

## O Teorema de Chasles – parte II do experimento Rolamento sem Escorregamento

### A) Introdução

A análise proposta aqui é uma continuação do que foi realizado na primeira parte do experimento. No roteiro correspondente, foram definidas as grandezas e abreviaturas, apresentadas as fórmulas, encaminhados os cálculos e a síntese, que deve conter os resultados obtidos e a discussão das trajetórias observadas. O propósito desta etapa é compreender a relação entre translação e rotação no rolamento sem escorregamento, sobretudo a dependência da velocidade de um ponto P da periferia da roda com as velocidades linear do CM (Centro de Massa) e angular do cilindro. A descrição do movimento do cilindro como uma rotação pura fica para a próxima (e última) etapa. Antes de começar a análise, leia todo o roteiro abaixo e, antes de começar o relatório, termine a análise.

### B) Procedimento de análise

**B8. Apreciação geral do movimento.** Como você descreveria a trajetória de um ponto da borda em relação ao Centro de Massa?

**B9. Trajetória relativa ao CM.** Determine a trajetória de P em relação ao CM, cujas coordenadas são

$$x_{P(CM)}(t_i) = x_P(t_i) - x_{CM}(t_i) \quad (5)$$

$$y_{P(CM)}(t_i) = y_P(t_i) - y_{CM}(t_i) \quad (6)$$

Se verificar nos **seus** dados que  $y_{CM}(t_i)$  é constante dentro da flutuação estatística, você pode fixar um valor constante  $y_{CM}$  para a ordenada do CM, que pode ser a média dos dados  $\{y_{CM}(t_i)\}$ . No seu arquivo de planilhas para análise deste experimento, abra uma nova aba, para registrar os dados e gráficos correspondentes a esta parte e mantê-los separados daqueles das outras partes. Disponha os valores calculados com as equações (5) e (6) em duas colunas da nova aba da planilha. Construa um gráfico dessa trajetória com todo o conjunto  $\{(x_{P(CM)}(t_i), y_{P(CM)}(t_i))\}$ .

**B10. Velocidade do ponto P.** Determine a velocidade do ponto P em relação ao CM, usando as fórmulas (1) e (2) para  $\{(x_{P(CM)}(t_i), y_{P(CM)}(t_i))\}$ . Represente, no gráfico do item **B9**, as velocidades de **P** nos instantes  $t_h, t_e, t_d$  e  $t_o$ . O roteiro da **Parte I** define esses instantes no item **B5** e dá os passos para desenhar as setas no Excel no **B7**.

**B11. Verificação da uniformidade do movimento de translação.** Faça o gráfico da velocidade horizontal do CM em função do tempo, calculada no item **B6** do roteiro da **Parte I**. Avalie se a velocidade do CM é constante, dentro das incertezas.

**B12. Estimativa da velocidade angular.** O cilindro deu **meia volta** entre os instantes  $t_d$  e  $t_e$ , o que corresponde a um ângulo de  $\pi$  rad. Assim, podemos estimar sua velocidade angular média por

$$\bar{\omega} = \frac{\pi}{t_e - t_d} \text{ em rad/s} \quad (7)$$

**B13. Modelagem.** Retome o modelo do rolamento sem escorregamento do item **B3 (parte I)** e considere a propriedade dos corpos rígidos, para os quais todo movimento pode ser descrito pelo movimento de um único ponto seguido por uma rotação em torno desse ponto; use o CM como o ponto que translada, e que o cilindro roda em torno do CM. Considerando essa composição de movimentos, escreva a relação entre a velocidade do ponto P em relação ao chão (= plano horizontal sobre o qual o cilindro rola) com a velocidade de P em relação ao CM e a velocidade de rotação do cilindro,  $\omega$ .

### C) Procedimento de elaboração do relatório

Escreva um relatório para um colega que não conheça o experimento nem os procedimentos de análise, mas que possua conhecimentos em Física. Descreva o que foi feito, formule a conclusão e explique como ela foi obtida. Tente ser claro, objetivo e sintético, usando suas próprias palavras. Cada grupo deve entregar um único relatório, com as seguintes seções:

**C1. Identificação:** liste os nomes dos membros do grupo e identifique o conjunto e grupo de dados analisado.

**C2. Introdução:** apresente uma introdução resumida contendo a situação física e o objetivo desta parte da análise do experimento.

**C3. Modelo.** Apresente o modelo que elaborou no item **B13**, eventualmente reformulado após a conclusão da análise. Destaque as previsões desse modelo, em relação às velocidades medidas nos quadros  $\{h, e, d, o\}$ .

**C4. Dados Obtidos:** apresente as tabelas obtidas nos itens **B9** e **B10** e o gráfico do item **B9**, em que representou as velocidades nos instantes  $t_h, t_e, t_d$  e  $t_o$ . Verifique se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com número adequado de algarismos significativos.

Apresente o gráfico do item **B11** e a velocidade angular calculada no item **B12**.

**C5. Análise de Dados:**

- Verifique se o movimento do cilindro é *uniforme* (ou seja, se sua velocidade é constante); explique o que isso significa, uma vez que cada ponto do cilindro, com exceção do CM, **não** realiza um MRU, em nenhum sistema de referência.
- Compare as velocidades experimentais do item **B11** com as esperadas pelo modelo baseado na composição de rotação com translação; lembre-se que velocidade tem módulo, direção e sentido, e que todas essas características importam.
- Seu modelo deve relacionar as velocidades linear do CM e angular do cilindro em relação ao CM. Para verificar esse aspecto do modelo, determine o quociente entre as velocidades linear e angular observadas e compare com o resultado esperado no seu modelo de rolamento sem deslizamento do item **B13**.

**C6. Discussão.** Use as seguintes questões para nortear esta seção:

- Sua previsão inicial acerca da composição dos movimentos de rotação e translação se confirmaram? Comente e explique as possíveis semelhanças ou diferenças entre a previsão e os resultados da análise.
- A velocidade de translação do cilindro é suficientemente uniforme para que se possa aproximar a velocidade angular média pela instantânea, no movimento observado? Caso não seja, como isso se reflete nas comparações efetuadas na análise dos dados?
- O modelo de composição de movimentos explica o que se observou nesse arranjo experimental?

**C7. Conclusão:** Conclua se o modelo de composição de movimentos é adequado para descrever o movimento observado.