

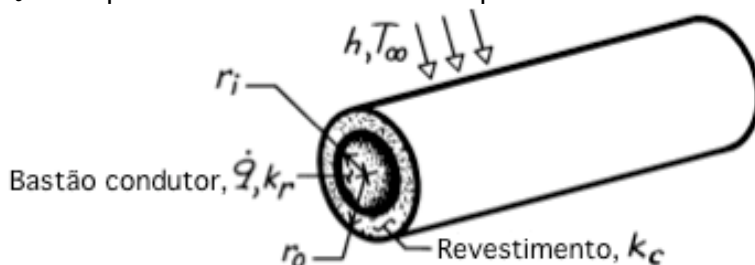
Exercícios e exemplos de sala de aula – Parte 3

Introdução à transferência de calor

- 1- Uma placa de alumínio, com 4 mm de espessura, encontra-se na posição horizontal e a sua superfície inferior está isolada termicamente. Um fino revestimento especial é aplicado sobre sua superfície superior de tal forma que a mesma pode ser considerada uma superfície cinza com emissividade 0,50. A massa específica ρ e o calor específico c do alumínio são iguais a 2700 kg/m^3 e $900 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, respectivamente.
 - a) Considere condições nas quais a placa está à temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e a sua superfície superior é subitamente exposta a uma corrente de ar com $T_\infty = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ estando numa câmara cujas paredes estão a $150 \text{ }^\circ\text{C}$. O coeficiente de transferência de calor por convecção entre a superfície e o ar é de $h = 20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Qual é a taxa inicial da variação de temperatura da placa?
 - b) Qual será a temperatura de equilíbrio da placa quando as condições de regime estacionário forem atingidas?

Transferência de calor por condução

- 1- As temperaturas das superfícies interna e externa de uma janela de vidro, com espessura de 5 mm, são de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e $5 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente. Qual é a perda de calor através de uma janela com dimensões de 1 m de largura por 3 m de altura? Assuma que a distribuição de temperaturas ao longo da espessura da janela é linear e que a condutividade térmica do vidro é constante e igual a $1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.
- 2- Observa-se que a distribuição de temperatura, em estado estacionário, no interior de uma parede unidimensional com condutividade térmica de $50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ e espessura de 50 mm tem a forma $T(^\circ\text{C}) = a + bx^2$, onde $a = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ e $b = -2000 \text{ }^\circ\text{C/m}^2$ e x está em metros.
 - a) Qual a taxa de geração de calor na parede?
 - b) Determine os fluxos de calor nas duas faces da parede. De que forma esses fluxos de calor estão relacionados com a taxa de geração de calor?
- 3- A passagem de uma corrente elétrica através de um longo bastão condutor de raio r_i e condutividade térmica k_r resulta em um aquecimento volumétrico uniforme a uma taxa \dot{q} . O bastão condutor é coberto por um revestimento de material não-condutor elétrico, com raio externo r_o e condutividade térmica k_c . A superfície externa é resfriada pelo contato com um fluido em escoamento. Para condições de estado estacionário, escreva as formas apropriadas da equação do calor para o bastão e para o revestimento. Enuncie as condições de contorno apropriadas para a solução dessas equações.



- 4- As paredes externas de um edifício são compostas por três camadas: uma placa de gesso ($k_g = 0,17 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) com 10 mm de espessura, espuma de uretano ($k_u = 0,026 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) com 50 mm de espessura, e uma madeira macia ($k_m = 0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) com 10 mm de espessura. Em um dia típico de inverno, as temperaturas do ar nos lados externo e interno da parede são

de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente., com os correspondentes coeficientes de transferência de calor por convecção iguais a $15\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ e $5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

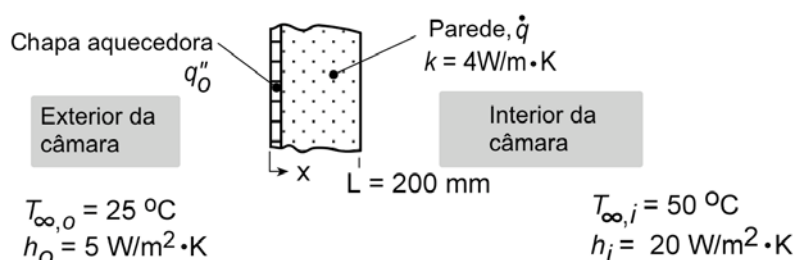
- Qual a carga de aquecimento necessária para um seção de 1 m^2 da parede?
- Qual a carga de aquecimento necessária se a parede composta for substituída por uma janela de vidro ($k_v = 1,4\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) com 3 mm de espessura?
- Qual a carga de aquecimento necessária se a parede composta for substituída por uma janela dupla, com duas lâminas de vidro de 3 mm de espessura separadas por um espaço de 5 mm contendo ar estagnado ($k_a = 0,0263\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)?

5- Um aquecedor elétrico delgado é enrolado ao redor da superfície externa de um tubo cilíndrico longo cuja superfície interna é mantida a uma temperatura de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. A parede do tubo possui raios interno e externo iguais a 25 mm e 75 mm , respectivamente, e condutividade térmica de $10\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. A resistência térmica de contato entre o aquecedor e a superfície externa do tubo (por unidade de comprimento do tubo) é de $R'_{t,c} = 0,01\text{ m}\cdot\text{K}/\text{W}$. A superfície externa do aquecedor está exposta a um fluido com $T_{\infty} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e um coeficiente de convecção de $h = 100\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Determine a potência do aquecedor, por unidade de comprimento do tubo, requerida para mantê-lo a $T_o = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

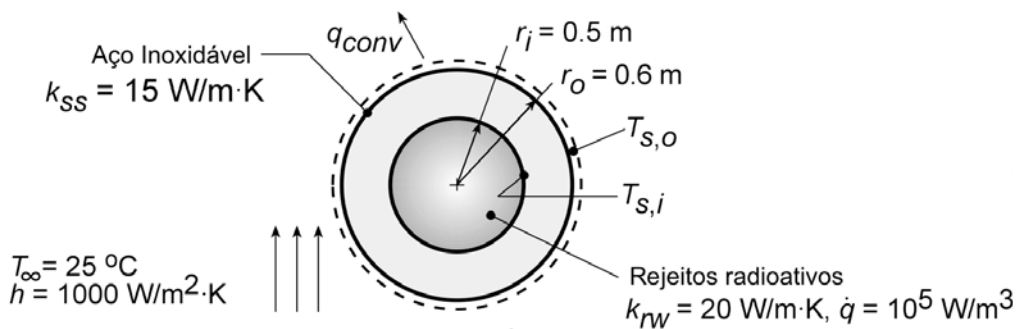
6- Uma esfera oca de alumínio, com um aquecedor elétrico no seu centro, é usada em testes para determinar a condutividade térmica de materiais isolantes. Os raios interno e externo da esfera possuem $0,15\text{ m}$ e $0,18\text{ m}$ respectivamente, e o teste é realizado em condições de regime estacionário com a superfície interna do alumínio mantida a $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para um teste em particular, uma casca esférica de isolamento térmico é fundida sobre a superfície externa da esfera até uma espessura de $0,12\text{ m}$. O sistema encontra-se em uma sala na qual a temperatura do ar é de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o coeficiente de transferência de calor por convecção na superfície externa do isolamento é de $30\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Se 80 W são dissipados pelo aquecedor em condições de regime estacionário, qual é a condutividade térmica do isolamento testado? Dado: $k_{Al} = 230\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

7- Ar no interior de uma câmara a $T_{\infty,i} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ é aquecido por convecção, com $h_i = 20\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$., através de uma parede com 200 mm de espessura, condutividade térmica de $4\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ e com geração uniforme de calor a uma taxa de $1000\text{ W}/\text{m}^3$. Para evitar que o calor gerado no interior da parede seja perdido para o lado de fora da câmara, a $T_{\infty,o} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e com $h_o = 5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, um aquecedor elétrico delgado é colocado sobre a superfície externa da parede para fornecer um fluxo térmico uniforme, q''_o .

- Esboce a distribuição de temperatura na parede, em um sistema de coordenadas $T-x$, para a condição em que nenhum calor gerado no seu interior é perdido para o lado de fora da câmara.
- Quais são as temperaturas nas superfícies da parede, $T(0)$ e $T(L)$, para as condições da parte (a)?
- Determine o valor de q''_o que deve ser fornecido pelo aquecedor elétrico de modo que todo o calor gerado no interior da parede seja transferido para o interior da câmara.
- Se a geração de calor na parede for interrompida e o fluxo fornecido pelo aquecedor elétrico permanecer constante, qual será a temperatura em regime estacionário, $T(0)$, na superfície externa da parede.

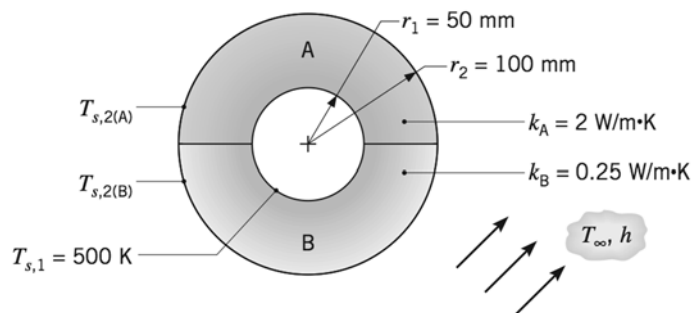


- 8- Um cabo de cobre, com 30 mm de diâmetro e resistência elétrica de $5 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$, conduz uma corrente elétrica de 250 A. O cabo está exposto ao ar ambiente a 20°C , onde o coeficiente de transferência de calor por convecção é $25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Quais são as temperaturas na superfície e no centro do cabo de cobre?
- 9- Rejeitos radioativos ($k_{rw} = 20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) são armazenados em um recipiente esférico de aço inoxidável ($k_{ss} = 15 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$), com raios interno e externo iguais a $r_i = 0,5 \text{ m}$ e $r_o = 0,6 \text{ m}$. Calor é gerado no interior dos rejeitos a uma taxa volumétrica uniforme de $\dot{q} = 10^5 \text{ W}/\text{m}^3$, e a superfície externa do recipiente está exposta a uma corrente de água na qual $h = 1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e $T_\infty = 25^\circ\text{C}$.
- Calcule a temperatura da superfície externa do recipiente, $T_{s,o}$, em condições de regime estacionário.
 - Calcule a temperatura da superfície interna do recipiente, $T_{s,i}$, em condições de regime estacionário.
 - Obtenha uma expressão para a distribuição de temperatura, $T(r)$, nos rejeitos radioativos. Represente o seu resultado em termos de r_i , $T_{s,i}$, k_{rw} e \dot{q} . Calcule a temperatura em $r=0$.



- 10- Vapor escoando em um tubo longo, com paredes delgadas, mantém a sua parede a uma temperatura uniforme de 500 K . O tubo é coberto por uma manta de isolamento térmico composto por dois materiais diferentes, A e B. Suponha existir na interface entre os dois materiais uma resistência térmica de contato infinita. A superfície externa está exposta ao ar, onde $T_\infty = 300 \text{ K}$ e $h = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

- Esboce o circuito térmico para o sistema.
- Para as condições fornecidas, qual é a perda de calor total para o ambiente? Quais são as temperaturas na superfície externa, $T_{s,2(A)}$ e $T_{s,2(B)}$?

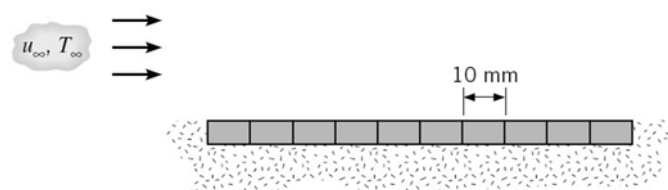


- 11- Considere uma parede plana de espessura $L = 0,05 \text{ m}$. A superfície da parede em $x = 0$ é isolada, enquanto a superfície em $x = L$ é mantida a uma temperatura de 30°C . A condutividade térmica da parede vale $k = 30 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ e calor é gerado à uma taxa de $q''' = q_0''' e^{-0,5x/L} \text{ W}/\text{m}^3$, sendo $q_0''' = 8 \times 10^6 \text{ W}/\text{m}^3$. Assumindo que a transferência de calor é unidimensional e em regime permanente:
- expresse a equação diferencial e as condições de contorno para a condução de calor através da parede;
 - obtenha a equação para a distribuição de temperatura na parede, $T(x)$;
 - determine a temperatura da superfície isolada da parede.

- 12- Vapor d'água superaquecido a $575\text{ }^{\circ}\text{C}$ é conduzido de uma caldeira para a turbina de uma usina de geração de potência elétrica através de tubos de aço ($k = 35\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), com diâmetro interno igual a 300 mm e 30 mm de espessura de parede. Para reduzir a perda térmica para a vizinhança e para manter a temperatura externa segura para o toque, uma camada de isolante de silicato de cálcio ($k = 0,10\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) é aplicada nos tubos. A degradação do isolante é reduzida ao cobri-lo com uma folha fina de alumínio que possui uma emissividade $\varepsilon = 0,20$. A temperatura do ar e das paredes da planta de potência é igual a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Considerando que a temperatura da superfície interna do tubo de aço seja igual à do vapor e que o coeficiente convectivo externo à folha de alumínio seja igual a $6\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, qual é a espessura mínima de isolante necessária para garantir que a temperatura do alumínio não seja superior a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$? Qual é a perda de calor correspondente, por metro de comprimento de tubo?
- 13- Um aquecedor elétrico, capaz de gerar 10 kW, deve ser projetado. O elemento de aquecimento deve ser um fio de aço inoxidável apresentando resistividade elétrica de $80 \times 10^{-6}\ \Omega\cdot\text{cm}$. A temperatura operacional do aço inoxidável não deve exceder $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$. O coeficiente mínimo de transferência de calor previsto na superfície externa é de $1720\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, em um meio cuja temperatura máxima será de $93\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um transformador capaz de libertar corrente elétrica a 12 V está disponível. Determine quais devem ser o diâmetro e o comprimento do fio e a corrente necessária. *Sugestão:* demonstre primeiro que a queda de temperatura entre o centro e a superfície do fio é independente do seu diâmetro e determine o seu valor.

Transferência de calor por convecção – convecção forçada, escoamento externo

- 1- Ar a uma pressão de 1 atm e a uma temperatura de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ escoam paralelamente, a uma velocidade de 10 m/s, sobre uma placa plana com 3 m de comprimento. A placa é aquecida até uma temperatura uniforme de $140\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Qual é o coeficiente médio de transferência de calor em toda a placa?
 - Qual é o coeficiente local de transferência de calor no ponto intermediário da placa?
- 2- Um elemento aquecedor elétrico, na forma de um longo cilindro, com diâmetro $D = 10\text{ mm}$, condutividade térmica $k = 240\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, massa específica $\rho = 2700\text{ kg}/\text{m}^3$ e calor específico $c_p = 900\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, é instalado em um duto através do qual ar, a uma temperatura de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma velocidade de 10 m/s, escoam em escoamento cruzado em relação ao elemento aquecedor. Desprezando a radiação, calcule a temperatura superficial em regime estacionário quando, por unidade de comprimento do aquecedor, energia elétrica está sendo dissipada a uma taxa de 1000 W/m.
- 3- Uma série de 10 chips quadrados de silício, cada um com lado $L = 10\text{ mm}$, é isolada em uma de suas superfícies e resfriada pela superfície oposta com ar atmosférico, em escoamento paralelo conforme mostrado na figura, com $T_{\infty} = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $u_{\infty} = 40\text{ m}/\text{s}$. Quando em operação, a mesma potência elétrica é dissipada em cada chip, mantendo um fluxo térmico uniforme ao longo de toda a superfície resfriada. Se a temperatura em cada chip não pode ultrapassar $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, qual é a potência máxima permitida em cada chip? Qual é a potência máxima permitida se um promotor de turbulência for utilizado para perturbar a camada limite na aresta frontal? Seria preferível orientar a série de chips em uma direção normal ao escoamento do ar em vez de na direção paralela?

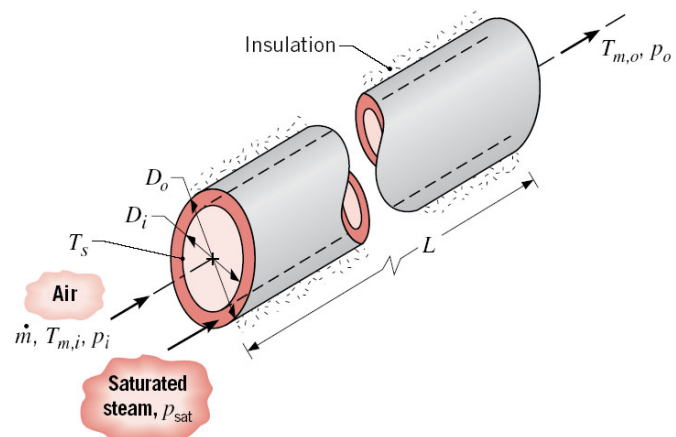


- 4- Uma esfera de cobre puro, com diâmetro de 15 mm e uma emissividade de 0,5, está suspensa em um grande forno com as paredes a uma temperatura uniforme de 600 °C. Ar escoa sobre a esfera a uma temperatura de 900 °C e a uma velocidade de 7,5 m/s. Determine a temperatura da esfera no regime estacionário.
- 5- Água quente a 50 °C é transportada de um prédio no qual ela é gerada para um prédio adjacente no qual ela é usada para aquecimento ambiental. A transferência entre os prédios ocorrem em tubo de aço ($k = 60 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), com diâmetro externo de 100 mm e 8 mm de espessura de parede. Durante o inverno, condições ambientais representativas envolvem o ar a $T_\infty = -5 \text{ °C}$ e $V = 3 \text{ m/s}$ em escoamento cruzado sobre o tubo.
- Se o custo de produzir a água quente é de \$0,05 por kWh, qual é o custo diário representativo da perda térmica para o ar em um tubo não isolado, por metro de comprimento de tubo?
 - Determine a economia associada à aplicação na superfície externa do tubo de um revestimento de 10 mm de espessura de isolante de uretano ($k = 0,026 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Transferência de calor por convecção – convecção forçada, escoamento interno

- 1- Óleo de motor é aquecido ao escoar através de um tubo circular com diâmetro $D = 50 \text{ mm}$ e comprimento $L = 25 \text{ m}$, cuja superfície é mantida em 150 °C. Se a vazão de escoamento e a temperatura do óleo na entrada do tubo forem de 0,5 kg/s e 20 °C, qual será a temperatura do óleo na saída do tubo? Qual é a taxa de transferência de calor total no tubo?
- 2- Um tubo metálico com parede fina e 50 mm de diâmetro, coberto com uma camada de isolamento térmico ($k = 0,085 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) com 25 mm de espessura, transporta vapor d'água superaquecido à pressão atmosférica e encontra-se pendurado no teto de uma grande sala. A temperatura do vapor na entrada do tubo é de 120 °C e a temperatura do ar é de 20 °C. O coeficiente de transferência de calor por convecção na superfície externa é de 10 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Se a velocidade do vapor for de 10 m/s, em que posição ao longo do tubo o vapor irá começar a condensar?
- 3- Um tubo de aço inoxidável (AISI 316), com parede espessa e diâmetros interno e externo de $D_i = 20 \text{ mm}$ e $D_e = 40 \text{ mm}$, é aquecido eletricamente para fornecer uma taxa de geração térmica uniforme de $10^6 \text{ W}/\text{m}^3$. A superfície externa do tubo encontra-se isolada, enquanto água escoa através do tubo a uma vazão de 0,1 kg/s.
- Se a temperatura de entrada da água é de $T_{m,e} = 20 \text{ °C}$ e a temperatura de saída desejada é de $T_{m,s} = 40 \text{ °C}$, qual é o comprimento do tubo necessário?
 - Quais são a localização e o valor da temperatura máxima no tubo?

- 4- Um aquecedor de ar para aplicação industrial é constituído por dois tubos concêntricos, isolados para o lado externo. Nesse sistema o ar escoa através do tubo central (interior), que tem parede delgada. Vapor d'água saturado escoa através da região anular e a condensação do vapor mantém uma temperatura uniforme T_s na superfície do tubo. Considere condições nas quais o ar entra no tubo central, de diâmetro 50 mm, com uma pressão de 500 kPa e a uma temperatura $T_{m,i} = 17 \text{ °C}$ e uma vazão de 0,005 m^3/s , enquanto vapor saturado a 250 kPa condensa na superfície externa do tubo. Sendo o comprimento do sistema $L = 5 \text{ m}$, quais é a temperatura de saída do ar, $T_{m,o}$? Qual



é a vazão mássica do condensado que deixa o sistema?

- 5- No estágio final de produção, um produto farmacêutico é esterilizado pelo aquecimento de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ à medida que ele se desloca, a $0,2\text{ m/s}$, através de um tubo reto de aço inoxidável, com parede delgada e diâmetro de $12,7\text{ mm}$. Um fluxo térmico uniforme é mantido por um aquecedor de resistência elétrica que se encontra enrolado ao redor da superfície externa do tubo. Se o tubo possui 10 m de comprimento, qual é o fluxo térmico requerido? Se o fluido entra no tubo com um perfil de velocidades plenamente desenvolvido e um perfil de temperaturas uniforme, qual é a temperatura da superfície na saída do tubo? As propriedades do fluido podem ser aproximadas por $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$, $c_p = 4000\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, $\mu = 2 \times 10^{-3}\text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$, $k = 0,8\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ e $Pr = 10$.
- 6- A seção de evaporação de uma bomba de calor está instalada no interior de um grande tanque de água, que é usado como uma fonte de calor durante o inverno. À medida que a energia é extraída da água, ela começa a congelar, criando um banho de água e gelo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, que pode ser usado para o resfriamento do ar durante o verão. Considere condições para o resfriamento durante o verão, nas quais o ar é passado pelo interior de um conjunto de tubos de cobre, cada um com diâmetro interno $D = 50\text{ mm}$, submerso no banho de água e gelo. Se o ar entra em cada tubo a uma temperatura média de $T_{m,e} = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a uma vazão de $0,01\text{ kg/s}$, qual comprimento de tubo L fornecerá uma temperatura na saída de $T_{m,s} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$? Com 10 tubos passando através de um tanque com volume total $V = 10\text{ m}^3$, que contém inicialmente 80% de gelo em volume, quanto tempo irá levar para fundir a totalidade do gelo? A massa específica e o calor latente de fusão do gelo são 920 kg/m^3 e $3,34 \times 10^5\text{ J/kg}$, respectivamente.
- 7- Os produtos de combustão de um queimador são direcionados para uma aplicação industrial através de um tubo metálico de parede delgada, com diâmetro $D_i = 1\text{ m}$ e comprimento $L = 100\text{ m}$. O gás entra no tubo a pressão atmosférica, com temperatura média e velocidade de $T_{m,e} = 1600\text{ K}$ e $u_{m,e} = 10\text{ m/s}$, respectivamente. Eles têm que sair do tubo com uma temperatura não inferior a $T_{m,s} = 1400\text{ K}$. Qual é a espessura mínima de um isolamento de alumina-sílica ($k_{iso} = 0,125\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) necessária para satisfazer a exigência na saída no caso das piores condições, que são o tubo exposto ao ar ambiente a $T_{\infty} = 250\text{ K}$ e com uma velocidade de escoamento cruzado $V = 15\text{ m/s}$? As propriedades do gás podem ser aproximadas pelas do ar e, como uma primeira estimativa, o efeito da espessura do isolante no coeficiente convectivo e na resistência térmica associada ao escoamento cruzado pode ser desprezado.
- 8- R-134a é transportado a $0,1\text{ kg/s}$ através de um tubo de Teflon com diâmetro interno $D_i = 25\text{ mm}$ e diâmetro externo $D_e = 28\text{ mm}$, enquanto ar atmosférico a $V = 25\text{ m/s}$ e 300 K escoam em escoamento cruzado sobre o tubo. Qual é a taxa de calor para o R-134a a 240 K , por unidade de comprimento do tubo?

Transferência de calor por convecção – convecção natural

- 1- A porta de um forno doméstico, com $0,5\text{ m}$ de altura e $0,7\text{ m}$ de largura, atinge uma temperatura superficial média de $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante a operação do forno. Estime a perda de calor para o ambiente externo a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2- O escoamento de ar através de um longo duto de ar condicionado, com formato quadrado de $0,2\text{ m}$ de lado, mantém a sua superfície externa a uma temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se o duto, na posição horizontal, não possui isolamento térmico e está exposto ao ar a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ no porão de uma casa, qual é o ganho de calor por unidade de comprimento do duto?
- 3- Uma placa, com dimensões de 1 m por 1 m e inclinada com um ângulo de 45° , tem a sua superfície inferior exposta a um fluxo térmico radiante líquido de 300 W/m^2 . Se a superfície

superior da placa for bem isolada, estime a temperatura que a placa atingirá quando o ar ambiente estiver quiescente e a uma temperatura de 0 °C.

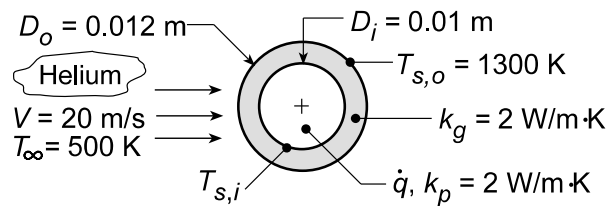
- 4- Bebidas em lata, com 150 mm de comprimento por 60 mm de diâmetro, encontram-se inicialmente a uma temperatura de 27 °C e devem ser resfriadas pela sua colocação em uma geladeira a 4 °C. Com o objetivo de maximizar a taxa de resfriamento, as latas devem ser colocadas na geladeira na posição horizontal ou na posição vertical? Como uma primeira aproximação, despreze a transferência de calor nas extremidades da lata.

Transferência de calor por radiação

- 1- A superfície escura do topo de um fogão de cerâmica pode ser aproximada por um corpo negro. Os “queimadores”, que estão integrados ao topo do fogão, são aquecidos por baixo por aquecedores de resistência elétrica. Considere um queimador com diâmetro $D = 200$ mm operando com uma temperatura de superfície uniforme de $T_s = 250$ °C em ar ambiente a $T_\infty = 20$ °C. Sem um pote ou panela sobre o queimador, quais são as taxas de perda térmica por radiação e por convecção no queimador? Sendo a eficiência associada à transferência de energia dos aquecedores para os queimadores de 90%, qual é a exigência de potência elétrica?
- 2- Duas superfícies pequenas, A e B, estão localizadas no interior de um recipiente isotérmico a uma temperatura uniforme. O recipiente proporciona uma irradiação de 6300 W/m² em cada uma das superfícies, e as superfícies A e B absorvem a radiação incidente nas taxas de 5600 W/m² e 630 W/m², respectivamente. Considere condições após o transcorrer de um longo período de tempo.
- Quais são os fluxos térmicos líquidos para cada superfície? Quais são as suas temperaturas?
 - Determine a absorvidade de cada superfície.
 - Quais são os poderes emissivos de cada superfície?
 - Determine a emissividade de cada superfície.
- 3- Um termopar cuja superfície é difusa e cinza, possuindo uma emissividade de 0,6, indica uma temperatura de 180 °C quando é utilizado para medir a temperatura de um gás que escoia através de um grande duto cujas paredes possuem uma emissividade de 0,5 e uma temperatura uniforme de 450 °C. Se o coeficiente de transferência de calor por convecção entre o termopar e a corrente de gás for de $\bar{h} = 125$ W/(m²·K) e as perdas por condução pelo termopar forem desprezíveis, determine a temperatura do gás.

Exercícios de revisão – Transferência de calor

- 1- Um reator de gases de alta temperatura possui elementos combustíveis à base de óxido de urânio de formato esférico, nos quais há aquecimento volumétrico uniforme. Cada elemento combustível encontra-se revestido por uma casca esférica de grafite, que é resfriada pelo escoamento de gás hélio a 1 atm. Considere condições de regime estacionário nas quais os efeitos radiantes podem ser desprezados, a velocidade e a temperatura do gás são de $V = 20$ m/s e $T_\infty = 500$ K, os diâmetros da partícula e da casca são de $D_i = 10$ mm e $D_e = 12$ mm, e a temperatura da superfície externa da casca é de $T_{s,e} = 1300$ K. O óxido de urânio e grafite possuem condutividade térmica $k_p = 2$ W/(m·K).



- Qual é a taxa de transferência de calor para a corrente de gás a partir de uma única partícula?
 - Qual é a taxa volumétrica de geração térmica na partícula e qual é a temperatura na interface entre a partícula e o grafite ($T_{s,i}$)?
 - Obtenha uma expressão para a distribuição radial de temperaturas, $T(r)$, na partícula, apresentando o seu resultado em termos da temperatura no centro da partícula, $T(0)$. Calcule $T(0)$ para as condições especificadas.
- A janela traseira vertical de um automóvel é quadrada com lado $H = 0,5$ m e possui uma espessura $L = 8$ mm. O vidro contém fios aquecedores formando uma malha fina que podem induzir um aquecimento volumétrico praticamente uniforme. Considere condições de regime estacionário, nas quais a superfície interna da janela está exposta ao ar quiescente a 10 °C, enquanto a superfície externa está exposta ao ar ambiente a -10 °C, movendo-se paralelamente à superfície com uma velocidade de 20 m/s. Determine a taxa volumétrica de aquecimento necessária para manter a superfície interna da janela a uma temperatura de $T_{s,i} = 15$ °C.
 - Vapor d'água saturado, a uma pressão absoluta de 4 bar e uma velocidade média de 3 m/s, escoava através de uma tubulação horizontal cujos diâmetros interno e externo são de 55 mm e 65 mm, respectivamente. O coeficiente de transferência de calor para o escoamento do vapor é de 11000 W/(m²·K). Se a tubulação está coberta por uma camada de isolamento térmico de magnésia a 85% com 25 mm de espessura e encontra-se exposta ao ar atmosférico a 25 °C, determine a taxa de transferência de calor por convecção natural para a sala por unidade de comprimento da tubulação. Se o vapor está saturado na entrada da tubulação, estime a sua qualidade (título) na saída de uma tubulação com 30 m de comprimento.
 - Calcule a taxa de perda de calor por metro numa tubulação metálica de pequena espessura e 10 cm de diâmetro interno por onde escoava água líquida a 200 °C a uma velocidade de 3 m/s. A tubulação está coberta por uma camada de 5 cm de espessura de isolamento de magnésia 85% , cuja superfície externa tem emissividade de $0,5$. O calor é transferido para a área circundante a 20 °C por convecção natural e radiação.