Licenciatura em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

Programa

- Física na Biologia
- **Sólidos e Fluidos**
- Electricidade
- Magnetismo
- Vibrações e Ondas
- Óptica geométrica
- Física Contemporânea (!)

Estes slides contêm imagens retiradas da web, assim como conteúdos gráficos das referências
Physics for Scientists and Engineers, R. A. Serway & J. W. Jewett, Thomson Brooks/Cole 2004.
Light and Matter, B. Crowell, Open Education Consortium, Creative Commons 3.0.

AN 2015

Licenciaturas em Biologia

Física para Biólogos

2019-2020

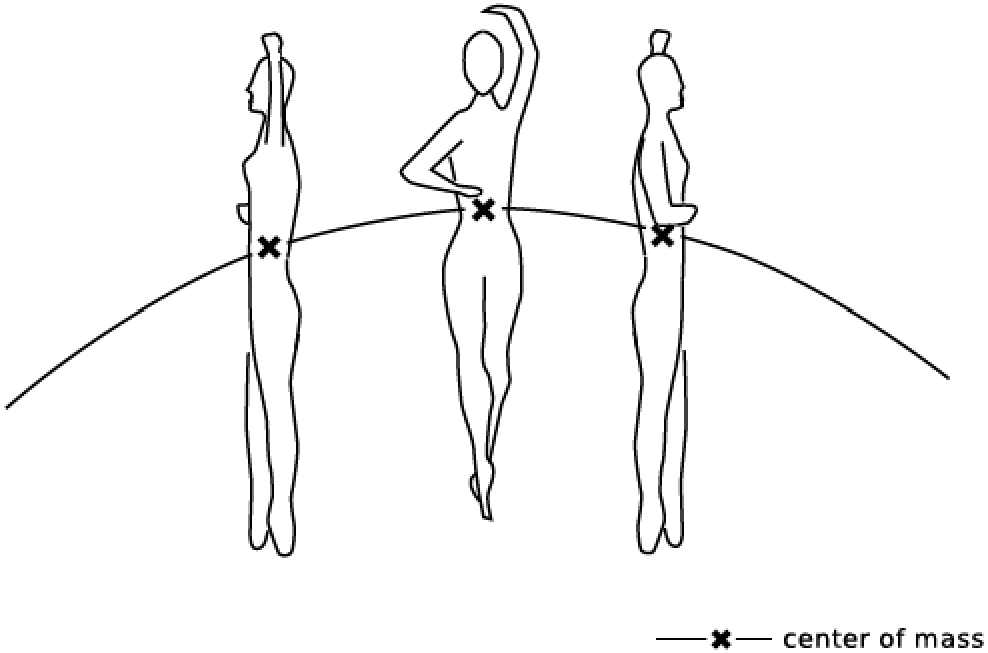
2- Sólidos e Fluidos

- Movimentos.
- Forças e movimentos. Conservação do momento linear.
- Trabalho e energia. Conservação de energia e energia potencial.
- Pressão. Princípio de Arquimedes.
- Tensão superficial e capilaridade.
- Escoamentos e equação de Bernoulli.
- Viscosidade.
- Movimento de insectos, aves e bactérias.
- Difusão e pressão osmótica.
- Equação de Nernst para a membrana do axónio.

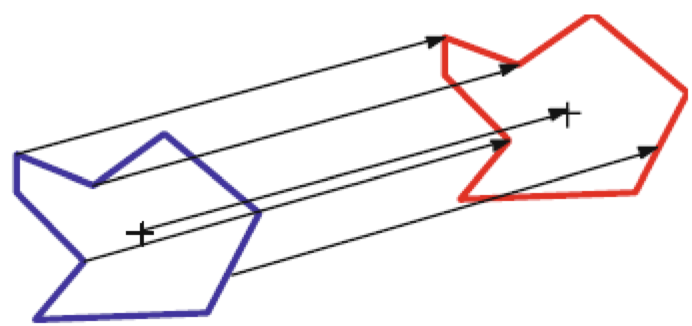
2.1 Movimentos

Vamos estudar o movimento de ‘massas pontuais’ que tomamos como representação de corpos extensos.

Movimento de um corpo



Em geral, um corpo move-se em relação à posição de um ponto que nele tomemos como referência – a excepção é o movimento de translação.

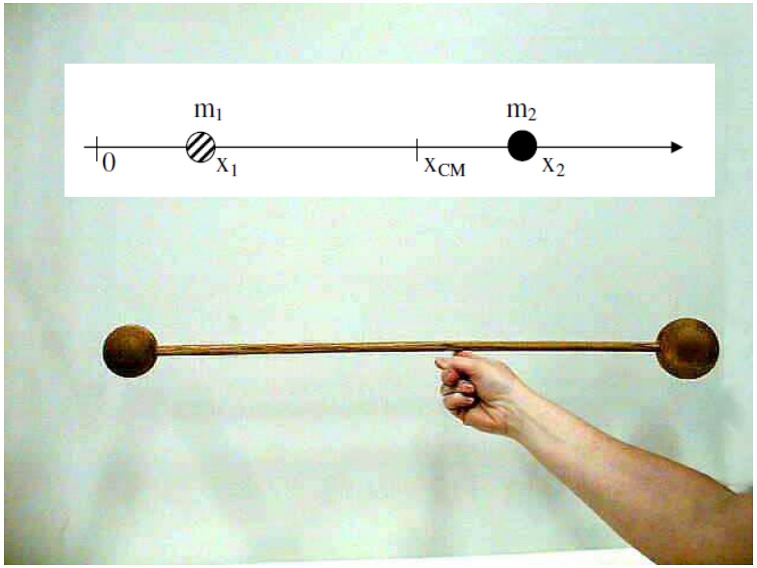


Uma primeira descrição do movimento é o de uma massa pontual fixa em relação ao corpo.

2.1 Movimentos

Estas ‘massas pontuais’ têm massa igual à massa do corpo e estão situadas no seu centro de massa.

O que é a massa? O que é o centro de massa ?



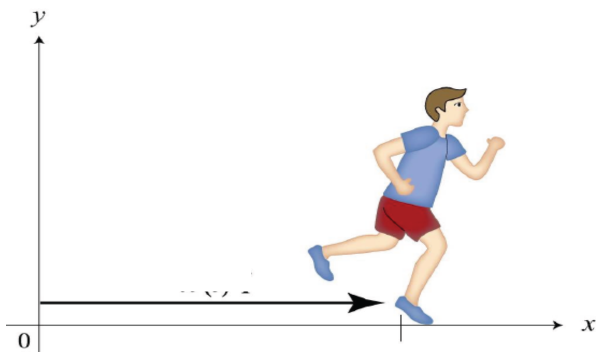
A **massa** é a propriedade física associada à gravidade, uma das interacções fundamentais na Natureza, e também, como veremos, à resposta à acção de forças de qualquer tipo. O **centro de massa** é a posição média da distribuição de massa do corpo.

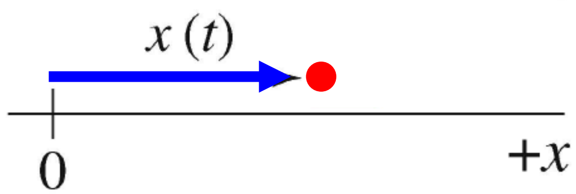
Em particular, o efeito global da gravidade da Terra sobre um corpo é igual ao que esta exerceria sobre a massa total do corpo situada no centro de massa.

2.1 Movimentos

Vamos estudar o movimentos de massas pontuais tendo em mente o que representam.

Movimento unidimensional rectilíneo



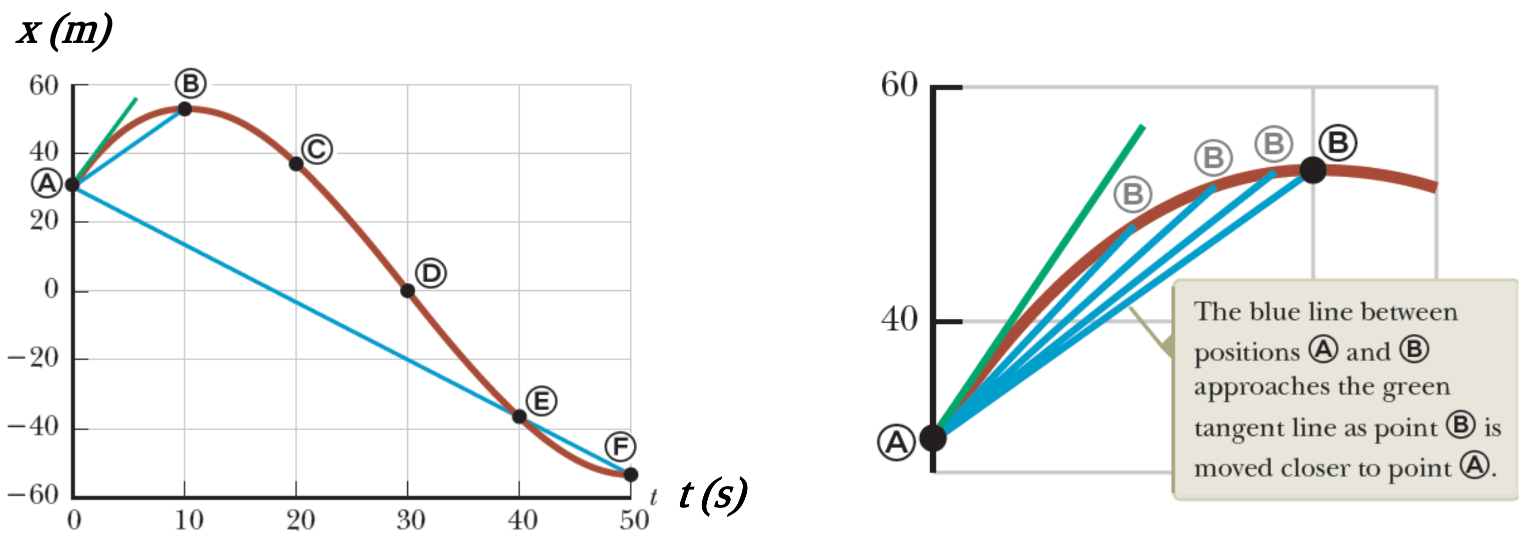


Escolhido um eixo de referência, o movimento fica descrito pela posição em função do tempo, *x(t)*. O **deslocamento** no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ é a variação da posição $\Delta x = x(t_2) - x(t_1)$ nesse intervalo de tempo. A **velocidade** é a taxa de variação da posição. A **aceleração** é a taxa de variação da velocidade.

2.1 Movimentos

A velocidade foi definida como a taxa de variação da posição, ou seja a derivada da posição em ordem ao tempo.

Interpretação geométrica da velocidade



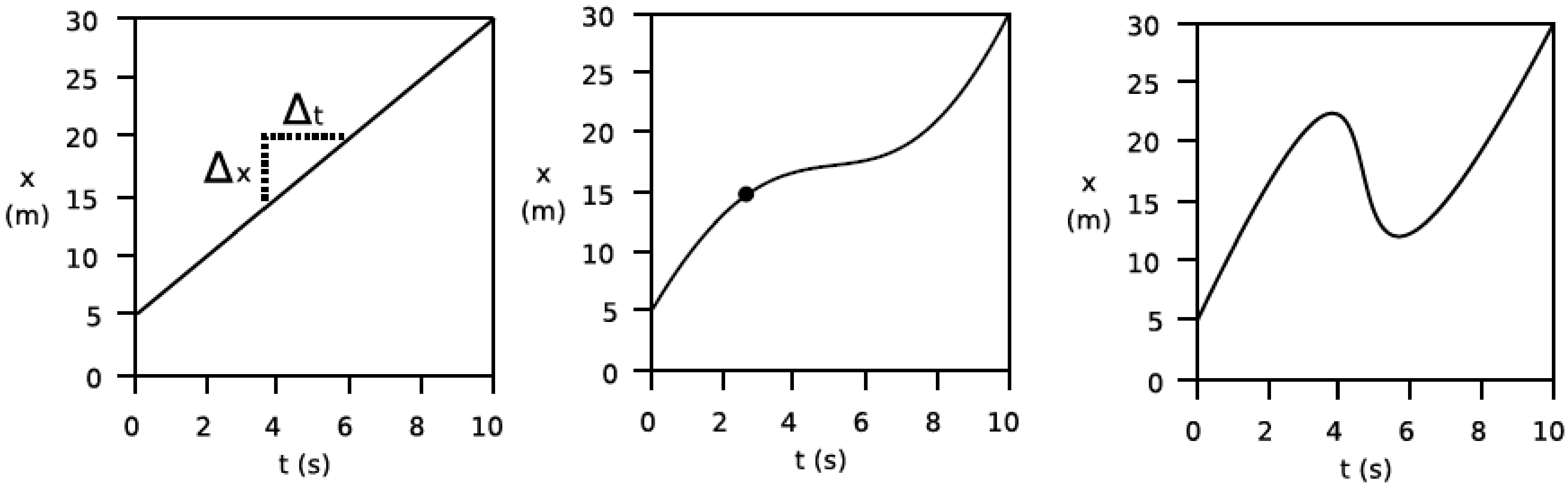
$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{(t+\Delta t) - t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = x'(t)$$

O seu valor é dado pelo declive da tangente à curva x(t).

2.1 Movimentos

Assim podemos facilmente interpretar os gráficos de posição em função do tempo.

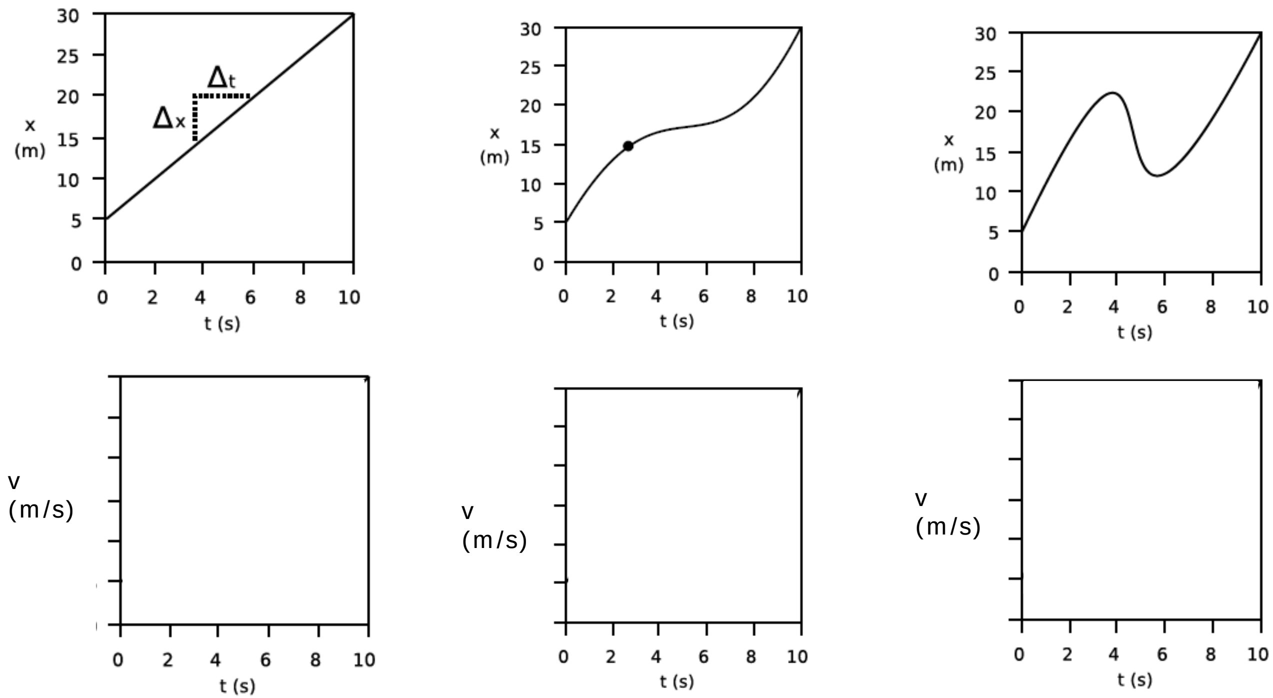
Interpretação geométrica da velocidade



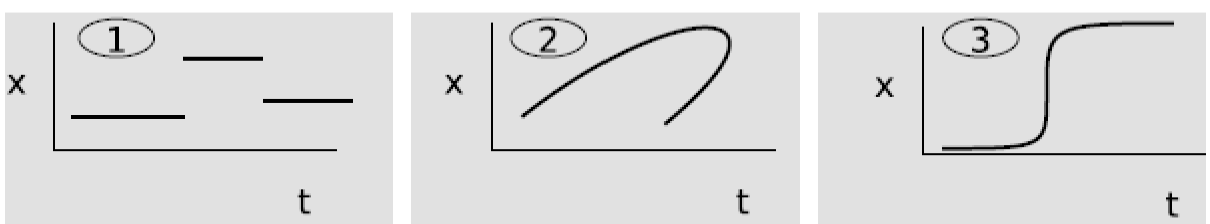
$$v(t) = \frac{dx}{dt} = x'(t)$$

A definição de velocidade permite também calcular o seu valor numérico a partir da função x(t).

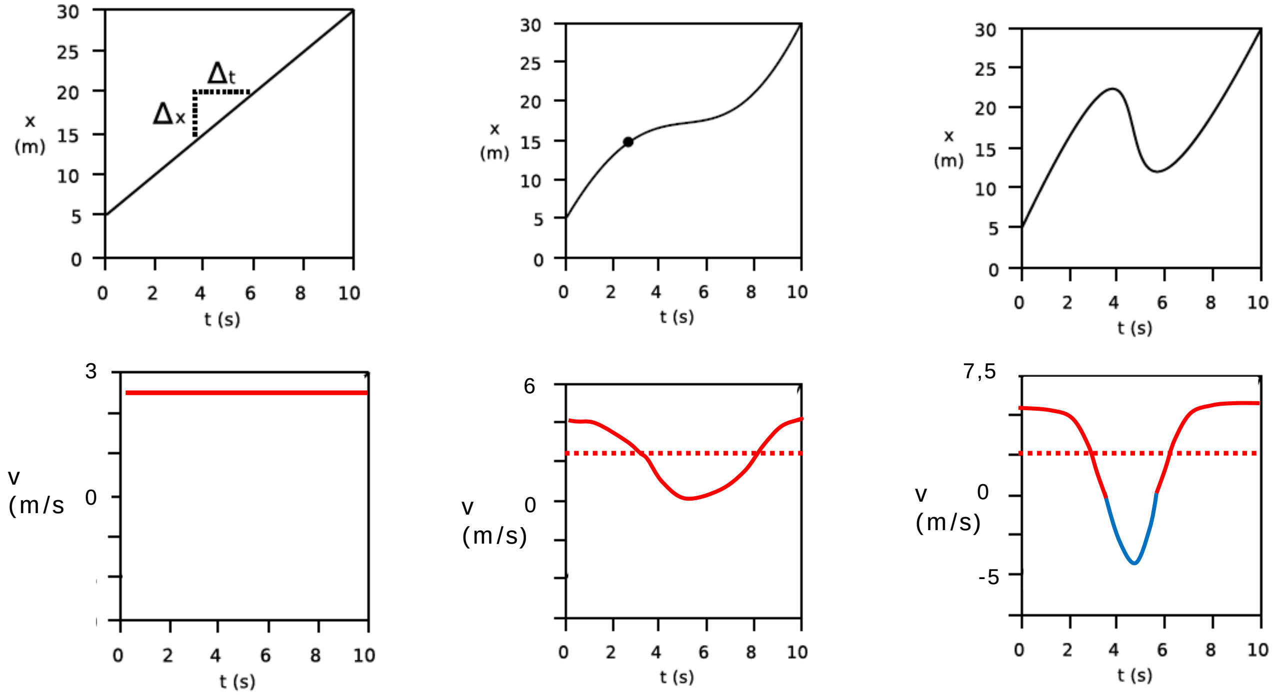
Quiz 13 – Esboce a curva v(t)



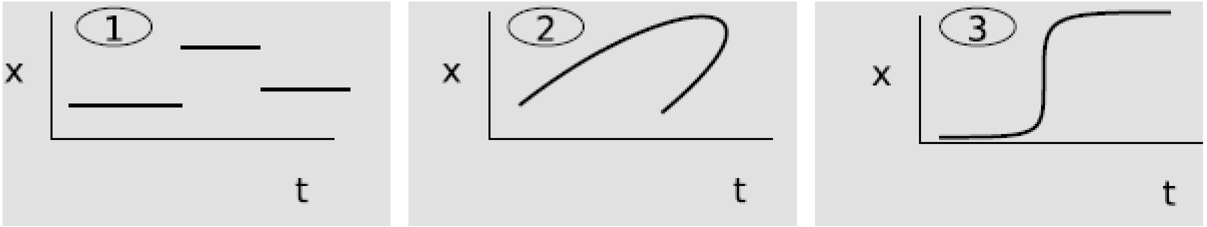
Quiz 14 – Nem todos os gráficos podem representar trajectórias...



Quiz 13 – Esboce a curva v(t)



Quiz 14 – Nem todos os gráficos podem representar trajectórias...

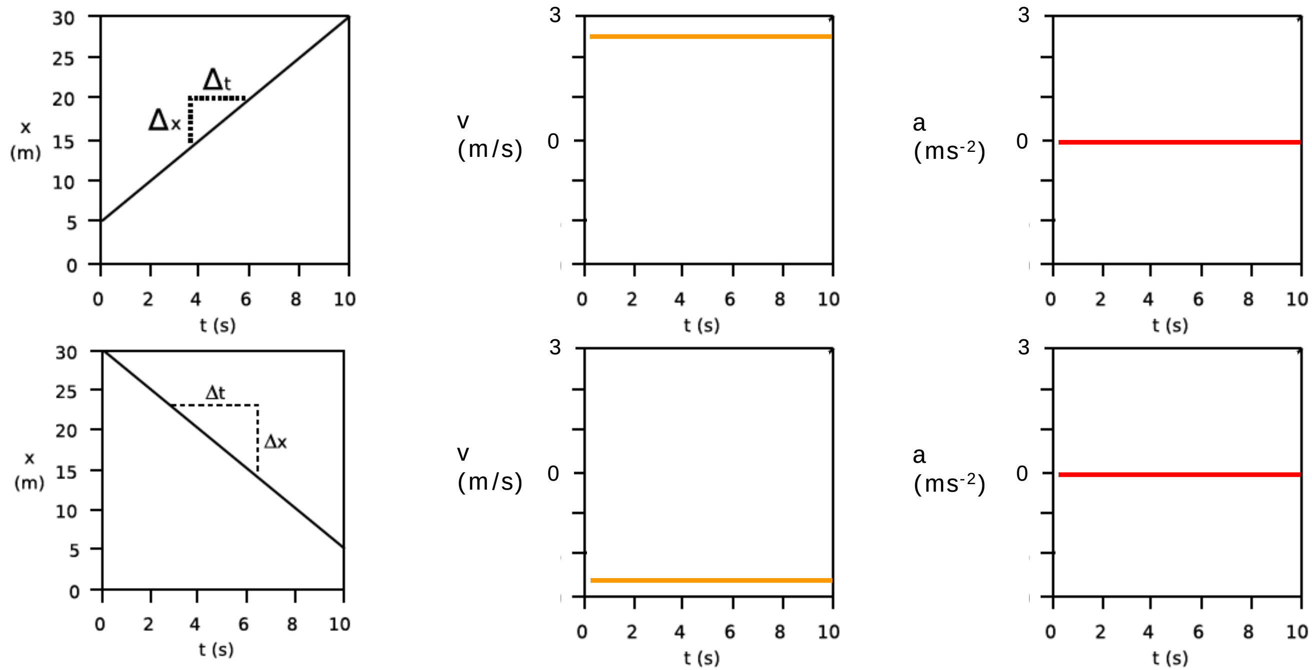


Descontinuidade-tempo a andar para trás-velocidade ∞

2.1 Movimentos

Um caso particular muito importante é o caso em que a aceleração é nula, e a velocidade constante.

Movimento uniforme



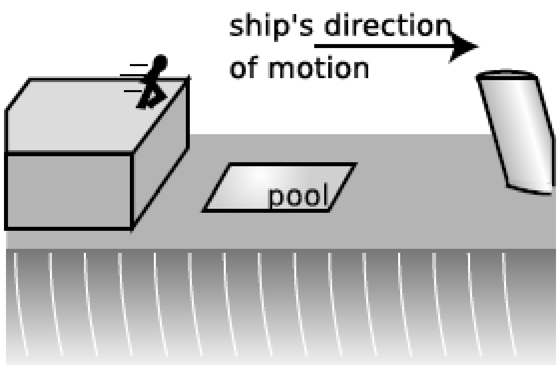
$$x(t) = x_0 + v\,t \qquad v(t) = v = const \qquad a(t) = 0$$

Gráficos e equações do movimento rectilíneo uniforme

2.1 Movimentos

O (um) movimento rectilíneo uniforme é o que se dá na ausência de forças (força total nula).

Lei da inércia (1ª Lei de Newton)

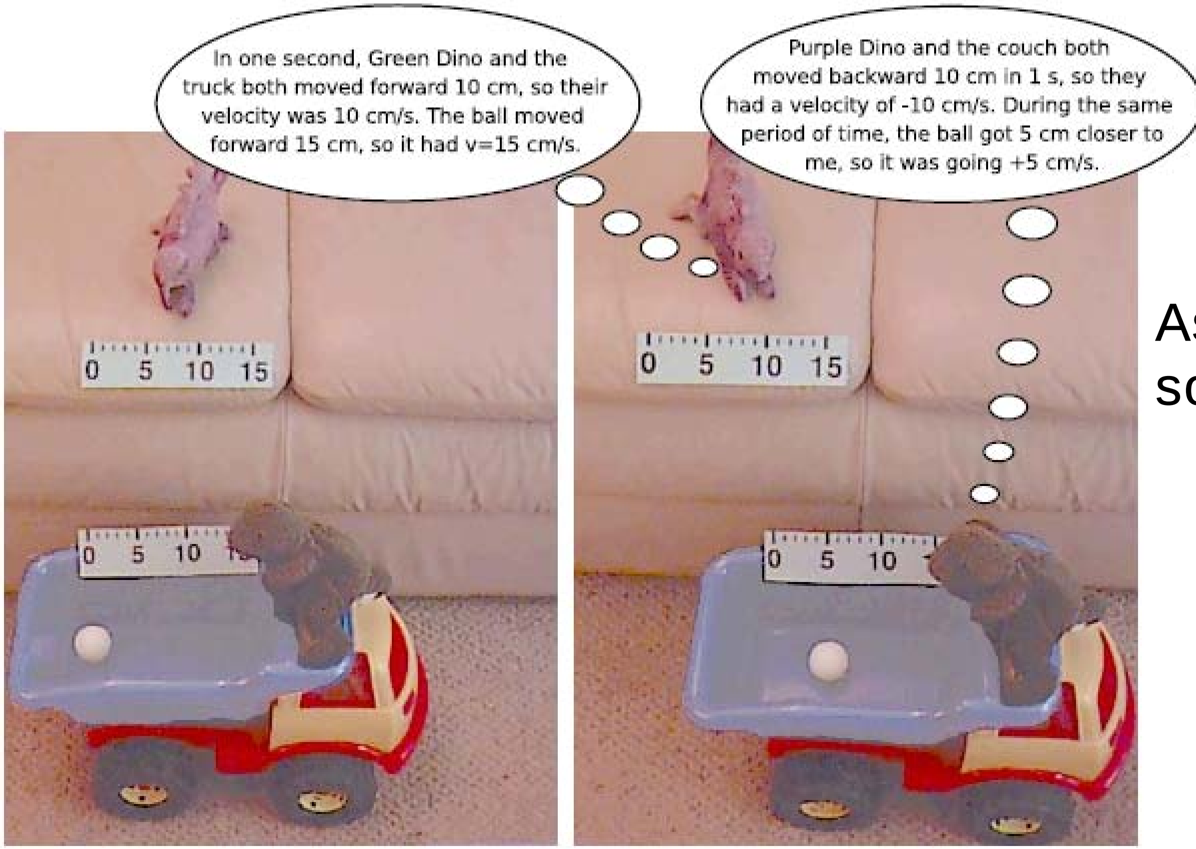



Reciprocamente, o movimento rectilíneo uniforme não produz qualquer efeito físico – é indistinguível do repouso. Neste movimento só faz sentido falar de velocidades relativas.

2.1 Movimentos

O movimento é descrito em relação a um referencial ou observador

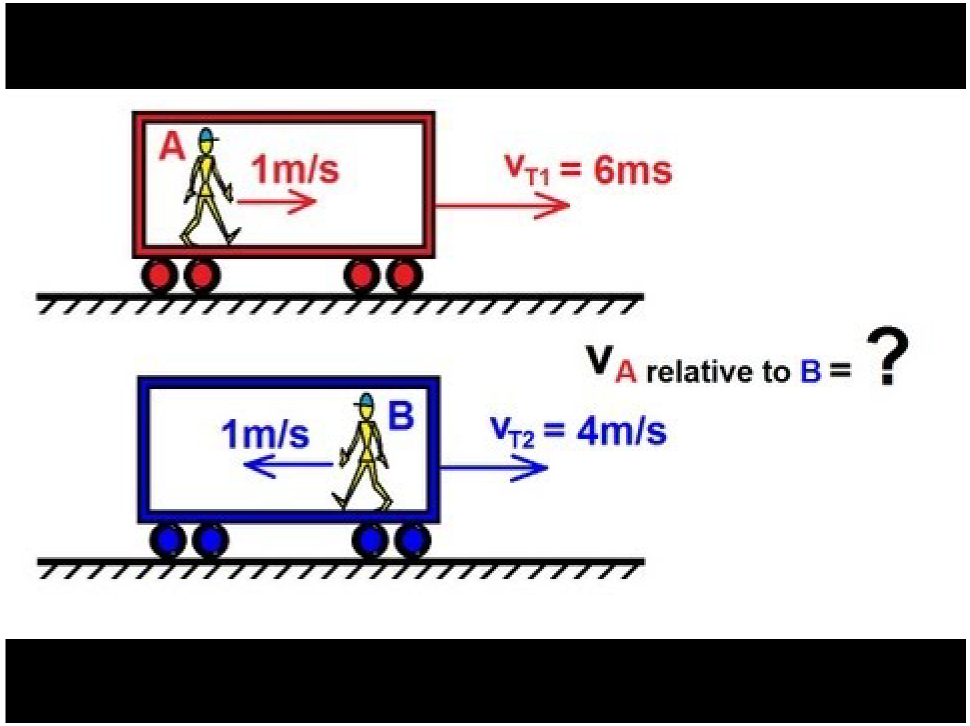
Movimento relativo



As velocidades relativas somam-se algebricamente

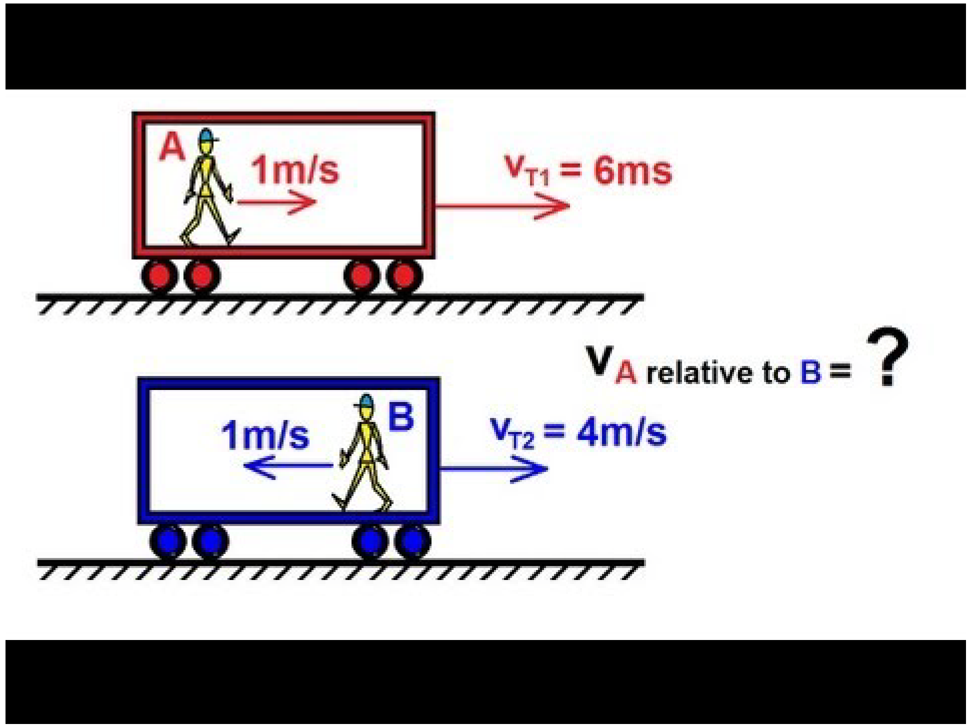
$$v_{AC} = v_{AB} + v_{BC}$$

Quiz 15 – Velocidades relativas



$$v_{AC} = v_{AB} + v_{BC}$$

Quiz 15 – Velocidades relativas



$$v_{AC} = v_{AT_1} + v_{T_1C} = 1 + 6 = 7\,m/s$$

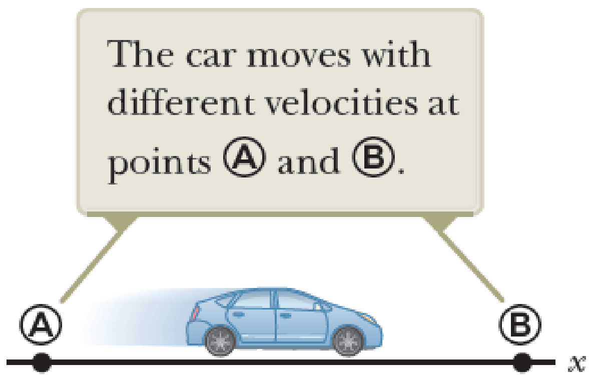
$$v_{BC} = v_{BT_2} + v_{T_2C} = -1 + 4 = 3\,m/s$$

$$v_{AB} = v_{AC} + v_{CB} = v_{AC} - v_{BC} = 4\,m/s$$

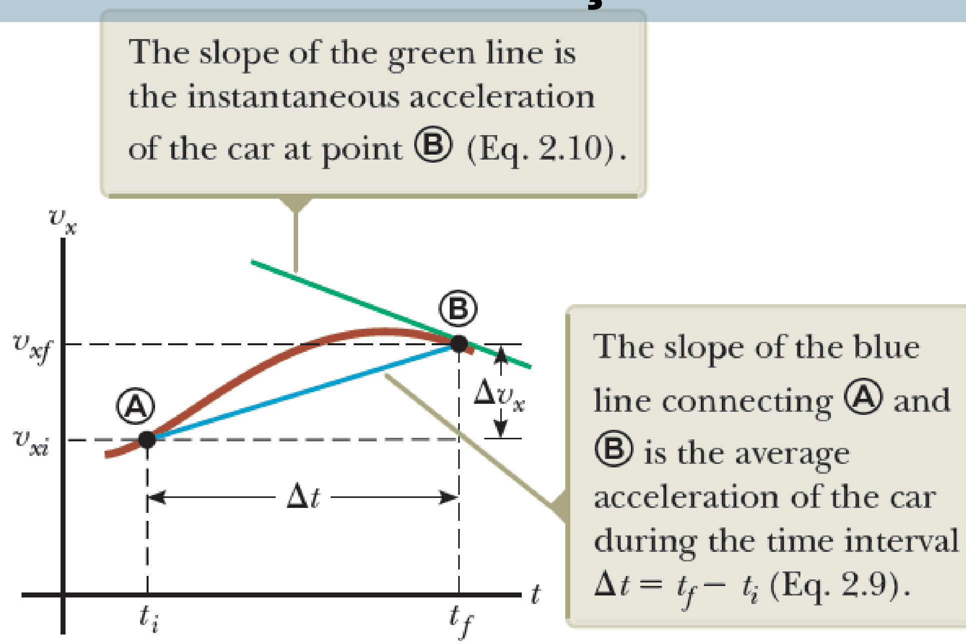
2.1 Movimentos

A aceleração foi definida como a taxa de variação da velocidade, ou seja a derivada da velocidade em ordem ao tempo.

Interpretação geométrica da aceleração



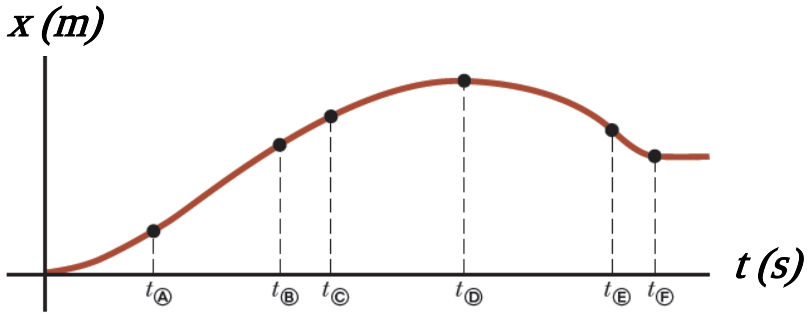
$v_x(t)$ $\quad$ $v_x(t+\Delta t)$



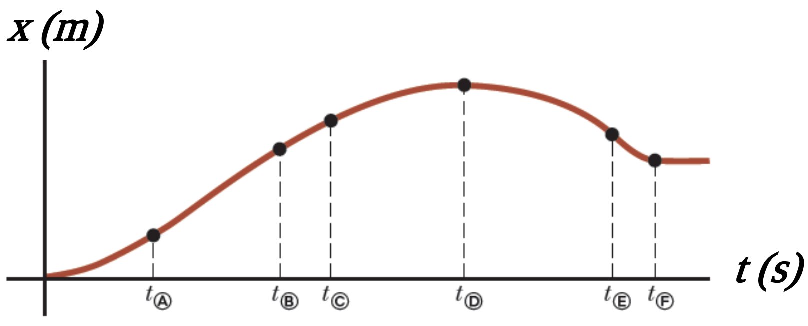
$$a(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{v(t+\Delta t)-v(t)}{(t+\Delta t)-t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{dv}{dt}=v'(t)$$

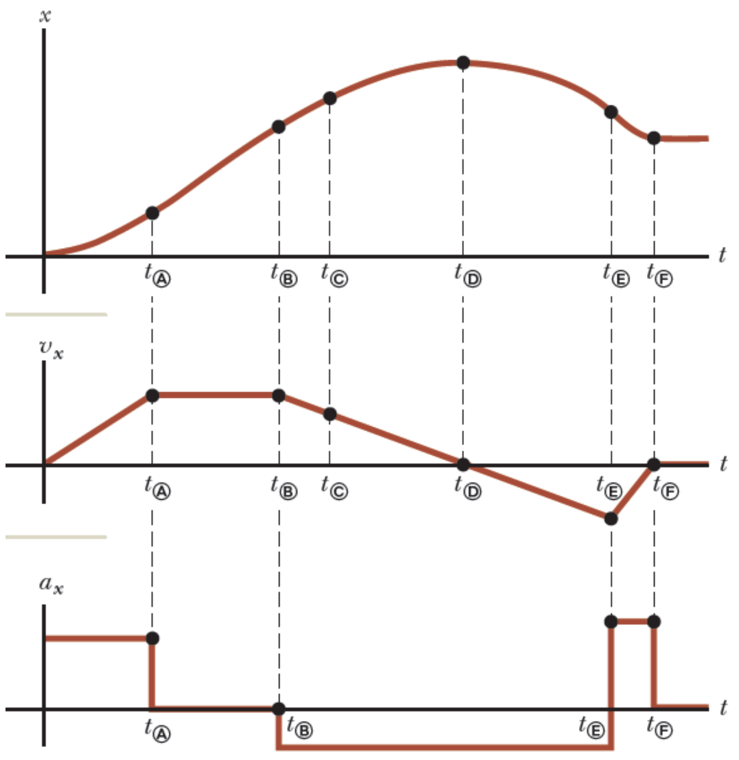
O seu valor é dado pelo declive da tangente à curva v(t).

Quiz 16 – Esboce as curvas v(t) e a(t)



Quiz 16 – Esboce as curvas v(t) e a(t)





2.1 Movimentos

Outro caso particular muito importante é o caso em que a aceleração é constante.

Movimento uniformemente acelerado

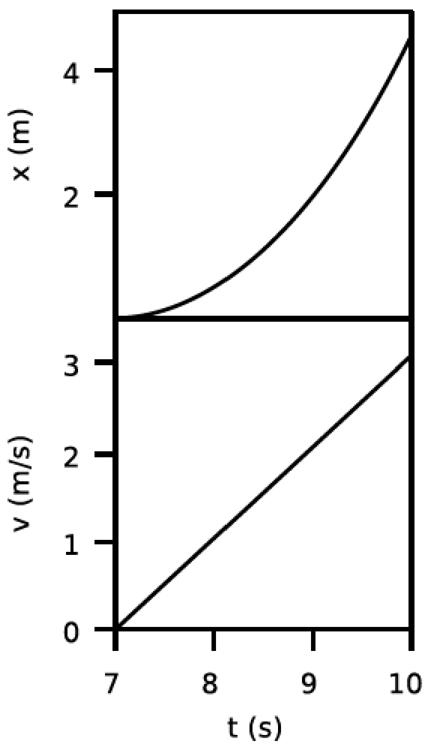
Galileo Galilei foi o primeiro a mostrar que se ignorarmos os efeitos da resistência do ar objectos de massa diferente caem na vertical com uma **aceleração constante** de módulo igual a g=9.8 ms^{-2}.

A queda dos corpos sob a acção da gravidade terrestre é um exemplo importante de movimento com aceleração constante.

Gráficos e equações do movimento uniformemente acelerado

Movimento uniformemente acelerado

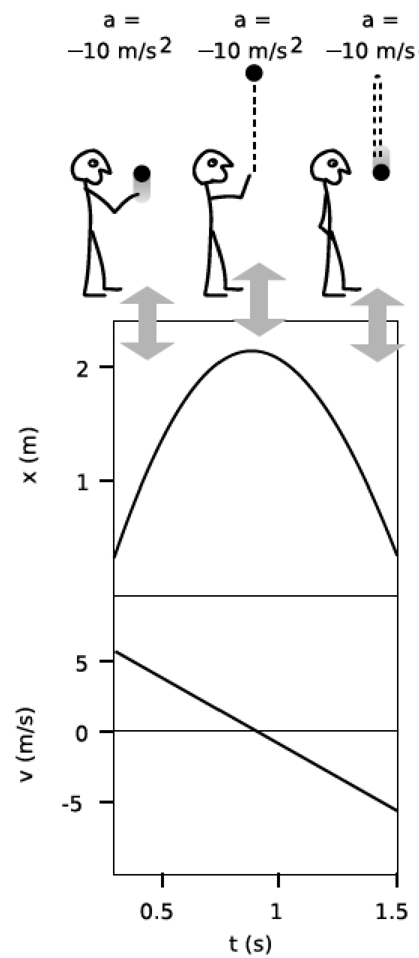
$a = 1 ms^{-2}$



$$a(t) = a = const$$

$$v(t) = v_0 + a\,t$$

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a\,t^2$$



2.1 Movimentos

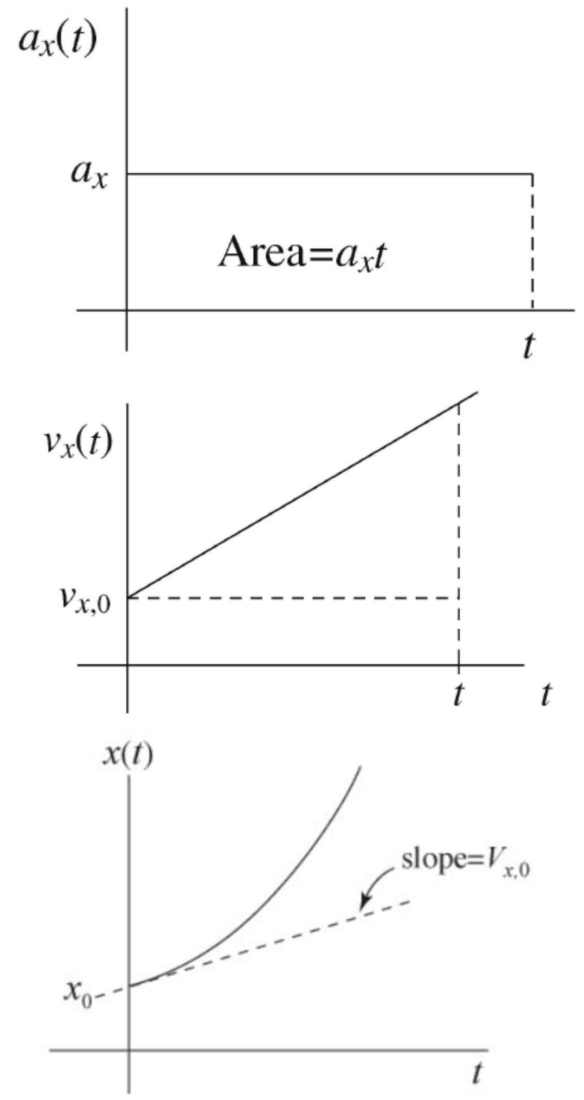
$$a_x(t) = constante = a_x$$

derivo ↑ ↓ **integro** $(a_x = dv_x/dt)$

$$\boxed{v_x(t) = v_{x,0} + a_x t}$$

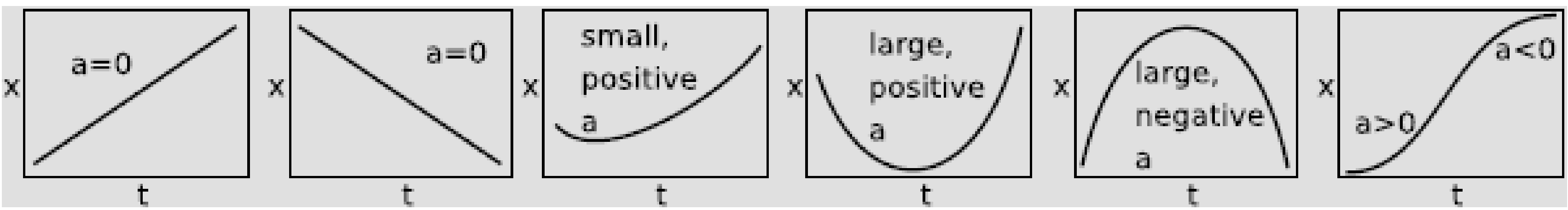
derivo ↑ ↓ **integro** $(v_x = dx/dt)$

$$\boxed{x(t) = x_0 + v_{x,0}t + \frac{1}{2}a_x t^2}$$



Equações do movimento com *a* constante

Movimento rectilíneo geral



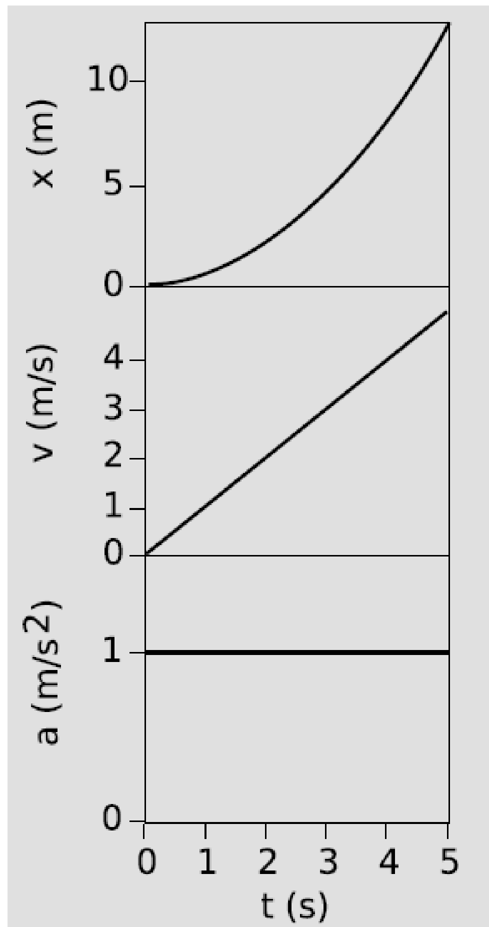
Da interpretação geométrica da (primeira) segunda derivada podemos ler nos gráficos de posição em função do tempo o comportamento da (velocidade) aceleração.

2.1 Movimentos

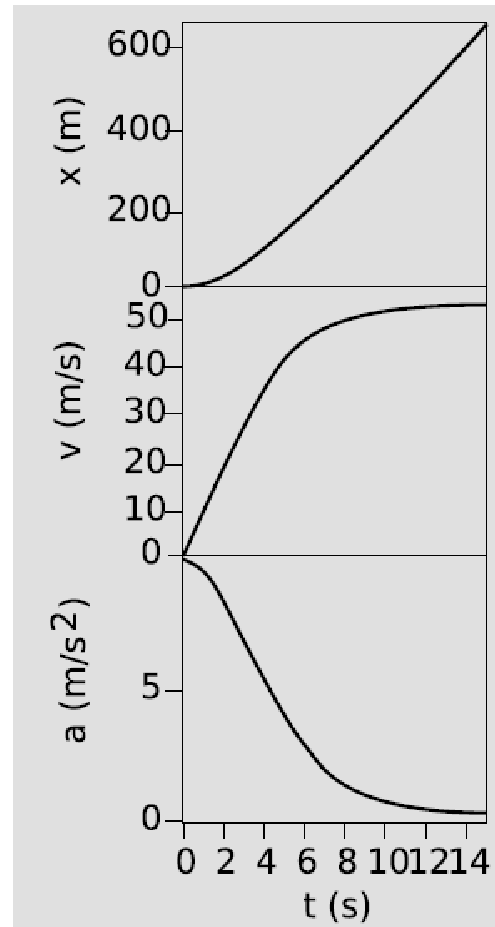
A presença de atrito limita a velocidade de queda.

Movimento de queda e velocidade limite

A velocidade de sedimentação é uma velocidade limite.



1



2

Quiz 17 Movimento de queda e altura

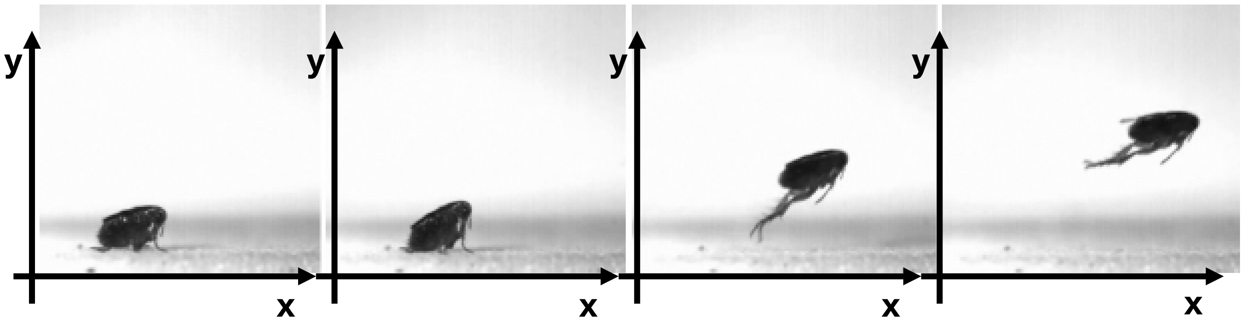
Um alpinista trepa por uma parede de altura h. A meia altura, solta uma pedra que cai no chão, e o mesmo torna a acontecer quando atinge o topo. A velocidade da segunda pedra ao embater no chão é x vezes maior do que a velocidade da primeira. Então, x vale

a) 2 b) depende de h c) 4 d) 1 e) $\sqrt{2}$ f) outro valor

2.1 Movimentos

Em geral, o movimento não é rectilíneo e uma coordenada x(t) não basta para o descrever.

Movimento plano



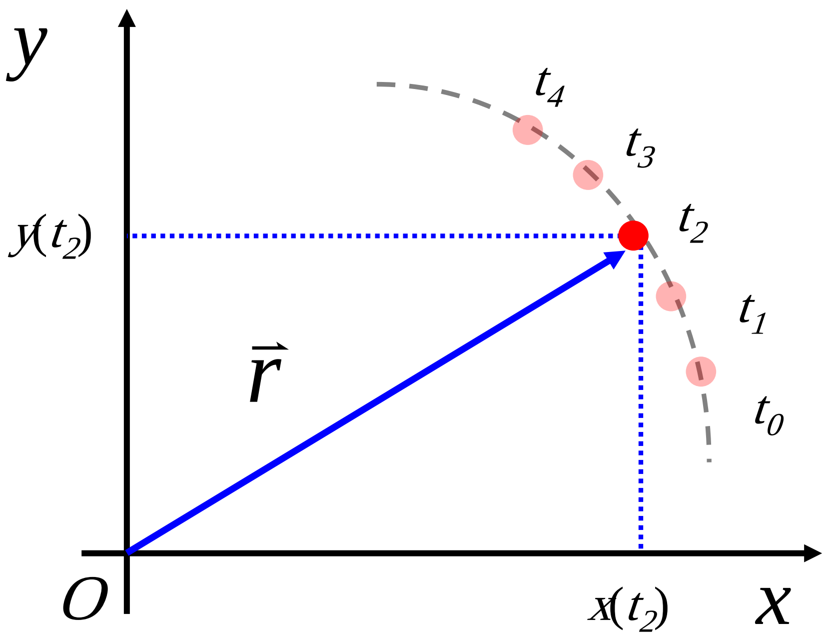
Burrows and Sutton (2011) *Biomechanics of jumping in the flea*, J. Exp. Biology 214:836

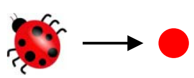
Um movimento plano é a combinação sincronizada de dois movimentos rectilíneos, x(t) segundo a direcção x e y(t) segundo a direcção y.

2.1 Movimentos

Em geral, o movimento não é rectilíneo e uma coordenada x(t) não basta para o descrever.

Movimento plano



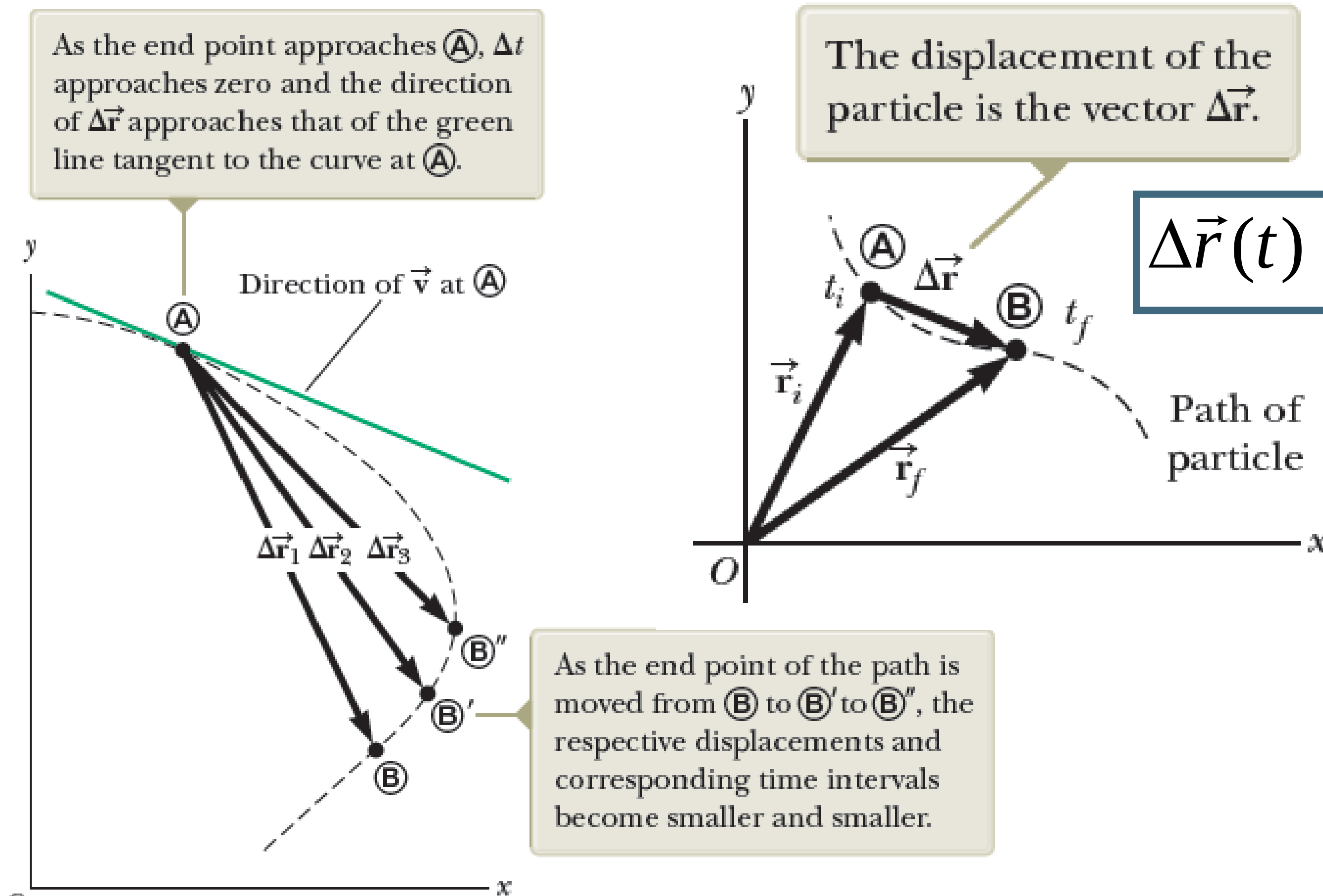


$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{u}_x + y(t)\vec{u}_y$$

Um movimento plano é a combinação sincronizada de dois movimentos rectilíneos, x(t) segundo a direcção x e y(t) segundo a direcção y, definindo a função $\vec{r}(t)$.

As definições e interpretações de velocidade e aceleração transpõem-se naturalmente para este caso mais geral.

Movimento plano

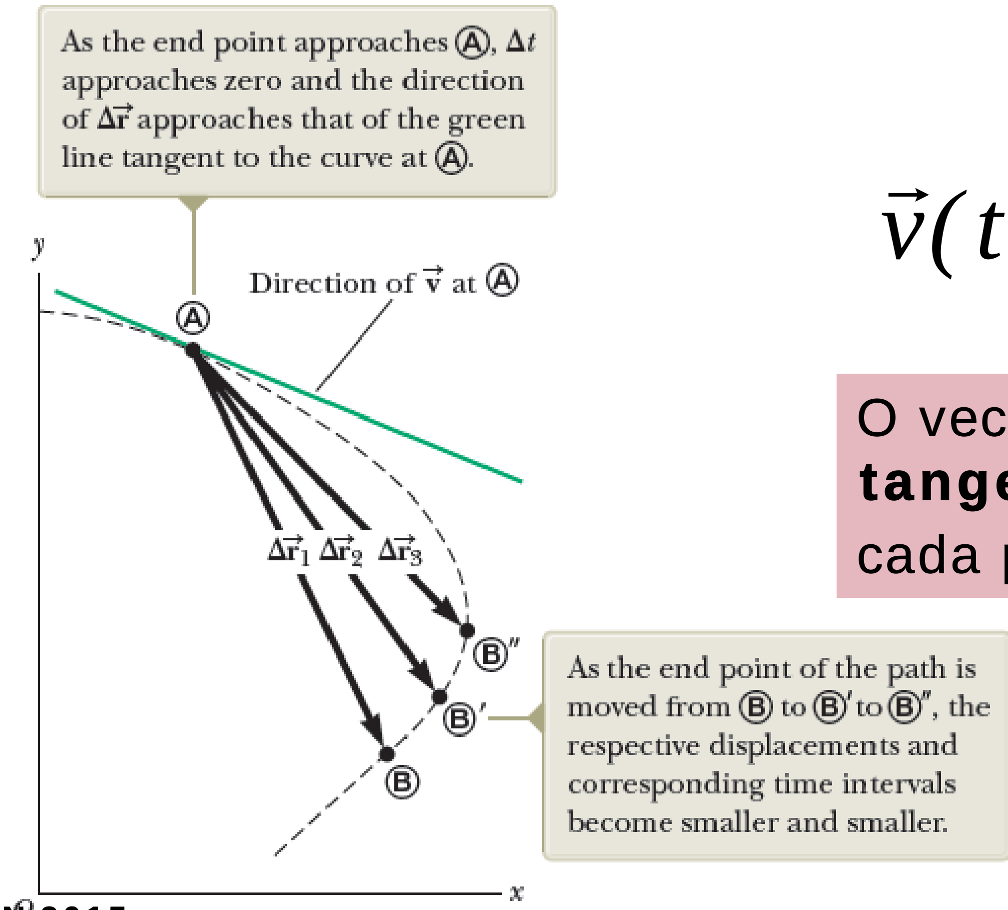


$$\boxed{\Delta\vec{r}(t) = \vec{r}(t_f) - \vec{r}(t_i)}$$

2.1 Movimentos

As definições e interpretações de velocidade e aceleração transpõem-se naturalmente para este caso mais geral.

Movimento plano



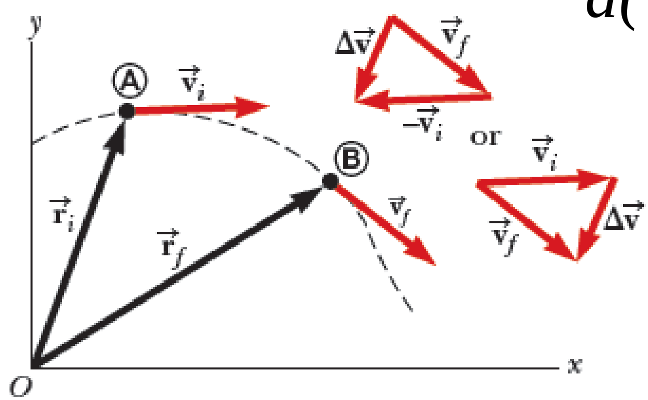
$$\vec{v}(t) \equiv lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

O vector velocidade **é tangente à trajectória** em cada ponto.

2.1 Movimentos

As definições e interpretações de velocidade e aceleração transpõem-se naturalmente para este caso mais geral.

Movimento plano



$$\vec{a}(t) \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \underbrace{\frac{dv_x(t)}{dt}}_{a_x(t)} \vec{u}_x + \underbrace{\frac{dv_y(t)}{dt}}_{a_y(t)} \vec{u}_y$$

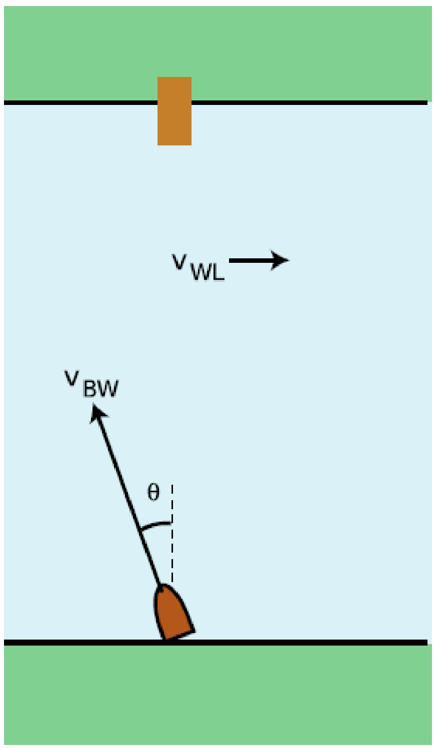
$$\vec{a}(t) = a_x(t)\vec{u}_x + a_y(t)\vec{u}_y$$

Tal como a posição e a velocidade, a aceleração é um vector. No movimento rectilíneo, esses três vectores têm sempre a mesma direcção.

2.1 Movimentos

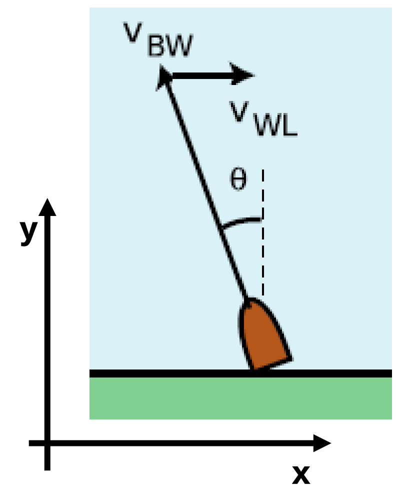
As definições e interpretações de velocidades relativas transpõem-se naturalmente para este caso mais geral: $\vec{v}_{AC} = \vec{v}_{AB} + \vec{v}_{BC}$

Movimento plano – velocidade relativa



$$\vec{v}_{BL} = \vec{v}_{BW} + \vec{v}_{WL}$$

$$\theta = ?$$

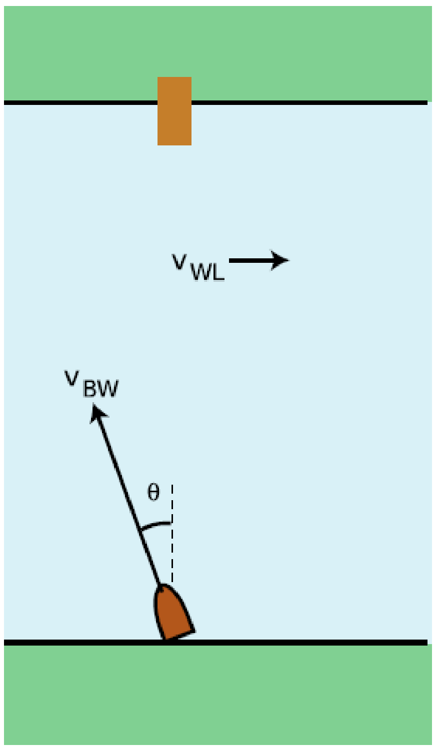


Os vectores somam-se componente a componente, ou, graficamente, usando a regra do paralelogramo.

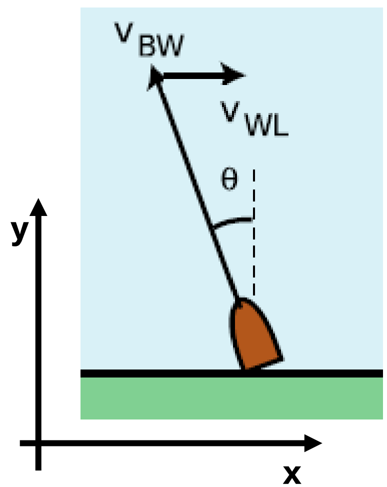
2.1 Movimentos

As definições e interpretações de velocidades relativas transpõem-se naturalmente para este caso mais geral: $\vec{v}_{AC} = \vec{v}_{AB} + \vec{v}_{BC}$

Movimento plano – velocidade relativa



$$\vec{v}_{BL} = \vec{v}_{BW} + \vec{v}_{WL}$$



$$v_{BL}\vec{u}_y = -v_{BW}\sin\theta\,\vec{u}_x + v_{BW}\cos\theta\,\vec{u}_y + v_{WL}\,\vec{u}_x$$

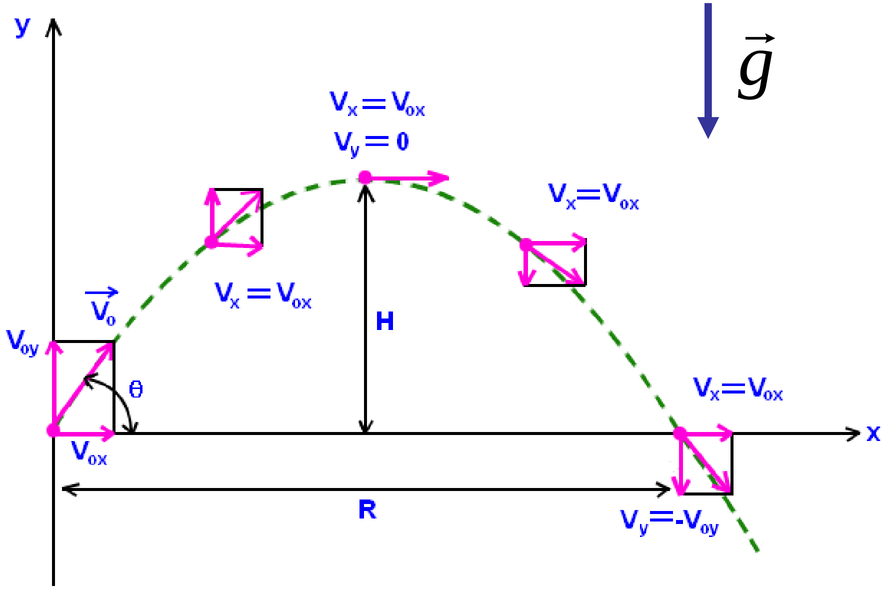
$$v_{BW}\sin\theta = v_{WL}$$

Os vectores somam-se componente a componente, ou, graficamente, usando a regra do paralelogramo.

2.1 Movimentos

Um caso particular importante de movimento plano é o movimento de projécteis.

Movimento de projécteis



Um projéctil é disparado a partir da origem com uma **velocidade inicial** que faz um ângulo θ com a horizontal.

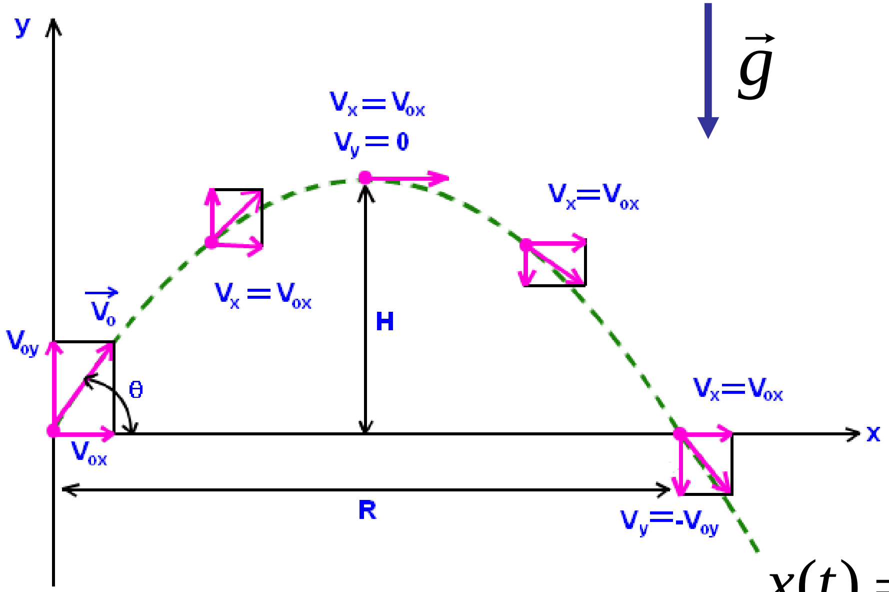
Ignorando a resistência do ar, **quais são as equações do movimento**?

No movimento de projécteis, a aceleração é constante, vertical e dirigida para baixo – e o seu valor é g ~10 ms^{-2}.

2.1 Movimentos

Um caso particular importante de movimento plano é o movimento de projécteis.

Movimento de projécteis



$$\vec{a}(t) = a_y \vec{u}_y = -g\vec{u}_y$$

$$\vec{v}(t) = v_x(t)\vec{u}_x + v_y(t)\vec{u}_y$$

$$v_x(t) = v_{x,0}\,; v_y(t) = v_{y,0} - g\,t$$

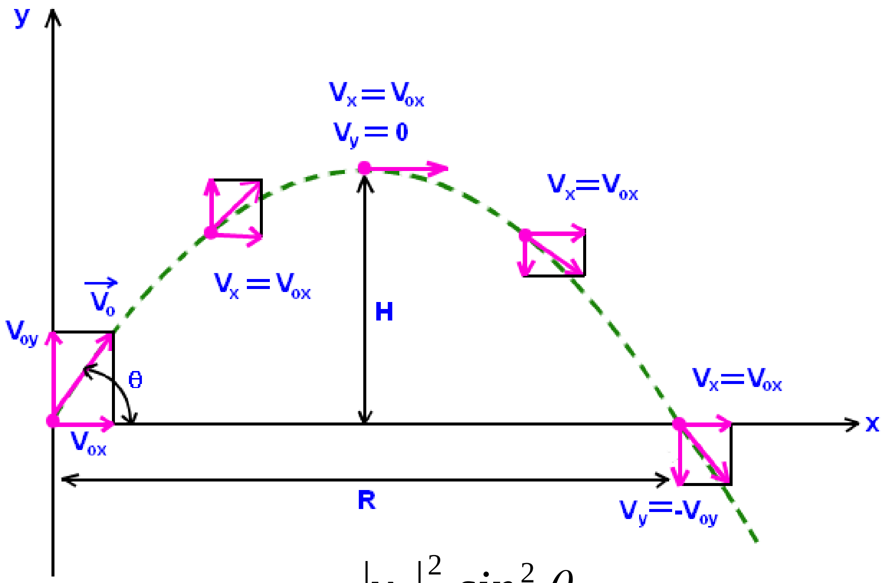
$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{u}_x + y(t)\vec{u}_y$$

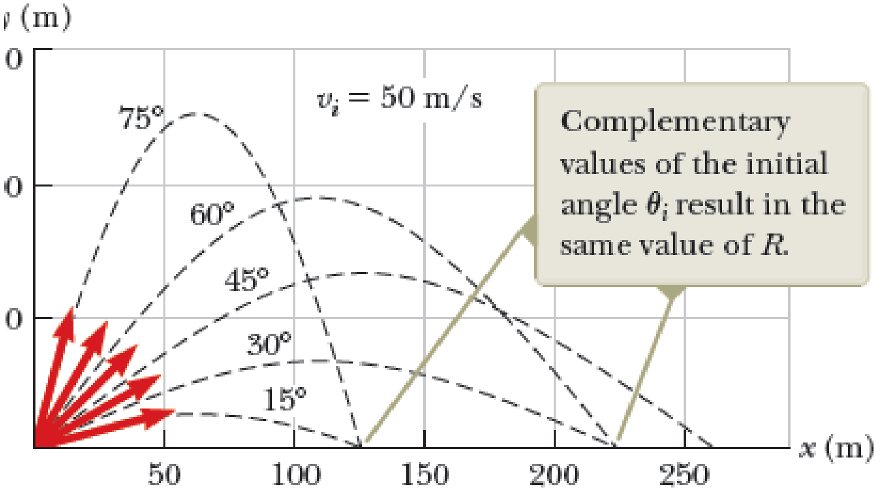
$$x(t) = x_0 + v_{x,0}t\,; y(t) = y_0 + v_{y,0}t - \frac{1}{2}g\,t^2$$

O movimento de projécteis é a combinação sincronizada de um movimento uniforme segundo x e um movimento uniformemente acelerado segundo y.

A altura máxima e o alcance são dois parâmetros importantes no movimento de projécteis.

Movimento de projécteis





$$H = \frac{|v_0|^2 \sin^2\theta}{2g}$$

$$R = \frac{|v_0|^2 \sin 2\theta}{g}$$

Como deduzir estas expressões?

2.1 Movimentos

A altura máxima e o alcance são dois parâmetros importantes no movimento de projécteis.

Quiz 18 Movimento de projécteis

No lançamento de um projéctil a partir do solo, o alcance horizontal

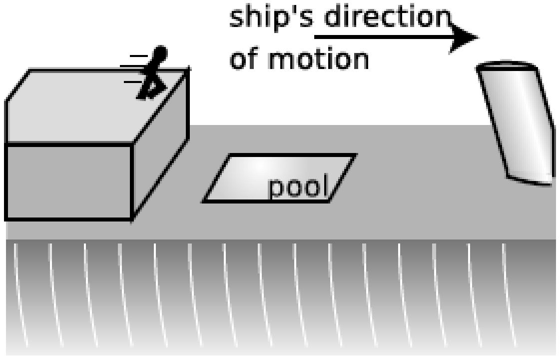
a) Aumenta quando a inclinação da velocidade inicial aumenta.
b) Diminui quando a inclinação da velocidade inicial aumenta.
c) Não depende da direcção da velocidade inicial.
d) Aumenta quando o módulo da velocidade inicial aumenta.
e) Diminui quando o módulo da velocidade inicial aumenta.
f) Não depende do módulo da velocidade inicial.

2.1 Movimentos

O movimento rectilíneo uniforme não produz qualquer efeito físico – é indistinguível do repouso.

Quiz 19 Movimento de projécteis

Um marinheiro de vigia no alto de um mastro de altura h m de um veleiro que se desloca com velocidade uniforme v ms-1 deixa cair o telemóvel. Este vai embater no convés num ponto

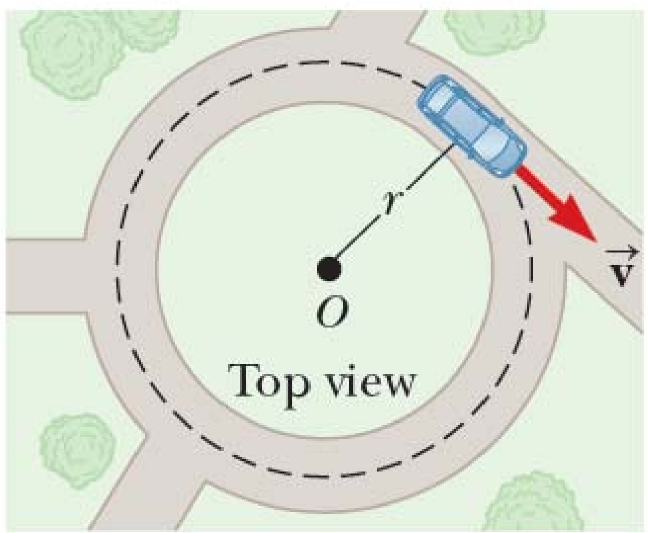


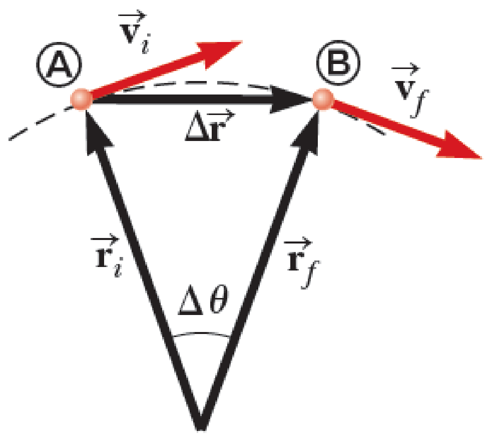
a) Junto à base do mastro.
b) Entre a base do mastro e a proa do veleiro.
c) Entre a base do mastro e a popa do veleiro.
d) Entre a base do mastro e a popa do veleiro, e tanto mais distante da base do mastro quanto maior for h.

2.1 Movimentos

Outro caso particular importante de movimento plano é o movimento circular uniforme.

Movimento circular uniforme



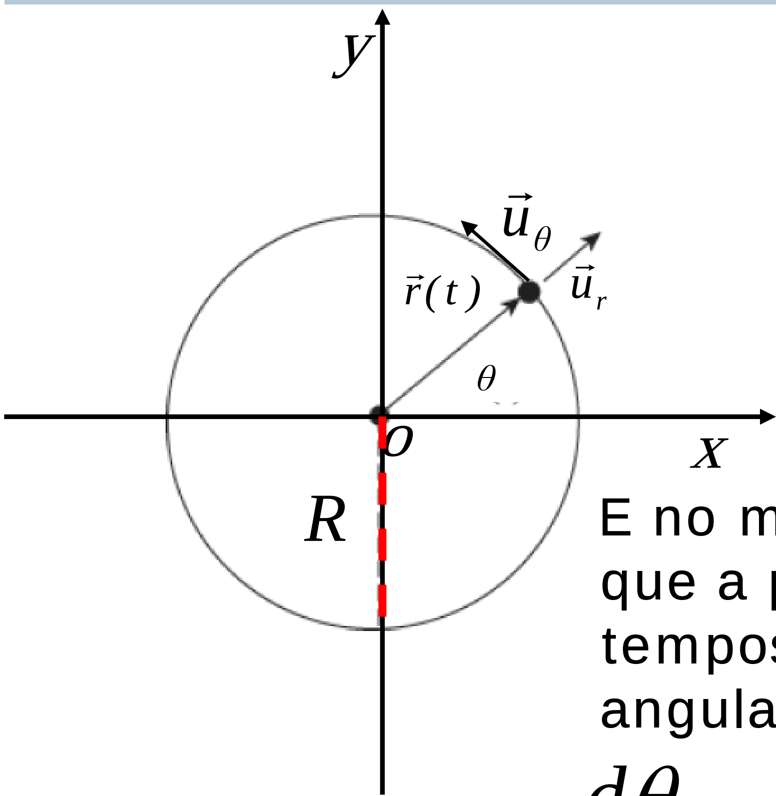


No movimento circular **uniforme** o **módulo da velocidade** não varia. O vector velocidade varia, porque é tangente à trajectória (neste caso, um círculo).

2.1 Movimentos

Equações do movimento circular uniforme.

Movimento circular uniforme



$$\vec{r}(t) = R\,\vec{u}_r$$

A equação para a posição em função do tempo fica muito simples expressa em termos dos versores $\vec{u}_r$ e $\vec{u}_\theta$.

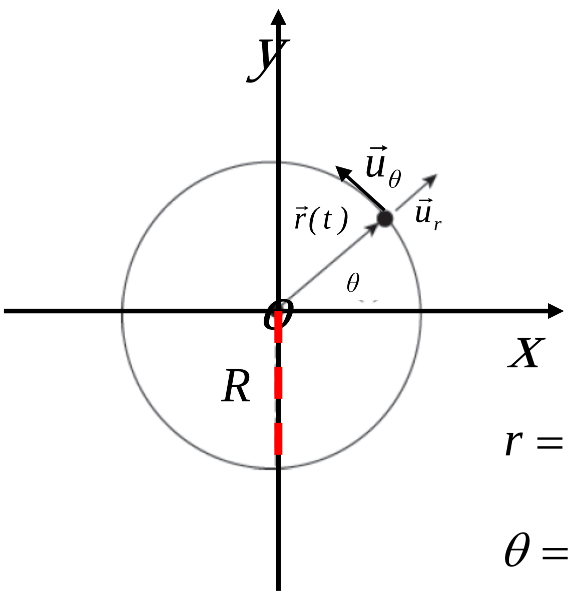
E no movimento uniforme sabemos também que a partícula varre arcos iguais em tempos iguais, e portanto a velocidade angular é constante:

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega = conste \Rightarrow \theta(t) = \omega t + \theta_0$$

2.1 Movimentos

Estes factos e um pouco de trigonometria chegam para achar as equações do movimento circular uniforme.

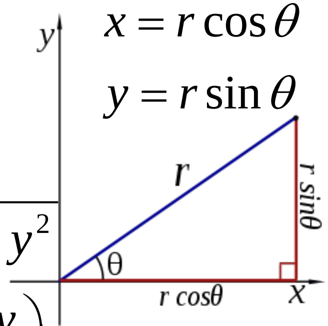
Movimento circular uniforme



$$\vec{r}(t) = R\,\vec{u}_r \qquad \theta(t) = \omega t + \theta_0$$

$$x = r\cos\theta$$

$$y = r\sin\theta$$



$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta = tg^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$\vec{u}_r = \cos\theta\,\vec{u}_x + \sin\theta\,\vec{u}_y$$

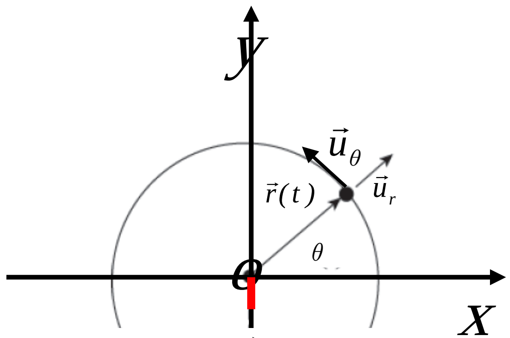
$$\vec{u}_\theta = -\sin\theta\,\vec{u}_x + \cos\theta\,\vec{u}_y$$

$$\vec{r}(t) = R(\cos\theta\ \vec{u}_x + \sin\theta\,\vec{u}_y) = R(\cos(\omega t + \theta_0)\ \vec{u}_x + \sin(\omega t + \theta_0)\,\vec{u}_y)$$

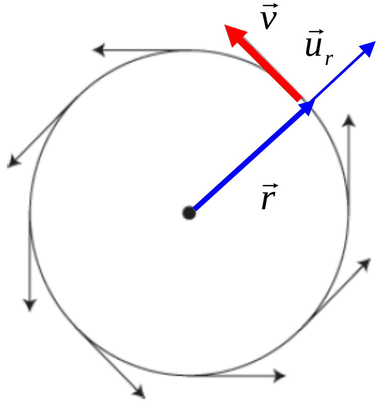
2.1 Movimentos

Conhecida a função $\vec{r}(t)$, a velocidade e a aceleração acham-se aplicando a definição geral.

Movimento circular uniforme



$$\vec{r}(t) = R(\cos(\omega t + \theta_0)\ \vec{u}_x + \sin(\omega t + \theta_0)\vec{u}_y)$$



$$\vec{v}(t) = \frac{d\,\vec{r}}{dt} = \omega R(-\sin(\omega t + \theta_0)\ \vec{u}_x + \cos(\omega t + \theta_0)\vec{u}_y)$$

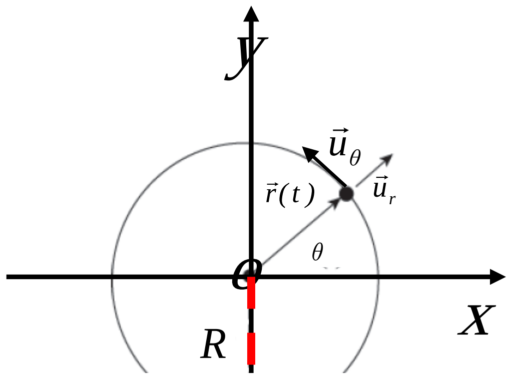
$$\vec{v}(t) = \omega R \vec{u}_\theta$$

$$|\vec{v}(t)| = \omega R = const$$

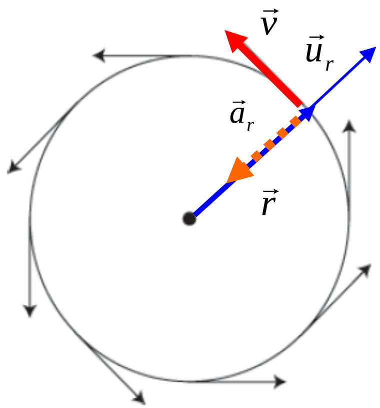
Há uma relação simples entre a velocidade linear e a velocidade angular que traduz a relação entre arcos e ângulos.

Conhecida a função $\vec{r}(t)$, a velocidade e a aceleração acham-se aplicando a definição geral.

Movimento circular uniforme



$$\vec{v}(t) = -\omega R(\sin(\omega t + \theta_0)\,\vec{u}_x - \cos(\omega t + \theta_0)\vec{u}_y)$$



$$\vec{a}(t) = \frac{d\,\vec{v}}{dt} = -\omega^2 R(\cos(\omega t + \theta_0)\,\vec{u}_x + \sin(\omega t + \theta_0)\vec{u}_y)$$

$$\vec{a}(t) = -\omega^2\,\vec{r}(t)$$

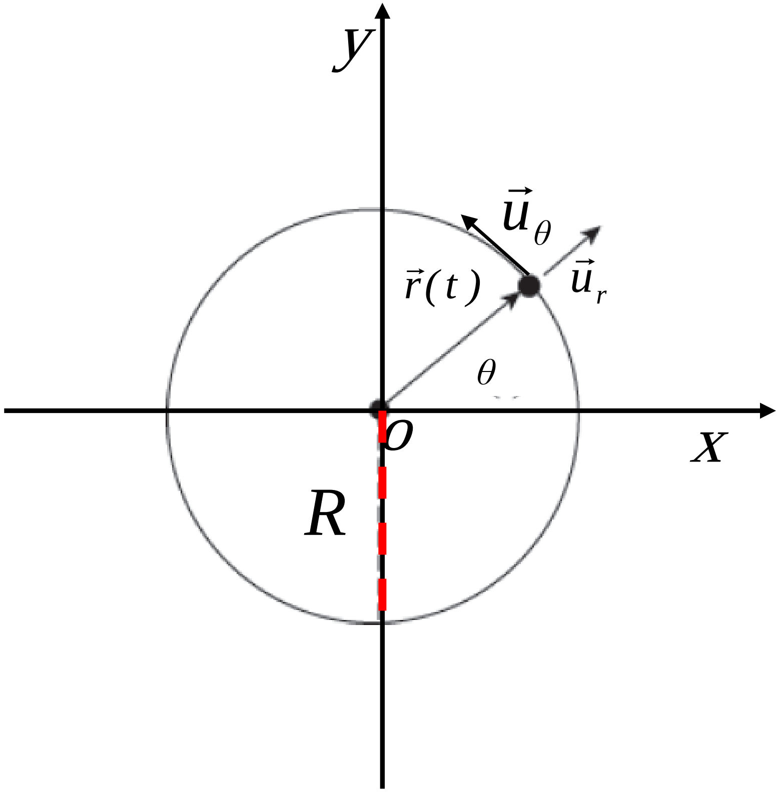
$$|\,\vec{a}(t)\,| = \omega^2 R = \frac{v^2}{R} = const$$

A aceleração é radial, centrípeta e de módulo constante.

2.1 Movimentos

O movimento circular uniforme é um caso particular de movimento periódico.

Período e frequência



$$\frac{d\theta}{dt} = \omega = conste \Rightarrow \theta(t) = \omega t + \theta_0$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

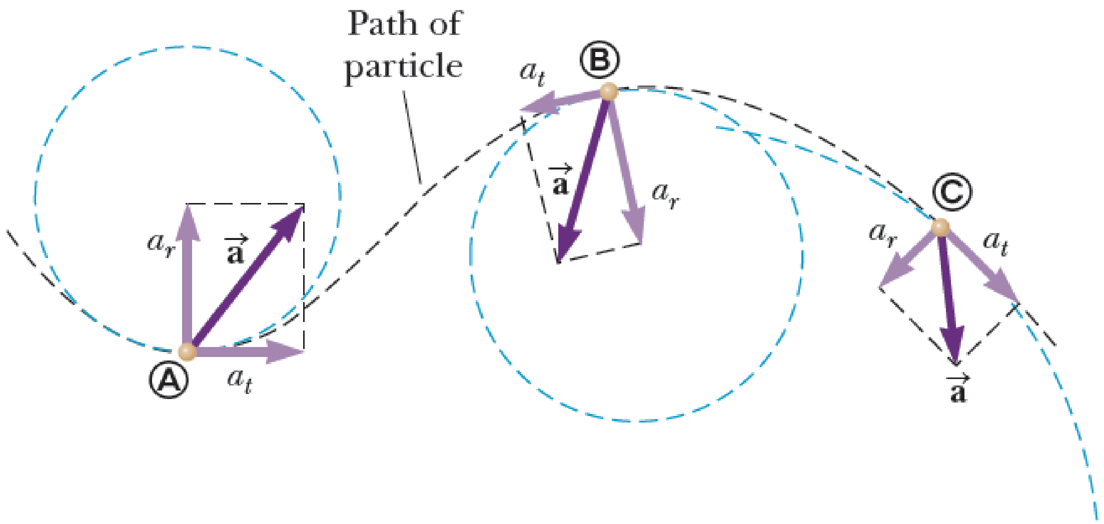
$$f = \frac{1}{T}$$

A frequência é o inverso do período.

2.1 Movimentos

O movimento geral pode pensar-se como a concatenação de arcos de círculo.

Movimento geral no espaço



$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

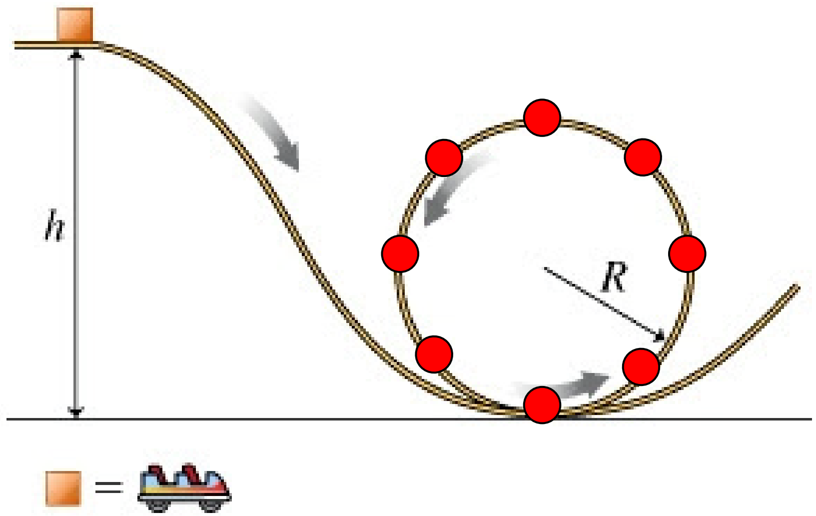
$$\vec{a} = \frac{d\left|\vec{v}\right|}{dt}\vec{u}_\theta - \frac{v^2}{r}\vec{u}_r$$

No movimento geral, a aceleração tem componente radial e também tangencial.

2.1 Movimentos

O movimento geral pode pensar-se como a concatenação de arcos de círculo.

Quiz 20 Representar a aceleração nestes pontos

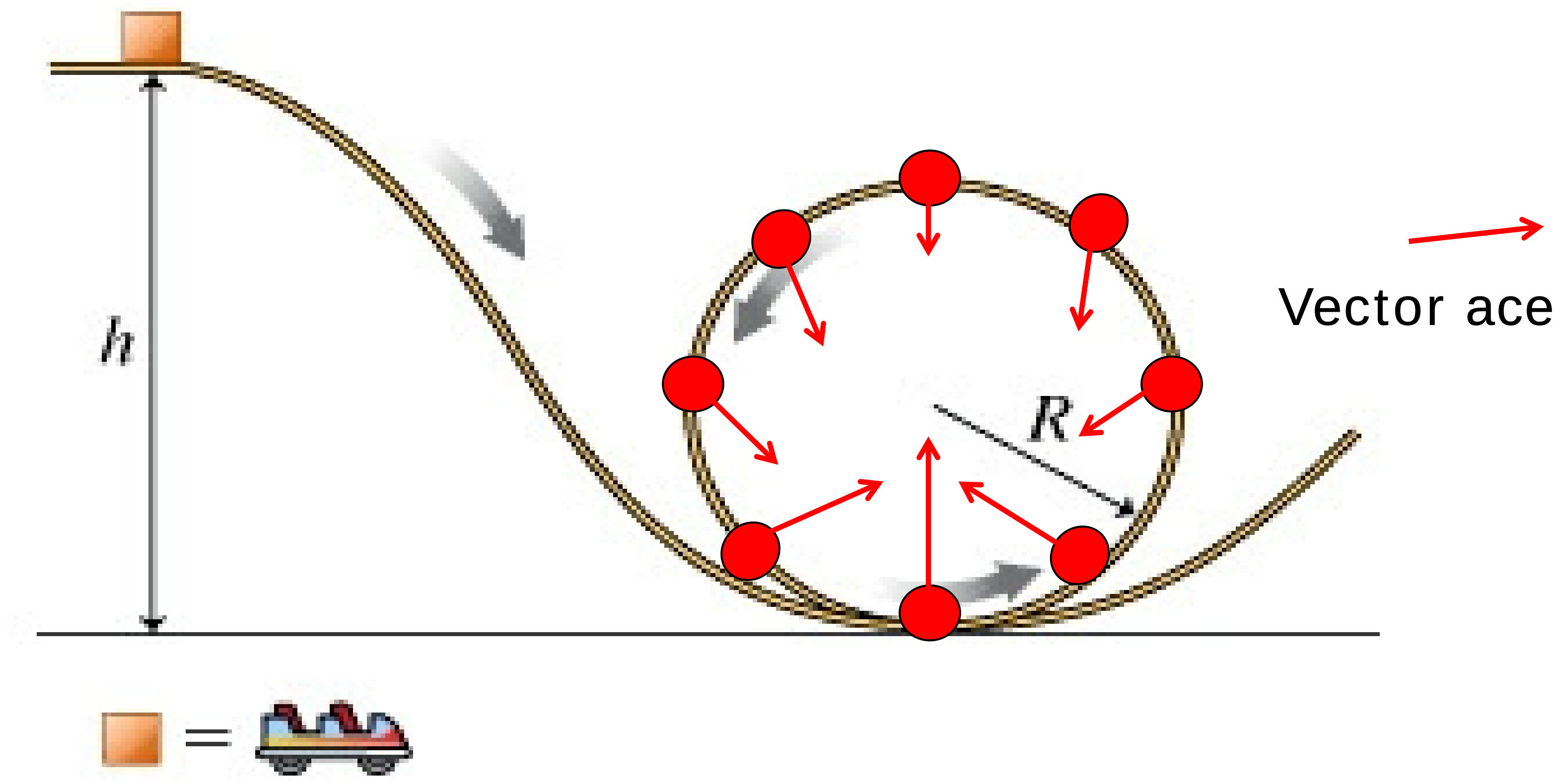


No movimento geral, a aceleração tem componente radial e também tangencial.

2.1 Movimentos

O movimento geral pode pensar-se como a concatenação de arcos de círculo.

Quiz 20 Representar a aceleração nestes pontos



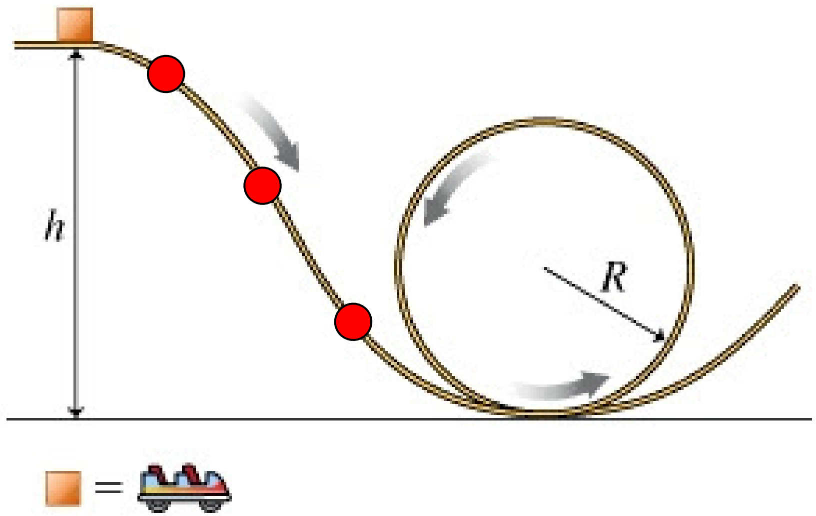
Vector aceleração

No movimento geral, a aceleração tem componente radial e também tangencial.

2.1 Movimentos

O movimento geral pode pensar-se como a concatenação de arcos de círculo.

Quiz 21 Representar a aceleração nestes pontos

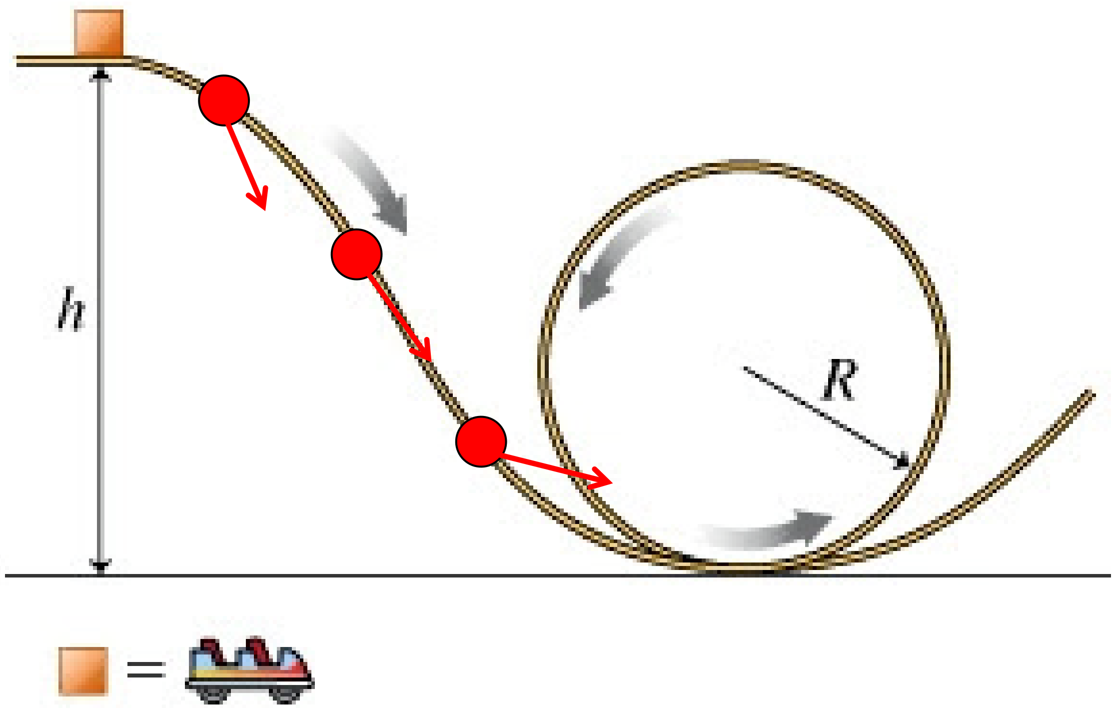


No movimento geral, a aceleração tem componente radial e também tangencial.

2.1 Movimentos

O movimento geral pode pensar-se como a concatenação de arcos de círculo.

Quiz 21 Representar a aceleração nestes pontos



No movimento geral, a aceleração tem componente radial e também tangencial.

2.1 Movimentos

No movimento geral, a aceleração tem componente radial e também tangencial.

Quiz 22 Movimento circular não uniforme

À medida que uma partícula que se desloca sobre um círculo aumenta a sua velocidade a taxa temporal constante, a sua aceleração

a) Aumenta em módulo e aproxima-se da tangente ao círculo.
b) Aumenta em módulo e aproxima-se da radial interna.
c) Aumenta em módulo e aproxima-se da radial externa.
d) Diminui em módulo e aproxima-se da radial interna.
e) Nenhuma das anteriores.