

Experimento 3

Movimento de um corpo em um plano inclinado: determinação da aceleração e comparação com a aceleração da gravidade.

1 Introdução

Neste experimento, determinaremos a componente vertical da aceleração de um corpo deslocando-se num plano inclinado com atrito desprezível (trilho de ar), vamos comparar o resultado com o valor de referência da aceleração da gravidade, $g = (978,7 \pm 0,1) \text{ cm/s}^2$, para a cidade de Rio de Janeiro.

Pense sobre o planejamento desse experimento. A aceleração do corpo pode ser obtida diretamente? Quais grandezas devem ser medidas para que seja possível obtê-la? Quais instrumentos são mais adequados para que esses dados possam ser coletados?

O roteiro a seguir possui todas as instruções para a montagem e análise do experimento. Leia com atenção, discuta com o professor e salve/anote as medidas para preparar o relatório.

2 Procedimento experimental

O arranjo experimental está esquematizado na Figura 1. Selecione blocos de madeira e posicione-os sob uma das bases do trilho de ar.

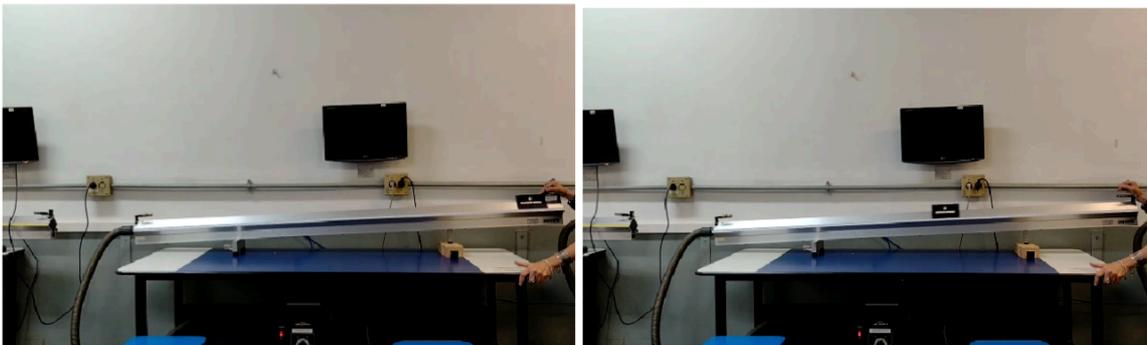


Figura 1: Arranjo experimental do plano inclinado. Esquerda: posicionamento do carrinho na extremidade do trilho. Direita: alguns segundos após o carrinho ser liberado do repouso.

Para a filmagem, posicione o celular sobre o tripé de forma a estabilizar a tela do celular paralelamente ao plano de movimento do carrinho, durante todo o movimento, como na Figura 2.



Figura 2: Esquerda e direita: arranjo experimental celular + tripé.

O celular deve ser posicionado aproximadamente no meio da trajetória do carrinho e a uma distância da parede suficiente para que se possa filmar todo o movimento no trilho de ar. Não use “slow-motion” (câmera lenta). Filme com a velocidade normal do seu celular. A imensa maioria dos celulares filma a uma taxa de 30 frames/seg (fps) ¹, alguns celulares permitem uma filmagem com 60 frames/seg. Verifique em seu celular o valor da taxa de quadros por segundo.

Para cada inclinação do trilho (duas inclinações por grupo), é necessário determinar $\sin \theta$ pela geometria do sistema de acordo com a Figura 3, determinando a diferença de alturas para dois pontos quaisquer sobre o trilho e tendo em conta a distância entre eles:

$$\sin \theta = \frac{h_2 - h_1}{L}.$$

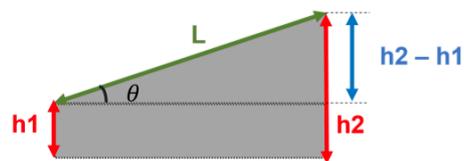
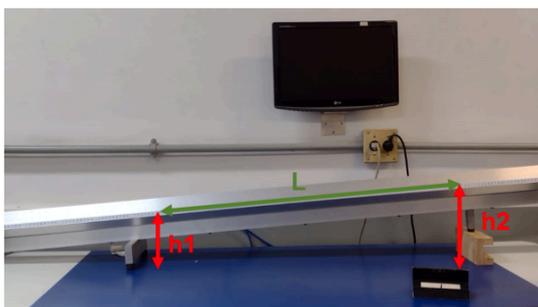


Figura 3: Medida de $\sin \theta$.

Como são necessárias muitas medidas de $\sin \theta$ (inclinações) para determinar o valor de g , os dados obtidos por todos os grupos da turma serão analisados como um único conjunto de dados.

O professor atribuirá a cada grupo de alunos, diferentes números de blocos de madeira que serão colocados sob uma das extremidades do trilho de ar.

Para evitar que o carrinho adquira uma velocidade muito alta e o impacto ao final do trilho seja muito forte, não devem ser usados mais do que 12 blocos. As hastes com elásticos são usadas como proteção para amortecer a colisão do carrinho.

¹A palavra em inglês “frame” significa quadro.

Uma vez que o celular foi posicionado para gravar o filme, ligar o compressor, que joga ar no trilho (nível 3), posicionar o carrinho sobre o trilho, liberando-o a partir do repouso, feito isto, inicie a filmagem.

Após o término do movimento, retire o carrinho do trilho e desligue o compressor.

O tamanho do trilho de ar (200 cm) deve ser utilizado para calibração do programa (o programa converte as unidades da imagem do filme para as distâncias reais do trajeto do carrinho —por isso do ajuste e da preparação da câmera serem importantes).

Utilizaremos o programa Tracker para analisar o filme. Este programa pode ser instalado no computador, e baixado gratuitamente do endereço eletrônico: <https://physlets.org/tracker/>². No final do roteiro, encontra-se um tutorial básico do programa Tracker no Apêndice C.

3 Análise de dados

Monte a tabela Tabela 1 para dois valores de $\sin \theta$ e suas incertezas:

Tabela 1: Tabela para dois valores de $\sin \theta$.

Inclinação	$h_1 \pm \delta h_1$ ()	$h_2 \pm \delta h_2$ ()	$L \pm \delta L$ ()	$\sin \theta \pm \delta \sin \theta$
1				
2				

Usando o programa Tracker monte a Tabela 2 com ao menos 12 valores diferentes de posição, de forma a possibilitar a estimativa de 10 valores de velocidade. Utilize as fórmulas da velocidade que constam no modelo do Relatório 3.

Tabela 2: Tabela de dados da experiência.

t (s)	x ()	δx ()	v_x ()	δv_x ()

As colunas do tempo t e da posição x são preenchidas usando as informações do Tracker. As coordenadas x correspondem às posições, por exemplo, do centro do carrinho (etiqueta branca) ao longo do movimento.

Após fixado o sistema de referência (escolha um dos eixos como paralelo ao movimento do carrinho). Para isto é necessário rotacionar o eixo. Note que, ao longo da trajetória, a imagem do carrinho pode ficar um pouco embaçada, como pode ser visto na Figura 4.

²O programa é disponibilizado para os sistemas operacionais Windows, Linux e Mac OSX.

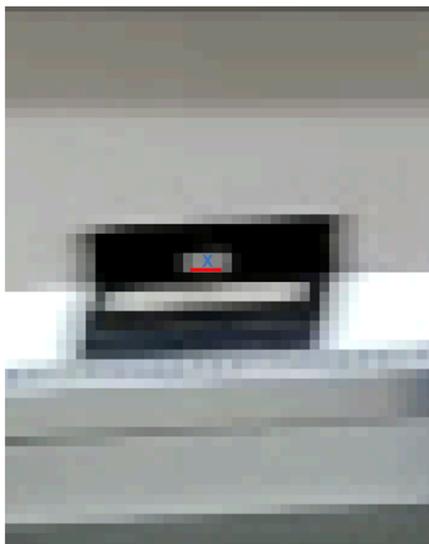


Figura 4: Detalhe da imagem do carrinho.

Nesse caso, foi marcado com um “x” em azul o centro do carrinho enquanto que a barra vermelha é uma escolha razoável da região de incerteza da posição do centro do carrinho. A incerteza é uma fração do comprimento da mancha e depende da posição do carrinho e depende do quadro considerado.

Para preencher a coluna da velocidade v_x , leia o Apêndice D (no final do roteiro). Como são calculadas as incertezas δv_x ?

1. Em papel milimetrado, desenhe o gráfico v_x vs. t a partir dos dados da Tabela 2, indicando a incerteza nos valores das velocidades. Qual é a forma esperada para este gráfico?
2. Use as colunas t , v_x e δv_x para calcular através do Método dos Mínimos Quadrados (Capítulo 5 da Apostila), qual é a melhor reta que aproxima os dados experimentais do gráfico v_x vs. t .
3. Com os parâmetros da reta (coeficiente linear e coeficiente angular) obtidos no item anterior, desenhe a reta na mesma folha de papel milimetrado onde fez o gráfico v_x vs. t .
4. Construa a Tabela 3, considerando os valores de a e $\sin \theta$ e suas respectivas incertezas, obtidos pela turma. Construa o gráfico $a \times \sin \theta$ e determine o valor da aceleração g .

4 Discussão dos resultados

1. A partir dos parâmetros do ajuste linear aos dados experimentais $v_x \times t$, como se obtêm o valor da aceleração do carrinho?
2. Compare o valor da aceleração do carrinho com o valor da aceleração da gravidade para a cidade do Rio de Janeiro que é $g = (978,7 \pm 0,1) \text{ cm/s}^2$. Qual valor é mais preciso? Você utilizaria este método para determinar o valor da gravidade? Justifique.

Tabela 3: Tabela $a \times \sin \theta$.

Número de blocos	a ()	δa ()	$\sin \theta$	$\delta \sin \theta$

5 Opcional: Estudo da conservação da energia

1. Utilizando os dados registrados para a posição x como função do tempo t , determine a altura y do carrinho para cada instante de tempo, a partir do ponto mais baixo na Tabela 1.
2. Determine a energia cinética (K), energia potencial (U) e a energia mecânica (E) para cada intervalo de tempo. Para facilitar a organização das informações, construa uma tabela.
3. Faça um gráfico que contenha a energia cinética, potencial e mecânica em função do tempo.
4. Discuta a partir do gráfico obtido, se há ou não conservação da energia mecânica. Justificar.
5. No caso da energia não se conservar, determine o ganho ou perda percentual.

Observações:

- Para os cálculos de energia considere a aceleração da gravidade no Rio de Janeiro, sendo $g = (978,7 \pm 0,1)$ cm/s^2 .
- Não esqueça de colocar todos os cálculos de propagação de incerteza num Apêndice.