Mecanismos de Propagação de Calor

Thiago Brasileiro

1 O que é o Calor?

Calor,de forma bem resumida, pode ser definifo como a energia térmica em tranferência. Estudaremos como ocorre essa transferência e os fatores que a influencia.

1.1 Como ocorre a propagação de calor?

A natureza sempre preza e busca pelo equilíbrio e aqui não é diferente. Dado um gradiente de temperatura, ocorre espontaneamente um fluxo de calor que tem sentido do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura,visando retirar calor do corpo quente e cedê-lo para o corpo frio até que alcancem o almejado equilíbrio térmico. Iremos definir o conceito de regime estacionário como o regime em que todos os pontos do caminho de propagação possuem o mesmo fluxo de calor.

1.2 Quais os tipos de propagação de calor?

Existem três principais formas de propagar o calor:

1.2.1 Condução

A condução ocorre através de um meio material, sem que haja movimento do meio. Como exemplo, podemos citar um fogão e uma chaleira, o fogão transmite calor para a chaleira através da condução.

Podemos equacioná-la como:

$$\phi = dQ/dt = -KAdT/dx \tag{1}$$

De forma mais simples, o fluxo pode ser escrito como:

$$\phi = \frac{KA\Delta T}{\Delta X} \tag{2}$$

em que Q é o Calor, t o tempo, K a constante de condutividade térmica, A a área, T a temperatura e x a espessura. O sinal de menos decorre da própia definição do fluxo, que diz que o calor flui de temepraturas mais elevadas para as menos elevadas, logo se dT/dx for negativa, dQ/dt é positiva. Essa equação será fundamental e podemos extrair dela resultados bem interessantes que serão apresentados mais para frente. Sua unidade de medida no S.I é J/s.

1.2.2 Convecção

Esse tipo de propagação de calor acontece principalemnte em fluidos e se caracteriza pelo transporte do própio fluido, pois quando se aquece, tende a diminuir de densidade e tende a subir, sendo substituído por um fluido mais frio. Podemos perceber a convecção pelo movimento dos ventos e das correntes marinhas. Não há uma equação totalmente definida para a convecção pois depende de diversos fatores, como a natureza do fluido e agentes externos.

1.2.3 Radiação

A radiação é caracterizada pelo aquecimento de corpos devido à radiação eletromagnética. Ela não precisa de um meio material para se propagar, já que ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo. Podemos equacioná-la pela lei de Stephan-Boltzmann, que diz:

$$\phi = dQ/dt = \varepsilon\sigma AT^4 \tag{3}$$

em que ε é a emissividade do corpo, e σ a constante de Stefan-Boltzmann. Sua unidade no S.I é J/s.

2 Aprofundando o mecanismo de condução térmica.

Da equação 1 podemos extrair resultados poderosos que serão muito úteis nas resoluções de questões.

2.1 Analogia com a Eletrodinâmica

Pela lei de Ohm, a diferença de potencial (U) pode ser escrita como:

$$U = RI \tag{4}$$

Assim, podemos isolar a variação de temperatura na equação 2, achando que

$$\Delta T = \phi L/KA \tag{5}$$

Perceba que a variação de temperatura pode ser relacionada com a ddp, portanto podemos fazer uma anologia dizendo que $I = \phi$ e $R = L/KA$.

Chamaremos L/KA de resistividade térmica. Podemos usar essa analogia para resolver problemas diversos. Veja o exemplo abaixo:

Imagine uma barra de metal de comprimento L1 e condutividade térmica Km e uma barra de alumínio de comprimento L2 e condutividade térmica Ka. (Adotaremos aqui que ambas as barras possuem mesma secção de área, que estão ligadas em série e em estado estacionário.) Admitindo que a face esquerda da barra de metal está a uma temperatura T_1 e sua face direira a uma temperatura T_2 e que a face direita da barra de alumínio esteja a uma temperatura $T3$ e assumindo que $T_1 > T_2 > T_3$, temos:

$$\phi = K_1 A(T_1 - T_2)/L_1 = K_2 A(T_2 - T_3)/L2$$

Isolando o ΔT e escrevendo em função das resistências térmicas, temos: $(T_1 - T_2) = \phi R_1$ e $(T_2 - T_3) = \phi R_2$. Somando as equações, obtemos que

$(T_1 - T_3) = \phi(R_1 + R_2)$ Assim, $\phi = T_1 - T_3/R_1 + R_2 = T_1 - T_3/R_{eq}$

$R_{eq} = R_1 + R_2 = L/K_{eq}A$, em que $L = L_1 + L_2$ Então, podemos escrever que:

$$K_{eq} = L_1 + L_2/(L_1/K_1 + L_2/K_2) \tag{6}$$

Esee resultado pode ser estendido para N barras e pode ser feito para barras em paralelo tendo um pensamento análogo ao de cima.

2.2 Fluxo devido a esferas

Da equação 1, podemos escrver que (imaginando um regime estacionário) $\phi = -KAdT/dr$

A área pode ser escrita como $4\pi r^2$. Isolando as variáveis e fazendo a integração, temos:

$$\phi = 4k\pi\Delta T(R_1 R_2)/(R_1 - R_2) \tag{7}$$

3 Questões

3.1 Congelamento de um lago**

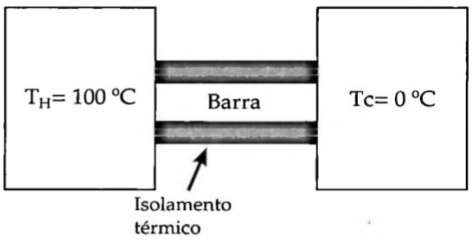
Considere um lago localizado em um país de invernos rigorosos, com temperaturas $T < 0^oC$, de tal forma que o lago inicia um processo de congelamento. À medida que o lago perde calor para o ambiente, uma fina camada de gelo se forma em sua superfície e vai se tornando mais espessa conforme

o lago vai congelando. Para a sorte das formas de vida aquáticas nas regiões frias da Terra, o gelo é menos denso que a água e não é um bom condutor térmico. Dessa maneira, a camada de gelo que se forma na superfície do lago isola-o termicamente do ambiente e o processo de congelamento se torna cada vez mais lento, de tal forma que é extremamente difícil o congelamento completo da água. Seja k a condutividade térmica do gelo, p a sua densidade e L seu calor latente de fusão. Estime qual o tempo necessário para congelar completamente um lago de profundidade constante h. Considere que a água do lago está a 0°C. (Dica: Pode ser útil escrever o fluxo como $dQ/dt = -kA\Delta T/\Delta x$)

3.2 Condutividade térmica de barras*

Considere dois reservatórios térmicos: um frio, com uma mistura de água e gelo em equilíbrio térmico a $T_c = 0°$C, e o outro quente, com água fervente a $T_H = 100°$C. Esses reservatórios térmicos são termicamente isolados, a não ser por uma barra de um determinado material que promove a condução de calor do reservatório quente para o frio. Em um experimento, a barra utilizada para essa conexão foi de cobre, levando um tempo $t_1 = 20$ min para que o gelo derretesse completamente. Em um segundo experimento, utilizou-se uma barra de aço para derreter a mesma quantidade de gelo que antes, sendo necessários $t_2 = 60$ min para a realização dessa tarefa. Quanto tempo será necessário para derreter essa mesma quantidade de gelo se:

(1) As barras forem usadas em série?
(2) E em paralelo?



3.3 Associação triangular**

Três hastes de mesmas dimensões estão dispostas como mostrado na figura. Eles têm condutividade térmica K_1, K_2 e K_3 . Os pontos P e Q são mantidos em temperaturas diferentes para que o calor fluem com a mesma

taxa ao longo de PRQ e PQ. Qual deve ser o valor de K_3 para que seja válido o enunciado?

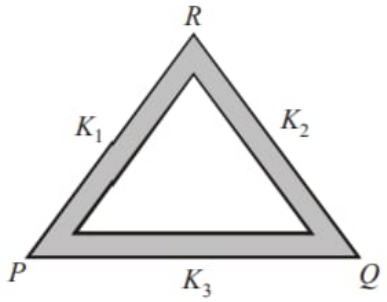
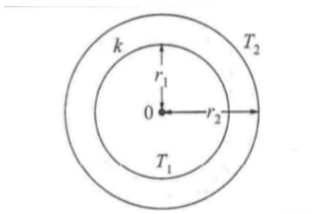


Figura 1: Imagem da associação.

3.4 Associação de três barras**

Uma barra metálica retilínea de seção reta homogênea é formada por três segmentos de materiais diferentes, de comprimentos L_1, L_2 e L_3, e condutividades térmicas iguais a K_1, K_2 e K_3, respectivamente. Determine a condutividade térmica equivalente da barra.

3.5 Esferas metálicas***

Duas esferas metálicas concêntricas, de raios r_1 e $r_2 > r_1$ são mantidas respectivamente às temperaturas T_1 e T_2 e estão separadas por uma camada de material homogêneo de condutividade térmica K (Ver imagem abaixo). Calcule a taxa de transmissão de calor por unidade de tempo através dessa camada.