Movimento Retilíneo Uniforme

1 Objetivos

Estudar o Movimento Unidimensional realizando experimentos com um carrinho, em Movimento Retilíneo Uniforme, sobre um trilho de ar. Construir e análisar gráficos de grandezas físicas x e y relacionadas por uma dependência linear, isto é, por uma função $y = f(x)$, onde $f(x)$ obedece a equação de uma reta $y = ax + b$, com a e b constantes.

Para uma melhor compreensão dos resultados desta experiência, leia a seção 3 do texto "***Análise de dados para Laboratório de Física***".

2 Introdução Teórica

2.1 Movimento Unidimensional

Define-se movimento como sendo a mudança da posição de um corpo em relação a um determinado referencial. Então, se a posição do objeto for representada pelo vetor $\vec{r}$, este vetor será uma função do tempo, $\vec{r}(t)$. No caso de um movimento unidimensional, o vetor pode ser escrito com uma única componente que é função do tempo, $\vec{r}(t) = x(t)\hat{x}$ onde o vetor unitário $\hat{x}$ indica o sentido para onde o eixo dos x é crescente. Dadas duas posições da trajetória do objeto, x_1 e x_2, ocupadas respectivamente nos instantes t_1 e t_2, podemos definir a ***velocidade média***, $v_m(t_1 \to t_2)$, como sendo

$$v_m(t_1 \to t_2) = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{1}$$

onde, $\Delta x = x_2 - x_1$ é a variação da posição do corpo e $\Delta t = t_2 - t_1$ é a variação do tempo correspondente. A velocidade escalar instantânea v de um corpo é determinada a partir da sua velocidade média como

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \tag{2}$$

onde dx/dt é a derivada da função x em relação à variável t. Assim como a posição de um corpo pode variar, sua velocidade também pode. A rapidez com que a velocidade varia denomina-se ***aceleração***. A aceleração escalar média de um corpo, entre os instantes t_1 e t_2, é definida como

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

onde, $\Delta v = v_2 - v_1$ é a variação da velocidade do corpo e $\Delta t = t_2 - t_1$ é a variação do tempo correspondente. Assim como no caso da velocidade, pode-se definir a aceleração escalar instantânea de um corpo a partir da sua aceleração escalar média:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \tag{3}$$

onde dv/dt é a derivada da função v em relação à variável t.

2.2 Movimento Retilíneo Uniforme

Define-se Movimento Retilíneo Uniforme como sendo aquele movimento que tem ***velocidade escalar constante***. Pode-se dizer ainda que o móvel percorre distâncias iguais em intervalos de tempos iguais. Neste caso, a velocidade escalar instantânea coincide com a velocidade escalar média em qualquer instante. Pode-se obter então a ***equação horária do Movimento Retilíneo Uniforme***:

$$x(t) = x_0 + vt \tag{4}$$

A Eq.4 mostra que a posição $x(t)$ de um corpo em Movimento Retilíneo Uniforme em função do tempo t se comporta como uma função linear, do tipo

$$y = ax + b \tag{5}$$

O gráfico da variável y em função da variável x é uma reta, cujo coeficiente angular vale a e o coeficiente linear vale b. Comparando as equações 4 e 5 vemos que se fizermos o gráfico da função $x(t)$ na vertical pela variável t na horizontal, também encontraremos uma reta cujo coeficiente angular será a velocidade e o linear será a posição inicial do objeto.

Nesta prática iremos realizar um experimento de Movimento Retilíneo Uniforme com o trilho de ar, e vamos verificar que o gráfico realmente se aproxima de uma reta dentro das incertezas experimentais. Técnicas de análise de dados permitirão a obtenção da velocidade do carrinho e sua posição inicial.

Uma das principais características do método científico (e sua maior vantagem) é sua capacidade de fazer previsões acerca dos fenômenos naturais. Nesta prática iremos usar os dados do experimento para prever o tempo necessário para o carrinho do trilho de ar para percorrer uma distância diferente daquelas usadas inicialmente no experimento, e a sua incerteza. Em seguida, compara-se o valor previsto com um valor obtido experimentalmente para verificar a qualidade da previsão.

3 Material Necessário

Trilho de ar, cronômetro digital de interface com disparador eletrônico, sensores fotoelétricos, carrinho, papel milimetrado.

4 Procedimento Experimental

1. A Fig.1 mostra a fotografia do trilho de ar e seus acessórios que novamente serão utilizados neste experimento. Coloque a intensidade do gerador de fluxo de ar numa posição entre 2 e 3 e ligue-o. ***Atenção! nunca mova o carrinho sobre o trilho de ar sem que o gerador de fluxo de ar esteja ligado. Isso pode riscar e danificar definitivamente a escala do trilho de ar***. Neste experimento, o pequeno ímã deverá ser mantido no carrinho para prendê-lo no início do trilho de ar e possibilitar o seu movimento assim que a bobina de retenção e disparo for acionada.

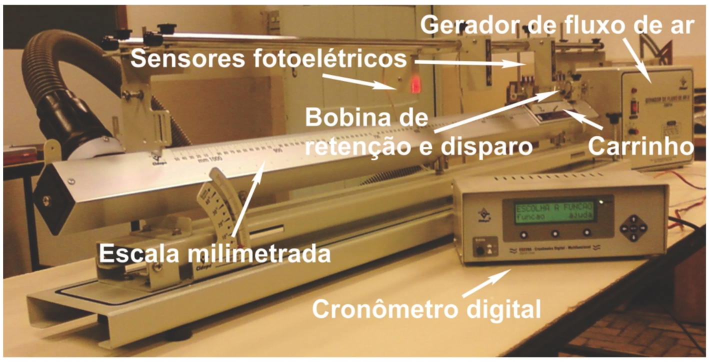

Fig. 1: Esquema do trilho de ar utilizado em nosso laboratório.

2. O sensor S_0 será mantido agora numa mesma posição enquanto o sensor S_1 ocupará diferentes posições para o registro de diferentes intervalos de tempo Δt do carrinho enquanto se movimenta sobre o trilho de ar. Como antes, o sensor S_0 é conectado na entrada S_0 e o sensor S_1 é conectado na entrada S_1 do cronômetro digital de interface. Após ligar o cronômetro digital de interface, use as orientações apresentadas na prática "***medidas físicas e o trilho de ar***" para conferir o alinhamento do sensor S_0 na posição $x_0 = 0,2700\ m$. Use essas mesmas orientações para alinhar cada uma das posições do sensor S_1 ao longo do experimento.

3. Faça o alinhamento do sensor S_1 na posição $x = 0,3500\ m$.

4. Para um teste de treinamento do uso do cronômetro digital, siga novamente os passos abaixo cuidadosamente e meça um intervalo de tempo de percurso do carrinho entre o sensor S_0 e o sensor S_1 no trilho de ar:

   (a) Ligar o cronômetro. Aparece na tela **Escolha a Função**.

   (b) Escolha a opção **função**, clicando a tecla 1.

   (c) Escolha a opção **OK**, clicando a tecla 2, para definir o número de sensores utilizados na experiência.

   (d) Escolha a opção N^o2, clicando a tecla 1, para definir o uso de 2 sensores.

   (e) Aparece na tela **Inserir Distância**. Note que no cronômetro digital a distância é simbolizada pela letra S. Escolha a opção **Não**, clicando a tecla 1. Nesse momento o cronômetro está preparado para o ***início da experiência***.

$x\ (m)$	$t_1\ (s)$	$t_2\ (s)$	$t_3\ (s)$
$0,3500$			
$0,4000$			
$0,4500$			
$0,5000$			
$0,5500$			
$0,6000$			
$0,6500$			
$0,7000$			
$0,7500$			
$0,8000$			
$0,8500$			

Tab. 1: Tabela de dados

5. Aperte o botão disparador da fonte da bobina de retenção e disparo para impulsionar o carrinho no trilho de ar e dar início ao experimento.

6. Aparece na tela do cronômetro **Exp. Finalizado**. Escolha a opção **Ver**, clicando a tecla 1, para ver o resultado da medida. Aparece na tela do cronômetro **Resultados**. Escolha a opção **t**, clicando a tecla 1, para ver e anotar o intervalo de tempo que o carrinho gasta para percorrer a distância entre os dois sensores. Escolha a opção **OK**, clicando a tecla 2 e, em seguida, a opção **Sair**, clicando a tecla 3, para retornar aos recursos anteriores.

7. Escolha a opção **Repetir**, clicando a tecla 2 para novamente dar início a experiência. Repita a experiência 3 vezes e anote todos os valores dos intervalos de tempo correspondentes t_1,t_2, t_3 na Tab.1.

8. Repita todo o procedimento anterior para outras posições do sensor S_1 indicadas na Tab.1.

9. Ao final do experimento, faça mas 3 medidas de tempo para duas novas posições, $x = 0,5700\ m$ e $x = 0,9500\ m$ e anote os resultados em uma nova tabela, diferente da tabela 1. Estes valores serão usados para verificar a capacidade de previsão teórica da nossa análise de dados.

10. Desligue o gerador do fluxo de ar e o cronômetro digital.

5 Análise de dados

1. Calcule o valor médio $\langle t\rangle$ das 3 medidas de tempo, o valor da incerteza total $u(t)$ de cada medida e anote-os em uma nova tabela, organizada como a tabela 2. No cálculo da incerteza total, despreze a incerteza do cronômetro e admita que a incerteza aleatória seja dada pelo ***desvio padrão da média*** σ_m. Não esqueça de ajustar a incerteza para um algarismo significativo e o valor médio para o mesmo número de casas decimais da incerteza.

$(\langle t\rangle \pm u(t))\ (s)$	$x(m)$
	$0,3500$
	$0,4000$
	$0,4500$
	$0,5000$
	$0,5500$
	$0,6000$
	$0,6500$
	$0,7000$
	$0,7500$
	$0,8000$
	$0,8500$

Tab. 2: Tabela para análise

2. Para construir o gráfico da ***posição*** do carrinho em função do ***tempo médio*** $\langle t\rangle$, marque os pontos da Tab. 1 no papel milimetrado 1 anexo. No gráfico, coloque ***barras de erro*** na horizontal, referentes as medidas dos tempos, com magnitudes iguais às incertezas $u(t)$ associadas a essas medidas.

3. Com base na análise do gráfico, é possível afirmar que o mesmo é uma ***função linear***?

5.1 Cálculo dos coeficientes pelo método gráfico

4. No gráfico obtido no item anteior, desenhe a melhor reta que se ajuste aos dados experimentais. Recomenda-se utilizar o procedimento descrito na apostila "Análise de Dados";

5. Obtenha os valores dos coeficientes do ajuste e suas incertezas. Quanto vale a velocidade do carrinho? Quanto vale sua posição inicial?

6. Identifique no gráfico os pontos $x = 0,5700\ m$ e $x = 0,9500\ m$. Verifique graficamente o valor do tempo nessas duas posições, e estime incertezas para cada um. Compare com o valor obtido experimentalmente.

5.2 Cálculo dos coeficientes pelo método dos mínimos quadrados

7. Faça um novo gráfico da ***posição*** do carrinho em função do ***tempo médio*** $\langle t \rangle$, mas desta vez não ajuste qualquer reta ainda.

8. Obtenha os valores dos coeficientes do ajuste e suas incertezas usando sua calculadora ou o método dos mínimos quadrados. Quanto vale a velocidade do carrinho? E sua posição inicial?

9. Compare os valores obtidos pelo método dos mínimos quadrados com os valores obtidos pelo método gráfico;

10. Escreva a equação horária do M.R.U com os coeficientes obtidos acima pelo método dos mínimos quadrados, ou seja, $x(t) = v\,t + x_0$;

11. Use dois instantes quaisquer QUE NÃO ESTÃO NA TABELA, O MAIS AFASTADOS ENTRE SI, e calcule duas posições usando a equação do item anterior. Use os dois pontos para traçar uma reta por cima dos dados experimentais. Esta reta é a obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.