

Experiência IV (aulas 06 e 07)

Queda livre

1. Objetivos
2. Introdução
3. Procedimento experimental
4. Análise de dados
5. Questões
6. Referências

1. Objetivos

Nesta experiência, estudaremos o movimento da queda de um corpo, comparando os resultados experimentais com o modelo da queda livre. Elaborar um modelo consiste em descrever certo fenômeno a partir de uma teoria, adotando um conjunto de hipóteses que nos levam a considerar apenas os efeitos mais importantes. Utilizaremos a análise gráfica para verificar a validade do modelo empregado e, assim, das hipóteses que o originaram. Obteremos também uma estimativa da aceleração da gravidade.

Com este estudo, também iremos discutir como medir a velocidade de um objeto, que é uma grandeza derivada de outras duas grandezas fundamentais (o tempo e o espaço).

2. Introdução

A elaboração de modelos a partir de hipóteses simplificadoras é um procedimento importante para a Física. Os fenômenos físicos dependem de muitos fatores e é fundamental saber reter apenas aqueles mais relevantes, que influenciam de modo significativo o processo considerado.

Quando uma maçã cai de uma árvore podemos dizer que ela sofre a influência da atração gravitacional, do empuxo relativo ao ar que a circunda e da resistência do ar. A princípio poderíamos considerar também a variação da atração gravitacional da Terra com a altura, a influência dos outros planetas e galáxias. Levando em conta todas estas forças para descrever a queda da maçã poderia tornar impraticável a obtenção de qualquer resultado numérico. Assim, por meio da análise da influência relativa dos fatores mencionados, podemos eleger os mais relevantes e, com a hipótese de que apenas eles governam o movimento do corpo, somos capazes de descrever o fenômeno de maneira quantitativa.

No modelo de queda livre supõe-se que toda a influência do ar sobre o movimento do corpo é desprezível. Neste caso, a hipótese com que trabalhamos é a de que não há nenhuma outra força atuando no objeto, a não ser a da atração gravitacional. Quando se aplica um modelo, é sempre necessário considerar os limites da sua aplicabilidade. Podemos usar o modelo de queda livre para afirmar que uma bolinha de chumbo e de papel caem de 1 metro de altura em um mesmo intervalo de tempo, por exemplo. Mas será que a hipótese de desprezar a influência do ar continua válida quando lançamos estes objetos do décimo andar de um prédio?

Nesta aula estudaremos a queda de um objeto com um formato aerodinâmico dentro da sala do laboratório, verificando se o modelo de queda livre descreve adequadamente os resultados empíricos dentro da nossa precisão experimental.

De acordo com a segunda lei de Newton, podemos relacionar a força resultante \vec{F} sobre um certo corpo com a sua quantidade de movimento \vec{p} como:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} , \quad (1)$$

onde $\vec{p} = m\vec{v}$, sendo m a massa do corpo e $\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt}$, a sua velocidade. Considerando a situação em que a massa é constante, temos:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} , \quad (2)$$

em que \vec{a} é a aceleração.

No modelo de queda livre trabalhamos com a hipótese de que apenas a força de atração gravitacional atua sobre o corpo. Esta pode ser dada por $m\vec{g}$, onde \vec{g} é a aceleração da gravidade, desde que o evento estudado situe-se nas proximidades da Terra. Dessa maneira, escrevemos:

$$m\vec{a} = m\vec{g} . \quad (3)$$

Considerando que a velocidade e a posição iniciais são dadas por \vec{v}_0 e \vec{x}_0 , respectivamente, a solução da equação (2), empregando (3) fornece:

$$\vec{x}(t) = \vec{x}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}}{2} t^2 , \quad (4)$$

que representa a posição do objeto em função do tempo. Se a posição e velocidade iniciais e a aceleração da gravidade possuem a mesma direção, podemos reescrever a equação acima, de maneira simplificada, como:

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{g}{2} t^2 . \quad (5)$$

A velocidade, por sua vez, é dada por:

$$v(t) = v_0 + gt \quad . \quad (6)$$

Com o modelo de queda livre tiramos uma outra conclusão importante acerca do movimento do corpo e que empregaremos na análise dos dados: como se considera que a aceleração é constante, podemos dizer que a velocidade média entre dois instantes t_1 e t_2 é igual à velocidade instantânea na metade do intervalo, $t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$. Dessa forma, temos:

$$v(t_m) = \overline{v_{t_1, t_2}} = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1} \quad . \quad (7)$$

Podemos nos questionar em que condições esta aproximação é válida. Será que ela é válida somente para o caso da queda livre? Ou será que mesmo para situações onde a influência do ar é mensurável, esta aproximação também é válida para intervalos de tempo curtos?

3. Procedimento experimental

Nesta experiência, o objeto a ser lançado tem a forma de um elipsoide de revolução (parecido com um ovo), que cai entre dois fios metálicos sem tocá-los.

Inicialmente, o objeto é mantido no topo da haste por meio de um eletroímã, que é desligado através de uma chave, liberando o elipsoide.

O acionamento continuado desta chave, **durante** a queda do elipsoide, provoca pulsos de alta tensão entre os fios e, devido a um anel metálico em torno do corpo (na Figura 1 ele é representado por uma faixa hachurada em torno do elipsoide, que é feito de um material isolante), ocorrem descargas elétricas entre os fios, originando faíscas. Os pulsos são gerados por um circuito elétrico, com a mesma frequência da rede elétrica, $f = 60,00 \text{ Hz}$ (estes quatro algarismos significativos mostram a grande precisão do período de oscilação da rede elétrica).

Assim, o intervalo de tempo entre duas faíscas é $T = \frac{1}{60,00} \text{ s}$.

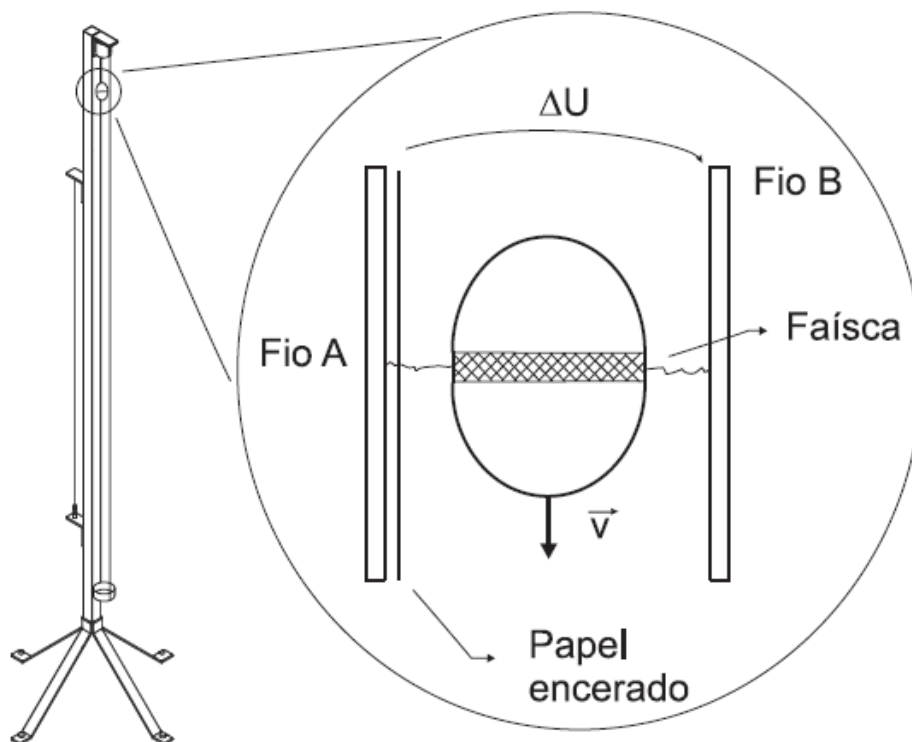


Figura 1: equipamento utilizado para o estudo da queda do corpo. As faíscas provocadas pelos pulsos de alta tensão entre os dois fios marcam um papel encerado.

Para registrar a ocorrência das faíscas emprega-se uma fita de papel encerado (papel de fax), colocada ao longo da haste de suporte dos fios. As descargas elétricas marcam o papel, determinando a posição do objeto no instante em que a faísca ocorreu.

Para se realizar a tomada de dados sugerimos os seguintes passos:

- 1) para garantir que o elipsoide marque corretamente o papel, é importante observar se a haste de suporte dos fios está alinhada com a vertical, o que pode ser verificado com um fio de prumo e com algumas simulações de queda do corpo. Nestas deve-se notar se o objeto não toca os fios. **Tome muito cuidado para não tomar um choque elétrico;**
- 2) para obter o deslocamento do corpo com o tempo, usamos o papel encerado que será marcado pelas faíscas em intervalos constantes. Nesta etapa deve-se prender o papel na haste e colocar o elipsoide no topo dela, preso pelo eletroímã;
- 3) após garantir que a haste esteja na vertical, a fita presa corretamente e o elipsoide preso no topo da haste, aciona-se a chave que desliga o eletroímã e ao mesmo tempo dá início aos pulsos de alta tensão. **Mantenha a chave pressionada durante toda a queda;**
- 4) após a queda do elipsoide, é importante observar se as marcas no papel encerado são regulares, pois isto garante que todas as faíscas ocorreram corretamente e não houve falhas.

4. Análise de dados

Para analisarmos o movimento do corpo, podemos determinar a relação entre a sua velocidade e o tempo. Para isso, medimos o deslocamento do elipsoide $\Delta x_{ij} = x(t_j) - x(t_i)$, correspondente ao intervalo de tempo $\Delta t_{ij} = t_j - t_i$, obtendo a velocidade instantânea em $t_m = \frac{t_i + t_j}{2}$, a partir de (7):

$$v(t_m) = \overline{v}_{t_i, t_j} = \frac{\Delta x_{ij}}{\Delta t_{ij}} = \frac{x(t_j) - x(t_i)}{t_j - t_i} .$$

É importante lembrar que ao usarmos esta relação assumimos que a aceleração é constante, pelo menos em um breve intervalo de tempo.

Na análise dos dados, além da unidade convencional de tempo, o *segundo*, podemos alternativamente adotar como unidade de tempo o intervalo entre duas faíscas, a qual denominamos de *ut*, onde $ut = (1/60)s$. Por exemplo, podemos dizer que a terceira faísca ocorre em $3ut$. Fica a critério do aluno escolher a unidade de tempo usada na análise.

A análise dos resultados é feita a partir das seguintes etapas:

Parte I:

- 1) identificar o primeiro ponto marcado na fita, associando-o com o instante inicial, ou seja, $t = Out$ (ou 0 s). Localizar os demais, anotando ao lado deles os tempos correspondentes em *ut* ou *segundos* ($1ut$, $2ut$, $3ut$ e etc);
- 2) medir a distância entre os diversos pontos, $\Delta x_{ij} = x(t_j) - x(t_i)$, com uma régua, anotando os valores em uma tabela com a descrição do intervalo ao qual eles se referem. Um dos integrantes do grupo, denominado de A, obterá a distância entre duas marcas consecutivas (1-2, 3-4, 5-6 e etc) e o B medirá, pulando uma marca (1-3, 2-4, 5-7, 6-8 e etc). Veja que nenhum ponto foi tomado como extremo comum a dois intervalos. Isto foi feito para evitar que um dado seja dependente de outro. Não se esqueça de estimar a incerteza destes valores;
- 3) construir tabelas das velocidades instantâneas e dos tempos aos quais elas se referem, com as respectivas incertezas.

Parte II:

- 1) Fazer um gráfico da velocidade em função do tempo, empregando os pontos obtidos na etapa anterior, colocando barras de incerteza. Assumindo a validade das hipóteses que dão origem ao modelo de queda livre, esperamos obter uma dependência linear entre a velocidade e o tempo, o

que representa que a aceleração do corpo é constante. A partir desta ideia, avalie a adequação do modelo aos dados. Eles são bem descritos por uma reta?

- 2) Por meio da análise do gráfico, determinar os parâmetros da reta com as respectivas incertezas (há uma explicação sobre isto no capítulo IV Interpretação gráfica de dados). Teremos então a velocidade no instante inicial e a aceleração do corpo;
- 3) Discutir os resultados obtidos, comparando a aceleração da gravidade obtida com o valor fornecido pelo IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas), $g = 9,7864 \text{ m/s}^2$.

5. Questões

- 1) Por que é importante tomar intervalos cujos extremos não sejam repetidos?
- 2) A primeira faísca deve obrigatoriamente ocorrer com o acionamento da chave que desliga o eletroímã? Neste sentido, o valor da velocidade inicial tirado do ajuste da reta está de acordo com o esperado?

6. Referências

1. J. H. Vuolo et al, Física Experimental 2 para o Bacharelado em Física, Geofísica e Meteorologia, Instituto de Física da USP (2005).