

# EQUAÇÃO DE NEWTON PARA O RESFRIAMENTO

## 1 - INTRODUÇÃO

Dois corpos com temperaturas diferentes e em contato térmico tendem a ficar na mesma temperatura. Este processo ocorre devido ao fluxo de calor do objeto mais quente para o mais frio. Esta transferência de calor espontânea entre objetos com temperaturas diferentes chega ao fim quando estes corpos alcançam o equilíbrio térmico [1]. Em 1701, foi publicado na revista *Philosophical Transactions* anonimamente o artigo “*Scala Graduum Caloris*”, cuja publicação é atribuída ao Sir Isaac Newton. Neste trabalho, o autor propôs que ao aquecer um corpo e deixá-lo resfriar até alcançar a temperatura ambiente (reservatório térmico) a taxa de variação de temperatura  $\left(\frac{d(\Delta T)}{dt}\right)$  durante o resfriamento é proporcional à diferença das temperaturas entre o corpo e o ambiente ( $\Delta T$ ). Ou seja, a taxa de resfriamento não é constante, esta é alta no início do processo ( $\Delta T$  grande) e lenta próximo do equilíbrio termodinâmico ( $\Delta T$  pequeno). Em termos matemáticos a Lei do Resfriamento de Newton pode ser escrita da seguinte forma diferencial:

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = -k\Delta T \dots\dots\dots[1]$$

onde  $\frac{dT}{dt}$  é a taxa de variação de temperatura no tempo,  $k$  é a constante de proporcionalidade,  $\Delta T$  a diferença entre a temperatura  $T$  do objeto que se pretende aquecer ou resfriar e a temperatura ambiente  $T_A$ . Utilizando o método de separação de variáveis e integrando a Equação [1], obtém-se a seguinte expressão:

$$T = T_A + \Delta T_0 e^{-kt} \dots\dots\dots[2]$$

onde  $\Delta T_0$  corresponde à diferença entre a temperatura inicial  $T(t = 0)$  e a temperatura ambiente  $T_A$ .

## 2 - OBJETIVOS

Determinar a curva de resfriamento de um termômetro e verificar a Lei do Resfriamento de Newton.

## 3 - MATERIAIS UTILIZADOS

- (i) Termômetro;
- (ii) Cronômetro;
- (iii) Sistema para aquecimento (vela e caixa de fósforo);
- (iv) Recipiente com água;
- (v) Suporte para prender o Termômetro;
- (vi) Celular com câmera de vídeo;

## 4 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- (i) Prenda o Termômetro de Forma Estável e Fixa. Nesta posição o usuário deve ser capaz de fazer aferições de temperatura;
- (ii) Acenda a vela e APROXIME A CHAMA DE FORMA LENTA E CUIDADOSA da ponta de medida do termômetro. Não encoste a chama na ponta, deixe uma separação de aproximadamente 2 cm;
- (iii) Aqueça a ponta de medida do termômetro até uma temperatura de aproximadamente 80°C;
- (iv) Apague a vela e afaste da ponta do termômetro;

- (v) O sistema começara a resfriar, escolha uma temperatura  $70^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$  e registre o decréscimo de temperatura, em função do tempo, até bem próximo da temperatura ambiente ( $T \approx 26^{\circ}\text{C}$ ). Anote estes dados na Tabela 1;
- (vi) Repita a medida anterior, colocando o termômetro para esfriar em contato com água à temperatura ambiente; anote a temperatura inicial da água e registre o monitoramento do resfriamento na Tabela 2;
- (vii) É possível monitorar a temperatura em função do tempo  $T(t)$  utilizando a câmera do celular; filme o procedimento, visualize o vídeo em câmera lenta e anote os intervalos de tempo para temperaturas específicas.

## 5 - ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÕES

- (a) Verifique se o experimento de resfriamento se comporta de acordo com a Equação 2 (Plote o Gráfico de  $T$  versus  $t$ );
- (b) Utilizando o procedimento de Linearização na Equação 2, plote o gráfico com seus dados experimentais de forma a obter uma reta, faça a regressão linear e encontre os parâmetros  $\Delta T_0$ ,  $k$  e  $T_A$ .
- (c) Verifique se os valores de  $T_A$ ,  $\Delta T_0$  e  $T_{\text{Água}}$  encontrados no ajuste numérico correspondem às temperaturas utilizadas no experimento.
- (d) Observe os valores obtidos para as constantes  $k$  em cada um dos processos de resfriamento e avalie se, comparativamente, elas são compatíveis com os dois meios utilizados;

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. - Fundamentos de física – Gravitação, ondas e Termodinâmica; Volume 2. 10. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2014.

## 7 – QUESTIONÁRIO PREPARATÓRIO

**Questão 1)** O que é equilíbrio termodinâmico?

**Questão 2)** O que é a “Lei Zero da Termodinâmica”.

**Questão 3)** O que é calor e quais as formas de transferência de calor? O que é reservatório Térmico?

**Questão 4)** A partir da Equação 1, demonstre a Equação 2;

**Questão 5)** Escreva um pequeno parágrafo sobre os procedimentos experimentais que serão realizados.

**Questão 6)** Muitos casos de assassinatos ou acidentes ocorrem sem que exista alguma testemunha ou imagens de câmeras de segurança. Na ausência destas informações, para elucidação desta tragédia e compreender se houve crime ou não, uma informação importante é conhecer o momento de sua ocorrência. A Lei do Resfriamento de Newton é um dos aparatos que permitem a estimativa da hora da morte. Supondo que um cadáver foi encontrado num quarto de motel à meia noite à temperatura de  $28^{\circ}\text{C}$ . Após 2h a temperatura do cadáver era de  $26,5^{\circ}\text{C}$ . A temperatura do quarto é mantida constante a  $22^{\circ}\text{C}$ . Sabendo que a temperatura do cadáver segue a Lei da Refrigeração de Newton, determine a hora provável da morte.

**Questão 7)** Um copo de cerveja, inicialmente a  $-5^{\circ}\text{C}$  foi deixado sobre o balcão de um bar por 2h quando atingiu a temperatura de  $16^{\circ}\text{C}$ . Sabendo que a temperatura do bar é estável em  $24^{\circ}\text{C}$ , determinar o  $k$  do Chopp. Determine quanto tempo é necessário para que a temperatura desse Chopp alcance  $10^{\circ}\text{C}$ .

## LEI DO RESFRIAMENTO DE NEWTON

Professor: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Aluno 1 \_\_\_\_\_

Aluno 2 \_\_\_\_\_

Aluno 3 \_\_\_\_\_

### Parte I: MRU

Tabela 1: Temperatura e tempo de resfriamento de um termômetro cujo reservatório térmico é o ambiente da sala a temperatura de  $T_A = ( \quad \pm \quad )^\circ\text{C}$

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) ( $\pm$ $^\circ\text{C}$ )	Tempo (s) ( $\pm$ s)	Temperatura ( $\pm$ $^\circ\text{C}$ )	Tempo ( $\pm$ s)
$T_1 =$		$T_{14} =$	
$T_2 =$		$T_{15} =$	
$T_3 =$		$T_{16} =$	
$T_4 =$		$T_{17} =$	
$T_5 =$		$T_{18} =$	
$T_6 =$		$T_{19} =$	
$T_7 =$		$T_{20} =$	
$T_8 =$		$T_{21} =$	
$T_9 =$		$T_{22} =$	
$T_{10} =$		$T_{23} =$	
$T_{11} =$		$T_{24} =$	
$T_{12} =$		$T_{25} =$	
$T_{13} =$		$T_{26} =$	

### Parte 2: MRUV

Tabela 2: Temperatura e tempo de resfriamento de um termômetro cujo reservatório térmico é um copo de água a temperatura de  $T_{\text{Água}} = ( \quad \pm \quad )^\circ\text{C}$

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) ( $\pm$ $^\circ\text{C}$ )	Tempo (s) ( $\pm$ s)	Temperatura ( $\pm$ $^\circ\text{C}$ )	Tempo ( $\pm$ s)
$T_1 =$		$T_{14} =$	
$T_2 =$		$T_{15} =$	
$T_3 =$		$T_{16} =$	
$T_4 =$		$T_{17} =$	
$T_5 =$		$T_{18} =$	
$T_6 =$		$T_{19} =$	
$T_7 =$		$T_{20} =$	
$T_8 =$		$T_{21} =$	
$T_9 =$		$T_{22} =$	
$T_{10} =$		$T_{23} =$	
$T_{11} =$		$T_{24} =$	
$T_{12} =$		$T_{25} =$	
$T_{13} =$		$T_{26} =$	