

EXPERIÊNCIAS NO TRILHO DE AR

META

Estudar o movimento de um corpo sob a ação de uma força conhecida e estudar e classificar os diferentes tipos de colisões unidimensionais.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o estudante deverá ser capaz de:

1. Determinar a relação entre massa e aceleração, para um corpo sob ação de uma força constante;
2. Determinar a aceleração da gravidade a partir dos dados do experimento;
3. Estudar os diferentes tipos de colisões unidimensionais;
4. Determinar a validade dos princípios de conservação do movimento linear e da energia cinética em colisões;
5. Identificar as dificuldades do experimento e suas conseqüências.

PRÉ-REQUISITO

Ter estudado todo o conteúdo da primeira aula deste livro e estar no laboratório didático com as experiências de “Segunda lei de Newton” e de “Colisões” montadas.

INTRODUÇÃO

Olá! Tudo bem?

Na última aula, você fez uma experiência sobre a força de atrito. Com a experiência você pode entender melhor a ação desta força, que surge quando duas superfícies estão em contato. Nesta aula, você vai executar experiências sobre a Segunda Lei de Newton e sobre os diferentes tipos de colisões. E, para melhor estudar estes fenômenos, será preciso diminuir a força de atrito a limites considerados desprezíveis. Como isto pode ser feito? Para minimizar o atrito, é preciso minimizar o contato entre as superfícies. Uma maneira simples e eficiente de fazer isso é utilizando trilho de ar. Estes dispositivos são trilhos em forma triangular que têm orifícios laterais por onde o ar, proveniente de um compressor, sai. O colchão de ar formado pelo ar que sai pelos orifícios diminui o contato entre as superfícies do objeto colocado sobre o trilho e o próprio trilho. Portanto, nas experiências desta aula, o trilho de ar será uma peça chave e deve ser utilizado sempre com o fluxo de ar alto, mesmo que isto faça muito barulho!

4.1 Segunda Lei de Newton

Isaac Newton, em 1687, tendo como base as experiências de Galileu e outros cientistas da época, foi o primeiro a enunciar leis que fazem parte do corpo do que conhecemos hoje como a Mecânica Clássica. As três leis do movimento de Newton causaram uma profunda revolução no modo de pensar o universo: grande parte dos fenômenos naturais conhecidos até aquela época poderiam ser explicados com base em apenas três leis aparentemente desconexas com a realidade.

A segunda lei de Newton descreve exatamente como deve ser o movimento de um corpo qualquer, dado o campo conjunto de forças que atua sobre ele. Segundo o próprio enunciado de Newton: “A variação do momento é proporcional à força impressa e tem a direção da força”. Ou seja, a força é a taxa de variação temporal do momento. Matematicamente, têm-se:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (4.1)$$

Nesta aula trataremos do caso em que a massa m do corpo não varia com o tempo. Assim, como $\vec{p} = m\vec{v}$, têm-se:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad (4.2)$$

A velocidade \vec{v} , obtida pela aplicação de uma força constante e sendo $\vec{v}_0 = 0$, é dada como função do tempo através da expressão:

$$\vec{v} = \frac{\vec{F}}{m} t \quad (4.3)$$

Para a distância percorrida pelo corpo, têm-se:

$$\Delta\vec{x} = \vec{x} - \vec{x}_0 = \frac{1}{2} \frac{\vec{F}}{m} t^2 \quad (4.4)$$

O QUINTO EXPERIMENTO: A SEGUNDA LEI DE NEWTON

OBJETIVOS

O objetivo desta experiência é estudar o movimento de um corpo sob ação de uma força conhecida, na ausência de atrito, e verificar a dependência da intensidade da aceleração produzida com a massa do corpo. Além disso, você aprenderá como determinar experimentalmente o valor da aceleração da gravidade. Isto verificará a validade da teoria envolvida.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- ✓ Trilho de ar
- ✓ Turbina para fluxo de ar
- ✓ Carrinho
- ✓ Dispositivo de lançamento do carrinho, com eletroímã
- ✓ Sensor ótico
- ✓ Porta-pesos
- ✓ Roldana e linha
- ✓ Cronômetro digital
- ✓ Pesos aferidos
- ✓ Fios diversos, hastes e suportes

A figura 4.1 apresenta uma ilustração do arranjo experimental utilizado. Neste arranjo, um “colchão de ar” é gerado entre a superfície inferior do carrinho e o trilho, eliminando quase que totalmente a força de atrito. O carrinho é posicionado no disparador do trilho e conectado à extremidade um fio que passa por uma roldana praticamente sem atrito. A outra extremidade deste fio é conectada a um porta-pesos, que fica suspenso na vertical. Ao desligarmos, a corrente que alimenta o eletroímã, disparamos o cronômetro e o carrinho é acelerado pela ação da força peso das massas penduradas no porta-pesos. O tempo de voo do carrinho é medido, colocando-se o sensor ótico na posição desejada. O cronômetro para a contagem no instante em que o carrinho passa pelo sensor.

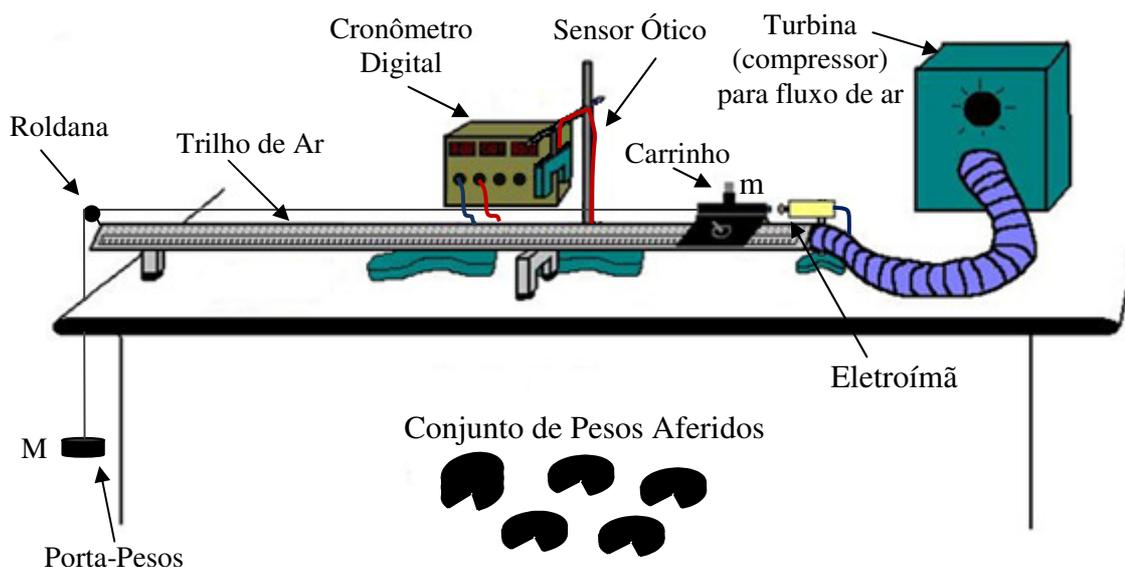


Figura 4.1: Esquema do aparato experimental (adaptado de ilustração feita por Flávio C. T. Maia).

Para visualizar a importância do "colchão de ar", experimente fazer o experimento com um fluxo baixo de ar ou com o compressor desligado. Perceba como a aceleração do carrinho diminui com o aumento do atrito.

ROTEIRO EXPERIMENTAL:

- i. Ligue a turbina e aumente o fluxo de ar até o máximo;
- ii. Posicione o carrinho, desconectado do fio, próximo a parte central do trilho de ar e verifique o nivelamento do trilho;

COMENTÁRIO

O nivelamento do trilho é fundamental para a correta execução do experimento. Qualquer inclinação do trilho provocará uma aceleração indesejada do carrinho. Para nivelar o trilho, utilize os ajustes de altura dos pés deste.

- iii. Determine a massa do carrinho, apenas com a haste e o conector do fio, que chamaremos de m ;
- iv. Instale o fio no carrinho e conecte-o ao eletroímã já ligado;
- v. Ligue o cronômetro digital, zerando-o em seguida;
- vi. Coloque massas aferidas no porta-pesos, cuja massa total será denominada de M ;
- vii. Desligue a chave e observe o movimento resultante;

COMENTÁRIO

Tenha o cuidado de segurar o carrinho depois de passar pelo segundo sensor. Deixá-lo bater no final do trilho fará com que o aparato experimental se desmonte a cada lançamento.

Laboratório de Física A

- viii. Discuta que tipo de movimento o carrinho descreve.
- ix. Fixe o sensor ótico e meça sua posição;

COMENTÁRIO

O sensor ótico deve ser fixado de forma que, quando o carrinho passe por ele, o porta-pesos ainda não tenha tocado o chão. Se o porta-pesos encostar ao chão, a força resultante cessa e o carrinho passa a executar um movimento uniforme.

- x. Determine também a posição inicial do carrinho, $\vec{x}(0)$;

COMENTÁRIO

Que parte do carrinho interrompe a contagem do cronômetro? Esta deve ser a parte utilizada como referência para determinar a posição inicial do carrinho.

- xi. Para 5 valores diferentes de massa do carrinho, mantendo fixa a massa no porta-pesos, meça o tempo de voo 3 vezes para cada configuração;
- xii. Repita os procedimentos ix, x e xi para outras 4 posições do sensor ótico ao longo do trilho;

Não se esqueça de anotar das incertezas de todos os instrumentos utilizados. A tabela 4.1 é uma sugestão para a coleta de dados desta experiência.

DISCUSSÃO

No presente caso, o movimento é unidimensional e a força produzida pelo porta-pesos, cuja massa é M , é:

$$|\vec{F}| = |M\vec{g}| = Mg \quad (4.5)$$

\vec{g} é a aceleração da gravidade. Chamando a massa total do carrinho de m , a equação do movimento é dada por:

$$(m + M)a = Mg \quad (4.6)$$

de modo que a posição obedecerá à relação:

$$x = x_0 + \frac{1}{2} \frac{Mg}{(m + M)} t^2 \quad (4.7)$$

Tabela 4.1: Dados coletados na experiência de segunda lei de Newton.

Massa no Porta Peso (M), Kg=		(MANTER FIXA DURANTE O EXPERIMENTO)										Resultado de t ²						
		ΔX (cm)	u_0 em ΔX (cm)	Medida 1	Tempo (s)	Medida 2	Medida 3	t (s)	u_a (s)	u_b (s)	u_c (s)			Resultado de t	t ² (s ²)	u_g (s ²)		
Massa no Carrinho m (kg)=	ΔX_1																	
	ΔX_2																	
	ΔX_3																	
	ΔX_4																	
	ΔX_5																	
Massa no Carrinho m (kg)=	ΔX																	
	ΔX_1																	
	ΔX_2																	
	ΔX_3																	
	ΔX_4																	
Massa no Carrinho m (kg)=	ΔX																	
	ΔX_1																	
	ΔX_2																	
	ΔX_3																	
	ΔX_4																	
Massa no Carrinho m (kg)=	ΔX																	
	ΔX_1																	
	ΔX_2																	
	ΔX_3																	
	ΔX_4																	

Com base na equação 4.7, realize os seguintes cálculos e discussões:

1. Para cada valor de massa do carrinho, construa um gráfico da distância percorrida ($\Delta x = x - x_0$) como função do quadrado do tempo (t^2).
2. Discuta os gráficos. Estão dentro do esperado?
3. A partir de cada gráfico, determine um valor de aceleração do sistema, com sua respectiva incerteza;
4. Usando os valores de aceleração obtidos no item 3, construa um gráfico de $(m + M)$ versus $1/a$;
5. Que comportamento você espera deste gráfico? Está dentro do esperado?
6. Neste último gráfico, trace a reta que melhor se ajusta aos pontos e determine o coeficiente angular desta reta, com sua respectiva incerteza;
7. Que grandeza representa este coeficiente angular? O resultado obtido está compatível com o valor esperado?
8. Determine, a partir deste coeficiente angular, o valor da aceleração da gravidade com sua respectiva incerteza, e compare com o valor teórico ($g = 9,78 \text{ m/s}^2$).



Antes de começar a outra experiência, que tal fazer logo o relatório sobre a segunda lei de Newton? Certamente será mais fácil fazê-lo agora, que você lembra mais facilmente dos detalhes do experimento.

4.2 Colisões

Uma grandeza muito importante para o estudo de colisões é o momento linear ou quantidade de movimento, representado por \vec{p} e definido por:

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (4.8)$$

m é a massa e \vec{v} a velocidade do objeto em questão, como vimos na teoria ligada à prática anterior.

De acordo com a segunda lei de Newton, como vimos no experimento anterior, têm-se:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (4.9)$$

\vec{F} é a resultante das forças externas que atuam sobre o corpo. Então, quando esta resultante for nula, o momento \vec{p} do corpo deve se conservar.

Num sistema com vários corpos, é possível definir o momento total do sistema como:

$$\vec{p} = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i \quad (4.10)$$

Para um sistema de corpos, continua valendo a equação 4.9, e, portanto, se a resultante de todas as forças externas sobre o sistema for nula, o momento total \vec{p} deverá ser constante. E as forças internas? De acordo com a terceira lei de Newton, conhecida como *lei da ação e reação*, as forças de interação entre dois corpos quaisquer são sempre de mesmo módulo e direção, mas de sentido contrário. Portanto, a resultante de todas as forças internas ao sistema é sempre nula. Assim, podemos enunciar o “Princípio da Conservação do Momento” como: “Num sistema isolado, no qual a resultante de todas as forças externas seja nula, o momento total do sistema se conserva”.

Estudando uma colisão entre dois corpos, é possível definir um sistema isolado, no qual a força resultante atuando sobre o sistema seja nula, e que, portanto, o princípio da conservação de momento linear seja obedecido. A partir deste fato, é possível tirar conclusões importantes sobre a colisão, sem necessariamente ter muito conhecimento sobre os detalhes da colisão em si.

Considerando a colisão entre dois corpos ilustrada na figura 4.2, e se \vec{p}_i é o momento total antes e \vec{p}_f é o momento total depois, é correto escrever:

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f \quad (4.11)$$

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f} \quad (4.12)$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \quad (4.13)$$

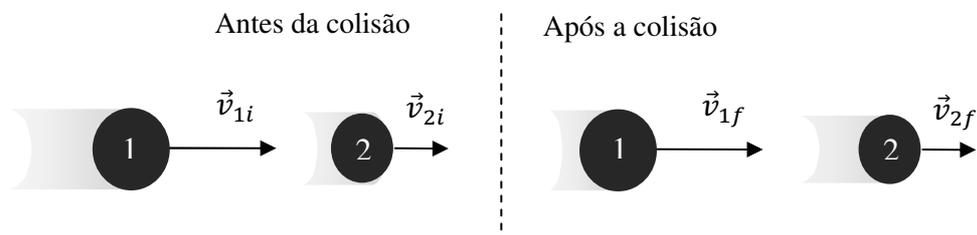


Figura 4.2: Ilustração de uma colisão entre dois corpos.

Entretanto, não se pode confundir a conservação de momento linear com a conservação de energia. Nas colisões que ocorrem em sistemas fechados e isolados, há sempre conservação de momento linear, porque não há forças externas atuando sobre o sistema, mas na maioria das vezes não há conservação da energia cinética. Portanto, as colisões podem ser classificadas em *perfeitamente elásticas*, *parcialmente elásticas* ou *perfeitamente inelásticas*, dependendo do quanto conservam da energia cinética.

Perfeitamente Elásticas: conservam-se a quantidade de movimento e a energia cinética.

Perfeitamente Inelásticas: conserva-se apenas a quantidade de movimento e a perda de energia cinética do sistema é a maior possível. Neste caso, os corpos permanecem juntos após a colisão.

Parcialmente Elásticas: conserva-se apenas a quantidade de movimento e há perda de energia cinética para outras formas de energia, como energia térmica e energia sonora, mas os corpos não permanecem juntos.

Um parâmetro utilizado para classificar o tipo de colisão entre dois corpos é o coeficiente de restituição (e), que é definido pela razão entre o módulo da velocidade de afastamento (após o choque) e o módulo da velocidade de aproximação (antes do choque). O coeficiente de restituição é dado, portanto, pela equação 4.14 e assume valores diferentes para cada tipo de colisão.

$$e = \frac{v_{2f} - v_{1f}}{v_{1i} - v_{2i}} \quad (4.14)$$

Choque perfeitamente elástico: $e = 1$

Choque parcialmente elástico: $0 < e < 1$

Choque perfeitamente inelástico: $e = 0$

O SEXTO EXPERIMENTO: COLISÕES

OBJETIVOS

Nesta experiência, serão estudadas colisões unidimensionais entre dois carrinhos sobre o trilho de ar. Você deverá aprender a classificar colisões unidimensionais entre dois carrinhos, na ausência de atrito, além de verificar a validade do princípio da conservação do momento linear e da energia cinética.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- ✓ Trilho de ar
- ✓ Turbina para fluxo de ar
- ✓ Dois carrinhos
- ✓ Dispositivo de lançamento do carrinho, com eletroímã
- ✓ Dois sensores óticos
- ✓ Acessórios para simulação dos tipos de colisão: elástico, agulha, encaixe com massa de modelar
- ✓ Cronômetro digital
- ✓ Balança
- ✓ Fios diversos, hastes e suportes

O arranjo experimental está ilustrado na figura 4.3. Este arranjo é semelhante ao utilizado na experiência da segunda lei de Newton e, novamente, um “colchão de ar” é gerado entre a superfície inferior do carrinho e o trilho, eliminando quase que totalmente a força de atrito.

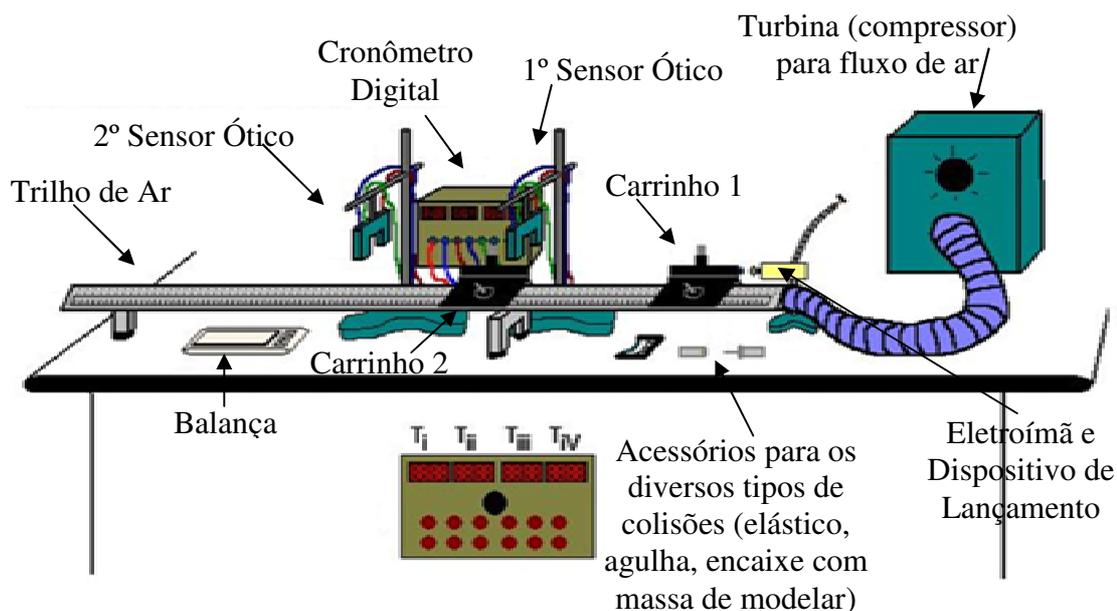


Figura 4.3: Esquema do aparato experimental (ilustração – Flávio C.T. Maia).

ROTEIRO EXPERIMENTAL

- i. Nivela o trilho, como feito na experiência da segunda lei de Newton;
- ii. Meça o comprimento da haste dos dois carrinhos, utilizando o paquímetro;
- iii. Determine as massas dos dois carrinhos, com acessórios;
- iv. Coloque o carrinho 1 preso ao eletroímã com sistema impulsor e o carrinho 2, adaptado para o tipo de colisão desejada, entre os dois sensores óticos;
- v. Por simplicidade, mantenha sempre o carrinho 2 inicialmente parado, entre os dois sensores óticos;
- vi. Desligue a chave e registre os tempos dos cronômetros;
- vii. Analise o que cada tempo representa e a que carrinho ele se refere;

COMENTÁRIO

Observe quando o cronômetro é disparado e quando é interrompido. Qual é o deslocamento que deve ser utilizado para determinar a velocidade?

- viii. Repita os procedimentos de iv a vii, pelo menos, mais 4 vezes, anotando os tempos obtidos;
- ix. Repita os procedimentos de iv a viii, adaptando os carrinhos de modo a reproduzir os diversos tipos de colisão;

COMENTÁRIO

Na colisão elástica, o acessório com um elástico deve ser utilizado. Este acessório minimiza a dissipação de energia no momento da colisão, fazendo com que o carrinho 1 ceda toda a sua energia para o carrinho 2 e fique “parado” entre os sensores. Quantos tempos devem ficar registrados no cronômetro a cada lançamento, neste caso? Já no caso da colisão inelástica, você deve utilizar a agulha e o encaixe com massa de modelar. Após a colisão, os carrinhos ficarão grudados. Portanto, após a colisão, os carrinhos terão sempre a mesma velocidade. Mas cada um deles tem uma haste e as duas hastes passarão pelo segundo sensor, registrando dois tempos. É possível que estes tempos sejam diferentes. Lembrando que a haste do carrinho 2 passa antes da do carrinho 1, considere duas situações. Na primeira, o tempo de passagem do carrinho 2 é menor do que o do carrinho 1. Neste caso, os dois carrinhos estão perdendo velocidade ao longo do trilho. Na segunda, ocorre o contrário, o tempo de passagem do carrinho 2 é maior, ou seja, os carrinhos estão ganhando velocidade. Estas duas situações são comuns na execução deste experimento. Discuta com seu grupo: quais as possíveis causas para estas situações? É possível minimizar estes efeitos?

Mais uma vez: Não se esqueça de anotar das incertezas de todos os instrumentos utilizados.

A tabela 4.2 é uma sugestão para a coleta de dados para a experiência de Colisões.

DISCUSSÃO

1. Para cada caso investigado, determine as velocidades inicial e final dos carros 1 e 2, com suas respectivas incertezas, determinadas por propagação de incertezas;
2. Determine também as quantidades de movimento e as energias cinéticas inicial e final para cada carrinho e para o sistema todo, todas com incertezas;
3. Calcule o coeficiente de restituição em cada caso, e sua respectiva incerteza;
4. Faça uma análise global de seus resultados, levando em conta as previsões teóricas e os valores obtidos para o momento linear, a energia cinética e o coeficiente de restituição;
5. Responda em cada caso se houve conservação de energia e de momento linear e comente o que era esperado.
6. No caso de não haver conservação, qual a diferença percentual entre os valores finais e iniciais em cada situação?
7. Quais as maiores dificuldades encontradas na execução do experimento?

Tabela 4.2: Dados coletados na experiência de Colisões.

Primeiro Arranjo:				Segundo Arranjo:				Terceiro Arranjo:			
Massa do Carrinho 1 (kg)=	\pm	ΔX_1 (cm)=	\pm	Massa do Carrinho 1 (kg)=	\pm	ΔX_1 (cm)=	\pm	Massa do Carrinho 1 (kg)=	\pm	ΔX_1 (cm)=	\pm
Massa do Carrinho 2 (kg)=	\pm	ΔX_2 (cm)=	\pm	Massa do Carrinho 2 (kg)=	\pm	ΔX_2 (cm)=	\pm	Massa do Carrinho 2 (kg)=	\pm	ΔX_2 (cm)=	\pm
Δt_{1f} (s)		Δt_{2f} (s)		Δt_{1f} (s)		Δt_{2f} (s)		Δt_{1f} (s)		Δt_{2f} (s)	
Medida 1				Medida 1				Medida 1			
Medida 2				Medida 2				Medida 2			
Medida 3				Medida 3				Medida 3			
Medida 4				Medida 4				Medida 4			
Medida 5				Medida 5				Medida 5			
Média (s)				Média (s)				Média (s)			
Desv. Pad. (s)				Desv. Pad. (s)				Desv. Pad. (s)			
σ_a (s)				σ_a (s)				σ_a (s)			
σ_b (s)				σ_b (s)				σ_b (s)			
σ_c (s)				σ_c (s)				σ_c (s)			
Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)	Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)	Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)
v (m/s)				v (m/s)				v (m/s)			
σ (m/s)				σ (m/s)				σ (m/s)			
Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)	Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)	Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)
p (kg.m/s)				p (kg.m/s)				p (kg.m/s)			
σ (kg.m/s)				σ (kg.m/s)				σ (kg.m/s)			
Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)	Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)	Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)
E (J)				E (J)				E (J)			
σ (J)				σ (J)				σ (J)			
Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)	Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)	Resultado (\pm)	(\pm)	(\pm)	(\pm)
P=(\pm)	(\pm)	P=(\pm)	(\pm)	P=(\pm)	(\pm)	P=(\pm)	(\pm)	P=(\pm)	(\pm)	P=(\pm)	(\pm)
E=(\pm)	(\pm)	E=(\pm)	(\pm)	E=(\pm)	(\pm)	E=(\pm)	(\pm)	E=(\pm)	(\pm)	E=(\pm)	(\pm)
			$e=$				$e=$				$e=$

CONCLUSÃO

Mais uma aula está terminando. Agora você já fez seis experimentos e já conheceu vários dispositivos interessantes: o eletroímã, os cronômetros digitais, os sensores óticos e o trilho de ar. Estes dispositivos permitem a execução de vários outros experimentos. Será que você seria capaz de bolar um experimento didático com o que você já aprendeu aqui? Todo bom cientista é criativo e questionador. Exercite o seu potencial!

RESUMO

Nesta aula, o trilho de ar permitiu a realização de dois experimentos nos quais o atrito foi desprezível. Minimizar o atrito é um artifício que possibilita simplificar a dinâmica de um experimento, o que facilita o estudo do fenômeno em foco. No primeiro experimento desta aula, o estudo foi sobre a segunda lei de Newton e permitiu que você observasse a relação entre a aceleração e a massa do carrinho, sob ação de uma força constante. Por este experimento, foi possível determinar experimentalmente, mais uma vez, a aceleração da gravidade. O sexto experimento desta disciplina, e segundo desta aula, foi sobre colisões. Foi possível simular uma colisão perfeitamente elástica, uma parcialmente elástica e uma inelástica e estudar a conservação de energia e de momento em cada caso.

AUTO-AVALIAÇÃO

- Eu sei qual a importância do trilho de ar?
- Eu sei como determinar experimentalmente velocidades?
- Eu consigo determinar a aceleração da gravidade a partir da experiência de Segunda Lei de Newton?
- Eu sei como a aceleração varia ao aumentar a massa no carrinho?
- Eu sei quais são os possíveis tipos de colisão?
- Eu sei quando há conservação da energia em uma colisão?
- Eu sei determinar o coeficiente de restituição de uma colisão?

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, vocês realizarão as últimas duas experiências do curso, sobre pêndulo simples e calorimetria.

REFERÊNCIAS

1. Hugh D. Young e Roger A. Freedman: “Física I – Mecânica”; Tradução de Adir Moysés Luiz. Editora Addison Wesley, São Paulo. 10ª Edição, 2003.
2. Frederick J. Keller, W. Edward Gettys e Malcolm J. Skove: “Física”, Volume 1; Tradução de Alfredo Alves de Farias. Editora Makron Books, São Paulo. 1ª Edição, 1997.
3. Robert Resnick, David Halliday e Kenneth S. Krane: “Física 1”; Tradução de Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva. LTC Editora, Rio de Janeiro. 5ª Edição, 2003.