PROF. ALBERTO RICARDO PRÄSS

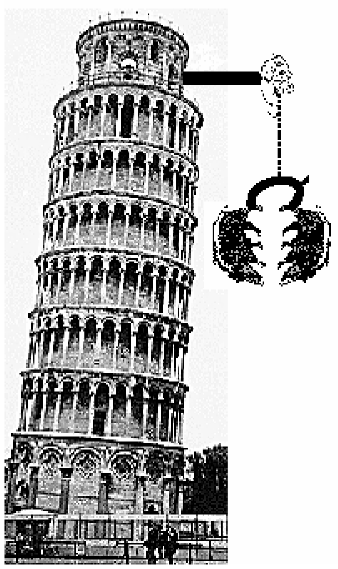
FISICA.NET

O CANAL DA FÍSICA NA INTERNET

Lançamento vertical e queda livre

Se soltarmos ao mesmo tempo e da mesma altura duas esferas de chumbo, uma pesando 1 kg e outra 2 kg, qual delas chegará primeiro ao chão?

Os antigos gregos acreditavam que quanto maior fosse a massa de um corpo, menos tempo ele gastaria na queda. Será que os gregos estavam certos?



O físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) realizou uma célebre experiência, no início do século XVII, que desmentiu a crença dos gregos. Conta-se que pediu a dois assistentes que subissem no topo da torre de Pisa e de lá abandonassem, cada um, um corpo de massa diferente do outro. Para surpresa geral dos presentes, os dois corpos chegaram ao solo no mesmo instante.

Quer dizer então que o tempo de queda de um corpo não depende de sua massa? É exatamente isso: ao contrário do que a maioria da pessoas imagina, a massa de um corpo não influi no seu tempo de queda. Quer dizer então que se eu soltar, ao mesmo tempo e de uma mesma altura, uma pena e um parafuso de ferro, os dois chegarão juntos ao chão? Sim, se o experimento for feito no vácuo, sem a presença do ar, que vai atrapalhar muito o movimento da pena, que é leve. Se você realizar o experimento, certamente a pena chegará ao chão depois do parafuso, mas se o experimento for repetido numa câmara de vidro bem fechada, e do interior dela for retirado todo o ar, certamente a pena e o parafuso chegarão juntos ao chão.

Você mesmo pode verificar esse fato. Solte uma folha de papel ao mesmo tempo que uma borracha. A resistência do ar fará com que a folha de papel chegue depois da borracha. Agora amasse bem a folha de papel e solte-a mais uma vez junto com a borracha. Elas chegam praticamente juntas ao chão, pois nessa situação a resistência do ar tem pouca influência.

O movimento de queda livre corresponde ao movimento de um corpo abandonado nas proximidades da superfície da Terra (velocidade inicial nula, $v_o = 0$); já no lançamento vertical, deveremos imprimir ao corpo uma certa velocidade inicial $(v_o \neq 0)$, no sentido ascendente ou descendente.

Em ambos os casos (queda livre ou lançamento vertical), estaremos tratando de movimentos que se dão com aceleração constante $(a = g = 9,8 m/s^2)$; serão analisados, portanto, como casos particulares de movimento uniformemente variado (MUV) e, dessa maneira, estudados a partir das mesmas equações.

Obs.: na latitude de 45º e ao nível do mar $g = 9.80665 m/s^2$.

Deveremos tomar alguns cuidados no momento em que formos atribuir sinais às grandezas envolvidas:
Δx : deslocamento;
v: velocidade;
a : aceleração ;
pois dependerão apenas do sentido que fixarmos para a trajetória.

Existem duas possibilidades:
* atribuir sinal positivo (+) a velocidade, independentemente se o corpo está subindo ou descendo, aí as grandezas que possuírem o mesmo sentido terão também um sinal positivo (+) e as que possuírem sentido contrário terão sinal negativo (-)

Subida: $\begin{matrix} v(+) \\ \Delta x(+) \\ a(-) \end{matrix}$ Descida: $\begin{matrix} v(+) \\ \Delta x(+) \\ a(+) \end{matrix}$

* atribuir sinal positivo (+) para todas as grandezas que possuírem orientação vertical de baixo para cima e sinal negativo (-) para todas as grandezas que possuírem orientação vertical de cima para baixo.

$$\text{Subida: } \begin{matrix} v(+) \\ \Delta x(+) \\ a(-) \end{matrix} \qquad \text{Descida: } \begin{matrix} v(-) \\ \Delta x(-) \\ a(-) \end{matrix}$$

A primeira escolha funciona para os testes mais simples, mas exige um certo cuidado, já que não resolve os testes mais complexos (aqueles que envolvem a subida e a descida do móvel e a posição do corpo em algum instante do movimento).

A segunda escolha é mais segura e resolve todos os casos (por isso será adotada preferencialmente).

Esse tipo de movimento apresenta as seguintes propriedades:

* A velocidade do corpo no ponto mais alto da trajetória (altura máxima) é zero, instantaneamente.
* O tempo gasto na subida é igual ao na descida (desde que ele sai de um ponto e retorne ao mesmo ponto).
* A velocidade, num dado ponto da trajetória, tem os mesmos valores, em módulo, na subida e na descida.

Todas as relações citadas podem ser obtidas a partir das equações do MUV:

$$\Delta x = v_o t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v = v_o + at$$

$$v^2 = v_o^2 + 2.a.\Delta x$$

apenas lembrando que:

$$\Delta x \Rightarrow \Delta h$$

$$a \Rightarrow g$$

ATENÇÃO: Não é necessário decorar fórmulas ou expressões particulares para cada condição ou situação do lançamento vertical ou da queda livre; para tanto, basta ter em mente que esses movimentos são casos particulares do MUV com aceleração conhecida ($a = g = 9{,}8 m/s^2$).

Exemplo:
Um corpo é lançado verticalmente para cima, a partir do solo, com uma velocidade inicial de 40m/s. Desprezando-se a resistência do ar e adotando-se $g = 10m/s^2$, determinar:

a) a altura máxima atingida;
b) o tempo gasto na subida;
c) a duração do movimento;
d) quanto tempo após o lançamento estará a 60m do solo;
e) sua velocidade ao passar por esse ponto;
f) sua velocidade ao retornar ao chão;
g) os gráficos de x=f(t) e v=f(t)

Solução

$$\begin{cases} x_o = 0 \\ v_o = +40m/s \\ a = g = -10m/s^2 \end{cases}$$

A equação horária será:

$$x = x_o + v_o t + \frac{1}{2}at^2$$

$$x = 0 + 40t - \frac{1}{2}.10.t^2 \quad \rightarrow \quad x = 40t - 5t^2$$

A equação da velocidade será:

$$v = v_0 + at$$

$$v = 40 - 10t$$

a) A altura máxima será determinada pela equação de Torricelli:

$$v^2 = v_o^2 + 2.a.\Delta x$$

sabendo-se que a altura máxima é o ponto onde a velocidade instantânea é nula, teremos

$$0^2 = 40^2 - 2.10.?x \quad \rightarrow \quad 0 = 1600 - 20\Delta x$$

$$20\Delta x = 1600 \quad \rightarrow \quad \Delta x = \frac{1600}{20} = 80m$$

b) Para determinar o tempo de subida, trabalhamos com a equação da velocidade:

$v = 40 - 10t$

No ponto de altura máxima, $v = 0$, donde:

$0 = 40 - 10t \quad \Rightarrow \quad 10t = 40 \quad \Rightarrow \quad t_{subida} = \frac{40}{10} = 4s$

c) O tempo de queda é igual ao tempo de subida.

d) Quando o móvel estiver a 60m do solo, teremos $x = 60m$.

Substituindo na equação horária

$x = 40t - 5t^2$
$60 = 40t - 5t^2$

Resolvendo essa equação (usando Báskara), chegamos a dois instantes de tempo: $t_1 = 2,0s$ e $t_2 = 6,0s$.

Isso indica que o móvel passa duas vezes pelo ponto $x = 60m$: 2,0s após o lançamento (subida) e 6,0s após o lançamento (descida).

e) Para determinar a velocidade do móvel a 60m do solo, trabalhamos com a equação da velocidade:

$v = 40 - 10t$

1ª passagem: $t_1 = 2,0s \Rightarrow \quad v = 40 - 10.2 = 20m/s$
2ª passagem: $t_2 = 6,0s \Rightarrow \quad v = 40 - 10.6 = -20m/s$

Observe que os valores são iguais em módulo e de sinais contrários, como era de se esperar, já que um se refere a subida e o outro a descida.

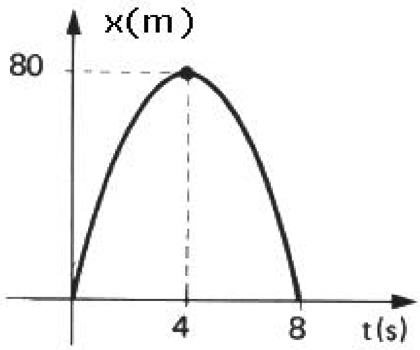
f) A velocidade do móvel ao retornar ao solo pode ser obtida de várias formas:

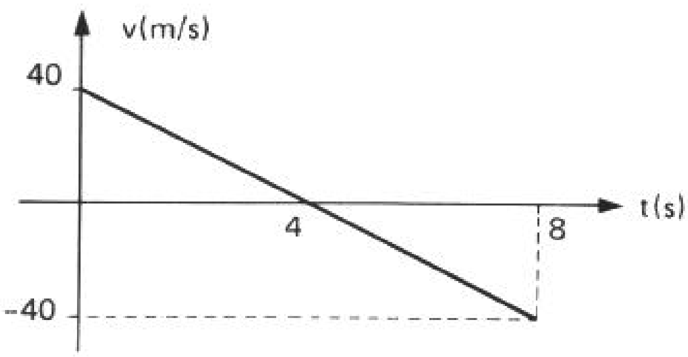
* pela equação da velocidade, sabendo-se que o intervalo de tempo necessário para o corpo retornar é a soma dos intervalos de tempo de subida e descida, $\Delta t_{total} = 20 + 20 = 40s$

v = 40 - 10t ➔ v = 40 - 10.8 = -40m/s

Observe que o módulo da velocidade de chegada é igual ao módulo da velocidade de partida. Isso era esperado, já que é uma das propriedades do lançamento vertical e da queda livre.

g) Os gráficos podem ser determinados pela equação da posição e a equação da velocidade.





Informação adicional

Na ocasião em que flutuavam sem peso dentro da *Mir*, *os astronautas* não estavam fora das garras da gravidade terrestre. Eles e a Mir estavam em queda livre em volta da Terra. Aqui na Terra, a maior parte de nós só consegue chegar perto da ausência de peso durante frações de segundo. É a sensação de estômago na garganta que temos quando uma montanha russa passa pelo ponto mais alto, ou quando o chão do elevador sai debaixo de nossos pés rápido demais. Então, por um único instante, estamos em queda livre.

Como uma nave espacial em órbita pode estar caindo? Imagine que, por mágica, você esteja de pé no topo de uma torre que vai até 400 quilômetros acima da Terra. A essa altura, a atmosfera é tão rarefeita que não fará com que a bola que você está prestes a jogar seja retardada por um tempo significativo. De pé, no topo dessa torre, você consegue jogar a bola de tal modo que ela voe da sua mão a 27 mil e 600 quilômetros por hora. A essa velocidade, a curva de queda da bola para a Terra segue a curvatura da superfície terrestre. Mantida a velocidade, a bola irá cair dando a volta em torno da Terra diversas vezes, a uma altitude constante. Se a bola fosse uma espaçonave oca, ela e tudo dentro dela pareceria não ter peso, do mesmo modo como você estava caindo, quando o chão do elevador despencou sob seus pés.

Fontes consultadas:
http://br.geocities.com/saladefisica/
Novo Manual do Vestibular – Editora Abril
National Geographic