

INTRODUÇÃO

Na presente atividade iremos novamente estudar a queda livre de um objeto, determinando experimentalmente o valor da aceleração da gravidade. Para isso, empregaremos as técnicas básicas utilizadas no tratamento estatístico de dados, regressão linear e conhecimentos básicos de mecânica.

OBJETIVOS

- Determinar o valor da aceleração da gravidade, g (m/s^2), e
- Verificar a conservação de energia no processo de queda livre.

MATERIAL UTILIZADO

- Calculadora científica em modo de calculo estatístico,
- Material de apoio (apostilas e vídeos) divulgados no mural da turma, e
- Conjunto de dados contendo medidas de tempo (s) e distâncias (m).

RESUMO DAS BASES TEÓRICAS

Considere um novo conjunto para o estudo de queda livre conforme ilustrado abaixo. Note que passamos agora a utilizar 6 sensores óticos, numerados de 0 a 5, localizados em altitudes z_n onde $n \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$, sendo T_n o correspondente tempo cronometrado de forma similar ao exposto no roteiro anterior (Queda Livre I). Assim, após N lançamentos e tomando o sensor 0 ($n = 0$) como referência, as distancias, Δz_m , e os tempos de voo médios, $\bar{t}_m$, serão calculados via:

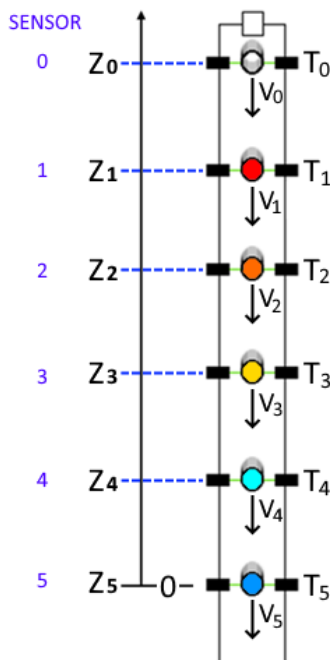


Figura 1: Ilustração esquemática de um conjunto didático para o estudo de queda livre com 6 sensores.

$$\Delta z_m = z_0 - z_m \quad \text{e} \quad \bar{t}_m = \bar{T}_m - \bar{T}_0 \quad \text{com} \quad m \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

Lembrando a definição de velocidade média, temos que as velocidades V_1 , V_2 , V_3 , V_4 e V_5 , podem ser obtidas a partir dessas quantidades, desde que a velocidade V_0 seja conhecida. Portanto, para $m \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, teremos:

$$\frac{V_0 + V_m}{2} = \frac{\Delta z_m}{\bar{t}_m} \quad [1]$$

Resta, então, a determinação de V_0 , que pode ser feita empregando o mesmo método usado na atividade anterior, ou seja, resolvendo o sistema de equações:

$$\Delta z_1 = V_0 \bar{t}_2 + \frac{G \bar{t}_2^2}{2} \quad \text{e} \quad \Delta z_2 = V_0 \bar{t}_4 + \frac{G \bar{t}_4^2}{2} \quad [2]$$

onde G será considerado como uma estimativa preliminar da aceleração da gravidade, estimativa esta que não será utilizada nos demais cálculos.

Ao final deste procedimento teremos condições de construir uma tabela de dados com os pares $(\bar{T}_0, V_0)$, $(\bar{T}_1, V_1)$, $(\bar{T}_2, V_2)$, $(\bar{T}_3, V_3)$, $(\bar{T}_4, V_4)$ e $(\bar{T}_5, V_5)$, relacionando o tempo e a velocidade do corpo de prova (esfera) em diferentes pontos de sua trajetória (queda livre).

TÓPICOS PRINCIPAIS DO PROCEDIMENTO

1. Baixe a tabela de dados em formato PDF. Nesse arquivo está disponível uma tabela contendo N medidas dos tempos de queda cronometrados (T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 e T_5), as posições dos sensores (z_0, z_1, z_2, z_3, z_4 e z_5) e o valor da massa m da esfera de aço. Observe com cuidado as unidades dessas grandezas. Observe ainda que eventualmente podemos utilizar um ponto decimal no lugar da vírgula. Nestes casos, lembre-se de substituir tal “ponto” pela “vírgula” caso necessário, especialmente se pretendes utilizar uma planilha (eg. Excel, Calc, etc).
2. Calcule as médias de $\overline{T_0}, \overline{T_1}, \overline{T_2}, \overline{T_3}, \overline{T_4}$ e $\overline{T_5}$, a estimativa de V_0 , resolvendo o sistema de equações indicado em [2], desprezando o valor eventualmente obtido para G . Em seguida, calcule os valores de V_1, V_2, V_3, V_4 e V_5 , usando [1], e construa a tabela de dados indicada a seguir.

n	Tempo $\overline{T_n}$ (s)	Velocidade V_n (m/s)	Altitude Z_n (m)
0			
1			
2			
3			
4			
5			

3. Faça uma regressão linear dos dados experimentais V_n versus $\overline{T_n}$. Indique claramente os resultados obtidos, ou seja, a inclinação da reta, A , e o termo independente, B , juntamente com o coeficiente de correlação linear (ou de determinação), r . A inclinação desta reta constituirá nossa estimativa para a aceleração da gravidade, g (m/s^2). Compare este valor com o valor tabelado ($g_{\text{tab}} = 9.8 \text{ m/s}^2$). O valor obtido de g coincide com o tabelado?
4. Construa um gráfico V versus $\overline{T}$. Não conecte os pontos experimentais. Trace nesse mesmo gráfico a reta obtida no item anterior, usando uma linha contínua. Os dados experimentais coincidem visualmente com a reta obtida a partir da regressão linear?
5. Com base nos dados experimentais e nos valores calculados, Y_n , usando a reta obtida a partir da regressão linear, construa a tabela abaixo, onde:

$$Y_n = A \cdot \overline{T_n} + B, \quad \Delta_n = \left(\frac{|V_n - Y_n|}{V_n} \right) \times 100 \% \quad \text{e} \quad \overline{\Delta}_{\%} = \Delta_{\%} / N_P$$

Nessas expressões, Δ_n é o desvio percentual entre um valor experimental e o previsto pela regressão linear, $\overline{\Delta}_{\%}$ é o correspondente desvio percentual médio, e N_P é o número de pontos experimentais que estão sendo comparados, ou seja, $N_P = 6$, na presente atividade.

n	$\overline{T_n}$ (s)	V_n (m/s)	Y_n (m/s)	Desvio Δ_n (%)
0				
1				
2				
3				
4				
5				

Em quais tempos ocorrem os maiores desvios? O valor médio desses desvios é aceitável? Com base nesses valores e no gráfico construído no item anterior, seria correto afirmar que a reta obtida via regressão linear pode ser usada para representar os dados experimentais?

6. Com base nos resultados acima, faça um teste da conservação de energia para cada valor da altura z_n . Cuidado com as unidades de cada grandeza envolvida no cálculo, especialmente a massa que é usualmente dada em g e necessita ser convertida para kg, pois E_n deve ser obtida em J. Para efetuar tal tarefa, utilize a expressão abaixo. Calcule o valor médio da energia total. Indique o maior e o menor valor encontrado para tal energia. O sistema é conservativo? Comente os desvios.

$$E_n = \frac{mV_n^2}{2} + mgz_n \quad \text{onde} \quad n \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$$

SUGESTÕES PARA REFERENCIAS

- Apostilas sobre teoria de erros (UFBA e UNICAMP) – Ver <http://physika.info>
- Apostila do INMETRO sobre unidades de medida – Ver <http://physika.info>
- Manual da calculadora CASIO fx-82MS – Ver <http://physika.info>
- Livro de Física I – ex. Halliday, Resnick e Walker Vol.1 – Mecânica.