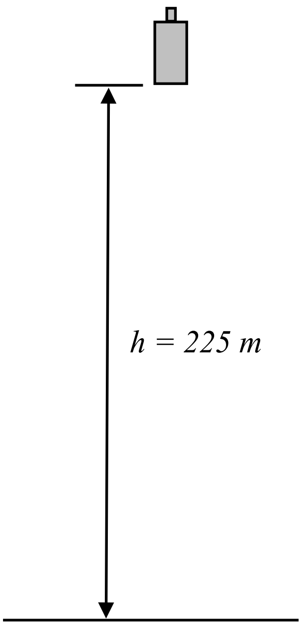
Décima Lista de Exercícios Programados de ICF2 (EP10 – ICF2)

QUESTÕES

QUESTÃO I – Quando estava pintando o topo de uma antena a uma altura de 225 m, um trabalhador deixou cair acidentalmente de sua mochila uma garrafa com 1,00 litro de água. A garrafa foi amortecida por arbustos e atingiu o solo sem se quebrar. Supondo que a água absorva uma quantidade de calor igual ao módulo da variação da energia potencial da garrafa de água, qual é o aumento da temperatura da água?

A densidade da água é $\rho = 1$ g cm^{-3} e o calor específico é $c_{água} = 1{,}00$ cal g^{-1} ^{o}C^{-1}.



$\rho \equiv \dfrac{m}{V}$ → definição de densidade volumétrica de massa

$V = 1{,}00$ litro $= 10^{-3}$ m^{3}
$\rho = 1$ g cm^{-3} $= 1 \times 10^{-3}$ kg x 10^{6} m^{-3} = 10^{3} kg m^{-3}

Então, a massa m de um litro de água é $m = \rho V = 1$ kg = 1000 g.

Em relação ao solo, a variação ΔU_G da energia potencial gravitacional da garrafa é $\Delta U_G = mgh$, onde g = 9,8 m s^{-2}. Portanto,

$\Delta U_G = 1 \times 9{,}8 \times 225 \Rightarrow \Delta U_G = 2205$ J.

Como 1 caloria = 4,186 joule,

$\Delta U_G = 527$ calorias.

Toda essa energia foi absorvida pela água. Logo, a variação de temperatura ΔT da água pode ser determinada a partir da equação $\Delta Q = m\, c_{água}\, \Delta T$, pois $\Delta Q = \Delta U_G$.

Então,

$\Delta T = \Delta U_G / m\, c_{água} = 527 / (1000 \times 1{,}00) \Rightarrow \Delta T = 0{,}53^{o}$C.

Observe que na determinação do ΔT (aumento da temperatura da água), a massa ficou em gramas porque o calor específico da água está em g^{-1}.

QUESTÃO II – Qual é o calor total necessário para converter 12,0 g de gelo a -10,0^{o}C até se transformar em vapor de água a 100^{o}C? Dê a resposta em joules e em calorias. A calor específico do gelo é $c_{gelo} = 0{,}55$ cal g^{-1} ^{o}C^{-1} e o da água é $c_{água} = 1{,}00$ cal g^{-1} ^{o}C^{-1}. O calor latente de liquefação da água é 80 cal/g e o de vaporização é 540 cal/g.

Para transformar 12,0 gramas de gelo a -10,0°C em vapor d' água a 100°C, vamos passar por várias etapas e em cada uma delas será necessário fornecer energia térmica (calor) ao sistema (inicialmente, a pedra de gelo).

Primeira etapa: levar as 12,0 gramas de gelo até a temperatura de 0,00°C, mas ainda sendo gelo. Nessa etapa, a quantidade de calor ΔQ_1 a ser fornecida por alguma fonte térmica é:

$\Delta Q_1 = mc_{gelo}\Delta T = 12 \times 0,55 \times 10 = 66$ cal

Segunda etapa: transformar as 12 gramas de gelo a 0°C em água a 0°C, ou seja, é uma transição de fase. A quantidade de calor ΔQ_2 necessária para completar essa transição de fase é mL, onde L é o calor latente de liquefação da água. Então,

$\Delta Q_2 = mL = 12 \times 80 = 960$ cal.

Terceira etapa: levar as 12 gramas de água a 0°C até a temperatura de 100°C, mas ainda mantendo a água em estado líquido. A quantidade ΔQ_3 de calor a fornecer nesse processo de aquecimento é:

$\Delta Q_3 = mc_{água}\Delta T = 12 \times 1 \times 100 = 1200$ cal

Quarta etapa: Aqui temos mais uma transição de fase, pois queremos transformar 12 gramas de água a 100°C em vapor d'água a 100°C. A quantidade de calor ΔQ_4 necessária para tal transformação é mL, com L sendo, agora, o calor latente de vaporização. Logo,

$\Delta Q_4 = mL = 12 \times 540 = 6480$ cal

Ou seja, serão necessárias 66 + 960 + 1200 + 6480 = 8706 cal para transformarmos 12 gramas d'água a -10°C em 12 gramas de vapor d'água a 100°C.

Para dar as respostas em joules, basta usar a relação dada pelo equivalente mecânico do calor:

1 cal = 4,186 joules.

QUESTÃO III – Suponha que o cilindro ilustrado na Figura 3 abaixo seja feito de cobre, tenha comprimento de 45,0 cm e possua uma área com seção reta igual a 1,25 cm^2. As extremidades do cilindro estão em contato com fontes térmicas extensas cujas temperaturas são: T_A = 100,0°C e T_B = 0,0°C. A condutividade térmica do cobre é 96 cal s^{-1} m^{-1} K^{-1} e o sistema ilustrado na Figura 3 está funcionando em regime estacionário!

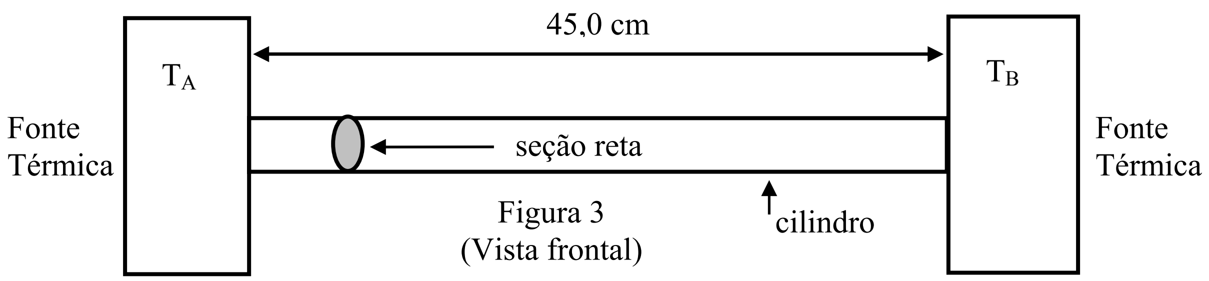


Figura 3
(Vista frontal)

a) Qual é o gradiente de temperatura ao longo da barra quando esta se encontra conduzindo calor em regime estacionário?

Numa transmissão de calor por condução como é o caso aqui, a quantidade de calor que flui por unidade de tempo $\Delta Q/\Delta t$ (taxa de transmissão de calor ou fluxo de calor) é uma função da diferença de temperatura ΔT, da área A da seção reta da barra e do comprimento L da barra. Quando a condução de calor acontece em regime estacionário (fontes extensas mantidas a temperatura constantes), o fluxo de calor cedido pela fonte quente é igual ao fluxo de calor recebido pela fonte fria. Aliás, nesse regime, esse fluxo é o mesmo em qualquer ponto da barra!

Experimentalmente:

$\Delta Q/\Delta t = kA(T_A - T_B)/L$,

onde k é a condutividade térmica da substância que compõe a barra. A razão $\Delta T/L \equiv (T_A - T_B)/L$, que indica a diferença de temperatura por unidade de comprimento, é chamada de gradiente de temperatura.

Então,

$\Delta T/L = (373 - 273) / 0{,}45 \Rightarrow \Delta T/L = 222\ K\ m^{-1}$

Observe que a temperatura está em Kelvin!

b) Qual é a taxa de transferência de calor (fluxo de calor ou quantidade de calor que flui por unidade de tempo) na barra?

$\Delta Q/\Delta t = kA\Delta T/L \Rightarrow \Delta Q/\Delta t = 96 \times 1{,}25 \times 10^{-4} \times 222 \therefore \Delta Q/\Delta t = 2{,}7\ cal\ s^{-1}$

c) Qual é a temperatura em um ponto situado a 12,0 cm a partir da extremidade esquerda da barra?

Como a condução do calor está se dando em regime estacionário, $\Delta Q/\Delta t$ é constante. Ou seja, tem o mesmo valor em qualquer ponto da barra entre as duas fontes extensas. Então, para L = 12 cm = 0, 12 m, temos:

$\Delta Q/\Delta t = kA\Delta T/L \Rightarrow \Delta T/L = (1/kA)(\Delta Q/\Delta t) \therefore \Delta T = (L/kA)(\Delta Q/\Delta t)$

Seja X o ponto da barra de cobre onde queremos fazer a leitura de temperatura. Este ponto está a 0,12 m da extremidade da barra que se encontra a temperatura de 100^oC. Então, $\Delta T = T_A - T_X$. Logo,

$T_X = T_A - (L/kA)(\Delta Q/\Delta t)$

$T_X = 100 - 0{,}12 / (96 \times 1{,}25 \times 10^{-4}) \times 2{,}7$

$T_X = 100 - 27 \therefore T_X = 73^oC$.

QUESTÃO IV:

Sabendo que a área total do corpo humano é igual a 1,20 m^2 e que a temperatura da superfície é 30°C, calcule a taxa de transferência de calor (fluxo de calor) irradiada pelo corpo. A emissividade do corpo é próximo da unidade, independentemente da cor da pele, e a constante σ de Stefan-Boltzmann vale 5,67 x 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}.

a)

O fluxo de calor irradiado por uma superfície é determinado pela Lei de Stefan-Botzmann:

$\Delta Q / \Delta t = Ae\sigma T^4$,

onde *A* é área do corpo, *e* é a emissividade da superfície, σ é a constante de Stefan-Boltzmann e T é a temperatura absoluta.

De acordo com os dados do problema, a taxa de transferência de calor irradiada pelo corpo é:

$\Delta Q / \Delta t = 1{,}20 \times 1 \times 5{,}67 \times 10^{-8} \times 303^4 \Rightarrow \Delta Q / \Delta t = 574\ W$

b) Se o meio ambiente está a uma temperatura de 20°C, qual é a taxa *resultante* de transferência de calor perdido pelo corpo por radiação?

Enquanto o corpo a temperatura T irradia calor, o meio ambiente externo que está à temperatura T_a também irradia calor. Então, a taxa *resultante* de transferência de calor perdido pelo corpo por radiação é:

$\Delta Q / \Delta t = Ae\sigma(T^4 - T_e^4) = 1{,}20 \times 1 \times 5{,}67 \times 10^{-8} \times (303^4 - 293^4)$

$\Delta Q / \Delta t = 72W$