

Roteiro do Experimento “Força de Atrito Variável” – Parte I

A) Introdução ao experimento

Filmamos o movimento de uma moeda de metal sobre a superfície de um plano inclinado, que está revestido por um papel quadriculado. De uma posição parada, ela é lançada obliquamente e percorre um caminho, que pode ser determinado quantitativamente com o auxílio das quadrículas do papel. O experimento consiste em acompanhar o deslocamento da moeda por meio das posições medidas nas imagens selecionadas do filme. O objetivo da análise é destrinchar esse problema de mecânica, em que a força sobre o corpo é variável, de forma a explicar as características do movimento. Para isso, determinaremos as grandezas que influenciam na aparência da trajetória e confrontaremos a medida com a previsão da mecânica a partir da condição inicial de lançamento e das grandezas dinâmicas envolvidas.

B) Procedimento de análise

B1. Reflita sobre como deve ser o movimento descrito pela moeda ao longo de um plano inclinado, conforme se varia o ângulo de inclinação do plano, o ângulo de lançamento da moeda e o coeficiente de atrito entre ambos. Como o filme é de um arranjo real, o atrito entre a moeda e o plano não pode ser ignorado. Procure elaborar um raciocínio baseado nas leis de Newton e nas leis empíricas do atrito de contato.

B2. Assista atentamente aos filmes disponibilizados, observando se o movimento ocorreu segundo sua previsão.

B3. Escolha um referencial xOy para ler as duas coordenadas que definem a posição da moeda a cada instante. É prático usar as duas linhas grossas perpendiculares que se cruzam próximas ao ponto onde se inicia o movimento. O papel está dividido em quadrados grandes, limitados por linhas grossas a cada 1 cm, e por quadrados pequenos, limitados por linhas mais finas a cada 0,2 cm. No resto do texto, x identifica a coordenada horizontal e y a do outro eixo, portanto perpendicular a Ox e sobre o plano, com Ox orientado para a direita da imagem e Oy , para cima. A partir do conjunto de quadros, monte uma tabela com três colunas: o tempo t_i , a posição horizontal $x(t_i)$ e a posição vertical $y(t_i)$ para cada imagem i da situação a ser analisada, ou seja, $i = 1$ indica que se trata da primeira imagem, $i = 2$ que se trata da segunda imagem, e assim sucessivamente. Note que $x(t_i)$ significa a posição horizontal da moeda no instante t_i e não o produto da posição pelo instante de tempo. Adote a metade da menor dimensão que conseguir medir como desvio padrão da medida da posição. Ignore a incerteza no tempo.

B4. Determine o ângulo de inclinação do plano em relação à horizontal, θ , a partir da imagem do link da linha “Inclinação do Plano” correspondente à situação que lhe foi designada (θ_A , θ_B , ou θ_C). Pode valer a pena comparar as três imagens para entender como se deduz θ a partir do valor observado no inclinômetro.

B5. Com a tabela do item B3, calcule as velocidades médias nas direções Ox e Oy no intervalo de tempo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$, dadas por:

$$\bar{v}_x[t_{i-1}; t_{i+1}] = \frac{x(t_{i+1}) - x(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (1)$$

$$\bar{v}_y[t_{i-1}; t_{i+1}] = \frac{y(t_{i+1}) - y(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (2)$$

em que \bar{v} simboliza a velocidade média linear.

B6. Adotaremos a seguinte aproximação:

$$\bar{v}_{x[t_{i-1};t_{i+1}]} \cong v_x(\bar{t}_i) \quad (3)$$

$$\bar{v}_{y[t_{i-1};t_{i+1}]} \cong v_y(\bar{t}_i) \quad (4)$$

em que $v(\bar{t}_i)$ corresponde à velocidade instantânea linear no instante médio \bar{t}_i , dado por:

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i-1} + t_{i+1}}{2} \quad (5)$$

que é muito boa porque o intervalo de tempo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$ é pequeno.

B7. Construa a tabela com os valores de \bar{t}_i , $v_x(\bar{t}_i)$ e $v_y(\bar{t}_i)$, calculados a partir da tabela de t_i , $x(t_i)$ e $y(t_i)$ conforme as equações (3,4,5), juntamente com as suas respectivas incertezas. Note que a incerteza no instante médio deve ser ignorada, uma vez que ignoramos a incerteza nos tempos t_i .

B8. Determine as componentes F_x e F_y da força resultante F_R :

$$\vec{F}_R = F_x \hat{i} + F_y \hat{j} \quad (6)$$

Para isso, calcule as acelerações médias, usando fórmulas análogas às das Equações 1, 2, 3, 4 e 5, substituindo $x(t_i)$ e $y(t_i)$ por $v_x(\bar{t}_i)$ e $v_y(\bar{t}_i)$, respectivamente. Lembrando da 2ª Lei de Newton, multiplique as acelerações em cada direção pela massa da moeda para obter as respectivas componentes da força resultante.

B9. Determine a força de atrito. Como

$$\vec{F}_R = \vec{f}_{at} + \vec{N} + \vec{P} \quad (7)$$

temos que:

$$f_{at,x} = F_x \quad (8)$$

e

$$f_{at,y} = F_y + mg \sen \theta \quad (9)$$

Na equação (9), o sinal de $mg \sen \theta$ decorre da escolha da orientação dos eixos coordenados, feita no item B3. Se você adotou outra orientação, pode obter um sinal diferente.

Ao determinar os desvios-padrões, ignore a incerteza em θ .

C) Procedimento de elaboração da síntese

Nesta etapa de análise do experimento virtual sobre movimento com força de atrito variável, você deve determinar o gráfico de velocidade da moeda em função do tempo e do módulo da força de atrito em função do tempo, a partir do conjunto de quadros que lhe foi designado. Você deve entregar apenas uma síntese dos resultados experimentais, que será corrigida e devolvida, de modo a garantir uma base adequada para o relatório final. A síntese deve conter os itens relacionados a seguir:

C1. Identificação, com os nomes dos integrantes da equipe, a turma e a identificação da situação do conjunto de dados analisado.

C2. Dados obtidos, apresentando uma tabela dos dados de posição da moeda em função do tempo: t_i , $x(t_i)$ e $y(t_i)$, para todos os quadros da situação que lhe foi designada. Verifique se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com o número adequado de algarismos significativos.

C3. Análise dos dados, apresentando os gráficos de v_x , v_y e $|\vec{F}_{at}|$ em função do tempo, deduzidos dos dados experimentais. Verifique se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com o número adequado de algarismos significativos. Não se esqueça de incluir nos gráficos as barras de incerteza relativas à velocidade e à força de atrito.

C4. Discussão e conclusão, procurando responder às seguintes questões, com suas próprias palavras e ideias (vale nota seu envolvimento com as questões – explicação dos comos e porquês – e não se você encontrou as respostas mais corretas e convenientes no âmbito da teoria formal da mecânica):

- i. Qual a trajetória descrita pela moeda ao longo do movimento sobre o plano inclinado?
- ii. Que grandezas são importantes na determinação da trajetória da moeda? Há alguma grandeza que, se for modificada, altera totalmente a aparência da trajetória?
- iii. Quais são as forças atuantes na moeda ao longo do movimento? Invente uma forma de fazer o diagrama de corpo livre da moeda sobre o plano, que permita entender como é a força de atrito em vários pontos da trajetória descrita pela moeda.
- iv. Analisando as forças atuantes sobre a moeda, existe alguma grandeza que se mantenha constante ao longo do movimento? Há alguma grandeza variável? Qual seria ela (ou quais seriam elas) e que condições contribuíram para que ela(s) não fosse(m) constante(s)?