



LABORATÓRIO DE FÍSICA A PARA A ESCOLA POLITÉCNICA

Nome: _____ nº USP: _____ Turma: _____

Nome: _____ nº USP: _____ Turma: _____

Nome: _____ nº USP: _____ Turma: _____

Data _____ Professor(a) _____

6. Lei de Resfriamento de Newton

1. Objetivos

Conceitos envolvidos: temperatura, equilíbrio térmico. Extrair uma lei física empiricamente através de gráficos

2. Introdução

Medidas de temperatura fazem parte do nosso cotidiano. Por exemplo, quando todos os dias nós ouvimos a previsão do tempo e decidimos o que vestir. Nosso primeiro contato com um termômetro foi quando éramos um bebê e a preocupação de nossas mães era se estávamos com febre.

Numa medida de temperatura o conceito envolvido é o de equilíbrio térmico: dois corpos em contato atingem, depois de certo tempo, um estado final de equilíbrio com temperaturas iguais. Assim, quando estamos com febre nossa temperatura inicial é maior que temperatura inicial do termômetro e após o contato, no estado final, a temperatura do termômetro é igual a nossa e assim podemos saber a nossa temperatura. O instrumento de medida de temperatura mais comum é o termômetro de coluna de mercúrio que se dilata com o aumento da temperatura. A escala de temperatura utilizada aqui é a escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$), mas alguns países usam a escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) e textos científicos utilizam a escala Kelvin (K) a que atribui 273 K ao 0°C . Essa última escala é particularmente interessante e por isso mesmo utilizada quando, em laboratórios de pesquisa, trabalhamos com baixas temperaturas na região do nitrogênio líquido (77K) ou com ultra baixas temperaturas na região do hélio líquido (4,2 K).

Existem outros instrumentos de medida de temperatura. Um que vamos utilizar na nossa experiência é o termopar que é a junção de dois materiais metálicos que por causa dessa junção apresentam uma diferença de potencial elétrico. Como esse potencial elétrico depende da temperatura é possível calibrar como um termômetro.

A temperatura de um gás está relacionada com a energia cinética média das moléculas desse gás. Um aumento de temperatura implica em um aumento da agitação térmica e em um aumento da velocidade das moléculas. A grandeza

macroscópica a ser medida é a temperatura e a área da Física a ser estudada é a termodinâmica que é uma das áreas fundamentais da Física com importância, não só na Física, mas também em outras áreas como Química, Meteorologia, Biologia e Geologia. Isso porque quando estudamos sistemas naturais as leis da termodinâmica são obedecidas. Elas fazem parte do nosso cotidiano.

Q1. Faça uma lista de situações do cotidiano em que se observam trocas de calor.

Q2. Discuta quais os fatores que podem influenciar na temperatura de equilíbrio de dois corpos em contato e no tempo necessário para atingi-la.

Q3. Vamos tentar avaliar as seguintes temperaturas:

- de um banho no chuveiro: _____
- do interior da geladeira: _____
- do interior do freezer: _____
- da superfície externa de um avião em vôo: _____
- do Sol: _____

3. Procedimento experimental

O arranjo experimental consiste de um tubo de ensaio com certa quantidade de glicerina no qual está imerso um termopar. O tubo é colocado dentro de um cilindro com fluxo de ar comprimido. As medidas deverão ser realizadas por grupos de no mínimo dois alunos para que se possa medir simultaneamente a temperatura de resfriamento e o tempo decorrido até a medida. Antes de iniciar o aquecimento meça a altura h da glicerina no tubo de ensaio e leia a temperatura do reservatório (T_R) com o termopar imerso no tubo de ar comprimido. Escreva o valor da altura h e da temperatura T_R com as respectivas incertezas experimentais e com o número de algarismos significativos corretos. ($h = \pm$) cm e ($T_R = \pm$) °C .

Inicie o processo de aquecimento lento aproximando e afastando a chama do tubo de ensaio. Pare o aquecimento quando a temperatura atingir 112°C e introduza o tubo de ensaio no cilindro com ar comprimido. Cuidado para não encostar o tubo de ensaio no fundo e nas laterais do cilindro, ou seja, garanta que o tubo de ensaio esteja em contato com o ar e não em contato com o cilindro o que modificaria os resultados obtidos. Quando o termopar indicar 110°C inicie a coleta de dados disparando o cronômetro. Para uma coleta de dados eficiente um dos dois alunos faz a leitura da temperatura de resfriamento e dá um aviso ao companheiro a cada decréscimo de 5°C. O companheiro anota o tempo lido no cronômetro. A tomada de dados deve prosseguir até que a glicerina atinja aproximadamente 5°C acima da temperatura ambiente. Organize seus dados de temperatura da glicerina e tempo medido na tabela 1e escreva as temperaturas com as respectivas incertezas experimentais e o número de algarismos significativos corretos. Acrescente uma coluna ΔT que representa a diferença entre a temperatura da glicerina e a temperatura do reservatório.

Tabela 1. Medidas efetuadas durante a realização do experimento sem propagação de incertezas.

Temperatura (°C)	$\Delta T = T - T_R$	tempo (seg)	$Ln(\Delta T)$
110		0	
105			
100			
95			
90			
85			
80			
75			
70			
65			
60			
55			
50			
45			
40			
35			
30			
25			
20			

Q4 Faça um gráfico de ΔT em função do tempo no computador. Que forma tem a curva traçada?

Q5 Qual é a temperatura final do sistema? Depois de quanto tempo ela é atingida?

Vamos considerar um modelo para o resfriamento da glicerina e a partir deste modelo podemos ver que a variação da temperatura de resfriamento da glicerina é proporcional à temperatura, o que resulta na expressão final que decai exponencialmente da seguinte forma:

$$\Delta T = T - T_R = (\Delta T_0) \exp(-t/\tau)$$

Onde T_0 é a temperatura inicial da glicerina, $\Delta T_0 = T_0 - T_R$ é a constante de tempo.

Para linearizar a função exponencial vamos fazer gráfico de $\ln(\Delta T)$ em função do tempo. **Se você já estudou propagação de incertezas faça a propagação calculando as incertezas de $\ln(\Delta T)$, completando a Tabela 2.**

Veja no apêndice a dedução da equação acima.

Tabela 2. Medidas efetuadas durante a realização do experimento com propagação de incertezas.

Temperatura (°C)	$\Delta T = T - T_R$	tempo (seg)	$\ln(\Delta T) \pm \sigma_{\ln(\Delta T)}$
110		0	
105			
100			
95			
90			
85			
80			
75			
70			
65			
60			
55			
50			
45			
40			
35			
30			
25			
20			

Q6 Faça o gráfico de $\ln(\Delta T)$ em função do tempo no computador. Obtenha a partir do gráfico acima a equação que descreve o resfriamento da glicerina:

$$\ln(\Delta T) = \ln(\Delta T)_0 - \frac{t}{\tau}$$

Comparando a equação acima com a equação obtida no ajuste:

$$y = a - bt$$

Temos que:

$$\tau = \frac{1}{b}$$

Equação _____

Se você já estudou propagação de incertezas faça a propagação para os parâmetros da equação acima, ou seja, escreva na forma $x \pm \sigma_x$.

Q7 Qual é tempo característico (τ) obtido? Compare com os valores obtidos pelas outras equipes. De que depende esse tempo?

Q8 Comentários e Conclusões

Apêndice:

3.1. Modelo físico para o resfriamento de um corpo em contacto com um reservatório térmico

Considere um corpo com temperatura T em contacto com um reservatório térmico a temperatura T_R e $T > T_R$, assim ocorre transferência de calor do corpo para o reservatório. A taxa de transferência de calor por unidade de tempo é:

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

Onde: k é a condutividade térmica e G é um fator que depende das características geométricas do sistema. Pois se os corpos forem bons ou maus condutores de calor e se as dimensões do sistema forem diferentes a situação também será diversa. Assim esses dois parâmetros fazem parte da nossa equação.

Podemos também escrever a nossa conhecida equação para troca de calor lembrando que como estamos resfriando o corpo $\Delta Q < 0$:

$$\Delta Q = mc\Delta T < 0$$

Dividindo a expressão acima por Δt , temos:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

No limite $\Delta t \rightarrow 0$, temos:

$$\frac{dQ}{dt} = mc \frac{dT}{dt}$$

Igualando as duas equações de transferência de calor temos:

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

ou como :

$$\tau = \frac{mc}{Gk}$$

A expressão fica:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{(T - T_R)}{\tau}$$

Como T_R é constante e $\Delta T = T - T_R$

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = -\frac{\Delta T}{\tau}$$

Ou

$$\frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -\frac{dt}{\tau}$$

Para obter a função $\Delta T(t)$ basta integrar a função acima.

Os limites de integração do tempo são 0 e t e os correspondentes de ΔT são:

$$\Delta T_0 = (T_0 - T_R) \text{ e } \Delta T = (T - T_R).$$

$$\int_{\Delta T_0}^{\Delta T} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = \int_0^t \frac{dt}{\tau}$$

$$\frac{\ln((T - T_R))}{(T_0 - T_R)} = -\frac{t}{\tau}$$

Ou reescrevendo:

$$\Delta T = (T - T_R) = (T_0 - T_R) \exp(-t/\tau)$$

Assim de acordo com o modelo desenvolvido o resfriamento é uma função exponencial decrescente com uma constante de tempo τ e é conhecido com lei de resfriamento de Newton.

5. Referências

- [1] J. C. Sartorelli, Y. Hosoume e E. M. Yoshimura, *Rev. Bras. de Ens. de Fis.* **21**,116(1999).
- [2] *Introdução às Medidas em Física*, Notas de Aula, Instituto de Física da Universidade de São Paulo (1994, 2002, 2004, 2013).