



BCJ0204 Fenômenos Mecânicos

Experimento 4 - Roteiro

Colisões Elásticas e Inelásticas

Professor: _____ Turma: _____ Data: ____/____/2016

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

(OBS: "Nome" como aparece no Tídiá)

Introdução

A lei da conservação do momento linear é tão importante quanto a lei de conservação de energia, além de muito útil, mesmo em situações nas quais as leis de Newton são inadequadas, como no caso de corpos que se deslocam com velocidades muito elevadas (próximas à velocidade da luz) ou de corpos microscópicos (como as partículas que constituem o átomo). No domínio da mecânica newtoniana, a lei de conservação de momento linear nos permite analisar muitas situações que se tornariam extremamente difíceis se tentássemos usar as leis de Newton diretamente. Entre essas situações estão os problemas que envolvem colisões, nos quais temos forças de interação mútua durante intervalos de tempo tipicamente pequenos. Em uma colisão, o momento total do sistema é conservado, isto é, o momento total inicial é igual ao final.

Uma **colisão elástica** em um sistema isolado é aquela na qual existe conservação tanto do momento linear quanto da energia cinética. Nas colisões entre corpos comuns, tais como nas colisões entre dois carros ou entre uma bola de bilhar e um taco, parte da energia é transformada de energia cinética para outras formas de energia, como, por exemplo, energia térmica e energia sonora. Isso significa que, nesses casos, a energia cinética não é conservada. As colisões em que parte da energia cinética é convertida para outras formas são denominadas **inelásticas**.

Objetivos

Neste experimento, será feita a análise de colisões de dois carrinhos que percorrem um trilho de ar, TENDO POR BASE A TEORIA DE COLISÕES EM UMA DIMENSÃO vista na parte teórica desta disciplina. Esta análise permitirá que o

estudante aprenda a distinguir entre os tipos de colisão na ausência de atrito e verifique a validade do princípio de conservação de momento linear e conservação de energia.

Materiais

- Trilho de ar linear
- Gerador de fluxo de ar
- Chave inversora
- Cronômetro digital
- Sensores fotoelétricos
- 2 Carrinhos deslizantes dotados de hastes verticais para bloqueio dos fotossensores
- Acessório para colisões elásticas (molas metálicas)
- Acessório para acoplamento inelástico (hastes com velcro / conector ponta-massa)
- Pesos de metal em forma de disco de 50g
- Balança
- Régua

Advertência

- Para não produzir arranhões na superfície do trilho de ar, nunca movimente os carrinhos sobre o mesmo sem que o gerador de fluxo de ar esteja funcionando.
- Verifique se a pista e a parte inferior do carrinho se encontram bem limpas; caso contrário, limpe-as com um pano úmido.
- Evite choques mecânicos fortes entre o carrinho e o trilho.
- Tenha cuidado com o equipamento. Uma queda de alguns centímetros pode inutilizar o carrinho por completo.

Procedimento Experimental

O conjunto experimental é o mesmo utilizado nos experimentos 1 e 2, com a adição de um carrinho a mais para a realização das colisões. Na parte I, estudaremos as colisões elásticas e verificaremos a validade dos princípios de conservação do momento linear e da energia. Trataremos das colisões totalmente inelásticas na parte II, verificando a conservação do momento linear e a quantidade de energia dissipada de acordo com a teoria. Para isso, deverão ser medidas as velocidades dos carrinhos antes e depois da colisão, bem como as suas massas. Em ambas as partes do experimento, o carrinho 2 (o “alvo”) deverá estar sempre em repouso antes de cada colisão.

A configuração inicial do experimento está ilustrada no desenho da figura 1. Note que os quatro primeiros fotossensores devem ficar dispostos de modo a permitir a medida das velocidades imediatamente antes e imediatamente depois da colisão. Desse modo, a distância entre os fotossensores 1 e 2 deve ser apenas um pouco maior que a distância mínima entre as hastes verticais dos carrinhos durante a colisão.

CUIDADO!!! É IMPRESCINDÍVEL QUE A COLISÃO OCORRA DEPOIS QUE O CARRINHO 1 (PROJÉTIL) TENHA ULTRAPASSADO O SENSOR 1 E QUE O CARRINHO 2 (ALVO) ESTEJA ESTACIONADO ANTES DO SENSOR 2!

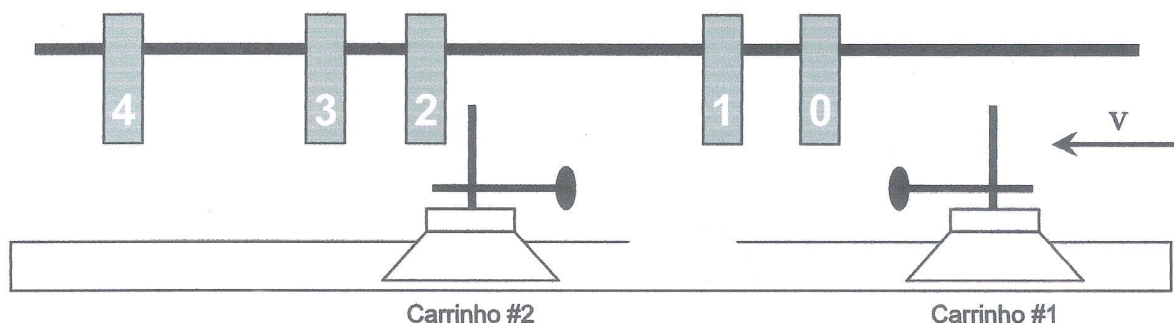


Figura 1. Diagrama esquemático do trilho de ar, com os carrinhos posicionados antes de cada colisão.

Note também que utilizaremos neste experimento apenas 4 dos 5 sensores disponíveis. O fotossensor 4 deve ser afastado para o final do trilho e servirá apenas para parar o cronômetro.

Finalmente, serão consideradas apenas as distâncias e tempos entre os sensores 0 e 1 e entre os sensores 2 e 3.

Preparação

1. Com o auxílio de uma régua, determine a distância entre os fotossensores. Note que estes últimos têm uma dimensão finita, a qual deve ser levada em conta ao se medir a distância entre eles.
2. Utilizando uma balança, meça as massas de cada carrinho e dos discos que serão utilizados.
3. Posicione os carrinhos no trilho, ligue o fluxo de ar e verifique se eles deslizam sem atrito.
4. Com o fluxo de ar ligado, verifique se o trilho está nivelado. Para isso, posicione um dos carrinhos no centro do trilho e veja se ele não se move preferencialmente para um dos lados. Se for necessário algum ajuste, chame um técnico.
5. Familiarize-se com os controles do cronômetro digital. Verifique se o mesmo está funcionando. Para isso, zere o cronômetro e, em seguida, obstrua os detectores com a mão em sequência, um a um. Efetuados os testes, zere o cronômetro novamente. Caso haja algum problema, chame o técnico do laboratório.

Parte I – Colisões elásticas

1. Monte os carrinhos com o acessório para colisões elásticas (molas) de acordo com as instruções do professor.
2. Carregue cada carrinho com duas massas de 50 g. As massas totais de cada carrinho devem ser aproximadamente iguais.

3. Posicione o carrinho 1 (projétil) no início do trilho, preso ao eletroímã, e o carrinho 2 (alvo), pouco antes do terceiro sensor (sensor 2), em repouso.
4. Acione a chave inversora para liberar o carrinho 1 e anote na Tabela 1(a) os tempos relativos aos intervalos entre os sensores 0 e 1 e entre os sensores 2 e 3 (vide figura 1).
5. Repita os passos 3 e 4 mais DUAS VEZES.

Análise

6. Calcule os valores da velocidade média (v_m) e complete a Tabela 1(a).
7. Calcule o momento linear (p) e energia cinética (K) do sistema antes e depois do choque, com as respectivas incertezas e preencha a Tabela 1(b).

Note que, como as massas dos carrinhos são iguais, o carrinho #1 deverá ficar parado (ou quase) após a colisão. Se isso não acontecer, verifique o nivelamento do trilho.

Parte II – Colisões inelásticas

1. Troque as molas dos carrinhos pelo acessório para acoplamento inelástico de acordo com as instruções do professor. Observe que, nesse caso, os carrinhos seguem unidos após a colisão.
2. Carregue cada carrinho com duas massas de 50 g. As massas totais de cada carrinho devem ser aproximadamente iguais.
3. Posicione o carrinho 1 (projétil) no início do trilho, preso ao eletroímã, e o carrinho 2 (alvo), pouco antes do terceiro sensor (sensor 2), em repouso.
4. Acione a chave inversora para liberar o carrinho 1 e anote na Tabela 2(a) os tempos relativos aos intervalos entre os sensores 0 e 1 e entre os sensores 2 e 3 (vide figura 1).
5. Repita os passos 3 e 4 mais DUAS VEZES.

Análise

6. Calcule os valores da velocidade média e complete a Tabela 2(a).
7. Calcule o momento linear (p) e energia cinética (K) do sistema antes e depois do choque, com as respectivas incertezas e preencha a Tabela 2(b).

Para calcular as incertezas, utilize as regras de propagação de erros. Para simplificar os cálculos **admita que as incertezas das massas é zero** ($\sigma_m = 0$).

QUESTÕES

QUESTÃO 1 (Para casa)

Escreva as fórmulas para cálculo das incertezas que serão utilizadas para preencher as tabelas.

Velocidade	$v = D/t$	$\sigma_v = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2} \cdot v$
Momento linear	$p = m v$	$\sigma_p = \pm (m \cdot \sigma_v)$
Energia cinética	$K = m v^2/2$	$\sigma_K = \pm (m \cdot v \cdot \sigma_v)$

QUESTÃO 2

Calcule a variação de momento Δp para o caso elástico e para o inelástico com as respectivas incertezas. Justifique, com os resultados, se houve ou não conservação de momento em cada caso (se necessário, use o verso).

<u>Elástico</u> Pegando os dados calculados da tabela. $\Delta p = p_f - p_i = 0,032 - 0,031 = 0,001 \pm 0,004$	<u>Inelástico</u> Pegando os dados calculados da tabela. $\Delta p = p_f - p_i = 0,020 - 0,019 = 0,001 \pm 0,005$
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

QUESTÃO 3

Calcule a variação de energia cinética, ΔK , para o caso elástico e para o inelástico com as respectivas incertezas. Justifique, com os resultados, se houve ou não conservação de energia em cada caso (se necessário, use o verso).

<u>Elástico</u> Pegando os dados calculados da tabela. $\Delta K = K_f - K_i = 0,0062 - 0,0065 = -0,0003 \pm 0,0006$	<u>Inelástico</u> Pegando os dados calculados da tabela. $\Delta K = K_f - K_i = 0,0010 - 0,0016 = -0,0006 \pm 0,0006$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

QUESTÃO 4 (para fazer antes, em casa)

Deduza a expressão para o cálculo da perda de energia, ΔK , em uma colisão totalmente inelástica. (Dica: procure no livro do Young & Freedman). Use os dados da parte II para verificar, com a expressão encontrada, se o ΔK obtido na Questão 3 está de acordo com a teoria.

Em folha a parte.

Questão 1.

Incerteza da velocidade

$$V = \frac{D}{t} ; V = D \cdot t^{-1}$$

$$\sigma_V = \pm \sqrt{\left(\frac{dV}{dD}\right)^2 \sigma_D^2 + \left(\frac{dV}{dt}\right)^2 \sigma_t^2} ; \frac{dV}{dD} = \frac{1}{t}$$

$$\sigma_V = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{t}\right)^2 \sigma_D^2 + \left(\frac{-D}{t^2}\right)^2 \sigma_t^2} ; \frac{dV}{dt} = -D t^{-2} = \frac{-D}{t^2}$$

$$\sigma_V = \pm \sqrt{\frac{V^2}{D^2} \sigma_D^2 + \frac{V^2}{t^2} \sigma_t^2}$$

$$\sigma_V = \pm V \sqrt{\frac{\sigma_D}{D} + \frac{\sigma_t}{t^2}}$$

Incerteza do momento

$$p = m \cdot v$$

$$\sigma_p = \pm \sqrt{\left(\frac{dp}{dm}\right)^2 \sigma_m^2 + \left(\frac{dp}{dv}\right)^2 \sigma_v^2} ; \frac{dp}{dv} = m ; \sigma_m = 0$$

$$\sigma_p = \pm \sqrt{m^2 \cdot \sigma_v^2}$$

$$\sigma_p = \pm (m \cdot \sigma_v)$$

Incerteza da energia cinética

$$k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

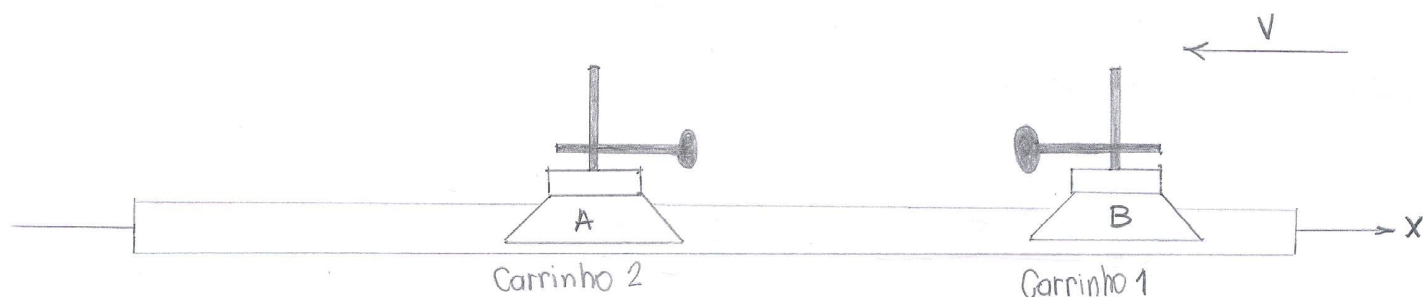
$$\sigma_k = \pm \sqrt{\left(\frac{dk}{dm}\right)^2 \cdot \sigma_m^2 + \left(\frac{dk}{dv}\right)^2 \cdot \sigma_v^2} ; \frac{dk}{dv} = \frac{2mv}{2} = m \cdot v$$

$$\sigma_k = \pm \sqrt{\left(\frac{dk}{dv}\right)^2 \cdot \sigma_v^2} ; \sigma_m = 0$$

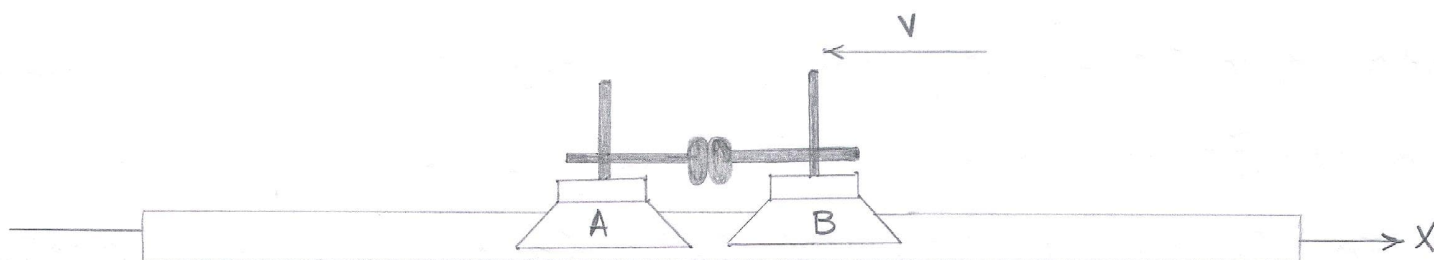
$$\sigma_k = \pm (m \cdot v \cdot \sigma_v)$$

Questão 4.

Antes



Depois



Desconsiderando a ação de forças externas na direção x , examinar-se-á o que ocorre com a energia cinética e com momento linear em uma colisão completamente inelástica entre dois corpos (A e B), como indicado na figura acima. Como os corpos ficam juntos após a colisão, eles devem possuir a mesma velocidade final:

A lei da conservação do momento linear fornece a relação:

$$m_A \cdot \vec{V}_{Ai} + m_B \cdot \vec{V}_{Bi} = (m_A + m_B) \cdot \vec{V}_f \quad \text{Eq.1}$$

Como conhecemos as massas e as velocidades iniciais, obtidas experimentalmente, podemos calcular a velocidade após a colisão V_f .

V_{Ai} : Velocidade inicial de A

V_{Bi} : Velocidade inicial de B

m_A : massa de A

m_B : massa de B

V_f : Velocidade final

Como o corpo B de massa m_B e componente x da velocidade v_{Bi} colidiu inelasticamente com o corpo A com massa m_A que inicialmente está em repouso ($v_{Ai} = 0$). Pela equação 1, o componente x da velocidade v_f dos dois corpos após a colisão é dado por:

$$v_f = \frac{m_B}{m_B + m_A} v_{Bi} \quad \text{Eq 2.}$$

Agora demonstraremos que a energia cinética total depois dessa colisão completamente inelástica é menor do que antes da colisão. As energias cinéticas K_A e K_B antes e depois da colisão respectivamente, são dadas por:

$$K_A = \frac{1}{2} m_B \cdot v_{Bi}^2$$

$$K_B = \frac{1}{2} (m_B + m_A) v_f^2$$

Substituindo a Eq 2.

$$K_B = \frac{1}{2} (m_B + m_A) \cdot \left(\frac{m_B}{m_B + m_A} \right)^2 \cdot v_{Bi}^2$$

A razão entre energia cinética final e a energia cinética inicial é dada por

$$\frac{K_B}{K_A} = \frac{m_B}{m_B + m_A}$$

$$\Delta k = k_{\beta} - k_{\alpha}$$

$$\Delta k = \frac{1}{2} \frac{(m_B)^2}{(m_B + m_A)} \cdot v_{Bi}^2 - \frac{1}{2} m_B \cdot v_{Bi}^2$$

$$\Delta k = \frac{1}{2} v_{Bi}^2 \cdot m_B \left(\frac{m_B}{(m_B + m_A)} - 1 \right)$$

CQD.

Agora, verificando os dados experimentais temos:

$$m_B = 111,65 \text{ g}$$

$$m_A = 113,38 \text{ g}$$

$$v_{Bi} = 0,140 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\Delta k = \frac{1}{2} (0,140)^2 \cdot (0,1165) \left(0,49615 - 1 \right)$$

$$\Delta k = - 8,129 \cdot 10^{-4} \text{ Joules}$$

Como $\Delta k < 0$, verificamos que houve uma colisão inelástica.

Parte I. COLISÃO ELÁSTICA

Distância entre sensores 0 e 1: $19,12 \pm 1,11$ cm Distância entre sensores 2 e 3: $17,53 \pm 0,97$ cm

Tabela 1(a). Medidas de tempo entre sensores e respectivas velocidades médias.

	Medida #1	Medida #2	Medida #3	t_m (s)	σ_t (s)	v_m (m/s)	σ_v (m/s)
ANTES DA COLISÃO	t_{01}						
	0,968	0,964	0,914	0,948	$\pm 0,017$	0,202	$\pm 0,012$
DEPOIS DA COLISÃO	t_{23}						
	0,930	0,861	0,855	0,882	$\pm 0,024$	0,199	$\pm 0,012$

Massa do carrinho #1: $160,5$ g

Massa do carrinho #2: $156,04$ g

Tabela 1(b). Cálculos de momento linear (p) e energia cinética (E_c) do sistema.

	ANTES DA COLISÃO		DEPOIS DA COLISÃO	
	$p_i \pm \sigma_p$ (kg.m/s)	$K_i \pm \sigma_K$ (J)	$p_f \pm \sigma_p$ (kg.m/s)	$K_f \pm \sigma_K$ (J)
Carrinho #1	$0,031 \pm 0,002$	$0,0065 \pm 0,0004$	0	0
Carrinho #2	0	0	$0,032 \pm 0,002$	$0,0062 \pm 0,0004$
Total (sistema)	$0,031 \pm 0,002$	$0,0065 \pm 0,0004$	$0,032 \pm 0,002$	$0,0062 \pm 0,0004$

Parte II. COLISÃO INELÁSTICA

Distância entre sensores 0 e 1: 18,17 ± 0,35 cmDistância entre sensores 2 e 3: 11,19 ± 1,07 cm

Tabela 2(a). Medidas de tempo entre sensores e respectivas velocidades médias.

	Medida #1	Medida #2	Medida #3	t_m (s)	σ_t (s)	v_m (m/s)	σ_v (m/s)
ANTES DA COLISÃO	t_{01}						
	1,014	1,099	1,087	1,066	$\pm 0,026$	0,170	$\pm 0,01$
DEPOIS DA COLISÃO	t_{23}						
	1,169	1,160	1,167	1,165	$\pm 0,003$	0,096	$\pm 0,019$

Massa do carrinho #1: 111,65 gMassa do carrinho #2: 113,38 gTabela 2(b). Cálculos de momento linear (p) e energia cinética (E_c) do sistema.

	ANTES DA COLISÃO		DEPOIS DA COLISÃO	
	$p_i \pm \sigma_p$ (kg.m/s)	$K_i \pm \sigma_K$ (J)	$p_f \pm \sigma_p$ (kg.m/s)	$K_f \pm \sigma_K$ (J)
Carrinho #1	$0,019 \pm 0,001$	$0,0016 \pm 0,0002$	$0,010 \pm 0,002$	$0,0005 \pm 0,0002$
Carrinho #2	0	0	$0,010 \pm 0,002$	$0,0005 \pm 0,0002$
Total (sistema)	$0,019 \pm 0,001$	$0,0016 \pm 0,0002$	$0,020 \pm 0,004$	$0,0010 \pm 0,0004$