Capítulo

11

Os princípios da Dinâmica

Em sua obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Isaac Newton enunciou as três leis fundamentais da Mecânica, conhecidas hoje em dia como as leis de Newton.

11.1 Introdução

Pode haver movimento mesmo na ausência de forças?

11.2 Princípio da inércia (primeira lei de Newton)

Um corpo livre da ação de forças ou está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

11.3 Princípio fundamental da Dinâmica (segunda lei de Newton)

A aceleração adquirida por um corpo tem intensidade proporcional à da força resultante sobre ele, com direção e sentido dessa força resultante.

11.4 Princípio da ação e reação (terceira lei de Newton)

A toda ação corresponde uma reação de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário.

O suíço atravessou o Canal da Mancha em sua parte mais estreita: cerca de 35 km.

O voo do *Jetman*

Voar sempre foi o desejo do ser humano. Esse desejo foi realizado pelo suíço Yves Rossy com um equipamento que inicialmente parece simples, mas é muito complexo. Para desenvolver o equipamento, Yves levou 15 anos até chegar ao seu objetivo.

1 O homem salta do avião a uma altura de aproximadamente 4.000 m com as asas inicialmente dobradas. Acionando um mecanismo, as asas se abrem e então inicia a travessia.

Devido ao tamanho, as asas devem estar dobradas no momento do salto

A navegação é feita através de movimentos do corpo (cabeça, ombros e braços)

2 A turbina é ligada e inicia-se o consumo de combustível, um fator determinante para o sucesso do objetivo. A quantidade de querosene deve ser exata, pois uma carga excessiva deixaria o aparato muito pesado, dificultando a travessia.

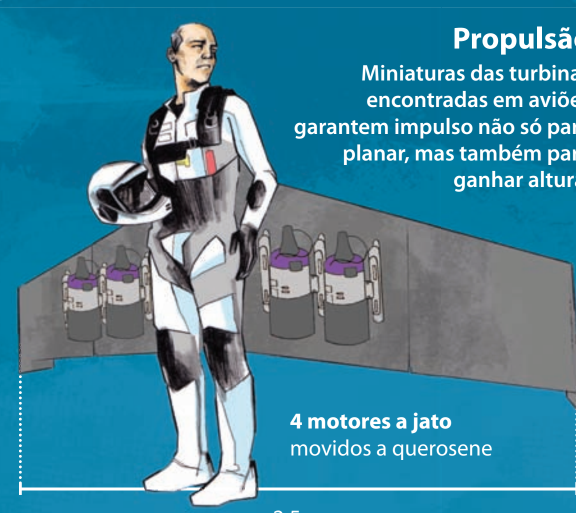
3 O vento pode ajudar ou atrapalhar a travessia. Caso ele esteja no mesmo sentido do *Jetman*, a probabilidade de sucesso aumenta. Se o vento estiver no sentido contrário, o consumo de combustível aumenta, diminuindo as chances.

4 Conforme o *Jetman* vai perdendo altitude, ele precisa se preocupar (também) com os pássaros. Uma colisão frontal a 180 km/h seria fatal! Para se desviar ele usa apenas o corpo para controlar o voo.

5 Depois de tudo ocorrer perfeitamente, a uma altitude de 800 m o paraquedas abre, e o destino final é alcançado com sucesso!

Propulsão

Miniaturas das turbinas encontradas em aviões garantem impulso não só para planar, mas também para ganhar altura.



Para pensar

1. Ao ligar as turbinas o *Jetman* recebe a força propulsora dos jatos expulsos. Explique esse fato tendo em vista a terceira lei de Newton.
2. Se num dado instante o sistema de propulsão fosse desligado e se o *Jetman* ficasse livre da ação de qualquer outra força, o que ocorreria com ele? Em que lei de Newton você se baseou para tirar essa conclusão?
3. Com o paraquedas acionado, o piloto está em movimento de queda livre? Justifique.

Introdução

Objetivos

- Introduzir a definição operacional de massa.
- Comentar sobre a ideia intuitiva do que é força.
- Conhecer os conceitos básicos das teorias de Aristóteles, Galileu e Newton sobre o movimento.

Termos e conceitos

- velocidade
- aceleração
- ponto material
- dinâmica

O vento imprime força sobre as pás do gerador eólico, fazendo com que elas girem.

Nos capítulos anteriores fizemos uma descrição matemática dos movimentos (Cinemática), sem discutir as causas que os produziram ou modificaram. Estudaremos agora a Dinâmica.

> A Dinâmica é a parte da Mecânica que estuda os movimentos e as causas que os produzem ou os modificam.

Consideraremos ainda pontos materiais: corpos cujas dimensões não interferem no estudo de determinado fenômeno. Os pontos materiais possuem **massa**, não devendo ser confundidos com pontos geométricos.

1 Uma noção operacional de massa

Massa é uma grandeza que atribuímos a cada corpo obtida pela comparação do corpo com um padrão, usando-se o princípio da balança de braços iguais (**fig. 1**). O corpo-padrão pode ser o quilograma-padrão.

O quilograma-padrão (**fig. 2**) é um pequeno cilindro de platina (90%) e irídio (10%) mantido no Instituto Internacional de Pesos e Medidas, em Sèvres, nas proximidades de Paris. Por definição, sua massa é **1 quilograma** (símbolo: **kg**).

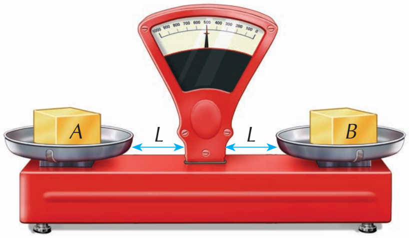


Figura 1. Dois corpos, *A* e *B*, têm massas iguais quando, colocados nos pratos da balança de braços iguais, esta permanece em equilíbrio.

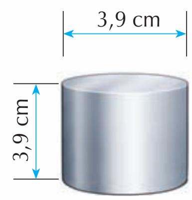


Figura 2. O quilograma-padrão é um cilindro de platina e irídio mantido em Sèvres. Por definição, sua massa é um quilograma (altura = medida do diâmetro = 3,9 cm).

O **grama** (símbolo: **g**) e a **tonelada** (símbolo: **t**) são, respectivamente, um submúltiplo e um múltiplo do quilograma.

$$1\ \text{g} = \frac{1}{1.000}\ \text{kg} = \frac{1}{10^3}\ \text{kg} = 10^{-3}\ \text{kg}$$

$$1\ \text{t} = 1.000\ \text{kg} = 10^3\ \text{kg}$$

Em Dinâmica, além da noção de massa, há também a noção de **força**. A primeira noção de força está associada ao esforço muscular. Quando empurramos um objeto, exercemos força sobre ele. Dentre as forças produzidas de outras maneiras, podemos citar como exemplos a força de ação do vento (ilustrada na figura), a força de atração entre cargas elétricas etc.

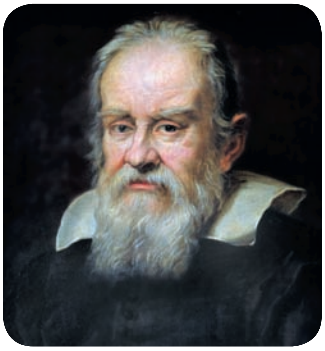
A força é uma grandeza física **vetorial**, sendo, portanto, caracterizada pelos elementos: **módulo** (ou **intensidade**), **direção** e **sentido**.

2 Aristóteles, Galileu e Newton

Aristóteles (384-322 a.C.) elaborou uma teoria, para explicar os movimentos dos corpos, que permaneceu até a Idade Média e apenas no Renascimento começou a ser reavaliada.

Um dos aspectos dessa teoria referia-se ao fato de que um corpo somente estaria em movimento se fosse continuamente impelido por uma força. Realizando experiências, Galileu Galilei (1564-1642) constatou que a tendência natural dos corpos, livres da ação de forças, é permanecer em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Sendo assim, **pode haver movimento mesmo na ausência de forças**. Por exemplo, um pequeno disco lançado sobre uma superfície horizontal (**fig. 3A**), após percorrer certa distância, para devido às forças de atrito e de resistência do ar. Fazendo um polimento nas superfícies de contato, a intensidade da força de atrito diminui e o disco percorre uma distância maior (**fig. 3B**). Se pudéssemos eliminar todo o atrito e a resistência do ar, o disco continuaria indefinidamente em movimento retilíneo uniforme. Na **figura 3C**, o atrito foi reduzido consideravelmente com o emprego da chamada mesa de ar, na qual o ar é soprado de baixo para cima através de uma série de orifícios. Na mesa de ar, forma-se uma pequena camada de ar entre as superfícies, reduzindo-se, assim, o atrito entre elas.

Escultura de Aristóteles (384-322 a.C.).



Retrato de Galileu Galilei (1564-1642).

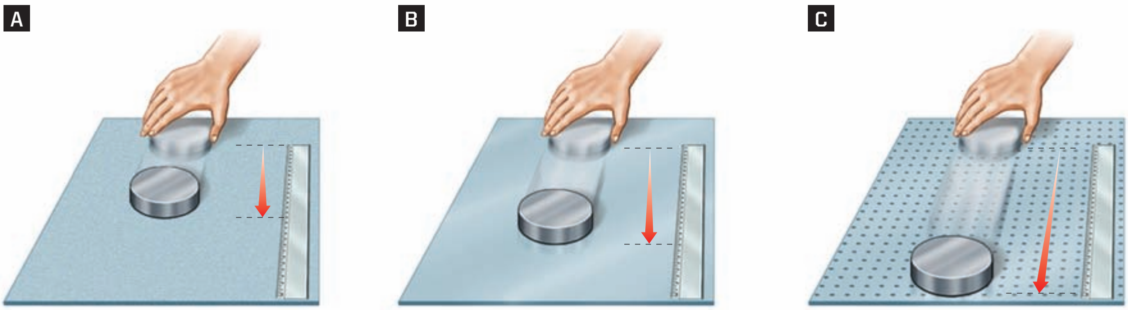


Figura 3.

Isaac Newton

Retrato de *sir* Isaac Newton (1643-1727).

Isaac Newton (1643-1727) nasceu em Woolsthorpe (Inglaterra). Foi educado na Universidade de Cambridge e considerado aluno excelente e aplicado. Durante a grande peste de 1664-1666, fechadas as universidades, Newton produziu intensamente, fazendo descobertas importantes em Matemática (teorema do binômio, cálculo diferencial), em Óptica (teoria da cor) e em Mecânica. Foi presidente da Sociedade Real e chefe da Casa da Moeda da Inglaterra, ajudando na reorganização monetária de seu país. Aceitou e desenvolveu as ideias de Galileu. Em sua obra *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, enunciou as três leis fundamentais do movimento, conhecidas hoje como leis de Newton. Sobre elas se estrutura a **Dinâmica**. A primeira lei de Newton é uma confirmação dos estudos realizados por Galileu.

Seção 11.2

Princípio da inércia (primeira lei de Newton)

Objetivos

- Conceituar ponto material isolado.
- Enunciar a primeira lei de Newton.
- Compreender as causas da mudança de um movimento.
- Entender o conceito de inércia.
- Apresentar o conceito dinâmico de força.

Termos e conceitos

- movimento uniforme
- movimento uniformemente variado
- equilíbrio estático
- equilíbrio dinâmico
- ponto material isolado
- referenciais inerciais
- referenciais não inerciais

Um ponto material é chamado **isolado** quando não existem forças atuando nele ou quando as forças aplicadas ao ponto têm soma vetorial nula.

O **princípio da inércia** (ou **primeira lei de Newton**) estabelece:

> Um ponto material isolado está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

Isso significa que um ponto material isolado possui velocidade vetorial constante. Em outras palavras, um ponto material isolado está em **equilíbrio estático** (repouso) ou em **equilíbrio dinâmico** (movimento retilíneo uniforme).

A aplicação de uma força (ou de um sistema de forças cuja soma vetorial não seja nula) em um ponto material produz nele uma variação de velocidade. Assim, na **figura 3A**, a aplicação de uma força no disco tirou-o do repouso e as forças de atrito reduziram sua velocidade a zero.

A partir dessas noções, podemos apresentar o **conceito dinâmico de força**:

> Força é a causa que produz num corpo variação de velocidade e, portanto, aceleração.

1 Inércia

Um ponto material isolado e em repouso tem a tendência natural de permanecer em repouso. Quando em movimento retilíneo uniforme (MRU), tem a tendência natural de manter constante sua velocidade. Essa propriedade da matéria de resistir a qualquer variação em sua velocidade recebe o nome de **inércia**.

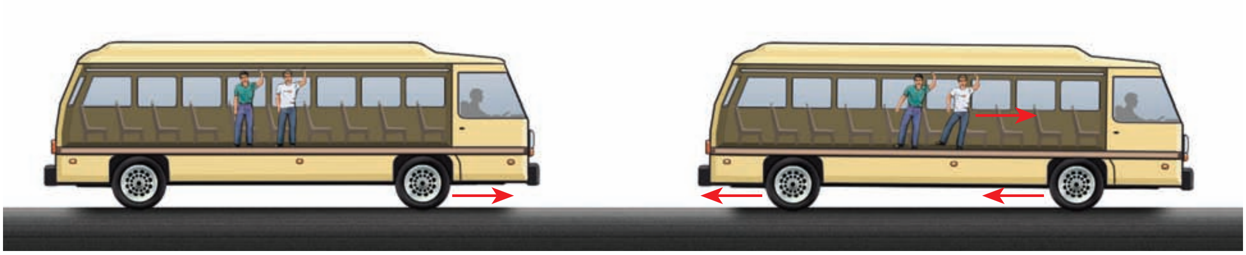
Um corpo em repouso tende, por inércia, a permanecer em repouso; um corpo em movimento tende, por inércia, a continuar em MRU.

Admita um ônibus em MRU em relação ao solo (**fig. 4A**). Quando o ônibus é freado, os passageiros tendem, por inércia, a prosseguir com a velocidade que tinham em relação ao solo. Assim, deslocam-se para a frente em relação ao ônibus (**fig. 4B**). Ao segurarem-se, os passageiros recebem uma força capaz de freá-los.

Figura 4. Por inércia, os passageiros são atirados para a frente quando o ônibus freia.

A

B



Analogamente, quando um carro inicia seu movimento, o motorista sente-se atirado para trás (em relação ao carro) por inércia, pois tende a permanecer na situação de repouso em que se encontrava em relação ao solo. A poltrona aplica no motorista uma força que o acelera.

Quando um cavalo para diante de um obstáculo, o cavaleiro é atirado para a frente por inércia, por ter a tendência de prosseguir com a mesma velocidade (**fig. 5**). Um carro numa curva tende, por inércia, a sair pela tangente, mantendo a velocidade que possuía, a não ser que forças venham a alterar essa velocidade (**fig. 6**).

Figura 5. Por inércia, o cavaleiro tende a prosseguir com sua velocidade.

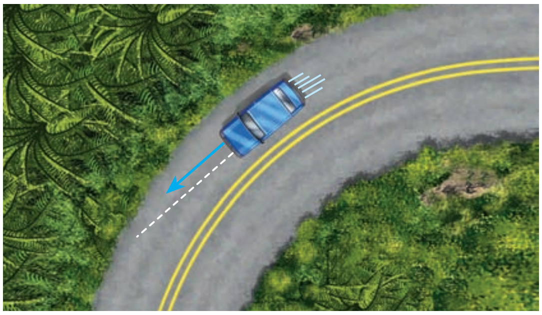


Figura 6. Por inércia, o carro tende a sair pela tangente.

Conteúdo digital Moderna PLUS http://www.modernaplus.com.br
Atividade experimental: *Verificando o princípio da inércia*

2 Referenciais inerciais

Em todos os exemplos anteriores, o equilíbrio e o movimento dos corpos são relativos a referenciais.

Os referenciais para os quais vale o princípio da inércia são chamados **referenciais inerciais**.

Em relação aos referenciais inerciais, um corpo isolado está em repouso ou realiza movimento retilíneo uniforme (MRU). Para variar a velocidade do corpo é necessária a ação de uma força resultante não nula.

Observações astronômicas permitem-nos admitir como inercial um referencial com origem no centro de massa do sistema solar (aproximadamente o centro do Sol) e eixos orientados para três “estrelas fixas”. Essas são estrelas cujas posições relativas no firmamento parecem invariáveis e que assim se têm mantido durante séculos de observações. Tal referencial é chamado **referencial de Copérnico**.

Qualquer referencial que se apresente em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme em relação ao referencial de Copérnico é também inercial.

A Terra não é um referencial inercial, pois, além de seu movimento de rotação, descreve trajetória curva (elipse) em torno do Sol. Entretanto, esses movimentos interferem muito pouco nos movimentos usuais que os corpos realizam na superfície terrestre. Nessas condições, a Terra pode ser considerada um referencial inercial.

Em relação à Terra, suposta um referencial inercial, considere um ônibus em movimento. Quando o ônibus freia, os passageiros, em repouso em relação ao ônibus, são lançados para a frente sem ação de uma força. Isso significa que o ônibus freando não é um referencial inercial, pois em relação a ele há variação de velocidade sem ação de uma força. Analogamente, um ônibus acelerando em relação à Terra não é um referencial inercial. O mesmo ocorre com um ônibus fazendo uma curva.

Na análise de muitos movimentos do cotidiano, a Terra pode ser considerada um referencial inercial.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 79 Uma partícula *A* está livre da ação de forças, enquanto outra partícula *B* está sujeita a duas forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos contrários. É correto afirmar que as partículas estão em repouso?

Solução:
Não, pois no caso temos duas partículas isoladas e, de acordo com o princípio da inércia, as partículas ou estão em repouso ou realizam movimento retilíneo uniforme.

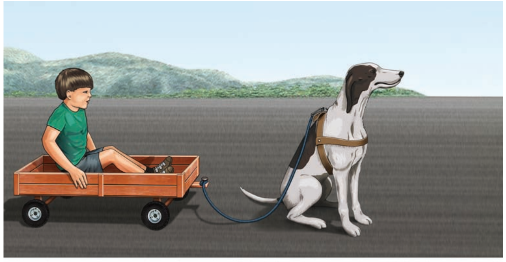
R. 80 Um ponto material está em repouso em relação a um referencial inercial. É necessária a aplicação de uma força para tirá-lo do estado de repouso?

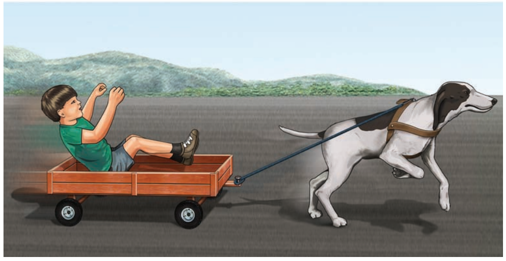
Solução:
Sim. A força aplicada ao ponto é a causa da variação de sua velocidade.

R. 81 É necessária a aplicação de uma força para manter um ponto material em movimento retilíneo uniforme?

Solução:
Não. A força, quando não equilibrada, produz no ponto material variação de velocidade.

R. 82 Observe as cenas abaixo. Comente o que ocorreu com o menino utilizando o conceito de inércia.





Solução:
Quando o cão entra em movimento, o menino, em repouso em relação ao solo, tende por inércia a permanecer em repouso. Note que em relação ao carrinho o menino é atirado para trás.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 230 Nas figuras abaixo (I, II e III), as forças que agem sobre as partículas têm todas o mesmo módulo. As partículas estão todas em movimento. Qual delas está em movimento retilíneo uniforme?

Figura I.

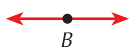


Figura II.

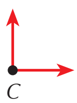


Figura III.

P. 231 Um objeto encontra-se em repouso num plano horizontal perfeitamente liso. Num instante t_0 uma força horizontal de módulo constante é aplicada ao objeto. Sob ação dessa força o objeto é acelerado e, num instante posterior *t*, quando a velocidade do objeto é *v*, a força é retirada. Após o instante *t*, o objeto:

a) para imediatamente.
b) adquire movimento acelerado.
c) prossegue em movimento retilíneo uniforme com velocidade *v*.

Qual das afirmações acima é correta?

P. 232 (Vunesp) Enuncie a lei física à qual o herói da “tirinha” se refere.

Seção 11.3

Princípio fundamental da Dinâmica (segunda lei de Newton)

Objetivos

- Enunciar a segunda lei de Newton.
- Relacionar força, massa e aceleração de um corpo.
- Identificar o peso como uma força.
- Classificar as forças.
- Diferenciar massa inercial de massa gravitacional.

Termos e conceitos

- força resultante
- força de contato
- força de campo
- massa gravitacional
- massa inercial

Newton estabeleceu uma lei básica para a análise geral das causas dos movimentos, relacionando as forças aplicadas a um ponto material de massa *m* constante e as acelerações que provocam. Sendo $\vec{F}_R$ a soma vetorial (resultante) das forças aplicadas e $\vec{a}$ a aceleração adquirida, **a segunda lei de Newton** estabelece:

> A resultante das forças aplicadas a um ponto material é igual ao produto de sua massa pela aceleração adquirida:
>
> $$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

Significa que a força resultante $\vec{F}_R$ produz uma aceleração $\vec{a}$ com **mesma direção e mesmo sentido da força resultante e suas intensidades são proporcionais**.

O enunciado anterior é também conhecido como **princípio fundamental da Dinâmica**. A igualdade vetorial $\vec{F}_R = m\vec{a}$ é a **equação fundamental da Dinâmica**, válida num referencial inercial.

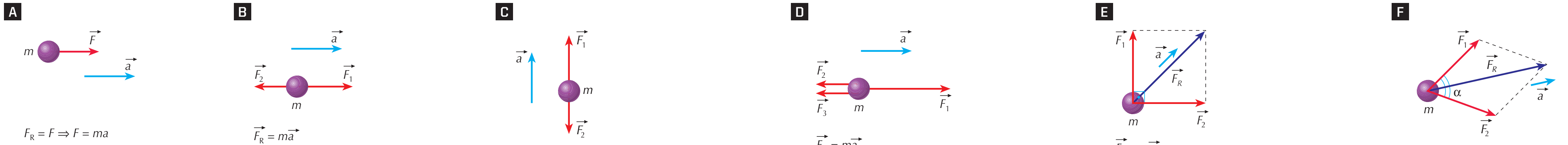
Da equação fundamental ($\vec{F}_R = m\vec{a}$) concluímos que, se aplicarmos em corpos de massas diferentes a mesma força resultante, o corpo de maior massa adquirirá aceleração de menor módulo, isto é, ele resiste mais a variações em sua velocidade. Por isso **a massa é a medida da inércia de um corpo**.

Observe que $\vec{F}_R = m\vec{a}$ é uma igualdade vetorial na qual $\vec{F}_R$ é a soma vetorial das forças que atuam na partícula, como se ilustra no quadro das páginas seguintes. Na **figura 7A**, $\vec{F}_R$ reduz-se à única força que atua no corpo e, nas figuras seguintes, $\vec{F}_R$ é dada pela adição vetorial das forças atuantes.

Na equação fundamental, se a massa *m* estiver em quilograma (kg) e a aceleração, em m/s^2, a unidade de intensidade de força denomina-se **newton** (símbolo: **N**), em homenagem ao célebre cientista inglês.

A ejeção dos gases da combustão aplica no foguete uma força, acelerando-o.

Figura 7. Na equação fundamental da Dinâmica ($\vec{F}_R = m\vec{a}$), $\vec{F}_R$ é a soma vetorial das forças que atuam no corpo, m é a massa (grandeza escalar) e $\vec{a}$ é a aceleração adquirida.



A $F_R = F \Rightarrow F = ma$

B $\vec{F}_R = m\vec{a}$ porém $F_R = F_1 - F_2$; $F_1 - F_2 = ma$

C $\vec{F}_R = m\vec{a}$ porém $F_R = F_1 - F_2$; $F_1 - F_2 = ma$

D $\vec{F}_R = m\vec{a}$ porém $F_R = F_1 - F_2 - F_3$; $F_1 - F_2 - F_3 = ma$

E $\vec{F}_R = m\vec{a}$ porém $F_R^2 = F_1^2 + F_2^2$ (teorema de Pitágoras)

F $\vec{F}_R = m\vec{a}$ porém $F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cdot \cos\alpha$ (lei dos cossenos)

1 O peso é uma força

Quando são abandonados nas vizinhanças do solo, os corpos caem, sofrendo variações de velocidade.

Dizemos então que a Terra interage com esses corpos, exercendo uma força atrativa chamada **peso**, indicada pelo vetor $\vec{P}$ (**fig. 8**). Portanto:

> Peso de um corpo é a força de atração que a Terra exerce sobre ele.

Quando um corpo está em movimento sob ação exclusiva de seu peso $\vec{P}$, ele adquire uma aceleração denominada **aceleração da gravidade** $\vec{g}$. Sendo m a massa do corpo, a equação fundamental da Dinâmica $\vec{F}_R = m\vec{a}$ transforma-se em $\vec{P} = m\vec{g}$, pois a resultante $\vec{F}_R$ é o peso $\vec{P}$ e a aceleração $\vec{a}$ é a aceleração da gravidade $\vec{g}$:

$$\underset{\vec{P}}{\underset{\downarrow}{\vec{F}_R}} = m\underset{\vec{g}}{\underset{\downarrow}{\vec{a}}} \Rightarrow \boxed{\vec{P} = m\vec{g}}$$

Em módulo, temos: $\boxed{P = mg}$

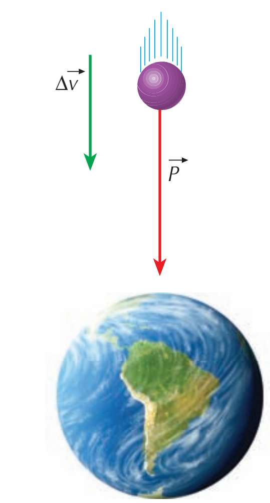


Figura 8. O peso de um corpo é a força de atração da Terra sobre ele.

Reprodução proibida. Art.184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Observe que a **massa** m é uma **grandeza escalar**, e o **peso** $\vec{P}$ é uma **grandeza vetorial**. O peso tem a direção da vertical do lugar onde o corpo se encontra e sentido de cima para baixo. A aceleração $\vec{g}$ tem a mesma direção e sentido de $\vec{P}$.

Sendo o peso uma força, sua intensidade é medida em newtons (N).

É importante distinguir cuidadosamente massa e peso. A massa é uma propriedade invariante do corpo. Contudo, seu peso tem intensidade que depende do valor local de g e varia, ainda que pouco, de um local para outro na Terra (pois na superfície da Terra a aceleração da gravidade aumenta do equador aos polos, conforme explicação a ser dada no Capítulo 17). Nas proximidades da superfície terrestre o valor de g é aproximadamente igual a 9,8 m/s². A massa, no SI, é medida em quilogramas, enquanto o peso, que é uma força, tem sua intensidade medida em newtons.

Em termos rigorosos, é incorreto falar que "o peso de um corpo é 10 kg". Podemos nos referir à massa de 10 kg, cujo peso tem intensidade $10g$ N e depende do valor local de g.

Assim, um corpo de massa 10 kg, num local em que $g = 9{,}8$ m/s², tem peso cuja intensidade é:

$$P = mg = 10 \cdot 9{,}8 \Rightarrow P = 98 \text{ N}$$

Analogamente, um corpo de 49 newtons, no mesmo local, tem massa igual a:

$$P = mg \Rightarrow m = \frac{P}{g} = \frac{49}{9{,}8} \Rightarrow m = 5 \text{ kg}$$

A expressão $\vec{P} = m\vec{g}$ permite determinar o peso de um corpo mesmo quando outras forças, além do peso, atuam sobre o corpo. É o caso, por exemplo, de um corpo em repouso sobre uma mesa ou movendo-se sobre ela.

A partir da **lei das deformações elásticas**, explicada no quadro da página seguinte, podemos medir pesos.

Um corpo de peso $\vec{P}$ colocado na extremidade de uma mola vertical provoca uma deformação (**fig. 9**). Com pesos de intensidades conhecidas, podemos calibrar convenientemente as deformações da mola e construir um aparelho para medir intensidade de forças. Esse aparelho (**fig. 10**) chama-se **dinamômetro** (do grego: *dynamis*, força; *métron*, medida).

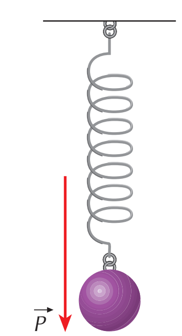


Figura 9.

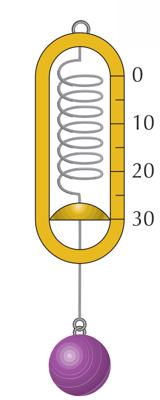
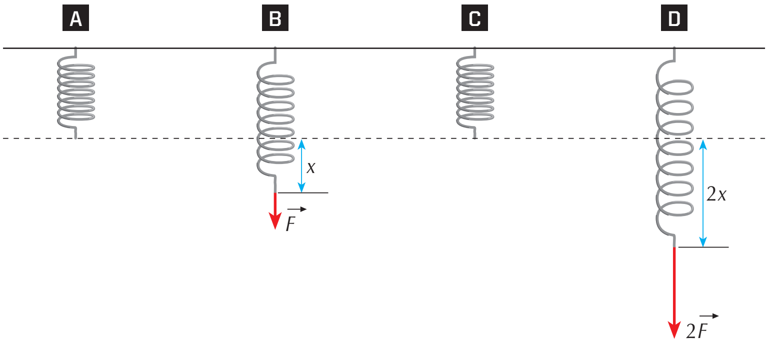


Figura 10.

O dinamômetro (A) é um aparelho destinado a medir intensidade de forças como, por exemplo, a intensidade do peso do corpo suspenso (B).

Deformações elásticas

Considere uma mola vertical presa em sua extremidade superior (**fig. A**). Aplicando-se a força $\vec{F}$ na extremidade inferior da mola (**fig. B**), ela sofre a deformação x. Essa deformação é chamada **elástica** quando, retirada a força $\vec{F}$, a mola retorna à mesma posição (**fig. C**).



O cientista inglês Robert Hooke (1635-1703) estudou as deformações elásticas e chegou à seguinte conclusão: em regime de deformação elástica, a intensidade da força é proporcional à deformação. Isto é, se aplicarmos à mola anterior uma força $2\vec{F}$, obteremos uma deformação $2x$ (**fig. D**), e assim sucessivamente, enquanto a deformação for elástica.

Se F é proporcional a x, podemos escrever: $F = kx$

Nessa fórmula, k é uma constante de proporcionalidade característica da mola, **chamada constante elástica da mola** (unidade: N/m). A fórmula $F = kx$ caracteriza a lei das deformações elásticas, ou lei de Hooke.

2 Classes de forças

Quanto ao modo como são exercidas, as forças podem ser divididas em duas classes: forças de contato e forças de campo*.

Forças de contato

São forças que existem quando duas superfícies entram em contato. Quando empurramos um bloco contra uma parede (**fig. 11A**), há forças de contato entre o bloco e a parede. Analogamente aparecem forças de contato entre uma mesa e um corpo apoiado sobre ela (**fig. 11B**).

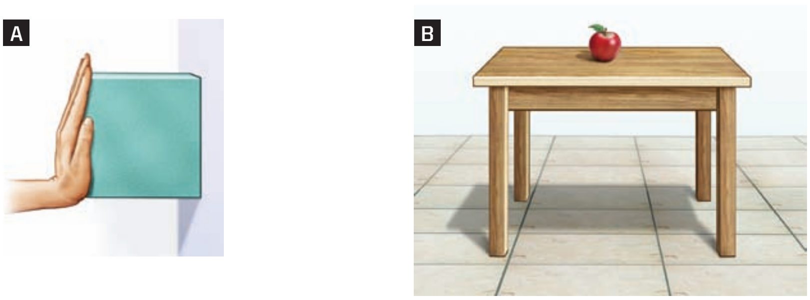


Figura 11.

Forças de campo

São forças que os corpos exercem mutuamente, ainda que estejam distantes uns dos outros. A Terra atrai corpos, exercendo neles forças de campo (**fig. 12**). É possível verificar experimentalmente que corpos eletrizados, como o bastão e a pequena esfera da **figura 13**, exercem mutuamente forças de campo.

* Essas duas classes de forças permitem-nos compreender satisfatoriamente os fenômenos do ponto de vista macroscópico. No volume 3 (capítulo 20), faremos um estudo das forças fundamentais da Natureza.

Figura 12. Campo gravitacional da Terra.

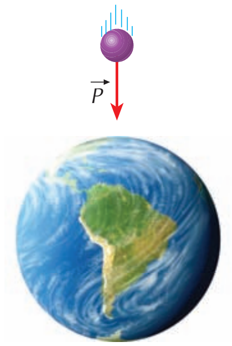


Figura 13. Campo elétrico originado por corpos eletrizados.

No espaço em torno da Terra existe o campo de forças chamado **campo gravitacional terrestre**. A força com que a Terra atrai um corpo (peso do corpo) se deve à interação entre o campo gravitacional terrestre e a massa do corpo.

Reciprocamente, o corpo atrai a Terra devido à interação entre o campo gravitacional do corpo e a massa da Terra. Assim, o campo desempenha o papel de transmissor de interações entre corpos. Analogamente, em torno de cada corpo eletrizado existe um campo de forças denominado **campo elétrico**.

A força que a jogadora exerce ao cortar a bola é uma força de contato.

A força que produz a queda da fruta é uma força de campo.

3 Massa inercial e massa gravitacional

Ao enunciarmos a segunda lei de Newton ($\vec{F} = m\vec{a}$), vimos que a massa m é a medida da inércia de um corpo. Por isso a massa m é denominada **massa inercial**. Entretanto, ao iniciarmos o capítulo, apresentamos a noção operacional de massa como sendo a grandeza que atribuímos a cada corpo pela comparação com um padrão, usando uma balança de braços iguais. A massa do corpo assim definida é denominada **massa gravitacional**, pois, neste caso, estamos fazendo uma comparação entre o peso do corpo e o peso do corpo padrão, isto é, das forças que o campo gravitacional da Terra exerce nos corpos. Observe que ao compararmos os pesos, num mesmo local (mesmo g), estamos comparando as massas.

Embora concebidas de maneiras diferentes, pela segunda lei de Newton $\left(m = \dfrac{F}{a}\right)$ e pelo método da balança, as massas inercial e gravitacional são idênticas, de acordo com experiências realizadas com precisão. Nessas condições, usaremos simplesmente o termo **massa** para nos referirmos tanto à massa inercial quanto à massa gravitacional.

4 Sistema de unidades

Em geral trabalharemos com as unidades **metro (m)**, **quilograma (kg)** e **segundo (s)**, chamadas unidades fundamentais, e com as que delas derivam, tais como m/s, m/s^2, newton (N) etc.

O conjunto dessas unidades constitui um sistema de unidades chamado **MKS** (**M** de metro; **K** de quilograma; e **S** de segundo). A esse sistema foram acrescentadas outras unidades fundamentais, originando o **Sistema Internacional de Unidades**, abreviado pela sigla **SI**. O SI é o sistema de unidades oficialmente adotado no Brasil.

Algumas unidades do Sistema Internacional (SI)	
Tempo: segundo (s)	Massa: quilograma (kg)
Comprimento: metro (m)	Aceleração: m/s^2
Velocidade: m/s	Intensidade de força: newton (N)

Note que 1 N corresponde aproximadamente ao peso de um corpo de massa 100 g = 0,1 kg:

$$\begin{cases} m = 100 \text{ g} = 0{,}1 \text{ kg} \\ g \simeq 10 \text{ m/s}^2 \end{cases} \Rightarrow P = mg = 0{,}1 \cdot 10 \Rightarrow P = 1 \text{ N}$$

Eventualmente usamos a unidade **dina** (símbolo: **dyn**) quando a massa está em gramas e a aceleração em cm/s^2. Essas unidades pertencem ao sistema **CGS** (**C** de centímetro; **G** de grama; e **S** de segundo).

Relação entre newton e dina

Na equação fundamental da Dinâmica, se $m = 1$ kg e $a = 1$ m/s^2, temos:

$$F_R = ma \Rightarrow \boxed{1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2}$$

Sendo 1 kg = 10^3 g e 1 m/s^2 = 10^2 cm/s^2, vem:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 10^3 \text{ g} \cdot 10^2 \text{ cm/s}^2 = 10^5 \underbrace{\text{g} \cdot \text{cm/s}^2}_{\text{dina}}$$

Portanto:

$$\boxed{1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn} \text{ ou } 1 \text{ newton} = 100.000 \text{ dinas}}$$

Existe ainda o **sistema técnico** de unidades, no qual a intensidade da força é expressa em **quilograma-força** (símbolo: **kgf**), a massa em **unidade técnica de massa** (símbolo: **utm**) e a aceleração em **m/s^2**.

Um quilograma-força é a intensidade do peso de um corpo de massa 1 kg ao nível do mar e a uma latitude de 45°. Nesse local a aceleração da gravidade é chamada **aceleração normal**, e seu valor é, aproximadamente, 9,8 m/s^2.

Um quilograma-força corresponde a aproximadamente 9,8 newtons:

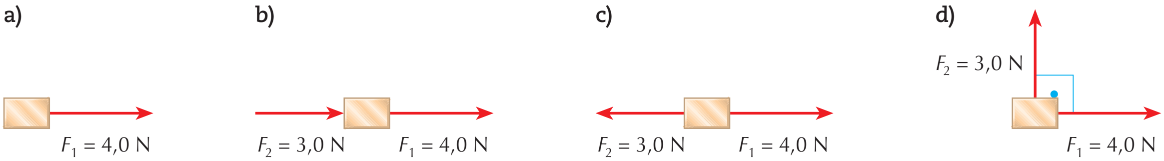
$$\boxed{1 \text{ kgf} \simeq 9{,}8 \text{ N}}$$

Uma unidade técnica de massa corresponde a aproximadamente 9,8 quilogramas:

$$\boxed{1 \text{ utm} \simeq 9{,}8 \text{ kg}}$$

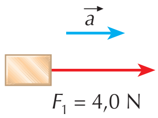
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 83 Nas figuras abaixo, representamos as forças que agem nos blocos (todos de massa igual a 2,0 kg). Determine, em cada caso, o módulo da aceleração que esses blocos adquirem.



Solução:

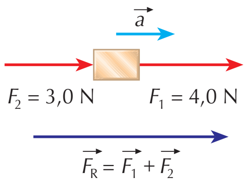
a)



Nesse caso, a força $\vec{F}_1$ é a força resultante $\vec{F}_R$ que produz a aceleração $\vec{a}$.
Pela equação fundamental da Dinâmica, temos: $\vec{F}_R = m\vec{a}$. Em módulo:

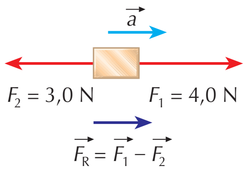
$$F_R = ma \Rightarrow F_1 = ma \Rightarrow 4,0 = 2,0 \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 2,0 \text{ m/s}^2}$$

b)



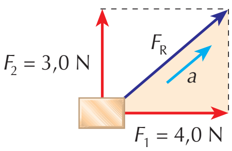
$$F_R = ma \Rightarrow F_1 + F_2 = ma \Rightarrow 4,0 + 3,0 = 2,0 \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 3,5 \text{ m/s}^2}$$

c)



$$F_R = ma \Rightarrow F_1 - F_2 = ma \Rightarrow 4,0 - 3,0 = 2,0 \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 0,50 \text{ m/s}^2}$$

d)



Nesse caso, como $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ têm direções diferentes, a força resultante $\vec{F}_R$ é obtida com o emprego da regra do paralelogramo.
Aplicando o teorema de Pitágoras ao triângulo destacado, temos:

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 \Rightarrow F_R^2 = (4,0)^2 + (3,0)^2 \Rightarrow F_R^2 = 25 \Rightarrow F_R = 5,0 \text{ N}$$

$$F_R = ma \Rightarrow 5,0 = 2,0 \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 2,5 \text{ m/s}^2}$$

Em todos os casos, a aceleração $\vec{a}$ tem a direção e o sentido da respectiva força resultante $\vec{F}_R$.

Respostas: a) 2,0 m/s^2; b) 3,5 m/s^2; c) 0,50 m/s^2; d) 2,5 m/s^2

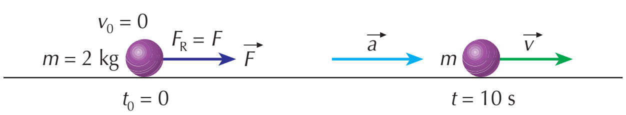
R. 84 Um ponto material de massa igual a 2 kg parte do repouso sob a ação de uma força constante de intensidade 6 N, que atua durante 10 s, após os quais deixa de existir. Determine:

a) a aceleração nos 10 s iniciais;
b) a velocidade ao fim de 10 s.

Solução:

a) De $F_R = ma$, sendo $F_R = F = 6$ N e $m = 2$ kg, vem:

$$F = ma \Rightarrow 6 = 2 \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 3 \text{ m/s}^2}$$



b) Ao fim de 10 s a velocidade do corpo é: $v = v_0 + at$ (sendo $v_0 = 0$, $a = 3$ m/s^2 e $t = 10$ s)

$$v = 3 \cdot 10 \Rightarrow \boxed{v = 30 \text{ m/s}}$$

Respostas: a) 3 m/s^2; b) 30 m/s

R. 85 Uma partícula de massa 0,50 kg realiza um movimento retilíneo uniformemente variado. Num percurso de 4,0 m sua velocidade varia de 3,0 m/s a 5,0 m/s. Qual é o módulo da força resultante que age sobre a partícula?

Solução:
Utilizando a equação de Torricelli, podemos determinar a aceleração escalar α:

$$v_2 = v_0^2 + 2\alpha\Delta s \Rightarrow (5,0)^2 = (3,0)^2 + 2\alpha \cdot 4,0 \Rightarrow \alpha = 2,0 \text{ m/s}^2$$

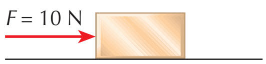
Sendo o movimento retilíneo, resulta: $a = |\alpha| = 2,0 \text{ m/s}^2$
Pela equação fundamental da Dinâmica calculamos o módulo da força resultante:

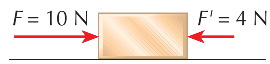
$$F_R = ma \Rightarrow F_R = 0,50 \cdot 2,0 \Rightarrow \boxed{F_R = 1,0 \text{ N}}$$

Resposta: 1,0 N

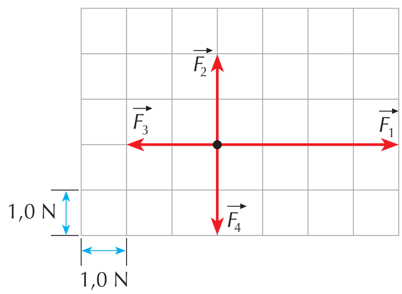
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 233 Determine a aceleração de um bloco de massa 2 kg e que desliza, num plano horizontal sem atrito, nas situações indicadas abaixo:

a) 

b) 

P. 234 Uma partícula de massa 0,20 kg é submetida à ação das forças $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$, conforme indica a figura. Determine a aceleração da partícula.



P. 235 (UFMG) Submete-se um corpo de massa igual a 5.000 kg à ação de uma força constante que, a partir do repouso, lhe imprime a velocidade de 72 km/h, ao fim de 40 s. Determine:
a) a intensidade da força;
b) o espaço percorrido.

P. 236 Qual é o valor, em newtons, da força média necessária para fazer parar, num percurso de 20 m, um automóvel de $1,5 \cdot 10^3$ kg a uma velocidade de 72 km/h?

P. 237 Um astronauta, utilizando um dinamômetro, determina o peso de um corpo na Terra (**fig. I**) e na Lua (**fig. II**), encontrando os valores 4,9 N e 0,80 N, respectivamente. Sendo a aceleração da gravidade na superfície da Terra 9,8 m/s², determine:
a) a massa do corpo;
b) a aceleração da gravidade na superfície da Lua.


Figura I.

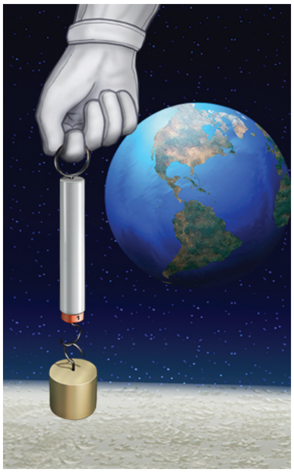


Figura II.

Princípio da ação e reação (terceira lei de Newton)

Objetivos

- Enunciar a terceira lei de Newton.
- Identificar os pares de ação e reação nos exemplos cotidianos.

Termos e conceitos

- **força normal**
- **força de tração**
- **fio ideal**

Sempre que dois corpos quaisquer *A* e *B* interagem, as forças exercidas são mútuas. Tanto *A* exerce força em *B*, como *B* exerce força em *A*. A interação entre corpos é regida pelo **princípio da ação e reação** (ou **terceira lei de Newton**), como veremos no quadro seguinte.

Toda vez que um corpo *A* exerce uma força $\vec{F}_A$ num corpo *B*, este também exerce em *A* uma força $\vec{F}_B$ tal que essas forças:

a) têm a mesma intensidade: $|\vec{F}_A| = |\vec{F}_B| = F$;

b) têm a mesma direção;

c) têm sentidos opostos: $\vec{F}_A = -\vec{F}_B$;

d) têm a mesma natureza, sendo ambas de campo ou ambas de contato.

$|\vec{F}_A| = |\vec{F}_B| = F$ e $\vec{F}_A = -\vec{F}_B$

Uma das forças é chamada de **ação** e a outra de **reação**.

Quando a pessoa salta do barco para a margem, o barco movimenta-se em sentido oposto, de acordo com o princípio da ação e reação.

Ao ejetar os gases em combustão num sentido, a nave movimenta-se em sentido oposto, o que se explica pelo princípio da ação e reação.

Ao receber a bolada (ação), o rosto do jogador também exerce uma força (reação) sobre a bola.

Vejamos algumas aplicações do princípio da ação e reação.

Um corpo próximo à superfície da Terra é atraído por ela: a Terra exerce sobre ele a força peso $\vec{P}$ (**fig. 14**). Pelo princípio da ação e reação, o corpo também exerce na Terra uma força, de mesma intensidade e de mesma direção, mas de sentido contrário: $-\vec{P}$. Na **figura 15**, a Terra atrai o corpo com a força $\vec{P}$ e o corpo atrai a Terra com a força $-\vec{P}$.

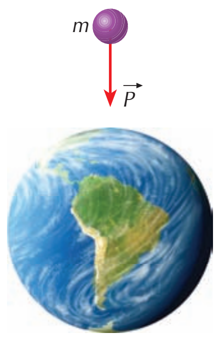


Figura 14. **A Terra atrai o corpo com o peso $\vec{P}$...**

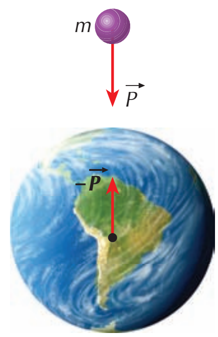


Figura 15. **... e o corpo atrai a Terra com a força $-\vec{P}$.**

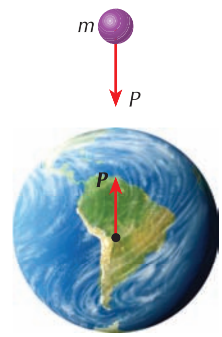


Figura 16. **As forças $\vec{P}$ e $-\vec{P}$ têm a mesma intensidade P, mas sentidos opostos.**

As chamadas forças de ação e reação não estão aplicadas no mesmo corpo. Observe que **a reação do peso de um corpo está aplicada no centro da Terra**.

Por que não se equilibram as forças $\vec{P}$ e $-\vec{P}$?

Não se equilibram porque estão aplicadas em corpos diferentes: uma no corpo, outra na Terra (**fig. 15**).

As forças de ação e reação não se equilibram, pois estão aplicadas em corpos diferentes.

Você também é atraído pela Terra, e pelo princípio da ação e reação você atrai a Terra. No entanto, como sua massa é muito menor que a da Terra, é considerável o seu deslocamento e desprezível o da Terra.

Conteúdo digital Moderna PLUS http://www.modernaplus.com.br
Atividade experimental: *Verificando o princípio da ação e reação*

Força normal

E se o corpo estiver apoiado numa superfície horizontal, como a mesa da **figura 17**? Nesse caso, além da ação de campo da Terra, o corpo tem ação de contato com o apoio. A reação do peso do corpo continua aplicada no centro da Terra (**fig. 18**). Atraído pela Terra, o corpo exerce no apoio a força de intensidade F_N, enquanto o apoio exerce no corpo outra força, de sentido contrário mas de igual intensidade F_N (**fig. 19**).

Desse modo, no corpo atuam duas forças: $\vec{P}$ (ação da Terra) e $\vec{F}_N$ (ação do apoio). A reação do peso $\vec{P}$ está aplicada no centro da Terra e a reação da força $\vec{F}_N$ está aplicada no apoio (**fig. 20**).

Apliquemos a equação fundamental da Dinâmica $\vec{F}_R = m\vec{a}$ ao corpo apoiado na mesa. Como ele está em repouso, decorre que $\vec{a} = \vec{0}$. Se $\vec{a} = \vec{0}$, a resultante $\vec{F}_R$ também deve ser nula, o que ocorre se $F_N = P$. As forças $\vec{F}_N$ e $\vec{P}$ podem equilibrar-se, pois estão no mesmo corpo e não são um par ação e reação.

A força de contato $\vec{F}_N$, por ser perpendicular à superfície de contato, é chamada **força normal** ou **reação normal do apoio**.

Figura 17. Num corpo apoiado...

Figura 18. ... existe o peso $\vec{P}$, cuja reação está aplicada no centro da Terra...

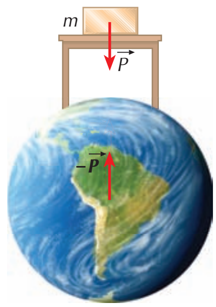


Figura 19. ... e a força de contato $\vec{F}_N$, cuja reação está no apoio.

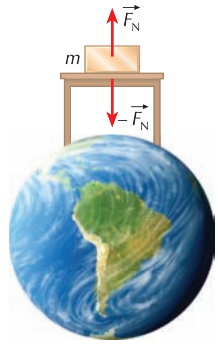
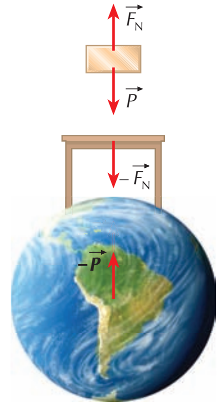


Figura 20. No corpo apoiado existe $\vec{P}$ (ação de campo) e $\vec{F}_N$ (ação de contato), cujas intensidades são P e F_N.



Consideremos agora um corpo de peso $\vec{P}$ suspenso por um fio inextensível de peso $\vec{P}_f$ cuja extremidade esteja ligada ao teto (**fig. 21**). No corpo existem duas forças: o peso $\vec{P}$, força de campo da Terra, e $\vec{T}_1$, força de contato com o fio (**fig. 22**). Se o corpo está em equilíbrio:

$$P = T_1 \text{ (pois a resultante } \vec{F}_R \text{ deve ser nula)}$$

Vamos chamar de $\vec{T}_2$ a força que o fio exerce no teto (**fig. 23**). Assim, no fio há três forças: o peso do fio $\vec{P}_f$, a força de contato $-\vec{T}_1$ (devida ao corpo) e a força de contato $-\vec{T}_2$ (devida ao teto). Como o fio está em equilíbrio, decorre:

$$\vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_R = \vec{0} \Rightarrow |\vec{P}_f| + |-\vec{T}_1| = |-\vec{T}_2| \Rightarrow P_f + T_1 = T_2$$

Se o peso do fio inextensível for desprezível, isto é, $P_f \simeq 0$ (fio ideal), resultará:

$$T_1 = T_2 = T$$

Sendo assim, num fio ideal (inextensível e de massa desprezível) as forças de contato em seus extremos têm a mesma intensidade T e são chamadas **forças de tração** no fio, pois tendem a alongá-lo. A finalidade de um fio é **transmitir** forças. Na **figura 24**, a força de tração que o corpo aplica no fio é transmitida ao teto.

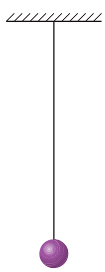


Figura 21. Um corpo suspenso por um fio.

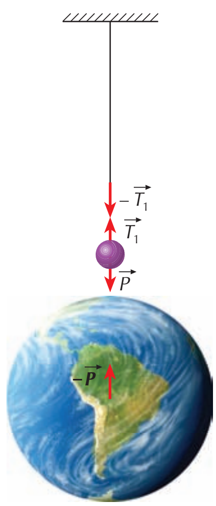


Figura 22. No corpo atuam $\vec{P}$ e $\vec{T}_1$, cujas intensidades são P e T_1.

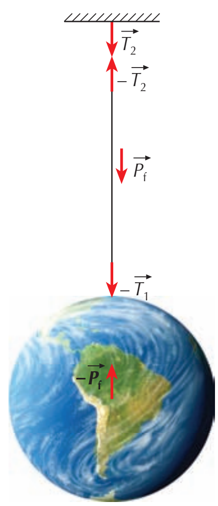


Figura 23. No fio atuam $\vec{P}_f$, $-\vec{T}_1$ e $-\vec{T}_2$, cujas intensidades são P_f, T_1 e T_2.

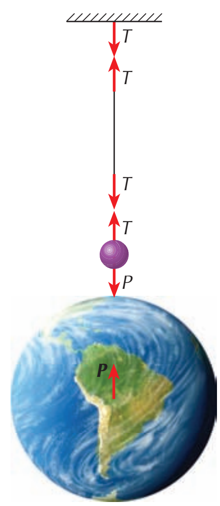


Figura 24. Se o fio for ideal, as forças em suas extremidades terão mesma intensidade.

Críticas à Mecânica Clássica

As leis de Newton constituem os fundamentos da Mecânica Clássica. Dão uma boa aproximação quando aplicadas para interpretar muitos fenômenos comuns no dia a dia. Para a Engenharia, por exemplo, são bastante adequadas.

Entretanto, de acordo com a teoria da relatividade de Einstein (1879-1955), a massa é função da velocidade, fato que Newton desconhecia. Porém, para velocidades bem inferiores à da luz, podemos considerar a massa praticamente constante, sendo, portanto, válida a equação fundamental da Dinâmica.

Ainda pela relatividade, sabemos que nenhuma informação pode ser transmitida com velocidade superior à da luz no vácuo. Logo, o princípio da ação e reação é falho quando aplicado às forças de campo a longa distância. Os pares ação e reação não são simultâneos, levando um determinado tempo para a propagação da interação. Esse fato não foi discutido por Newton. Mesmo assim, trabalharemos com esse princípio e os demais da Mecânica Clássica de Newton, pois eles continuam válidos para o comportamento macroscópico e global da matéria.

Conteúdo digital Moderna PLUS http://www.modernaplus.com.br
História da Física: *Isaac Newton*

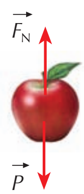
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 86 Na figura abaixo, temos uma maçã sobre uma mesa.

a) Represente todas as forças que agem sobre a maçã.

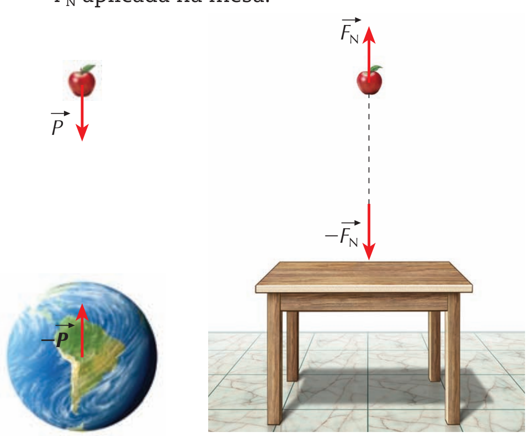
b) Onde estão aplicadas as correspondentes reações?

Solução:



a) Sobre a maçã agem o peso $\vec{P}$ e a força normal $\vec{F}_N$.

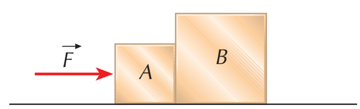
b) A reação do peso $\vec{P}$ da maçã é a força $-\vec{P}$ aplicada no centro da Terra. A reação da força normal $\vec{F}_N$ é a força $-\vec{F}_N$ aplicada na mesa:



R. 87 Dois blocos A e B, de massas respectivamente iguais a 2 kg e 3 kg, estão apoiados numa superfície horizontal perfeitamente lisa. Uma força horizontal $\vec{F}$, de intensidade constante $F = 10$ N, é aplicada no bloco A. Determine:

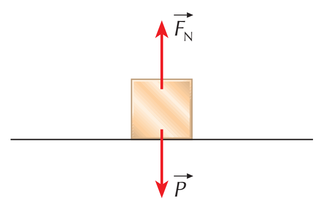
a) a aceleração adquirida pelo conjunto;

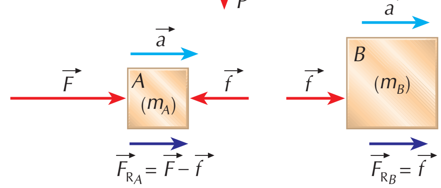
b) a intensidade da força que A aplica em B.



Solução:

a) Para aplicarmos a equação fundamental da Dinâmica $\vec{F}_R = m\vec{a}$, devemos analisar as forças que agem em cada bloco.





Em cada bloco, o peso $\vec{P}$ e a força normal $\vec{F}_N$ anulam-se; por isso vamos considerar apenas as forças horizontais, pois a solicitação inicial $\vec{F}$ é horizontal. Em A existe a força externa de intensidade F, cuja reação está no agente externo que a produziu, e a força de reação de intensidade f correspondente à sua ação de contato em B. Em B existe horizontalmente apenas a força de intensidade f, ação de A em B.

A intensidade da resultante das forças em A é $F - f$, pois $\vec{F}$ tem o mesmo sentido da aceleração $\vec{a}$, enquanto f se opõe. Em B a resultante é apenas f.

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

$$\begin{array}{lrcll} \text{Bloco A:} & F - f & = & m_A a & ① \quad + \\ \text{Bloco B:} & f & = & m_B a & ② \\ \hline & F & = & (m_A + m_B) \cdot a & ③ \end{array}$$

Como $F = 10$ N, $m_A = 2$ kg e $m_B = 3$ kg, vem:

$$10 = (2 + 3) \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 2 \text{ m/s}^2}$$

b) A intensidade f da força de A em B pode ser obtida por qualquer uma das equações (① ou ②) anteriores. Em ②:

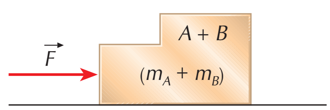
$$f = m_B a = 3 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{f = 6 \text{ N}}$$

Respostas: a) 2 m/s²; b) 6 N

Observações:

(1) Numa interação desse tipo, o corpo A não transmite integralmente a força $\vec{F}$ a B; a diferença entre o que A recebe e transmite é o que lhe comunica aceleração.

(2) Um cálculo rápido da aceleração pode ser feito considerando A e B como um único corpo; nessas condições, a força f não interfere no cálculo, pois passa a ser uma força interna ao conjunto de blocos A e B. Assim:



$$\vec{F}_R = m\vec{a} \Rightarrow F = (m_A + m_B) \cdot a \Rightarrow$$

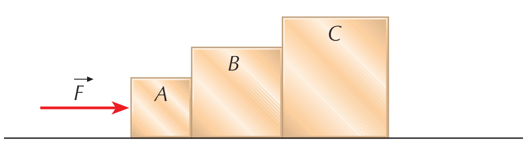
$$\Rightarrow 10 = (2 + 3) \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 2 \text{ m/s}^2}$$

R. 88 Três corpos A, B e C de massas $m_A = 1$ kg, $m_B = 3$ kg e $m_C = 6$ kg estão apoiados numa superfície horizontal perfeitamente lisa. A força horizontal $\vec{F}$, de intensidade constante $F = 5$ N, é aplicada ao primeiro bloco A. Determine:

a) a aceleração adquirida pelo conjunto;

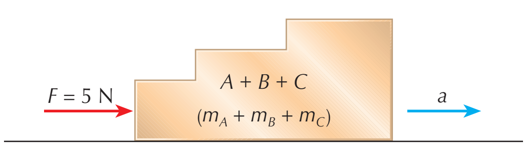
b) a intensidade da força que A exerce em B;

c) a intensidade da força que B exerce em C.



Solução:

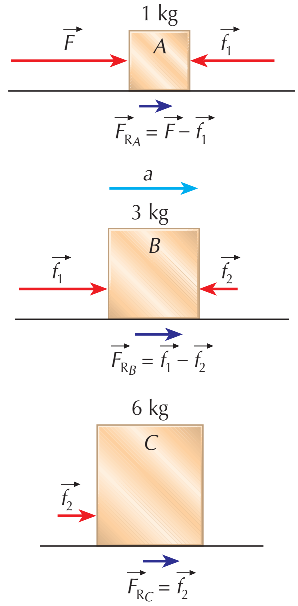
Assim como no exercício anterior, o peso de cada bloco é anulado pela reação normal do apoio. Para a determinação da aceleração, consideremos o sistema de corpos como um único bloco de massa $m_A + m_B + m_C = 10$ kg. Pela equação fundamental da Dinâmica:



$$\vec{F}_R = m\vec{a} \Rightarrow F = (m_A + m_B + m_C) \cdot a \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 5 = 10a \Rightarrow \boxed{a = 0{,}5 \text{ m/s}^2}$$

Para determinarmos as interações entre os corpos, devemos analisar cada um separadamente.



Seja f_1 a intensidade da força de A sobre B, e f_2 a de B em C: $\vec{F}_R = m\vec{a}$

Para C:

$$f_2 = m_C a = 6 \cdot 0{,}5 \Rightarrow \boxed{f_2 = 3 \text{ N}}$$

Para B:

$$f_1 - f_2 = m_B a$$

$$f_1 - 3 = 3 \cdot 0{,}5$$

$$f_1 = 3 + 1{,}5$$

$$\boxed{f_1 = 4{,}5 \text{ N}}$$

Respostas: a) 0,5 m/s²; b) 4,5 N; c) 3 N

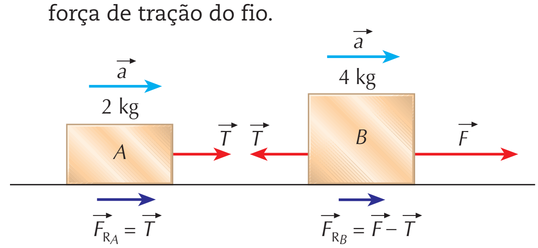
R. 89 Dois corpos A e B de massas iguais a $m_A = 2$ kg e $m_B = 4$ kg estão apoiados numa superfície horizontal perfeitamente lisa. O fio que liga A a B é ideal, isto é, de massa desprezível e inextensível. A força horizontal $\vec{F}$ tem intensidade igual a 12 N, constante. Determine:

a) a aceleração do sistema;

b) a intensidade da força de tração do fio.

Solução:

a) Vamos analisar as forças em cada bloco. Em cada corpo o peso e a normal anulam-se; por isso vamos considerar apenas as forças horizontais: força de tração do fio em A e, em B, a força $\vec{F}$ e a força de tração do fio.



Sendo $m_A = 2$ kg, a equação fundamental da Dinâmica aplicada ao corpo A fornece:

$$\vec{F}_R = m\vec{a} \Rightarrow T = m_A a \Rightarrow T = 2a \quad ①$$

Os corpos A e B possuem a mesma aceleração, pois o fio é inextensível: no mesmo intervalo de tempo, A e B percorrem as mesmas distâncias e atingem a mesma velocidade. Em B, $\vec{F}$ tem o mesmo sentido da aceleração $\vec{a}$, enquanto a tração $\vec{T}$ opõe-se a $\vec{a}$. Assim, sendo $m_B = 4$ kg, a equação fundamental da Dinâmica aplicada a B fornece:

$$\vec{F}_R = m\vec{a} \Rightarrow F - T = m_B a \Rightarrow F - T = 4a \quad ②$$

Resolvendo o sistema de equações ① e ②, vem:

$$\begin{cases} T = 2a \\ F - T = 4a \end{cases} +$$

$$F = 6a \quad ③$$

$$12 = 6a$$

$$\boxed{a = 2 \text{ m/s}^2}$$

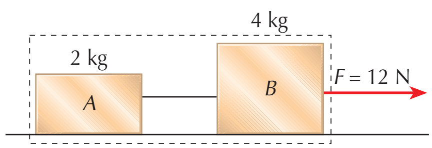
b) A intensidade da força de tração do fio pode ser obtida por uma das equações (① ou ②). Em ①:

$$T = 2a \Rightarrow T = 2 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{T = 4 \text{ N}}$$

Respostas: a) 2 m/s²; b) 4 N

Observações:

- A equação $F = (m_A + m_B) \cdot a$ possibilita o cálculo da aceleração de um modo mais rápido, considerando A e B como um único bloco:

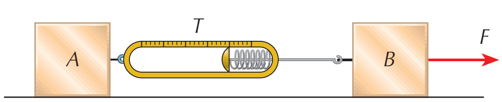


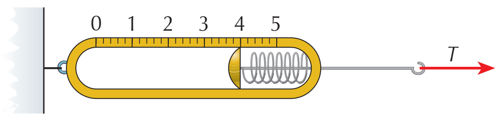
$$F = (m_A + m_B) \cdot a \Rightarrow 12 = (2 + 4) \cdot a \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 12 = 6a \Rightarrow \boxed{a = 2 \text{ m/s}^2}$$

- Anteriormente dissemos que o dinamômetro é um instrumento que mede intensidades de forças (veja página 203). Inserindo um dinamômetro num fio que liga os corpos A e B, ele medirá a intensidade da força de tração T do fio que se transmite de um corpo a outro. Assim:

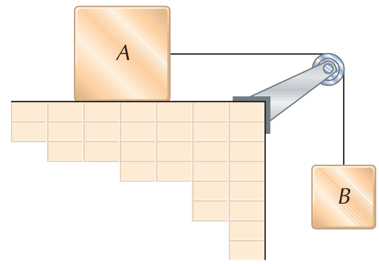
Inserido num fio ideal, um dinamômetro mede a intensidade da força de tração do fio.





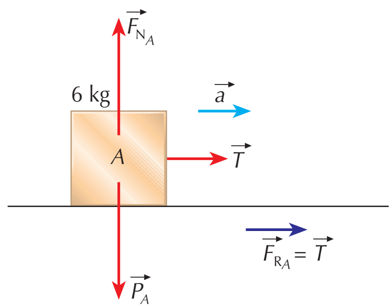
Considere o dinamômetro como um aparelho ideal: sua massa é desprezível.

R. 90 Os corpos A e B da figura têm massas respectivamente iguais a $m_A = 6$ kg e $m_B = 2$ kg. O plano de apoio é perfeitamente liso e o fio é inextensível e de peso desprezível. Não há atrito entre o fio e a polia, considerada sem inércia. Adote $g = 10$ m/s². Determine a aceleração do conjunto e a tração do fio.



Solução:

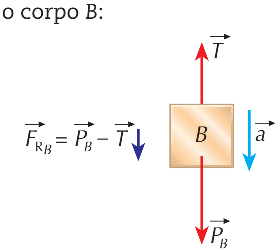
Consideremos separadamente cada corpo.



Em A, a força normal $\vec{F}_{N_A}$ anula a ação do peso, pois não há movimento vertical. Pela equação fundamental da Dinâmica, e sendo $m_A = 6$ kg, vem:

$$T = m_A a \Rightarrow T = 6a \quad ①$$

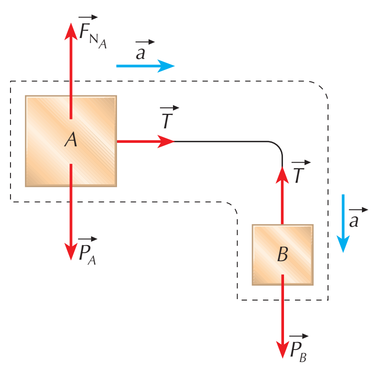
Considere o corpo B:



Sua aceleração é a mesma de A, pois o fio é inextensível: no mesmo intervalo de tempo, A e B percorrem as mesmas distâncias e atingem a mesma velocidade.

O peso $\vec{P}_B$ tem o mesmo sentido da aceleração $\vec{a}$, e a tração $\vec{T}$ opõe-se a $\vec{a}$; logo, pela equação fundamental, e sendo $m_B = 2$ kg, vem:

$$\vec{F}_R = m\vec{a} \Rightarrow P_B - T = m_B a \Rightarrow P_B - T = 2a \quad ②$$



Resolvendo o sistema de equações ① e ②, vem:

$$\begin{cases} T = 6a \\ P_B - T = 2a \end{cases} +$$
$$P_B = 8a \quad ③$$

Mas: $P_B = m_B g = 2 \cdot 10 \Rightarrow P_B = 20$ N

Substituindo esse resultado em ③, vem:

$$20 = 8a \Rightarrow \boxed{a = 2{,}5 \text{ m/s}^2}$$

Substituindo em ①, obtemos:

$$T = 6a = 6 \cdot 2{,}5 \Rightarrow \boxed{T = 15 \text{ N}}$$

Resposta: 2,5 m/s^2; 15 N

Observação:
Pela equação $P_B = (m_A + m_B) \cdot a$, podemos propor um cálculo rápido da aceleração, considerando A e B como um único bloco.

$$P_B = (m_A + m_B) \cdot a$$

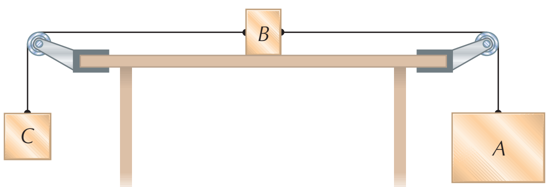
Como $m_A + m_B = 6$ kg $+ 2$ kg $= 8$ kg, obtemos:

$$P_B = 8a \Rightarrow 20 = 8a \Rightarrow \boxed{a = 2{,}5 \text{ m/s}^2}$$

R. 91 No arranjo experimental da figura, os corpos A, B e C têm, respectivamente, massas iguais a $m_A = 5$ kg, $m_B = 2$ kg e $m_C = 3$ kg. A aceleração da gravidade é 10 m/s^2. Os fios são inextensíveis e de inércia desprezível; não há atrito entre os fios e as polias; o plano horizontal é perfeitamente liso. Determine:

a) a aceleração do sistema de corpos;

b) as trações nos fios.



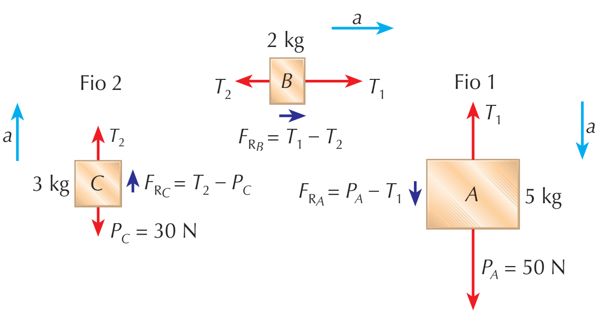
Solução:

a) O peso de B é anulado pela reação normal do apoio; porém, os pesos P_A e P_C são forças externas ativas. P_A é maior que P_C:

$$m_A = 5 \text{ kg} \Rightarrow P_A = m_A g = 50 \text{ N}$$
$$m_C = 3 \text{ kg} \Rightarrow P_C = m_C g = 30 \text{ N}$$

Se o sistema partir do repouso, o corpo B move-se da esquerda para a direita, pois o peso de A é maior que o de C.

Vamos analisar cada corpo separadamente. No caso, há duas trações, pois temos dois fios:



A equação fundamental da Dinâmica aplicada a cada corpo fornece:

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

Corpo A: $P_A - T_1 = m_A a \Rightarrow 50 - T_1 = 5a$ ①

Corpo B: $T_1 - T_2 = m_B a \Rightarrow T_1 - T_2 = 2a$ ②

Corpo C: $T_2 - P_C = m_C a \Rightarrow T_2 - 30 = 3a$ ③

Resolvendo o sistema de equações ①, ② e ③, vem:

$$\begin{cases} 50 - T_1 = 5a \\ T_1 - T_2 = 2a \\ T_2 - 30 = 3a \end{cases} +$$
$$50 - 30 = (5 + 2 + 3) \cdot a \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 20 = 10a \Rightarrow \boxed{a = 2 \text{ m/s}^2}$$

b) De ①: $50 - T_1 = 5 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{T_1 = 40 \text{ N}}$

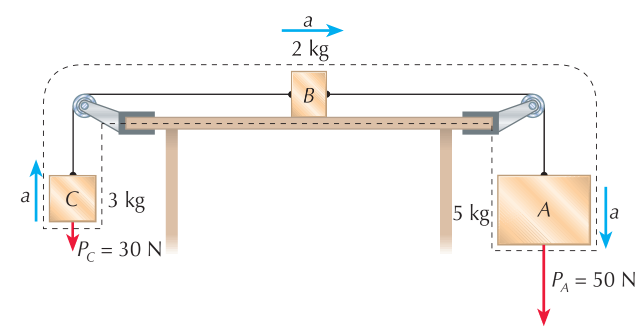
De ②: $T_2 - 30 = 3 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{T_2 = 36 \text{ N}}$

Respostas: a) 2 m/s^2; b) $T_1 = 40$ N; $T_2 = 36$ N

Observações:

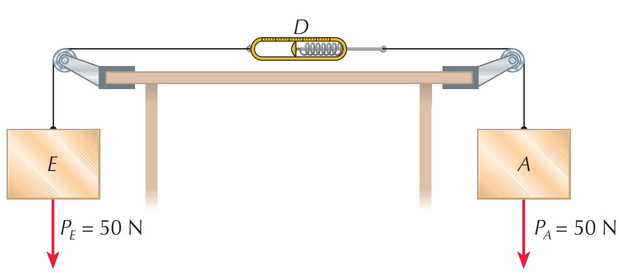
(1) Para um cálculo rápido da aceleração poderíamos aplicar a equação fundamental da Dinâmica ao conjunto de corpos de massa total $m_A + m_B + m_C$, observando que o peso $\vec{P}_A$ tem o mesmo sentido da aceleração e $\vec{P}_C$ se opõe:

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$
$$P_A - P_C = (m_A + m_B + m_C) \cdot a$$
$$50 - 30 = (5 + 2 + 3) \cdot a$$
$$20 = 10a$$
$$\boxed{a = 2 \text{ m/s}^2}$$



(2) Observe os resultados e conclua que $a < g$ e $P_C < T_2 < T_1 < P_A$.

(3) Se $P_A = P_C$ (ou $m_A = m_C$), o sistema permanece em equilíbrio ($a = 0$) e as trações serão iguais aos próprios pesos, independentemente do corpo B. Assim, no arranjo experimental da figura, em que $P_A = P_E = 50$ N, o dinamômetro D indica $T = P_A = P_E = 50$ N ($a = 0$).

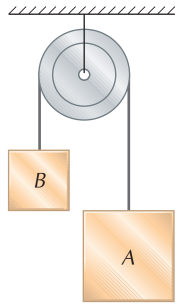


R. 92 No arranjo experimental da figura ao lado, os corpos A e B têm, respectivamente, massas iguais a 6 kg e 2 kg. Os fios e as polias têm massas desprezíveis. Não há atrito entre o fio e a polia. Adote $g = 10\ m/s^2$. Determine:

a) a aceleração do conjunto;

b) as trações nos fios.

Considere que o sistema partiu do repouso.



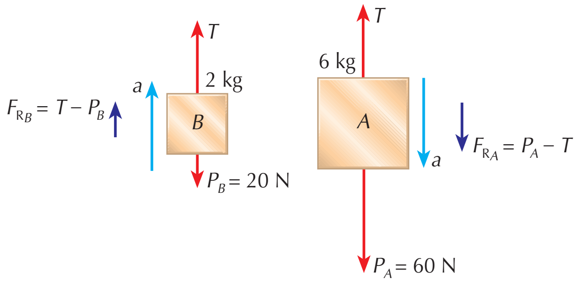
Solução:

a) Esse arranjo experimental é conhecido como máquina de Atwood (1745-1807), físico inglês que com um arranjo desse tipo estudou a queda dos corpos. O corpo A desce enquanto o corpo B sobe, pois o peso de A é maior que o de B.

$$m_A = 6\ kg \Rightarrow P_A = m_A \cdot g = 60\ N \qquad m_B = 2\ kg \Rightarrow P_B = m_B \cdot g = 20\ N$$

Na figura ao lado representamos as forças que agem em cada bloco. A equação fundamental da Dinâmica aplicada a A e a B fornece:

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$



Corpo A: $P_A - T = m_A a \Rightarrow 60 - T = 6a$ ①

Corpo B: $T - P_B = m_B a \Rightarrow T - 20 = 2a$ ②

Resolvendo o sistema de equações ① e ②:

$$\begin{cases} 60 - T = 6a \\ T - 20 = 2a \end{cases} +$$

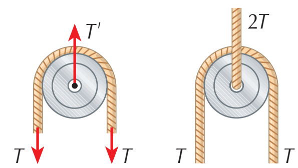
$$60 - 20 = 6a + 2a$$

$$40 = 8a$$

$$\boxed{a = 5\ m/s^2}$$

b) Qualquer uma das equações anteriores nos fornece T. Por exemplo, em ②:

$$T - 20 = 2 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{T = 30\ N}$$



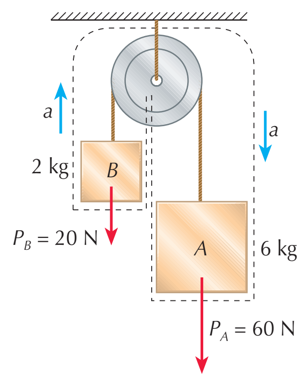
A tração T′ no fio que liga o eixo da polia ao teto pode ser obtida como se segue. A polia não possui peso e seu eixo está em equilíbrio. Desse modo, a resultante das forças deve ser nula.

$$F_R = 0 \Rightarrow T' = T + T = 2T = 2 \cdot 30 \Rightarrow \boxed{T' = 2T = 60\ N}$$

Respostas: a) 5 m/s²; b) 30 N e 60 N

Observação:

Para o cálculo da aceleração podemos aplicar a equação fundamental da Dinâmica para o conjunto de corpos de massa total $m_A + m_B$, observando que o peso P_A tem o mesmo sentido da aceleração e P_B se opõe:



$$F_R = ma$$

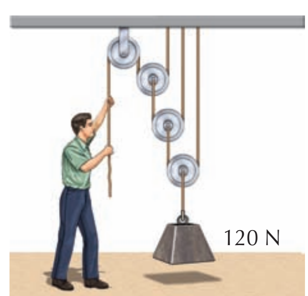
$$P_A - P_B = (m_A + m_B) \cdot a$$

$$60 - 20 = (6 + 2)a$$

$$40 = 8a$$

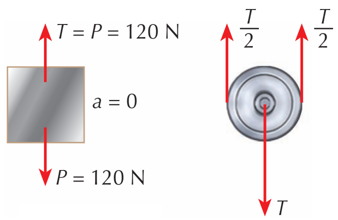
$$\boxed{a = 5\ m/s^2}$$

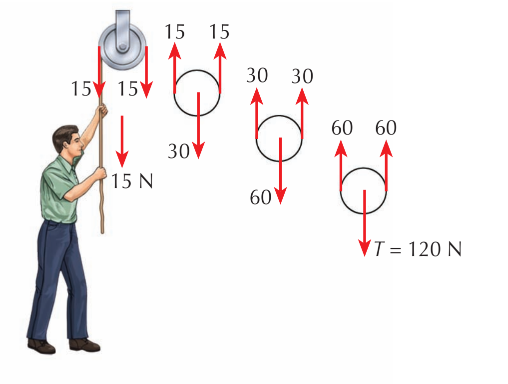
R. 93 Determine a força que o homem deve exercer no fio para manter em equilíbrio estático o corpo suspenso de 120 N. Os fios são considerados inextensíveis e de massas desprezíveis; entre os fios e as polias não há atrito. As polias são ideais, isto é, não têm peso.



Entre na rede No endereço eletrônico http://www.walter-fendt.de/ph11br/pulleysystem_br.htm (acesso em junho/2009), você pode analisar um sistema constituído de duas, quatro e seis polias.

Solução:
Para haver equilíbrio, a resultante das forças deve ser nula. No corpo suspenso, a tração T é igual ao peso $P = 120$ N, pois não há aceleração. A distribuição de trações é idêntica à discutida no exercício anterior.



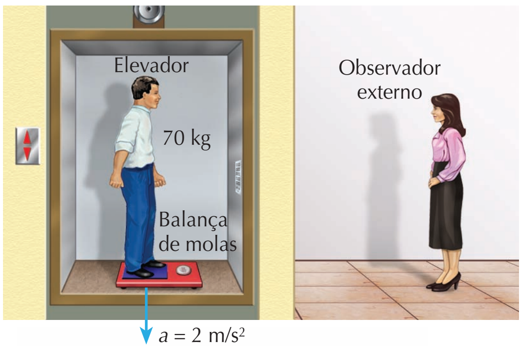


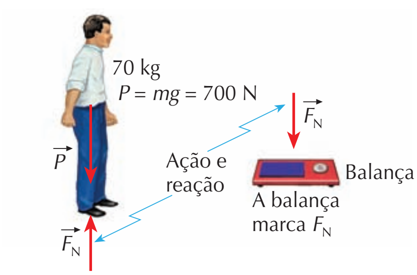
Resposta: 15 N

Observação:
Note que o homem equilibra o peso de 120 N, exercendo uma força de intensidade bem menor; por isso, na prática, são muito utilizadas as associações de polias como se veem em guindastes.

R. 94 Um homem de 70 kg está no interior de um elevador que desce acelerado à razão de 2 m/s². Adote $g = 10$ m/s² e considere o homem apoiado numa balança calibrada em newtons. Determine a intensidade da força indicada pela balança.

Solução:
O elevador desce verticalmente com aceleração $a = 2$ m/s² em relação a um observador externo em repouso no solo. Esse observador externo, que é um referencial inercial, vê atuarem no homem dentro do elevador as forças $\vec{P}$, ação da Terra, e $\vec{F}_N$, ação da balança no homem. O homem atua na balança, exercendo a força de intensidade F_N, que é a indicação da balança, pois esta está calibrada para medir intensidades de forças.





A resultante das forças que atuam no homem é $F_R = P - F_N$. Logo:

$$P - F_N = ma \quad ①$$
$$F_N = P - ma \quad ②$$

$P = mg = 70 \cdot 10 \Rightarrow P = 700$ N. Sendo $m = 70$ kg e $a = 2$ m/s², vem:

$$F_N = 700 - 70 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{F_N = 560 \text{ N}}$$

Resposta: A indicação da balança é 560 N.

Observações:
(1) O homem lê na balança $F_N = 560$ newtons, inferior ao seu peso $P = 700$ newtons. Sente-se mais leve e tem a impressão de que seu peso diminuiu. Por isso a força F_N é chamada **peso aparente**.
(2) Se o elevador descesse acelerado com aceleração $a = g$ (caso em que se rompem os cabos que sustentam o elevador), o peso aparente seria nulo.
De fato:

$$F_N = P - ma \Rightarrow F_N = P - mg \Rightarrow F_N = P - P \Rightarrow F_N = 0$$

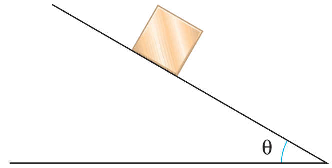
Portanto, no caso em que o elevador cai sob ação da gravidade, o peso aparente é nulo: a pessoa flutua no interior do elevador.

R. 95 Um corpo de peso $\vec{P}$ desliza num plano inclinado perfeitamente liso, que forma um ângulo θ em relação à horizontal. Determine:

a) a aceleração do corpo;

b) a intensidade da força normal que o plano exerce no corpo.

É dada a aceleração da gravidade g.



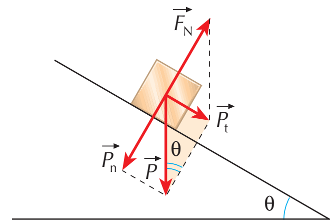
Solução:

a) No corpo atuam o peso $\vec{P}$ e a força normal $\vec{F}_N$. É comum decompor o peso $\vec{P}$ em duas forças componentes:

$\vec{P}_n$: normal ao plano inclinado e que anula $\vec{F}_N$, pois não há movimento na direção perpendicular ao plano inclinado.

$\vec{P}_t$: paralela ao plano inclinado e que é a resultante das forças $\vec{P}$ e $\vec{F}_N$.

No triângulo destacado na figura ao lado, o ângulo indicado é θ, pois seus lados são dois a dois perpendiculares às retas que definem o ângulo θ do plano inclinado. Nesse triângulo, $\vec{P}_t$ é a medida do cateto oposto ao ângulo θ e P é a medida da hipotenusa do triângulo.



Da definição de seno de um ângulo, vem:

$$\text{sen}\,\theta = \frac{P_t}{P} \text{ ou } \boxed{P_t = P \cdot \text{sen}\,\theta}$$

Pela equação fundamental da Dinâmica ($\vec{F}_R = ma$) e sendo $F_R = P_t = P \cdot \text{sen}\,\theta = mg \cdot \text{sen}\,\theta$, vem:

$$mg \cdot \text{sen}\,\theta = ma \Rightarrow \boxed{a = g \cdot \text{sen}\,\theta}$$

b) No triângulo destacado, P_n é a medida do cateto adjacente ao ângulo θ. Da definição de cosseno de um ângulo, vem:

$$\cos\theta = \frac{P_n}{P} \Rightarrow \boxed{P_n = P \cdot \cos\theta}$$

Como $\vec{P}_n$ anula $\vec{F}_N$, resulta:

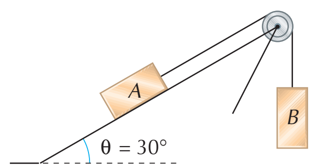
$$\boxed{F_N = P_n = P \cdot \cos\theta}$$

Respostas: a) $a = g \cdot \text{sen}\,\theta$; b) $F_N = P \cdot \cos\theta$

R. 96 No arranjo experimental da figura, os corpos A e B têm massas iguais a 10 kg. O plano inclinado é perfeitamente liso. O fio é inextensível e passa sem atrito pela polia de massa desprezível. Determine:

a) a aceleração do sistema de corpos;

b) a tração no fio (dado: sen 30° = 0,5).



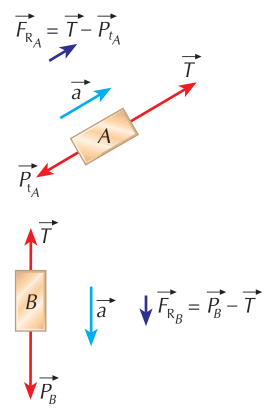
Solução:

a) Vamos inicialmente calcular a componente P_{t_A} do peso do corpo A:

$$P_{t_A} = P_A \cdot \text{sen}\,30° \Rightarrow P_{t_A} = m_A g \cdot \text{sen}\,30° \Rightarrow P_{t_A} = 10 \cdot 10 \cdot 0{,}5 \Rightarrow \boxed{P_{t_A} = 50\text{ N}}$$

O corpo B possui peso $P_B = m_B g = 10 \cdot 10$, ou seja, $P_B = 100$ N. Sendo $P_B > P_{t_A}$, concluímos que, se o sistema partir do repouso, o corpo B desce e o corpo A sobe ao longo do plano inclinado.

Na figura ao lado representamos as forças que agem em cada bloco. Observe que a componente normal $\vec{P}_{n_A}$ e a normal $\vec{F}_{N_A}$ anulam-se. A equação fundamental da Dinâmica aplicada a A e B fornece:



Corpo A: $T - P_{t_A} = m_A a \Rightarrow T - 50 = 10a$ ①

Corpo B: $P_B - T = m_B a \Rightarrow 100 - T = 10a$ ②

Resolvendo o sistema de equações ① e ②, vem:

$$\begin{cases} T - 50 = 10a \\ 100 - T = 10a \end{cases} +$$

$$100 - 50 = 10a + 10a$$

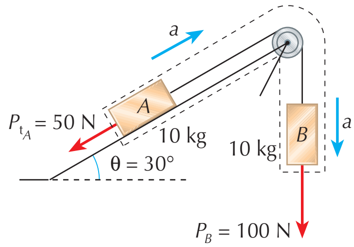
$$50 = 20a \Rightarrow \boxed{a = 2{,}5\text{ m/s}^2}$$

b) De ① resulta: $T - 50 = 10 \cdot 2{,}5 \Rightarrow \boxed{T = 75\text{ N}}$

Respostas: a) 2,5 m/s²; b) 75 N

Observação:
A aceleração pode ser calculada aplicando-se a equação fundamental da Dinâmica ao sistema de corpos de massa total $m_A + m_B$:

$$F_R = (m_A + m_B) \cdot a \text{ (sendo } F_R = P_B - P_{t_A})$$
$$P_B - P_{t_A} = (m_A + m_B) \cdot a \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 100 - 50 = (10 + 10) \cdot a \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 50 = 20a \Rightarrow \boxed{a = 2{,}5 \text{ m/s}^2}$$



R. 97 Um ponto material de massa m e peso $\vec{P}$ está suspenso por um fio de massa desprezível ao teto de um vagão hermeticamente fechado (**fig. I**). O vagão parte uniformemente acelerado e o corpo suspenso desloca-se para trás em relação a um observador em repouso no interior do trem, até atingir o ângulo de 35° em relação à vertical (**fig. II**). Adote $g = 10$ m/s² e tg 35° = 0,7. Determine a aceleração do trem para um observador externo em repouso na Terra.

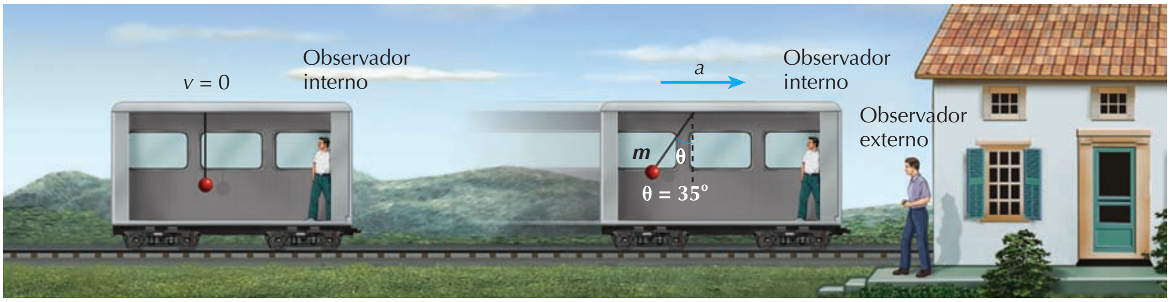


Figura I. Figura II.

Solução:
Considerando que as leis de Newton são válidas em relação a um referencial inercial, interpretaremos o fenômeno em relação ao observador na Terra, pois esta é praticamente um referencial inercial.
Em relação ao observador externo em repouso na Terra, atuam no ponto material as forças peso $\vec{P}$ e tração $\vec{T}$ (**fig. III**). A resultante $\vec{F}_R$ produz no ponto material a mesma aceleração $\vec{a}$ do trem (**fig. IV**). No triângulo destacado, temos:

$$\text{tg } 35° = \frac{F_R}{P}$$
$$F_R = P \cdot \text{tg } 35° \Rightarrow F_R = mg \cdot \text{tg } 35°$$

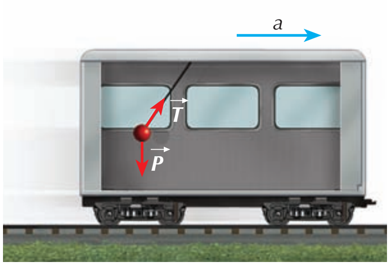


Figura III.

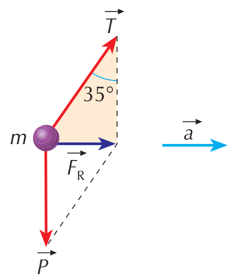


Figura IV.

Sendo $F_R = ma$, vem:

$$ma = mg \cdot \text{tg } 35° \Rightarrow a = g \cdot \text{tg } 35° \Rightarrow a = 10 \cdot 0{,}7$$
$$\boxed{a = 7 \text{ m/s}^2}$$

Resposta: 7 m/s²

Observação:
Ao atingir o ângulo de 35°, o ponto material permanece em repouso em relação ao observador no interior do trem. Este interpreta o fato da seguinte maneira: além de $\vec{P}$ e $\vec{T}$, outra força $\vec{f}$ age no ponto material no sentido indicado (**fig. V**). Essa força é chamada **força de inércia**. Forças de inércia são consideradas relativamente a referenciais acelerados em relação à Terra, denominados referenciais não inerciais, como é o caso do trem. O princípio da ação e reação não se aplica às forças de inércia.

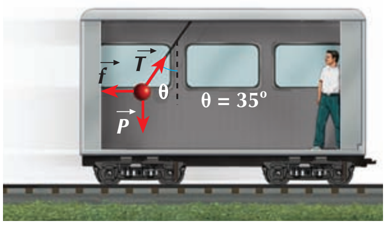


Figura V.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 238 (PUC-SP) Com base no princípio de ação e reação, responda:

a) A afirmação abaixo está certa ou errada? Justifique.

"Quando exercemos uma força $\vec{F}$ numa mesa, esta exerce uma força oposta $-\vec{F}$ que anula a força $\vec{F}$, de modo que a força resultante sobre a mesa é nula e ela, portanto, não se move."

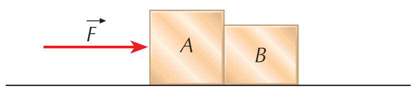
b) Descreva uma situação em que se evidenciem as forças de ação e de reação (mostre como as duas forças estão agindo).

P. 239 Uma força horizontal de intensidade $F = 10$ N é aplicada no bloco A, de 6 kg, o qual está apoiado em um segundo bloco B, de 4 kg.
Os blocos deslizam sobre um plano horizontal sem atrito. Determine:

a) a aceleração do conjunto;

b) a intensidade da força que um bloco exerce no outro;

c) a intensidade da força resultante em A e em B.

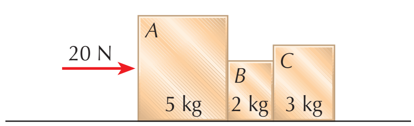


P. 240 Três blocos A, B e C, de massa $m_A = 5$ kg, $m_B = 2$ kg e $m_C = 3$ kg, estão numa superfície horizontal sem atrito. Aplica-se ao bloco A uma força de 20 N, constante, como indicado na figura.
Determine:

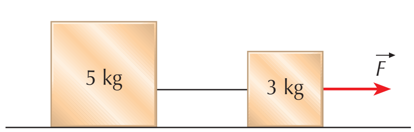
a) a aceleração do conjunto;

b) a intensidade da força que B exerce em C;

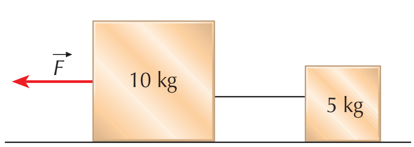
c) a intensidade da força que A exerce em B.



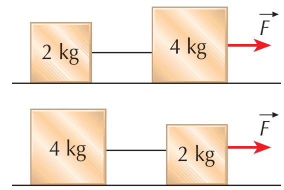
P. 241 Dois blocos de massas 5 kg e 3 kg estão numa superfície horizontal sem atrito e ligados por um fio de massa desprezível. A força horizontal $\vec{F}$ tem intensidade constante igual a 4 N. Determine a tração no fio que liga os corpos.



P. 242 (FEI-SP) Sabendo-se que a tração no fio que une os dois blocos vale 100 N, qual é o valor do módulo da força $\vec{F}$? Não há atritos.



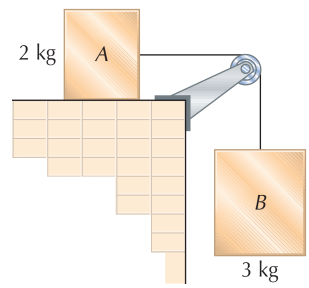
P. 243 (UFRJ) Dois blocos de massa igual a 4 kg e 2 kg, respectivamente, estão presos entre si por um fio inextensível e de massa desprezível. Deseja-se puxar o conjunto por meio de uma força $\vec{F}$ cujo módulo é igual a 3 N sobre uma mesa horizontal e sem atrito. O fio é fraco e corre o risco de romper-se.
Qual é o melhor modo de puxar o conjunto sem que o fio se rompa: pela massa maior ou pela menor? Justifique sua resposta.



P. 244 No arranjo experimental da figura não há atrito algum e o fio tem massa desprezível. Adote $g = 10$ m/s^2.
Determine:

a) a aceleração do corpo A;

b) a tração no fio.

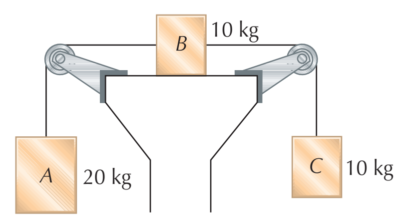


P. 245 Na situação indicada na figura, os fios têm massa desprezível e passam pelas polias sem atrito.
Adote $g = 10$ m/s^2. Determine:

a) a aceleração do conjunto;

b) a tração no fio que liga A a B;

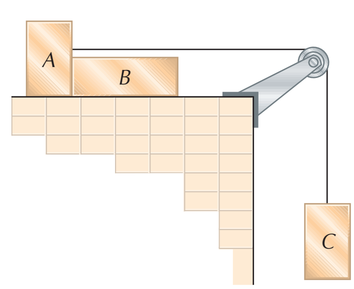
c) a tração no fio que liga B a C.



P. 246 Os corpos A e B têm massas $m_A = 1$ kg e $m_B = 3$ kg. O corpo C, pendurado pelo fio, tem massa $m_C = 1$ kg. O fio é inextensível e tem massa desprezível. Adote $g = 10$ m/s^2 e suponha que A e B deslizam sem atrito sobre o plano horizontal. Calcule:

a) a aceleração do corpo C;

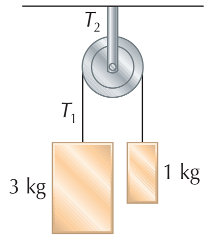
b) a intensidade da força que o corpo B exerce em A.



P. 247 No arranjo experimental da figura os fios e a polia têm massas desprezíveis. O fio é inextensível e passa sem atrito pela polia. Adotando $g = 10$ m/s^2, determine:

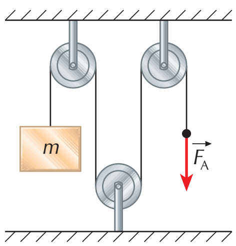
a) a aceleração dos corpos;

b) as trações T_1 e T_2.

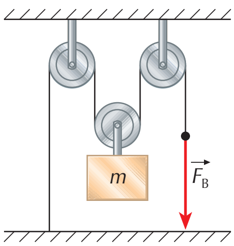


P. 248 (Fuvest-SP) As figuras mostram dois arranjos (A e B) de polias, construídos para erguer um corpo de massa $m = 8$ kg. Despreze as massas das polias e da corda, bem como os atritos. Calcule as forças F_A e F_B, em newtons, necessárias para manter o corpo suspenso e em repouso nos dois casos (use $g = 10$ m/s^2).

A



B



P. 249 Num elevador de massa $m = 1.000$ kg atuam unicamente a força de sustentação do cabo e o peso. Adote $g = 10$ m/s^2 e determine a intensidade da força de sustentação do cabo quando o elevador:

a) sobe em movimento uniforme;

b) sobe uniformemente acelerado com $a = 2$ m/s^2;

c) sobe uniformemente retardado com $a = 2$ m/s^2.

P. 250 (Olimpíada Paulista de Física) Um homem de 70 kg está em cima de uma balança dentro de um elevador. Determine qual é a indicação da balança, nas seguintes situações:

a) O elevador subindo acelerado com aceleração de 3 m/s^2.

b) O elevador subindo com velocidade constante de 2 m/s.

c) O elevador descendo acelerado com aceleração de 1 m/s^2.

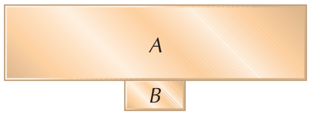
d) O elevador caindo em queda livre.

Considere a balança graduada em newtons e adote $g = 10$ m/s^2.

P. 251 Deixam-se cair simultaneamente, no vácuo, dois corpos A e B de massas $m_A = 100$ kg e $m_B = 1$ kg.

a) Qual é a aceleração de cada um deles?

b) Qual dos blocos exerce força sobre o outro?



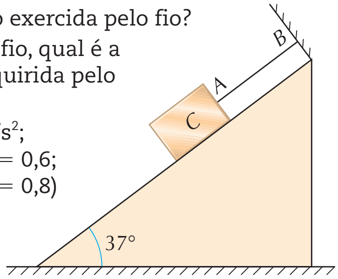
P. 252 Nas figuras a seguir estão indicadas as leituras de um dinamômetro preso ao teto de um elevador que sobe, estando um corpo de massa 1,0 kg pendurado na extremidade do aparelho. Com base nesses dados, responda: como é o movimento de subida do elevador, nas três situações esquematizadas — acelerado, retardado ou uniforme? Justifique. Considere $g = 10$ m/s^2.

P. 253 (Efoa-MG) No esquema representado na figura abaixo, o bloco C tem massa 0,5 kg e está em repouso sobre o plano inclinado de 37° com a horizontal, preso pelo fio AB. Não há atrito entre o bloco e o plano.

a) Qual é a tração exercida pelo fio?

b) Cortando-se o fio, qual é a aceleração adquirida pelo bloco?

(Dados: $g = 10$ m/s^2;
sen 37° = cos 53° = 0,6;
sen 53° = cos 37° = 0,8)

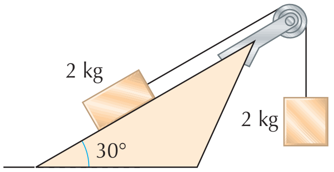


P. 254 (UFPR) Um corpo de massa igual a 5 kg parte, do repouso, da base de um plano inclinado — este com ângulo igual a 30° e comprimento 5 m — e atinge sua extremidade superior em 10 s. Qual é a intensidade da força externa paralela ao plano inclinado que foi aplicada ao corpo? (Use $g = 9,8$ m/s^2.)

Despreze os atritos.

P. 255 Determine a aceleração dos corpos na situação esquematizada abaixo. Adote $g = 10$ m/s^2. O fio e a polia têm massa desprezível.

Não há atrito (dado: sen 30° = 0,5).



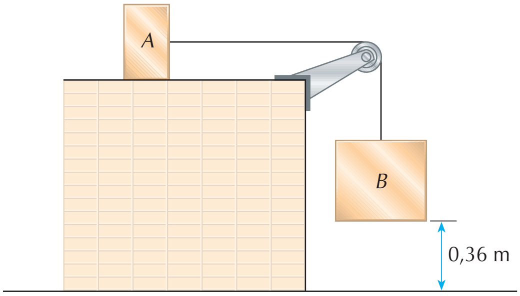
EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

P. 256 Observe as fotos abaixo. Quando o papel é rapidamente removido, o corpo não acompanha o movimento do papel e cai dentro do copo. Comente por que isso acontece.

P. 257 (Unirio-RJ) Um corpo *A*, de 10 kg, é colocado num plano horizontal sem atrito. Uma corda ideal de peso desprezível liga o corpo *A* a um corpo *B*, de 40 kg, passando por uma polia de massa desprezível e também sem atrito. O corpo *B*, inicialmente em repouso, está a uma altura de 0,36 m, como mostra a figura. Sendo a aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$, determine:

a) o módulo da tração na corda;

b) o intervalo de tempo necessário para que o corpo *B* chegue ao solo.

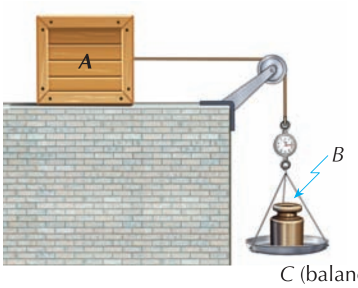


P. 258 (UFRJ) Um operário usa uma empilhadeira de massa total igual a uma tonelada para levantar verticalmente uma caixa de massa igual a meia tonelada, com uma aceleração inicial de $0,5\ m/s^2$, que se mantém constante durante um curto intervalo de tempo. Use $g = 10\ m/s^2$ e calcule, nesse intervalo de tempo:

a) a intensidade da força que a empilhadeira exerce sobre a caixa;

b) a intensidade da força que o chão exerce sobre a empilhadeira (despreze a massa das partes móveis da empilhadeira).

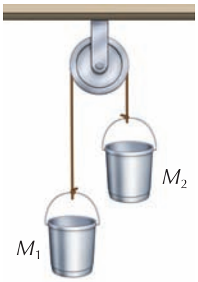
P. 259 No arranjo experimental da figura os fios e a polia têm massas desprezíveis. Despreze atritos e adote $g = 10\ m/s^2$. Os corpos têm massas $m_A = 5$ kg, $m_B = 4$ kg e $m_C = 1$ kg. O corpo *C* é uma balança graduada em newtons. Determine a indicação da balança.



P. 260 (Olimpíada Brasileira de Física) A figura representa dois baldes de massas M_1 e M_2, contendo cada um uma quantidade de areia de massa *M*.
Considere a polia e os fios ideais. Supondo que a massa M_2 seja ligeiramente maior que a massa M_1, responda:

a) Qual a quantidade *m* de areia que deve ser transferida do balde de massa M_1 para o balde de massa M_2, para que a aceleração do sistema aumente de um fator *f*?

b) Qual o maior valor de *f* possível?



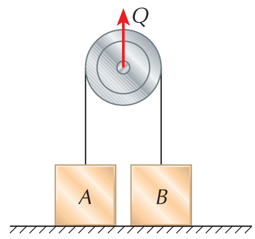
P. 261 (EEM-SP) Num elevador há uma balança graduada em newtons. Um homem de 60 kg, sobre ela, lê 720 newtons, quando o elevador sobe com certa aceleração, e 456 newtons, quando desce com a mesma aceleração. Quais são as acelerações da gravidade e do elevador? Quanto registrará a balança se o elevador subir ou descer com velocidade constante? Que deverá ter ocorrido quando a balança registrar zero?

P. 262 (UFSCar-SP) A polia e os fios da figura são considerados ideais, sem inércia. O fio é perfeitamente flexível e não há atritos a considerar. Use $g = 10$ m/s^2. Dadas as massas $m_A = 40$ kg, $m_B = 24$ kg, determine as acelerações a_A (do corpo A) e a_B (do corpo B) quando:

a) Q = 400 N

b) Q = 720 N

c) Q = 1.200 N

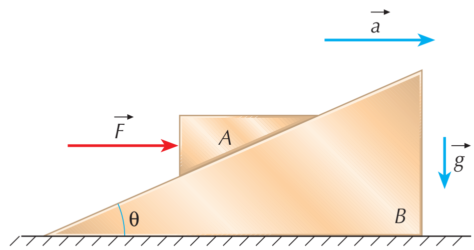


P. 263 (Fuvest-SP) Duas cunhas A e B, de massas M_A e M_B, respectivamente, se deslocam juntas sobre um plano horizontal sem atrito, com aceleração constante $\vec{a}$, sob a ação de uma força horizontal $\vec{F}$ aplicada à cunha A, como mostra a figura. A cunha A permanece parada em relação à cunha B, apesar de não haver atrito entre elas.

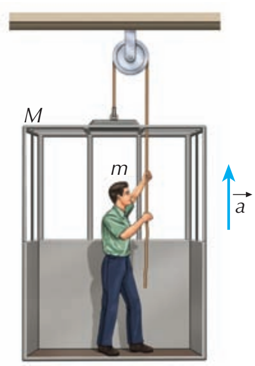
a) Determine a intensidade da força $\vec{F}$ aplicada à cunha A.

b) Determine a intensidade da força $\vec{F}_N$ que a cunha B aplica à cunha A.

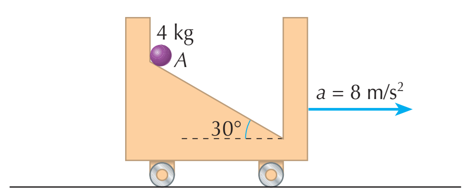
c) Sendo θ o ângulo de inclinação da cunha B, determine a tangente de θ.



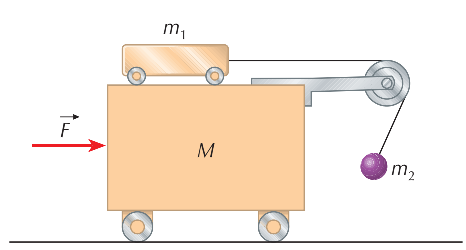
P. 264 (UFSCar-SP) O sistema esquematizado compõe-se de um elevador de massa M e um homem de massa m. O elevador está suspenso a uma corda que passa por uma polia fixa e vem às mãos do operador; a corda e a roldana são supostas ideais. O operador puxa a corda e sobe com aceleração constante a, juntamente com o elevador. São supostos conhecidos M, m, a e g.
Determine a intensidade da força $\vec{F}_N$ que a plataforma exerce no operador.



P. 265 O carrinho da figura desliza no plano horizontal com aceleração 8 m/s^2. O corpo A possui 4 kg de massa e não há atrito entre o corpo e os planos de apoio. Dados sen 30° = 0,50, cos 30° = 0,87 e $g = 10$ m/s^2, determine a força horizontal que a parede vertical exerce no corpo, considerando-o em repouso em relação ao carrinho.



P. 266 Que força horizontal deve ser constantemente aplicada a $M = 21$ kg para que $m_1 = 5$ kg não se movimente em relação a $m_2 = 4$ kg? Despreze atritos. (Use $g = 10$ m/s^2.)



Conteúdo digital Moderna PLUS http://www.modernaplus.com.br
Simulador: *Sistemas mecânicos*