

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
JOINVILLE



Roteiro da Experiência 4

Resfriamento de uma Substância

FÍSICA EXPERIMENTAL II – FEX2001

Joinville/SC, fevereiro de 2024

Quando um corpo “mais quente” é colocado em contato com um corpo “mais frio”, ocorre um fluxo de calor do primeiro para o segundo, até que um estado estacionário é atingido, chamado de equilíbrio térmico. Em outras palavras, dois sistemas estão em equilíbrio térmico somente quando se encontram à mesma temperatura.

Objetivos

Verificar que o comportamento de duas substâncias em contato térmico, quando suas temperaturas são diferentes, obedece à Lei de Resfriamento de Newton.

Os equipamentos já estão montados e os materiais disponíveis na bancada.

- Suporte montado na bancada;
- Sensor de temperatura sem fio;
- Fogareiro elétrico;
- Becker de vidro;
- Garrafa com água;
- Celular com aplicativo SPARKvue [1].

- **ATENÇÃO! RISCO DE QUEIMADURA GRAVE!**

- Será utilizada apenas uma bancada e o aquecimento da água será realizado pelo docente.
- Os sensores de temperatura sem fio de cada equipe serão imersos na água aquecida pelo docente.
- Como processo de resfriamento é longo (cerca de 40 minutos), cada equipe realizará apenas um registro de dados com seu respectivo sensor (consulte o manual [2]), e compartilhará para as demais equipes.

A investigação seguirá o método científico de forma simplificada e resumida, dividida em duas atividades experimentais.

1. Observações* e Perguntas

* Devido aos riscos de queimaduras, em vez das observações serem realizadas em laboratório, as “observações” se referem a o que os discentes já presenciaram no cotidiano quando lidaram com algo quente, por exemplo, café, chá, água etc., quando mantido em um ambiente com temperatura do ambiente T_a constante e sem ventilação forçada do ar.

Descreva o que é observado no resfriamento de uma substância ao decorrer do tempo t quando:

- a) Tem a mesma massa m e área A exposta, e temperatura inicial T_0 diferente.

[illegible]

b) Tem a mesma temperatura inicial T_0 e área A exposta, e massa m diferente.

c) Tem a mesma massa m e temperatura inicial T_0 , e área A exposta diferente.

Baseado nas observações realizadas anteriormente, identifique qual ou quais fenômenos são de interesse para uma investigação mais detalhada e criteriosa. Anote abaixo.

Com o fenômeno identificado podemos fazer algumas perguntas que poderão (ou não) ser respondidas ao concluir a experiência. Os principais questionamentos são:

- a) Por que o fenômeno ocorre?
- b) Como ele é descrito?
- c) Quais outros fatores podem influenciá-los?

Havendo mais perguntas, anote abaixo.

2. Hipóteses e Teorias

Sejam dois sistemas nos quais a temperatura seja homogênea em todos os seus pontos. Suponhamos que a temperatura do primeiro sistema (chamado de substância) seja T , e que a temperatura do segundo sistema (chamado de ambiente) seja T_a . Colocando os dois sistemas em contato, se $T > T_a$, então, haverá fluxo de calor da substância para o ambiente.

Quando a diferença de temperaturas $\Delta T = T - T_a$ não é muito grande, uma quantidade infinitesimal de calor dQ é transferida da substância para o ambiente, durante um intervalo infinitesimal de tempo dt , de modo que a taxa de transferência de calor ou corrente de calor H é proporcional à diferença de temperaturas, isto é,

$$H = \frac{dQ}{dt} = \alpha A(T - T_a), \quad (1)$$

em que α é uma constante que depende da condutividade térmica entre os sistemas e A é a área de contato. A substância, de massa m e calor específico c , transfere para o ambiente, durante esse intervalo de tempo, a quantidade infinitesimal de calor [3]

$$dQ = -mcdT, \quad (2)$$

em que $-dT$ corresponde à variação infinitesimal de temperatura, devido ao resfriamento da substância. Então, pode-se escrever:

$$\frac{dQ}{dt} = -mc \frac{dT}{dt} = \alpha A(T - T_a) \rightarrow \frac{dT}{dt} = -\left[\frac{\alpha A}{mc}\right] (T - T_a) = -k(T - T_a), \quad (3)$$

em que k é uma constante característica dos sistemas.

Supondo que a substância esteja à temperatura T_0 no instante inicial t_0 , e à temperatura T no instante $t > t_0$, integra-se a equação diferencial (3), obtendo-se a relação:

$$T = T_a + (T_0 - T_a)e^{-k(t-t_0)}, \quad (4)$$

conhecida como “Lei de Resfriamento de Newton”.

Em termos da diferença de temperatura entre a substância e o ambiente,

$$\Delta T = T - T_a, \quad (5)$$

podemos reescrever a equação (4) na forma:

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-kt}, \quad (6)$$

em que

$$\Delta T_0 = T_0 - T_a, \quad (7)$$

é a diferença de temperatura no instante inicial $t_0 = 0$.

3. Experimentos

Procedimento experimental

- Coloque o Becker sobre o fogareiro elétrico e coloque a água até a metade do Becker, ligue e aqueça a água até na iminência da fervura e desligue, certifique que a água não esteja borbulhando pois há risco de respingar e causar queimaduras.
- Enquanto a água está aquecendo, cada equipe prepara os respectivos sensores de temperatura.
- Ligue os sensores de temperatura longe do fogareiro elétrico e conecte no celular pelo aplicativo SPARKvue [2], prepare o sensor para registro de dados no modo gráfico e display numérico e registre a temperatura do ambiente T_a antes de ser imerso na água na respectiva coluna da equipe da Tabela 1.
- Insira o sensor na água e inicie o registro simultâneo pelas equipes. A temperatura inicial T_0 em $t = 0,00 \text{ min}$ deve ser similar para todas as equipes.
- A cada dois minutos, registre a temperatura na respectiva coluna da equipe da Tabela 1.
- Ao completar a respectiva coluna da equipe da Tabela 1, compartilhe os resultados com outras equipes, complete a Tabela 1 e desligue o sensor.
- Certifique que a água já esteja morna para ser retirado do forrageiro elétrico e a água transferido de volta à garrafa.

| Tabela 1 | Equipe 1 | Equipe 2 | Equipe 3 | Equipe 4 |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $T_a(^{\circ}\text{C})$ | | | | |
| $t(\text{min})$ | $T(^{\circ}\text{C})$ | $T(^{\circ}\text{C})$ | $T(^{\circ}\text{C})$ | $T(^{\circ}\text{C})$ |
| 0,00 | | | | |
| 2,00 | | | | |
| 4,00 | | | | |
| 6,00 | | | | |
| 8,00 | | | | |
| 10,00 | | | | |
| 12,00 | | | | |
| 14,00 | | | | |
| 16,00 | | | | |
| 18,00 | | | | |
| 20,00 | | | | |
| 22,00 | | | | |
| 24,00 | | | | |
| 26,00 | | | | |
| 28,00 | | | | |
| 30,00 | | | | |
| 32,00 | | | | |
| 34,00 | | | | |
| 36,00 | | | | |
| 38,00 | | | | |
| 40,00 | | | | |

Atividade experimental 2

4. Análises

- a) Identifique as variáveis das quantidades físicas e o erro de escala dos instrumentos de medida utilizados na experiência e anote na Tabela 2.

| Tabela 2 | | | |
|--------------|-------------------|-------------|----------------|
| Variável | Quantidade Física | Instrumento | Erro de escala |
| Independente | | | |
| Dependente | | | |

- b) Análise estatística das medidas realizadas.

A partir das medidas da Tabela 1, calcule e preencha na Tabela 3:

- A temperatura ambiente média \overline{T}_a .
- A temperatura média \overline{T} .
- O desvio médio da temperatura $\overline{\Delta T}$.
- O desvio padrão da temperatura σ_T .
- A diferença da temperatura média em relação a temperatura ambiente média $\Delta T = \overline{T} - \overline{T}_a$. Não confundir desvio médio da temperatura $\overline{\Delta T}$ com diferença de temperatura ΔT .

| Tabela 3 | $\overline{T}_a(^{\circ}\text{C}) =$ | | | |
|-----------------|--------------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
| $t(\text{min})$ | $\overline{T}(^{\circ}\text{C})$ | $\overline{\Delta T}(^{\circ}\text{C})$ | $\sigma_T(^{\circ}\text{C})$ | $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ |
| 0,00 | | | | |
| 2,00 | | | | |
| 4,00 | | | | |
| 6,00 | | | | |
| 8,00 | | | | |
| 10,00 | | | | |
| 12,00 | | | | |
| 14,00 | | | | |
| 16,00 | | | | |
| 18,00 | | | | |
| 20,00 | | | | |
| 22,00 | | | | |
| 24,00 | | | | |
| 26,00 | | | | |
| 28,00 | | | | |
| 30,00 | | | | |
| 32,00 | | | | |
| 34,00 | | | | |
| 36,00 | | | | |
| 38,00 | | | | |
| 40,00 | | | | |

- c) Análise da equação teórica.

Linearize a equação (6) para construção do gráfico linear no papel milimetrado e escreva as relações para:

| | |
|-------------------------------|-----|
| Variável independente: $x' =$ | |
| Variável dependente: $y' =$ | |
| Coefficiente angular: $a' =$ | (8) |
| Coefficiente linear: $b' =$ | |

- d) Construção e análise do gráfico linear no papel milimetrado.

- i. Calcule e preencha a Tabela 4, utilizando as relações (8) e os valores da Tabela 3.

[illegible]

- ii. A partir da Tabela 4, construa um gráfico linear no papel milimetrado.
- iii. Indique na reta obtida, os pontos P_1 , P_2 e P_3 . Apresente os valores lidos com suas respectivas unidades e calcule o valor do coeficiente angular e coeficiente linear com suas respectivas unidades e escreva a equação experimental obtida.

$$\text{Equação experimental (papel milimetrado):} \quad (9)$$

- e) Construção e análise do gráfico linear no Excel.

- i. A partir da Tabela 4, construa um gráfico linear no Excel. Encontre o melhor ajuste da linha de tendência da curva pelo valor do R-quadrático (próximo de 1).
- ii. Leve em consideração o erro de escala dos instrumentos de medidas identificado na Tabela 2 e escreva a equação experimental obtida.

| |
|-------------------------------|
| Equação experimental (Excel): |
|-------------------------------|

| |
|------|
| (10) |
|------|

f) Resultados

A partir das equações obtidas (9) e/ou (10) e as relações (8):

- i. Obtenha o valor da constante k com sua respectiva unidade.
- ii. Calcule ΔT_0 teórico e o erro percentual em relação ao valor experimental.
- iii. Mostre que o tempo necessário para que a diferença de temperatura caia para a metade de seu valor inicial é dado por: $\frac{\ln(2)}{k}$. Indique esse valor nos gráficos (papel e Excel), e verifique se está coerente.

5. Conclusões

Com os resultados obtidos tente responder as perguntas feitas no início da investigação, e escreva a conclusão.

Referências

[1] <https://www.pasco.com/downloads/sparkvue> consultado em 16 de janeiro de 2024.

[2] <https://help.pasco.com/sparkvue/getting-started/collect-visualize-and-analyze-data/> consultado em 16 de janeiro de 2024.

[3] HALLIDAY, D., RENSICK, R. e WALKER, J. – Fundamentos de Física – Volume 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica – Livros Técnicos e Científicos Editora – 8ª Edição.