

Apostila de Física
MOVIMENTO DE QUEDA LIVRE

(1ª versão - Versão provisória - setembro/2000)

Prof. Petrônio Lobato de Freitas

A Experiência de Galileu

Observando a queda de um objeto podemos notar que a sua velocidade aumenta à medida que ele cai. Ao jogarmos um corpo verticalmente para cima, sua velocidade vai diminuindo progressivamente.

O famoso cientista italiano Galileu Galilei (1564 - 1642) realizou experiências para tentar entender o movimento de queda dos corpos. Até a época de Galileu, acreditava-se que se dois corpos de pesos diferentes fossem abandonados juntos de uma mesma altura, o corpo mais pesado chegaria primeiro ao chão. Era essa a previsão do grande filósofo grego Aristóteles (384 - 322 a.C.), cujas idéias prevaleceram durante muitos anos. As propostas de Aristóteles, porém, não se fundamentavam em experiências.

Galileu Galilei foi um dos cientistas que introduziram o método experimental no estudo dos fenômenos físicos. O método experimental consiste em realizar experiências e observações cuidadosas, aplicar sobre elas um raciocínio lógico e, então, tirar as conclusões.

Conta a lenda que Galileu reuniu algumas pessoas de renome e levou-as a uma torre. Subindo ao alto da torre, Galileu tomou duas esferas de pesos diferentes e abandonou-as ¹ juntas daquela altura para que caíssem. Esperava-se que o corpo mais pesado caísse mais rapidamente que o corpo mais leve, como havia previsto o filósofo Aristóteles, alguns séculos antes. Para o espanto de Galileu, os dois corpos atingiram o chão juntos. Galileu concluiu que **se um corpo pesado e um corpo leve forem abandonados juntos de uma mesma altura, eles cairão juntos, chegando ao mesmo tempo no chão.**

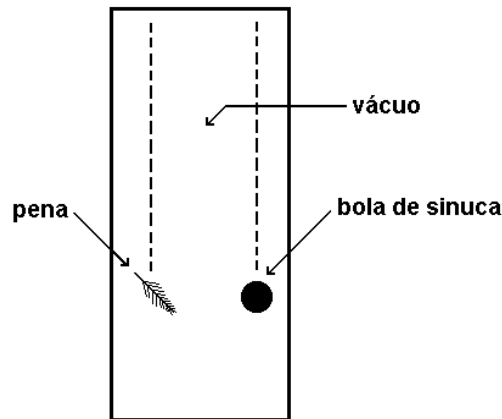
Resistência do Ar e Queda Livre

Freqüentemente vemos corpos pesados caírem mais rapidamente do que corpos mais leves, o que aparentemente contraria a conclusão de Galileu. Uma manga cai da árvore mais rapidamente do que uma folha seca. Isso se deve à **força de resistência do ar, que atua sempre no sentido contrário ao movimento do corpo**. Todos os corpos, ao caírem no ar, sofrem o efeito dessa força, porém, nos corpos mais leves, esse efeito é mais forte e, por isso, no ar, os corpos muito leves demoram mais tempo para caírem.

A palavra **vácuo** significa vazio. No **vácuo** ², isto é, na ausência de ar, dois corpos de pesos diferentes cairiam simultaneamente, de acordo com o que previu Galileu. Assim, se fizermos vácuo em um recipiente, e deixarmos cair uma pena de passarinho e uma bola de sinuca, ambas chegarão ao chão juntas, pois não haverá ar para oferecer resistência ao movimento de queda desses corpos.

¹ **Abandonar** um corpo significa soltá-lo com velocidade inicial zero.

² A palavra **vácuo** significa vazio. Em Física, costumamos usar a palavra vácuo para indicar a ausência de ar ou de outro tipo qualquer de gás.



A conclusão de Galileu também é válida em situações onde a resistência do ar é tão pequena que pode ser desprezada. Esse movimento de queda que ocorre sem a interferência da resistência do ar é chamado de **queda livre**.

A Aceleração da Gravidade

O movimento de queda livre é um movimento uniformemente acelerado, isto é, a velocidade do corpo aumenta sempre numa mesma proporção, ou, dizendo de maneira mais exata, a aceleração sofrida pelo corpo é sempre constante. Como corpos de pesos diferentes caem com a mesma aceleração, esse valor será constante para qualquer corpo em queda livre. A essa aceleração damos o nome de **aceleração da gravidade**. A aceleração da gravidade é representada pela letra **g**. Fazendo medidas precisas, chegou-se a conclusão de que o valor da aceleração da gravidade vale aproximadamente ³

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

isto é, quando um corpo cai, sua velocidade aumenta 9,8 m/s em cada segundo.

Assim, quando um objeto é abandonado com velocidade inicial nula e sofre uma queda livre, sua velocidade aumenta em cada segundo conforme mostra o esquema abaixo.

Objeto em queda livre. Sua velocidade aumenta 9,8 m/s em cada segundo.

Atrás do objeto uma fita graduada mostra que a distância percorrida aumenta proporcionalmente ao quadrado do tempo.

³O valor da aceleração da gravidade varia ligeiramente de lugar para lugar, de acordo com certos fatores, como por exemplo, a altitude e a latitude do lugar. Em Belo horizonte a aceleração da gravidade vale aproximadamente 9,78 m/s². Em certas circunstâncias, podemos arredondar o valor da aceleração da gravidade para $g = 10 \text{ m/s}^2$ para facilitar os cálculos

tempo	velocidade	distância percorrida
t = 0 s	v = 0 m/s	d = 0 m
t = 1 s	v = 9,8 m/s	d = 4,9 m
t = 2 s	v = 19,6 m/s	d = 19,6 m
t = 3 s	v = 29,4 m/s	d = 44,1 m
t = 4 s	v = 39,2 m/s	d = 78,4 m
t = 5 s	v = 49,0 m/s	d = 122,5 m

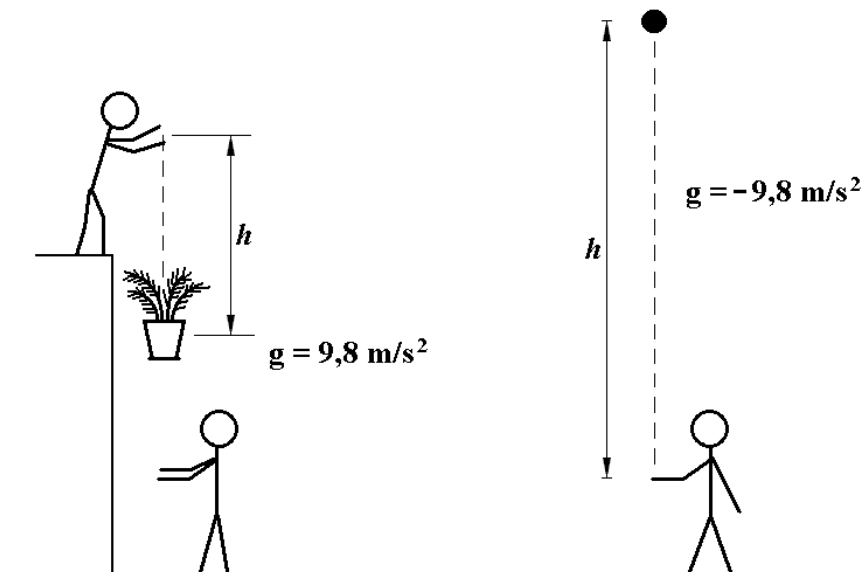
Como o movimento de queda livre é um **movimento retilíneo uniformemente variado** (MRUV), as equações vistas anteriormente para esse tipo de movimento valem também para este.

$$d = v_o \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$v = v_o + a \cdot t$$

$$v^2 = v_o^2 + 2 \cdot a \cdot d$$

Devemos lembrar que, como o movimento é vertical, a distância d é, na verdade, a altura h percorrida pelo objeto durante sua queda ou sua subida e a aceleração a é a própria aceleração da gravidade, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Lembramos ainda que se considerarmos a velocidade sempre positiva, a aceleração da gravidade deverá ser tomada com sinal positivo nas quedas, pois a velocidade aumenta à medida que o tempo passa, e deve ser tomada com sinal negativo nos movimentos de subida, pois a velocidade diminui à medida que o tempo passa.



Exercícios Resolvidos

ER-1) Uma fruta madura cai da árvore com velocidade inicial zero. Calcule a velocidade com que ela atinge o solo, sabendo que ela caiu de uma altura de 4,0m.

$$v_o = 0 \text{ m/s}$$

$$a = g = 9,8 \text{ m/s}^2 \text{ (aceleração da gravidade)}$$

$$d = 4,0 \text{ m}$$

$$v^2 = v_o^2 + 2 \cdot a \cdot d$$

$$v^2 = 0^2 + 2 \cdot 9,8 \cdot 4,0$$

$$v^2 = 0 + 78,4$$

$$v^2 = 78,4$$

$$v = \sqrt{78,4} \text{ m/s}$$

Podemos resolver a raiz quadrada pelo método de resolução de raiz quadrada, aprendido em Matemática, resolvendo-a por aproximação, ou fazendo o cálculo com uma calculadora (indicado apenas quando se deseja uma grande precisão). Vamos resolvê-la por aproximação. Sabemos que $8 \times 8 = 64$ e $9 \times 9 = 81$. Então o resultado da raiz quadrada está entre 8 e 9. Tentando 8,5 encontraremos $(8,5)^2 = 72,25$. Tentando um número maior, encontraremos uma boa aproximação: $(8,9)^2 = 79,21$. Então, a velocidade com que a fruta atinge o solo vale aproximadamente 8,9 m/s. Assim,

$$v = \sqrt{78,4} \Rightarrow v \approx 8,9 \text{ m/s}$$

ER-2) Calcule quanto tempo durou a queda da fruta do exercício anterior (ER-1).

Utilizando o resultado do exercício anterior, temos:

$$v_o = 0 \text{ m/s}$$

$$v = 8,9 \text{ m/s}$$

$$a = g = 9,8 \text{ m/s}^2 \text{ (aceleração da gravidade)}$$

$$v = v_o + a \cdot t$$

$$8,9 = 0 + 9,8 \cdot t$$

$$\frac{8,9}{9,8} = t$$

$$t = 0,90816$$

Fazendo o arredondamento para apenas dois algarismos significativos, temos:

$$t = 0,91 \text{ s}$$

ER-3) Um menino joga uma pedra para cima e observa que ela atingiu a altura máxima num tempo de 2,5 s. Calcule a velocidade com que o menino arremessou a pedra.

$$t = 2,5 \text{ s}$$

$$a = g = -9,8 \text{ m/s}^2 \text{ (velocidade diminui, aceleração negativa)}$$

$v = 0 \text{ m/s}$ (na posição mais alta a velocidade vale zero, pois a pedra precisa parar antes de começar a cair)

$$v = v_o + a \cdot t$$

$$0 = v_o - 9,8 \cdot 2,5$$

$$0 = v_o - 24,5$$

$$24,5 = v_o$$

$$v_o = 24,5 \text{ m/s}$$

ER-4) Calcule o tempo gasto para um objeto cair de uma altura de 30 m, supondo que ele parte do repouso e não sofre resistência do ar durante a queda.

$$d = h = 30 \text{ m}$$

$$a = g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$d = v_o \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$30 = 0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot t^2$$

$$30 = 0 + 4,9 \cdot t^2$$

$$30 = 4,9 \cdot t^2$$

$$\frac{30}{4,9} = t^2$$

$$6,122 = t^2$$

$$\sqrt{6,122} = t$$

Resolvendo a raiz quadrada por aproximação, temos:

$2 \times 2 = 4$ e $3 \times 3 = 9$. Então, o valor de t está entre 2 e 3. Fazendo outras tentativas, encontramos uma boa aproximação:

$$2,4 \times 2,4 = 5,76$$

$$2,5 \times 2,5 = 6,25$$

Então o valor de t está mais próximo de 2,5 do que de 2,4. Então, escrevemos que

$$t = \sqrt{6,122} \cong 2,5$$

$$t \cong 2,5 \text{ s}$$

Exercícios

Procure resolver os exercícios propostos abaixo **com a intenção de aprender**. De nada adianta resolver um exercício se você não estiver aprendendo com ele. Portanto, procure entender bem o texto, preste bastante atenção nas respostas que der e resolva os problemas numéricos de maneira clara e organizada, escrevendo a fórmula utilizada antes de substituir nela os valores. Não use calculadora para fazer as contas; use lápis, papel e seu raciocínio.

- 1) Por que no ar uma pena e uma pedra, abandonadas de uma mesma altura com velocidade inicial zero, caem com acelerações diferentes?

- 2) Explique o que é um movimento de queda livre.

- 3) O que é vácuo?

- 4) Um corpo é arremessado para cima com velocidade inicial $v_0 = 30 \text{ m/s}$. Desprezando a resistência do ar e considerando a resistência do ar como $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, responda:
 - a) Qual a velocidade do corpo na posição mais alta de sua trajetória? Explique com suas palavras.

 - b) Qual o tempo gasto para esse corpo atingir o ponto máximo de sua trajetória? Resolva os cálculos de maneira clara e organizada.

 - c) Qual a altura máxima atingida por esse corpo?

5) a) O que significa dizer que um corpo cai com uma aceleração de $9,8 \text{ m/s}^2$?

b) Complete a tabela de velocidade \times tempo para o movimento de queda livre de um corpo.

v (m/s)											
t (s)	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10

6) Um objeto de $5,0 \text{ kg}$ é abandonado a uma altura de $19,6 \text{ m}$ acima do solo. Desprezando a resistência do ar e considerando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, responda:

a) Qual o tempo gasto por esse objeto para atingir o chão? Faça os cálculos de maneira clara e organizada.

b) Calcule a velocidade do corpo ao tocar o chão.

c) Qual o tempo que um outro objeto de 10 kg gastaria para chegar ao chão? Qual a sua velocidade nesse instante? Justifique sua resposta com palavras.

