

Roteiro do Experimento “Velocidade Relativa (Trem)” Parte II – Referencial do Trem

A) Introdução ao Experimento

Na Parte I do experimento foi possível obter gráficos de velocidade em função do tempo para a bolinha e para o trem no *referencial do laboratório*. Agora, estudaremos a velocidade da bolinha no *referencial do trem*, o que nos possibilitará compreender o porquê da bolinha cair dentro da chaminé do trem após a travessia do túnel. Antes de prosseguir com a leitura do roteiro, e uma vez sendo conhecido o movimento da bolinha no referencial do laboratório, reflita sobre como deve ser este movimento visto do referencial do trem e responda às seguintes questões, tomando nota de suas hipóteses e indagações.

- Os ângulos de lançamento da bolinha vistos desses dois referenciais são iguais ou diferentes?
- É possível determiná-los?

A1. Operando uma mudança de referencial

Como já determinado na Parte I do experimento, o trem possui uma velocidade horizontal aproximadamente constante no *referencial do laboratório*. Portanto, tomando o laboratório como referencial inercial, o *referencial do trem* também o é, e assim, torna-se conveniente estudar o movimento da bolinha também neste novo referencial. Na Figura 1, é ilustrado o *referencial do trem* em azul, desenvolvendo uma velocidade horizontal (\vec{v}_T) em relação ao *referencial do laboratório*, disposto em vermelho.

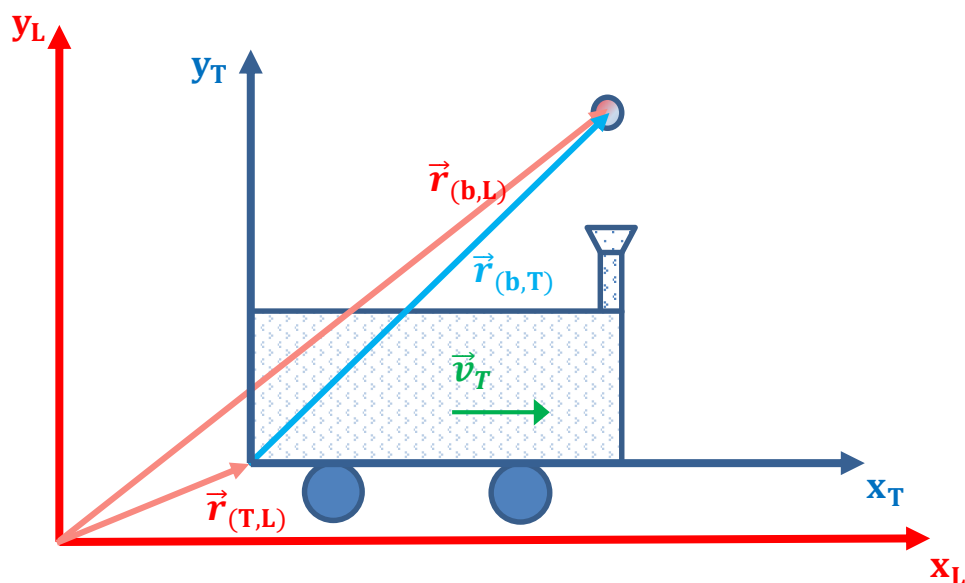


Figura 1. Referencial do laboratório em vermelho e referencial do trem em azul. A bolinha e o trem estão ilustrados, bem como seus vetores-posição nesses referenciais.

É possível associar o vetor-posição da bolinha no referencial do laboratório ($\vec{r}_{(b,L)}$) com os vetores-posição da bolinha no referencial do trem ($\vec{r}_{(b,T)}$) e do trem no referencial do laboratório ($\vec{r}_{(T,L)}$) através de uma soma vetorial direta:

$$\vec{r}_{(b,L)} = \vec{r}_{(b,T)} + \vec{r}_{(T,L)} \quad (1)$$

Derivando a Equação 1 com relação ao tempo, obtém-se uma relação entre as velocidades nos diferentes referenciais:

$$\vec{v}_{(b,L)} = \vec{v}_{(b,T)} + \vec{v}_{(T,L)} \quad (2)$$

Onde $\vec{v}_{b,L}$ é a velocidade da bolinha no referencial do laboratório, $\vec{v}_{b,T}$ é a velocidade da bolinha no referencial do trem e $\vec{v}_{T,L}$ é a velocidade do trem no referencial do laboratório. Como as direções horizontal e vertical do movimento são independentes entre si, a Equação 2 é válida isoladamente para ambas as componentes do vetor velocidade, de forma que as componentes da velocidade da bolinha no referencial do trem são tais que:

$$v_{x(b,T)} = v_{x(b,L)} - v_{x(T,L)} \quad (3)$$

$$v_{y(b,T)} = v_{y(b,L)} - v_{y(T,L)} \quad (4)$$

B) Procedimento de Análise

B1. Assista novamente aos vídeos do experimento, observando os movimentos da bolinha e do trem. Reflita, então, a respeito das seguintes questões:

- Como seria, em termos cinemáticos, o movimento da bolinha do ponto de vista de um observador fixo no referencial do trem?
- Retomando as hipóteses já elaboradas a respeito dos ângulos de lançamento: há de fato alguma diferença entre os ângulos de lançamento vistos desde os referenciais do trem e do laboratório?

B2. Recupere os dados de velocidade da bolinha e do trem já obtidos na Parte I do experimento. Sabendo que estas são velocidades calculadas no referencial do laboratório, calcule as componentes da velocidade da bolinha no referencial do trem a partir das Equações 3 e 4, lembrando-se que o trem não se move na direção vertical, ou seja, $v_{y(T,L)} = 0$.

B3. Construa os gráficos de cada uma destas componentes da velocidade da bolinha no referencial do trem em função do tempo, não se esquecendo das respectivas barras de erro. Adote a incerteza de cada uma delas como sendo:

$$\sigma_{v_{x(b,T)}} = \sqrt{2} \cdot \sigma_{v_x} \quad (5)$$

$$\sigma_{v_{y(b,T)}} = \sqrt{2} \cdot \sigma_{v_y} \quad (6)$$

Onde σ_{v_x} e σ_{v_y} são as incertezas nas componentes da velocidade correspondente ao referencial do laboratório, calculadas de acordo com o item B6 do roteiro da Parte I do experimento.

B4. Utilizando as equações do item B8 do roteiro da Parte I, calcule a média das velocidades horizontais da bolinha no referencial do trem, bem como sua incerteza. Interprete este valor. Ele corresponde a um resultado esperado?

B5. Ajuste uma linha de tendência ao gráfico da velocidade vertical da bolinha no referencial do trem em função do tempo, construído no item B3, e a partir da equação de reta fornecida pelo software utilizado, identifique e interprete seu coeficiente angular α . Calcule a incerteza no coeficiente angular α a partir da equação fornecida no item B7 do roteiro da Parte I. Compare este coeficiente angular com aquele obtido no item B7 da Parte I do experimento, verificando se são compatíveis. Estes coeficientes angulares referem-se a qual grandeza? Tais valores eram esperados?

B6. Retome as hipóteses elaboradas nos itens A e B1 para os ângulos de lançamento da bolinha desde os dois referenciais estudados. A partir dos dados de velocidade obtidos nas Partes I e II do experimento, determine

os ângulos de lançamento da bolinha nos referenciais do laboratório e do trem. Estes valores esclarecem o motivo pelo qual a bolinha volta a cair dentro da chaminé do trem?

C) Procedimento de Análise OPCIONAL

Caso opte por não realizar os procedimentos desta seção, avance para a seção D, de elaboração do relatório.

C1. Sabe-se pela literatura que o módulo da aceleração da gravidade vale aproximadamente $g = (9,7864 \pm 0,0003) \text{ m/s}^2$, segundo o Laboratório Didático do IFUSP. Compare os valores obtidos experimentalmente com este valor da literatura.

C2. A origem desta discrepância está na existência de uma paralaxe na tomada das medidas de posição da bolinha. A Figura 2 exemplifica esta situação: a bolinha está representada pelo ponto C, em vermelho. O ponto E corresponde à câmera, o segmento de reta CD representa o plano em que a trajetória da bolinha está contida e o segmento AB ilustra parte do quadriculado de fundo.

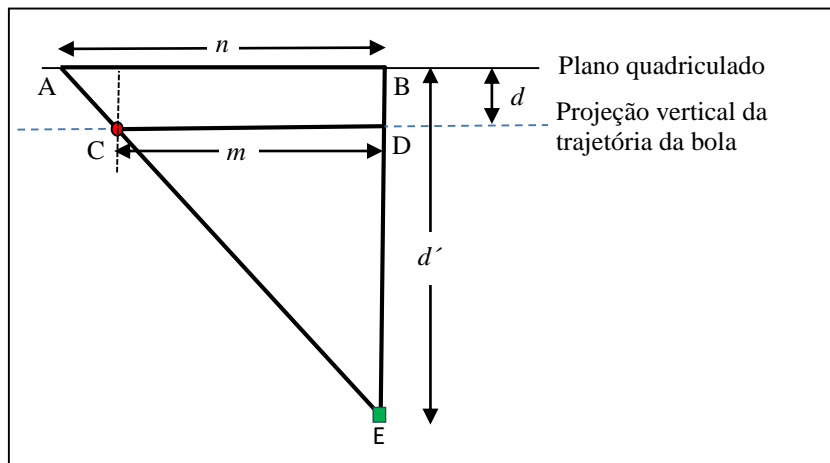


Figura 2. Esquema ilustrativo das posições dos elementos do arranjo experimental.

Os triângulos ABE e CDE são semelhantes, de forma que conhecidas as distâncias d e d' , e medida a posição n da bolinha, pode-se calcular sua posição real m a partir das relações de semelhança:

$$\frac{n}{d'} = \frac{m}{d' - d} \rightarrow m = n \left(1 - \frac{d}{d'} \right) \rightarrow m = nC \quad (7)$$

Calcule o fator C de correção, isto é, $C = 1 - d/d'$, a partir dos valores de d e d' correspondentes à sua situação experimental. O que significa o fato de termos $C < 1$?

C3. Retome os valores de velocidade vertical da bolinha no referencial do trem, obtidos no item B2, e multiplique os mesmos pelo fator C de correção. Com estes valores de velocidade corrigidos, refaça o gráfico de velocidade em função do tempo, ajuste uma nova linha de tendência e obtenha seu coeficiente angular α , calculando sua incerteza a partir da equação fornecida no item B7 do roteiro da Parte I. Este novo valor é compatível com o esperado para a aceleração da gravidade?

D) Procedimento de elaboração do relatório

O relatório deve tomar como referência um público que não conheça nem o experimento nem o que foi realizado e analisado a partir do mesmo, mas que possua conhecimentos básicos de Física. A finalidade do relatório é que uma pessoa possa compreender o que foi feito, qual foi a conclusão a que se chegou e como essa conclusão foi obtida. Redija apresentações claras, objetivas e sintéticas dos aspectos relacionados abaixo,

ocupando em torno de *três páginas*. Deve ser elaborado apenas um relatório por equipe contendo as seguintes seções:

D1. Introdução: apresente a situação experimental e seu objetivo, assim como as expectativas iniciais suscitadas pelos itens B1 dos roteiros das Partes I e II.

D2. Descrição Experimental: descreva o arranjo experimental *com suas palavras*, mencionando o material utilizado e explicando o funcionamento do mesmo para a obtenção dos dados. Descreva também, se conveniente, as trajetórias dos corpos estudados e suas dimensões, distâncias e tempos característicos do experimento etc.

D3. Resultados Obtidos: apresente a tabela construída no item B2, das componentes da velocidade da bolinha no referencial do trem, verificando se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com o número adequado de algarismos significativos. Inclua também os gráficos dessas componentes da velocidade em função do tempo, como solicitado no item B3, não esquecendo-se das barras de erro. *Observação:* não inclua tabelas e gráficos já apresentados na síntese da Parte I do experimento.

D4. Análise dos Resultados, procurando abranger os seguintes pontos:

- i. Apresente o valor médio de $v_{x(b,T)}$ e sua incerteza, como solicitado no item B4, bem como a interpretação deste resultado. Inclua também os valores para o coeficiente angular α , conforme o item B5, e também a comparação deste coeficiente com o seu análogo obtido no item B7 da Parte I do experimento.
- ii. Descreva o raciocínio empregado para a determinação dos ângulos de lançamento da bolinha nos diferentes referenciais e apresente os resultados obtidos, como solicitado no item B6. Comente estes resultados.
- iii. (**Opcional**) Discuta a compatibilidade entre os valores de coeficiente angular obtidos experimentalmente e a aceleração da gravidade da literatura, como sugerido no item C1. Apresente o valor do fator C de correção para a sua situação experimental, conforme o item C2, e inclua uma tabela com os valores de $v_{y(b,T)}$ corrigidos, um gráfico desta velocidade em função do tempo e seu respectivo ajuste, como solicitado no item C3. Discuta se a compatibilidade esperada foi atingida com a correção de paralaxe.

D5. Conclusões: expresse as respostas iniciais dadas aos itens A e B1 e comente se o resultado do item B6 correspondeu ou não a estas respostas. Desenvolva sinteticamente uma análise retrospectiva do experimento, recuperando os argumentos que esclareçam as questões dos itens B1 dos roteiros das Partes I e II do experimento. Retome, por fim, o objetivo da experiência, e analise se o mesmo foi alcançado.