Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)

Teoria

O **deslocamento** Δx de um corpo que se move em linha reta é definido como a variação da sua posição, conforme as coordenadas do eixo que representa a direção do deslocamento:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

A **velocidade média** com que um corpo se desloca é a razão entre o deslocamento $(x_2 - x_1)$ e o intervalo de tempo $(t_2 - t_1)$ durante o qual o deslocamento ocorre:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \tag{1}$$

Quanto menor for o intervalo de tempo Δt durante o qual observamos o movimento do corpo, mais nos aproximamos de determinar a **velocidade instantânea**, ou simplesmente velocidade:

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

Como podemos ver, a velocidade instantânea é a derivada da função posição com relação ao tempo, no instante t considerado. Assim, se traçarmos um gráfico de x em função de t, a inclinação em cada ponto deve corresponder idealmente à velocidade instantânea.

Para o caso de um **movimento retilíneo uniforme**, não há aceleração, e por isso espera-se que a velocidade instantânea não varie, e que seja igual à velocidade média calculada entre quaisquer dois instantes no percurso. Assim, de (1), obtemos, para um deslocamento entre as posições x_0 e x:

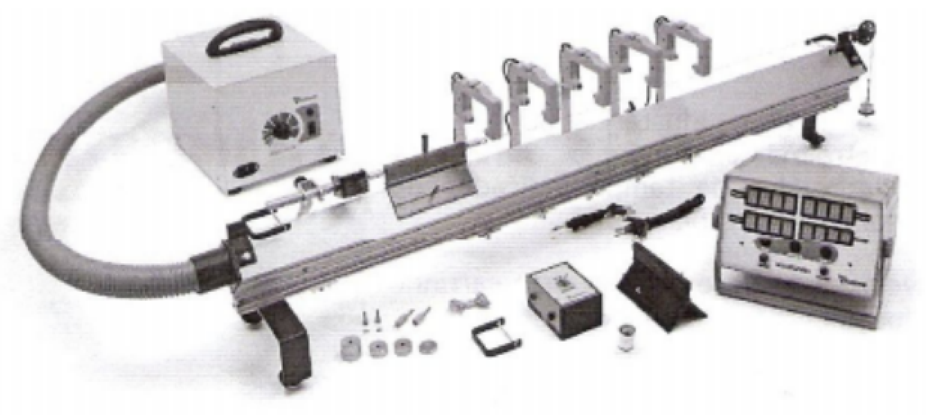
$$x = x_0 + v\Delta t$$

Se considerarmos $t_0 = 0$ e t o instante final do movimento:

$$\boxed{x = x_0 + vt}$$

que corresponde à equação horária do movimento retilíneo uniforme.

Equipamento



Para realizar um experimento objetivando a análise do movimento descrito por um corpo, devemos ser capazes de medir diretamente ao menos duas grandezas: o tempo e a posição. A partir delas, podemos obter indiretamente grandezas como velocidade e aceleração.

Um equipamento muito difundido para o estudo didático do movimento retilíneo, desenvolvido na década de 60 [1], é o chamado “trilho de ar”, projetado de forma a tentar eliminar ao máximo a influência de forças dissipativas como o atrito. Isto é feito proporcionando-se uma camada de ar (“colchão de ar”) por sobre a qual um objeto, chamado de “carrinho”, flutua e pode deslizar livremente.

O trilho de ar é constituído por um tubo de alumínio oco, cuja seção tem um perímetro externo triangular, através do qual, por intermédio de uma mangueira conectada a uma máquina sopradora, é gerado um fluxo de ar. O trilho possui pequenos orifícios por onde continuamente escapa o ar, e este efeito é capaz de levitar o “carrinho” posicionado acima do trilho, eliminando quase todo o atrito, e permitindo a ele deslizar livremente. O carrinho é por vezes chamado de “cavaleiro”.

O registro do movimento do carrinho é realizado por dispositivos auxiliares. Este registro pode se dar por meio de um faiscador acoplado ao carrinho, emitindo centelhas a uma frequência bem definida, que marcam uma fita de papel termossensível grudada à região do percurso do carrinho, ou por meio de sensores que marcam o instante em que ele passa por determinada posição. Neste último caso, os sensores podem ser fotoelétricos, registrando a passagem com um cronômetro digital, com o auxílio de um anteparo acoplado ao carrinho.

É possível utilizar o trilho de ar, graças à amenização do atrito, para estudar o movimento retilíneo uniforme de corpos, no qual deve estar ausente qualquer aceleração na direção do movimento.

Referências

[1] Neher, H. V. and Leighton, R. B. (1963) Linear Air Trough. American Journal of Physics, 31 (4). pp. 255-262.

Laboratório de Mecânica Clássica - Roteiro de Atividades

Integrantes:

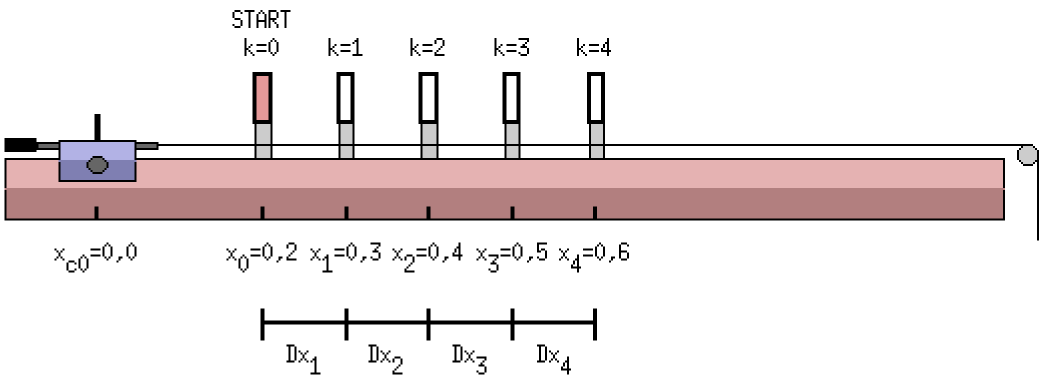
1 - ______________________	4 - ______________________
2 - ______________________	5 - ______________________
3 - ______________________	6 - ______________________

Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)

Experimento

Marque com um ✔ em cada ◯ correspondente ao item já realizado.

1. Para este experimento, usaremos o trilho de ar. Vamos posicionar o carrinho e os sensores conforme a figura abaixo: ◯



   Chamaremos o sensor mais próximo ao eletroímã de sensor 0 ($k = 0$). Este sensor, pelo qual o carrinho passará primeiro, acionará o cronômetro (START). Os demais sensores serão numerados $k = 1$, $k = 2$, $k = 3$ e $k = 4$.

2. Posicionar o carrinho junto ao eletroímã no extremo do trilho, **sem arrastá-lo pelo trilho**, e ajustar a posição do sensor 0 para que distância entre o meio do sensor e o centro de massa do carrinho seja de $0,200\,\mathrm{m}$. ◯

3. **Adicionar peso de 40 g ao carrinho** (20 g de cada lado). ◯

4. Definir $x_0 = 0,200\,\mathrm{m}$ como sendo a posição do sensor 0. Com isto em mente, posicionar o sensor 1, o primeiro a registrar o tempo de percurso, na posição $x_1 = 0,300\,\mathrm{m}$. Da mesma forma, posicionar os outros 3 sensores em $x_2 = 0,400\,\mathrm{m}$, $x_3 = 0,500\,\mathrm{m}$ e $x_4 = 0,600\,\mathrm{m}$ (**SÃO VALORES RELATIVOS À POSIÇÃO INICIAL** $x_{c0} = 0$ **DO CARRINHO, E NÃO NECESSARIAMENTE OS VALORES ABSOLUTOS INDICADOS PELA RÉGUA DO TRILHO**). ◯

5. Adicionar pesos de 20 g no porta-peso que está fixado à ponta do barbante. A massa do porta-peso é de 8 g. Logo, a massa total a ser considerada é de $m = 28$ g.

6. Verificar se o barbante está devidamente fixado ao carrinho e ao porta-pesos, e passando pela roldana.

7. Ligar o fluxo de ar.

8. **No experimento, o porta-peso e o peso que puxam o carrinho devem cair na mesa antes do carrinho passar pelo sensor** 0**.** Verificar isto.

9. Posicionar o carrinho junto ao eletroímã. Ligar o eletroímã.

10. Zerar o cronômetro e ajustar a **função** $\boxed{\textbf{F1}}$. Com esta função, o cronômetro inicia a contagem com a passagem do carrinho pelo sensor 0 e registra os intervalos de tempo, desde o início da contagem, nos demais sensores.

11. Preparar para realizar o experimento. Desligar o eletroímã, soltando o carrinho, e registrar nos cronômetros os intervalos de tempo. Preencher a tabela 01, na qual em cada coluna devem ser anotados os tempos cronometrados para todos os sensores em cada uma das 3 execuções do experimento.

Table 1: Massa do porta-peso: $m = 28$ **g**

k	x_k(m)	$t^{(1)}$(s)	$t^{(2)}$(s)	$t^{(3)}$(s)
0	$x_0 = 0,200$	—	—	—
1	$x_1 = 0,300$			
2	$x_2 = 0,400$			
3	$x_3 = 0,500$			
4	$x_4 = 0,600$			

12. Repetir o experimento, desta vez com $m = 48$ g fixados à extremidade do barbante, preenchendo a tabela seguinte.

Table 2: Massa do porta-peso: $m = 48$ **g**

k	x_k(m)	$t^{(1)}$(s)	$t^{(2)}$(s)	$t^{(3)}$(s)
0	$x_0 = 0,200$	—	—	—
1	$x_1 = 0,300$			
2	$x_2 = 0,400$			
3	$x_3 = 0,500$			
4	$x_4 = 0,600$			

Análise dos dados

1. Na tabela seguinte, reproduza os dados colhidos na tabela de dados 1, obtenha o desvio-padrão da média dos tempos colhidos e expresse o resultados das medidas levando-se em conta o erro calculado.

Table 3: Massa do porta-peso $m = 28\,\mathbf{g}$

k	x_k(m)	$t^{(1)}$(s)	$t^{(2)}$(s)	$t^{(3)}$(s)	$\bar{t}_k$(s)	σ(s)	$\bar{t} \pm \sigma$ (s)
0	$x_0 =$	—	—	—	0,000	—	—
1	$x_1 =$				$\bar{t}_1 =$		
2	$x_2 =$				$\bar{t}_2 =$		
3	$x_3 =$				$\bar{t}_3 =$		
4	$x_4 =$				$\bar{t}_4 =$		

k=1

i	$(t_i - \bar{t})$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
1		
2		
3		
	Soma	

k=2

i	$(t_i - \bar{t})$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
1		
2		
3		
	Soma	

k=3

i	$(t_i - \bar{t})$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
1		
2		
3		
	Soma	

k=4

i	$(t_i - \bar{t})$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
1		
2		
3		
	Soma	

$$\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t})^2}{n-1}}$$

2. Na tabela seguinte, reproduza os dados colhidos na tabela de dados 2, obtenha o desvio-padrão da média dos tempos colhidos e expresse o resultados das medidas levando-se em conta o erro calculado.

Table 4: Massa do porta-peso $m = 48\,\mathbf{g}$

k	x_k(m)	$t^{(1)}$(s)	$t^{(2)}$(s)	$t^{(3)}$(s)	$\bar{t}_k$(s)	σ(s)	$\bar{t} \pm \sigma$ (s)
0	$x_0 =$	—	—	—	0,000	—	—
1	$x_1 =$				$\bar{t}_1=$		
2	$x_2 =$				$\bar{t}_2=$		
3	$x_3 =$				$\bar{t}_3=$		
4	$x_4 =$				$\bar{t}_4=$		

k=1

i	$(t_i - \bar{t})$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
1		
2		
3		
	Soma	

k=2

i	$(t_i - \bar{t})$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
1		
2		
3		
	Soma	

k=3

i	$(t_i - \bar{t})$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
1		
2		
3		
	Soma	

k=4

i	$(t_i - \bar{t})$ (s)	$(t_i - \bar{t})^2$ (s^2)
1		
2		
3		
	Soma	

$$\bar{t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \bar{t})^2}{n-1}}$$

3. Construir em papel milimetrado o gráfico $x = f(t)$ (posição versus tempo) usando os dados da tabela 3, referente ao experimento com m=28 g no porta-peso **(considere a média do tempo como sendo o valor mais provável da medida de tempo)**. Qual sua forma?____

6_home_marcos_Dropbox_ufersa_disciplinas_Laborat__rio_de__Mec__nic

4. O gráfico mostra que as grandezas deslocamento e intervalo de tempo são __________ proporcionais. (diretamente / inversamente)

5. Em vista dos resultados obtidos, como você classifica o movimento do carrinho entre os sensores? Justifique.

6. Determinar os coeficientes angular e linear do gráfico $x = f(t)$, por meio de regressão linear, usando apenas os 4 pontos referentes aos sensores 1 a 4.
   Coeficiente angular $a =$ ___________
   Coeficiente linear $b =$ ___________

$$x = At + B \quad \longrightarrow \quad A = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i x_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} t_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} t_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} t_i\right)^2}, \quad B = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i - A\sum_{i=1}^{n} t_i}{n}$$

t_i	x_i	t_i^2	$t_i x_i$
$t_1 =$	$x_1 =$	$t_1^2 =$	$t_1 x_1 =$
$t_2 =$	$x_2 =$	$t_2^2 =$	$t_2 x_2 =$
$t_3 =$	$x_3 =$	$t_3^2 =$	$t_3 x_3 =$
$t_4 =$	$x_4 =$	$t_4^2 =$	$t_4 x_4 =$
$\sum_{i=1}^{n} t_i =$ $\left(\sum_{i=1}^{n} t_i\right)^2 =$	$\sum_{i=1}^{n} x_i =$	$\sum_{i=1}^{n} t_i^2 =$	$\sum_{i=1}^{n} t_i x_i =$

7. Qual é o significado físico do coeficiente linear do gráfico $x = f(t)$? Justifique.

8. O coeficiente linear calculado é coerente com os dados experimentais? Justifique.

9. Qual é o significado físico do coeficiente angular do gráfico $x = f(t)$? Justifique.

10. Escrever a equação horária do movimento do carrinho, em vista dos resultados obtidos nas questões acima, para o caso da tabela 01.

11. Com os dados da tabela 3, preencher as tabelas abaixo para as massas do porta-peso correspondentes, em que Δx, para o índice k correspondente, é a distância entre o sensor anterior $k-1$ e o sensor k, e Δt é o intervalo de tempo do percurso do carrinho entre o sensor anterior $k-1$ e o sensor k. Calcular a velocidade média correspondente conforme

$$\boxed{v_{m,k} = \frac{\Delta x_k}{\Delta t_k} = \frac{x_k - x_{k-1}}{t_k - t_{k-1}}}$$

Table 5: Massa do porta-peso: $m = 28\,\mathbf{g}$

k	x_k(m)	t_k(s)	Δx_k(m)	Δt_k(s)	$v_{m,k}$(m/s)
0	$x_0 = 0,200$	t_0=0,000	—	—	—
1	$x_1 = 0,300$	t_1=	$\Delta x_1 = 0,100$	$\Delta t_1 = t_1 - t_0 =$	$v_{m,1}$=
2	$x_2 = 0,400$	t_2=	$\Delta x_2 = 0,100$	$\Delta t_2 = t_2 - t_1 =$	$v_{m,2}$=
3	$x_3 = 0,500$	t_3=	$\Delta x_3 = 0,100$	$\Delta t_3 = t_3 - t_2 =$	$v_{m,3}$=
4	$x_4 = 0,600$	t_4=	$\Delta x_4 = 0,100$	$\Delta t_4 = t_4 - t_3 =$	$v_{m,4}$=
				Média	

7_home_marcos_Dropbox_ufersa_disciplinas_Labora___dades_trilho_ar_

12. Considerando uma tolerância de erro de 5%, o coeficiente angular calculado a partir do primeiro gráfico é coerente com os dados da tabela 5? (incluir cálculo)

13. Por que precisamos nos certificar de que o porta-pesos caísse na mesa antes do carrinho que ele estava puxando passar pelo sensor 0?

14. Usando a mesma escala, trace no mesmo gráfico $x = f(t)$ os valores das tabelas 01 e 02. Trace as retas que melhor se ajustam aos dois conjuntos de dados. Analisando os declives das retas, que considerações podemos fazer?

6_home_marcos_Dropbox_ufersa_disciplinas_Laborat__rio_de__Mec__nic

- **Média**

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

- **Desvio padrão**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n-1}}$$

- **Regressão Linear**

$$y = Ax+B \quad \longrightarrow \quad A = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}, \quad B = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i - A\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$