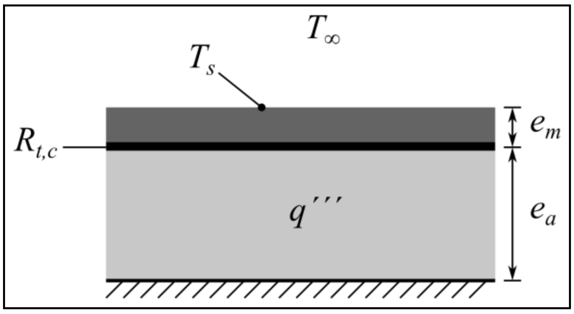
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PME3238 – FENÔMENOS DE TRANSPORTE 3ª PROVA 17/06/2019

Duração: 120 minutos

<u>1ª Questão (3,5 pontos)</u>

Você é empregado numa empresa americana de conforto. Sua equipe está trabalhando num projeto de piso aquecido para uma sala de reuniões de 7 m de largura por 8 m de comprimento. O sistema a ser instalado, mostrado na figura, é composto por blocos de aquecimento com geração uniforme q''' montados sobre uma manta de isolamento. Sobre os blocos é montado o piso de laminado de madeira. Os blocos de aquecimento tem espessura e_a = 4 cm e condutividade térmica k_a = 0,4 W/(m·K), o laminado de madeira tem espessura e_m = 8 mm e condutividade térmica k_m = 0,12 W/(m·K), e a montagem faz com que haja uma resistência térmica de contato de $R_{t,c}$ = 0,01 m^2·K/W entre os blocos e o laminado. O sistema deve funcionar de modo que a temperatura do piso seja igual a T_s = 24 °C. No começo do expediente, quando o sistema é ligado, o ar da sala está a T_∞ = 10 °C. Nessas condições, e sabendo que a aceleração da gravidade no local vale 9,8 m/s^2, determine:



(a) A potência gasta pelo sistema de aquecimento; **(*1,5 ponto*)**

(b) A temperatura dos blocos junto à manta de isolamento. **(*2,0 pontos*)**

<u>2ª Questão (3,0 pontos)</u>

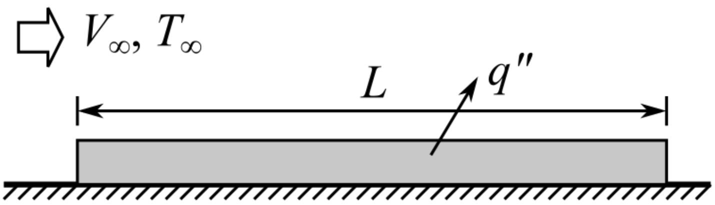
Uma esfera de 30 mm de diâmetro cuja superfície é difusa e cinza com uma emissividade de 0,8 é posta em um forno de grandes dimensões em que as paredes se encontram à temperatura uniforme de 600 K. A temperatura do ar no forno é de 400 K, e o coeficiente de transferência de calor por convecção entre a esfera e o ar no forno é de 15 W/(m^2·K). Determine:

(a) A taxa de transferência de calor líquida para a esfera quando a sua temperatura é de 300 K; **(*1,5 ponto*)**

(b) A temperatura da esfera em regime permanente. **(*1,5 ponto*)**

<u>3ª Questão (3,5 pontos)</u>

Componentes de eletrônica de potência são armazenados num recipiente prismático hermético apoiado numa base isolada, e dissipam através da superfície superior do recipiente um fluxo térmico uniforme de q'' = 40 kW/m^2. Testes do fabricante mostraram que, para manter a integridade do sistema, a temperatura nessa superfície não pode ultrapassar 70 °C. Por isso, o sistema será resfriado por uma corrente de água a T_∞ = 24 °C que escoará paralelamente à superfície, na direção onde o recipiente tem L = 0,5 m de comprimento, como mostra a figura. Determine qual deve ser a mínima velocidade da corrente de água, V_∞, para que o requisito de integridade seja satisfeito e, nessa condição, qual será a distância da borda frontal do recipiente onde ocorrerá a máxima temperatura.



Convecção forçada – escoamento externo

Geometria	Condições	Correlação
Placa plana	Laminar; local; isotérmica; T_f; $0{,}6 \le Pr \le 50$	$Nu_x = 0{,}332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$
	Laminar; local; fluxo uniforme; T_f; $Pr \ge 0{,}6$	$Nu_x = 0{,}453 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$
	Laminar; médio; isotérmica; T_f; $0{,}6 \le Pr \le 50$	$\overline{Nu_L} = 0{,}664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$
	Turbulenta; local; isotérmica; T_f; $Re_x \le 10^8$; $0{,}6 \le Pr \le 60$	$Nu_x = 0{,}0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3}$
	Turbulenta; local; fluxo uniforme; T_f; $0{,}6 \le Pr \le 60$	$Nu_x = 0{,}0308 Re_x^{4/5} Pr^{1/3}$
	Turbulenta; médio; isotérmica; T_f; $Re_x \le 10^8$; $0{,}6 \le Pr \le 60$	$\overline{Nu_L} = 0{,}037 Re_L^{4/5} Pr^{1/3}$
	Mista; médio; isotérmica; T_f; $Re_x \le 10^8$; $0{,}6 \le Pr \le 60$	$\overline{Nu_L} = \left(0{,}037 Re_L^{4/5} - 871\right) Pr^{1/3}$
Cilindro	Médio; isotérmico; T_f;$Re_D\, Pr > 0{,}2$	$\overline{Nu_D} = 0{,}3 + \dfrac{0{,}62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[1+\left(0{,}4/Pr\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1+\left(\dfrac{Re_D}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}$

Convecção natural

Geometria	Correlação	Restrições
Placas verticais	$\overline{Nu_L} = \left\{0{,}825 + \dfrac{0{,}387 Ra_L^{1/6}}{\left[1+(0{,}492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}}\right\}^2$	Nenhuma
Placas inclinadas, com a superfície fria para cima ou com a superfície quente para baixo	$\overline{Nu_L} = \left\{0{,}825 + \dfrac{0{,}387 Ra_L^{1/6}}{\left[1+(0{,}492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}}\right\}^2$, $g \to g\cos\theta$	$0 \le \theta \le 60°$
Placas horizontais, com a superfície quente para cima ou a superfície fria para baixo	$\overline{Nu_L} = 0{,}54 Ra_L^{1/4}$ $(L = A_s / P)$	$10^4 \le Ra_L \le 10^7$
	$\overline{Nu_L} = 0{,}15 Ra_L^{1/3}$ $(L = A_s / P)$	$10^7 \le Ra_L \le 10^{11}$
Placas horizontais, com a superfície fria para cima ou com a superfície quente para baixo	$\overline{Nu_L} = 0{,}52 Ra_L^{1/5}$ $(L = A_s / P)$	$10^4 \le Ra_L \le 10^9$ $Pr \ge 0{,}7$

Cilindro horizontal	$\overline{Nu_D} = \left\{0{,}60 + \dfrac{0{,}387 Ra_D^{1/6}}{\left[1+(0{,}559/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}}\right\}^2$	$Ra_D \le 10^{12}$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)+q''' = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \qquad q''_{\text{cond}} = -k\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x} \qquad R_{t,\text{cond}} = \frac{L}{kA}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(kr\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(k\frac{\partial T}{\partial \theta}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)+q''' = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \qquad R_{t,\text{cond}} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL}$$

$$q''_{\text{conv}} = h(T_\infty - T_s) \qquad R_{t,\text{conv}} = \frac{1}{hA} \qquad Nu_L = \frac{hL}{k_f} \qquad Re_L = \frac{VL}{\nu} \qquad Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{g\beta\left|T_s - T_\infty\right|L^3}{\nu\alpha} \qquad \beta = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right)_p \qquad q = mc_p\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t}$$

$$E_{cn} = \sigma T^4 \qquad q''_{\text{rad}} = \varepsilon\sigma(T_{\text{viz}}^4 - T_s^4) \qquad \sigma = 5{,}67\times 10^{-8}\ \text{W/(m}^2\cdot\text{K}^4)$$

Método para achar raízes de um polinômio $ax^4 + bx + c = 0$:

$$\Delta_0 = 12ac \qquad \Delta_1 = 27ab^2 \qquad Q = \left(\frac{\Delta_1 + \sqrt{\Delta_1^2 - 4\Delta_0^3}}{2}\right)^{1/3} \qquad S = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{3a}\left(Q + \frac{\Delta_0}{Q}\right)}$$

$$x_{1,2} = -S \pm \frac{1}{2}\sqrt{-4S^2 + \frac{b}{aS}} \qquad x_{3,4} = S \pm \frac{1}{2}\sqrt{-4S^2 - \frac{b}{aS}}$$