesse processo, o explosivo passa ao estado líquido, transbordando para fora do copo. Sabendo que a temperatura final do sistema é 400 K , determine:

- a temperatura de fusão do explosivo;
- o calor total fornecido ao explosivo.

Dados:

- volume transbordado do explosivo líquido: 10^{-6} m^3 ;
- coeficiente de dilatação volumétrica do explosivo no estado líquido: 10^{-4} K^{-1} ;
- coeficiente de dilatação volumétrica do material do copo: $4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$;
- volume inicial do interior do copo: 10^{-3} m^3 ;
- massa do explosivo: $1,6 \text{ kg}$;
- calor específico do explosivo no estado sólido: $10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- calor específico do explosivo no estado líquido: $10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; e
- calor latente de fusão do explosivo: $10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Consideração:

- o coeficiente de dilatação volumétrica do explosivo no estado sólido é muito menor que o coeficiente de dilatação volumétrica do material do copo.

Comentários:

a) Como o coeficiente de dilatação volumétrica do explosivo no estado sólido é muito menor que o do material do copo, podemos encontrar a temperatura de fusão ao calcularmos a variação na temperatura do líquido que causa o transbordamento compatível com a situação exposta.

$$V_{trans} = V_{exp,f} - V_{mat,f}$$

O volume inicial do explosivo e recipiente são iguais, e o denotaremos por V_0 .

$$\begin{aligned}V_{trans} &= \Delta V_{exp} - \Delta V_{mat} \\ V_{trans} &= V_0 (\beta_{exp} \Delta \theta_{exp} - \beta_{mat} (400 - 300))\end{aligned}$$



$$10^{-4} \Delta\theta_{exp} - 4 \cdot 10^{-5} \cdot 100 = 10^{-3}$$
$$\Delta\theta_{exp} = 50 K$$

Isso mostra que o explosivo só começou a expandir a 50 K de 400 K, assim sua temperatura de fusão deve ser 350 K.

b) O calor fornecido ao explosivo deve ser o suficiente para elevar sua massa ao ponto de fusão, fundir toda essa massa e elevar sua temperatura a 400 K:

$$Q_{exp} = m_{exp} c_{exp,solido} (350 - 300) + m_{exp} L_{fusao} + m_{exp} c_{exp,liq} (400 - 350)$$
$$Q_{exp} = 1,6(10^3 \cdot 50 + 10^5 + 10^3 \cdot 50) = 3,2 \cdot 10^5 J$$

Gabarito: a) 350 K b) $3,2 \cdot 10^5 J$

7. (ITA-1972)

Numa aula prática sobre ebulição faz-se a seguinte experiência: leva-se até a fervura a água de um balão (não completamente cheio). Em seguida, fecha-se o frasco e retira-se o mesmo do fogo. Efetuando-se um resfriamento brusco do balão, a água volta a ferver. Isto se dá porque:

- a) na ausência de ar a água ferve com maior facilidade.
- b) a redução da pressão de vapor no frasco é mais rápida que a queda de temperatura do líquido.
- c) com o resfriamento, a água se contrai expulsando bolhas de ar que estavam no seio do líquido.
- d) com o resfriamento brusco a água evapora violentamente.
- e) com o resfriamento brusco, o caminho livre médio das moléculas no líquido aumenta.

Comentários:

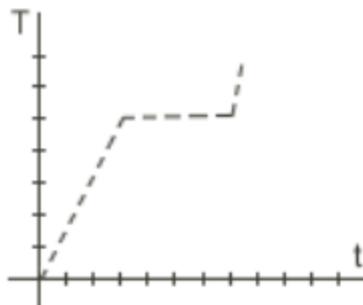
Ficaria mais claro: A pressão do vapor no frasco cai mais rápido que a pressão de vapor do líquido no frasco. A pressão do vapor no frasco cai devido à queda na temperatura mantendo o volume constante (a pressão se manteria constante caso o frasco tivesse sido mantido aberto), e o mesmo ocorre com a pressão de vapor da água.

Gabarito: B.

8. (ITA-1973)

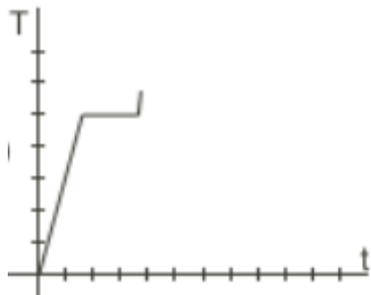
Numa garrafa térmica contendo água foi introduzido um aquecedor de imersão cuja resistência praticamente não varia com a temperatura. O aquecedor é ligado a uma fonte de tensão constante. O gráfico (curva tracejada) corresponde aproximadamente ao que se observa caso a garrafa térmica contenha 200 gramas de água. Escolha o gráfico (todos na mesma escala) que melhor representa o que se pode observar caso a garrafa térmica contenha só 100 gramas de água.



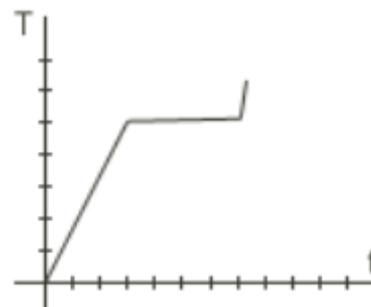


Observação: A garrafa não é fechada com rolha. T = temperatura. t = tempo

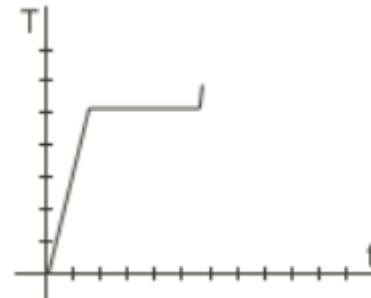
a)



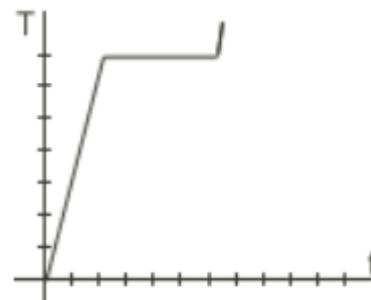
b)



c)

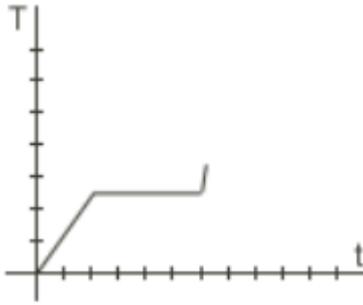


d)



e)





Comentários:

No primeiro trecho do gráfico temos água sendo aquecida:

$$Q_{fornecido} = c_{\text{agua}} m \Delta T$$
$$P_{ot} = \frac{Q_{fornecido}}{\Delta t} = c_{\text{agua}} m \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

A potência é constante durante todo o aquecimento:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{1}{c_{\text{agua}} m} P_{ot}$$

Assim, a inclinação do gráfico deve ser inversamente proporcional a massa. No gráfico da amostra podemos aproximar a inclinação do primeiro trecho como 5/3. Logo, uma inclinação de 5/1.5 satisfaria o resultado encontrado acima.

No segundo trecho do gráfico temos a evaporação da água a temperatura constante:

$$P_{ot} = \frac{L_{\text{evap}} m}{\Delta t_{\text{evap}}}$$
$$\Delta t_{\text{evap}} = L_{\text{evap}} P_{ot} m$$

Logo, o tempo que leva para evaporar toda a massa é proporcional a mesma. No início o processo leva 4 unidades de tempo, assim devemos ter 2 unidades no gráfico da amostra de 100 g, como pode ser visto em A.

Gabarito: A.

9. (ITA-1974)

A temperatura de ebulição do nitrogênio, à pressão normal, é aproximadamente 77 K e o seu calor de vaporização é de 48 kcal/kg. Qual é, aproximadamente, a massa de nitrogênio vaporizada ao introduzir-se 0,5 kg de água a 0 °C num botijão de nitrogênio líquido, onde a temperatura é de 77 K?

- a) 1,25 kg.
- b) 2,875 kg.
- c) 1,57 kg.
- d) 2,04 kg.
- e) nenhuma das respostas anteriores.

Dados:



Calor específico médio do gelo no intervalo de temperatura considerado = $0,35 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$
Calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

Comentários:

Convertendo a temperatura do nitrogênio para $^\circ\text{C}$:

$$\theta_C = T - 273$$

$$\theta_C = -196 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como o sistema é fechado teremos um somatório de trocas de energia nulo:

$$\sum Q = 0$$

$$Q_{\text{nitrogenio}} + Q_{\text{agua}} = 0$$

$$L_{\text{vap},N} \Delta m_N + (-L_{\text{fusao}} m_{\text{agua}} + c_{\text{gelo}} m_{\text{agua}} (-194 - 0)) = 0$$

$$48 \Delta m_N + (-80 - 0,35 \cdot 194) \cdot 500 = 0$$

$$\boxed{\Delta m_N \approx 1,54 \text{ kg}}$$

Gabarito: C

10. (ITA-1974)

A umidade relativa num ambiente gasoso (atmosfera, por exemplo) é definida como:

- relação entre a pressão de vapor de água existente e a pressão ambiente.
- relação entre o volume ocupado pelo vapor de água e o volume total do ambiente.
- relação entre a pressão de vapor de água existente à temperatura ambiente e a pressão de vapor de água a $0 \text{ } ^\circ\text{C}$.
- relação entre a pressão de vapor de água existente e a pressão de vapor saturante à mesma temperatura.
- nenhuma das afirmações acima é verdadeira.

Comentários:

A pressão de vapor saturante da água é a pressão do vapor da água presente no ar quando a pressão total do ar é igual a pressão de vapor da água. De modo mais ilustrativo, considere ar seco em contato com água a determinada temperatura. Para que o equilíbrio seja atingido, partículas de água escaparam para o ar, até a pressão total do ar se tornar igual à pressão de vapor da água naquela temperatura.

Gabarito: D.

11. (ITA-1976)

A potência elétrica dissipada por um aquecedor de imersão é de 200W. Mergulha-se o aquecedor num recipiente que contém 1 litro de água a $20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Supondo que 70% da potência



dissipada pelo aquecedor sejam aproveitados para o aquecimento da água, quanto tempo será necessário para que a temperatura da água atinja $90\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Dado: Calor específico da água = $4,2\text{ J/g }^{\circ}\text{C}$.

- a) $2,1\text{ s}$.
- b) $2,1 \cdot 10^3\text{ s}$.
- c) $5 \cdot 10^2\text{ s}$.
- d) $1,2 \cdot 10^2\text{ s}$.
- e) $5 \cdot 10^3\text{ s}$.

Comentários:

Por definição, a potência é a quantidade de energia trocada pelo tempo:

$$P_{ot,efetiva} = \frac{Q_{recebido}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{c_{agua} m_{agua} (90 - 20)}{0,7 P_{ot}}$$
$$\Delta t = \frac{4,2 \cdot 1000 \cdot 70}{0,7 \cdot 200} = 2100\text{ s}$$

Gabarito: B.

12. (ITA-1977)

Um corpo é aquecido pela água de um calorímetro que por sua vez é aquecida por uma resistência onde passa uma corrente elétrica. Durante o aquecimento, que durou 20 segundos, o corpo absorveu a quantidade de calor equivalente a $5,0 \cdot 10^2$ calorias e o calorímetro reteve, separadamente, $2,05 \cdot 10^3$ calorias. Sabendo-se que a potência elétrica dissipada pela resistência foi de 550 W , pode-se afirmar que a perda de calor do calorímetro para o ambiente, durante o aquecimento, foi de:

- a) valor tão pequeno que não se pode avaliar com os dados acima.
- b) $5,9 \cdot 10^2$ calorias.
- c) $5,4 \cdot 10^2$ calorias.
- d) $0,9 \cdot 10^2$ calorias.
- e) nenhum dos valores acima.

Comentários:

Conservando energia: (lembre-se de transformar joules em calorias)

$$\Sigma Q = 0$$
$$Q_{resistência} + Q_{calorímetro} + Q_{corpo} + Q_{ambiente} = 0$$
$$-P_{ot}\Delta t + Q_{calorímetro} + Q_{corpo} + Q_{ambiente} = 0$$
$$Q_{ambiente} = \frac{11000}{4,184} - 2050 - 500 \approx 0,8 \cdot 10^2\text{ cal}$$



Gabarito: D.

13. (ITA-1979)

Três recipientes metálicos, de igual volume, contêm respectivamente água, gelo e vapor d'água. O gelo e a água têm a mesma massa e o volume que eles ocupam é de 9/10 do recipiente. Fecham-se os três recipientes à pressão de $1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e colocam-se os mesmos, simultaneamente, no interior de um forno pré-aquecido a $200 \text{ }^\circ\text{C}$, de modo a receberem calor em idênticas condições. Assim sendo, para um mesmo intervalo de tempo no interior do forno, pode-se afirmar que:

- a) o gelo necessitará de menor energia para aumentar sua temperatura do que a água e o vapor d'água.
- b) a água é, das três fases, a que maior quantidade de energia necessita para aumentar sua temperatura.
- c) o vapor d'água é o que necessita de menor quantidade de energia para aumentar sua temperatura.
- d) água e gelo necessitam da mesma quantidade de calor para aumentar igualmente suas temperaturas e tal quantidade de calor é menor que aquela para o vapor.
- e) o gelo e o vapor d'água necessitam de menor quantidade de calor para aumentarem suas temperaturas do mesmo valor do que a da água.

Comentários:

Lembrando a expressão correspondente a troca de calor:

$$Q = mc\Delta\theta$$

Para uma mesma variação de temperatura $\Delta\theta$, a água no estado líquido precisará receber mais calor, já que seu calor específico c é o maior dentre os 3.

Gabarito: E.

14. (ITA-1984)

Um fogareiro é capaz de fornecer 250 calorias por segundo. Colocando-se sobre o fogareiro uma chaleira de alumínio de massa 500 g, tendo no seu interior 1,2kg de água à temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, a água começará a ferver após 10 minutos de aquecimento. Admitindo-se que a água ferve a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ e que o calor específico da chaleira de alumínio é $0,23 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$ e o da água $1,0 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$, pode-se afirmar que:

- a) toda a energia fornecida pelo fogareiro é consumida no aquecimento da chaleira com água, levando a água à ebulição.
- b) somente uma fração inferior a 30% da energia fornecida é gasta no aquecimento da chaleira com água, levando a água à ebulição.
- c) uma fração entre 30% e 40% da energia fornecida pelo fogareiro é perdida.
- d) 50% da energia fornecida pelo fogareiro é perdida.
- e) a relação entre a energia consumida no aquecimento da chaleira com água e a energia



fornecida pelo fogão em 10 minutos situa-se entre 0,70 e 0,90.

Comentários:

É possível calcularmos a potência efetiva do fogareiro:

$$Pot_{efetiva} = \frac{Q_{total}}{\Delta t_{aquecimento}}$$
$$Pot_{efetiva} = \frac{m_{agua}c_{agua}\Delta\theta + m_{chaleira}c_{aluminio}\Delta\theta}{\Delta t_{aquecimento}}$$
$$Pot_{efetiva} = \frac{(1200 + 500 \cdot 0,23)75}{10 \cdot 60}$$
$$Pot_{efetiva} = 164,375 \text{ cal/s}$$

Logo, a fração da energia fornecida pelo fogareiro que é efetivamente utilizada no aquecimento do conjunto água + chaleira é:

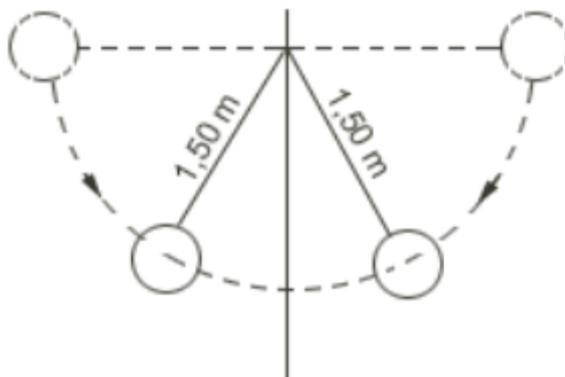
$$f = \frac{Pot_{efetiva}}{Pot_{fornecida}} = \frac{164,375}{250} = 0,6575$$

Ou seja, uma fração entre 0,3 e 0,4 da energia fornecida é perdida.

Gabarito: C.

15. (ITA-1985)

Dois corpos feitos de chumbo estão suspensos a um mesmo ponto por fios de comprimentos iguais a 1,50 m. Esticam-se os dois fios ao longo de uma mesma horizontal e, em seguida, abandonam-se os corpos, de forma que eles se chocam e ficam em repouso. Desprezando as perdas mecânicas e admitindo que toda a energia se transforma em calor e sabendo que o calor específico do chumbo é 0,130 J/g °C e a aceleração da gravidade 9,80 m/s², podemos afirmar que a elevação de temperatura dos corpos é:



- a) 0,113 °C.
- b) 0,226 °C.
- c) 113 °C.
- d) 0,057 °C.



e) impossível de calcular, porque não se conhecem as massas dos corpos.

Comentários:

Conservando energia:

$$E_{inicial} = E_{final} \Rightarrow 2mgR = 2Q$$
$$mgR = mc\Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{gR}{c} = \frac{9,8 \cdot 1,5}{130} = 0,113 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lembrando de colocar o calor específico no SI: $0,130 \text{ J/g } ^\circ\text{C} = 130 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$

Gabarito:

16. (ITA-1988)

Um bloco de gelo de massa $3,0 \text{ kg}$, que está a uma temperatura de $-10,0 \text{ } ^\circ\text{C}$, é colocado em um calorímetro (recipiente isolado de capacidade térmica desprezível) contendo $5,0 \text{ kg}$ de água à temperatura de $40,0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Qual a quantidade de gelo que sobra sem se derreter?

Dados:

Calor específico do gelo: $c_G = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$.

Calor específico da água: $c_A = 1,0 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$.

Calor latente de fusão do gelo: $L = 80 \text{ kcal/kg}$.

Comentários:

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\Sigma Q = 0 \Rightarrow Q_{\text{agua}} + Q_{\text{gelo}} = 0$$

O equilíbrio ocorrerá a $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ se houver gelo o suficiente para trazer a temperatura da água a essa temperatura ou a uma temperatura θ_{eq} maior ou menor que zero dependendo das quantidades relativas de gelo e água. Testaremos pela primeira possibilidade:

$$c_{\text{agua}}m_{\text{agua}}\Delta\theta_{\text{agua}} + (L_{\text{gelo}}\Delta m + c_{\text{gelo}}m_{\text{gelo}}\Delta\theta_{\text{gelo}}) = 0$$

Onde Δm é a massa de gelo transformada em água.

$$1 \cdot 5 \cdot (0 - 40) + (80 \cdot \Delta m + 0,5 \cdot 3 \cdot (0 - (-10))) = 0$$
$$80\Delta m = 185 \Rightarrow \Delta m \approx 2,3 \text{ kg}$$

Assim, a massa que sobrou em forma de gelo é:

$$m_{\text{restante}} = m_{\text{gelo}} - \Delta m \approx 0,7 \text{ kg}$$

Gabarito: 0,7 Kg aproximadamente

17. (ITA-1989)



Cinco gramas de carbono são queimados dentro de um calorímetro de alumínio, resultando o gás CO_2 . A massa do calorímetro é de 1000 g e há 1500 g de água dentro dele. A temperatura inicial do sistema era de $20\text{ }^\circ\text{C}$ e a final de $43\text{ }^\circ\text{C}$. Calcule o calor produzido (em calorias) por grama de carbono. Despreze a pequena capacidade calorífica do carbono e do dióxido de carbono.

- a) 7,9 kcal.
- b) 7,8 kcal.
- c) 39 kcal.
- d) 57,5 kcal.
- e) 11,5 kcal.

Dados:

$$c_{Al} = 0,215\text{ cal/g }^\circ\text{C}.$$

$$c_{\text{água}} = 1,00\text{ cal/g }^\circ\text{C}.$$

Comentários:

A energia usada no aquecimento do sistema é toda provinda da reação de combustão:

$$E_{\text{combustao}} = Q_{\text{calorimetro}} + Q_{\text{agua}}$$

$$E_{\text{combustao}} = c_{al}m_{al}\Delta\theta + c_{\text{agua}}m_{\text{agua}}\Delta\theta$$

$$E_{\text{combustao}} = (0,215 \cdot 1000 + 1 \cdot 1500)(43 - 20)$$

$$E_{\text{combustao}} = 1715 \cdot 23$$

A energia acima é provinda da combustão de 5 gramas de carbono, assim:

$$\frac{E_{\text{combustao}}}{m_{\text{carbono}}} = \frac{1715}{5} 23 \approx 7,9\text{ kcal}$$

Gabarito: A

18. (ITA-1996)

Num dia de calor, em que a temperatura ambiente era de $30\text{ }^\circ\text{C}$, João pegou um copo com volume de 200 cm^3 de refrigerante à temperatura ambiente e mergulhou nele dois cubos de gelo de massa 15 g cada um. Se o gelo estava à temperatura de $-4\text{ }^\circ\text{C}$ e derreteu-se por completo e supondo que o refrigerante tem o mesmo calor específico que a água, a temperatura final da bebida de João ficou sendo aproximadamente de:

- a) $16\text{ }^\circ\text{C}$.
- b) $25\text{ }^\circ\text{C}$.
- c) $0\text{ }^\circ\text{C}$.
- d) $12\text{ }^\circ\text{C}$.
- e) $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Dados:

$$\text{Calor específico da água} = 4,18\text{ kJ/kgK}.$$

$$\text{Calor latente de fusão da água} = 333,5\text{ kJ/kg}.$$



Calor específico do gelo = $2,05 \text{ kJ/kgK}$.

Densidade do refrigerante = $1,0 \text{ g/cm}^3$.

Comentários:

Considerando que as trocas de calor com ambiente são desprezíveis, teremos um sistema fechado e, portanto, o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\sum Q = 0$$

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

$$= 0 \quad (eq. 1) \quad c_{\text{agua}} m_{\text{refri}} (\theta_{eq} - 30) + (c_{\text{gelo}} m_{\text{gelo}} (0 - (-4)) + L_{\text{fusao}} m_{\text{gelo}} + c_{\text{agua}} m_{\text{gelo}} (\theta_{eq} - 0))$$

A massa do refrigerante é dada por:

$$m_{\text{refri}} = \rho_{\text{refri}} V_{\text{refri}} = 1 \cdot 200 = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$$

Substituindo o resultado acima em (1), obtemos:

$$4,18 \cdot 0,2 \cdot (\theta_{eq} - 30) + (2,05 \cdot 4 + 333,5 + 4,18 \theta_{eq}) 0,03 = 0$$

$$4,18 \cdot 2,3 \theta_{eq} = 4,18 \cdot 2 \cdot 30 - 102,51 = 148,29$$

$$\theta_{eq} \approx 15,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Gabarito: A.

19. (ITA-1997)

Um vaporizador contínuo possui um bico pelo qual entra água a $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, de tal maneira que o nível de água no vaporizador permanece constante. O vaporizador utiliza 800 W de potência, consumida no aquecimento da água até $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ e na sua vaporização a $100 \text{ } ^\circ\text{C}$. A vazão de água pelo bico é:

- a) $0,31 \text{ mL/s}$.
- b) $0,35 \text{ mL/s}$.
- c) $2,4 \text{ mL/s}$.
- d) $3,1 \text{ mL/s}$.
- e) $3,5 \text{ mL/s}$.

Dados:

Calor específico da água = $4,18 \text{ kJ/kg.K}$.

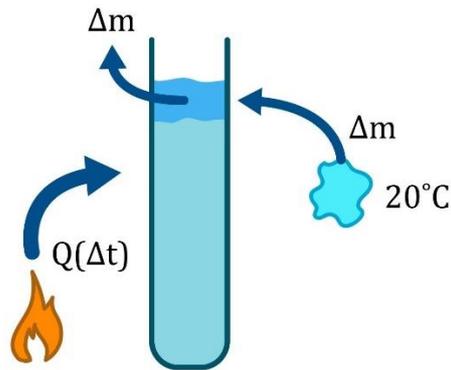
Massa específica da água = $1,0 \text{ g/cm}^3$.

Calor latente de vaporização da água = $2257,2 \text{ kJ/kg}$.

Comentários:

Considere o que acontece após um intervalo de tempo Δt muito pequeno:





O calor $Q(\Delta t)$ é usado para evaporar uma quantidade Δm de massa e ao mesmo tempo aquecer a mesma quantidade de uma temperatura de 20°C para 100°C , de modo que a todo instante o vaporizador contém a mesma massa e temperatura uniforme de 100°C :

$$Q(\Delta t) = \Delta m c_{\text{agua}}(100 - 20) + L_{\text{vap}}\Delta m = Pot\Delta t$$

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{Pot}{80c_{\text{agua}} + L_{\text{vap}}}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{Pot}{\rho_{\text{agua}}(80c_{\text{agua}} + L_{\text{vap}})} = \frac{800}{1(80 \cdot 4,18 + 2257,2)} \approx 0,31 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 0,31 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

Gabarito: B.

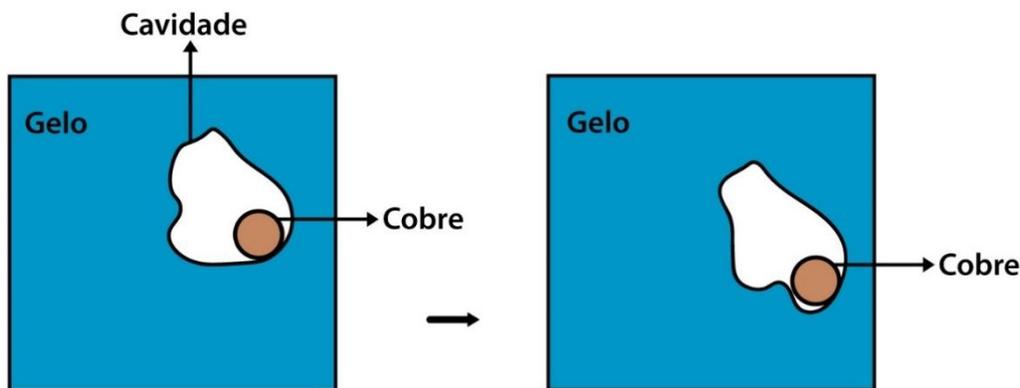
20. (ITA-1999)

Numa cavidade de 5 cm^3 feita num bloco de gelo, introduz-se uma esfera homogênea de cobre de 30 g aquecida a 100°C , conforme o esquema. Sabendo-se que o calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g , que o calor específico do cobre é de $0,096 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e que a massa específica do gelo é de $0,92 \text{ g/cm}^3$. O volume total da cavidade após o equilíbrio ser atingido é igual a:

- a) $8,9 \text{ cm}^3$.
- b) $3,9 \text{ cm}^3$.
- c) $39,0 \text{ cm}^3$.
- d) $8,5 \text{ cm}^3$.
- e) $7,4 \text{ cm}^3$.

Comentários:





No equilíbrio a cavidade será maior devido ao derretimento parcial do gelo. Como o sistema é fechado, temos que a soma das trocas de energia deve ser nula, considerando que o equilíbrio é atingido a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ temos:

$$\begin{aligned}\sum Q &= 0 \\ Q_{\text{cobre}} + Q_{\text{gelo}} &= 0 \\ c_{\text{cobre}} m_{\text{esfera}} (0 - 100) + L_{\text{fusao}} \Delta m &= 0 \\ \Delta m &= \frac{100 c_{\text{cobre}} m_{\text{esfera}}}{L_{\text{fusao}}} = \Delta V \rho_{\text{gelo}}\end{aligned}$$

Logo, o volume final da cavidade deve ser seu volume inicial mais o volume de gelo derretido:

$$\begin{aligned}V_f &= V_0 + \Delta V \\ V_f &= 5 + \frac{100 \cdot 0,096 \cdot 30}{80 \cdot 0,92} \approx 8,9 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Gabarito: A.

21. (ITA-2000)

O ar dentro de um automóvel fechado tem massa de 2,6 kg e calor específico de $720 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C}$. Considere que o motorista perde calor a uma taxa constante de 120 joules por segundo e que o aquecimento do ar confinado se deva exclusivamente ao calor emanado pelo motorista. Quanto tempo levará para a temperatura variar de $2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$?

- a) 540 s.
- b) 480 s.
- c) 420 s.
- d) 360 s.
- e) 300 s.

Comentários:

Como toda a energia fornecida pelo motorista é usada para elevar a temperatura do ar, temos:

$$Pot = \frac{Q_{\text{cedido}}}{\Delta t} = \frac{c_{\text{ar}} m_{\text{ar}} (\theta - 2,4)}{\Delta t}$$



Devemos encontrar a variação de tempo que levará à temperatura final $\theta = 37\text{ }^\circ\text{C}$, assim:

$$\Delta t(37) = \frac{720 \cdot 2,6 \cdot 34,6}{120} = 539,76\text{ s}$$

Gabarito: A.

22. (ITA-2002)

Mediante chave seletora, um chuveiro elétrico tem a sua resistência graduada para dissipar $4,0\text{ kW}$ no inverno, $3,0\text{ kW}$ no outono, $2,0\text{ kW}$ na primavera e $1,0\text{ kW}$ no verão. Numa manhã de inverno, com temperatura ambiente de $10\text{ }^\circ\text{C}$, foram usados $10,0$ litros de água desse chuveiro para preencher os 16% do volume faltante do aquário de peixes ornamentais, de modo a elevar sua temperatura de $23\text{ }^\circ\text{C}$ para $28\text{ }^\circ\text{C}$. Sabe-se que 20% da energia é perdida no aquecimento do ar, a densidade da água é $\rho = 1,0\text{ g/cm}^3$ e o calor específico da água é $4,18\text{ J/g} \cdot \text{K}$. Considerando que a água do chuveiro foi colhida em 10 minutos, em que posição se encontrava a chave seletora?

Justifique.

Comentários:

Na situação física original temos que a água provinda do chuveiro recebe uma quantidade de calor Q , a qual o leva a uma temperatura final θ_{chuveiro} maior que $28\text{ }^\circ\text{C}$. Essa mesma água é colocada em contato com a água de um aquário, em um sistema fechado, chegando ao equilíbrio em $28\text{ }^\circ\text{C}$. De fato, como no sistema *aquário + água* só temos trocas internas de calor, podemos considerar que o calor Q provindo do chuveiro é usado para aumentar a temperatura de toda a água para $28\text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q = Q_{\text{agua,chuveiro}} + Q_{\text{agua,aq}}$$
$$Pot_{\text{efetiva}} \Delta t_{\text{colhimento}} = m_{\text{agua,c}} c_{\text{agua}} (28 - 10) + \left(\frac{84}{16} m_{\text{agua,c}} \right) c_{\text{agua}} (28 - 23)$$
$$0,8 \cdot Pot \cdot 10 \cdot 60 = 4,18 \cdot 10^4 (18 + 5,25 \cdot 5)$$
$$Pot \approx 3,85\text{ kW}$$

Gabarito: Inverno

23. (ITA-2002)

Colaborando com a campanha de economia de energia, um grupo de escoteiros construiu um fogão solar, consistindo de um espelho de alumínio curvado que foca a energia térmica incidente sobre uma placa coletora. O espelho tem um diâmetro efetivo de $1,00\text{ m}$ e 70% da radiação solar incidente é aproveitada para de fato aquecer uma certa quantidade de água. Sabemos ainda que o fogão solar demora $18,4$ minutos para aquecer $1,00\text{ L}$ de água desde a temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$ até $100\text{ }^\circ\text{C}$, e que $4,186 \cdot 10^3\text{ J}$ é a energia necessária para elevar a temperatura de $1,00\text{ L}$ de água de $1,000\text{ K}$. Com base nos dados, estime a intensidade irradiada pelo Sol na superfície da Terra, em W/m^2 . Justifique.



Comentários:

A potência absorvida pela a placa é dada por:

$$Pot = I_{solar}A = I_{solar} \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)$$

Com d sendo o diâmetro efetivo do espelho. Como apenas 70 % da energia é aproveitada, temos:

$$Pot_{efetiva} = 0,7Pot = 0,7I_{solar} \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \quad (eq. 1)$$

A potência efetiva é utilizada para aumentar a temperatura da água:

$$Pot_{efetiva} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m_{amostra}c_{agua}(100 - 20)}{\Delta t_{aquecimento}}$$

Substituindo (1) na equação acima, obtemos:

$$I_{solar} = \frac{m_{amostra}c_{agua}(100 - 20)}{0,7\pi\Delta t_{aquecimento}d^2} = \frac{4 \cdot 4,186 \cdot 10^3 \cdot 80}{0,7 \cdot \pi \cdot 18,4 \cdot 60} \approx 549 \frac{W}{m^2}$$

Gabarito: 552 W/m².

24. (ITA-2004)

Um painel coletor de energia solar para aquecimento residencial de água, com 50% da eficiência, tem superfície coletora com área útil de 10 m². A água circula em tubos fixados sob a superfície coletora. Suponha que a intensidade da energia solar incidente é de 1,0 · 10³ W/m² e que a vazão de suprimento de água aquecida é de 6,0 litros por minuto. Assinale a opção que indica a variação da temperatura da água.

- a) 12 °C.
- b) 10 °C.
- c) 1,2 °C.
- d) 1,0 °C.
- e) 0,10 °C.

Comentários:

Considere que a superfície coletora aquece uma massa Δm em um intervalo de tempo Δt :

$$Q(\Delta t) = \Delta mc_{agua}\Delta\theta$$

$$Pot_{efetiva}\Delta t = \Delta mc_{agua}\Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \frac{Pot_{efetiva}}{\frac{\Delta m}{\Delta t}c_{agua}} = \frac{Pot_{efetiva}}{\rho_{agua} \frac{\Delta V}{\Delta t}c_{agua}}$$

Onde $\Delta V/\Delta t$ é a vazão de água passando pela tubulação exposta a placa.

$$\Delta\theta = \frac{0,5I_{solar}A_{placa}}{\rho_{agua} \frac{\Delta V}{\Delta t}c_{agua}} = \frac{0,5 \cdot 10^3 \cdot 10}{1 \cdot \frac{6}{60} \cdot 4,18 \cdot 10^3} \approx 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Gabarito: A.

25. (ITA-2005)

Inicialmente 48 g de gelo a 0 °C são colocados num calorímetro de alumínio de 2,0 g, também a 0 °C. Em seguida, 75 g de água a 80 °C são despejados dentro desse recipiente. Calcule a temperatura final do conjunto.

Dados:

Calor latente do gelo $L_G = 80 \text{ cal/g}$.

Calor específico da água $c_{H_2O} = 1,0 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Calor específico do alumínio $c_{Al} = 0,22 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Comentários:

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\sum Q = 0$$

$$Q_{\text{agua}} + Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{Al}} = 0$$

O equilíbrio ocorrerá a 0 °C se houver gelo o suficiente para trazer a temperatura da água a essa temperatura ou a uma temperatura θ_{eq} maior que zero com todo o gelo sendo derretido. Testaremos pela primeira possibilidade:

$$c_{\text{agua}}m_{\text{agua}}\Delta\theta_{\text{agua}} + L_{\text{gelo}}\Delta m + c_{\text{Al}}m_{\text{Al}}\Delta\theta_{\text{Al}} = 0$$

Onde Δm é a massa de gelo transformada em água.

$$1 \cdot 75 \cdot (0 - 80) + 80 \cdot \Delta m + 0,22 \cdot 2 \cdot (0 - 0) = 0$$

$$\Delta m = 75 \text{ g}$$

Assim, como pode ser visto, não há gelo o suficiente para trazer a água a 0 °C.

Na segunda possibilidade, temos:

$$c_{\text{agua}}m_{\text{agua}}\Delta\theta_{\text{agua}} + (L_{\text{gelo}}m_{\text{gelo}} + c_{\text{agua}}m_{\text{gelo}}\Delta\theta_{\text{gelo}}) + c_{\text{Al}}m_{\text{Al}}\Delta\theta_{\text{Al}} = 0$$

$$75(\theta_{eq} - 80) + (80 \cdot 48 + 48(\theta_{eq} - 0)) + 0,22 \cdot 2 \cdot (\theta_{eq} - 0) = 0$$

$$123,44\theta_{eq} = 80 \cdot 27$$

$$\theta_{eq} \approx 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Gabarito: 17,5 °C.

26. (ITA-2006)

Um bloco de gelo com 725 g de massa é colocado num calorímetro contendo 2,50 kg de água a uma temperatura de 5,0 °C, verificando-se um aumento de 64 g na massa desse bloco, uma vez alcançado o equilíbrio térmico. Considere o calor específico da água ($c = 1,0 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$) o dobro do calor específico do gelo, e o calor latente de fusão do gelo de 80 cal/g.



Desconsiderando a capacidade térmica do calorímetro e a troca de calor com o exterior, assinale a temperatura inicial do gelo.

- a) $-191,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) $-48,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- c) $-34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- d) $-24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- e) $-14,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Comentários:

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\Sigma Q = 0$$
$$Q_{\text{agua}} + Q_{\text{gelo}} = 0$$

Como há formação de mais gelo, e essa massa de gelo é menor que a massa total de água, podemos afirmar que a temperatura de equilíbrio é $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$(c_{\text{agua}}m_{\text{agua}}(0 - 5) - L_{\text{fusao}}\Delta m) + c_{\text{gelo}}m_{\text{gelo}}(0 - \theta_{\text{gelo}}) = 0$$

Onde θ_{gelo} é a temperatura inicial do gelo.

$$-(1 \cdot 2500 \cdot 5 + 80 \cdot 64) - 0,5 \cdot 725 \cdot \theta_{\text{gelo}} = 0$$
$$\theta_{\text{gelo}} \approx -48,6\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Gabarito: B.

27. (ITA-2006)

Calcule a área útil das placas de energia solar de um sistema de aquecimento de água, para uma residência com quatro moradores, visando manter um acréscimo médio de $30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação à temperatura ambiente. Considere que cada pessoa gasta $30,0\text{ litros}$ de água quente por dia e que, na latitude geográfica da residência, a conversão média mensal de energia é de $60,0\text{ kWh/mês}$ por metro quadrado de superfície coletora. Considere ainda que o reservatório de água quente com capacidade para 200 litros apresente uma perda de energia de $0,30\text{ kWh}$ por mês para cada litro. É dado o calor específico da água $c = 4,19\text{ J/g }^{\circ}\text{C}$.

Comentários:

Primeiramente calcularemos o volume de água aquecida mensalmente. São 30 litros para 4 moradores em 30 dias:

$$V_{\text{mensal}} = 30 \cdot 4 \cdot 30 = 3600\text{ L} \quad (\text{eq. 1})$$

Calculando a perda de energia em um mês para os arredores:

$$E_{\text{perdida}} = 0,3 \cdot 10^3 \cdot 3600 \cdot 200$$
$$E_{\text{perdida}} = 60 \cdot 3,6 \cdot 10^6\text{ J} \quad (\text{eq. 2})$$



Note que a todo momento temos água no reservatório perdendo energia, mas não é mesma água, por isso você não pode multiplicar 0,3 pelo volume total. Note que o valor E_{perda} acima seria a energia perdida por uma dada porção de água de 200 L se a deixássemos os 30 dias no reservatório. No entanto, o resultado se mantém o mesmo, pois o reservatório se mantém cheio durante todo o mês, ocasionando a mesma perda, e, mesmo essa perda não sendo da mesma água, foi cedida da água que chega aos moradores, porção por porção, dos 3600 L.

Agora podemos calcular a energia fornecida a água através do aquecimento que sabemos que ocorre:

$$E_{aq} - E_{perda} = m_{mensal}c\Delta\theta = \rho V_{mensal}c\Delta\theta$$
$$E_{aq} = E_{perda} + \rho V_{mensal}c\Delta\theta$$

Substituindo (1) e (2) na equação acima, obtemos:

$$E_{aq} = 60 \cdot 3,6 \cdot 10^6 + 10^3 \cdot 3600 \cdot 4,19 \cdot 30 = 185,7 \cdot 3,6 \cdot 10^6 J$$

Essa é a energia fornecida por toda a superfície, assim:

$$E_{aq} = E_{\frac{eq}{area}} A$$
$$A = \frac{185,7 \cdot 3,6 \cdot 10^6}{60 \cdot 10^3 \cdot 3600} \approx 3,1 m^2$$

Gabarito: 3,1 m²

28. (ITA - 2007)

Um corpo indeformável em repouso é atingido por um projétil metálico com a velocidade de 300 m/s e a temperatura de 0 °C. Sabe-se que, devido ao impacto, 1/3 da energia cinética é absorvida pelo corpo e o restante transforma-se em calor, fundindo parcialmente o projétil. O metal tem ponto de fusão $t_f = 300$ °C, calor específico $c = 0,02$ cal/g °C e calor latente de fusão $L_f = 6$ cal/g. Considerando 1 cal $\cong 4$ J, a fração x da massa total do projétil metálico que se funde é tal que:

- a) $x < 0,25$.
- b) $x = 0,25$.
- c) $0,25 < x < 0,5$.
- d) $x = 0,5$.
- e) $x > 0,5$.

Dado: a energia cinética de um corpo de massa m e velocidade v é expressa por $E_c = \frac{1}{2}mv^2$.

Comentários:

O calor provindo da colisão é usado para aquecer o projétil e fundir uma fração x de sua massa, assim:

$$Q_{colisao} = Q_{aq} + Q_{fusao}$$
$$\frac{2}{3}E_{cin} = mc(300 - 0) + L_f(xm)$$



$$\frac{1}{3}mv^2 = 300mc + L_f xm$$

Substituindo os valores do enunciado: (lembre-se de colocar g em kg)

$$\frac{1}{3}9 \cdot 10^4 = 300 \cdot 80 + 24 \cdot 10^3 x$$

$$x = \frac{30000 - 24000}{24000} = \frac{1}{4}$$

Gabarito: B

29. (ITA – 2007)

Numa cozinha industrial, a água de um caldeirão é aquecida de 10°C a 20°C , sendo misturada, em seguida, à água a 80°C de um segundo caldeirão, resultando 10 l de água a 32°C , após a mistura. Considere que haja troca de calor apenas entre as duas porções de água misturadas e que a densidade absoluta da água, de 1 kg/l , não varia com a temperatura, sendo, ainda, seu calor específico $c = 1,0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. A quantidade de calor recebida pela água do primeiro

caldeirão ao ser aquecida até 20°C é de

- a) 20 kcal.
- b) 50 kcal
- c) 60 kcal.
- d) 80 kcal.
- e) 120 kcal.

Comentários:

A mistura das duas porções de água resulta em 10 L , assim chamaremos as de f a fração do volume dessa mistura que vem do primeiro caldeirão. No segundo caldeirão temos um sistema fechado, logo a somas das trocas de energia deve nula:

$$\sum Q = 0$$

$$Q_{\text{agua},1} + Q_{\text{agua},2} = 0$$

$$m_1 c (32 - 20) + m_2 c (32 - 80) = 0$$

$$f(12) + (1 - f)(-48) = 0$$

$$f = \frac{48}{60} = \frac{4}{5}$$

Logo a quantidade de calor usada para aquecer a água no primeiro caldeirão é:

$$Q = m_1 c (20 - 10) = \rho_{\text{agua}} f V_{\text{total}} c (10)$$

$$Q = 10^3 \cdot \frac{4}{5} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10 = 80\text{ kcal}$$

Gabarito: D.



30. (ITA - 2007)

A água de um rio encontra-se a uma velocidade inicial V constante, quando despenca de uma altura de 80 m , convertendo toda a sua energia mecânica em calor. Este calor é integralmente absorvido pela água, resultando em um aumento de 1 K de sua temperatura. Considerando $1\text{ cal } 4\text{ J}$, aceleração da gravidade $g = 10\text{ m/s}^2$ e calor específico da água $c = 1,0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, calcula-se que a velocidade da água V é de:

- a) $10\sqrt{2}\text{ m/s}$.
- b) 20 m/s .
- c) 50 m/s .
- d) $10\sqrt{32}\text{ m/s}$.
- e) 80 m/s .

Comentários:

A energia mecânica é dissipada em forma de calor, o qual é usado para aquecer a mesma massa de água:

$$E_{\text{mecanica}} = Q$$
$$\frac{1}{2}mV^2 + mgh = mc\Delta\theta$$
$$V^2 = 2(c\Delta\theta - gh)$$

Substituindo os valores fornecidos pelo enunciado e lembrando de colocá-los nas unidades corretas:

$$V^2 = 2(4000 - 800) = 6400$$
$$V = 80\text{ m/s}$$

Gabarito: E

31. (ITA – 2008)

De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, o equilíbrio da atmosfera terrestre é obtido pelo balanço energético entre a energia de radiação do Sol absorvida pela Terra e a reemitida pela mesma. Considere que a energia fornecida por unidade de tempo pela radiação solar é dada por $P = A \cdot e \cdot \sigma \cdot T^4$, em que $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$; A é a área da superfície do corpo; T a temperatura absoluta, e o parâmetro e é a emissividade que representa a razão entre a taxa de radiação de uma superfície particular e a taxa de radiação de uma superfície de um corpo ideal, com a mesma área e mesma temperatura. Considere a temperatura média da Terra $\bar{T} = 287\text{ K}$ e, nesta situação, $e = 1$. Sabendo que a emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global reduz a emissividade, faça uma estimativa de quanto aumentará a temperatura média da Terra devido à emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global, se a emissividade diminuir 8%.

Considere $(1 - x)^{1/4} \cong 1 - \frac{x}{4}$.

Comentários:



Com a redução de emissividade temos uma redução da potência de emissão, no entanto a potência recebida pelo Sol continua a mesma, de modo que para que obtenhamos equilíbrio térmico a potência de emissão terrestre deve voltar ao seu valor original, com uma temperatura maior para compensar o decréscimo provindo da emissividade:

$$\begin{aligned}Pot_f &= Pot_0 \\ A(0,92e)\sigma(T_0 + \Delta T)^4 &= Ae\sigma T_0^4 \\ (1 - 0,08)^{\frac{1}{4}} &= \frac{T_0}{T_0 + \Delta T}\end{aligned}$$

Usando a aproximação fornecida no enunciado temos:

$$\begin{aligned}0,98(T_0 + \Delta T) &= T_0 \\ \Delta T &= \frac{2}{98}T_0 \approx 5,9 K\end{aligned}$$

Gabarito: $\Delta T \cong 6 K$.

32. (OBF – 2005)

Em um calorímetro, de capacidade térmica desprezível, são colocados 40 g de água a 40 °C, e 30 g de gelo a 0 °C. Sabendo que o calor latente de fusão da água vale 80 cal/g e o calor específico da água vale 1,0 cal/g °C, a temperatura final da mistura será:

- a) – 14,5 °C
- b) – 11,4 °C
- c) – 9,4 °C
- d) 0 °C
- e) 20 °C

Comentários:

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\begin{aligned}\Sigma Q &= 0 \\ Q_{agua} + Q_{gelo} &= 0\end{aligned}$$

O equilíbrio ocorrerá a 0 °C se houver gelo o suficiente para trazer a temperatura da água a essa temperatura ou a uma temperatura θ_{eq} maior que zero com todo o gelo sendo derretido. Testaremos pela primeira possibilidade:

$$c_{agua}m_{agua}\Delta\theta_{agua} + L_{gelo}\Delta m = 0$$

Onde Δm é a massa de gelo transformada em água.

$$\begin{aligned}1 \cdot 40 \cdot (0 - 40) + 80 \cdot \Delta m &= 0 \\ \Delta m &= 20 g\end{aligned}$$

Assim, como pode ser visto, há gelo o suficiente para trazer a água a 0 °C.



Gabarito: D.

33. (OBF – 2005)

Suponha que você despeje $0,2 \text{ kg}$ de café, a $90 \text{ }^\circ\text{C}$, no interior de uma jarra de $0,4 \text{ kg}$ de massa, a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Assumindo que nenhum calor é transferido para o meio externo e que o calor específico da jarra é $c_{jarra} = 0,20 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$ e do café $c_{café} = 1,0 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$, qual será a temperatura final do café?

Comentários:

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\begin{aligned}\Sigma Q &= 0 \\ Q_{café} + Q_{jarra} &= 0 \\ c_{café}m_{café}\Delta\theta_{café} + c_{jarra}m_{jarra}\Delta\theta_{jarra} &= 0 \\ 0,2(\theta_{eq} - 90) + 0,08(\theta_{eq} - 20) &= 0 \\ \theta_{eq} - 90 + 0,4\theta_{eq} - 8 &= 0 \\ \theta_{eq} &= 70 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Gabarito: 70 °C

34. (OBF – 2006)

Num recipiente adiabático de capacidade térmica desprezível em que existe uma massa m_a de $200g$ de água a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, é misturada uma massa m_g de $100g$ de gelo moído a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Considerando o calor latente de fusão do gelo igual a 80 cal/g ,

- determine, em $^\circ\text{C}$, a temperatura θ da mistura quando se atinge o equilíbrio térmico.
- calcule, em calorias, a quantidade de calor Q cedida pela água quente para se resfriar desde $100 \text{ }^\circ\text{C}$ até a temperatura de equilíbrio térmico.

Comentários:

- Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\begin{aligned}\Sigma Q &= 0 \\ Q_{agua} + Q_{gelo} &= 0\end{aligned}$$

O equilíbrio ocorrerá a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ se houver gelo o suficiente para trazer a temperatura da água a essa temperatura ou a uma temperatura θ_{eq} maior que zero com todo o gelo sendo derretido. Testaremos pela primeira possibilidade:

$$c_{agua}m_{agua}\Delta\theta_{agua} + L_{gelo}\Delta m = 0$$



Onde Δm é a massa de gelo transformada em água.

$$1 \cdot 200 \cdot (0 - 100) + 80 \cdot \Delta m = 0$$

$$\Delta m = 250 \text{ g}$$

Logo não há gelo o suficiente para que esse cenário se realize. Na segunda possibilidade, temos:

$$c_{\text{agua}} m_{\text{agua}} \Delta\theta_{\text{agua}} + (L_{\text{gelo}} m_{\text{gelo}} + c_{\text{agua}} m_{\text{gelo}} \Delta\theta_{\text{gelo}}) = 0$$

$$200(\theta_{\text{eq}} - 100) + 80 \cdot 100 + 100(\theta_{\text{eq}} - 0) = 0$$

$$3\theta_{\text{eq}} = 200 - 80$$

$$\theta_{\text{eq}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

b) Basta usarmos a expressão de calor trocado:

$$|Q| = c_{\text{agua}} m_{\text{agua}} |\Delta\theta_{\text{agua}}|$$
$$|Q| = 1 \cdot 200 \cdot 60 = 12000 \text{ cal}$$

Gabarito: a) 40 °C b) 12000 cal

35. (OBF – 2007)

Tem-se três líquidos A , B e C , com calores específicos $0,2 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, $0,1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $0,4 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, respectivamente, e que se encontram em temperaturas diferentes. Quando são misturadas massas iguais dos líquidos A e B , obtém-se uma temperatura de equilíbrio de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e, quando são misturadas massas iguais dos líquidos A e C , a temperatura de equilíbrio é de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que a temperatura inicial do líquido A é de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, determine a temperatura de equilíbrio da mistura de massas iguais dos líquidos B e C .

Comentários:

Fazendo o equilíbrio térmico de A e B :

$$\Sigma Q = 0$$

$$c_A m \Delta\theta_A + c_B m \Delta\theta_B = 0$$

$$0,2(40 - \theta_A) + 0,1(40 - \theta_B) = 0$$

O enunciado nos fornece $\theta_A = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, assim:

$$-20 + (40 - \theta_B) = 0$$

$$\theta_B = 20 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{eq. 1})$$

Fazendo o equilíbrio térmico de A e C :

$$\Sigma Q = 0$$

$$c_A m \Delta\theta_A + c_C m \Delta\theta_C = 0$$

$$0,2(20 - 50) + 0,4(20 - \theta_C) = 0$$



$$-15 + (20 - \theta_C) = 0$$

$$\theta_C = 5^\circ\text{C} \quad (\text{eq. 2})$$

Por fim, fazendo o equilíbrio térmico entre B e C, obtemos:

$$\sum Q = 0$$

$$c_B m \Delta\theta_B + c_C m \Delta\theta_C = 0$$

$$0,1(\theta_{eq} - \theta_B) + 0,4(\theta_{eq} - \theta_C) = 0$$

Substituindo (1) e (2) na equação acima, temos:

$$5\theta_{eq} = \theta_B + 4\theta_C = 40$$

$$\theta_{eq} = 8^\circ\text{C}$$

Gabarito: 8 °C.

36. (OBF – 2008)

Desejando determinar a temperatura de um forno, um estudante colocou em seu interior um cilindro de massa de 50 g e calor específico igual a 0,22 cal/g°C. Após certo intervalo de tempo o cilindro foi retirado do forno e imediatamente colocado no interior de uma garrafa térmica com 330 g de água. A temperatura da água variou de 19 °C para 20 °C. Considerando o calor específico da água 1,0 cal/g°C, calcule a temperatura que se encontrava o forno no momento que o cilindro foi retirado do seu interior. Despreze as perdas de calor para o ambiente e a capacidade térmica da garrafa.

Comentários:

Assumiremos que o cilindro ficou tempo o suficiente no forno para atingir o equilíbrio térmico, assim a sua temperatura inicial ao entrar em contato com a água é igual a temperatura do forno.

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\sum Q = 0$$

$$Q_{\text{agua}} + Q_{\text{cilindro}} = 0$$

$$c_{\text{agua}} m_{\text{agua}} \Delta\theta_{\text{agua}} + c_{\text{cilindro}} m_{\text{cilindro}} \Delta\theta_{\text{cilindro}} = 0$$

$$330(20 - 19) + 11(20 - \theta_0) = 0$$

$$30 + (20 - \theta_0) = 0$$

$$\theta_0 = 50^\circ\text{C}$$

Gabarito: 50 °C.



37. (OBF – 2011/modificada)

Um micro-ondas de $3.000W$ potência é utilizado para aquecer a xícara de chá com $100 g$ de água. Qual o tempo (em minutos) necessário para que a água ferva a $100\text{ }^\circ\text{C}$. (capacidade térmica da água $c_{\text{água}} = 4,2 J/g^\circ\text{C}$)

Comentários:

Como a questão não menciona nada usaremos uma temperatura ambiente de $25\text{ }^\circ\text{C}$. Lembre-se que potência é a taxa de transferência de energia no tempo, no caso em questão a transferência de energia se dá por meio de calor:

$$P_{ot} = \frac{Q}{\Delta t}$$
$$\Delta t = \frac{m_{\text{água}} c_{\text{água}} \Delta \theta_{\text{água}}}{P_{ot}}$$
$$\Delta t = \frac{100 \cdot 4,2 \cdot 75}{3000} = 10,5 s$$

Gabarito: 10,5 s.

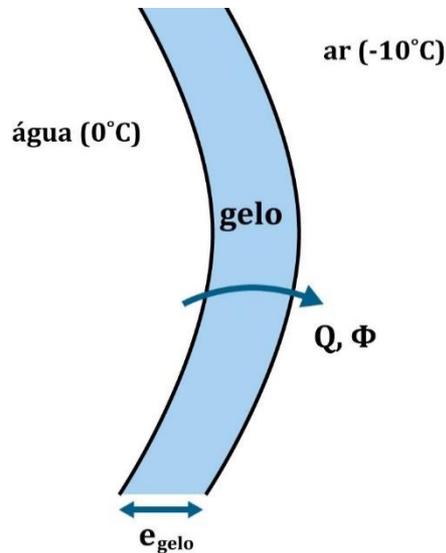
38. (OBF – 2011)

Em uma região de inverno rigoroso, um tanque com água é deixado aberto ao ar livre até que se forme sobre a superfície da água uma camada de gelo com espessura igual a 5 cm . O ar acima da água está a $-10\text{ }^\circ\text{C}$. Calcule a taxa de formação de gelo (em cm/h) sobre a superfície inferior da camada de gelo. Considere a condutividade térmica, a densidade e o calor de fusão do gelo como sendo $0,0040\text{ cal}/s \cdot \text{cm}^\circ\text{C}$, $0,92\text{ g}/\text{cm}^3$ e $80\text{ cal}/g$, respectivamente. Assuma que nenhuma quantidade de calor deixa ou passa para a água através das paredes do tanque.

Comentários:

Veja a representação da situação no esquema abaixo:





Podemos determinar o fluxo de calor entre a água e o ar a partir de suas temperaturas:

$$\phi = \frac{k_{gelo} A_{gelo} \Delta\theta}{e_{gelo}}$$

Lembre-se que o fluxo é a taxa de transferência de calor no tempo:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k_{gelo} A_{gelo} \Delta\theta}{e_{gelo}}$$

O calor cedido pela água a 0 °C a transforma em gelo:

$$\frac{L_{fusao} \Delta m_{gelo}}{\Delta t} = \frac{k_{gelo} A_{gelo} \Delta\theta}{e_{gelo}}$$

$$\frac{L_{fusao} \rho_{gelo} \Delta V_{gelo}}{\Delta t} = \frac{k_{gelo} A_{gelo} \Delta\theta}{e_{gelo}}$$

Considerando variações pequena, podemos escrever:

$$\Delta V_{gelo} = A_{gelo} \Delta e_{gelo} \quad (eq. 2)$$

Sem nos preocuparmos o formato da superfície de gelo.

Substituindo (2) em (1), obtemos:

$$\frac{\Delta e_{gelo}}{\Delta t} = \frac{k_{gelo} \Delta\theta}{L_{fusao} \rho_{gelo} e_{gelo}} = \frac{0,004 \cdot 10 \text{ cm}}{80 \cdot 0,92 \cdot 5 \text{ s}}$$

$$\frac{\Delta e_{gelo}}{\Delta t} \approx 0,39 \text{ cm/h}$$

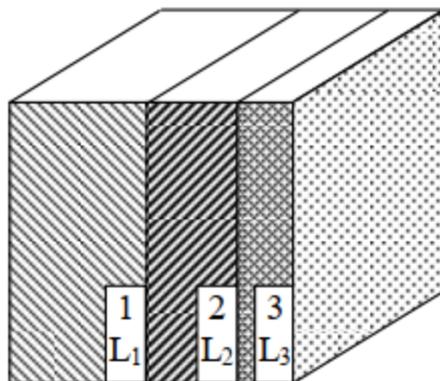
Gabarito: 0,39 cm/h.

39. (OBF – 2013)

A figura mostra uma parede feita de três camadas de espessuras $L_1, L_2 = 0,7L_1$ e $L_3 = 0,35L_1$. As condutividades térmicas são $k_1, k_2 = 1,4k_1$ e $k_3 = 0,7k_1$. As temperaturas das faces



esquerda e direita, da camada 1 e 3, são respectivamente 30°C e 10°C . Qual é a diferença de temperatura entre as faces esquerda e direita da camada 2?



Comentários:

Sejam T e T' as temperaturas das faces esquerda e direita da segunda camada, respectivamente. Aplicando a Lei de Fourier às três camadas, temos:

$$\phi_1 = \frac{k_1 A (T - 30)}{L_1} \quad (\text{eq. 1})$$

$$\phi_2 = \frac{k_2 A (T' - T)}{L_2} = 2 \frac{k_1 A (T' - T)}{L_1} \quad (\text{eq. 2})$$

$$\phi_3 = \frac{k_3 A (10 - T')}{L_3} = 2 \frac{k_1 A (10 - T')}{L_1} \quad (\text{eq. 3})$$

Na situação de equilíbrio não há acúmulo de energia em nenhuma face, assim o fluxo deve ser o mesmo em todas camadas:

$$\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \phi$$

Substituindo a equação acima em (1), (2) e (3), temos:

$$\frac{\phi L_1}{k_1 A} = T - 30 = 2(T' - T) = 2(10 - T')$$

$$2 \cdot (T - 30) + 2(10 - T') = 3 \cdot 2(T' - T)$$

$$40 = 8(T - T')$$

$$T - T' = 5^{\circ}\text{C}$$

Gabarito: 5°C

40. (OBF – 2013)

Um pedaço de gelo de $0,30\text{kg}$ a 0°C é colocado em um recipiente termicamente isolado contendo $2,0\text{kg}$ de água a 10°C . Determine a temperatura e a composição final do sistema.



Dados: calor específico da água = $1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$; calor específico do gelo = $0,50 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$; calor latente de fusão da água = 80 cal/g .

Comentários:

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\sum Q = 0$$

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

O equilíbrio ocorrerá a 0°C se houver gelo o suficiente para trazer a temperatura da água a essa temperatura ou a uma temperatura θ_{eq} maior que zero com todo o gelo sendo derretido. Testaremos pela primeira possibilidade:

$$c_{\text{agua}} m_{\text{agua}} \Delta\theta_{\text{agua}} + L_{\text{gelo}} \Delta m = 0$$

Onde Δm é a massa de gelo transformada em água.

$$1 \cdot 2000 \cdot (0 - 10) + 80 \cdot \Delta m = 0$$

$$\Delta m = 250 \text{ g}$$

Assim, como pode ser visto, há gelo o suficiente para trazer a água a 0°C . No fim teremos 50 g de gelo e $2,25 \text{ kg}$ de água a 0°C .

Gabarito: 0°C , $2,25 \text{ kg}$ de água e $0,05 \text{ kg}$ de gelo.

41. (OBF – 2015)

Um aluno, mistura 800 g de água a 20°C com uma certa massa de gelo a -20°C dentro de um recipiente com paredes adiabáticas. Diante do experimento verifica que o sistema alcançou o equilíbrio térmico a temperatura de 10°C . Qual a massa inicial de gelo?

Comentários:

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\sum Q = 0$$

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

$$c_{\text{agua}} m_{\text{agua}} (10 - 20) + (c_{\text{gelo}} m_{\text{gelo}} (0 - (-20)) + L_{\text{gelo}} m_{\text{gelo}} + c_{\text{agua}} m_{\text{gelo}} (10 - 0)) = 0$$

$$-1 \cdot 800 \cdot 10 + m_{\text{gelo}} (0,5 \cdot 20 + 80 + 10) = 0$$

$$m_{\text{gelo}} = 80 \text{ g}$$

Gabarito: 80 g .

42. (OBF – 2016)



Aquários de peixes tropicais devem ser mantidos à temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para tanto, são usados aquecedores com termostatos, que aquecem a água até que a temperatura desejada seja atingida. A limpeza periódica é feita substituindo-se parte da água do aquário por água nova, mas deve-se evitar variações bruscas de temperatura. Considere um aquário de 100 L dos quais 40 L são substituídos por água a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, equipado com um aquecedor de 100 W . Responda as perguntas desprezando outros corpos que não a massa de água e considerando que não há trocas de calor com o ambiente.

- a) Qual será a temperatura de equilíbrio da água depois da substituição e antes do termostato ser ligado?
b) Quanto tempo será necessário para que o aquário volte à temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$? Considere o calor específico da água igual $c = 4\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$.

Comentários:

- a) Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\begin{aligned}\sum Q &= 0 \\ Q_{\text{agua},30} + Q_{\text{agua},20} &= 0 \\ c_{\text{agua}}m_{\text{agua},20}(T - 30) + c_{\text{agua}}m_{\text{agua},20}(T - 20) &= 0 \\ \rho_{\text{agua}}V_{\text{agua},30}(T - 30) + \rho_{\text{agua}}V_{\text{agua},20}(T - 20) &= 0\end{aligned}$$

Onde T é a temperatura onde o equilíbrio é atingido.

$$\begin{aligned}60(T - 30) + 40(T - 20) &= 0 \\ 5T &= 130 \\ T &= 26\text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

- b) Por definição a potência é a energia recebida pelo tempo:

$$P_{ot} = \frac{Q_{\text{recebido}}}{\Delta t}$$

Queremos o tempo necessário para levar a água de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$:

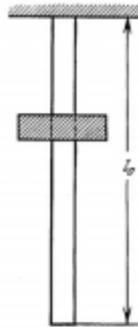
$$\begin{aligned}P_{ot} &= \frac{c_{\text{agua}}(\rho_{\text{agua}}V_{\text{agua}})(30 - 26)}{\Delta t_{\text{aquecimento}}} \\ \Delta t_{\text{aquecimento}} &= \frac{4 \cdot 10^3 \cdot (1 \cdot 100) \cdot 4}{100} = 1,6 \cdot 10^4\text{ s}\end{aligned}$$

Gabarito: a) $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ b) 16000 s

43. (Saraeva)

Ao longo de um cordão de peso desprezível e de comprimento l_0 desliza uma arruela. A força de atrito, que atua entre o cordão e a arruela, é constante e igual a f . O coeficiente de elasticidade do cordão é conhecido e igual a k . Encontrar a quantidade de calor despreendida Q .





Comentários:

Como a força é constante durante todo o trajeto basta encontramos a distância percorrida e o trabalho do atrito será igual ao calor produzido. No fim do trajeto o elástico haverá distendido:

$$\Delta l = \frac{f}{k}$$

Assim, o trabalho do atrito é dado por:

$$\begin{aligned}\tau_{\text{atrito}} &= fl = Q_{\text{trocado}} \\ Q_{\text{trocado}} &= f(l_0 + \Delta l) = \frac{f}{k}(kl_0 + f)\end{aligned}$$

Gabarito: $\frac{f}{k}(kl_0 + f)$

44. (Saraeva)

Uma lâmpada de aquecimento que gasta $N = 54 \text{ watts}$, foi submersa em um calorímetro transparente que contém $V = 650 \text{ cm}^3$ de água. Em $\tau = 3 \text{ min}$ a água se aquece em $t = 3,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Que parte da energia Q , gasta pela lâmpada, é emitida ao exterior em forma de energia radiante pelo calorímetro?

Comentários:

Calculando a energia necessária para gerar a variação de temperatura acima:

$$Q_{\text{radiado}} = m_{\text{agua}}c_{\text{agua}}\Delta\theta = \rho Vc_{\text{agua}}\Delta\theta$$

A fração emitida é, portanto:

$$f = \frac{Q_{\text{radiado}}}{Q_{\text{total}}} = \frac{\rho Vc_{\text{agua}}\Delta\theta}{Pot\Delta t} = \frac{1 \cdot 650 \cdot 1 \cdot 3,4 \cdot 4,18}{54 \cdot 3 \cdot 60} \approx 0,95$$

Gabarito: 0,95

45. (Zubov)

300g de gelo a uma temperatura de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ é imerso em um calorímetro contendo 200g de água a uma temperatura de $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Qual vai ser a temperatura do calorímetro e seu conteúdo após o equilíbrio térmico ser alcançado?



Comentários:

Como o sistema é fechado o somatório das trocas de energia (em forma de calor) deve ser nulo:

$$\begin{aligned}\Sigma Q &= 0 \\ Q_{\text{agua}} + Q_{\text{gelo}} &= 0\end{aligned}$$

O equilíbrio pode ocorrer a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ com parte da se tornando gelo ou parte do gelo se tornando água, ou a uma temperatura menor que $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ com apenas gelo (já podemos descartar acima de zero pela proporção de massas e temperaturas, mesmo levando em consideração que o calor específico do gelo é metade do da água). Testaremos pela primeira possibilidade:

$$(c_{\text{agua}}m_{\text{agua}}(0 - 8) - L_{\text{fusao}}\Delta m) + (m_{\text{gelo}}c_{\text{gelo}}(0 - (-20))) = 0$$

Onde Δm é a massa de água transformada em gelo.

$$\begin{aligned}(1 \cdot 200 \cdot (0 - 8) - 80 \cdot \Delta m) + (150 \cdot 20) &= 0 \\ \Delta m &= \frac{70 \cdot 20}{80} = 17,5 \text{ g}\end{aligned}$$

Assim, temos água o suficiente para essa possibilidade ocorrer.

Gabarito: $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 317,5 g de gelo e 182,5 g de água.

46. (Zubov)

Um pedaço de ferro de massa $m = 325 \text{ g}$ é colocado em um calorímetro cheio de gelo. Determine a quantidade de gelo que vai derreter até o equilíbrio térmico ser atingido se o volume do pedaço de ferro for $V = 48 \text{ cm}^3$. A densidade do ferro a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ é $d_0 = 6,8 \text{ g/cm}^3$, seu calor específico $c = 0,12 \frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}}$ e o coeficiente de expansão volumétrica $\beta = 0,33 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Comentários:

Considerando o sistema é fechado, só há trocas de calor internas, logo o somatório das trocas deve ser nulo:

$$\begin{aligned}\Sigma Q &= 0 \\ Q_{\text{ferro}} + Q_{\text{gelo}} &= 0 \\ m_{\text{ferro}}c_{\text{ferro}}(-\theta_0) + L_{\text{fusao}}\Delta m &= 0 \quad (\text{eq.1})\end{aligned}$$

Podemos determinar o volume final do pedaço de ferro:

$$V(0\text{ }^{\circ}\text{C}) = \frac{m}{d_0} \approx 47,794 \text{ cm}^3$$

Usando o resultado acima na expressão de dilatação volumétrica, obtemos:

$$\begin{aligned}\Delta V &= 47,794 - 48 = 48\beta(-\theta_0) \\ \theta_0 &\approx 130\text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$



Substituindo o valor encontrado acima em (1), temos:

$$\Delta m = \frac{325 \cdot 0,12 \cdot 130}{80} \approx 63,4 \text{ g}$$

Gabarito: 63,4 g

47. (Zubov)

Um recipiente do qual ar está sendo bombeado rapidamente contém uma pequena quantidade de água a 0°C . A evaporação intensa causa uma solidificação gradual da água. Qual fração da quantidade original da água pode ser convertida em gelo através desse método?

Comentários:

Como não foi fornecido nenhum dado, usaremos o calor latente de vaporização da água como sendo aquele a 100°C : $540 \frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot^\circ\text{C}}$

Como o sistema é fechado, o calor responsável por evaporar parte da água é cedido pela outra parte, a qual sofre solidificação como consequência:

$$\begin{aligned}\Sigma Q &= 0 \\ Q_{\text{agua}\rightarrow\text{gelo}} + Q_{\text{agua}\rightarrow\text{vapor}} &= 0 \\ -fmL_{\text{fusao}} + (1-f)mL_{\text{vapor}} &= 0\end{aligned}$$

Onde f representa a fração da massa da água que foi transformada em gelo:

$$f = \frac{L_{\text{vapor}}}{L_{\text{vapor}} + L_{\text{fusao}}} = \frac{540}{620} \approx 0,87$$

Gabarito: 0,87



7. Considerações finais da aula

Chegamos ao final da nossa aula. Revise os conceitos trabalhados aqui, pois eles serão importantes para o estudo de termodinâmica. Essa aula teve como objetivo apresentar muitos conceitos. Não deixe nenhuma dúvida passar batida.

Na próxima aula, faremos o estudo da transferência de calor. Assunto comum nos nossos vestibulares, com margem para cair questões com abordagem diferentes, mas calma, tudo estará bem explicadinho na nossa próxima aula. Por isso, não perca as cenas dos próximos capítulos.

A partir de agora, iniciaremos nossa seção de exercícios com questões de olimpíadas de física e questão mais simples do ITA. Elas são importantes para a construção da sua base de conhecimentos.

Conte comigo nessa jornada. Quaisquer dúvidas, críticas ou sugestões entre em contato pelo fórum de dúvidas do Estratégia ou se preferir:



 @porftoniburgatto



8. Referências bibliográficas

- [1] Calçada, Caio Sérgio. Física Clássica volume 3. 2. Ed. Saraiva Didáticos, 2012. 357p.
- [2] Bukhovtsev, B.B. Krivtchenkov, V.D. Miakishev, G.Ya. Saraeva, I. M. Problemas Seleccionados de Física Elementar. 1 ed. MIR, 1977.518p.
- [3] Newton, Gualter, Helou. Tópicos de Física volume 2. 16ª ed. Saraiva, 1993. 512p.
- [4] Toledo, Nicolau, Ramalho. Os Fundamentos da Física volume 2. 9ª ed. Moderna. 532p.
- [5] Resnick, Halliday, Jearl Walker. Fundamentos de Física volume 2. 10ª ed. LTC. 297p.
- [6] Paul A. Tipler, Gene Mosca. Física para Cientistas e Engenheiros volume 2. 5ª ed. LTC, 2006. 499 f.
- [7] V. Zubov, V. Shalnov. Problem in Physics. 2ª ed MIR, 1985. 301p.



9. Versão de aula

Versão de Aula	Data da última atualização
1.0	24/05/2019

