



Experimento 2: Conservação de Energia

Ricardo Urbano/ Luís E. E. de Araujo/P. Dainese

1. Material Utilizado

- Esfera de aço
- Photogate
- Cronômetro Inteligente
- Paquímetro
- Régua milimetrada ou trena
- Rampa de lançamento
- Nível de bolha de ar

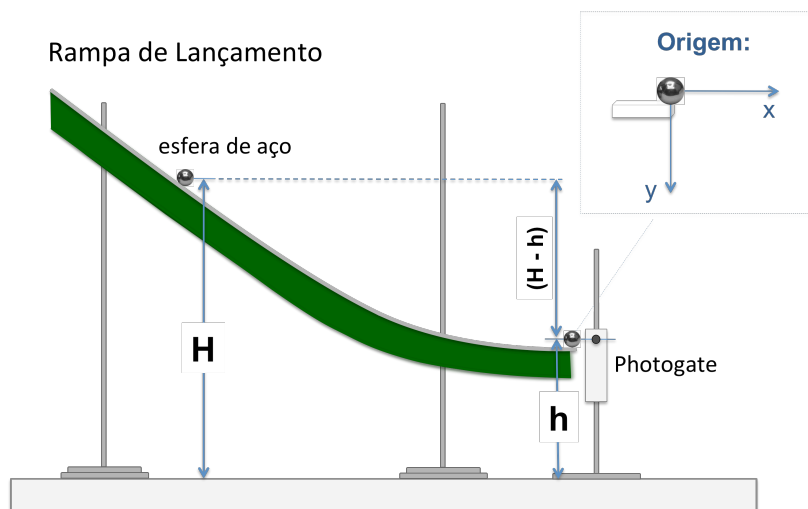


Figura 1: Montagem experimental para determinar a velocidade de uma esfera de aço na saída da rampa de lançamento

2. Objetivos

Existem na natureza, certas interações que conservam a **energia mecânica total** do sistema em que elas se manifestam. São as chamadas interações conservativas. Neste experimento, verificaremos a validade da *Lei de Conservação de Energia Mecânica* e, além disso, mediremos uma das constantes físicas mais importantes: a aceleração da gravidade (cujo valor esperado é $g = 9.8 \text{ m/s}^2$). Utilizamos este experimento para introduzir várias novas técnicas de análise e apresentação de dados:

- **Gráficos e tabelas:** o grupo construirá gráficos e tabelas com os dados coletados neste experimento. O objetivo é aprender a formatar gráficos e tabelas de maneira profissional, com atenção para um título descritivo, legenda clara, unidades corretas, escala adequada e barras de erro quando adequado. O grupo também aprenderá a trabalhar com gráfico em escala *log-log*, além de gráfico linear;
- **Extraindo parâmetros dos gráficos:** a aceleração da gravidade g será obtida através de uma *série* de medidas variando-se a altura de lançamento da esfera, e não de apenas uma única medição. O aluno aprenderá a manipular esta série de medidas, seguindo o método de *Linearização de uma Lei de Potência*. Tratando os dados por este método, ao apresentá-los em um gráfico o resultado será uma reta! A aceleração da gravidade é então obtida calculando o coeficiente angular deste gráfico. Esta técnica permite obter valores bem mais precisos se apenas uma única medição fosse realizada. Além disso, pode-se verificar que a Lei Física segue de fato o comportamento esperado!
- **Construindo hipóteses:** assim como no experimento anterior, é possível que o valor que você meça para a aceleração da gravidade não seja exatamente o valor esperado de 9.8 m/s^2 . Mais importante que obter exatamente o valor esperado, o aluno deve discutir com seu grupo e enumerar hipóteses que possivelmente expliquem o resultado observado. O valor obtido foi maior ou menor que 9.8 m/s^2 ? Quais fatores na construção ou na execução do experimento poderiam fazer com que o valor medido seja desviado para mais ou para menos do valor esperado? O que faria para resolver este problema, caso fosse realizar novamente o experimento?

IMPORTANTE: antes de realizar qualquer experimento, estime o valor da grandeza que será medida. Neste caso, sabendo a altura de queda e o diâmetro da esfera, estime o tempo em que o feixe infravermelho do *photogate* será interrompido pela passagem da esfera (esta será a leitura do *photogate*). Discuta com o professor sua estimativa.

3. Lei de Conservação de Energia Mecânica

Desprezando as forças dissipativas (ex. atrito, resistência do ar, etc.), pode-se escrever a Lei de Conservação de energia para um sistema *rampa-esfera de aço* como o da Figura 1 como:

$$E_M^{inicial} = E_M^{final}, \quad (1)$$

onde $E_M^{inicial}$ é a **energia mecânica inicial** e E_M^{final} é a **energia mecânica final**. A energia mecânica da esfera é definida como sendo a soma da energia cinética com a energia potencial gravitacional. Podemos então escrever que:

$$E_P^i + E_C^i = E_P^f + E_C^f, \quad (2)$$

onde E_P é a **energia potencial gravitacional** e E_C é a **energia cinética total** da esfera. A energia cinética total E_C é composta de uma fração de energia cinética de translação e outra de energia cinética de rotação. Ou seja,

$$E_C = E_C^{trans} + E_C^{rot}. \quad (3)$$

No caso em que a energia cinética de rotação da esfera é desprezível em relação à energia cinética de translação, podemos assumir que $E_C = E_C^{trans}$. Neste experimento, iremos verificar a validade da equação (3) para o caso de uma esfera em *Movimento Retilíneo Uniformemente Variado* (MRUV). Iremos também obter experimentalmente o valor de uma grandeza física muito importante: a **aceleração da gravidade**, g .

4. Procedimento

Ajuste a rampa de lançamento de forma que a sua extremidade inferior esteja na horizontal, como mostra a Figura 1. Esta condição garante que a componente vertical da velocidade do projétil ao deixar a rampa seja nula. Embora desnecessária neste momento, veremos que esta condição será extremamente importante em futuros experimentos com a rampa de lançamento.

A rampa de lançamento permite gerar uma velocidade inicial a um projétil para que se possa estudar seu movimento. O projétil utilizado neste experimento é uma esfera de aço.

Devemos garantir que a esfera seja abandonada de sua posição inicial H na rampa a partir do repouso, tentando evitar impulsiná-la. Assim, deixe a esfera descer a rampa e registre o tempo t decorrido utilizando um *photogate* acoplado ao cronômetro inteligente no modo “One Gate”. Posicione o *photogate* na parte final da rampa, em um trecho onde a esfera ainda esteja em contato com a mesma. Tome o cuidado para que a posição do *photogate* não seja alterada durante o experimento!

Repita o lançamento da esfera para 10 posições diferentes da esfera na rampa, ou seja, para 10 valores de H , procurando utilizar todo o comprimento linear da rampa, escolhendo intervalos igualmente espaçados. Para cada valor de H , lance a esfera uma única vez.

O cronômetro irá registrar o tempo em que a esfera leva para atravessar o *photogate*. Assim, conhecendo o diâmetro da esfera, o qual deverá ser medido com um paquímetro, pode-se estimar a velocidade da esfera $v = d/t$ no final da rampa.

5. Resultados Experimentais

Copie *integralmente* e preencha a Tabela 1 da página seguinte com os 10 valores de tempos de obstrução do *photogate* e alturas iniciais da esfera no seu caderno de laboratório. Anote o valor da massa m , do diâmetro d da esfera de aço e da altura da rampa h em seu caderno de laboratório. Ao final da aula, entregue uma cópia desses dados ao seu professor.

F129 - Experimento 2: Conservação de energia

Turma: _____ Data: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Nome: _____ RA: _____

Diâmetro da esfera:

$(d \pm \Delta d) = (\quad \pm \quad) \text{ mm}$

Altura da rampa:

$(h \pm \Delta h) = (\quad \pm \quad) \text{ mm}$

Tabela 1: Tempos de obstrução do *photogate* t_i com seu respectivo erro instrumental Δt_{inst} e alturas de lançamento da esfera H_i com seu respectivo erro instrumental ΔH_{inst} .

i	$t_i \pm \Delta t_{\text{inst}} [\text{s}]$	$H_i \pm \Delta H_{\text{inst}} [\text{cm}]$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

$i = 1, 2, 3, \dots, N$. Número de lançamentos $N = 10$.

$\Delta t_{\text{inst}} : \quad \quad \quad$

$\Delta H_{\text{inst}} : \quad \quad \quad$

Relatório – Experimento 2

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

- (1,0) Em seu caderno de laboratório, faça uma Tabela completa (título, cabeçalho, legenda, etc.) com os 10 valores de $y = (H-h)$, com as velocidades v e com os valores de v^2 .
- (1,0) Faça agora um *gráfico log-log* de y vs. v . Assumindo que a dependência y com v obedece uma **Lei de Escala** do tipo $y = kv^n$, determine **graficamente** o valor do expoente n . Justifique a sua resposta descrevendo o procedimento utilizado.
- (1,0) Faça agora um gráfico de y vs. v^2 utilizando um *papel milimetrado*. Determine graficamente o valor (com unidade!) da constante k da **Lei de Escala**, descrevendo o procedimento utilizado. Discuta o significado físico (uma distância, velocidade, aceleração, energia, etc.) desta constante.
- (0,5) Combine os resultados dos itens (b) e (c) e escreva a equação de movimento da esfera:

$$y = (\text{_____}) v^{(\text{_____})}$$

- (0,5) Caso a energia cinética rotacional da esfera possa ser desprezada, podemos escrever $E_C = E_C^{trans} = (\frac{1}{2})mv^2$. Assumindo que a energia mecânica (= potencial + cinética) da esfera se conserva, mostre que a relação esperada entre y e v é: $y = v^2 / (2g)$. Qual o valor esperado para o expoente n da **Lei de Escala**? Compare o valor esperado de n com o valor obtido experimentalmente no item (b).
- (0,5) Qual a relação entre a constante k da Lei de Escala e a aceleração da gravidade g ? A partir do valor obtido experimentalmente no item (c) para a constante k , determine agora o valor numérico da aceleração da gravidade g oriunda do seu experimento. Este resultado concorda com o valor que conhecemos de $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$?
- (0,5) Considere agora em sua análise a contribuição da **energia cinética de rotação** da esfera de aço: $E_C^{rot} = (\frac{1}{5})mv^2$. Qual a nova expressão para a energia cinética total $E_C = E_C^{trans} + E_C^{rot}$? Qual a porcentagem $(E_C^{rot} / E_C) \times 100\%$ da contribuição da energia cinética de rotação para a energia cinética total da esfera? Ela pode ser desprezada?
- (0,5) Com a nova expressão encontrada para a energia cinética total da esfera, E_C , re-obtenha a relação entre y e v . Verifique que a *nova relação* entre a constante k da **Lei de Escala** e a aceleração da gravidade g é

$$k = \frac{7}{10g},$$

- e utilizando o mesmo valor numérico da constante k obtida no item (c) a partir do experimento, determine o novo valor da aceleração da gravidade g . Este resultado concorda com o valor que conhecemos de $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$?
- (0,5) Baseado nos dois valores obtidos para g , qual dos dois modelos teóricos (com ou sem a contribuição da energia cinética de rotação) melhor descreve o experimento? A energia cinética de rotação da esfera pode ser desprezada?
 - (1,0) Construindo hipóteses: Quais fatores na construção ou na execução do experimento poderiam fazer com que o valor de g medido seja desviado para mais ou para menos do valor esperado? O que faria para resolver este problema, caso fosse realizar novamente o experimento?

k. (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.