
LEI DE RESFRIAMENTO

1 Objetivos

Utilizando um arranjo experimental bastante simples, vamos estudar a lei de resfriamento de uma solução de glicerina. Através de medidas de temperatura da glicerina como função do tempo vamos determinar empiricamente uma lei física a partir de uma análise gráfica dos dados.

2 Introdução

Em nosso cotidiano, podemos encontrar diversos exemplos onde os conceitos de temperatura e calor estão presentes. De maneira simplificada, podemos associar a temperatura absoluta de um determinado corpo com o grau médio de agitação de suas moléculas. Quanto mais alta a temperatura de um corpo, maior é a quantidade de energia térmica disponível, que por sua vez está associada a energia cinética das moléculas que compõem o corpo (translação, rotação e vibração).

Quando dois ou mais corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato, e após um determinado intervalo de tempo atingem um estado de equilíbrio com temperaturas iguais, dizemos que os corpos estão em equilíbrio térmico. Portanto, se existe uma diferença de temperatura entre os corpos, há transferência de energia térmica na forma de calor, do corpo com temperatura maior para o corpo com temperatura menor. Este processo dá-se até que o equilíbrio térmico seja atingido. O tempo gasto para um sistema atingir o equilíbrio térmico depende de vários fatores, tais como as propriedades térmicas dos corpos e reservatório e a geometria do sistema.

Um instrumento de medida de temperatura bastante conhecido é o termômetro de coluna de mercúrio. Por apresentar um princípio de funcionamento bastante simples, utilizamos frequentemente esse aparelho para medir a temperatura do nosso corpo quando estamos com febre. Quando em contato com o corpo, o mercúrio contido na coluna do termômetro se dilata com o aumento da temperatura do instrumento. Ao atingir o equilíbrio térmico com a temperatura do corpo, o mercúrio estaciona em um determinado valor da escala previamente calibrada do termômetro, que corresponde a temperatura corporal. Existem outros instrumentos de medida

de temperatura, como por exemplo o termopar metálico. Este instrumento é formado pela junção de dois materiais metálicos diferentes em suas extremidades, dando origem a uma diferença de potencial elétrico entre eles. Em 1821, o físico Thomas Seebeck descobriu que essa diferença de potencial depende da temperatura (efeito termoelétrico). Portanto, a diferença de temperatura entre as extremidades que estão unidas e as extremidades livres gera uma diferença de potencial que pode ser mensurada e associada a temperatura de um determinado corpo (veja figura 1).

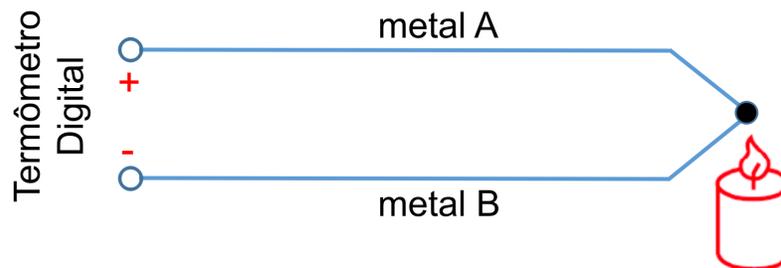


Figura 1: Vista esquemática de um termopar.

Neste experimento vamos determinar uma função matemática que descreve o resfriamento de uma amostra de glicerina aquecida até uma certa temperatura em um tubo de ensaio.

3 Conceitos teóricos

Vamos considerar um sistema no qual um objeto com temperatura T é imerso em um reservatório de calor com temperatura T_R ($T > T_R$). A taxa de transferência de calor por unidade de tempo fornecida pelo objeto ao reservatório pode ser escrita como:

$$\frac{dQ}{dt} = kG(T - T_R), \quad (1)$$

sendo k a condutividade térmica e G um fator dependente da geometria do sistema. Por outro, sabemos que:

$$\Delta Q = mc\Delta T, \quad (2)$$

sendo m a massa e c o calor específico do corpo. Se dividirmos a equação 2 por Δt e tomarmos o limite em que Δt tende a zero temos que:

$$\frac{dQ}{dt} = mc \frac{dT}{dt}. \quad (3)$$

Portanto, podemos escrever:

$$mc \frac{dT}{dt} = -kG(T - T_R), \quad (4)$$

sendo que o sinal negativo aparece porque $\Delta Q < 0$, uma vez que o corpo é resfriado à medida que o tempo evolui. Podemos escrever a equação 4 como:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{kG}{mc}(T - T_R) = -\frac{(T - T_R)}{\tau}, \quad (5)$$

sendo $\tau = \frac{mc}{kG}$ o tempo característico de resfriamento do corpo. Temos então que:

$$\int \frac{1}{T - T_R} dT = -\frac{1}{\tau} \int dt, \quad (6)$$

e portanto:

$$\ln(T - T_R) = -\frac{t}{\tau} + A \rightarrow T - T_R = e^{-t/\tau + A}. \quad (7)$$

Podemos finalmente escrever:

$$\Delta T = (T - T_R) = C_0 e^{-t/\tau}, \quad (8)$$

sendo $C_0 = T_0 - T_R$ e T_0 a temperatura inicial. Portanto, é esperado que a temperatura do corpo decresça exponencialmente com o tempo.

Para uma leitura complementar sobre o assunto, veja referência [1].

4 Procedimento experimental

Neste experimento, um tubo de ensaio contendo glicerina será lentamente aquecido com o auxílio de uma chama até uma dada temperatura. Posteriormente, o tubo será inserido em um cilindro acoplado a um ventilador que serve para garantir que um fluxo de ar constante atravesse o tubo de ensaio durante a tomada de dados. Termopares acoplados a um termômetro digital serão utilizados para medir a temperatura da glicerina e do reservatório (meio ambiente). Medidas do tempo de resfriamento da glicerina serão efetuadas utilizando um cronômetro.

5 Análise de dados

Os dados deverão ser organizados em uma tabela. Após a tomada de dados, um gráfico de “ ΔT vs t ” será confeccionado e a curva formada pelos pontos experimentais deverá ser analisada. O gráfico confirma o comportamento esperado de acordo com a equação 8?

Utilizando o mesmo conjunto de dados experimentais, um gráfico de “ $\ln(\Delta T)$ vs t ” deverá ser confeccionado. A curva formada pelos pontos é uma reta? Em caso afirmativo, determine os coeficientes da reta e os valores de suas incertezas.

Referências

- [1] J. C. Sartorelli, Y. Hosoume e E. M. Yoshimura, Rev. Bras. Ens. Fis. 21, 116 (1999).