Física I

Algumas ideias-chave

Extraído do livro: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1. GEN | LTC. Edição do Kindle.

• A coordenada x de uma partícula indica a distância a que a partícula se encontra da origem do eixo x.

• A coordenada da partícula pode ser positiva, se a partícula estiver à direita da origem; negativa, se a partícula estiver à esquerda da origem; ou nula, se a partícula estiver exatamente na origem. O sentido positivo de um eixo é o sentido no qual os números aumentam de valor; o sentido negativo é o sentido oposto.

• O deslocamento Δx de uma partícula é a variação da posição da partícula: $\Delta x = x_2 - x_1$.

• O deslocamento da partícula pode ser positivo, se a posição final estiver à direita da posição inicial; negativo, se a posição final estiver à esquerda da posição inicial; ou nulo, se a posição final coincidir com a posição inicial. O deslocamento é um exemplo de grandeza vetorial, uma grandeza que possui um módulo e uma orientação.

• Quando uma partícula se desloca da posição x_1 para a posição x_2 em um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$, a velocidade média da partícula durante esse intervalo é dada por

$$v_{\text{méd}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}.$$

• A velocidade média da partícula pode ser positiva, se o deslocamento da partícula for positivo; negativa, se o deslocamento da partícula for negativo; ou nula, se o deslocamento da partícula for nulo.

• Em um gráfico da posição x da partícula em função do tempo t, a velocidade média no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ é a inclinação da reta que liga os pontos correspondentes à posição da partícula nos instantes t_1 e t_2.

• A velocidade escalar média $s_{\text{méd}}$ de uma partícula em um intervalo de tempo Δt é dada por

$$s_{\text{méd}} = \frac{\text{distância total}}{\Delta t},$$

em que d é a distância percorrida pela partícula durante o intervalo Δt.

Gráficos são importantes para a interpretação de fenômenos. No estudo da cinemática, usamos com frequência gráficos para a análise do sistema. Abaixo temos o gráfico da posição em função do tempo (x(t)).

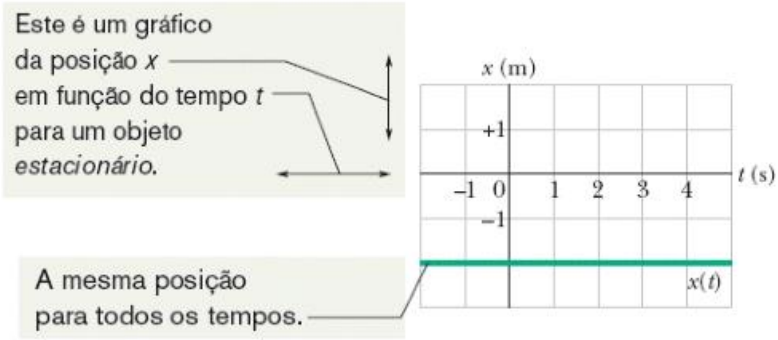


Gráfico de x(t) para uma partícula que está em repouso em x = − 2 m. O valor de x é − 2 m para qualquer instante t.

Abaixo temos o gráfico de x(t) para a posição de um tatu.

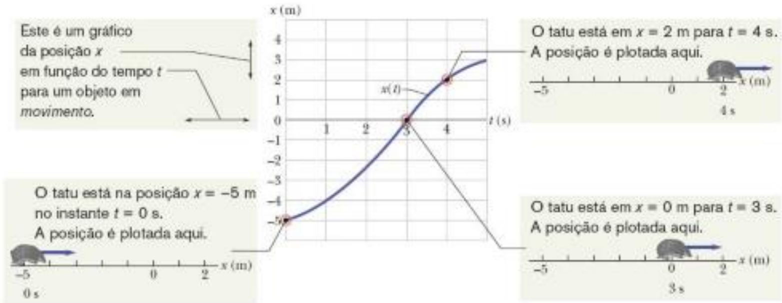
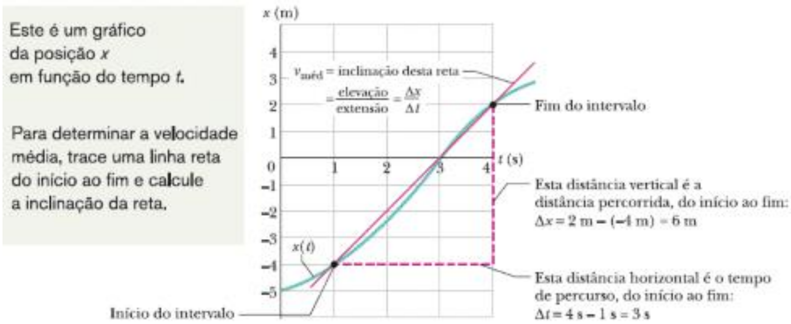


Gráfico de x(t) para um tatu em movimento. Posições sucessivas do tatu também são mostradas para três instantes de tempo.

Podemos usar o gráfico de x(t) para determinarmos a velocidade média ($v_{méd}$) entre dois instantes como ilustrado na figura abaixo.



Cálculo da velocidade média entre t = 1 s e t = 4 s como a inclinação da reta que une os pontos da curva x(t) que correspondem a esses tempos.

A partir da análise do gráfico acima, temos que a velocidade média entre os tempos t_1 = 1 s e t_2 = 2 s é a seguinte:

$$v_{méd} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{2\,m - (-4\,m)}{4\,s - 1\,s} = \frac{6\,m}{3\,s} = 2\,m/s$$

• A velocidade instantânea (ou simplesmente, velocidade) de uma partícula é dada por

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt},$$

em que $\Delta x = x_2 - x_1$ e $\Delta t = t_2 - t_1$.

• A velocidade instantânea em um dado instante é dada pela inclinação do gráfico da posição x em função do tempo t nesse instante.

• A velocidade escalar instantânea é o módulo da velocidade instantânea. Observe que v é a taxa com a qual a posição x está variando com o tempo em um dado instante, ou seja, v é a derivada de x em relação a t. Note também que v, em qualquer instante, é a inclinação da curva que representa a posição em função do tempo no instante considerado. A velocidade instantânea também é uma grandeza vetorial e, portanto, possui uma orientação.

• Velocidade escalar instantânea, ou, simplesmente, velocidade escalar, é o módulo da velocidade, ou seja, a velocidade desprovida de qualquer indicação de orientação. (Atenção: A velocidade escalar e a velocidade escalar média podem ser muito diferentes.) A velocidade escalar de um objeto que está se movendo a uma velocidade de + 5 m/ s é a mesma (5 m/ s) que a de um objeto que está se movendo a uma velocidade de − 5 m/ s. O velocímetro do carro indica a velocidade escalar e não a velocidade, já que não mostra para onde o carro está se movendo.

• Aceleração média é a razão entre a variação de velocidade Δv de uma partícula e o intervalo de tempo Δt durante o qual a variação ocorre:

$$a_{\text{méd}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

O sinal algébrico indica o sentido de $a_{\text{méd}}$.

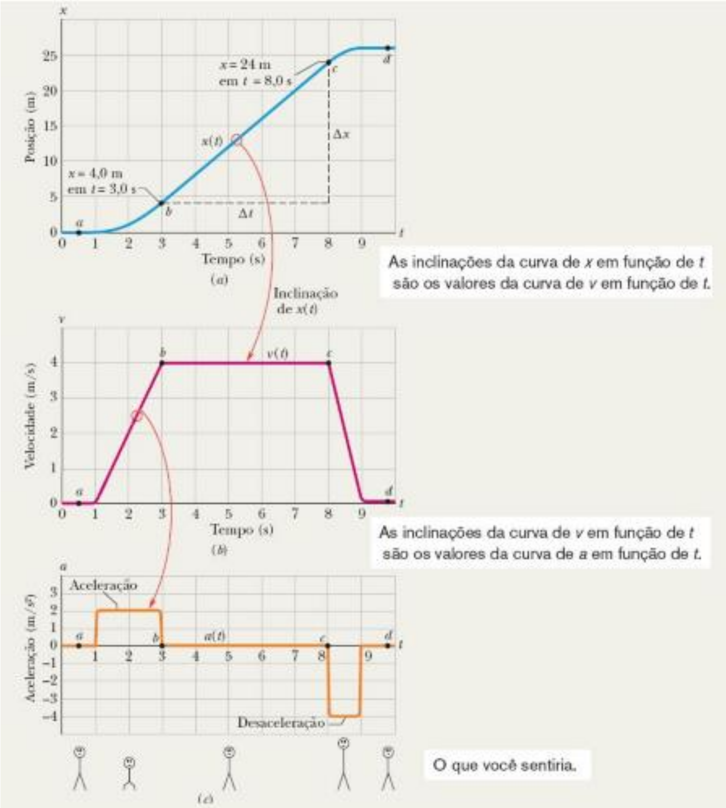
• Aceleração instantânea (ou, simplesmente, aceleração), a, é a derivada primeira da velocidade v(t) em relação ao tempo e a segunda derivada da posição x(t) em relação ao tempo:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Em palavras, a aceleração de uma partícula em um dado instante é a taxa com a qual a velocidade está variando nesse instante.

• Em um gráfico de v em função de t, a aceleração a em um dado instante é a inclinação do gráfico no ponto correspondente a esse instante.

A figura a seguir mostra os gráficos da posição, velocidade e aceleração de um elevador. Compare a curva de a(t) com a curva de v(t); cada ponto na curva de a(t) corresponde à derivada (inclinação) da curva de v(t) no mesmo instante de tempo. Quando v é constante (com o valor de 0 ou 4 m/ s), a derivada é nula e, portanto, a aceleração é nula. Quando o elevador começa a se mover, a curva de v(t) tem derivada positiva (a inclinação é positiva), o que significa que a(t) é positiva. Quando o elevador reduz a velocidade até parar, a derivada e a inclinação da curva de v(t) são negativas, ou seja, a(t) é negativa.



(a) A curva x(t) de um elevador que se move para cima ao longo do eixo x. (b) A curva v(t) do elevador. Note que essa curva é a derivada da curva x(t) (v = dx/ dt). (c) A curva a(t) do elevador, que é a derivada da curva v(t) (a = dv/dt). As figuras na parte de baixo dão uma ideia de como um passageiro se sente durante as acelerações.

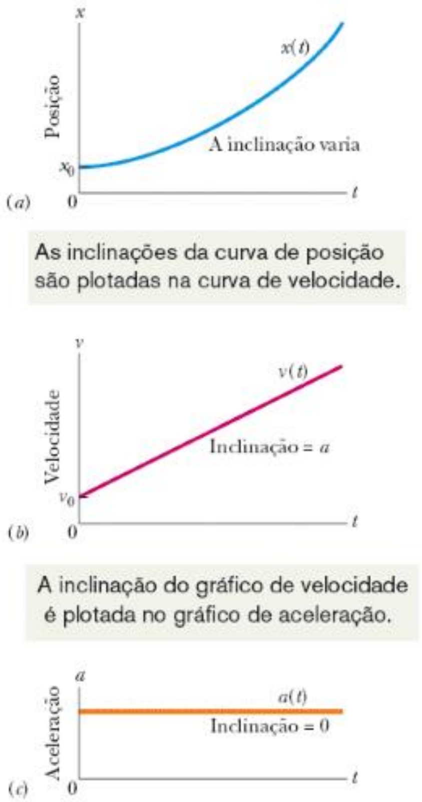
• Se os sinais da velocidade e da aceleração de uma partícula são iguais, a velocidade escalar da partícula aumenta. Se os sinais são opostos, a velocidade escalar diminui.

• As cinco equações a seguir descrevem o movimento de uma partícula com aceleração constante.

$$v = v_0 + at, \qquad x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2,$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0), \qquad x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t, \qquad x - x_0 = vt - \frac{1}{2}at^2.$$

• Em muitos tipos de movimento, a aceleração é constante ou aproximadamente constante. Assim, por exemplo, você pode acelerar um carro a uma taxa aproximadamente constante quando a luz de um sinal de trânsito muda de vermelho para verde. Nesse caso, os gráficos da posição, velocidade e aceleração do carro se assemelham aos da figura a seguir. [Note que a(t) na figura c é constante, o que requer que v(t) na figura b tenha uma inclinação constante.] Mais tarde, quando você freia o carro até parar, a aceleração (ou desaceleração, na linguagem comum) pode ser também constante.



(a) A posição x(t) de uma partícula que se move com aceleração constante. (b) A velocidade da partícula, v(t), dada em cada ponto pela inclinação da curva de x(t). (c) A aceleração (constante) da partícula, igual à inclinação (constante) da curva de v(t).

Primeira Equação Básica. Quando a aceleração é constante, a aceleração média e a aceleração instantânea são iguais e podemos escrever a seguinte equação, com algumas mudanças de notação, na forma

$$a = a_{\text{méd}} = \frac{v - v_0}{t - 0}.$$

Aqui, v_0 é a velocidade no instante t = 0 e v é a velocidade em um instante de tempo posterior t. Explicitando v, obtemos:

$$v = v_0 + at.$$

Segunda Equação Básica. De forma análoga, chegamos à equação abaixo para o movimento da partícula com aceleração constante:

$$x - x_0 = v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2.$$

A tabela abaixo traz as equações que descrevem o movimento da partícula com aceleração constante.

Tabela. Equações do Movimento com Aceleração Constante.

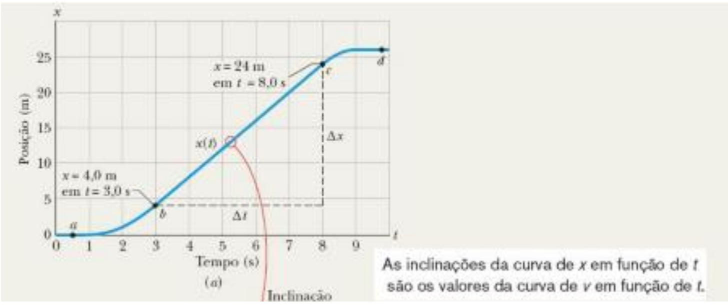
Número da equação no livro: Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1. GEN | LTC. Edição do Kindle.	Equação	Grandeza que falta
2.4.1 **(Primeira Equação Básica)**	$v = v_0 + at$	$x - x_0$
2.4.5 **(Segunda Equação Básica)**	$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	v
2.4.6	$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	t
2.4.7	$x - x_0 = \frac{1}{2}(v + v_0)t$	a
2.4.8	$x - x_0 = vt - \frac{1}{2}at^2$	v_0

• A aceleração em queda livre nas proximidades da superfície da Terra é a = − g = − 9,8 m/s^2, e o módulo da aceleração é g = 9,8 m/s^2. Não substitua g por − 9,8 m/s^2 (mas sim por 9,8 m/s^2).

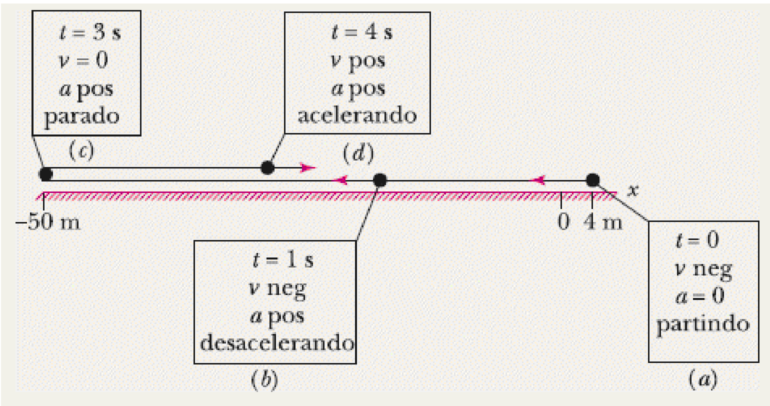
Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentos da Física - Mecânica - Volume 1 (p. 133). GEN | LTC. Edição do Kindle.

Exercícios

1. Considere três pares de posições iniciais e finais ao longo do eixo x: (a) − 3 m, + 5 m; (b) − 3 m, − 7 m; (c) 7 m, − 3 m. Quais desses pares correspondem a deslocamentos negativos?
2. Você pega um táxi para ir a um parque. O táxi percorre uma distância em linha reta de 10,0 km, na direção leste, a uma velocidade média de 40,0 km/ h. Depois de saltar do carro, você corre em linha reta por 3,00 km, na direção leste, e leva 0,500 h para percorrer essa distância. (a) Qual é seu deslocamento total do ponto de partida ao ponto em que você para de correr? (b) Qual é o intervalo de tempo Δt entre o início do movimento e o instante em que você para de correr? (c) Qual é a sua velocidade média $v_{méd}$ do ponto de partida até o ponto em que você parou de correr? Determine a resposta numérica e graficamente.
3. As equações a seguir fornecem a posição x(t) de uma partícula em quatro casos (em todas as equações, x está em metros, t está em segundos, e t > 0): (1) $x = 3t - 2$; (2) $x = -4t^2 - 2$; (3) $x = 2/t^2$; (4) $x = -2$. (a) Em que caso(s) a velocidade v da partícula é constante? (b) Em que caso(s) a velocidade v está orientada no sentido negativo do eixo x?
4. A figura abaixo mostra o gráfico x(t) de um elevador que, depois de passar algum tempo parado, começa a se mover para cima (que tomamos como o sentido positivo de x) e depois para novamente. Plote v(t).

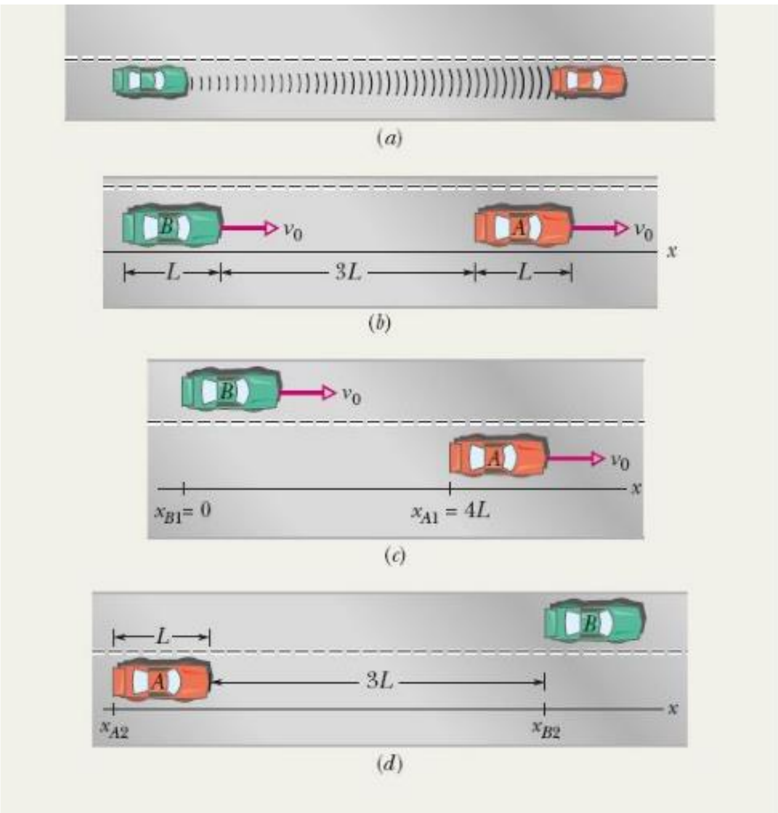


5. Um marsupial se move ao longo do eixo x. Qual é o sinal da aceleração do animal se ele está se movendo (a) no sentido positivo com velocidade escalar crescente; (b) no sentido positivo com velocidade escalar decrescente; (c) no sentido negativo com velocidade escalar crescente; (d) no sentido negativo com velocidade escalar decrescente?
6. A posição de uma partícula no eixo x da figura abaixo é dada por $x = 4 - 27t + t^3$, com x em metros e t em segundos. (a) Como a posição x varia com o tempo t, a partícula está em movimento. Determine a função velocidade v(t) e a função aceleração a(t) da partícula. (b) Existe algum instante para o qual v = 0?



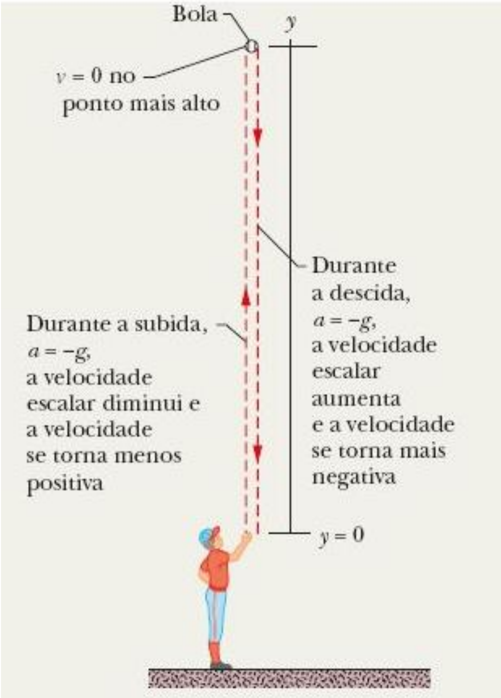
Quatro estágios do movimento da partícula.

7. As equações a seguir fornecem a posição x(t) de uma partícula em quatro casos: (1) $x = 3t - 4$; (2) $x = -5t^3 + 4t^2 + 6$; (3) $x = 2/t^2 - 4/t$; (4) $x = 5t^2 - 3$. Em que caso(s) as equações da Tabela acima podem ser aplicadas?
8. Carro autônomo ultrapassando um carro mais lento. Na figura abaixo, você está em um carro controlado por um sistema automático de direção e à sua frente está um carro mais lento, que você deseja ultrapassar. A figura (b) mostra a situação inicial, com você no carro B. O radar do seu carro detecta a velocidade e a posição do carro A. Os dois carros têm o mesmo comprimento, L = 4,50 m, e estão se movendo à mesma velocidade, v_0 = 22,0 m/ s (79,2 km/ h, abaixo do limite de velocidade), e a estrada é retilínea, tem duas pistas e é de mão dupla. Seu carro está a uma distância de 3,00L do carro A quando você pede ao sistema de controle do carro para fazer a ultrapassagem. Para isso, seu carro precisa passar para a outra pista, na qual pode ver um carro em sentido contrário. Para realizar uma ultrapassagem segura, o sistema precisa calcular o tempo necessário para passar pelo carro A. Queremos que o carro B passe para a outra pista, acelere a uma taxa constante a = 3,50 m/ s^2 até atingir uma velocidade v = 27,0 m/ s (97,2 km/ h, abaixo do limite de velocidade, que é 100 km/ h) e, em seguida, quando estiver a uma distância de 3,00L à frente do carro A, volte para a pista inicial (mantendo a velocidade de 27,0 m/ s). Suponha que o tempo necessário para mudar de pista seja desprezível. A figura (c) mostra a situação no início da aceleração, com a traseira do carro B em $x_{B1} = 0$ e a traseira do carro A em $x_{A1} = 4L$. A figura (d) mostra a situação quando o carro B está prestes a voltar para a pista inicial. Sejam t_1 e d_1 o tempo de aceleração necessário para atingir a velocidade desejada e a distância percorrida durante a aceleração, respectivamente. Seja t_2 o tempo decorrido entre o fim da aceleração e o instante em que o carro B está a uma distância de 3,00L à frente do carro A, pronto para voltar à pista inicial. Estamos interessados em determinar o tempo total $t_{tot} = t_1 + t_2$. O cálculo deve ser feito por partes. Quais são os valores de (a) t_1 e (b) d_1? (c) Em termos de L, v_0, t_1 e t_2, qual é a coordenada x_{B2} da traseira do carro B quando B está prestes a voltar para a pista inicial? (d) Em termos de L, v_0, t_1 e t_2, qual é a coordenada x_{A2} da traseira do carro A nesse instante? (e) Qual é o valor de x_{B2} em termos de x_{A2} e L? Use esses resultados para determinar os valores de (f) t_2 e (g) t_{tot}.



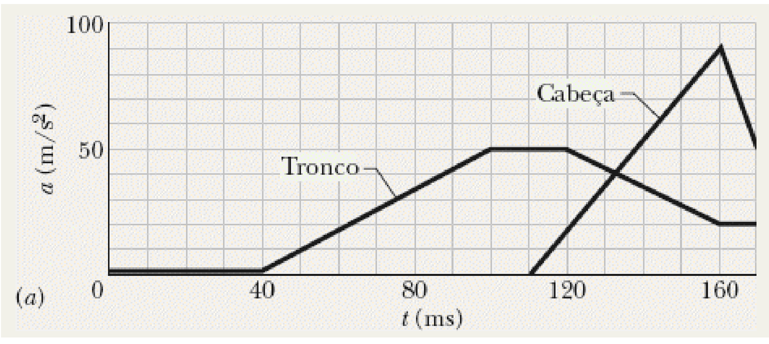
(a) O radar do carro de trás detecta a distância e a velocidade do carro à frente. (b) Situação inicial. (c) O carro de trás B muda de pista para ultrapassar o carro à frente. (d) O carro B está prestes a voltar para a pista inicial.

9. (a) Se você arremessa uma bola verticalmente para cima, qual é o sinal do deslocamento da bola durante a subida, desde o ponto inicial até o ponto mais alto da trajetória? (b) Qual é o sinal do deslocamento durante a descida, desde o ponto mais alto da trajetória até o ponto inicial? (c) Qual é a aceleração da bola no ponto mais alto da trajetória?
10. Na figura abaixo, um lançador arremessa uma bola de beisebol para cima ao longo do eixo y, com uma velocidade inicial de 12 m/s. (a) Quanto tempo a bola leva para chegar ao ponto mais alto da trajetória? (b) Qual é a altura máxima alcançada pela bola em relação ao ponto de lançamento? (c) Quanto tempo a bola leva para atingir um ponto 5,0 m acima do ponto inicial?



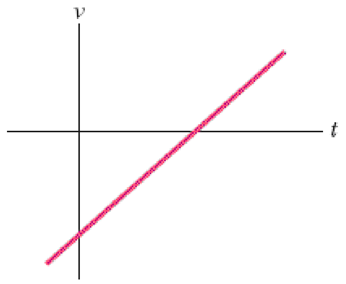
Um lançador arremessa uma bola de beisebol para cima. As equações de queda livre se aplicam tanto a objetos que estão subindo como a objetos que estão caindo, desde que a influência do ar possa ser desprezada.

11. (a) Para determinar a variação da função posição Δx a partir de um gráfico da velocidade v em função do tempo t, você integra o gráfico ou determina a inclinação do gráfico? (b) O que você faz para determinar a aceleração?
12. Lesões do pescoço causadas pelo "efeito chicote" são frequentes em colisões traseiras, em que um automóvel é atingido por trás por outro automóvel. Na década de 1970, os pesquisadores concluíram que a lesão ocorria porque a cabeça do ocupante era jogada para trás por cima do banco quando o carro era empurrado para a frente. A partir dessa observação, foram instalados encostos de cabeça nos carros, mas as lesões de pescoço nas colisões traseiras continuaram a acontecer. Em um teste recente para estudar as lesões do pescoço em colisões traseiras, um voluntário foi preso por cintos a um assento, que foi movimentado bruscamente para simular uma colisão na qual o carro de trás estava se movendo a 10,5 km/ h. A figura abaixo mostra a aceleração do tronco e da cabeça do voluntário durante a colisão, que começa no instante t = 0. O início da aceleração do tronco sofreu um retardo de 40 ms, tempo que o encosto do assento levou para ser comprimido contra o voluntário. A aceleração da cabeça sofreu um retardo de mais 70 ms. Qual era a velocidade do tronco quando a cabeça começou a acelerar?

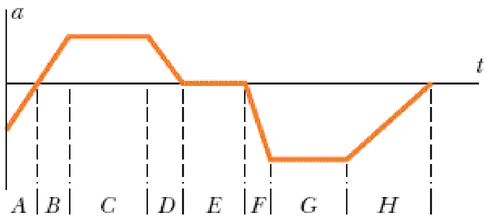


Curva de a(t) para o tronco e a cabeça de um voluntário em uma simulação de colisão traseira.

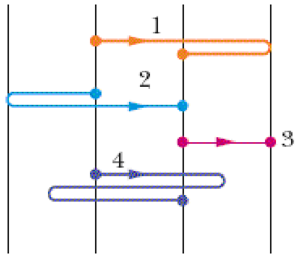
13. A figura abaixo mostra a velocidade de uma partícula que se move em um eixo x. Determine (a) o sentido inicial e (b) o sentido final do movimento. (c) A velocidade da partícula se anula em algum instante? (d) A aceleração é positiva ou negativa? (e) A aceleração é constante ou variável?



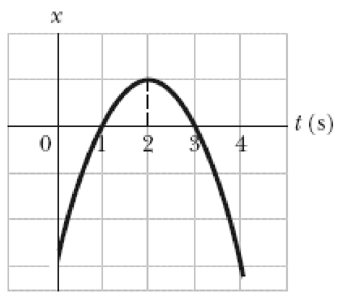
14. A figura abaixo mostra a aceleração a(t) de um chihuahua que persegue um pastor alemão ao longo de um eixo. Em qual dos períodos de tempo indicados o chihuahua se move com velocidade constante?



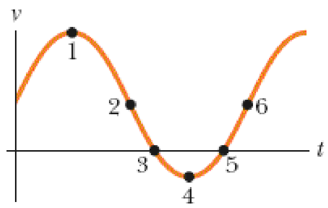
15. A figura abaixo mostra as trajetórias de quatro objetos de um ponto inicial a um ponto final, todas no mesmo intervalo de tempo. As trajetórias passam por três linhas retas igualmente espaçadas. Coloque as trajetórias (a) na ordem da velocidade média dos objetos e (b) na ordem da velocidade escalar média dos objetos, começando pela maior.



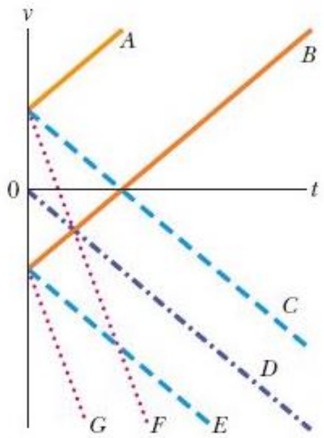
16. A figura a seguir é um gráfico da posição de uma partícula em um eixo x em função do tempo. (a) Qual é o sinal da posição da partícula no instante t = 0? A velocidade da partícula é positiva, negativa ou nula (b) em t = 1 s, (c) em t = 2 s e (d) em t = 3 s? (e) Quantas vezes a partícula passa pelo ponto x = 0?



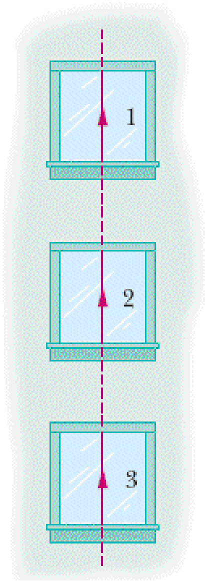
17. A figura abaixo mostra a velocidade de uma partícula que se move ao longo de um eixo. O ponto 1 é o ponto mais alto da curva; o ponto 4 é o ponto mais baixo; os pontos 2 e 6 estão na mesma altura. Qual é o sentido do movimento (a) no instante t = 0 e (b) no ponto 4? (c) Em qual dos seis pontos numerados a partícula inverte o sentido de movimento? (d) Coloque os seis pontos na ordem do módulo da aceleração, começando pelo maior.



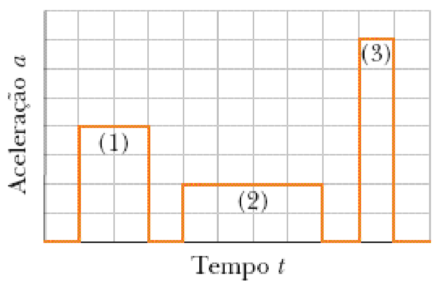
18. Debruçado no parapeito de uma ponte, você deixa cair um ovo (com velocidade inicial nula) e arremessa um segundo ovo para baixo. Qual das curvas da figura abaixo corresponde à velocidade v(t) (a) do ovo que caiu, (b) do ovo que foi arremessado? (As curvas A e B são paralelas, assim como as curvas C, D e E, e as curvas F e G.)



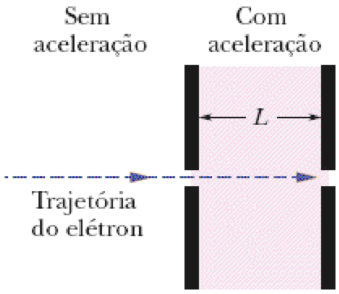
19. As equações a seguir fornecem a velocidade v(t) de uma partícula em quatro situações: (a) $v = 3$; (b) $v = 4t^2 + 2t + 6$; (c) $v = 3t - 4$; (d) $v = 5t^2 - 3$. Em que situações as equações obtidas para aceleração constante podem ser aplicadas?
20. Na figura abaixo, uma tangerina é lançada verticalmente para cima e passa por três janelas igualmente espaçadas e de alturas iguais. Coloque as janelas na ordem decrescente (a) da velocidade escalar média da tangerina ao passar por elas, (b) do tempo que a tangerina leva para passar por elas, (c) do módulo da aceleração da tangerina ao passar por elas e (d) da variação Δv da velocidade escalar da tangerina ao passar por elas.



21. A figura abaixo mostra os três períodos de aceleração a que é submetida uma partícula que se move ao longo do eixo x. Sem fazer cálculos no papel, coloque os períodos de aceleração na ordem dos aumentos que produzem na velocidade da partícula, começando pelo maior.



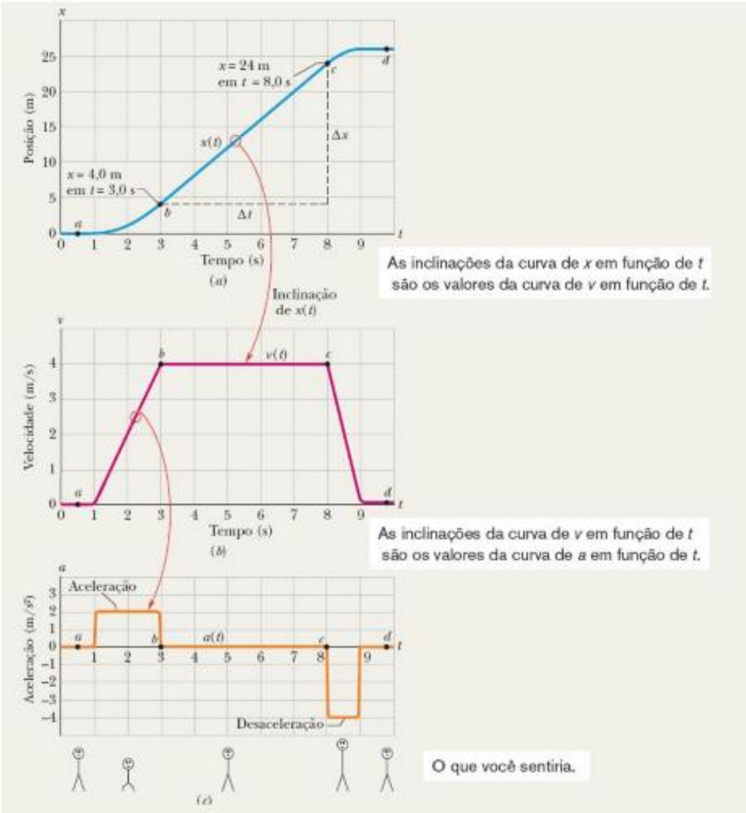
22. Se você está dirigindo um carro a 90 km/h, e seus olhos permanecem fechados por 0,50 s por causa de um espirro, qual é a distância percorrida pelo carro até você abrir novamente os olhos?
23. A posição de uma partícula que se move ao longo do eixo x é dada por $x = 9{,}75 + 1{,}50t^3$, em que x está em centímetros e t em segundos. Calcule (a) a velocidade média durante o intervalo de tempo de t = 2,00 s a t = 3,00 s; (b) a velocidade instantânea em t = 2,00 s; (c) a velocidade instantânea em t = 3,00 s; (d) a velocidade instantânea em t = 2,50 s; (e) a velocidade instantânea quando a partícula está na metade da distância entre as posições em t = 2,00 s e t = 3,00 s.
24. Um elétron com velocidade inicial $v_0 = 1{,}50 \times 10^5$ m/s penetra em uma região de comprimento L = 1,00 cm, em que é eletricamente acelerado (figura abaixo), e sai da região com $v = 5{,}70 \times 10^6$ m/ s. Qual é a aceleração do elétron, supondo que seja constante?



25. Suponha que uma nave espacial se move com uma aceleração constante de 9,8 m/s^2, o que dá aos tripulantes a ilusão de uma gravidade normal durante o voo. (a) Se a nave parte do repouso, quanto tempo leva para atingir um décimo da velocidade da luz, que é $3{,}0 \times 10^8$ m/ s? (b) Que distância a nave percorre nesse tempo?

Respostas

1. (b) e (c).
2. (a) 13,0 km; (b) 0,750 h; (c) 17,3 km/h.
3. (a) (1) e (4); (b) (2) e (3).
4.



5. (a) +; (b) –; (c) –; (d) +.
6. (a) v(t) = -27t + 3t^2, a(t) = -27 + 6t; (b) t = ± 3 s.
7. (1) e (4).
8. (a) $t_1 \approx 1{,}43$ s; (b) $d_1 = 35{,}0$ m; (c) $x_{B2} = d_1 + vt_2$; (d) $x_{A2} = 4L + v_0\,(t_1 + t_2)$; (e) $x_{B2} = x_{A2} + 4L$; (f) $t_2 \approx 6{,}49$ s; (g) $t_{tot} \approx 7{,}91$ s.
9. (a) +; (b) -; (c) a = -g = -9,8 m/s^2.
10. (a) t = 1,2 s; (b) y = 7,3 m; (c) t = 0,53 s e t = 1,9 s.
11. (a) integra o gráfico da velocidade; (b) determina a inclinação do gráfico da velocidade.
12. v_1 = 2,0 m/s = 7,2 km/h;
13. (a) negativo; (b) positivo; (c) sim; (d) positiva; (e) constante.
14. Entre B e C (linha horizontal), entre D e E e entre F e G.
15. (a) (1)=(2)=(3)=(4); (b) (4), (2)=(1), (3)
16. (a) negativo; (b) positiva; (c) nula; (d) negativa; (e) duas vezes.
17. (a) positivo; (b) negativo; (c) (3) e (5); (d) 2 e 6, 3 e 5, 1 e 4.
18. (a) D; (b) E.
19. (a) e (c).
20. (a) 3, 2, 1; (b) 1, 2, 3; (c) todas iguais; (d) 1, 2, 3
21. (1) = (2), (3).
22. 13 m.
23. (a) 28,5 cm/s; (b) 18,0 cm/s; (c) 40,5 cm/s; (d) 28,1 cm/s; (e) 30,3 cm/s.

24. $1{,}62 \times 10^{15}$ m/s^2.
25. (a) $3{,}1 \times 10^{6}$ s; (b) $4{,}6 \times 10^{13}$ m