Experiência VI (aula 10)
Resfriamento de um líquido

1. Objetivos
2. Introdução
3. Arranjo e procedimento experimental
4. Análise de dados
5. Referências

1. Objetivos

A partir de um arranjo experimental bastante simples, vamos estudar a lei de resfriamento de uma solução de glicerina. Além da familiarização com experimentos envolvendo o conceito de temperatura, vamos extrair empiricamente uma lei física através de uma análise gráfica dos dados.

2. Introdução

Assim como a Mecânica, a Termodinâmica é uma das áreas mais fundamentais da Física. Os conceitos de *temperatura* e *calor* estão sempre presentes no nosso cotidiano, por exemplo, quando cozinhamos um alimento, ao tomamos banho, por exemplo. Outro conceito diretamente relacionado com temperatura e calor que também está presente no nosso cotidiano é o conceito de *troca de calor*.

A temperatura de um corpo é uma medida do grau de agitação de suas moléculas. Quando a temperatura de um corpo é suficientemente baixa, suas moléculas quase não se movimentam, seja esse movimento de translação, rotação ou ainda de vibração. Por outro lado, para temperaturas suficientemente altas, as moléculas estão em constante agitação. A grande importância da temperatura é que, além de ser uma medida de fácil aquisição experimental, podemos relacioná-la com várias outras grandezas de interesse.

Como em toda física experimental, para efetuarmos uma medida de temperatura também necessitamos de um instrumento de medição. O instrumento de medida mais conhecido para efetuarmos medidas de temperatura é sem dúvida o termômetro. Utilizamos esse aparelho frequentemente para medirmos nossa temperatura quando estamos com suspeita de febre. Seu princípio de funcionamento é bastante simples.

Quando o material que o compõe entra em equilíbrio térmico com a temperatura do nosso corpo (ou do ambiente em que está inserido), sua escala estaciona num determinado valor, que é a temperatura corporal (ou do ambiente). Em geral utiliza-se o termômetro de coluna de mercúrio (ou de álcool) cuja propriedade termométrica é a *dilatação volumétrica dos líquidos* com a temperatura.

Outro instrumento de medida de temperatura é o termopar metálico que apresenta o *efeito termoelétrico*, pelo qual é produzida uma *diferença de potencial* elétrico na junção de dois materiais distintos (força eletromotriz), que é dependente da diferença de temperatura entre as duas junções desses materiais.

É do conhecimento comum que dois corpos inicialmente em temperaturas diferentes, quando colocados em contato, depois de um certo tempo atingem um estado final em que suas temperaturas se igualam. É claro que o tempo necessário para que as temperaturas dos corpos em contato se igualem varia muito nas diferentes situações.

Por exemplo, sabemos que a areia da praia se aquece mais rapidamente que a água do mar. O tempo gasto para um sistema atingir o equilíbrio térmico pode depender de vários fatores, como a própria composição química dos materiais e do reservatório térmico utilizado na experiência.

Vamos considerar aqui um sistema formado por uma amostra de glicerina dentro de um tubo de ensaio no qual está inserido um termopar para a medição de temperatura. Este sistema é colocado dentro de um cilindro no qual há um fluxo de ar controlado. Vamos aquecer esse sistema até temperaturas em torno de 110ºC e esperar seu resfriamento até atingir a temperatura ambiente. Desejamos saber qual é a função matemática que descreve o resfriamento da glicerina.

A fim de explicarmos a lei do resfriamento da glicerina do ponto de vista teórico, considerou-se um modelo [1] que leva em conta considerações geométricas sobre o reservatório térmico e a capacidade térmica dos materiais que compõem a glicerina. A partir deste modelo, podemos prever que a temperatura da solução de glicerina (T) decai exponencialmente da seguinte forma:

$$\Delta T = T - T_R = \left(T_0 - T_R\right)e^{-t/\tau} \tag{1}$$

onde T_O e T_R são a temperatura inicial da glicerina e a temperatura do reservatório, respectivamente. A partir da equação acima, vemos que a temperatura do sistema decai exponencialmente com uma constante de decaimento τ, cujo valor depende das considerações mencionadas acima.

Como conhecemos a temperatura do sistema e as medidas de tempo, é possível determinarmos o tempo característico τ, supondo a lei (1).

3. Arranjo e procedimento experimental

O arranjo experimental utilizado nesta experiência está esquematizado na Figura 1. Ele consiste de um tubo de ensaio com uma certa quantidade de glicerina na qual está imerso um termopar para a medição da temperatura. Este conjunto é colocado dentro de um cilindro no qual há fluxo de ar controlado (por um *cooler*).

Vamos usar simultaneamente dois termopares – um para o reservatório e outro para o líquido – e medir diretamente a diferença entre as temperaturas: $(\Delta T = T - T_R)$.

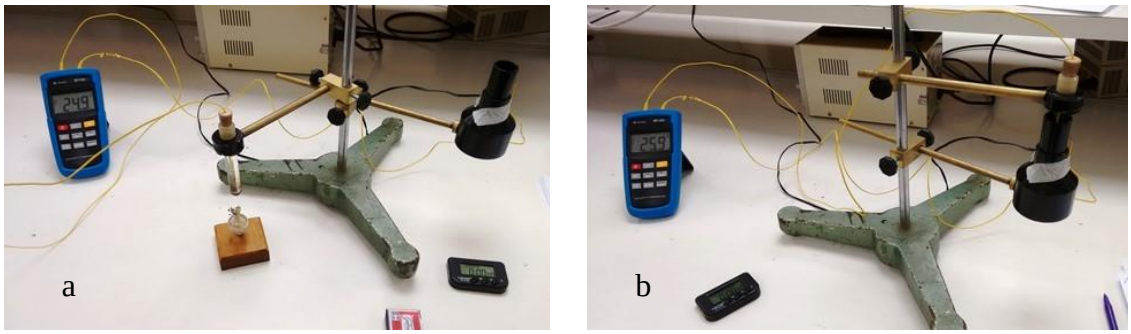

Figura 1: Imagens do arranjo experimental utilizado. Na situação (a) um termopar está inserido no tubo de ensaio que se aquece e outro está afixado externamente ao cilindro com o *cooler* para a medição de T_R, enquanto na situação (b) o tubo de ensaio com glicerina é inserido no cilindro com *cooler* para resfriamento.

O tubo de ensaio vai ser lentamente aquecido a partir de uma temperatura inicial, que é a temperatura ambiente. Antes de aquecer a glicerina meça a altura ***h*** de líquido no tubo de ensaio. Em seguida, posicione o termopar aproximadamente no nível médio de altura da glicerina. Inicie o processo de aquecimento com o auxílio de uma chama, aproximando e afastando a chama do tubo de ensaio. Quando o sistema atingir temperaturas da ordem de 115ºC (ΔT~95 ºC) insira o tubo de ensaio no cilindro com fluxo de ar, tomando o cuidado de não encostar o tubo de ensaio nas laterais e no fundo do cilindro. Observe a diminuição de temperatura e quando a diferença de temperaturas registrar ~90ºC, dispare o cronômetro para iniciar a tomada de dados.

A fim de tomarmos medidas mais precisas, é conveniente anotarmos intervalos regulares de temperatura, por exemplo, marcando variações de 5 ºC na temperatura da glicerina (T_R é constante). Para isso, um dos

componentes da equipe observa o cronômetro e dá um aviso ao companheiro a cada decréscimo de 5 ºC na temperatura. O companheiro, então, anota o tempo correspondente ao decréscimo na temperatura. A tomada de dados deve prosseguir até que a temperatura da glicerina seja aproximadamente 5 ºC superior a temperatura ambiente.

4. Análise de dados

Organize os dados de temperatura e tempo numa tabela. Não se esqueça que a equação (1) descreveria, em princípio, a diferença entre a temperatura da glicerina e a temperatura do reservatório a cada instante de tempo **t**.

Faça um gráfico da diferença de temperaturas em função do tempo utilizando um papel milimetrado. Qual é a forma da curva formada pelos pontos experimentais?

Isso confirma a descrição teórica feita através da equação (1)?

Conforme você já deve ter percebido, o papel milimetrado é bastante apropriado quando desejamos fazer gráficos de funções que são lineares. Para outras funções, entretanto, não conseguimos extrair muitas informações quando o utilizamos. Isso é decorrência de nossa dificuldade em trabalhar com funções que não são lineares. Dessa forma, uma maneira de linearizarmos um conjunto de dados consiste em utilizar escalas logarítmicas ao invés de escalas lineares. Para esse propósito, foram criados papeis gráficos especiais nos quais uma (ou ambas) escala(s) é graduada logaritmicamente.

Para uma descrição detalhada sobre a utilização dos papéis monolog e dilog, consulte o capítulo IV da apostila.

Faça um gráfico de ΔT em função do *tempo* utilizando um papel monolog. Qual é o formato da curva agora? Quantas constantes de decaimento há no resfriamento da glicerina?

A partir dos dados no papel monolog, verifique que a constante de decaimento τ é simplesmente o inverso do coeficiente angular da curva graficada acima. Determine a constante de decaimento τ. Compare com o valor do tempo característico obtido pelas outras equipes.

A partir do gráfico final feito para a glicerina, obtenha os tempos necessários para que a **temperatura da glicerina** atinja as seguintes temperaturas: 65 ºC, 44,5 ºC e 31,3 ºC.

Questão:

A taxa de decaimento da ocorrência de uma certa doença é descrita pela equação

$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

Na Tabela 1 temos alguns valores do número de ocorrências da doença em função do número de anos.

Tabela 1. Ocorrências de uma certa doença para alguns anos.

t (anos)	1,1	2	4,7	5,5	6,7
N(t)	50	33	10	7	4

Determine os parâmetros N_O e *k*, a partir de uma análise gráfica desse conjunto de dados.

5. Referências:

1. J. C. Sartorelli, Y. Hosoume e E. M. Yoshimura, Rev. Bras. Ens. de Fis., **21,** 116 (1999).
2. Introdução as Medidas em Física, Notas de Aula, Instituto de Física da USP (2004).