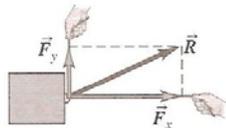


Figura 4.30 Exemplos de diagramas de corpo livre. Em cada caso, o diagrama de corpo livre mostra todas as forças externas que atuam sobre o objeto em questão.

Resumo

Força como grandeza vetorial: a força é a medida da interação entre dois corpos. É uma grandeza vetorial. Quando diversas forças atuam sobre um corpo, o efeito sobre seu movimento é o mesmo que o produzido pela ação de uma única força agindo sobre o corpo, dada pela soma vetorial (resultante) dessas forças. (Exemplo 4.1.)

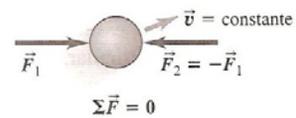
$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = \sum \vec{F} \quad (4.1)$$



A força resultante sobre um corpo e a primeira lei de Newton: a primeira lei de Newton afirma que, quando a soma vetorial das forças que atuam sobre o corpo (a *força resultante*) é igual a zero, o corpo está em equilíbrio e possui aceleração nula. Quando o corpo está inicialmente em repouso, ele permanece em repouso;

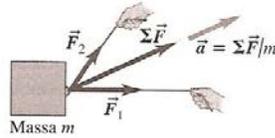
quando o corpo está inicialmente em movimento, ele continua em movimento com velocidade constante. Essa lei vale apenas em sistemas de referência inerciais. (exemplos 4.2 e 4.3.)

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (4.3)$$



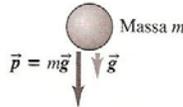
Massa, aceleração e a segunda lei de Newton: a propriedade inercial de um corpo é caracterizada pela sua *massa*. A aceleração de um corpo submetido à ação de um conjunto de forças é diretamente proporcional à soma vetorial das forças que atuam sobre o corpo (a *força resultante*) e inversamente proporcional à massa do corpo. Esta formulação é a segunda lei de Newton. Como na primeira lei, a segunda lei de Newton vale apenas em sistemas de referência inerciais. A unidade de força é definida em termos das unidades de massa e de aceleração. Em unidades SI, a unidade de força denomina-se newton (N), sendo igual a $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$. (exemplos 4.4 e 4.5.)

$$\begin{aligned} \sum \vec{F} &= m\vec{a} \\ \sum F_x &= ma_x \\ \sum F_y &= ma_y \\ \sum F_z &= ma_z \end{aligned} \quad (4.7)$$



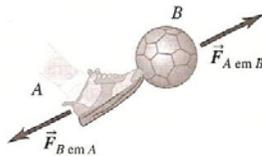
Peso: o peso \vec{p} de um corpo é a força de atração gravitacional exercida pela Terra sobre o corpo. O peso é uma grandeza vetorial. O módulo do peso de um corpo em um local específico é igual ao produto de sua massa m pelo módulo da aceleração da gravidade g nesse local. O peso de um corpo depende do local onde ele se encontra, porém a massa é sempre a mesma independentemente do local. (exemplos 4.6 e 4.7.)

$$p = mg \quad (4.9)$$



Terceira lei de Newton e os pares de ação e reação: a terceira lei de Newton afirma que quando dois corpos interagem, a força que o primeiro exerce sobre o segundo é exatamente igual e contrária à força que o segundo exerce sobre o primeiro. Essas forças são denominadas forças de ação e reação. Cada força de um par de ação e reação atua separadamente em somente um corpo; as forças de ação e reação nunca podem atuar sobre o mesmo corpo. (exemplos 4.8–4.11.)

$$\vec{F}_{A \text{ em } B} = -\vec{F}_{B \text{ em } A} \quad (4.11)$$



Principais termos

- diagrama do corpo livre, 125
- dinâmica, 105
- equilíbrio, 111
- força, 106
- força de atrito, 106
- força de contato, 106
- força de longo alcance, 106
- força normal, 106
- força resultante, 108
- força de tensão, 106
- inércia, 110
- leis de Newton do movimento, 105

- massa, 115
- mecânica clássica (newtoniana), 105
- newton, 115
- par de ação e reação, 121
- peso, 106
- primeira lei de Newton, 110
- quilograma, 115
- segunda lei de Newton, 116
- sistema de referência inercial, 112
- superposição das forças, 107
- tensão, 124
- terceira lei de Newton, 121

Resposta à Pergunta Inicial do Capítulo

De acordo com a terceira lei de Newton, a criança sentada (a quem chamaremos de Raul) empurra a criança em pé (a quem chamaremos de Stênio) com a mesma força que Stênio empurra Raul, mas no sentido oposto. Isso é verdadeiro, tanto no caso de Raul empurrar Stênio 'ativamente' (por exemplo, se Raul empurra Stênio com as mãos) quanto 'passivamente' (se as costas de Raul é que o empurram, como na foto que abre o capítulo). Os módulos das forças poderiam ser maiores no caso 'ativo' do que no 'passivo', mas em qualquer dos casos Raul empurra Stênio com a mesma força que Stênio empurra Raul.

Respostas às Perguntas dos Testes de Compreensão

4.1 Resposta: (iv) A força gravitacional sobre o engradado aponta diretamente de cima para baixo. Na Figura 4.6, o eixo x aponta para cima e para a direita, enquanto o eixo y aponta para cima e para a esquerda. Logo, a força gravitacional possui tanto o componente x quanto o componente y e ambos são negativos.

4.2 Resposta: (i), (ii) e (iv) Em (i), (ii) e (iv), o corpo não está em aceleração, por isso a força resultante sobre o corpo é igual a zero. [No item (iv), a caixa permanece estacionária sob o ponto de vista do sistema de referência inercial do solo quando o caminhão acelera para a frente, tal qual o patinador na Figura 4.11a.] No item (iii), a águia está se movendo em círculo; logo, está em aceleração e *não* em equilíbrio.

4.3 Resposta: (iii), (i) e (iv) (empate), (ii) A aceleração é igual à força resultante dividida pela massa. Logo, o módulo da aceleração em cada situação é:

$$(i) \quad a = (2,0 \text{ N}) / (2,0 \text{ kg}) = 1,0 \text{ m/s}^2;$$

$$(ii) \quad a = (8,0 \text{ N}) / (2,0 \text{ kg}) = 4,0 \text{ m/s}^2;$$

$$(iii) \quad a = (2,0 \text{ N}) / (8,0 \text{ kg}) = 0,25 \text{ m/s}^2;$$

$$(iv) \quad a = (8,0 \text{ N}) / (8,0 \text{ kg}) = 1,0 \text{ m/s}^2.$$

4.4 O astronauta faria o dobro do esforço para caminhar, porque seu peso no planeta seria duas vezes maior que na Terra. Mas pegaria a bola deslocando-se horizontalmente com a mesma facilidade. A *massa* da bola é a mesma que na Terra, portanto a força horizontal a ser exercida pelo astronauta para parar a bola (ou seja, dar a ela a mesma aceleração) seria a mesma que na Terra.

4.5 Pela terceira lei de Newton, as duas forças possuem o mesmo módulo. Como o carro possui massa muito maior que a do mosquito, ele sofre somente uma aceleração mínima, imperceptível, em reação à força do impacto. Por outro lado, o mosquito, com sua massa minúscula, sofre uma aceleração catastróficamente grande.

4.6 Resposta: (iv) A força de flutuação é uma força *de baixo para cima* que a água exerce sobre a mergulhadora. Pela terceira lei de Newton, a outra metade do par de ação e reação é uma força *de cima para baixo* que a mergulhadora exerce sobre a água e possui o mesmo módulo que a força de flutuação. É verdade que o peso da mergulhadora também é orientado de cima para baixo e possui o mesmo módulo que a força de flutuação; entretanto, o peso atua sobre o mesmo corpo (a mergulhadora) que a força de flutuação e, portanto, essas forças não formam um par de ação e reação.

Questões para discussão

- Q4.1** Pode um corpo permanecer em equilíbrio quando somente uma força atua sobre ele? Explique.
- Q4.2** Uma bola lançada verticalmente de baixo para cima possui velocidade nula em seu ponto mais elevado. A bola está em equilíbrio nesse ponto? Por que sim ou por que não?
- Q4.3** Um balão cheio de hélio fica suspenso no ar, nem subindo nem descendo. Ele está em equilíbrio? Quais as forças que atuam sobre ele?
- Q4.4** Quando você voa de avião em uma noite com ar calmo, não tem a sensação de estar em movimento, embora o avião possa estar se deslocando a 800 km/h (500 mi/h). Como você explica isso?
- Q4.5** Quando as duas extremidades de uma corda são puxadas com forças de mesmo módulo, mas sentidos contrários, por que a tensão na corda não é igual a zero?
- Q4.6** Você amarra um tijolo na extremidade de uma corda e o faz girar em torno de você em um círculo horizontal. Descreva a trajetória do tijolo quando você larga repentinamente a corda.
- Q4.7** Quando um carro pára repentinamente, os passageiros tendem a se mover para frente em relação aos seus assentos. Por quê? Quando um carro faz uma curva abrupta, os passageiros tendem a escorregar para um lado do carro. Por quê?
- Q4.8** Algumas pessoas dizem que, quando um carro pára repentinamente, os passageiros são empurrados para a frente por uma 'força de inércia' (ou uma 'força de momento linear'). O que existe de errado nessa explicação?
- Q4.9** Um passageiro no interior de um ônibus sem janelas e em movimento observa que uma bola que estava em repouso no meio do ônibus começa a se mover para a traseira do ônibus. Imagine dois modos diferentes de explicar o que ocorreu e descubra um método para decidir qual dos dois está correto.
- Q4.10** Suponha que as unidades SI fundamentais sejam força, comprimento e tempo, em vez de massa, comprimento e tempo. Quais seriam as unidades de massa em termos dessas unidades fundamentais?
- Q4.11** Na Grécia Antiga, alguns pensavam que o 'estado natural' de um objeto fosse o repouso, de modo que os objetos buscariam o seu estado natural ficando em repouso quando soltos. Explique por que essa visão pode muito bem parecer plausível no mundo atual.
- Q4.12** Por que a Terra é considerada um sistema de referência inercial apenas aproximado?
- Q4.13** A segunda lei de Newton é válida para um observador no interior de um veículo que está acelerando, parando ou fazendo uma curva? Explique.

Q4.14 Alguns estudantes dizem que a grandeza $m\vec{a}$ é a 'força da aceleração'. É correto dizer que essa grandeza é uma força? Em caso afirmativo, onde essa força é exercida? Em caso negativo, qual é a melhor descrição para essa grandeza?

Q4.15 A aceleração de um corpo em queda livre é medida no interior de um elevador que está subindo com velocidade constante de 9,8 m/s. Que resultado é obtido?

Q4.16 Você pode brincar de segurar uma bola lançada por outra pessoa em um ônibus que se move com velocidade constante em uma estrada retilínea, do mesmo modo como se o ônibus estivesse em repouso. Isso é possível quando o ônibus se move com velocidade constante em uma curva? Explique por que sim ou por que não.

Q4.17 Alguns estudantes afirmam que a força da gravidade sobre um objeto é 9,8 m/s². O que há de errado nessa noção?

Q4.18 A cabeça de um martelo começa a se soltar do cabo. Como você deve bater o cabo em um bloco de concreto para que a cabeça fique firme novamente? Por que isso funciona?

Q4.19 Por que um chute em uma rocha grande pode machucar mais o seu pé do que o chute em uma pedra pequena? A rocha grande *deve* sempre machucar mais? Explique.

Q4.20 'Não é a queda que machuca você; é a brusca parada embaixo.' Traduza isso usando a linguagem das leis de Newton do movimento.

Q4.21 Uma pessoa pode mergulhar na água pulando de uma altura de 10 m, sem se machucar, mas, quando ela pula de uma altura de 10 m e cai sobre um piso de concreto, sofre sérias lesões. Qual é a razão dessa diferença?

Q4.22 Por que, por motivo de segurança, um carro é projetado para sofrer esmagamento na frente e na traseira? Por que não para colisões laterais e capotagens?

Q4.23 Quando uma bala é disparada de uma arma, qual é a origem da força que acelera a bala?

Q4.24 Quando um peso grande é suspenso por um fio no limite de sua elasticidade, puxando-se o fio suavemente o peso pode ser levantado; porém, se você puxar bruscamente, o fio se rompe. Explique isso usando as leis de Newton do movimento.

Q4.25 Um engradado grande é suspenso pela extremidade de uma corda vertical. A tensão na corda é maior quando o engradado está em repouso ou quando ele se move de baixo para cima com velocidade constante? Quando o engradado se move na vertical, a tensão na corda é maior quando o engradado está sendo acelerado ou quando sua velocidade diminui? Explique cada caso usando as leis de Newton do movimento.

Q4.26 Qual pedra sente um puxão maior devido à gravidade da Terra, uma de 10 kg ou outra de 20 kg? Se você as deixar cair, por que a pedra de 20 kg não cai com o dobro da aceleração da pedra de 10 kg? Explique seu raciocínio.

Q4.27 Por que não é correto dizer que 1 kg é *igual* a 9,8 N?

Q4.28 Um cavalo puxa uma carroça. Uma vez que a carroça puxa o cavalo para trás com uma força igual e contrária à força exercida pelo cavalo sobre a carroça, por que a carroça não permanece em equilíbrio, independentemente da intensidade da força com a qual o cavalo puxa a carroça?

Q4.29 Verdadeiro ou falso: você exerce uma força de empurrar P sobre um objeto e ele empurra você de volta com uma força F . Se o objeto está se deslocando a uma velocidade constante, então F é igual a P , mas, se o objeto está em aceleração, então P deve ser maior que F .