

dispostos de diferentes formas (Fig. 1.5). A formação dessas moléculas pode ser explicada em termos das propriedades dos átomos que as constituem. Muitos dos processos de um sistema vivo podem ser explicados por intermédio de leis físicas bem conhecidas. Consequentemente, a complexa organização funcional dos sistemas vivos pode ser descrita com grande detalhe. Mas a forma como se originaram e evoluíram até tal complexidade e diversidade é ainda matéria aberta a discussão e investigação mais avançada. De qualquer modo, a física é muito importante para o estudo dos sistemas vivos. De especialidade chamada **biofísica** dedica-se à aplicação da física ao estudo dos fenômenos da vida.

1.7 Interações

Quando pensamos nas partículas que formam o mundo em que vivemos, ocorrem-nos naturalmente várias perguntas: Por que e como se unem os elétrons, os prótons e os nêutrons para formar átomos? Por que e como se unem os átomos para formar moléculas? Por que e como se unem as moléculas para formar corpos? De que modo se agrupa a matéria em corpos de tamanhos variados, desde minúsculas partículas de pó até enormes planetas, e desde bactérias até esta maravilhosa criatura, *Sapiens*? Por que os corpos caem em direção à Terra, enquanto os planetas giram em órbita? No princípio, podemos responder a todas estas perguntas fundamentais introduzindo a noção de interação. Dissemos que, num átomo, as partículas interagem entre si de modo a atingirem uma configuração estável. Os átomos, por sua vez, interagem para produzir as moléculas e estas para formar os corpos. A matéria em geral também apresenta certas interações óbvias, como a gravitação, que se manifesta, por exemplo, no que chamamos **peso**.

Um dos principais objetivos do físico é distinguir as diferentes interações da matéria para exprimi-las de forma quantitativa, com o auxílio da matemática. Por fim, ele deve formular as regras gerais sobre o comportamento da matéria, resultante das interações fundamentais.

Conhecem-se quatro tipos de interações fundamentais: **gravitacional**, **eletromagnética**, **fraca** e **forte** ou **nuclear**. Cada uma delas está relacionada com um conjunto particular de propriedades da matéria e com certos fenômenos. A interação *gravitacional* é a mais fraca das quatro, mas é a força de mais fácil reconhecimento, pois se manifesta na atração entre toda matéria. É responsável pela existência das estrelas, dos sistemas planetários, das galáxias e, em geral, por todas as macroestruturas do universo; está relacionada com a propriedade da matéria designada **massa**. A interação *eletromagnética* está relacionada com uma propriedade da matéria chamada **carga elétrica**. Como dissemos anteriormente, é responsável por manter unidos os átomos, as moléculas e a matéria em geral. A interação *fraca* manifesta-se por meio de vários processos, como alguns tipos de **desintegração** ou **decaimento radioativo**. Está relacionada com uma propriedade designada carga "fraca". A interação *forte* ou *nuclear* mantém unidos os prótons e os nêutrons nos núcleos atômicos, assim como os quarks no interior dos prótons e dos nêutrons e dos píons. Relaciona-se com a propriedade da matéria designada **cor** (que não tem nada a ver com o que habitualmente chamamos cor). Veja-se a nota 6.1 que aprofunda este tema.

Em capítulos ulteriores analisaremos com mais profundidade a estrutura da matéria e as interações fundamentais. O que expusemos neste capítulo é suficiente para entendermos de que forma o mundo se organiza. Por outro lado, muitas das propriedades da matéria em geral (isto é, os corpos compostos por um grande número de átomos ou moléculas) podem ser analisados sem que haja uma referência explícita às interações fundamentais. Normalmente, isto simplifica a análise; por isso, começaremos pelo desenvolvimento de alguns métodos para o estudo da matéria. Entretanto, sempre que oportuno, faremos referência à estrutura atômica.

QUESTÕES

1.1 Como se explica a grande compressibilidade de um gás em comparação com a de um sólido ou a de um líquido?

1.2 Se um plasma é um gás muito quente, composto de íons positivos e negativos, por que ele não sofre colapso quando submetido à ação da atração elétrica recíproca dos íons?

1.3 Que interações mantêm unidos os elétrons num átomo? Que interações mantêm unidos os prótons e os nêutrons num núcleo?

1.4 É adequado representar um átomo como uma bola de bilhar?

1.5 O que significa dizer que um átomo é um sistema de partículas eletricamente neutro? O que acontece quando ionizamos um átomo?

1.6 Se pudéssemos ver uma molécula de água, seria possível reconhecer os dois átomos de hidrogênio e o de oxigênio como entidades separadas?

1.7 O que é mais "vazio" (isto é, tem menos partículas por unidade de volume): uma caixa com um metro cúbico que contém 4×10^{26} moléculas de gás, ou um átomo com um volume de 10^{-30} m^3 que contém 25 elétrons em torno de um núcleo?

1.8 Investigue a estrutura das seguintes moléculas: (a) monóxido de carbono, CO; (b) sulfureto de hidrogênio,

H_2S ; (c) fosfamina, PH_3 ; (d) clorofórmio, ClCH_3 ; (e) etano, C_2H_6 .

1.9 O que é um acelerador de partículas?

1.10 Quando alteramos o número de prótons de um núcleo, obtemos um novo elemento químico? O que acontece se o número de nêutrons for alterado?

1.11 Que diferença importante distingue os sistemas vivos da matéria inerte?

1.12 Explique por que é necessário ter pelo menos um número mínimo de átomos, digamos 2500, num pequeno volume para que as propriedades da matéria possam ser apreciadas.

Outras experiências e observações indicam que o espaço-tempo é afetado pela presença da matéria ou, em outras palavras, as propriedades *locais* do espaço-tempo estão determinadas pela quantidade de matéria existente no local e os seus efeitos aparecem naquilo que chamamos gravitação. O efeito da matéria sobre o espaço-tempo é mais notório junto das grandes concentrações de matéria, como o Sol, uma estrela ou um buraco negro. No entanto, junto da superfície da Terra, a ligação entre matéria e espaço-tempo só se nota em experiências delicadas, por meio de medidas precisas.

A ligação espaço, tempo e matéria é objeto de estudo das teorias da relatividade geral e restrita, desenvolvidas por Albert Einstein. Um dos aspectos interessantes dessas teorias é o fato de também promoverem relações entre massa e energia. Para explicar a maior parte dos fenômenos estudados neste livro, espaço, tempo e matéria são tratados independentemente, a menos que se indique o contrário.

QUESTÕES

2.1 Que inconvenientes surgem quando definimos o metro como a décima milionésima parte de um quadrante do meridiano terrestre?

2.2 Se, para definir uma unidade de comprimento, os habitantes da Lua tivessem utilizado os mesmos critérios que foram utilizados na Terra, no século XIX, para definir o metro, qual seria o quociente entre o metro "terrestre" e o metro "lunar"?

2.3 Que desvantagens há em definir o segundo como $1/86\,400$ de um dia solar médio?

2.4 A **densidade relativa** de duas substâncias é o quociente de duas densidades, isto é, $\rho_{12} = \rho_1/\rho_2$. Esta densidade é independente das unidades escolhidas para medir as duas densidades comparadas? Em que unidade deveria medir-se a densidade relativa? Transforme a tabela 2.2 numa tabela de densidades relativas com referência à água.

2.5 Explique por que é conveniente, em física, medir os ângulos em radianos.

2.6 Sabendo que a circunferência de um círculo é $2\pi R$, mostre que o ângulo plano completo em redor de um ponto é 2π rad, sendo 2π radianos equivalentes (não iguais!) a 360° .

2.7 Mostre que a massa de um mol de um elemento químico ou de um composto, expressa em gramas, é igual à massa atômica do elemento ou composto expressa em u.

2.8 Explique por que o número de moléculas em 1 cm^3 de água é igual a $N_A/18$.

2.9 Quanto tempo, em anos, demoraria um sinal de luz para ir do Sol ao centro da galáxia? (Ver Fig. 6.2)

2.10 Que aconteceria à área, ao volume e à densidade de um planeta se o raio (a) duplicasse, (b) se reduzisse à metade, sem alterar a massa?

2.11 Que aconteceria à massa de um planeta se o seu raio (a) duplicasse, (b) se reduzisse à metade, mantendo constante a densidade?

PROBLEMAS

2.1 Sabendo que uma u é igual a $1.6605 \times 10^{-27}\text{ kg}$, exprima em quilogramas a massa de um átomo de (a) hidrogênio e (b) de oxigênio. (c) Quantos átomos de (i) H e de (ii) O existem num quilograma de cada uma dessas substâncias? Use a tabela A.1 na qual constam as massas atômicas do hidrogênio e do oxigênio.

2.2 (a) Quantas moléculas, cada uma composta de um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio, existem num grama de água? (b) E em 18 gramas? E num centímetro cúbico? (Use a tabela A.1.)

2.3 As moléculas de hidrogênio, oxigênio e nitrogênio são compostas por dois átomos idênticos. (a) Calcule o número de moléculas de cada um destes gases à temperatura e pressão normais (TPN) existentes num m^3 . Utilize os valores das densidades relativas apresentados na tabela 2.2. (b) Aplique os seus cálculos a outros gases. Que conclusão geral se pode tirar dos resultados obtidos?

2.4 (a) Admitindo que o ar é composto por 20% de oxigênio e 80% de nitrogênio, e que estes gases têm moléculas de dois

átomos cada uma, calcule a massa molecular "efetiva" do ar. (b) Calcule o número de moléculas existentes num centímetro cúbico de ar nas condições TPN. Quantas são as moléculas de oxigênio? E as de nitrogênio?

2.5 A densidade da matéria interestelar na nossa galáxia é avaliada em $10^{-21}\text{ kg m}^{-3}$, aproximadamente. (a) Supondo que esta matéria é constituída principalmente por hidrogênio, calcule o número de átomos de hidrogênio por centímetro cúbico. (b) Compare este resultado com o obtido para o ar nas condições TPN (problema 2.4).

2.6 Um copo de vidro com 2 cm de raio contém água. Em duas horas, o nível da água baixa 1 mm. (a) Calcule, em gramas por hora, a velocidade de evaporação da água. (b) Quantas moléculas de água se evaporam por segundo por cada centímetro quadrado da superfície da água? (Sugere-se que esta experiência seja efetuada e que os seus próprios dados sejam obtidos. Por que razão se obtêm resultados diferentes em dias diferentes?)

2.7 Usando os dados da tabelas 2.2 e A.1, avalie a separação média entre as moléculas em (a) hidrogênio em condições TPN (gás), (b) água (líquido) e (c) ferro (sólido). (Sugestão: Calcule o número de moléculas por m^3 . Suponha que o volume de cada molécula é um cubo e calcule as suas arestas.)

2.8 A massa de um átomo está praticamente concentrada no seu núcleo. O raio do núcleo de urânio é $8,68 \times 10^{-15} m$.

(a) Mediante a massa atômica do urânio dada na tabela A.1, calcule a densidade da "matéria nuclear". (b) Este núcleo contém 238 núcleons. Calcule a separação média entre os núcleons. (c) A partir deste resultado e do resultado obtido no problema 2.7, será possível concluir que se deve tratar a matéria nuclear da mesma forma que se trata a matéria no espaço, isto é, sólidos, líquidos e gases?

2.9 (a) Calcule a densidade média da Terra, dos planetas e do Sol. (Utilize os dados da tabela 11.1.) (b) Comparando estes valores com os da tabela 2.2, o que se conclui sobre a estrutura destes corpos?

2.10 A velocidade da luz no vácuo é de $2,9979 \times 10^8 m s^{-1}$. (a) Expresse-a em quilômetros por hora. (b) Quantas voltas em redor da Terra poderia um raio de luz dar num segundo? O raio da Terra é de $6,37 \times 10^6 m$; (c) Que distância percorreria a luz num ano? Essa distância chama-se **ano-luz**.

2.11 O raio da órbita da Terra em torno do Sol é de $1,49 \times 10^{11} m$. Esta distância chama-se **unidade astronômica**. Represente em unidades astronômicas um ano-luz (ver problema 2.10).

2.12 A **paralaxe** é a diferença na direção aparente de um objeto resultante da mudança de posição do observador. (Segure um lápis na sua frente e feche primeiro um olho e depois o outro. Note que, em cada caso, o lápis parece

situado numa posição diferente com relação ao plano de fundo.) A **paralaxe estelar** é a mudança aparente da posição de uma estrela resultante do movimento orbital da Terra em torno do Sol. É dada quantitativamente pela metade do ângulo subtendido pelo diâmetro orbital da Terra E_1E_2 , perpendicular à reta que une a estrela ao Sol (Ver Fig. 2.5). É dada por $\theta = \frac{1}{2}(180^\circ - \alpha - \beta)$, sendo os ângulos α e β medidos nas duas posições E_1 e E_2 separadas por seis meses. A distância r da estrela ao Sol pode ser obtida pela relação $a = r\theta$, onde a é o raio da órbita terrestre e θ é expresso em radianos. A estrela que apresenta maior paralaxe, $0,76''$, é a estrela α da constelação Alfa Centauro, a estrela mais próxima. Calcule a sua distância do Sol em (a) metros, (b) anos-luz e (c) unidades astronômicas.

2.13 Um **parsec** é igual à distância do Sol a uma estrela cuja paralaxe é de $1''$. Represente um parsec em (a) metros, (b) anos-luz e (c) unidades astronômicas.

2.14 A distância entre São Francisco e Nova Iorque, medida ao longo de um círculo máximo que passa por estas duas cidades, é de 4137 km. Calcule o ângulo entre as verticais das duas cidades. (O raio da Terra é de $6,37 \times 10^6 m$.)

2.15 Consulte a tabela das funções trigonométricas ou utilize a calculadora para achar o ângulo para o qual (a) $\sin \theta$ é menor que $\tan \theta$ (i) 10%, (ii) 1%, (iii) 0,1%. (b) Faça o mesmo para $\sin \theta$ e θ , e para $\tan \theta$ e θ , quando θ é expresso em radianos. (c) Que conclusão se pode tirar dos resultados?

2.16 Um automóvel descreve uma curva circular de 100 m de raio. O comprimento da curva é de 60 m. (a) Calcule o ângulo descrito pelo automóvel. (b) Que distância percorreu quando o ângulo descrito foi de 20° ?

2.17 A distância da Lua à Terra é de $3,84 \times 10^8 m$. Que distância se moveu a Lua quando a sua posição em relação à Terra mudou 30° ?

2.18 (a) Calcule a distância que um ponto, localizado no equador da Terra, se desloca durante uma hora graças ao movimento de rotação da Terra. (b) Qual a distância de um ponto situado a 30° de latitude? (c) E a 80° de latitude? (O raio da Terra é $6,37 \times 10^6 m$.)

2.19 (a) Qual a medida do ângulo subtendido pela Lua vista da Terra? (b) E do ângulo subtendido pelo Sol? (Utilize os dados da tabela 11.1.)

2.20 (a) Suponha que se possa considerar a galáxia como dois cones aplanados, de $10^{20} m$ de altura e $5 \times 10^{20} m$ de raio, unidos pela base comum (Ver Fig. 2.6); mostre que o volume da galáxia é da ordem de $6 \times 10^{61} m^3$. (b) Se o número total de estrelas da galáxia for de cerca de 10^{11} , mostre que a sua separação média é de 10 anos-luz.

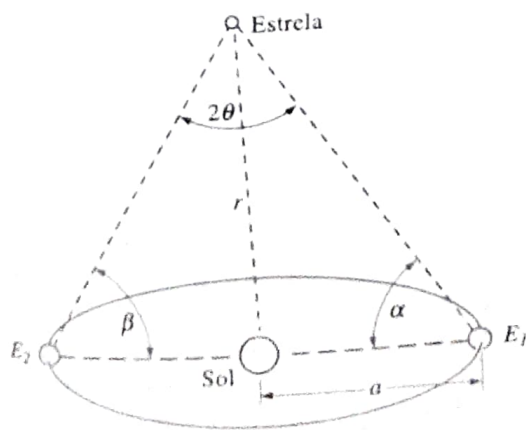


Figura 2.5

onde H é um fator de proporcionalidade designado por **parâmetro de Hubble**. O valor geralmente aceite deste parâmetro (com um erro de $\pm 30\%$) é

$$H = 22 \text{ km s}^{-1} \text{ MALuz}^{-1} = 2,32 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

Um MALuz (mega-ano luz) é $9,46 \times 10^{21} \text{ m}$ (ver problema 2.10).

Não sabemos ao certo se H é constante ou se varia com o tempo. Para simplificar, suponhamos que seja constante. Então, podemos definir um tempo t_H igual a R/v , que corresponde ao tempo necessário para que duas galáxias separem-se de R . Pela lei de Hubble

$$t_H = \frac{R}{v} = \frac{1}{H} = 4,3 \times 10^{17} \text{ s} = 1,36 \times 10^{10} \text{ anos}$$

Este tempo, conhecido por **tempo de Hubble**, é considerado um cálculo aproximado da ordem de grandeza do tempo decorrido desde o *Big Bang*, ou seja, da idade do universo. Foram efetuadas outras estimativas, entre $1,0$ e $2,0 \times 10^{10}$ anos. A mais provável é $1,5 \times 10^{10}$ anos, aproximadamente. Voltaremos a esta questão mais detalhadamente nos capítulos 11 e 41.

A partir do tempo de Hubble, podemos avaliar o "tamanho" do universo observável. Como a velocidade da luz (isto é, da radiação eletromagnética) é de $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, a maior distância, conhecida por **distância de Hubble**, para observar da Terra é

$$d_H = ct_H = (3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}) \times (4,3 \times 10^{17} \text{ s}) = 1,3 \times 10^{26} \text{ m}$$

aproximadamente $1,3 \times 10^4$ MALuz. Esta distância também é conhecida por **horizonte do universo**.

O objeto mais distante e antigo (observado em 1989) encontra-se próximo da constelação da Ursa Maior. É um objeto semelhante a uma estrela, chamado **quasar**, designado por PC - 1158 + 4635, a uma distância avaliada em $1,4 \times 10^4$ MALuz. Encontra-se, portanto, muito perto do horizonte do universo. Decorreram cerca de $1,4 \times 10^{10}$ anos para que a sua luz chegasse até nós e por isso o observamos tal como era cerca de $0,1 \times 10^{10}$ anos depois do *Big Bang*. Espera-se que as informações obtidas a partir do seu estudo proporcionem algumas pistas sobre o universo primitivo. O termo "quasar" é uma abreviatura de fonte de rádio *quasi*-estelar.

QUESTÕES

- 3.1 O que significa a afirmação "o movimento é relativo"?
- 3.2 Por que um observador deve definir um sistema de referência para a análise do movimento dos corpos?
- 3.3 Um corpo é lançado na vertical para cima com uma velocidade v_0 . Quais serão a velocidade e a aceleração quando (a) o corpo atinge o seu ponto mais elevado? (b) o corpo regressa à superfície terrestre?
- 3.4 Trace os vetores que representam a velocidade e a aceleração de (a) um corpo em queda livre e (b) um corpo que se move verticalmente para cima.
- 3.5 Como variam a velocidade e a aceleração de um corpo quando este se move livremente? (a) para cima e (b) para baixo?
- 3.6 Como se pode distinguir experimentalmente o movimento uniforme do acelerado?

PROBLEMAS

- 3.1 Um corpo que se move com velocidade inicial de 3 m s^{-1} é submetido a uma aceleração constante de 4 m s^{-2} , no mesmo sentido da velocidade. (a) Qual a velocidade do corpo e a distância por ele percorrida após 7 s? (b) Resolva o mesmo problema para um corpo cuja aceleração tem sentido

3.7 Um corpo é lançado verticalmente para cima. Depois de alcançar uma certa altura, começa a cair. Trace um diagrama que mostre a velocidade e a aceleração quando o corpo passa pelo mesmo ponto para cima e para baixo.

3.8 Por que a velocidade e a aceleração são quantidades vetoriais?

3.9 Um pássaro voa horizontalmente e em linha recta com velocidade constante em relação ao solo. Um observador que se desloca de automóvel? E em que condições o pássaro parece estar parado em relação ao observador? Parece voar para trás?

3.10 Explique por que a velocidade de A em relação a B e a velocidade de B em relação a A têm o mesmo módulo, sentidos opostos.

3.11 Os meteoritos atingem o cimo da atmosfera terrestre com velocidade da ordem de 10^4 m s^{-1} . Qual a sua velocidade em km h^{-1} ?

oposto ao da velocidade. (c) Escreva, para cada caso, a expressão da velocidade e do deslocamento em função do tempo.

- 3.2 Um avião, na decolagem, percorre 600 m em 15 s. (a) Admitindo que a aceleração é constante, calcule a velocidade da decolagem. (b) Calcule também a aceleração em m s^{-2} .

3.3 Um automóvel, partindo do repouso, atinge a velocidade de 60 km h^{-1} em 15 s . (a) Calcule a aceleração média em m min^{-2} e a distância percorrida. (b) Admitindo que a aceleração é constante, determine quantos segundos mais são necessários para o carro atingir a velocidade de 80 km h^{-1} . (c) Qual a distância total percorrida?

3.4 Um carro, partindo do ponto de repouso, movimenta-se com aceleração de 1 m s^{-1} durante 10 s . Desliga-se então o motor, e o carro passa a ter um movimento retardado, devido ao atrito e à resistência do ar, durante 10 s à velocidade de $5 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. Em seguida, o carro é freado e 5 s depois pára. (a) Faça o gráfico de a , v e x em função de t . (b) Calcule a distância total percorrida pelo carro.

3.5 Um automóvel, partindo do ponto de repouso, mantém uma aceleração de 4 m s^{-2} durante 4 s . Durante os 10 s seguintes, ele se desloca com movimento uniforme. Em seguida, o carro é freado e passa a ter um movimento retardado à razão de 8 m s^{-2} até parar. (a) Faça um gráfico da velocidade em função do tempo. (b) Mostre que a área limitada pela curva da velocidade e pelo eixo do tempo é igual à distância total percorrida.

3.6 Um carro movimenta-se a uma velocidade de 45 km h^{-1} , quando o motorista vê o sinal vermelho do semáforo. Se o tempo de reação do motorista for de $0,7 \text{ s}$ e o carro desacelera à razão de 2 m s^{-2} , logo após a frenada, calcule a distância percorrida pelo carro desde o instante em que o motorista viu o sinal vermelho até parar. (O "tempo de reação" é o intervalo de tempo que decorre desde o momento em que o motorista vê o sinal vermelho até o momento em que freia.)

3.7 Dois automóveis, A e B, movem-se no mesmo sentido com velocidades v_A e v_B , respectivamente. Quando o carro A está à distância d atrás de B, o motorista do carro A freia, o que causa uma desaceleração a . Mostre que, para evitar colisão entre A e B, é necessário que $v_A - v_B < (2ad)^{1/2}$. (Sugestão: use a posição inicial de A como origem de coordenadas.)

3.8 Dois corpos, A e B, movem-se no mesmo sentido. Quando $t = 0$, as suas velocidades respectivas são 1 m s^{-1} e 3 m s^{-1} , e as acelerações respectivas são 2 m s^{-2} e 1 m s^{-2} . Se no instante $t = 0$ o corpo A estiver $1,5 \text{ m}$ à frente de B, determine o instante em que estarão lado a lado.

3.9 Um corpo percorre uma trajetória retilínea de acordo com a lei $x = 16t - 6t^2$, onde x é medido em metros e t em segundos. (a) Determine a posição do corpo no instante $t = 1 \text{ s}$. (b) Em que instante o corpo passa pela origem? (c) Calcule a velocidade média no intervalo de tempo $0 < t < 2 \text{ s}$. (d) Obtenha a expressão geral da velocidade média no intervalo $t_0 < t < (t_0 + \Delta t)$. (e) Calcule a velocidade instantânea em qualquer instante dado. (f) Calcule a velocidade instantânea no instante $t = 0$. (g) Em que momentos e posições estará o corpo em repouso? (h) Obtenha a expressão geral da aceleração média no intervalo de tempo $t_0 < t < (t_0 + \Delta t)$. (i) Obtenha a expressão geral da aceleração instantânea num instante qualquer. (j) Em que instante(s) a aceleração é nula?

(k) Represente, num único par de eixos, x versus t , v versus t e a versus t . (l) Em que instantes o movimento é acelerado e em que instante(s) é retardado?

3.10 A aceleração de um corpo com movimento retilíneo é dada por $a = 4 - t^2$, onde a é em m s^{-2} e t em segundos. (a) Determine as expressões da velocidade e do deslocamento como funções de tempo, sabendo-se que, quando $t = 3 \text{ s}$, $v = 2 \text{ m s}^{-1}$ e $x = 9 \text{ m}$. (b) Represente graficamente a , v e x em função do tempo. (c) Quando é que o movimento é acelerado? E retardado?

3.11 Um corpo encontra-se em movimento retilíneo com uma aceleração dada por $a = 32 - 4v$. As condições iniciais são $x = 0$ e $v = 4$ para $t = 0$. Determine (a) v como função de t , (b) x como função de t e (c) x como função de v .

3.12 A posição de um corpo em movimento, em função do tempo, é dada na figura 3.22. Indique (a) onde o movimento tem sentido positivo ou negativo, (b) quando o movimento é acelerado e quando é retardado, (c) quando o corpo passa pela origem e (d) quando a velocidade é zero. Faça também um gráfico da velocidade como função do tempo. Avalie, a partir do gráfico, a velocidade média entre (e) $t = 1 \text{ s}$ e $t = 3 \text{ s}$, (f) $t = 1 \text{ s}$ e $t = 2,2 \text{ s}$, (g) $t = 1 \text{ s}$ e $t = 1,8 \text{ s}$.

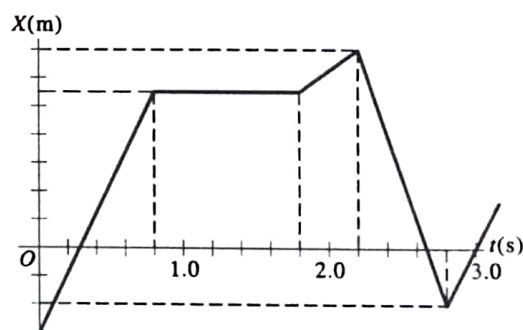


Figura 3.22

3.13 Uma pedra cai de um balão que desce em movimento uniforme com uma velocidade de 12 m s^{-1} . (a) Calcule a velocidade e a distância percorrida pela pedra em 10 s . (b) Resolva o mesmo problema para o caso de um balão que sobe uniformemente com a velocidade de 12 m s^{-1} .

3.14 Uma pedra é lançada verticalmente do fundo de um poço, cuja profundidade é de 48 m , com uma velocidade inicial de $73,5 \text{ m s}^{-1}$. (a) Calcule quanto tempo demora a pedra para atingir a saída do poço e a sua velocidade. (b) Explique as respostas possíveis.

3.15 Um homem, de cima de um edifício, lança uma bola verticalmente para cima com uma velocidade de $12,25 \text{ m s}^{-1}$. A bola atinge o solo $4,25 \text{ s}$ depois. (a) Qual a altura máxima atingida pela bola? (b) Qual a altura do edifício? (c) Com que velocidade a bola atinge o solo?

3.16 Um corpo, em queda, percorre $65,1 \text{ m}$ durante o último segundo do seu movimento. Admitindo que o corpo tenha