

MOVIMENTO RETILÍNEO

2

2-1 O QUE É FÍSICA?

Um dos objetivos da física é estudar o movimento dos objetos: a rapidez com que se movem, por exemplo, ou a distância que percorrem em um dado intervalo de tempo. Os engenheiros da NASCAR são fanáticos por este aspecto da física, que os ajuda a avaliar o desempenho dos carros antes e durante as corridas. Os geólogos usam esta física para estudar o movimento de placas tectônicas, na tentativa de prever terremotos. Os médicos necessitam dessa física para mapear o fluxo de sangue em um paciente quando examinam uma artéria parcialmente obstruída, e motoristas a usam para reduzir a velocidade e escapar de uma multa quando percebem que existe um radar à frente. Existem inúmeros outros exemplos. Neste capítulo, estudamos a física básica do movimento nos casos em que o objeto (carro de corrida, placa tectônica, célula sanguínea ou qualquer outro) está se movendo em linha reta. Este tipo de movimento é chamado de *movimento unidimensional*.

2-2 Movimento

O mundo, e tudo que nele existe, está sempre em movimento. Mesmo objetos aparentemente estacionários, como uma estrada, estão em movimento por causa da rotação da Terra, da órbita da Terra em torno do Sol, da órbita do Sol em torno do centro da Via Láctea e do deslocamento da Via Láctea em relação às outras galáxias. A classificação e comparação dos movimentos (chamada de **cinemática**) podem ser um desafio. O que exatamente deve ser medido? Com que deve ser comparado?

Antes de tentar responder a estas perguntas, vamos examinar algumas propriedades gerais do movimento unidimensional, restringindo a análise de três formas:

1. Vamos supor que o movimento se dá ao longo de uma linha reta. A trajetória pode ser vertical, horizontal ou inclinada, mas deve ser retilínea.
2. As forças (empurrões e puxões) modificam o movimento, mas não serão discutidas até o Capítulo 5. Neste capítulo, vamos discutir apenas o movimento em si e suas mudanças, sem nos preocupar com as causas. O objeto está se movendo cada vez mais depressa, cada vez mais devagar, ou o movimento mudou de direção? Se o movimento está mudando, essa mudança é brusca ou gradual?
3. Vamos supor que o objeto em movimento é uma **partícula** (ou seja, um objeto pontual, como um elétron) ou um objeto que se move como uma partícula (isto é, todas as partes do objeto se movem na mesma direção e com a mesma rapidez). Assim, por exemplo, podemos imaginar que o movimento de um porco rígido deslizando em um escorrega é semelhante ao de uma partícula; não podemos dizer o mesmo, porém, de uma bola rolando em uma mesa de sinuca.

2-3 Posição e Deslocamento

Localizar um objeto significa determinar a posição do objeto em relação a um ponto de referência, frequentemente a **origem** (ou ponto zero) de um eixo como o eixo x

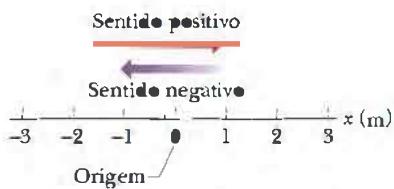


Figura 2-1 A posição é assinalada em um eixo marcado em unidades de comprimento (metros, por exemplo), que se estende indefinidamente nos dois sentidos. O nome do eixo, x , por exemplo, aparece sempre no lado positivo do eixo em relação à origem.

da Fig. 2-1. O **sentido positivo** do eixo é o sentido em que os números (coordenadas) que indicam a posição dos objetos aumentam de valor, que, na Fig. 2-1, é para a direita. O sentido oposto é o **sentido negativo**.

Assim, por exemplo, uma partícula pode estar localizada em $x = 5$ m, o que significa que está a 5 m da origem no sentido positivo. Se estivesse localizada em $x = -5$ m, estaria também a 5 m da origem, mas no sentido oposto. Sobre o eixo, uma coordenada de -5 m é menor que uma coordenada de -1 m e ambas são menores que uma coordenada de $+5$ m. O sinal positivo de uma coordenada não precisa ser mostrado explicitamente, mas o sinal negativo deve sempre ser mostrado.

A uma mudança de uma posição x_1 para uma posição x_2 é associado um **deslocamento** Δx , dado por

$$\Delta x = x_2 - x_1. \quad (2-1)$$

(O símbolo Δ , a letra grega delta maiúsculo, é usada para representar a variação de uma grandeza e corresponde à diferença entre o valor final e o valor inicial.) Quando atribuímos números às posições x_1 e x_2 da Eq. 2-1, um deslocamento no sentido positivo (para a direita na Fig. 2-1) sempre resulta em um deslocamento positivo e um deslocamento no sentido oposto (para a esquerda na figura) sempre resulta em um deslocamento negativo. Assim, por exemplo, se uma partícula se move de $x_1 = 5$ m para $x_2 = 12$ m, $\Delta x = (12\text{ m}) - (5\text{ m}) = +7$ m. O resultado positivo indica que o movimento é no sentido positivo. Se, em vez disso, a partícula se move de $x_1 = 5$ m para $x_2 = 1$ m, $\Delta x = (1\text{ m}) - (5\text{ m}) = -4$ m. O resultado negativo indica que o movimento é no sentido negativo.

O número de metros percorridos é irrelevante; o deslocamento envolve apenas as posições inicial e final. Assim, por exemplo, se a partícula se move de $x = 5$ m para $x = 200$ m e, em seguida, volta para $x = 5$ m, o deslocamento é $\Delta x = (5\text{ m}) - (5\text{ m}) = 0$.

O sinal positivo do deslocamento não precisa ser mostrado, mas o sinal negativo deve sempre ser mostrado. Quando ignoramos o sinal (e, portanto, o sentido) do deslocamento, ficamos com o **módulo** do deslocamento. Assim, por exemplo, a um deslocamento $\Delta x = -4$ m corresponde um módulo de 4 m.

O deslocamento é um exemplo de **grandeza vetorial**, uma grandeza que possui um módulo e uma orientação. Os vetores serão discutidos com mais detalhes no Capítulo 3 (na verdade, talvez alguns estudantes já tenham lido esse capítulo), mas tudo de que necessitamos no momento é a ideia de que o deslocamento possui duas características: (1) o **módulo** é a distância (como, por exemplo, o número de metros) entre as posições inicial e final; (2) a **orientação**, de uma posição inicial para uma posição final, que pode ser representada por um sinal positivo ou um sinal negativo se o movimento for retílineo.

O que se segue é o primeiro dos muitos testes que o leitor encontrará neste livro. Os testes contêm uma ou mais questões cujas respostas requerem um raciocínio ou cálculo mental e permitem verificar a compreensão do ponto discutido. As respostas aparecem no final do livro.



TESTE 1

Considere três pares de posições iniciais e finais, respectivamente, ao longo do eixo x . A que pares correspondem deslocamentos negativos: (a) -3 m, $+5$ m; (b) -3 m, -7 m; (c) 7 m, -3 m?

2-4 Velocidade Média e Velocidade Escalar Média

Uma forma compacta de descrever a posição de um objeto é desenhar um gráfico da posição x em função do tempo t , ou seja, um gráfico de $x(t)$. [A notação $x(t)$ representa uma função x de t e não o produto de x por t .] Como exemplo simples,

Este é um gráfico da posição x em função do tempo t para um objeto estacionário.

A mesma posição para todos os tempos.

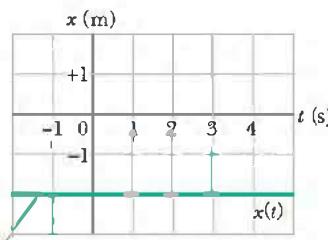


Figura 2-2 Gráfico de $x(t)$ para um tatu que está em repouso em $x = -2$ m. O valor de x é -2 m para qualquer instante t .

a Fig. 2-2 mostra a função posição $x(t)$ de um tatu em repouso (tratado como uma partícula) durante um intervalo de tempo de 7 s. A posição do animal tem sempre o mesmo valor, $x = -2$ m.

A Fig. 2-3 é mais interessante, já que envolve movimento. O tatu é avistado em $t = 0$, quando está na posição $x = -5$ m. Ele se move no sentido de $x = 0$, passa por esse ponto em $t = 3$ s e continua a se deslocar para maiores valores positivos de x . A Fig. 2-3 mostra também o movimento real do tatu em linha reta, através do desenho da posição em que o tatu se encontra em três instantes de tempo. O gráfico da Fig. 2-3 é mais abstrato e bem diferente daquilo que o leitor realmente veria, mas é muito mais rico em informações. Ele também revela com que rapidez o tatu se move.

Na verdade, várias grandezas estão associadas à expressão “com que rapidez”. Uma é a **velocidade média** $v_{\text{méd}}$, que é a razão entre o deslocamento Δx e o intervalo de tempo Δt durante o qual esse deslocamento ocorre:

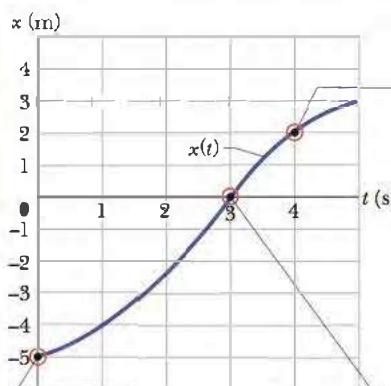
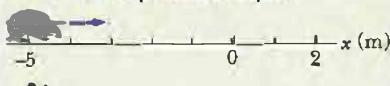
$$v_{\text{méd}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}. \quad (2-2)$$

A notação significa que a posição é x_1 no instante t_1 e x_2 no instante t_2 . A unidade de $v_{\text{méd}}$ no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o metro por segundo (m/s). Outras unidades são usadas em alguns problemas, mas todas estão na forma de comprimento/tempo.

Em um gráfico de x em função de t , $v_{\text{méd}}$ é a **inclinação** da reta que liga dois pontos particulares da curva $x(t)$: um dos pontos corresponde a x_2 e t_2 e o outro a x_1 e t_1 . Da mesma forma que o deslocamento, $v_{\text{méd}}$ também possui um módulo, uma

Este é um gráfico da posição x em função do tempo t para um objeto em movimento.

Está na posição $x = -5$ m no instante $t = 0$ s. Esse dado é plotado aqui.



Está em $x = 2$ m para $t = 4$ s. Plotado aqui.

Está em $x = 0$ m para $t = 3$ s. Plotado aqui.

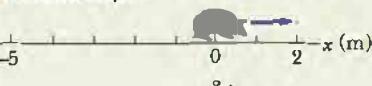


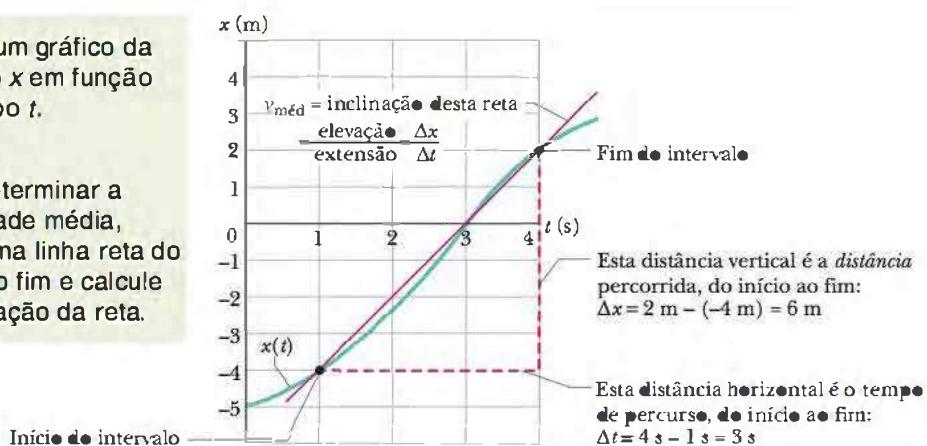
Figura 2-3 Gráfico de $x(t)$ para um rato em movimento. Posições sucessivas do rato também são mostradas para três instantes de tempo.



Figura 2-4 Cálculo da velocidade média entre $t = 1\text{ s}$ e $t = 4\text{ s}$ como a inclinação da reta que une os pontos sobre a curva $x(t)$ que correspondem a esses tempos.

Este é um gráfico da posição x em função do tempo t .

Para determinar a velocidade média, trace uma linha reta do início ao fim e calcule a inclinação da reta.



direção e um sentido (também é uma grandeza vetorial). O módulo é valor absoluto da inclinação da reta. Um valor positivo de v_{med} (e da inclinação) significa que a reta está inclinada para cima da esquerda para a direita; um valor negativo de v_{med} (e da inclinação) significa que a reta está inclinada para baixo da esquerda para a direita. A velocidade média v_{med} tem sempre o mesmo sinal do deslocamento Δx porque Δt na Eq. 2-2 é sempre positivo.

A Fig. 2-4 mostra como determinar v_{med} na Fig. 2-3 para o intervalo de tempo de $t = 1\text{ s}$ a $t = 4\text{ s}$. Traçamos a linha reta que une os pontos correspondentes ao início e ao final do intervalo de tempo considerado. Em seguida, calculamos a inclinação $\Delta x/\Delta t$ da linha reta. Para o intervalo de tempo dado, a velocidade média é

$$v_{\text{med}} = \frac{6\text{ m}}{3\text{ s}} = 2\text{ m/s}.$$

A **velocidade escalar média** s_{med} é uma forma diferente de descrever “com que rapidez” uma partícula está se movendo. Enquanto a velocidade média envolve o deslocamento da partícula, Δx , a velocidade escalar média é definida em termos da distância total percorrida (o número de metros percorridos, por exemplo), independentemente da direção. Assim,

$$s_{\text{med}} = \frac{\text{distância total}}{\Delta t}. \quad (2-3)$$

Como a definição de velocidade escalar média *não inclui* a direção e o sentido do movimento, ela não possui um sinal algébrico. Em alguns casos, s_{med} é igual (a não ser pela ausência de sinal) a v_{med} . Entretanto, como é demonstrado no Exemplo 2-1, as duas velocidades podem ser bem diferentes.

Exemplo

Velocidade média de um carro velho

Depois de dirigir um carro em uma estrada retilínea por 8,4 km a 70 km/h, você para por falta de gasolina. Nos 30 min seguintes, você caminha por mais 2,0 km ao longo da estrada até chegar a um posto de gasolina.

- (a) Qual foi o deslocamento total, do início da viagem até chegar ao posto de gasolina?

IDEIA-CHAVE

Suponha, por conveniência, que você se move no sentido positivo do eixo x , da posição inicial $x_1 = 0$ até a posição final x_2 , no posto de gasolina. Essa segunda posição deve ser $x_2 = 8,4\text{ km} + 2,0\text{ km} = 10,4\text{ km}$. O deslocamento Δx ao longo do eixo x é a diferença entre a segunda posição e a primeira.

Cálculo De acordo com a Eq. 2-1, temos:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 10,4 \text{ km} - 0 = 10,4 \text{ km.} \quad (\text{Resposta})$$

Assim, o deslocamento total é 10,4 km no sentido positivo do eixo x .

(b) Qual é o intervalo de tempo Δt entre o início da viagem e o instante em que você chega ao posto?

IDEIA-CHAVE

Já sabemos quanto tempo você passou caminhando, Δt_{cam} (0,50 h), mas não sabemos quanto tempo você passou dirigindo, Δt_{dir} . Sabemos, porém, que você viajou 8,4 km de carro a uma velocidade média $v_{\text{méd.dir}} = 70 \text{ km/h}$. Esta velocidade média é igual à razão entre o deslocamento do carro e o intervalo de tempo correspondente a esse deslocamento.

Cálculos Em primeiro lugar, sabemos que

$$v_{\text{méd.dir}} = \frac{\Delta x_{\text{dir}}}{\Delta t_{\text{dir}}}.$$

Explicitando Δt_{dir} e substituindo os valores conhecidos, obtemos:

$$\Delta t_{\text{dir}} = \frac{\Delta x_{\text{dir}}}{v_{\text{méd.dir}}} = \frac{8,4 \text{ km}}{70 \text{ km/h}} = 0,12 \text{ h.}$$

Assim,

$$\begin{aligned} \Delta t &= \Delta t_{\text{dir}} + \Delta t_{\text{cam}} \\ &= 0,12 \text{ h} + 0,50 \text{ h} = 0,62 \text{ h.} \quad (\text{Resposta}) \end{aligned}$$

(c) Qual é a velocidade média $v_{\text{méd}}$ do início da viagem até a chegada ao posto de gasolina? Determine a solução numericamente e graficamente.

IDEIA-CHAVE

De acordo com a Eq. 2-2, $v_{\text{méd}}$ para todo o percurso é a razão entre o deslocamento de 10,4 para todo o percurso e o intervalo de tempo de 0,62 h para todo o percurso.

Cálculo Nesse caso,

$$\begin{aligned} v_{\text{méd}} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10,4 \text{ km}}{0,62 \text{ h}} \\ &= 16,8 \text{ km/h} \approx 17 \text{ km/h.} \quad (\text{Resposta}) \end{aligned}$$

Para determinar $v_{\text{méd}}$ graficamente, traçamos o gráfico da função $x(t)$, como mostra a Fig. 2-5, onde os pontos de partida e chegada são a origem e o ponto assinalado como “Posto”. A velocidade média é a inclinação da reta que une esses pontos, ou seja, $v_{\text{méd}}$ é a razão entre a elevação ($\Delta x = 10,4 \text{ km}$) e o curso ($\Delta t = 0,62 \text{ h}$), o que nos dá $v_{\text{méd}} = 16,8 \text{ km/h}$.

(d) Suponha que para encher um bujão de gasolina, pagar e caminhar de volta para o carro você leva 45 min. Qual é a velocidade escalar média do início da viagem até o momento em que você chega de volta ao lugar onde deixou o carro?

IDEIA-CHAVE

A velocidade escalar média é a razão entre a distância total percorrida e o tempo gasto para percorrer essa distância.

Cálculo A distância total é 8,4 km + 2,0 km + 2,0 km = 12,4 km. O intervalo de tempo total é 0,12 h + 0,50 h + 0,75 h = 1,37 h. Assim, de acordo com a Eq. 2-3,

$$s_{\text{méd}} = \frac{12,4 \text{ km}}{1,37 \text{ h}} = 9,1 \text{ km/h.} \quad (\text{Resposta})$$

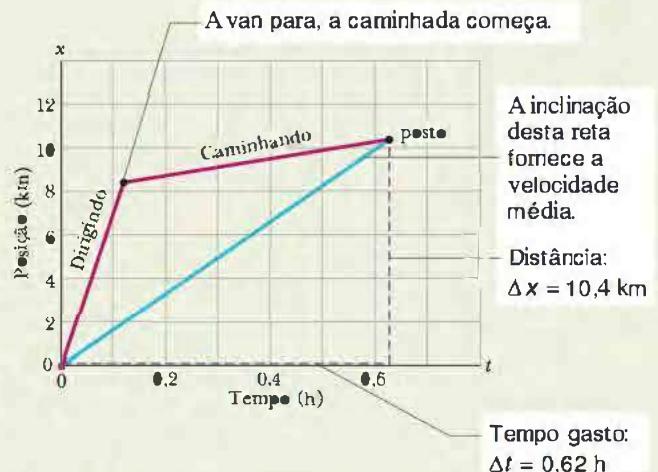


Figura 2-5 As retas “Dirigindo” e “Caminhando” são os gráficos da posição em função do tempo para os deslocamentos de carro e a pé. (O gráfico para o deslocamento a pé supõe uma caminhada com velocidade constante.) A inclinação da reta que liga a origem ao ponto “Posto” é a velocidade média para o percurso até o posto.

2-5 Velocidade Instantânea e Velocidade Escalar Instantânea

Vimos até agora duas formas de descrever a rapidez com a qual um objeto se move: a velocidade média e a velocidade escalar média, ambas medidas para um intervalo de tempo Δt . Entretanto, quando falamos em “rapidez”, em geral estamos pensando na rapidez com a qual um objeto está se movendo em um certo instante, ou seja, na **velocidade instantânea** (ou, simplesmente, **velocidade**) v .

A velocidade em um dado instante é obtida a partir da velocidade média reduzindo o intervalo de tempo Δt até tomá-lo próximo de zero. Quando Δt diminui, a velocidade média se aproxima cada vez mais de um valor limite, que é a velocidade instantânea:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}. \quad (2-4)$$

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 direção e um sentido.

Velocidade escalar instantânea, ou, simplesmente, **velocidade escalar**, é o módulo da velocidade, ou seja, a velocidade desprovida de qualquer indicação de direção. (*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 a direção e o sentido em que o carro está se movendo.

TESTE 2

As equações a seguir fornecem a posição $x(t)$ de uma partícula em quatro casos (em todas as equações, x está em metros, t 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 é no sentido negativo do eixo x ?

Exemplo

Velocidade e inclinação da curva de x em função de t : elevador

A Fig. 2-6a 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 $v(t)$.

IDEIA-CHAVE

Podemos determinar a velocidade em qualquer instante calculando a inclinação da curva de $x(t)$ nesse instante.

Cálculos A inclinação de $x(t)$, e também a velocidade, é zero nos intervalos de 0 a 1 s e de 9 s a 9 s em diante, já que o elevador está parado nesses intervalos. Durante o intervalo bc , a inclinação é constante e diferente de zero, o que significa que o elevador se move com velocidade constante.

A inclinação de $x(t)$ é dada por

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = v = \frac{24 \text{ m} - 4,0 \text{ m}}{8,0 \text{ s} - 3,0 \text{ s}} = +4,0 \text{ m/s.} \quad (2-5)$$

O sinal positivo indica que o elevador está se movendo no sentido positivo de x . Esses intervalos (nos quais $v = 0$ e $v = 4 \text{ m/s}$) estão plotados na Fig. 2-6b. Além disso, como o elevador começa a se mover a partir do repouso e depois reduz a velocidade até parar, v varia da forma in-

dicada nos intervalos de 1 s a 3 s e de 8 s a 9 s. Assim, a Fig. 2-6b é o gráfico pedido. (A Fig. 2-6c será discutida na Seção 2-6.)

Dado um gráfico de $v(t)$ como a Fig. 2-6b, poderíamos “retroagir” para determinar a forma do gráfico de $x(t)$ correspondente (Fig. 2-6a). Entretanto, não conhecemos os verdadeiros valores de x nos vários instantes de tempo, porque o gráfico de $v(t)$ contém informações apenas sobre as variações de x . Para determinar a variação de x em um intervalo dado, devemos, na linguagem do cálculo, calcular a área “sob a curva” no gráfico de $v(t)$ para esse intervalo. Assim, por exemplo, durante o intervalo de 3 s a 8 s, no qual o elevador tem uma velocidade de 4,0 m/s, a variação de x é

$$\Delta x = (4,0 \text{ m/s})(8,0 \text{ s} - 3,0 \text{ s}) = +20 \text{ m.} \quad (2-6)$$

(Essa área é positiva porque a curva $v(t)$ está acima do eixo t .) A Fig. 2-6a mostra que x realmente aumenta de 20 m nesse intervalo. Entretanto, a Fig. 2-6b nada nos diz sobre os valores de x no início e no final do intervalo. Para isso, necessitamos de uma informação adicional, como o valor de x em um dado instante.

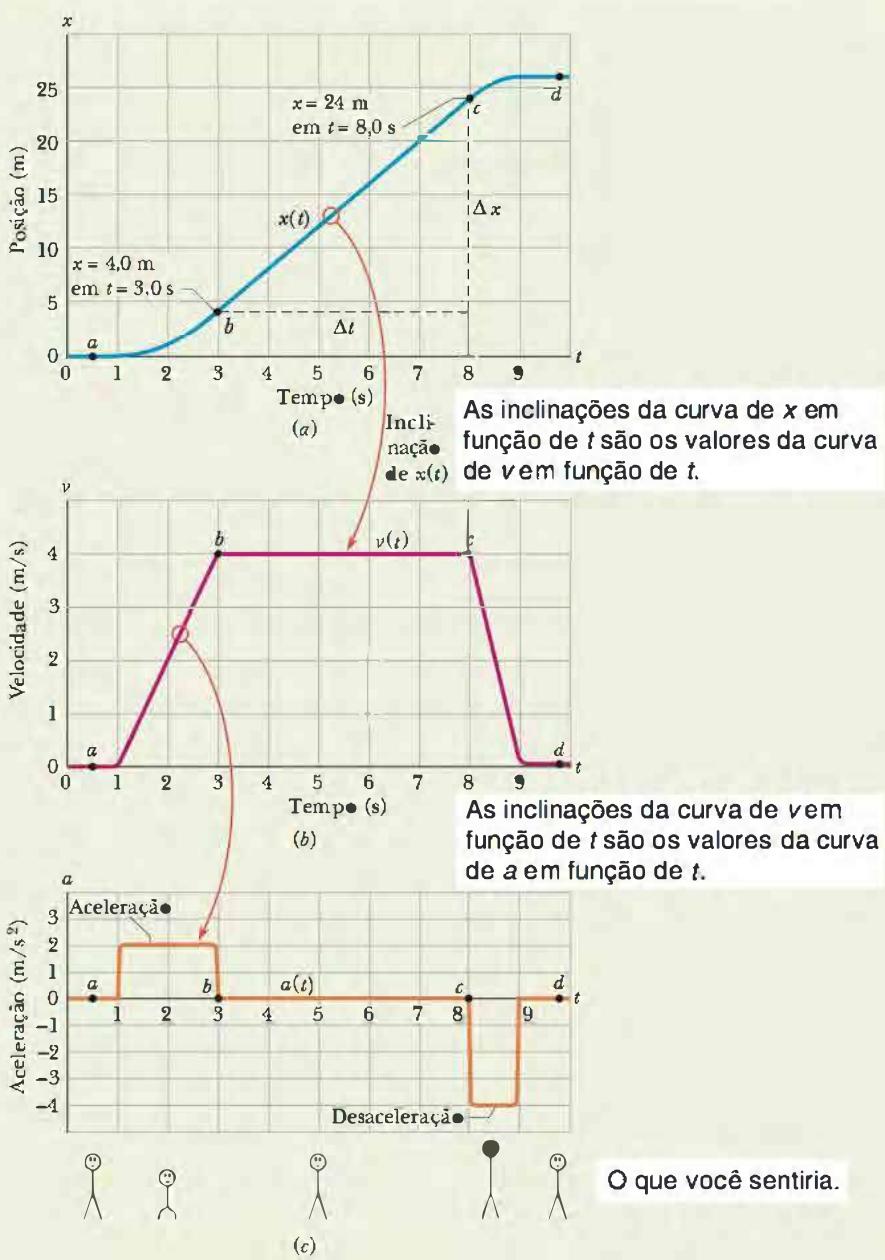


Figura 2-6 (a) A curva $x(t)$ de um elevador que se move para cima ao longo do eixo x . (b) A curva $v(t)$ do elevador. Observe que é a derivada da curva $x(t)$ ($v = dx/dt$). (c) A curva $a(t)$ do elevador, que é a derivada da curva $v(t)$ ($a = dv/dt$). As figuras na parte de baixo dão uma ideia de como um passageiro se sentiria durante as acelerações.

2-6 Aceleração

Quando a velocidade de uma partícula varia, diz-se que a partícula sofreu uma **aceleração** (ou foi acelerada). Para movimentos ao longo de um eixo, a **aceleração média** a_{med} em um intervalo de tempo Δt é

$$a_{\text{med}} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (2-7)$$

onde a partícula tem uma velocidade v_1 no instante t_1 e uma velocidade v_2 no instante t_2 . A **aceleração instantânea** (ou, simplesmente, **aceleração**) é dada por

$$a = \frac{dv}{dt}. \quad (2-8)$$

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



Figura 2-7 O coronel J. P. Stapp em um trenó a jato cuja velocidade aumenta bruscamente (aceleração para fora do papel) e, em seguida, diminui bruscamente (aceleração para dentro do papel). (Cortesia da Força Aérea dos Estados Unidos)

ponto é a inclinação da curva de $v(t)$ nesse ponto. Podemos combinar a Eq. 2-8 com a Eq. 2-4 e escrever

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (2-9)$$

Em palavras, a aceleração de uma partícula em um dado instante é a derivada segunda da posição $x(t)$ em relação ao tempo nesse instante.

A unidade de aceleração no SI é o metro por segundo ao quadrado, m/s². Outras unidades são usadas em alguns problemas, mas todas estão na forma de comprimento/tempo². Da mesma forma que o deslocamento e a velocidade, a aceleração possui um módulo, uma direção e um sentido (também é uma grandeza vetorial). O sinal algébrico representa o sentido em relação a um eixo, ou seja, uma aceleração com um valor positivo tem o sentido positivo de um eixo, enquanto uma aceleração com valor negativo tem o sentido negativo.

A Fig. 2-6 mostra os gráficos da posição, velocidade e aceleração do elevador do exemplo. 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.

Compare as inclinações da curva de $v(t)$ nos dois períodos de aceleração. A inclinação associada à redução de velocidade do elevador (ou seja, à “desaceleração”) é maior porque o elevador para na metade do tempo que levou para atingir uma velocidade constante. Uma inclinação maior significa que o módulo da desaceleração é maior que o da aceleração, como mostra a Fig. 2-6c.

As sensações que o leitor teria se estivesse no elevador da Fig. 2-6 estão indicadas pelos bonequinhos que aparecem na parte inferior da figura. Quando o elevador acelera, você se sente como se estivesse sendo empurrado para baixo; mais tarde, quando o elevador freia até parar, tem a impressão de que está sendo puxado para cima. Entre esses dois intervalos, não sente nada de especial. Em outras palavras, nosso corpo reage a acelerações (é um acelerômetro), mas não a velocidades (não é um velocímetro). Quando estamos viajando de carro a 90 km/h ou viajando de avião a 900 km/h, não temos nenhuma sensação de movimento. Entretanto, se o carro ou avião muda bruscamente de velocidade, percebemos imediatamente a mudança e podemos até ficar assustados. Boa parte da emoção que sentimos quando andamos de montanha-russa se deve às mudanças súbitas de velocidade às quais somos submetidos (pagamos pela aceleração, não pela velocidade). Um exemplo mais extremo aparece nas fotografias da Fig. 2-7, tiradas enquanto um trenó a jato era rapidamente acelerado sobre trilhos e depois freado bruscamente até parar.



Grandes acelerações são às vezes expressas em unidades g , definidas da seguinte forma:

$$1g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad (\text{unidade de } g). \quad (2-10)$$

(Como vamos discutir na Seção 2-9, g é o módulo da aceleração de um objeto em queda livre nas proximidades da superfície da Terra.) Uma montanha-russa submete os passageiros a uma aceleração de até $3g$, o equivalente a $(3)(9,8 \text{ m/s}^2)$ ou cerca de 29 m/s^2 , um valor mais do que suficiente para justificar o preço do passeio.

Na linguagem comum, o sinal de uma aceleração tem um significado não científico: aceleração positiva significa que a velocidade do objeto está aumentando e aceleração negativa significa que a velocidade está diminuindo (o objeto está desacelerando). Neste livro, porém, o sinal de uma aceleração indica um sentido e não se a velocidade do objeto está aumentando ou diminuindo. Assim, por exemplo, se um carro com uma velocidade inicial $v = -25 \text{ m/s}$ é freado até parar em $5,0 \text{ s}$, então $a_{\text{med}} = +5,0 \text{ m/s}^2$. A aceleração é *positiva*, mas a velocidade escalar do carro diminuiu. A razão está na diferença de sinais: o sentido da aceleração é contrário ao da velocidade.

A forma apropriada de interpretar os sinais é a seguinte:



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.



TESTE 3

Um marsupial se move ao longo do eixo x . Qual é o sinal da aceleração do animal se 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?

Exemplo

Aceleração e dv/dt

A posição de uma partícula no eixo x da Fig. 2-1 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.

IDEIAS-CHAVE

- (1) Para obter a função velocidade $v(t)$, derivamos a função posição $x(t)$ em relação ao tempo. (2) Para obter a função aceleração $a(t)$, derivamos a função velocidade $v(t)$ em relação ao tempo.

Cálculos Derivando a função posição, obtemos

$$v = -27 + 3t^2, \quad (\text{Resposta})$$

com v em metros por segundo. Derivando a função velocidade, obtemos

$$a = +6t, \quad (\text{Resposta})$$

com a em metros por segundo ao quadrado.

(b) Existe algum instante para o qual $v = 0$?

Cálculo Fazendo $v(t) = 0$, obtemos

$$0 = -27 + 3t^2,$$

e, portanto,

$$t = \pm\sqrt{9} \text{ s}. \quad (\text{Resposta})$$

Assim, a velocidade é nula tanto 3 s antes como 3 s após o instante $t = 0$.

(c) Descreva o movimento da partícula para $t \geq 0$.

Raciocínio Precisamos examinar as expressões de $x(t)$, $v(t)$ e $a(t)$.

Em $t = 0$, a partícula está em $x(0) = +4$ m e está se movendo com velocidade $v(0) = -27$ m/s, ou seja, no sentido negativo do eixo x . A aceleração é $a(0) = 0$ porque, nesse instante, a velocidade da partícula não está variando.

Para $0 < t < 3$ s, a partícula ainda possui velocidade negativa e, portanto, continua a se mover no sentido negativo. Entretanto, a aceleração não mais é igual a zero e sim crescente e positiva. Como os sinais da velocidade e da aceleração são opostos, o módulo da velocidade da partícula deve estar diminuindo.

De fato, já sabemos que a partícula para momentaneamente em $t = 3$ s. Nesse instante, a partícula se encontra na maior distância à esquerda da origem da Fig. 2-1. Fazendo $t = 3$ s na expressão de $x(t)$, descobrimos que a posição da partícula nesse instante é $x = -50$ m. A aceleração é ainda positiva.

Para $t > 3$ s, a partícula se move para a direita sobre o eixo. A aceleração permanece positiva e aumenta progressivamente em módulo. A velocidade é agora positiva e o módulo da velocidade também aumenta progressivamente.

2-7 Aceleração Constante: Um Caso Especial

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 assemelhariam aos da Fig. 2-8. [Note que $a(t)$ na Fig. 2-8c é constante, o que requer que $v(t)$ na Fig. 2-8b tenha uma inclinação constante.] Mais tarde, quando você freia o carro até parar, a aceleração (ou desaceleração, na linguagem comum) pode também ser aproximadamente constante.

Esses casos são tão frequentes que foi formulado um conjunto especial de equações para lidar com eles. Uma forma de obter essas equações é apresentada nesta seção; uma segunda forma será apresentada na seção seguinte. Nessas duas seções e mais tarde, quando você trabalhar na solução dos problemas, lembre-se de que *essas soluções são válidas apenas quando a aceleração é constante (ou em situações nas quais a aceleração pode ser considerada aproximadamente constante)*.

Quando a aceleração é constante, a aceleração média e a aceleração instantânea são iguais e podemos escrever a Eq. 2-7, com algumas mudanças de notação, na forma

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

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

$$v = v_0 + at. \quad (2-11)$$

Como verificação, note que esta equação se reduz a $v = v_0$ para $t = 0$, como era de se esperar. Como verificação adicional, vamos calcular a derivada da Eq. 2-11. O resultado é $dv/dt = a$, o que corresponde à definição de a . A Fig. 2-8b mostra o gráfico da Eq. 2-11, a função $v(t)$; a função é linear e, portanto, o gráfico é uma linha reta.

De maneira análoga, podemos escrever a Eq. 2-2 (com algumas mudanças de notação) na forma

$$v_{\text{méd}} = \frac{x - x_0}{t - 0}$$

o que nos dá

$$x = x_0 + v_{\text{méd}}t, \quad (2-12)$$

onde x_0 é a posição da partícula em $t = 0$ e $v_{\text{méd}}$ é a velocidade média entre $t = 0$ e um instante de tempo posterior t .

Para a função velocidade linear da Eq. 2-11, a velocidade *média* em qualquer intervalo de tempo (de $t = 0$ a um instante posterior t , digamos) é a média aritmética da velocidade no início do intervalo (v_0) com a velocidade no final do intervalo (v). Para o intervalo de $t = 0$ até um instante posterior t , portanto, a velocidade média é

$$v_{\text{méd}} = \frac{1}{2}(v_0 + v). \quad (2-13)$$

Substituindo v pelo seu valor, dado pela Eq. 2-11, obtemos, agrupando os termos,

$$v_{\text{méd}} = v_0 + \frac{1}{2}at. \quad (2-14)$$

Finalmente, substituindo a Eq. 2-14 na Eq. 2-12, obtemos:

$$x - x_0 = v_0t + \frac{1}{2}at^2. \quad (2-15)$$

Como verificação, note que esta equação se reduz a $x = x_0$ para $t = 0$, como era de se esperar. Como verificação adicional, vamos calcular a derivada da Eq. 2-15. O resultado é a Eq. 2-11, como era de se esperar. A Fig. 2-8a mostra o gráfico da Eq. 2-15; como a função é do segundo grau, o gráfico não é uma linha reta.

As Eqs. 2-11 e 2-15 são as *equações básicas do movimento com aceleração constante*; podem ser usadas para resolver qualquer problema deste livro que envolva uma aceleração constante. Entretanto, é possível deduzir outras equações que podem ser úteis em situações específicas. Observe que um problema com aceleração constante pode envolver até cinco grandezas: $x - x_0$, v , t , a e v_0 . Normalmente, uma dessas grandezas *não está envolvida no problema, nem como dado, nem como incógnita*. São fornecidas três das grandezas restantes e o problema consiste em determinar a quarta.

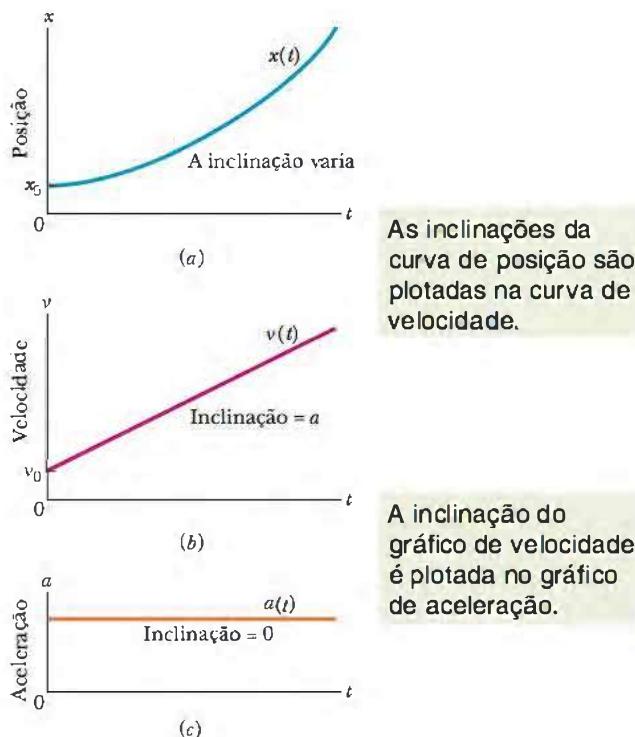


Figura 2-8 (a) A posição $x(t)$ de uma partícula que se move com aceleração constante. (b) A velocidade da partícula, $v(t)$, dada em cada ponto pela inclinação da curva de $x(t)$. (c) A aceleração (constante) da partícula, igual à inclinação (constante) da curva de $v(t)$.

Tabela 2-1**Equações do Movimento com Aceleração Constante***

Número da Equação	Equação	Grandeza que falta
2-11	$v = v_0 + at$	$x - x_0$
2-15	$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	v
2-16	$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	t
2-17	$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$	a
2-18	$x - x_0 = vt - \frac{1}{2} a t^2$	v_0

*Certifique-se de que a aceleração é constante antes de usar as equações desta tabela.

As Eqs. 2-11 e 2-15 contêm, cada uma, quatro dessas grandezas, mas não as mesmas quatro. Na Eq. 2-11, a grandeza ausente é o deslocamento $x - x_0$; na Eq. 2-15, é a velocidade v . As duas equações também podem ser combinadas de três maneiras diferentes para produzir três novas equações, cada uma das quais envolvendo quatro grandezas diferentes. Em primeiro lugar, podemos eliminar t para obter

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0). \quad (2-16)$$

Esta equação é útil se não conhecemos t e não precisamos determinar o seu valor. Em segundo lugar, podemos eliminar a aceleração a , combinando as Eqs. 2-11 e 2-15 para obter uma equação em que a não aparece:

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t. \quad (2-17)$$

Finalmente, podemos eliminar v_0 , obtendo

$$x - x_0 = vt - \frac{1}{2} a t^2. \quad (2-18)$$

Note a diferença sutil entre esta equação e a Eq. 2-15. Uma envolve a velocidade inicial v_0 ; a outra envolve a velocidade v no instante t .

A Tabela 2-1 mostra as equações básicas do movimento com aceleração constante (Eqs. 2-11 e 2-15), assim como as equações especiais que deduzimos. Para resolver um problema simples envolvendo aceleração constante, em geral é possível usar uma equação da lista (se você puder consultar a lista). Escolha uma equação para a qual a única variável desconhecida é a variável pedida no problema. Um plano mais simples é memorizar apenas as Eqs. 2-11 e 2-15 e montar com elas um sistema de equações, caso isso seja necessário.

TESTE 4

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) $x = 2t^2 - 4/t$; (4) $x = 5t^2 - 3$. Em que caso(s) as equações da Tabela 2-1 podem ser aplicadas?

Exemplo

Aceleração constante: gráfico de v em função de x

A Fig. 2-9 mostra a velocidade v de uma partícula em função da posição enquanto a partícula se move ao longo do eixo x com aceleração constante. Qual é a velocidade da partícula no ponto $x = 0$?

IDEIA-CHAVE

Podemos usar as equações de aceleração constante; em particular, podemos usar a Eq. 2-16 [$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$] que relaciona a velocidade à posição.

Primeira tentativa Normalmente, estamos interessados em usar uma equação que contenha a variável pedida. Na Eq. 2-16, podemos dizer que $x_0 = 0$ e que v_0 é a variável pedida. Para determinar o valor de v_0 , precisamos conhecer os valores de v e x no mesmo ponto. O gráfico permite determinar dois pares de valores para v e x : (1) $v = 8 \text{ m/s}$ e $x = 20 \text{ m}$; (2) $v = 0$ e $x = 70 \text{ m}$. Usando o primeiro par, podemos escrever:

$$(8 \text{ m/s})^2 = v_0^2 + 2a(20 \text{ m} - 0). \quad (2-19)$$

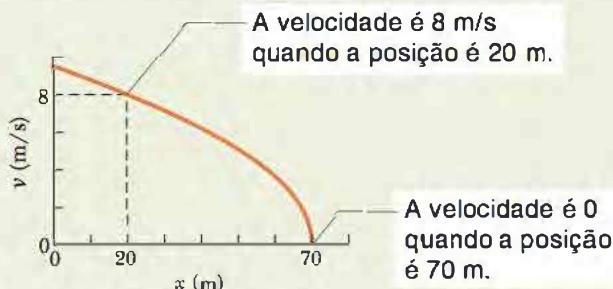


Figura 2-9 Velocidade de uma partícula em função da posição.

Entretanto, não podemos usar a Eq. 2-19 para calcular o valor de v_0 , já que não conhecemos o valor de a .

Segunda tentativa Em vez de tentarmos determinar diretamente a variável pedida, vamos aplicar a Eq. 2-16 aos dois pontos conhecidos, chamando de $v_0 = 8 \text{ m/s}$ e $x_0 =$

20 m o primeiro par de valores e de $v = 0 \text{ m/s}$ e $x = 70 \text{ m}$ o segundo par. Nesse caso, podemos escrever:

$$(0 \text{ m/s})^2 = (8 \text{ m/s})^2 + 2a(70 \text{ m} - 20 \text{ m}),$$

o que nos dá $a = -0,64 \text{ m/s}^2$. Substituindo este valor na Eq. 2-19 e explicitando v_0 (a velocidade associada à posição $x = 0$), obtemos

$$v_0 = 9,5 \text{ m/s} \quad (\text{Resposta})$$

Comentário Alguns problemas envolvem uma equação que inclui a variável pedida. Os problemas mais difíceis são

aqueles que exigem o uso de uma equação que *não* inclui a variável pedida, mas fornece um valor necessário para determiná-la. Às vezes, esse tipo de abordagem exige *coragem*, pois se trata de uma solução indireta. Entretanto, se o leitor aprimorar sua técnica resolvendo muitos tipos de problemas, esse tipo de abordagem exigirá uma dose cada vez menor de coragem e poderá até mesmo tornar-se óbvio. A solução de qualquer problema, seja físico ou social, requer uma certa dose de prática.

2-8 Mais sobre Aceleração Constante*

As duas primeiras equações da Tabela 2-1 são as equações básicas a partir das quais as outras podem ser deduzidas. Essas duas equações podem ser obtidas por integração da aceleração com a condição de que a seja uma constante. Para obter a Eq. 2-11, escrevemos a definição de aceleração (Eq. 2-8) na forma

$$dv = a dt.$$

Em seguida, escrevemos a *integral indefinida* (ou *antiderivada*) nos dois lados da equação:

$$\int dv = \int a dt.$$

Como a aceleração a é constante, pode ser colocada do lado de fora do sinal de integração. Nesse caso, temos:

$$\int dv = a \int dt$$

ou

$$v = at + C. \quad (2-20)$$

Para determinar a constante de integração C , fazemos $t = 0$, instante no qual $v = v_0$. Substituindo esses valores na Eq. 2-20 (que é válida para qualquer valor de t , incluindo $t = 0$), obtemos

$$v_0 = (a)(0) + C = C.$$

Substituindo este valor na Eq. 2-20, obtemos a Eq. 2-11.

Para demonstrar a Eq. 2-15, escrevemos a definição de velocidade (Eq. 2-4) na forma

$$dx = v dt$$

e integramos ambos os membros desta equação para obter

$$\int dx = \int v dt.$$

Substituindo v pelo seu valor, dado pela Eq. 2-11, temos:

$$\int dx = \int (v_0 + at) dt.$$

* Esta seção se destina a alunos que conhecem cálculo integral.

Como v_0 e a são constantes, podemos escrever

$$\int dx = v_0 \int dt + a \int t dt.$$

Integrando, obtemos

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 + C, \quad (2-21)$$

onde C' é outra constante de integração. No instante $t = 0$, temos $x = x_0$. Substituindo esses valores na Eq. 2-21, obtemos $x_0 = C'$. Substituindo C' por x_0 na Eq. 2-21, obtemos a Eq. 2-15.

2-9 Aceleração em Queda Livre

Se o leitor arremessasse um objeto para cima ou para baixo e pudesse de alguma forma eliminar o efeito do ar sobre o movimento, observaria que o objeto sofre uma aceleração constante para baixo, conhecida como **aceleração em queda livre**, cujo módulo é representado pela letra g . O valor dessa aceleração não depende das características do objeto, como massa, densidade e forma; é a mesma para todos os objetos.

A Fig. 2-10 mostra dois exemplos de aceleração em queda livre através de uma série de fotos estroboscópicas de uma pena e de uma maçã. Enquanto esses objetos caem, sofrem uma aceleração para baixo, que nos dois casos é igual a g . Assim, suas velocidades aumentam com a mesma taxa e eles caem juntos.

O valor de g varia ligeiramente com a latitude e com a altitude. Ao nível do mar e em latitudes médias, o valor é $9,8 \text{ m/s}^2$, que é o valor que o leitor deve usar como número exato nos problemas deste livro, a menos que seja dito o contrário.

As equações de movimento da Tabela 2-1 para aceleração constante também se aplicam à queda livre nas proximidades da superfície da Terra, ou seja, se aplicam a um objeto que esteja descrevendo uma trajetória vertical, para cima ou para baixo, contanto que os efeitos do ar possam ser desprezados. Observe, porém, que, no caso da queda livre, (1) a direção do movimento é ao longo de um eixo y vertical e não ao longo de um eixo x horizontal, com o sentido positivo de y apontando para cima (isto será importante em capítulos subsequentes, em que examinaremos movimentos simultâneos nas direções horizontal e vertical); (2) a aceleração em queda livre é negativa, ou seja, para baixo, em direção ao centro da Terra, e, portanto, tem o valor g nas equações.

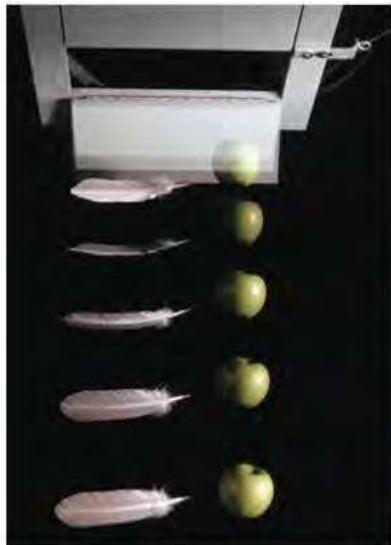


Figura 2-10 Uma pena e uma maçã em queda livre no vácuo sofrem a mesma aceleração g , que aumenta a distância entre imagens sucessivas. Na ausência de ar, a pena e a maçã caem juntas. (Jim Sugar/Corbis Images)

A aceleração em queda livre nas proximidades da superfície da Terra é $a = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$ e o módulo da aceleração é $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Não substitua g por $-9,8 \text{ m/s}^2$ (e sim por $9,8 \text{ m/s}^2$).

Suponha que você arremesse um tomate verticalmente para cima com uma velocidade inicial (positiva) v_0 e o apanhe quando volta ao nível inicial. Durante a *trajetória em queda livre* (do instante imediatamente após o lançamento ao instante imediatamente antes de ser apanhado), as equações da Tabela 2-1 se aplicam ao movimento do tomate. A aceleração é sempre $a = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$, negativa e, portanto, dirigida para baixo. A velocidade, entretanto, varia, como mostram as Eqs. 2-11 e 2-16: na subida, a velocidade é positiva e o módulo diminui até se tornar momentaneamente igual a zero. Nesse instante, o tomate atinge a altura máxima. Na descida, o módulo da velocidade (agora negativa) cresce.

TESTE 5

- 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?
- Qual é o sinal do deslocamento durante a descida, desde o ponto mais alto da trajetória até o ponto inicial?
- Qual é a aceleração da bola no ponto mais alto da trajetória?

Exemplo

Tempo de percurso de uma bola de beisebol lançada verticalmente

Na Fig. 2-11, 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 atingir a altura máxima?

IDEIAS-CHAVE

(1) Entre o instante em que a bola é lançada e o instante em que volta ao ponto de partida, sua aceleração é a aceleração em queda livre, $a = -g$. Como a aceleração é constante, podemos usar as equações da Tabela 2-1. (2) A velocidade v no instante em que a bola atinge a altura máxima é 0.



Figura 2-11 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.

Cálculo Como conhecemos v , a e a velocidade inicial $v_0 = 12 \text{ m/s}$ e estamos interessados em determinar o valor de t , escolhemos a Eq. 2-11, que contém essas quatro variáveis. Explicitando t , obtemos:

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{0 - 12 \text{ m/s}}{-9,8 \text{ m/s}^2} = 1,2 \text{ s.} \quad (\text{Resposta})$$

- (b) Qual é a altura máxima alcançada pela bola em relação ao ponto de lançamento?

Cálculo Podemos tomar o ponto de lançamento da bola como $y_0 = 0$. Nesse caso, podemos escrever a Eq. 2-16 com y no lugar de x , fazer $y - y_0 = y$ e $v = 0$ (na altura máxima) e explicitar y . O resultado é

$$y = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{0 - (12 \text{ m/s})^2}{2(-9,8 \text{ m/s}^2)} = 7,3 \text{ m.} \quad (\text{Resposta})$$

- (c) Quanto tempo a bola leva para atingir um ponto 5,0 m acima do ponto inicial?

Cálculos Como conhecemos v_0 , $a = -g$ e o deslocamento $y - y_0 = 5,0 \text{ m}$ e queremos determinar t , escolhemos a Eq. 2-15. Substituindo x por y e fazendo $y_0 = 0$, obtemos

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2,$$

$$\text{ou} \quad 5,0 \text{ m} = (12 \text{ m/s})t - \left(\frac{1}{2}\right)(9,8 \text{ m/s}^2)t^2.$$

Omitindo temporariamente as unidades (depois de observar que são coerentes), podemos escrever esta equação na forma

$$4,9t^2 - 12t + 5,0 = 0.$$

Resolvendo esta equação do segundo grau, obtemos

$$t = 0,53 \text{ s} \quad \text{e} \quad t = 1,9 \text{ s.} \quad (\text{Resposta})$$

Existem dois tempos possíveis! Isso na verdade não chega a ser uma surpresa, pois a bola passa duas vezes pelo ponto $y = 5,0 \text{ m}$, uma vez na subida e outra na descida.

2-10 Integração de Gráficos em Análise de Movimento

Quando temos o gráfico da aceleração de um objeto em função do tempo, podemos integrar o gráfico para obter a velocidade do objeto em qualquer instante dado. Como a aceleração a é definida em termos da velocidade como $a = dv/dt$, o Teorema Fundamental do Cálculo nos diz que

$$v_1 - v_0 = \int_{t_0}^{t_1} a dt. \quad (2-22)$$

O lado direito desta equação é uma integral definida (fornecendo um resultado numérico em vez de uma função), v_0 é a velocidade no instante t_0 e v_1 é a velocidade em

Exemplo

Tempo de percurso de uma bola de beisebol lançada verticalmente

Na Fig. 2-11, 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 atingir a altura máxima?

IDEIAS-CHAVE

(1) Entre o instante em que a bola é lançada e o instante em que volta ao ponto de partida, sua aceleração é a aceleração em queda livre, $a = -g$. Como a aceleração é constante, podemos usar as equações da Tabela 2-1. (2) A velocidade v no instante em que a bola atinge a altura máxima é 0.

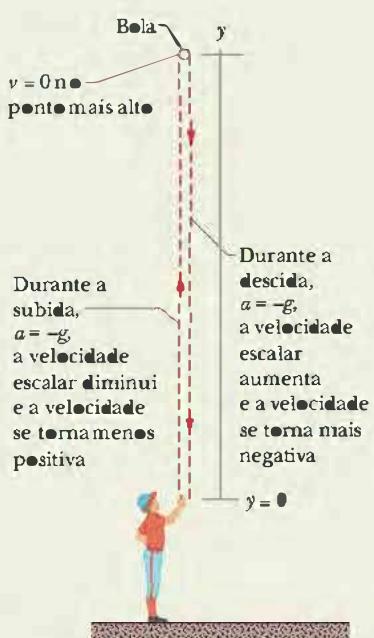


Figura 2-11 Um lançador arremessa uma bola de beisebol para cima. As equações de queda livre se aplicam tanto a objetos que estão subindo como a objetos que estão caindo, desde que a influência do ar possa ser desprezada.

Cálculo Como conhecemos v , a e a velocidade inicial $v_0 = 12 \text{ m/s}$ e estamos interessados em determinar o valor de t , escolhemos a Eq. 2-11, que contém essas quatro variáveis. Explicitando t , obtemos:

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{0 - 12 \text{ m/s}}{-9,8 \text{ m/s}^2} = 1,2 \text{ s.} \quad (\text{Resposta})$$

- (b) Qual é a altura máxima alcançada pela bola em relação ao ponto de lançamento?

Cálculo Podemos tomar o ponto de lançamento da bola como $y_0 = 0$. Nesse caso, podemos escrever a Eq. 2-16 com y no lugar de x , fazer $y - y_0 = y$ e $v = 0$ (na altura máxima) e explicitar y . O resultado é

$$y = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{0 - (12 \text{ m/s})^2}{2(-9,8 \text{ m/s}^2)} = 7,3 \text{ m.} \quad (\text{Resposta})$$

- (c) Quanto tempo a bola leva para atingir um ponto 5,0 m acima do ponto inicial?

Cálculos Como conhecemos v_0 , $a = -g$ e o deslocamento $y - y_0 = 5,0 \text{ m}$ e queremos determinar t , escolhemos a Eq. 2-15. Substituindo x por y e fazendo $y_0 = 0$, obtemos

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2,$$

$$\text{ou} \quad 5,0 \text{ m} = (12 \text{ m/s})t - \left(\frac{1}{2}\right)(9,8 \text{ m/s}^2)t^2.$$

Omitindo temporariamente as unidades (depois de observar que são coerentes), podemos escrever esta equação na forma

$$4,9t^2 - 12t + 5,0 = 0.$$

Resolvendo esta equação do segundo grau, obtemos

$$t = 0,53 \text{ s} \quad \text{e} \quad t = 1,9 \text{ s.} \quad (\text{Resposta})$$

Existem dois tempos possíveis! Isso na verdade não chega a ser uma surpresa, pois a bola passa duas vezes pelo ponto $y = 5,0 \text{ m}$, uma vez na subida e outra na descida.

2-10 Integração de Gráficos em Análise de Movimento

Quando temos o gráfico da aceleração de um objeto em função do tempo, podemos integrar o gráfico para obter a velocidade do objeto em qualquer instante dado. Como a aceleração a é definida em termos da velocidade como $a = dv/dt$, o Teorema Fundamental do Cálculo nos diz que

$$v_1 - v_0 = \int_{t_0}^{t_1} a dt. \quad (2-22)$$

O lado direito desta equação é uma integral definida (fornecendo um resultado numérico em vez de uma função), v_0 é a velocidade no instante t_0 e v_1 é a velocidade em

um instante posterior t_1 . A integral definida pode ser calculada a partir do gráfico de $a(t)$, como na Fig. 2-12a. Em particular,

$$\int_{t_0}^{t_1} a \, dt = \left(\begin{array}{l} \text{área entre a curva de aceleração} \\ \text{e o eixo dos tempos, de } t_0 \text{ a } t_1 \end{array} \right). \quad (2-23)$$

Se a unidade de aceleração é 1 m/s² e a unidade de tempo é 1 s, a unidade de área no gráfico é

$$(1 \text{ m/s}^2)(1 \text{ s}) = 1 \text{ m/s},$$

que é (como devia ser) uma unidade de velocidade. Quando a curva da aceleração está acima do eixo do tempo, a área é positiva; quando a curva está abaixo do eixo do tempo, a área é negativa.

Da mesma forma, como a velocidade v é definida em termos da posição x como $v = dx/dt$,

$$x_1 - x_0 = \int_{t_0}^{t_1} v \, dt, \quad (2-24)$$

onde x_0 é a posição no instante t_0 e x_1 é a posição no instante t_1 . A integral definida no lado direito da Eq. 2-24 pode ser calculada a partir do gráfico de $v(t)$, como mostra a Fig. 2-12b. Em particular,

$$\int_{t_0}^{t_1} v \, dt = \left(\begin{array}{l} \text{área entre a curva de velocidade} \\ \text{e o eixo dos tempos, de } t_0 \text{ a } t_1 \end{array} \right). \quad (2-25)$$

Se a unidade de velocidade é 1 m/s e a unidade de tempo é 1 s, a unidade de área no gráfico é

$$(1 \text{ m/s})(1 \text{ s}) = 1 \text{ m},$$

que é (como devia ser) uma unidade de posição e deslocamento. A questão de essa área ser positiva ou negativa é determinada da mesma forma que para a curva $a(t)$ da Fig. 2-12a.

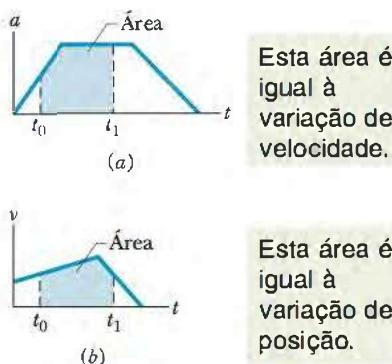


Figura 2-12 Área entre uma curva e o eixo dos tempos, do instante t_0 ao instante t_1 , indicada (a) em um gráfico da aceleração a em função do tempo t e (b) em um gráfico da velocidade v em função do tempo t .

Exemplo

Integração do gráfico a em função de t : lesões no pescoço

Lesões no 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 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 Fig. 2-13a 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 retardamento de 40 ms, tempo que o encosto do assento levou para ser comprimido contra o voluntário. A aceleração da

cabeça sofreu um retardamento de mais 70 ms. Qual era a velocidade do tronco quando a cabeça começou a acelerar?

IDEIA-CHAVE

Podemos determinar a velocidade escalar do tronco em qualquer instante calculando a área sob a curva da aceleração do tronco, $a(t)$.

Cálculos Sabemos que a velocidade inicial do tronco é $v_0 = 0$ no instante $t_0 = 0$, ou seja, no início da “colisão”. Queremos obter a velocidade do tronco v_1 no instante $t_1 = 110$ ms, ou seja, quando a cabeça começa a acelerar.

Combinando as Eqs. 2-22 e 2-23, podemos escrever:

$$v_1 - v_0 = \left(\begin{array}{l} \text{área entre a curva de aceleração} \\ \text{e o eixo dos tempos, de } t_0 \text{ a } t_1 \end{array} \right). \quad (2-26)$$

Por conveniência, vamos separar a área em três regiões

(Fig. 2-13b). De 0 a 40 ms, a região A tem área nula:

$$\text{área}_A = 0.$$

De 40 ms a 100 ms, a região B tem a forma de um triângulo cuja área é

$$\text{área}_B = \frac{1}{2}(0,060 \text{ s})(50 \text{ m/s}^2) = 1,5 \text{ m/s}.$$

De 100 ms a 110 ms, a região C tem a forma de um retângulo cuja área é

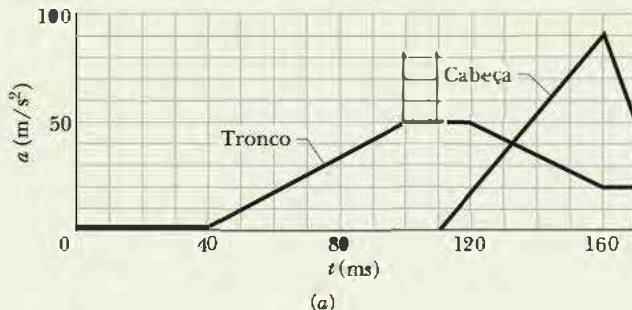
$$\text{área}_C = (0,010 \text{ s})(50 \text{ m/s}^2) = 0,50 \text{ m/s}.$$

Substituindo esses valores e fazendo $v_0 = 0$ na Eq. 2-26, obtemos:

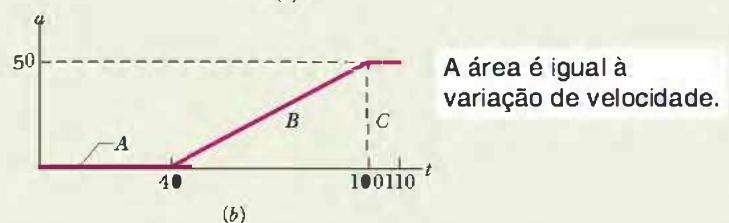
$$v_1 - 0 = 0 + 1,5 \text{ m/s} + 0,50 \text{ m/s},$$

$$\text{ou} \quad v_1 = 2,0 \text{ m/s} = 7,2 \text{ km/h.} \quad (\text{Resposta})$$

Comentários Quando a cabeça está começando a se mover para a frente, o tronco já tem uma velocidade de 7,2 km/h. Os pesquisadores afirmam que é esta diferença de velocidades nos primeiros instantes de uma colisão traseira que causa lesões do pescoço. O movimento brusco da cabeça para trás acontece depois e pode agravar a lesão, especialmente se não existir um encosto para a cabeça.



(a)



(b)

Figura 2-13 (a) Curva de $a(t)$ para o tronco e a cabeça de um voluntário em uma simulação de uma colisão traseira. (b) Separação em três partes da região entre a curva e o eixo dos tempos para calcular a área.

REVISÃO E RESUMO

Posição A posição x de uma partícula em um eixo x mostra a que distância a partícula se encontra da origem, ou ponto zero, do eixo. A posição pode ser positiva ou negativa, dependendo do lado em que se encontra a partícula em relação à origem (ou zero, se a partícula estiver exatamente na origem). O sentido positivo de um eixo é o sentido em que os números que indicam a posição da partícula aumentam de valor; o sentido oposto é o sentido negativo.

Deslocamento O deslocamento Δx de uma partícula é a variação da posição da partícula:

$$\Delta x = x_2 - x_1, \quad (2-1)$$

O deslocamento é uma grandeza vetorial. É positivo se a partícula se desloca no sentido positivo do eixo x e negativo se a partícula se desloca no sentido oposto.

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

$$v_{\text{méd}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}. \quad (2-2)$$

O sinal algébrico de $v_{\text{méd}}$ indica o sentido do movimento ($v_{\text{méd}}$ é uma grandeza vetorial). A velocidade média não depende da distância que uma partícula percorre, mas apenas das posições inicial e final.

Em um gráfico de x em função de t , a velocidade média em um intervalo de tempo Δt é igual à inclinação da linhareta que une os pontos da curva que representam as duas extremidades do intervalo.

Velocidade Escalar Média A velocidade escalar média $s_{\text{méd}}$ de uma partícula durante um intervalo de tempo Δt depende da distância total percorrida pela partícula nesse intervalo:

$$s_{\text{méd}} = \frac{\text{distância total}}{\Delta t}. \quad (2-3)$$

Velocidade Instantânea A velocidade instantânea (ou simplesmente velocidade) v de uma partícula é dada por

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}, \quad (2-4)$$

onde Δx e Δt são definidos pela Eq. 2-2. A velocidade instantânea (em um certo instante de tempo) é igual à inclinação (nesse mesmo instante) do gráfico de x em função de t . A **velocidade escalar** é o módulo da velocidade instantânea.

Aceleração Média A *aceleração média* é a razão entre a variação de velocidade Δv e o intervalo de tempo Δt no qual essa variação ocorre:

$$a_{\text{méd}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \quad (2-7)$$

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

Aceleração Instantânea A *aceleração instantânea* (ou simplesmente *aceleração*) a é igual à derivada primeira em relação ao tempo da velocidade $v(t)$ ou à derivada segunda da posição $x(t)$ em relação ao tempo:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (2-8, 2-9)$$

Em um gráfico de v em função de t , a aceleração a em qualquer instante t é igual à inclinação da curva no ponto que representa t .

Aceleração Constante As cinco equações da Tabela 2-1 descrevem o movimento de uma partícula com aceleração constante:

$$v = v_0 + at, \quad (2-11)$$

$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2, \quad (2-15)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0). \quad (2-16)$$

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t, \quad (2-17)$$

$$x - x_0 = vt - \frac{1}{2}at^2. \quad (2-18)$$

Essas equações não são válidas quando a aceleração não é constante.

Aceleração em Queda Livre Um exemplo importante de movimento retílineo com aceleração constante é o de um objeto subindo ou caindo livremente nas proximidades da superfície da Terra. As equações para aceleração constante podem ser usadas para descrever o movimento, mas é preciso fazer duas mudanças na notação: (1) o movimento deve ser descrito em relação a um eixo vertical y , com $+y$ orientado verticalmente para cima; (2) a aceleração a deve ser substituída por $-g$, onde g é o módulo da aceleração em queda livre. Perto da superfície da Terra, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

P E R G U N T A S

- 1 A Fig. 2-14 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?

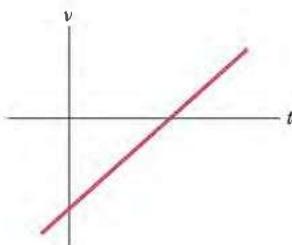


Figura 2-14 Pergunta 1.

- 2 A Fig. 2-15 mostra a aceleração $a(t)$ de um chihuahua que persegue um pastor alemão sobre um eixo. Em qual dos períodos de tempo indicados o chihuahua se move com velocidade constante?

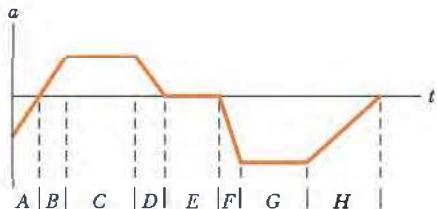


Figura 2-15 Pergunta 2.

- 3 A Fig. 2-16 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. Co-

loque as trajetórias (a) na ordem da velocidade média dos objetos e (b) na ordem da velocidade escalar média dos objetos, começando pela maior.

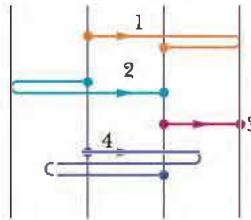


Figura 2-16 Pergunta 3.

- 4 A Fig. 2-17 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 $t = 1 \text{ s}$, (c) em $t = 2 \text{ s}$ e (d) em $t = 3 \text{ s}$? (e) Quantas vezes a partícula passa pelo ponto $x = 0$?

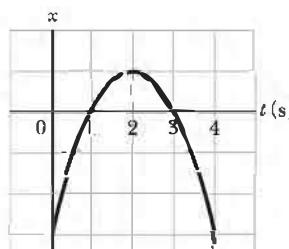


Figura 2-17 Pergunta 4.

- 5 A Fig. 2-18 mostra a velocidade de uma partícula que se move em 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.

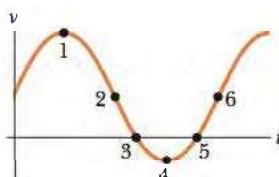


Figura 2-18 Pergunta 5.

6 No instante $t = 0$, uma partícula que se move em um eixo x está na posição $x_0 = -20\text{ m}$. Os sinais da velocidade inicial v_0 (no instante t_0) e da aceleração constante a da partícula são, respectivamente, para quatro situações: (1) +, +; (2) +, −; (3) −, +; (4) −, −. Em que situações a partícula (a) para momentaneamente, (b) passa pela origem e (c) não passa pela origem?

7 Debruçado no parapeito de uma ponte, você deixa cair um ovo (com velocidade inicial nula) e atira um segundo ovo para baixo. Qual das curvas da Fig. 2-19 corresponde à velocidade $v(t)$ (a) do ovo que caiu e (b) do ovo que foi atirado? (As curvas A e B são paralelas, assim como as curvas C, D, E, F e G.)

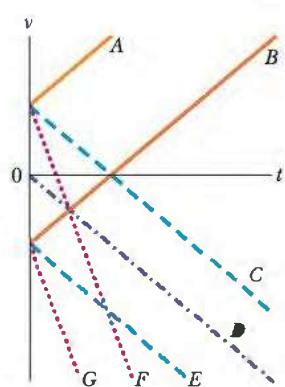


Figura 2-19 Pergunta 7.

8 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 da Tabela 2-1 podem ser aplicadas?

9 Na Fig. 2-20, 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 de aceleração da tangerina ao passar por elas e (d) da variação Δv da velocidade escalar da tangerina ao passar por elas.

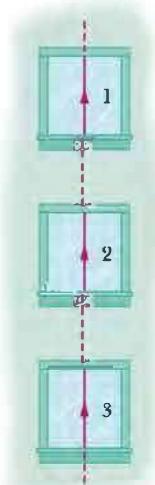


Figura 2-20 Pergunta 9.

PROBLEMAS

• • • O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física* de Jearl Walker, LTC, Rio de Janeiro, 2008.

Seção 2-4 Velocidade Média e Velocidade Escalar Média

•1 Durante um espirro, os olhos podem se fechar por até 0,50 s. Se você está dirigindo um carro a 90 km/h e espirra, de quanto o carro pode se deslocar até você abrir novamente os olhos?

•2 Calcule a velocidade média nos dois casos seguintes: (a) você caminha 73,2 m a uma velocidade de 1,22 m/s e depois corre 73,2 m a m/s em uma pista reta; (b) você caminha 1,00 min com uma velocidade de 1,22 m/s e depois corre por 1,00 min a 3,05 m/s em uma pista reta. (c) Faça o gráfico de x em função de t nos dois casos e indique de que forma a velocidade média pode ser determinada a partir do gráfico.

•3 Um automóvel viaja em uma estrada retilínea por 40 km a 30 km/h. Em seguida, continuando no mesmo sentido, percorre outros 40 km a 60 km/h. (a) Qual é a velocidade média do carro durante este percurso de 80 km? (Suponha que o carro está se movendo no sentido positivo de x .) (b) Qual é a velocidade escalar média? (c) Desenhe o gráfico de x em função de t e mostre como calcular a velocidade média a partir do gráfico.

•4 Um carro sobe uma ladeira com uma velocidade constante de 40 km/h e desce a ladeira com uma velocidade constante de 60 km/h. Calcule a velocidade escalar média da viagem de ida e volta.

•5 A posição de um objeto que se move ao longo de um eixo x é dada por $x = 3t - 4t^2 + t^3$, onde x está em metros e t em segundos. Determine a posição do objeto para os seguintes valores de t : (a) 1 s, (b) 2 s, (c) 3 s, (d) 4 s. (e) Qual é o deslocamento do objeto entre $t = 0$ e $t = 4$ s? (f) Qual é a velocidade média para o intervalo de tempo de $t = 2$ s a $t = 4$ s? (g) Desenhe o gráfico de x em função de t para $0 \leq t \leq 4$ s e indique como a resposta do item (f) pode ser determinada a partir do gráfico.

•6 Em 1992, um recorde mundial de velocidade em uma bicicleta foi estabelecido por Chris Huber. O tempo para percorrer um trecho de 200 m foi apenas 6,509 s, ao final do qual Chris comentou: "Cogito ergo zoom!" (Penso, logo corro!). Em 2001, Sam Whittingham quebrou o recorde de Huber por 19 km/h. Qual foi o tempo gasto por Whittingham para percorrer os 200 m?

•7 Dois trens, ambos se movendo com uma velocidade de 30 km/h, trafegam em sentidos opostos na mesma linha férrea retilínea. Um pássaro parte da extremidade dianteira de um dos trens, quando estão separados por 60 km, voando a 60 km/h, e se dirige em linha reta para o outro trem. Ao chegar ao outro trem, o pássaro faz meia volta e se dirige para o primeiro trem, e assim por diante. (Não temos a menor ideia do motivo pelo qual o pássaro se comporta desta forma.) Qual é a distância que o pássaro percorre até os trens colidirem?

- 8** *Situação de pânico* A Fig. 2-21 mostra uma situação na qual muitas pessoas tentam escapar por uma porta de emergência que está trancada. As pessoas se aproximam da porta com uma velocidade $v_s = 3,50 \text{ m/s}$, têm $d = 0,25 \text{ m}$ de espessura e estão separadas por uma distância $L = 1,75 \text{ m}$. A Fig. 2-21 mostra a posição das pessoas no instante $t = 0$. (a) Qual é a taxa média de aumento da camada de pessoas que se comprimem contra a porta? (b) Em que instante a espessura da camada chega a $5,0 \text{ m}$? (As respostas mostram com que rapidez uma situação deste tipo pode colocar em risco a vida das pessoas.)

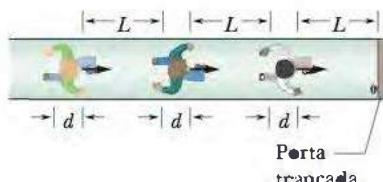


Figura 2-21 Problema 8.

- 9** Em uma corrida de 1 km, o corredor 1 da raia 1 (com o tempo de 2 min, 27,95 s) parece ser mais rápido que o corredor 2 da raia 2 (2 min, 28,15 s). Entretanto, o comprimento L_2 da raia 2 pode ser ligeiramente maior que o comprimento L_1 da raia 1. Qual é o maior valor da diferença $L_2 - L_1$ para o qual a conclusão de que o corredor 1 é mais rápido é verdadeira?

- 10** Para estabelecer um recorde de velocidade em uma distância d (em linha reta), um carro deve percorrer a distância primeiro em um sentido (em um tempo t_1) e depois no sentido oposto (em um tempo t_2). (a) Para eliminar o efeito do vento e obter a velocidade do carro v_c na ausência de vento, devemos calcular a média aritmética de dt_1 e dt_2 (método 1) ou devemos dividir d pela média aritmética de t_1 e t_2 ? (b) Qual é a diferença percentual dos dois métodos se existe um vento constante na pista e a razão entre a velocidade v_v do vento e a velocidade v_c do carro é 0,0240?

- 11** Você tem que dirigir em uma via expressa para se candidatar a um emprego em outra cidade, que fica a 300 km de distância. A entrevista foi marcada para as 1 h 15 min. Você planeja dirigir a 100 km/h e parte às 8 h para ter algum tempo de sobra. Você dirige na velocidade planejada durante os primeiros 100 km , mas, em seguida, um trecho em obras o obriga a reduzir a velocidade para 40 km/h por 40 km . Qual é a menor velocidade que deve manter no resto da viagem para chegar a tempo?

- 12** *Onda de choque no trânsito.* Quando o trânsito é intenso, uma redução brusca de velocidade pode se propagar como um pulso, denominado *onda de choque*, ao longo da fila de carros. A onda de choque pode ter o sentido do movimento dos carros, o sentido oposto ou permanecer estacionária. A Fig. 2-22 mostra uma fila de carros regularmente espaçados que estão se movendo a uma velocidade $v = 25,00 \text{ m/s}$ em direção a uma fila de carros mais lentos, uniformemente espaçados, que estão se movendo a uma velocidade $v_s = 5,00 \text{ m/s}$. Suponha que cada carro mais rápido acrescenta um comprimento $L = 12,0 \text{ m}$ (comprimento do carro mais a distância mínima de segurança) à fila de carros mais lentos ao se juntar à fila, e suponha que reduz bruscamente a velocidade no último momento. (a) Para que distância d entre os carros mais rápidos a onda de choque permanece estacionária? Se a distância é duas vezes maior que este valor, quais são (b) a velocidade e (c) o sentido (o sentido do movimento dos carros ou o sentido contrário) da onda de choque?

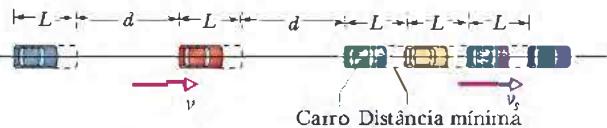


Figura 2-22 Problema 12.

- 13** Você dirige do Rio a São Paulo metade *do tempo* a 55 km/h e a outra metade a 90 km/h . Na volta, você viaja metade *da distância* a 55 km/h e a outra metade a 90 km/h . Qual é a velocidade escalar média (a) na viagem do Rio a São Paulo, (b) na viagem de São Paulo ao Rio, e (c) na viagem inteira? (d) Qual é a velocidade média na viagem inteira? (e) Pinte o gráfico de x em função de t para o item (a), supondo que o movimento ocorre no sentido positivo de x . Mostre de que forma a velocidade média pode ser determinada a partir do gráfico.

Seção 2-5 Velocidade Instantânea e Velocidade Escalar

- 14** A posição de um elétron que se move ao longo do eixo x é dada por $x = 16te^t \text{ m}$, onde t está em segundos. A que distância da origem se encontra o elétron quando para momentaneamente?
- 15** (a) Se a posição de uma partícula é dada por $x = 4 - 12t + 3t^2$ (onde t está em segundos e x em metros), qual é a velocidade da partícula em $t = 1 \text{ s}$? (b) O movimento nesse instante é no sentido positivo ou negativo de x ? (c) Qual é a velocidade escalar da partícula nesse instante? (d) A velocidade escalar está aumentando ou diminuindo nesse instante? (Tente responder às duas próximas perguntas sem fazer outros cálculos.) (e) Existe algum instante no qual a velocidade se anula? Caso a resposta seja afirmativa, para que valor de t isso acontece? (f) Existe algum instante após $t = 3 \text{ s}$ no qual a partícula está se movendo no sentido negativo de x ? Caso a resposta seja afirmativa, para que valor de t isso acontece?

- 16** A função posição $x(t)$ de uma partícula que está se movendo ao longo do eixo x é $x = 4,0 - 6,0t^2$, com x em metros e t em segundos. (a) Em que instante e (b) em que posição a partícula para (momentaneamente)? Em que (c) instante negativo e (d) instante positivo a partícula passa pela origem? (e) Pinte o gráfico de x em função de t para o intervalo de -5 s a $+5 \text{ s}$. (f) Para deslocar a curva para a direita no gráfico, devemos acrescentar a $x(t)$ o termo $+20t$ ou o termo $-20t$? (g) Essa modificação aumenta ou diminui o valor de x para o qual a partícula para momentaneamente?

- 17** A posição de uma partícula que se move ao longo do eixo x é dada por $x = 9,75 + 1,50t^3$, onde x está em centímetros e t em segundos. Calcule (a) a velocidade média durante o intervalo de tempo de $t = 2,00 \text{ s}$ a $t = 3,00 \text{ s}$; (b) a velocidade instantânea em $t = 2,00 \text{ s}$; (c) a velocidade instantânea em $t = 3,00 \text{ s}$; (d) a velocidade instantânea em $t = 2,50 \text{ s}$; (e) a velocidade instantânea quando a partícula está na metade da distância entre as posições em $t = 2,00 \text{ s}$ e $t = 3,00 \text{ s}$. (f) Pinte o gráfico de x em função de t e indique suas respostas graficamente.

Seção 2-6 Aceleração

- 18** A posição de uma partícula que se move ao longo do eixo x é dada por $x = 12t^2 - 2t^3$, onde x está em metros e t em segundos. Determine (a) a posição, (b) a velocidade e (c) a aceleração da partícula em $t = 3,0 \text{ s}$. (d) Qual é a coordenada positiva máxima alcançada pela partícula e (e) em que instante de tempo é alcançada? (f) Qual é a velocidade positiva máxima alcançada pela partícula e (g) em que instante de tempo é alcançada? (h) Qual é a aceleração da

partícula no instante em que a partícula não está se movendo (além do instante $t = 0$)? (i) Determine a velocidade média da partícula entre $t = 0$ e $t = 3,0$ s.

- 19 Em um certo instante de tempo, uma partícula tinha uma velocidade de 18 m/s no sentido positivo de x ; 2,4 s depois, a velocidade era 30 m/s no sentido oposto. Qual foi a aceleração média da partícula durante este intervalo de 2,4 s?

- 20 (a) Se a posição de uma partícula é dada por $x = 20t - 5t^3$, onde x está em metros e t em segundos, em que instante(s) a velocidade da partícula é zero? (b) Em que instante(s) a aceleração a é zero? (c) Para que intervalo de tempo (positivo ou negativo) a aceleração a é negativa? (d) Para que intervalo de tempo (positivo ou negativo) a aceleração a é positiva? (e) Desenhe os gráficos de $x(t)$, $v(t)$, e $a(t)$.

- 21 De $t = 0$ a $t = 5,00$ min, um homem fica em pé sem se mover; de $t = 5,00$ min a $t = 10,0$ min, caminha em linha reta com uma velocidade de 2,2 m/s. Quais são (a) a velocidade média v_{med} e (b) a aceleração média a_{med} do homem no intervalo de tempo de 2,00 min a 8,00 min? Quais são (c) v_{med} e (d) a_{med} no intervalo de tempo de 3,00 min a 9,00 min? (e) Pinte x em função de t e v em função de t , e indique como as respostas de (a) a (d) podem ser obtidas a partir dos gráficos.

- 22 A posição de uma partícula que se desloca ao longo do eixo x varia com o tempo de acordo com a equação $x = ct^2 - bt^3$, onde x está em metros e t em segundos. Quais são as unidades (a) da constante c e (b) da constante b ? Suponha que os valores numéricos de c e b são 3,0 e 2,0, respectivamente. (c) Em que instante a partícula passa pelo maior valor positivo de x ? De $t = 0,0$ s a $t = 4,0$ s, (d) qual é a distância percorrida pela partícula e (e) qual é o deslocamento? Determine a velocidade da partícula nos instantes (f) $t = 1,0$ s, (g) $t = 2,0$ s, (h) $t = 3,0$ s e (i) $t = 4,0$ s. Determine a aceleração da partícula nos instantes (j) $t = 1,0$ s, (k) $t = 2,0$ s, (l) $t = 3,0$ s e (m) $t = 4,0$ s.

Seção 2-7 Aceleração Constante: Um Caso Especial

- 23 Um elétron com velocidade inicial $v_0 = 1,50 \times 10^5$ m/s penetra em uma região de comprimento $L = 1,00$ cm, onde é eletricamente acelerado (Figura 2-23), e sai dessa região com $v = 5,70 \times 10^6$ m/s. Qual é a aceleração do elétron, supondo que seja constante?

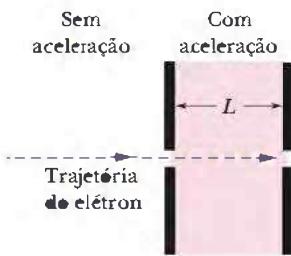


Figura 2-23 Problema 23.

- 24 ~~Cogumelos lançadores~~ Alguns cogumelos lançam espórios usando um mecanismo de catapulta. Quando o vapor d'água do ar se condensa em um esporo preso de um cogumelo, uma gota se forma de um lado do esporo e uma película de água se forma do outro lado. O peso da gota faz o esporo se encurtar, mas quando a película atinge a gota, a gota d'água se espalha bruscamente pelo filme e o esporo volta tão depressa à posição original que é lançado no ar. Tipicamente, o esporo atinge uma velocidade de 1,6 m/s em um lançamento de 5,0 μm ; em seguida, a velocidade é reduzida a zero em 1,00 mm pelo atrito com o ar. Usando esses dados e

supondo que a aceleração é constante, determine a aceleração em unidades de g (a) durante o lançamento; (b) durante a redução de velocidade.

- 25 Um veículo elétrico parte do repouso e acelera em linha reta a uma taxa de $2,0$ m/s² até atingir a velocidade de 20 m/s. Em seguida, o veículo desacelera a uma taxa constante de $1,0$ m/s² até parar. (a) Quanto tempo transcorre entre a partida e a parada? (b) Qual é a distância percorrida pelo veículo desde a partida até a parada?

- 26 Um muôn (uma partícula elementar) penetra em uma região com uma velocidade de $5,00 \times 10^6$ m/s e passa a ser desacelerado a uma taxa de $1,25 \times 10^{14}$ m/s². (a) Qual é a distância percorrida pelo muôn até parar? (b) Desenhe os gráficos de x em função de t e v em função de t para o muôn.

- 27 Um elétron possui uma aceleração constante de $+3,2$ m/s². Em um certo instante, a velocidade do elétron é +9,6 m/s. Qual é a velocidade (a) 2,5 s antes e (b) 2,5 s depois do instante considerado?

- 28 Em uma estrada seca, um carro com pneus novos é capaz de frear com uma desaceleração constante de $4,92$ m/s². (a) Quanto tempo esse carro, inicialmente se movendo a 24,6 m/s, leva para parar? (b) Que distância o carro percorre nesse tempo? (c) Desenhe os gráficos de x em função de t e v em função de t durante a desaceleração.

- 29 Um elevador percorre uma distância de 190 m e atinge uma velocidade máxima de 305 m/min. O elevador acelera a partir do repouso e desacelera de volta ao repouso a uma taxa de 1,22 m/s². (a) Qual é a distância percorrida pelo elevador enquanto acelera a partir do repouso até a velocidade máxima? (b) Quanto tempo o elevador leva para percorrer a distância de 190 m, sem paradas, partindo do repouso e chegando com velocidade zero?

- 30 Os freios de um carro podem produzir uma desaceleração da ordem de 5,2 m/s². (a) Se o motorista está a 137 km/h e avista um policial rodoviário, qual é o tempo mínimo necessário para que o carro atinja a velocidade máxima permitida de 90 km/h? (A resposta revela a inutilidade de frear para tentar impedir que a alta velocidade seja detectada por um radar ou por uma pistola de laser.) (b) Desenhe os gráficos de x em função de t e v em função de t durante a desaceleração.

- 31 Suponha que uma nave espacial se move com uma aceleração constante de $9,8$ m/s², 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?

- 32 ~~O recorde mundial de velocidade em terra~~ O recorde mundial de velocidade em terra foi estabelecido pelo coronel John P. Stapp em março de 1954, a bordo de um trenó foguete que se deslocou sobre trilhos a 1020 km/h. Ele e o trenó foram freados até parar em 1,4 s. (Veja a Fig. 2-7.) Qual foi a aceleração experimentada por Stapp durante a frenagem, em unidades de g ?

- 33 Um carro que se move a 56,0 km/h está a 24,0 m de distância de um muro quando o motorista aciona os freios. O carro bate no muro 2,00 s depois. (a) Qual era o módulo da aceleração constante do carro antes do choque? (b) Qual era a velocidade do carro no momento do choque?

- 34 Na Fig. 2-24, um carro vermelho e um carro verde, iguais exceto pela cor, movem-se um em direção ao outro em pistas vizinhas e paralelas a um eixo x . No instante $t = 0$, o carro vermelho está em $x_A = 0$ e o carro verde está em $x_B = 220$ m. Se o carro vermelho tem uma velocidade constante de 20 km/h, os carros se cruzam em $x =$

44,5 m; se tem uma velocidade constante de 40 km/h, os carros se cruzam em $x = 76,6$ m. Quais são (a) a velocidade inicial e (b) a aceleração do carro verde?



Figura 2-24 Problemas 34 e 35.

••35 A Fig. 2-24 mostra um carro vermelho e um carro verde que se movem um em direção ao outro. A Fig. 2-25 é um gráfico do movimento dos dois carros que mostra suas posições $x_{A0} = 270$ m e $x_{B0} = -35,0$ m no instante $t = 0$. O carro vermelho tem uma velocidade constante de 20,0 m/s e o carro verde parte do repouso. Qual é o módulo da aceleração do carro verde?

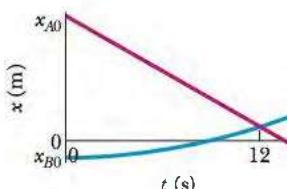


Figura 2-25 Problema 35.

••36 Um carro se move ao longo do eixo x por uma distância de 900 m, partindo do repouso (em $x = 0$) e terminando em repouso (em $x = 900$ m). No primeiro quarto do percurso, a aceleração é $+2,25 \text{ m/s}^2$. Nos outros três quartos, a aceleração passa a ser $-0,750 \text{ m/s}^2$. Quais são (a) o tempo necessário para percorrer os 900 m e (b) a velocidade máxima? (c) Desenhe os gráficos da posição x , da velocidade v e da aceleração a em função do tempo t .

••37 A Fig. 2-26 mostra o movimento de uma partícula que se move ao longo do eixo x com aceleração constante. A escala vertical do gráfico é definida por $x_s = 6,0$ m. Quais são (a) o módulo e (b) o sentido da aceleração da partícula?

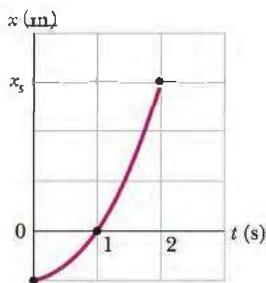


Figura 2-26 Problema 37.

••38 (a) Se a aceleração máxima que pode ser tolerada pelos passageiros de um metrô é $1,34 \text{ m/s}^2$ e duas estações de metrô estão separadas por uma distância de 806 m, qual é a velocidade máxima que o metrô pode alcançar entre as estações? (b) Qual é o tempo de percurso? (c) Se o metrô para durante 20 s em cada estação, qual é a máxima velocidade escalar média do metrô entre o instante em que parte de uma estação e o instante em que parte da estação seguinte? Plete x , v e a em função de t para intervalo de tempo entre o instante em que o trem parte de uma estação e o instante em que parte da estação seguinte.

••39 Os carros A e B se movem no mesmo sentido em pistas vizinhas. A posição x do carro A é dada na Fig. 2-27, do instante $t = 0$ ao instante $t = 7,0$ s. A escala vertical do gráfico é definida por $x_s = 32,0$ m. Em $t = 0$, o carro B está em $x = 0$, com uma velocidade

de 12 m/s e uma aceleração negativa a_B . (a) Qual deve ser o valor de a_B para que os carros estejam lado a lado (ou seja, tenham o mesmo valor de x) em $t = 4,0$ s? (b) Para esse valor de a_B , quantas vezes os carros ficam lado a lado? (c) Plete a posição x_B do carro B em função do tempo t na Fig. 2-27. Quantas vezes os carros ficariam lado a lado se o módulo da aceleração a_B fosse (d) maior do que o da resposta do item (a) e (e) menor do que o da resposta do item (a)?

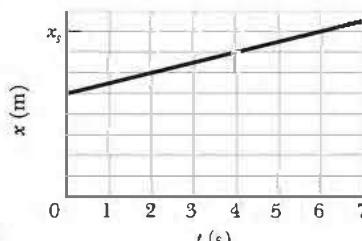


Figura 2-27 Problema 39.

••40 Você está se aproximando de um sinal de trânsito a uma velocidade $v_0 = 55 \text{ km/h}$ quando o sinal fica amarelo. O módulo da maior taxa de desaceleração de que o carro é capaz é $\alpha = 5,18 \text{ m/s}^2$ e seu tempo de reação para começar a frear é $T = 0,75 \text{ s}$. Para evitar que a frente do carro invada o cruzamento depois que o sinal mudar para vermelho, sua estratégia deve ser frear até parar ou prosseguir a 55 km/h se a distância até o cruzamento e a duração da luz amarela forem, respectivamente, (a) 40 m e 2,8 s, e (b) 32 m e 1,8 s? As respostas podem ser frear, prosseguir, tanto faz (se as duas estratégias funcionarem) ou não há jeito (se nenhuma das estratégias funcionar).

••41 Os maquinistas de dois trens percebem, de repente, que estão em rota de colisão. A Fig. 2-28 mostra a velocidade v dos trens em função do tempo t enquanto estão sendo freados. A escala vertical do gráfico é definida por $v_s = 40,0 \text{ m/s}$. O processo de desaceleração começa quando a distância entre os trens é 200 m. Qual é a distância entre os trens quando, finalmente, conseguem parar?

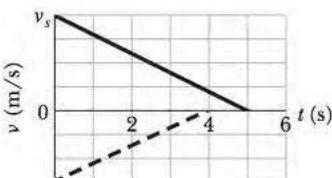


Figura 2-28 Problema 41.

••42 Você está discutindo no telefone celular enquanto segue um carro de polícia não identificado, a 25 m de distância; os dois veículos estão a 110 km/h. A discussão distrai sua atenção do carro de polícia por 2,0 s (tempo suficiente para você olhar para o telefone e exclamar: "Eu me recuso a fazer isso!"). No início desses 2,0 s, o policial freia bruscamente, com uma desaceleração de $5,0 \text{ m/s}^2$. (a) Qual é a distância entre os dois carros quando você volta a prestar atenção no trânsito? Suponha que você leve outros 0,40 s para perceber o perigo e começar a frear. (b) Se você também freia com uma desaceleração de $5,0 \text{ m/s}^2$, qual é a velocidade do seu carro quando você bate no carro de polícia?

••43 Quando um trem de passageiros de alta velocidade que se move a 161 km/h faz uma curva, o maquinista leva um susto ao ver que uma locomotiva entrou indevidamente nos trilhos através de um desvio e se encontra a uma distância $D = 676$ m à frente (Fig. 2-29). A locomotiva está se movendo a 29,0 km/h. O maquinista do trem de alta velocidade imediatamente aciona os freios. (a) Qual deve ser o valor mínimo do módulo da desaceleração (suposta constante) para

que a colisão não ocorra? (b) Suponha que o maquinista está em $x = 0$ quando, no instante $t = 0$, avista a locomotiva. Desenhe as curvas de $x(t)$ da locomotiva e do trem de alta velocidade para os casos em que a colisão é evitada por pouco e a colisão ocorre por pouco.

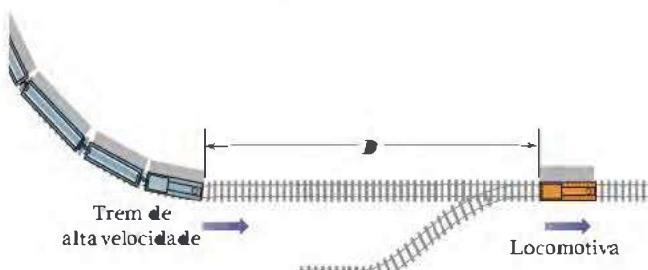


Figura 2-29 Problema 43.

Seção 2-9 Aceleração em Queda Livre

•44 Um tatu assustado pula verticalmente para cima, subindo 0,544 m nos primeiros 0,200 s. (a) Qual é a velocidade do animal ao deixar o solo? (b) Qual é a velocidade na altura de 0,544 m? (c) Qual é a altura do salto?

•45 (a) Com que velocidade deve ser lançada uma bola verticalmente a partir do solo para que atinja uma altura máxima de 50 m? (b) Por quanto tempo permanece no ar? (c) Esboce os gráficos de y , v e a em função de t para a bola. Nos dois primeiros gráficos, indique o instante no qual a bola atinge a altura de 50 m.

•46 Gotas de chuva caem 1700 m de uma nuvem até o chão. (a) Se as gotas não estivessem sujeitas à resistência do ar, qual seria a velocidade ao atingirem o solo? (b) Seria seguro caminhar na chuva?

•47 Em um prédio em construção, uma chave de grifo chega ao solo com uma velocidade de 24 m/s. (a) De que altura um operário a deixou cair? (b) Quanto tempo durou a queda? (c) Esboce os gráficos de y , v e a em função de t para a chave de grifo.

•48 Um desordeiro joga uma pedra verticalmente para baixo com uma velocidade inicial de 12,0 m/s, a partir do telhado de um edifício, 30,0 m acima do solo. (a) Quanto tempo a pedra leva para atingir o solo? (b) Qual é a velocidade da pedra no momento do choque?

•49 Um balão de ar quente está subindo com uma velocidade de 12 m/s e se encontra 80 m acima do solo quando um tripulante deixa cair um pacote. (a) Quanto tempo o pacote leva para atingir o solo? (b) Com que velocidade atinge o solo?

•50 No instante $t = 0$, uma pessoa deixa cair a maçã 1 de uma ponte; pouco depois, a pessoa joga a maçã 2 verticalmente para baixo do mesmo local. A Fig. 2-30 mostra a posição vertical y das duas maçãs em função do tempo durante a queda até a estrada que passa por baixo da ponte. A escala horizontal do gráfico é definida por $t_s = 2,0$ s. Aproximadamente com que velocidade a maçã 2 foi jogada para baixo?

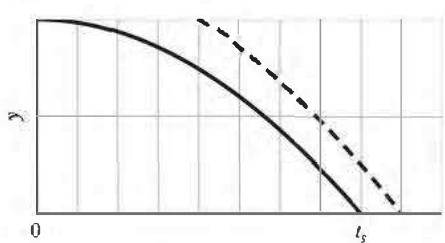


Figura 2-30 Problema 50.

•51 Quando um balão científico desgarrado está subindo com uma velocidade de 19,6 m/s, um dos instrumentos se desprende e cai em queda livre. A Fig. 2-31 mostra a velocidade vertical do instrumento em função do tempo, desde alguns instantes antes de se desprender até o momento em que atinge o solo. (a) Qual é a altura máxima que o instrumento atinge em relação ao ponto em que se desprendeu? (b) A que altura acima do solo o instrumento se desprendeu?

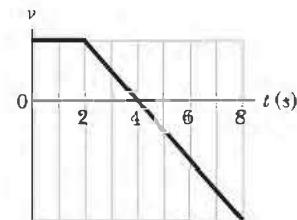


Figura 2-31 Problema 51.

•52 Um parafuso se desprende de uma ponte em construção e cai 90 m até chegar o solo. (a) Em quanto tempo o parafuso percorre os últimos 20% da queda? Qual é a velocidade (b) quando começam os últimos 20% da queda e (c) quando atinge o solo?

•53 Uma chave cai verticalmente de uma ponte que está 45 m acima da água. A chave atinge um barco de brinquedo que está se movendo com velocidade constante e se encontrava a 12 m do ponto de impacto quando a chave foi solta. Qual é a velocidade do barco?

•54 Uma pedra é deixada cair em um rio a partir de uma ponte situada 43,9 m acima da água. Outra pedra é atirada verticalmente para baixo 1,0 s após a primeira ter sido deixada cair. As pedras atingem a água ao mesmo tempo. (a) Qual era a velocidade inicial da segunda pedra? (b) Plote a velocidade em função do tempo para as duas pedras, supondo que $t = 0$ é o instante em que a primeira pedra foi deixada cair.

•55 Uma bola de argila úmida cai 15,0 m até o chão e permanece em contato com o solo por 20,0 ms antes de parar completamente. (a) Qual é o módulo de aceleração média da bola durante o tempo de contato com o solo? (Trate a bola como uma partícula.) (b) A aceleração média é para cima ou para baixo?

•56 A Fig. 2-32 mostra a velocidade v em função da altura y para uma bola lançada verticalmente para cima ao longo de um eixo y . A distância d é 0,40 m. A velocidade na altura y_A é v_A . A velocidade na altura y_B é $v_A/3$. Determine a velocidade v_A .

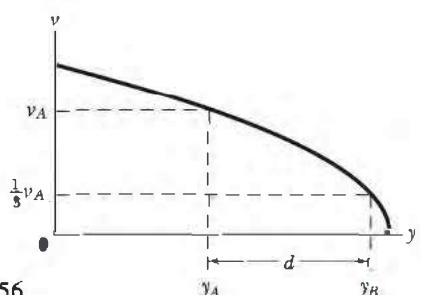


Figura 2-32 Problema 56.

•57 Para testar a qualidade de uma bola de tênis, você a deixa cair no chão de uma altura de 4,00 m. Depois de quicar, a bola atinge uma altura de 2,00 m. Se a bola permanece em contato com o piso por 12,0 ms, (a) qual é o módulo de aceleração média durante esse contato e (b) a aceleração média é para cima ou para baixo?

•58 Um objeto cai de uma altura h a partir do repouso. Se o objeto percorre uma distância de $0,50h$ no último 1,00 s, determine (a)

o tempo e (b) a altura da queda. (c) Explique a solução fisicamente inaceitável da equação do segundo grau em t usada para resolver o problema.

••59 A água pinga de um chuveiro em um piso situado 200 cm abaixo. As gotas caem a intervalos de tempo regulares (iguais), com a primeira gota atingindo o piso quando a quarta gota comece a cair. Quando a primeira gota atinge o piso, a que distância do chuveiro se encontra (a) a segunda e (b) a terceira gota?

••60 Uma pedra é lançada verticalmente para cima a partir do solo no instante $t = 0$. Em $t = 1,5$ s, a pedra ultrapassa o alto de uma torre; 1,0 s depois, atinge a altura máxima. Qual é a altura da torre?

••61 Uma bola de aço é deixada cair do telhado de um edifício e leva 0,125 s para passar por uma janela, uma distância correspondente a 1,20 m. A bola quica em uma calçada e torna a passar pela janela, de baixo para cima, em 0,125 s. Suponha que o movimento para cima corresponde exatamente ao inverso da queda. O tempo que a bola passa abaixo do peitoril da janela é 2,00 s. Qual é a altura do edifício?

••62 Ao pegar um rebote, um jogador de basquete pula 76,0 cm verticalmente. Qual é o tempo total (de subida e descida) que o jogador passa (a) nos 15 cm mais altos e (b) nos 15 cm mais baixos do salto? Esses resultados explicam por que os jogadores de basquete parecem flutuar quando estão no ponto mais alto de um salto?

••63 Um gato sonolento observa um vaso de flores que passa por uma janela aberta, primeiro subindo e depois descendo. O vaso permanece à vista por um tempo total de 0,50 s e a altura da janela é 2,00 m. Que distância acima do alto da janela o vaso atinge?

••64 Uma bola é lançada verticalmente para cima a partir da superfície de outro planeta. O gráfico de y em função de t para a bola é mostrado na Fig. 2-33, onde y é a altura da bola acima do ponto de lançamento e $t = 0$ no instante em que a bola é lançada. A escala vertical do gráfico é definida por $y_s = 30,0$ m. Quais são os módulos (a) de aceleração em queda livre no planeta e (b) da velocidade inicial da bola?

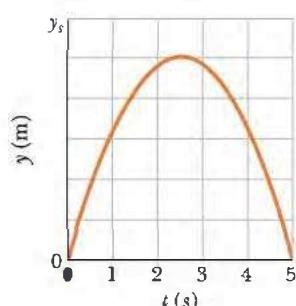


Figura 2-33 Problema 64.

Seção 2-10 Integração de Gráficos em Análise de Movimento

•65 A Figura 2-13 mostra a aceleração da cabeça e do tronco de um voluntário durante uma colisão frontal. Qual é a velocidade (a) da cabeça e (b) do tronco quando a aceleração da cabeça é máxima?

•66 Em um soco direto de caratê, o punho começa em repouso na cintura e é movido rapidamente para a frente até o braço ficar completamente estendido. A velocidade $v(t)$ do punho está representada na Fig. 2-34 para o caso de um lutador experiente. A escala vertical é definida por $v_s = 8,0$ m/s. Qual é a distância per-

corrida pelo punho desde o início do golpe até (a) o instante $t = 50$ ms e (b) o instante em que a velocidade do punho é máxima?

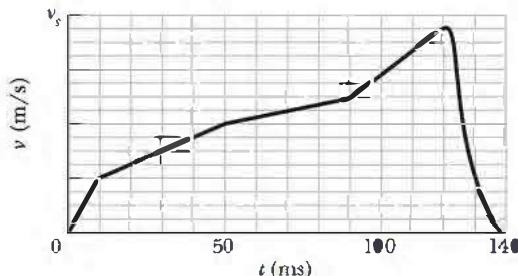


Figura 2-34 Problema 66.

••67 Quando uma bola de futebol é chutada na direção de um jogador e o jogador a desvia de cabeça, a aceleração da cabeça durante a colisão pode ser relativamente grande. A Fig. 2-35 mostra a aceleração $a(t)$ da cabeça de um jogador de futebol sem e com capacete, a partir do repouso. A escala vertical é definida por $a_s = 200$ m/s². Qual é a diferença entre a velocidade da cabeça sem e com o capacete no instante $t = 7,0$ ms?

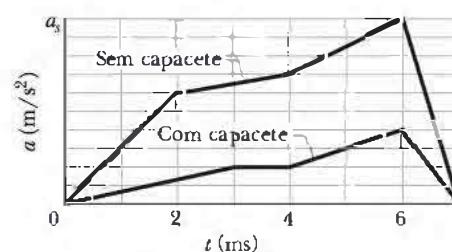


Figura 2-35 Problema 67.

••68 Uma salamandra do gênero *Hydromantes* captura a presa lançando a língua como um projétil: a parte traseira da língua se projeta bruscamente para a frente, desenrolando o resto da língua até que a parte dianteira atinja a presa, capturando-a. A Fig. 2-36 mostra o módulo a de aceleração em função do tempo t durante a fase de aceleração em uma situação típica. As acelerações indicadas são $a_1 = 100$ m/s² e $a_2 = 400$ m/s². Qual é a velocidade da língua no final da fase de aceleração?

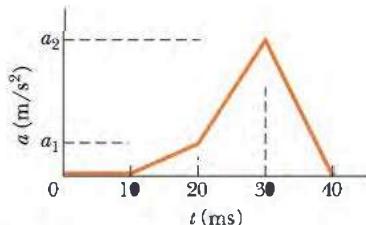


Figura 2-36 Problema 68.

••69 Que distância percorre em 16 s um corredor cujo gráfico velocidade–tempo é mostrado na Fig. 2-30? A escala vertical do gráfico é definida por $v_s = 8,0$ m.

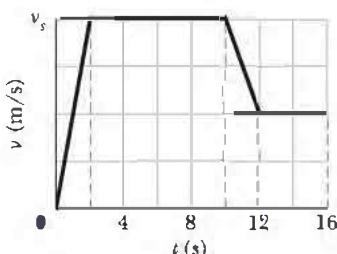


Figura 2-37 Problema 69.

...70 Duas partículas se movem ao longo do eixo x . A posição da partícula 1 é dada por $x = 6,00t^2 + 3,00t + 2,00$, onde x está em metros e t em segundos; a aceleração da partícula 2 é dada por $a = -8,00t$, onde a está em metros por segundo ao quadrado e t em segundos. No instante $t = 0$, a velocidade da partícula 2 é 20 m/s. Qual é a velocidade das partículas no instante em que têm a mesma velocidade?

Problemas Adicionais

71 Em um videogame, um ponto é programado para se deslocar na tela de acordo com a função $x = 9,00t - 0,750t^3$, onde x é a distância em centímetros em relação à extremidade esquerda da tela e t é o tempo em segundos. Quando o ponto chega a uma das bordas da tela, $x = 0$ ou $x = 15,0$ cm, o valor de t é zerado e o ponto começa novamente a se mover de acordo com a função $x(t)$. (a) Em que instante após ser iniciado o movimento o ponto se encontra momentaneamente em repouso? (b) Para que valor de x isso acontece? (c) Qual é a aceleração do ponto (incluindo o sinal) no instante em que isso acontece? (d) O ponto está se movendo para a direita ou para a esquerda pouco antes de atingir o repouso? (e) O ponto está se movendo para a direita ou para a esquerda pouco depois de atingir o repouso? (f) Em que instante $t > 0$ o ponto atinge a borda da tela pela primeira vez?

72 Uma pedra é lançada verticalmente para cima a partir da borda do terraço de um edifício. A pedra atinge a altura máxima 1,60 s após ter sido lançada e, em seguida, caindo paralelamente ao edifício, chega ao solo 6,00 s após ter sido lançada. Em unidades do SI: (a) com que velocidade a pedra foi lançada? (b) Qual foi a altura máxima atingida pela pedra em relação ao terraço? (c) Qual é a altura do edifício?

73 No instante em que um sinal de trânsito fica verde, um automóvel começa a se mover com uma aceleração constante a de $2,2 \text{ m/s}^2$. No mesmo instante, um caminhão, que se move com uma velocidade constante de $9,5 \text{ m/s}$, ultrapassa o automóvel. (a) A que distância do sinal o automóvel alcança o caminhão? (b) Qual é a velocidade do automóvel nesse instante?

74 Um piloto voa horizontalmente a 1300 km/h a uma altura $h = 35 \text{ m}$ acima do solo inicialmente plano. No instante $t = 0$, o piloto começa a sobrevoar um terreno inclinado para cima de um ângulo $\theta = 4,3^\circ$ (Figura 2-38). Se o piloto não mudar a trajetória do avião, em que instante t o avião se chocará com o solo?

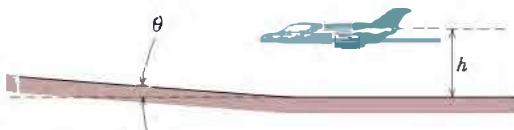


Figura 2-38 Problema 74.

75 O tempo necessário para frear um carro pode ser dividido em duas partes: o tempo de reação para o motorista começar a frear e o tempo necessário para que a velocidade chegue a zero depois que o freio é acionado. A distância total percorrida por um carro é 56,7 m quando a velocidade inicial é $80,5 \text{ km/h}$ e 24,4 m quando a velocidade inicial é $48,3 \text{ km/h}$. Supondo que a aceleração permanece constante depois que o freio é acionado, determine (a) o tempo de reação do motorista e (b) o módulo da aceleração.

76 A Fig. 2-39 mostra parte de uma rua na qual se pretende controlar o tráfego para permitir que um pelotão de veículos atravessasse vários cruzamentos sem parar. Suponha que os primeiros carros

do pelotão tenham acabado de chegar ao cruzamento 2, onde o sinal abriu quando os carros estavam a uma distância d do cruzamento. Os carros continuam a se mover a uma certa velocidade v_p (a velocidade máxima permitida) até chegarem ao cruzamento 3. As distâncias entre os cruzamentos são D_{23} e D_{12} . (a) Quanto tempo depois que o sinal do cruzamento 2 abriu o sinal do cruzamento 3 deve abrir para que o sinal do cruzamento 3 abra quando os primeiros carros do pelotão estão a uma distância d do cruzamento 3?

Suponha que o pelotão tenha encontrado o sinal fechado no cruzamento 1. Quando o sinal do cruzamento 1 abre, os carros da frente precisam de um certo tempo t para arrancar e de um tempo adicional para atingir a velocidade de cruzeiro v_p com uma certa aceleração a . (b) Quanto tempo depois que o sinal do cruzamento 1 abriu o sinal do cruzamento 2 deve abrir para que o sinal do cruzamento 2 abra quando os primeiros carros do pelotão estão a uma distância d do cruzamento 2?

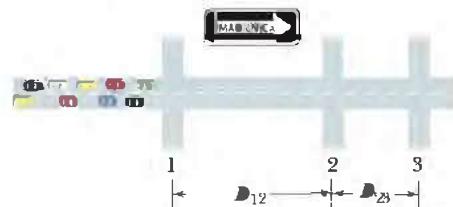


Figura 2-39 Problema 76.

77 Um carro de corrida é capaz de acelerar de 0 a 60 km/h em $5,4 \text{ s}$. (a) Qual é a aceleração média, em m/s^2 , durante este intervalo? (b) Qual é a distância percorrida pelo carro em $5,4 \text{ s}$, supondo que a aceleração seja constante? (c) Quanto tempo o carro leva para percorrer uma distância de $0,25 \text{ km}$, a partir de repouso, mantendo uma aceleração igual ao valor do item (a)?

78 Um trem vermelho a 72 km/h e um trem verde a 144 km/h estão na mesma linha, retilínea e plana, movendo-se um em direção ao outro. Quando a distância entre os trens é 950 m , os dois maquinistas percebem o perigo e acionam os freios, fazendo com que os dois trens sofram uma desaceleração de $1,0 \text{ m/s}^2$. Os trens conseguem frear a tempo de evitar uma colisão? Caso a resposta seja negativa, determine as velocidades dos trens no momento da colisão; caso seja positiva, determine a distância final entre os trens.

79 No instante $t = 0$, um alpinista deixa cair um grampo, sem velocidade inicial, do alto de um paredão. Após um curto intervalo de tempo, o companheiro de escalada, que está 10 m acima, lança outro grampo para baixo. A Fig. 2-40 mostra as posições y dos grampos durante a queda em função do tempo t . Com que velocidade o segundo grampo foi lançado?

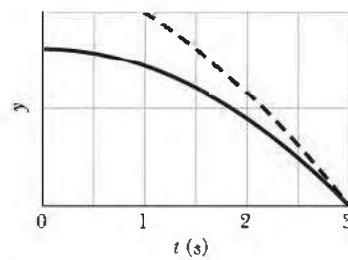


Figura 2-40 Problema 79.

80 Um trem partiu do repouso com aceleração constante. Em um certo instante, estava se movendo a 30 m/s ; 160 m adiante, estava se movendo a 50 m/s . Calcule (a) a aceleração, (b) o tempo necessário

para percorrer os 160 m mencionados, (c) o tempo necessário para atingir a velocidade de 30 m/s e (d) a distância percorrida desde o repouso até o instante que o trem atingiu a velocidade de 30 m/s. (e) Desenhe os gráficos de x em função de t e de v em função de t , de $t = 0$ até o instante em que o trem atingiu a velocidade de 50 m/s.

81 A aceleração de uma partícula ao longo do eixo x é $a = 5,0t$, com t em segundos e a em metros por segundo ao quadrado. Em $t = 2,0$ s, a velocidade da partícula é +17 m/s. Qual é a velocidade da partícula em $t = 4,0$ s?

82 A Fig. 2-41 mostra a aceleração a em função do tempo t para uma partícula que se move ao longo do eixo x . A escala vertical do gráfico é definida por $a_s = 12,0 \text{ m/s}^2$. No instante $t = -2,0$ s, a velocidade da partícula é 7,0 m/s. Qual é a velocidade da partícula no instante $t = 6,0$ s?

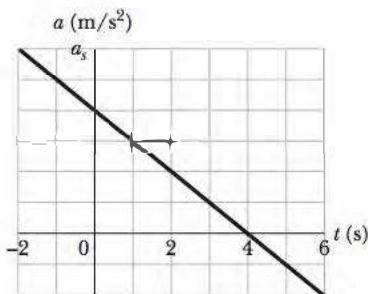


Figura 2-41 Problema 82.

83 A Fig. 2-42 mostra um dispositivo simples que pode ser usado para medir o seu tempo de reação: uma tira de papelão marcada com uma escala e dois pontos. Um amigo segura a tira na vertical, com o polegar e o indicador no ponto da direita da Fig. 2-42. Você posiciona o polegar e o indicador no outro ponto (o ponto da esquerda da Fig. 2-42), sem tocar a tira. Seu amigo solta a tira e você tenta segurá-la assim que percebe que começou a cair. A marca na posição em que você segura a tira corresponde ao seu tempo de reação. (a) A que distância do ponto inferior você deve colocar a marca de 50,0 ms? Por que valor você deve multiplicar essa distância para determinar a marca de (b) 100 ms, (c) 150 ms, (d) 200 ms, e (e) 250 ms? (Por exemplo: a marca de 100 ms deve estar no dobro da distância correspondente à marca de 50 ms? Nesse caso, a resposta seria 2. Você é capaz de identificar algum padrão nas respostas?)



Figura 2-42 Problema 83.

84 Trenós a jato, montados em trilhos retilíneos e planos, são usados para investigar os efeitos de grandes acelerações sobre seres humanos. Um desses trenós pode atingir uma velocidade de 1600 km/h em 1,8 s a partir do repouso. Determine (a) a aceleração (suposta constante) em unidades de g e (b) a distância percorrida.

85 Um vagonete de minério é puxado para o alto de uma encosta a 20 km/h e puxado ladeira abaixo a 35 km/h até a altura inicial. (O tempo gasto para inverter o movimento no alto da encosta é tão pequeno que pode ser desprezado.) Qual é a velocidade média do carrinho no percurso de ida e volta, ou seja, desde a altura inicial até voltar à mesma altura?

86 Um motociclista que está se movendo ao longo do eixo x na direção leste tem uma aceleração dada por $a = (6,1 - 1,2t) \text{ m/s}^2$ para $0 \leq t \leq 6,0$ s. Em $t = 0$, a velocidade e a posição do ciclista são 2,7 m/s e 7,3 m. (a) Qual é a velocidade máxima atingida pelo ciclista? (b) Qual é a distância percorrida pelo ciclista entre $t = 0$ e $t = 6,0$ s?

87 Quando a velocidade máxima permitida na New York Thruway foi aumentada de 55 milhas por hora para 65 milhas por hora, quanto tempo foi economizado por um motorista que dirigiu 700 km entre a entrada de Buffalo e a saída da cidade de Nova York na velocidade máxima permitida?

88 Um carro que se move com aceleração constante percorreu em 6,00 s a distância de 60,0 m que separa dois pontos. A velocidade do carro ao passar pelo segundo ponto era 15,0 m/s. (a) Qual era a velocidade no primeiro ponto? (b) Qual era o módulo de aceleração? (c) A que distância do primeiro ponto o carro se encontrava em repouso? (d) Desenhe os gráficos de x em função de t e v em função de t para o carro, desde o repouso ($t = 0$) até o segundo ponto.

89 Um certo malabarista normalmente arremessa bolas verticalmente até uma altura H . A que altura as bolas devem ser arremessadas para passarem o dobro do tempo no ar?

90 Uma partícula parte da origem em $t = 0$ e se move no sentido positivo do eixo x . O gráfico da velocidade da partícula em função do tempo é mostrado na Fig. 2-43; a escala vertical é definida por $v_s = 4,0 \text{ m/s}$. (a) Qual é a coordenada da partícula em $t = 5,0$ s? (b) Qual é a velocidade da partícula em $t = 5,0$ s? (c) Qual é a aceleração da partícula em $t = 5,0$ s? (d) Qual é a velocidade média da partícula entre $t = 1,0$ s e $t = 5,0$ s? (e) Qual é a aceleração média da partícula entre $t = 1,0$ s e $t = 5,0$ s?

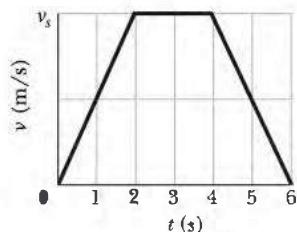


Figura 2-43 Problema 90.

91 Deixa-se cair uma pedra de um penhasco com 100 m de altura. Quanto tempo a pedra leva para cair (a) os primeiros 50 m e (b) os 50 m seguintes?

92 A distância entre duas estações de metrô é 1100 m. Se um trem acelera a $+1,2 \text{ m/s}^2$ a partir do repouso na primeira metade da distância e desacelera a $-1,2 \text{ m/s}^2$ na segunda metade, quais são (a) o tempo de percurso entre as estações e (b) a velocidade máxima do trem? (c) Desenhe os gráficos de x , v , e a em função de t para o percurso entre as duas estações.

93 Uma pedra é lançada verticalmente para cima. Durante a subida, passa por um ponto A com velocidade v e por um ponto B , 3,00 m acima de A , com velocidade $v/2$. Calcule (a) a velocidade v e (b) a altura máxima alcançada pela pedra acima do ponto B .

94 Deixa-se cair uma pedra, sem velocidade inicial, do alto de um edifício de 60 m. A que distância do solo está a pedra 1,2 s antes de chegar ao solo?

95 Um trenó a vela está se movendo para leste com velocidade constante quando uma rajada de vento produz uma aceleração constante para leste durante 3,0 s. O gráfico de x em função de t aparece na Fig. 2-44, onde $t = 0$ é tomado como o instante em que o

vento começou a soprar e o sentido positivo do eixo x é para leste. (a) Qual é a aceleração do trenó durante o intervalo de 3,0 s? (b) Qual é a velocidade do trenó no final do intervalo de 3,0 s? (c) Se a aceleração permanece constante por mais 3,0 s, qual é a distância percorrida pelo trenó no segundo intervalo de 3,0 s?

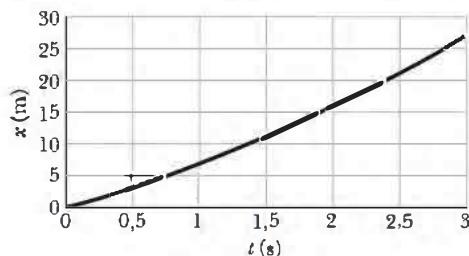


Figura 2-44 Problema 95.

96 Deixa-se cair uma bola de chumbo de um trampolim situado 5,20 m acima da superfície da água de um lago. A bola atinge a água com uma certa velocidade e conserva a mesma velocidade até chegar ao fundo do lago, 4,80 s após começar a cair. (a) Qual é a profundidade do lago? Quais são o (b) módulo e (c) o sentido (para cima ou para baixo) da velocidade média da bola durante a queda? Suponha que toda a água do lago se já drenada. A bola é agora lançada verticalmente do trampolim com uma certa velocidade inicial e novamente chega ao fundo em 4,80 s. Quais são (d) o módulo e (e) o sentido da velocidade inicial da bola?

97 O cabo que sustenta um elevador de obra vazio arrebenta quando o elevador está em repouso no alto de um edifício de 120 m de altura. (a) Com que velocidade o elevador chega ao solo? (b) Qual

é o tempo de queda? (c) Qual é a velocidade do elevador ao passar pelo ponto médio da queda? (d) Por quanto tempo o elevador estava caindo ao passar pelo ponto médio?

98 Deixa-se cair dois diamantes da mesma altura, com 1,0 s de intervalo. Quanto tempo após o primeiro diamante começar a cair a distância entre os diamantes é 10 m?

99 Uma bola é lançada verticalmente para baixo do alto de um edifício com 36,6 m de altura. A bola passa pela extremidade superior de uma janela que está 12,2 m acima do solo 2,00 s após o lançamento. Qual é a velocidade da bola ao passar pela extremidade superior da janela?

100 Um paraquedista salta de um avião e percorre 50 m em queda livre. Em seguida, abre o paraquedas e sofre uma desaceleração constante de $2,0 \text{ m/s}^2$, chegando ao solo com uma velocidade de 3,0 m/s. (a) Quanto tempo o paraquedista passa no ar? (b) Qual era a altitude do avião no momento do salto?

101 Uma bola é lançada verticalmente *para baixo* de uma altura h com uma velocidade inicial v_0 . (a) Qual é a velocidade da bola pouco antes de atingir o solo? (b) Quanto tempo a bola leva para chegar ao solo? Quais seriam as respostas (c) do item a e (d) do item b se a bola fosse lançada *para cima* da mesma altura e com a mesma velocidade inicial? Antes de calcular a resposta, verifique se as respostas dos itens (c) e (d) devem ser maiores, menores ou iguais às dos itens (a) e (b).

102 O esporte em que uma bola se move mais depressa é o jai alai, no qual as velocidades medidas chegam a 303 km/h. Se um jogador profissional de jai alai se defronta com uma bola a essa velocidade e pisca involuntariamente, deixa de ver a cena por cerca de 100 ms. Que distância a bola percorre durante esse piscar de olhos?