



Experimento 1: Tempo de queda de uma esfera de aço

Paulo Dainese/Luís Eduardo E. de Araújo/R. Urbano

1. Material Utilizado

- Esfera de aço
- Rampa de lançamento
- Photogate
- Anteparo de madeira com sensor de choque
- Cronômetro
- Nível de bolha de ar

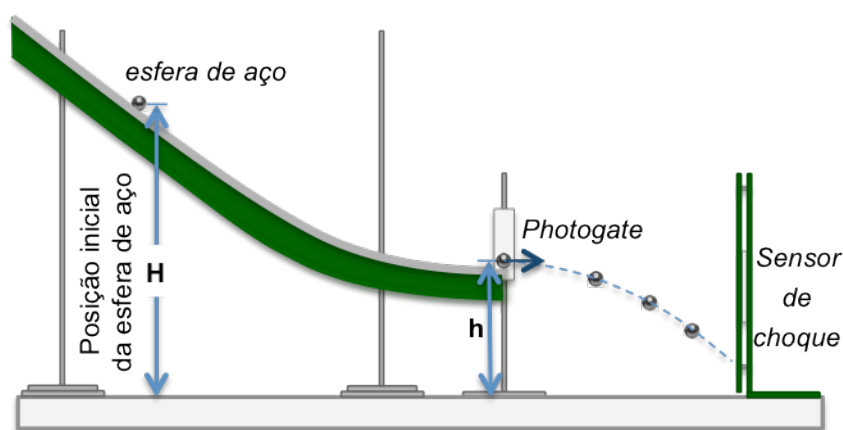


Figura 1: Montagem experimental para medir o tempo de queda de uma esfera de aço.

2. Objetivos

Este experimento tem como objetivo explorar o efeito de erros aleatórios e sistemáticos em uma medida. Para isso, mediremos o tempo de voo (queda) de uma esfera de aço após ser lançada de uma rampa executando um movimento de projétil. Esta medida deve ser realizada 100 vezes, mantendo as condições de execução do experimentos intactas. Mesmo assim, o aluno verificará que o tempo de voo varia de uma medida para outra. Haverá uma distribuição de tempos!

Com estes dados em mãos, dois aspectos básicos serão explorados:

- **Tratamento de dados:** faremos uma análise estatística dos dados, calculando a média, o desvio padrão e o erro estatístico e, finalmente, construindo um histograma dos dados;
- **Construindo hipóteses:** sabendo a altura de queda, a teoria de mecânica clássica nos diz exatamente qual deve ser o tempo de queda. Em princípio, ela não prediz que este tempo deve variar de uma medida para outra. Mas você observou que sim varia! O aluno deve

discutir com seu grupo e enumerar hipóteses que possivelmente expliquem o resultado observado.

IMPORTANTE: antes de realizar qualquer experimento, estime o valor da grandeza que será medida. Neste caso, meça a altura de queda e estime qual o tempo de voo esperado. Discuta com o professor sua estimativa.

Finalmente, o experimento proporcionará aos alunos familiaridade com equipamentos que serão utilizados em outros experimentos da disciplina.

3. Procedimento

Para este experimento será utilizada a montagem mostrada na Figura 1. A esfera de aço será lançada da rampa e o seu tempo de queda medido com o auxílio de um photogate e sensor de choque instalado no anteparo de madeira.

Coloque o photogate no extremo inferior da rampa, no ponto onde a esfera abandona a rampa. Atenção: faça com que a altura do feixe de luz fique na mesma altura do diâmetro da esfera que se move pela rampa.

O alcance máximo da esfera depende da altura da rampa em relação à mesa (h) e da posição da esfera na rampa (H). Posicione a esfera próxima ao topo da rampa e ajuste h de modo que o alcance máximo da esfera, na ausência do anteparo, seja da ordem de 50 cm. Coloque o anteparo de madeira com o sensor de choque em um ponto próximo do final da trajetória. Nivela o melhor possível o trecho final da rampa usando o nível de bolha de ar.

Este sistema deverá ser ligado ao cronômetro inteligente. O photogate deve ser conectado na entrada A do cronômetro e o sensor de choque na entrada B. O cronômetro deve ser utilizado no modo “Two Gates”. Assim, o cronômetro medirá o tempo de queda da esfera entre a saída da rampa e a posição do anteparo. Ligue o cronômetro à sua fonte de alimentação externa e em seguida, ligue a fonte à uma tomada de 110 V. Para maiores detalhes sobre o funcionamento do photogate e do cronômetro inteligente, consulte a apostila que explica o procedimento para a utilização dos mesmos.

A idéia deste experimento é lançar (soltar) a esfera de uma posição determinada e medir o tempo de queda da esfera *100 vezes*. Deve-se garantir que a esfera seja abandonada sempre da mesma posição inicial (H) na rampa a partir do repouso, tentando evitar impulsioná-la.

4. Resultados Experimentais

Copie *integralmente* e preencha a Tabela 1 da página seguinte com os 100 valores de tempos de queda da esfera de aço medidos com o cronômetro inteligente no seu caderno de laboratório. Ao final da aula, entregue uma cópia da tabela ao seu professor.

F129 - Experimento 1: Tempo de queda de uma esfera de aço

Turma: _____ Data: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Tabela 1: Tempos de queda t da esfera de aço e seu respectivo erro instrumental Δt_{inst} .

| i | $t \pm \Delta t_{\text{inst}}$ [s] | i | $t \pm \Delta t_{\text{inst}}$ [s] | i | $t \pm \Delta t_{\text{inst}}$ [s] | i | $t \pm \Delta t_{\text{inst}}$ [s] | i | $t \pm \Delta t_{\text{inst}}$ [s] |
|-----|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|------------------------------------|
| 1 | | 21 | | 41 | | 61 | | 81 | |
| 2 | | 22 | | 42 | | 61 | | 82 | |
| 3 | | 23 | | 43 | | 63 | | 83 | |
| 4 | | 24 | | 44 | | 64 | | 84 | |
| 5 | | 25 | | 45 | | 65 | | 85 | |
| 6 | | 26 | | 46 | | 66 | | 86 | |
| 7 | | 27 | | 47 | | 67 | | 87 | |
| 8 | | 28 | | 48 | | 68 | | 88 | |
| 9 | | 29 | | 49 | | 69 | | 89 | |
| 10 | | 30 | | 50 | | 70 | | 90 | |
| 11 | | 31 | | 51 | | 71 | | 91 | |
| 12 | | 32 | | 52 | | 72 | | 92 | |
| 13 | | 33 | | 53 | | 73 | | 93 | |
| 14 | | 34 | | 54 | | 74 | | 94 | |
| 15 | | 35 | | 55 | | 75 | | 95 | |
| 16 | | 36 | | 56 | | 76 | | 96 | |
| 17 | | 37 | | 57 | | 77 | | 97 | |
| 18 | | 38 | | 58 | | 78 | | 98 | |
| 19 | | 39 | | 59 | | 79 | | 99 | |
| 20 | | 40 | | 60 | | 80 | | 100 | |

$i = 1, 2, 3, \dots, N$. O número de lançamentos $N = 100$.

Δt_{inst} : _____

Relatório

ATENÇÃO: O relatório deverá ser entregue em um caderno de laboratório que contenha os dados coletados no experimento. **Todos os cálculos devem ser explicitados!!**

- (1,5) Faça um histograma com os valores de tempo de queda medidos utilizando um papel milimetrado. Para isso, defina uma largura conveniente para o intervalo do histograma e construa uma tabela de ocorrências.
- (1,0) Avalie criticamente a qualidade do histograma obtido. Você consegue perceber a presença de erros? Baseado no histograma, você consegue inferir se seu experimento foi limitado por erros aleatórios ou por erros sistemáticos? Discuta.
- (1,0) Sobre o histograma, esboce uma curva gaussiana e estime o valor médio do tempo de queda da esfera \bar{t}_H e o desvio padrão σ_H das medidas.
- (0,5) Determine a área A sob o histograma contando as divisões ocupadas por este no papel milimetrado. Determine a área $A_{2\sigma}$ no intervalo de $\bar{t}_H - \sigma_H$ a $\bar{t}_H + \sigma_H$ da mesma maneira. Qual o valor da razão $A_{2\sigma} / A$? Compare com o valor esperado teoricamente.
- (0,5) Usando os 10 primeiros valores medidos de tempo, calcule o valor médio do tempo de queda e o desvio-padrão:

i. $\bar{t} = (t_1 + t_2 + \dots + t_{10}) / 10 \rightarrow \bar{t} = (\quad)$ segundos.

ii. $\sigma = \sqrt{\frac{(\bar{t} - t_1)^2 + \dots + (\bar{t} - t_{10})^2}{10 - 1}} \rightarrow \sigma = (\quad)$ segundos.

Para o calcular os itens (i) e (ii) acima, preencha a tabela abaixo:

| i | t_i | $\bar{t} - t_i$ | $(\bar{t} - t_i)^2$ |
|----------|-------|-----------------|---------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| Σ | | ----- | |

- (0,5) Compare os valores de tempo médio e desvio-padrão obtidos nos itens (c) e (e).
- (0,5) Calcule o *erro estatístico* e o *erro total*:
 - $\Delta t_{est} = \sigma / \sqrt{10} \rightarrow \Delta t_{est} = (\quad)$ segundos.
 - $(\Delta t_{tot})^2 = (\Delta t_{est})^2 + (\Delta t_{inst})^2 \rightarrow \Delta t_{tot} = (\quad)$ segundos.
- (0,5) Escreva o resultado final no formato $t = (\bar{t} \pm \Delta t_{tot})$ s.

- (1,0) Construindo hipóteses: sabendo a altura de queda, a teoria de mecânica clássica nos diz exatamente qual deve ser o tempo de queda. Em princípio, ela não prediz que este tempo deve

variar de uma medida para outra. Enumerar hipóteses que possivelmente expliquem o resultado observado. Se realizasse o experimento novamente, proponha maneiras para eliminar ou diminuir estas fontes de erro.

- j. (1,0) Construindo um resumo: em poucas linhas (~6), descreva resumidamente seu experimento. Este resumo deve conter, de forma bem sucinta (uma frase cada tópico, aproximadamente):
- o que mediu (objetivo do experimento);
 - como mediu (o método utilizado);
 - os resultados alcançados, incluindo valores medidos ou calculados que julgar relevantes;
 - e, finalmente, sua conclusão.

A sua descrição deve ser compreensível para um aluno de qualquer universidade do país que esteja cursando ou já cursou uma disciplina equivalente a F129, mas que não conhece este experimento e nem tem acesso à apostila do experimento.