Lista de Exercícios de Fenômeno de Transporte II

Exemplo 2.1) Considere a transferência de calor em estado estacionário entre duas superfícies grandes mantidas a temperatura constantes de 300 e 200 K e que estão separadas por uma distância de 1 cm. Assumindo que as superfícies são negras e que os **efeitos de convecção natural são desprezíveis**, determine a taxa de transferência de calor entre as duas placas, por unidade de área, assumindo que o espaço entre as placa é: a) preenchido com ar atmosférico; b) evacuado; c) preenchido com uretana (isolante térmico); d) preenchido com um material superisolante cuja condutividade térmica é 0,00002 W/m.K.

Exemplo 2.2) Uma barra **condutora muito longa**, de diâmetro *D*, tem uma resistência elétrica por unidade de comprimento da barra R'_e e está inicialmente em equilíbrio com a temperatura ambiente. Quando uma corrente elétrica *I* passa a percorrer a barra, inicia-se um processo de troca térmica convectiva entre a barra e o meio que a circunda, que está a T_∞, e ainda um processo de troca radiativa com as vizinhanças. Encontre a equação que fornece a variação de temperatura na barra com o tempo.

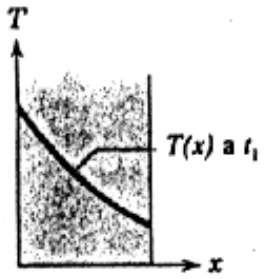
Exemplo 2.3) Uma superfície, cuja temperatura é mantida a 400 °C, está separada de uma corrente de ar por uma camada de isolamento térmico de 25 mm de espessura e condutividade térmica 0,1 W/m.K. Se a temperatura do ar for 35 °C e se o coeficiente convectivo for 500 W/m^2.K, determine a temperatura da superfície externa considerando:

a) desprezível as trocas por radiação térmica;

b) que a troca convectiva ocorre simultaneamente a uma transferência radiativa com as vizinhanças que está a 35° C (assuma a emissividade da superfície igual a 0,8).

Compare criticamente os resultados. (*Resp.*: T_s= 37,89 ºC ; T_s= 37,86 ºC)

Exemplo 2.4) (Questão de Prova) - A figura abaixo mostra a variação de temperatura com a posição no interior de uma parede num certo instante de tempo *t* durante um processo transiente. Verifique

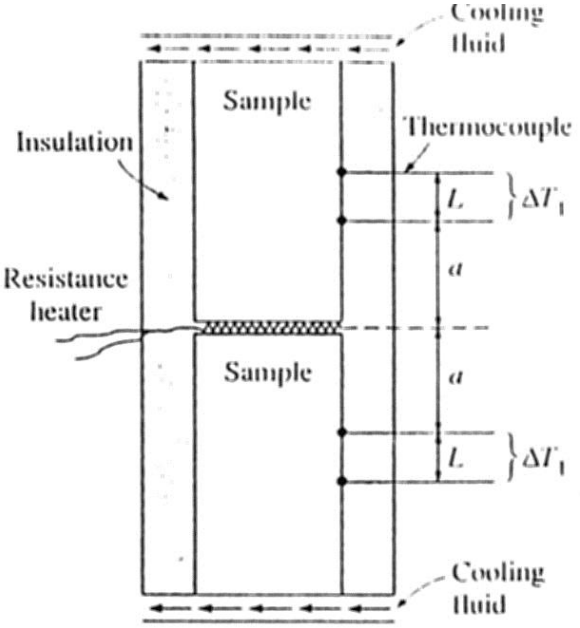


se a parede está sendo resfriada ou aquecida.

Exemplo 2.5) O coeficiente de transferência de calor por convecção natural sobre uma chapa **fina** vertical aquecida, suspensa no ar em repouso, pode ser determinado através de observações da mudança na temperatura da chapa em função do tempo, enquanto ela se resfria. Supondo que a chapa seja **isotérmica** e que a troca por radiação com a vizinhança seja desprezível, determine o coeficiente de transferência de calor convectivo da chapa para o ar no instante em que a temperatura da chapa é de 225 ºC e a sua taxa de variação com o tempo *(dT/dt)* é de – 0,022 K/s. A temperatura do ar ambiente é 25 ºC, a chapa mede 0,3 x 0,3 m, possui uma massa de 3,75 kg e o material da chapa tem calor específico de 2.770 J/kg.K.

Exemplo 2.6) Uma maneira comum para se medir condutividade térmica de um material consiste de um experimento onde é feito um *sandwich* do material a ser investigado colocando como *recheio* um aquecedor elétrico, conforme está mostrado na figura. Em um determinado experimento, amostras cilíndricas de 5 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento são usadas, sendo que, em cada

amostra, dois termopares, separados por uma distância de 3 cm, são usados para medir a temperatura. Passado o transiente inicial, as diferenças de temperatura entre os dois termopares é 15 °C. Se o aquecedor elétrico é 110 V e por ele passa uma corrente de 0,4 A, determine a condutividade térmica da amostra. (*Resp.*: k = 22,4 W/m.K)



Exemplo 2.7) Em um dado instante de tempo, a distribuição de temperatura em um parede com 0,3 m de espessura é $T(x) = a + bx + cx^2$ onde T é dado em graus °C, a = 200 °C, b = -200 °C/m e c = 30 °C/m^2. A parede possui uma condutividade térmica de 1 W/m.K.

a) Com base em uma superfície de área unitária, determine a taxa de transferência de calor para dentro e para fora da parede, bem como a taxa de variação da energia acumulada no interior da parede.

b) Se a superfície fria está exposta a um fluido a 100 °C, qual é o valor do coeficiente de transferência de calor por convecção entre esta superfície e o fluido?

Exemplo 2.8) Uma placa de metal com espessura muito menor do que os lados é mantida a uma temperatura T_i . Em um determinado momento, a parte inferior da placa é posta em contato com um fluido que está a uma temperatura T_∞ enquanto que a superior mantém-se à temperatura inicial. Neste momento, a placa passa a ser percorrida por uma corrente elétrica gerando uma energia $\dot{S}$ (W/m^3). Escreva a equação diferencial governante que deve ser resolvida e as condições de contorno e inicial para se conhecer a temperatura da placa em um dado ponto em um dado instante de tempo.

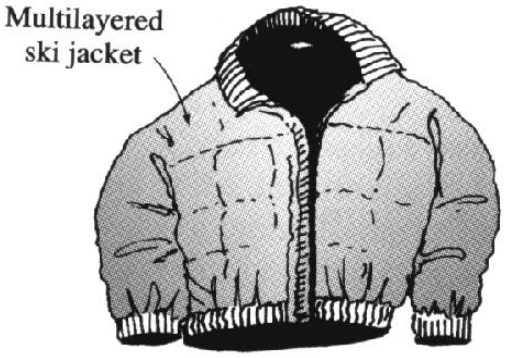
Exemplo 2.9) Um cilindro **longo** de cobre com temperatura uniforme de 800 K é retirado de um forno e é colocado em um tanque que contém água a 300 K e que está **muito bem agitado** a fim de se efetuar um processo de têmpera do metal. Deseja-se saber qual é a distribuição de temperatura no interior do cilindro em função do tempo a partir do momento que o mesmo é jogado no tanque. Escreva a equação diferencial governante do processo e as condições de contorno e inicial pertinentes. Mostre como seria possível determinar o fluxo de calor na superfície do cilindro para um determinado tempo. O que acontecerá com a peça se o tempo de espera no tanque for muito grande ?

Exemplo 3.1) Considere uma janela de vidro duplo com 0,8 m de altura e 1,5 m de largura constituída por duas camadas de vidro (k = 0,78 W/m.K) de 4 mm de espessura separadas por uma camada de ar estagnada (k = 0,026 W/m.K) de 10 mm. Determine a taxa de calor perdida através desta janela, em estado estacionário, quando as temperaturas interna e externa são iguais a,

respectivamente, 20 e –10 ºC. O coeficiente de troca de calor convectivo interno é igual a 10 W/m^2.K e o externo é igual a 40 W/m^2.K. Determine a seguir o calor perdido por uma janela simples, com as mesmas dimensões anteriores, com apenas uma camada de vidro de espessura 4 mm. Compare criticamente os resultados. (*Resp*.: q = 69,2 W)

Exemplo 3.2) (Questão de Prova) - Roupas feitas com diversas camadas de tecido separadas por camadas de ar, denominadas de roupas de esquiadores, são freqüentemente usadas em regiões de clima muito frio porque são leves, bonitas e muito eficientes do ponto de vista de isolamento térmico. Considere uma jaqueta composta por 5 camadas de 0,1 mm de espessura de um tecido sintético (k = 0,13 W/m.°C) separadas por camadas de ar (k = 0,026 W/m.°C) de 1,5 mm de espessura. Assumindo uma temperatura interna da jaqueta igual a 28 °C e uma área de troca térmica de 1,1 m^2, determine:

a) a taxa de calor perdida através da jaqueta quando externamente tem-se uma corrente de ar com temperatura de –5 °C e um coeficiente convectivo de 25 W/m^2.K);
b) a perda térmica se a jaqueta fosse feita com apenas uma camada de 5 mm de espessura do mesmo tecido;
c) a espessura necessária de um tecido de lã natural (k = 0,035 W/m.°C) para que a pessoa tivesse o mesmo nível de conforto térmico do que aquele correspondente à jaqueta de esquiador.



(Resp.: q =132,18 W*; q* = 462,64 W*; L* = 0,821 cm*)*

Exemplo 3.3) O vidro traseiro de um automóvel é desembaçado pela fixação de um aquecedor em película, fino e transparente, sobre a sua superfície interna. O seu funcionamento fornece um fluxo térmico uniforme na superfície interna do vidro. Para um vidro com 4 mm de espessura, determine a potência elétrica, por unidade de área, necessária para manter a temperatura na superfície interna em 15 ºC, quando a temperatura do ar no interior do carro e o respectivo coeficiente de convecção são de $T_{\infty,i}$ = 25 ºC e h_i = 10 W/m^2.K e a temperatura e o coeficiente de convecção no lado externo (ambiente) são de $T_{\infty,e}$ = -10 ºC e h_e = 65 W/m^2.K . (*Resp*.: $q_{aquec.}$ = 1118,7 W/)

Exemplo 3.4) Um *chip* delgado de silício e um substrato de alumínio, com 8 mm de espessura, estão separados por uma junta de epoxi com 0,02 mm de espessura que fornece uma determinada resistência térmica de contato. As superfícies expostas do *chip* e do substrato são resfriadas por ar a 25 °C com um coeficiente convectivo de 100 W/m^2.K. Se o *chip* dissipa 10^4 W/m^2 em condições normais, pergunta-se se a sua operação se dará abaixo da temperatura máxima admissível de 85 °C.

Exemplo 3.5) Uma parede plana é composta de dois materiais, A e B. A parede de material A tem uma geração uniforme de calor $\dot{S}$ = 1,5x10^6 W/m^3, k_A = 75 W/m.K e espessura L_A = 50 mm. A parede de material B não tem geração de calor, k_B = 150 W/m.K e a espessura é L_B = 20 mm. A superfície interna do material A está bem isolada, enquanto que a superfície externa do material B está resfriada por uma corrente de água com T_∞ = 30°C e h = 1.000 W/m^2.K.

(a) Faça o gráfico da distribuição de temperatura na parede composta para a situação de regime permanente.

(b) Determine as temperatura T_0 da superfície isolada, T_1 na interface entre os dois materiais e T_2 na superfície resfriada.

Exemplo 3.6) **(Prova 2006/1) -** Uma parede plana de espessura *2L* tem fontes internas de energia cuja intensidade varia de acordo com a seguinte equação: $S = \dot{S}_o \cos(ax)$, onde $\dot{S}_o$ é dado em W/m^3 , *a* é uma constante e *x* é variável espacial, medida a partir da linha central da placa. Se ambos os lados da parede trocam calor por convecção com um fluido a T_∞ através de um coeficiente de troca de calor *h*, para a situação de estado estacionário, encontre:

a) a expressão para o perfil de temperatura na parede;
b) a expressão para a taxa de calor trocado na posição junto à superfície da esquerda;
c) a expressão para a taxa de calor trocado no centro da placa

OPERAÇÕES VETORIAIS NOS SISTEMAS DE COORDENADAS CARTESIANO, CILÍNDRICO E ESFÉRICO

a.) Gradiente

Cartesiano: $(\nabla\Phi)_x = \frac{\partial\Phi}{\partial x}$; $(\nabla\Phi)_y = \frac{\partial\Phi}{\partial y}$; $(\nabla\Phi)_z = \frac{\partial\Phi}{\partial z}$

Cilíndrico: $(\nabla\Phi)_r = \frac{\partial\Phi}{\partial r}$; $(\nabla\Phi)_\theta = \frac{1}{r}\frac{\partial\Phi}{\partial\theta}$; $(\nabla\Phi)_z = \frac{\partial\Phi}{\partial z}$

Esférico: $(\nabla\Phi)_r = \frac{\partial\Phi}{\partial r}$; $(\nabla\Phi)_\theta = \frac{1}{r}\frac{\partial\Phi}{\partial\theta}$; $(\nabla\Phi)_\phi = \frac{1}{r\,\mathrm{sen}\,\theta}\frac{\partial\Phi}{\partial\phi}$

b.) Divergente

Cartesiano: $\nabla.A = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$

Cilíndrico: $\nabla.A = \frac{1}{r}\frac{\partial(rA_r)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial A_\theta}{\partial\theta} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$

Esférico: $\nabla.A = \frac{1}{r^2}\frac{\partial(r^2A_r)}{\partial r} + \frac{1}{r\,\mathrm{sen}\,\theta}\frac{\partial(\mathrm{sen}\,\theta A_\theta)}{\partial\theta} + \frac{1}{r\,\mathrm{sen}\,\theta}\frac{\partial A_\phi}{\partial\phi}$

c.) Laplaciano

Cartesiano: $\nabla^2\Phi = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}$

Cilíndrico: $\nabla^2\Phi = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\Phi}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\Phi}{\partial\theta^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}$

Esférico: $\nabla^2\Phi = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\Phi}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\,\mathrm{sen}\,\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\mathrm{sen}\,\theta\frac{\partial\Phi}{\partial\theta}\right) + \frac{1}{r^2\,\mathrm{sen}^2\,\theta}\frac{\partial^2\Phi}{\partial\phi^2}$