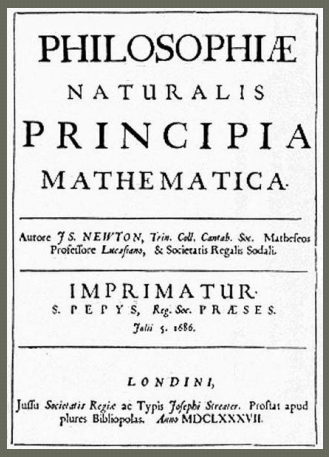
Física 1

4 – Leis de Newton do Movimento

Introdução

Mecânica clássica

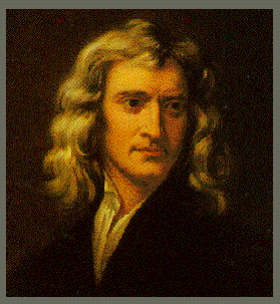


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *J. S. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Justu *Societatis Regiæ* ac Typis *Josephi Streater*. Prostat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

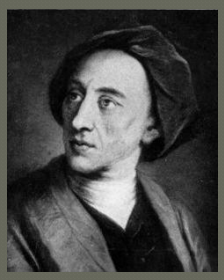


Isaac Newton
(1643-1727)

A obra prima de Newton: "Princípios Matemáticos de Filosofia Natural" ou simplesmente "Principia" (1687).

Introdução

Sobre Isaac Newton foi dito...



Alexander Pope
(1688-1744)

"A natureza e suas leis escondiam-se na escuridão da noite. Deus disse 'Faça-se Newton!' E tudo se iluminou."
(Alexander Pope)

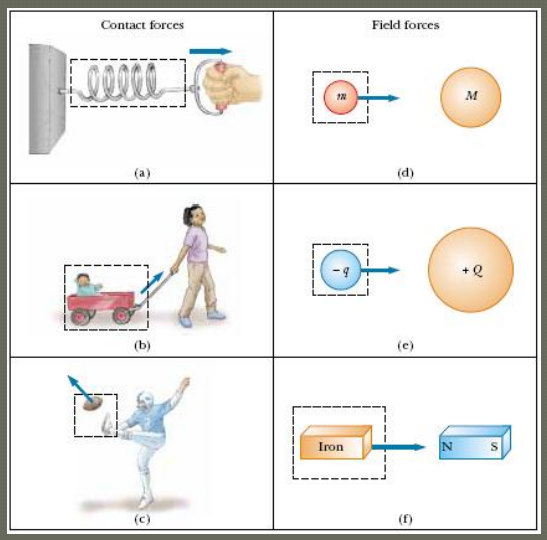
Introdução

Túmulo de Newton

"Aqui jaz sir Isaac Newton, Cavaleiro, aquele que com uma força mental quase divina, explorou o movimento dos planetas, a trajetória dos cometas, as marés do oceano, as diferentes refrações dos raios de luz e as propriedades das cores assim produzidas. (...) Que os mortais se regozijem por ter existido tamanho exemplar da raça humana! Nascido em 25 de dezembro de 1642 e morto em 20 de março de 1727."

Força e interações

Tipos de forças



Os corpos dentro dos retângulos tracejados estão sujeitos a forças externas.

(a) a (c) Forças de contato

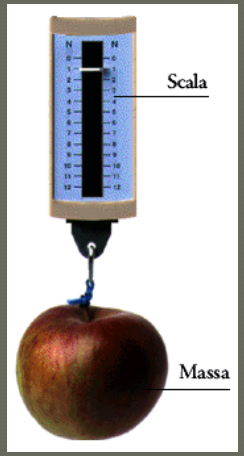
(d) a (f) Forças de ação à distância ou forças de campo

©2002 by John Wiley & Sons

Força e interações

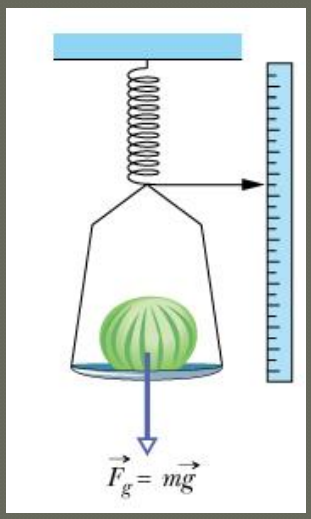
Dinamômetro

Instrumento analógico ou digital cuja função é medir a intensidade da força aplicada em uma de suas extremidades



Força e interações

Dinamômetro

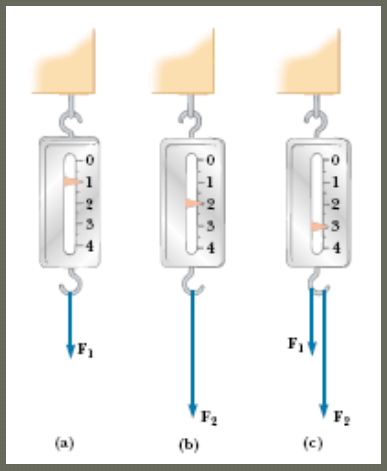


A escala do dinamômetro pode ser calibrada em termos de unidades de massa (g) ou força (N)

©2002 by John Wiley & Sons

Força e interações

Força é grandeza vetorial



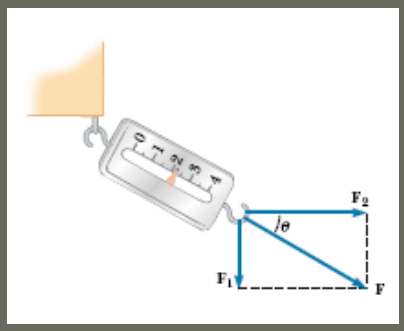
O efeito da aplicação das forças $\mathbf{F}_1$ e $\mathbf{F}_2$ simultaneamente equivalem ao efeito de $\mathbf{F}_1$ somado ao efeito de $\mathbf{F}_2$, quando aplicadas em separado.

(a) $\mathbf{F}_1$ provoca estiramento de 1 cm
(b) $\mathbf{F}_2$ provoca estiramento de 2 cm
(c) $\mathbf{F}_1$ e $\mathbf{F}_2$ aplicadas simultaneamente provocam estiramento de 3 cm

©2002 by John Wiley & Sons

Força e interações

Força é grandeza vetorial



O efeito da aplicação da força **F** é equivalente ao efeito da aplicação de suas forças componentes $\mathbf{F}_1$ e $\mathbf{F}_2$, simultaneamente.

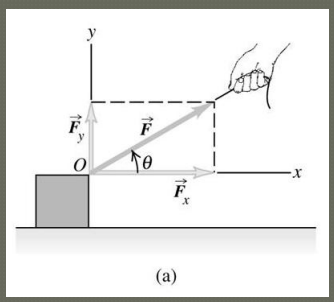
$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

©2002 by John Wiley & Sons

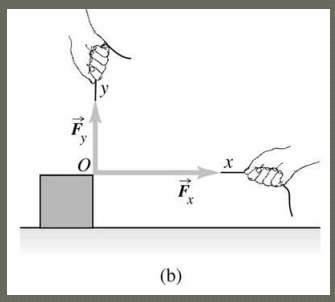
Força e interações

Força é grandeza vetorial

O efeito da aplicação da força **F** é equivalente ao efeito da aplicação de suas forças componentes $\mathbf{F}_x$ e $\mathbf{F}_y$, simultaneamente.



(a) Aplicação de **F** ao bloco



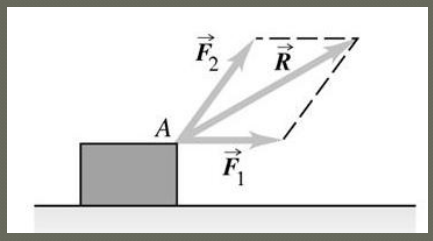
(b) Aplicação de **F**x e **F**y ao bloco

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y$$

©2004 by Pearson Education

Força e interações

Força é grandeza vetorial



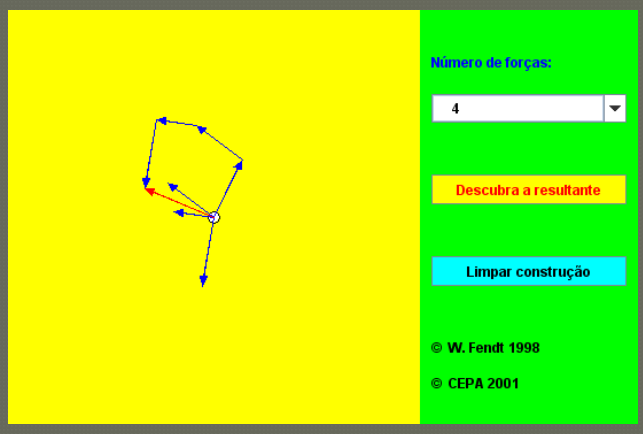
O efeito da aplicação da força **R** é equivalente ao efeito da aplicação das forças F_1 e F_2, que somadas resultam em **R**.

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

©2004 by Pearson Education

Força resultante

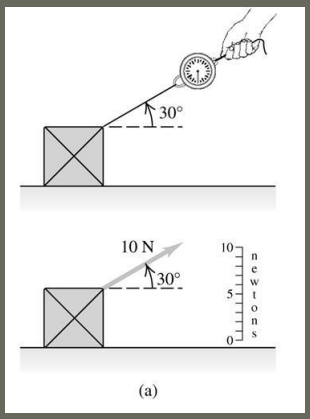
Força é grandeza vetorial



© Walter Fendt, 1998

Força e interações

Força é grandeza vetorial



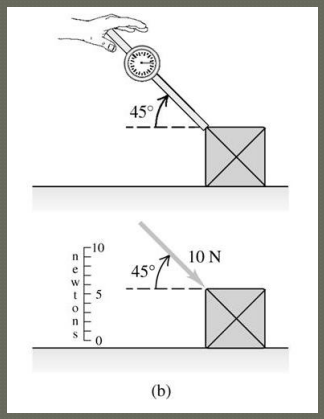
Um bloco é puxado por um fio conectado a um dinamômetro, que marca 10 N em sua escala e faz um ângulo de 30º com a horizontal.

Representação esquemática do processo.

©2004 by Pearson Education

Força e interações

Força é grandeza vetorial



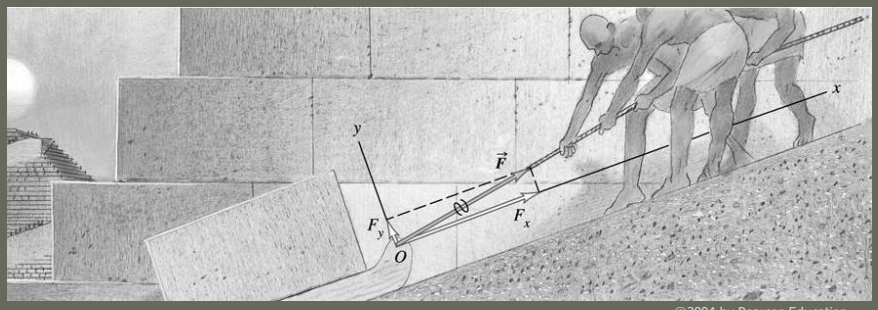
Um bloco é empurrado por uma barra conectada a um dinamômetro, que marca 10 N em sua escala e faz um ângulo de 45º com a horizontal.

Representação esquemática do processo.

©2004 by Pearson Education

Força e interações

Força é grandeza vetorial



©2004 by Pearson Education

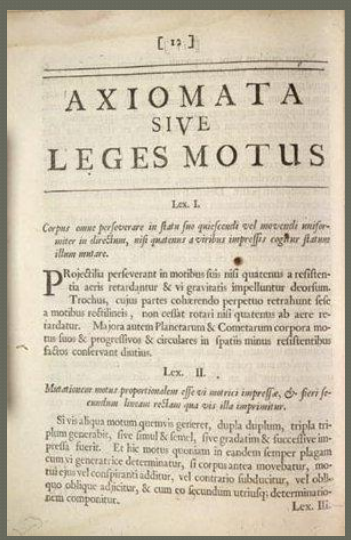
$$\mathbf{F} = F_x\mathbf{i} + F_y\mathbf{j}$$

F_x é paralela ao solo: puxa a carga rampa acima.

F_y é ortogonal ao solo: alivia o peso da carga.

Leis de Newton

Texto original da primeira e segunda leis de Newton (1687)



[12]

AXIOMATA
SIVE
LEGES MOTUS

Lex. I.

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Projectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resistentia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohærendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari nisi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatiis minus resistentibus factos conservant diutius.

Lex. II.

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur, si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo obliquæ adjicitur, & cum eo secundum utriusq; determinationem componitur.

Lex. III.

Lex I: Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Lex II: Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Leis de Newton

Primeira lei de Newton ou "lei da inércia"

Um corpo sobre o qual não atua nenhuma força resultante não pode ter sua condição de movimento alterada.

Se o corpo estiver em repouso, ele permanecerá em repouso.

Se o corpo estiver em movimento com velocidade constante, ele permanecerá nesse estado de movimento.

$$\sum \mathbf{F} = 0$$

Acidente em Montparnasse, 1895

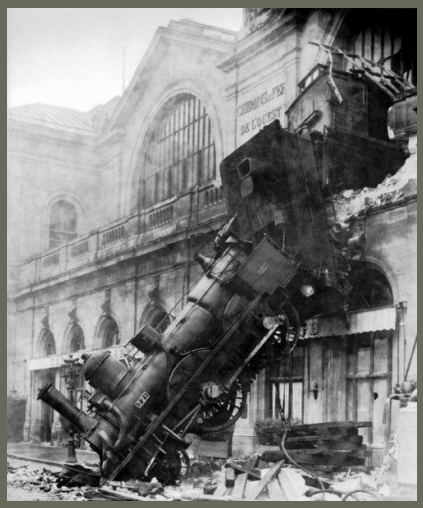
Primeira lei de Newton ou "lei da inércia"

Estação de Montparnasse, Paris, 22 de outubro de1895

Um trem vindo de Granville, no canal da Mancha, não consegue parar na estação, atravessa uma parede de 60 cm e cai de uma altura de 10 m, na Praça de Rennes.

Acidente em Montparnasse, 1895

A lei da inércia em ação



A falha em um dos sistemas de freio fez com que a inércia do trem prevalecesse

Acidente em Montparnasse, 1895

Reprodução do acidente em Montparnasse

Mundo a Vapor, Canela, RS

Acidente em Montparnasse, 1895

Efeito dramático da inércia

Filme demonstrativo sobre o efeito de um engavetamento

http://www.youtube.com/watch?v=qjniPX3SZBc

Leis de Newton

Sistema de referência inercial

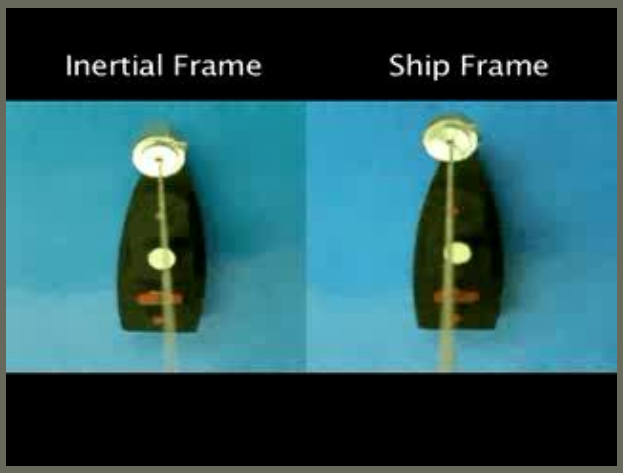
Referencial inercial é referencial não acelerado.

Qualquer referencial que se move com velocidade constante em relação a um referencial inercial também é um referencial inercial.

As leis da mecânica de Newton somente são válidas para sistemas observados por referenciais inerciais.

Leis de Newton

Sistema de referência inercial e não inercial



http://www.youtube.com/watch?v=DwCYxNB4Zgo

Leis de Newton

Sistema de referência inercial e não inercial

http://www.youtube.com/watch?v=_36MiCUS1ro

Leis de Newton

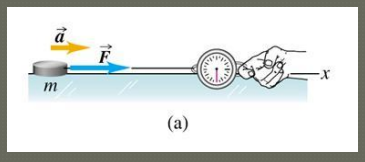
Sistema de referência inercial

http://www.youtube.com/watch?v=49JwbrXcPjc

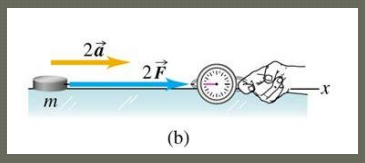
Segunda lei de Newton

A aceleração é proporcional à força resultante

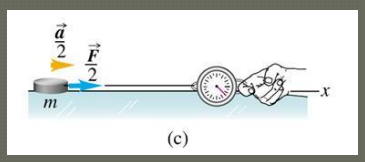
$$\mathbf{a} \propto \sum \mathbf{F}$$



Uma força **F** provoca uma aceleração **a** quando aplicada a um certo corpo.



Dobrando-se a força, a aceleração será multiplicada por dois.



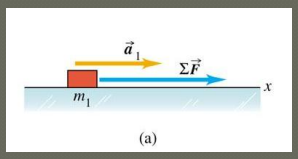
Dividindo-se a força por dois , a aceleração também será reduzida à metade.

©2004 by Pearson Education

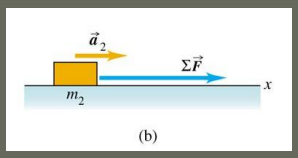
Segunda lei de Newton

A aceleração é inversamente proporcional à massa

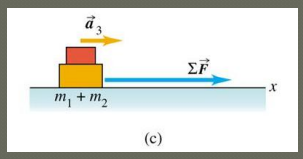
$$\mathbf{a} \propto \frac{1}{m}$$



Uma certa força provoca uma aceleração $\mathbf{a}_1$ num corpo de massa m_1.



A mesma força provoca uma aceleração $\mathbf{a}_2 < \mathbf{a}_1$ num corpo de massa $m_2 > m_1$.



A mesma força provoca uma aceleração $\mathbf{a}_3 < \mathbf{a}_2 < \mathbf{a}_1$ num corpo de massa m_3 $(= m_1 + m_2) > m_2 > m_1$.

©2004 by Pearson Education

Segunda lei de Newton

Enunciado:

$$\boxed{\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}}$$

Quando uma força resultante externa atua sobre um corpo, ele acelera.

A aceleração possui a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante.

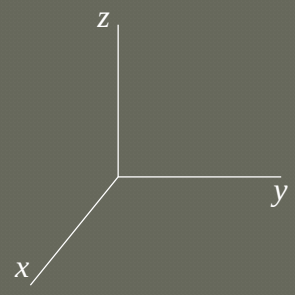
O vetor força resultante é igual ao produto da massa do corpo pelo vetor aceleração do corpo.

Segunda lei de Newton

Equações parciais

A forma matemática da segunda lei de Newton pode ser desdobrada em três equações parciais, cada uma correspondente a um eixo cartesiano ortogonal.

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a} \begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \\ \sum F_z = ma_z \end{cases}$$



Massa e peso

Características

O peso de um corpo corresponde à força de atração gravitacional exercida pela Terra sobre o corpo.

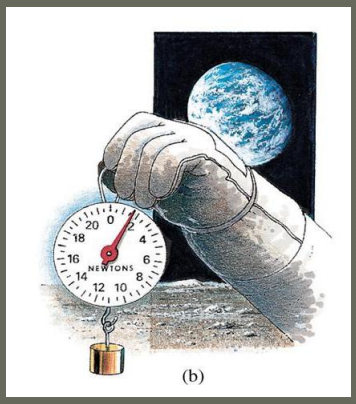
A massa de um corpo corresponde à quantidade de matéria que o mesmo possui e caracteriza a propriedade de inércia do corpo.

$$\mathbf{P} = m\mathbf{g}$$

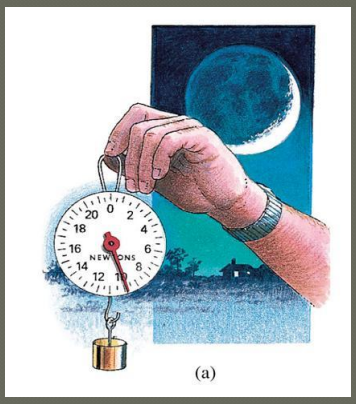
Massa e peso

Variação de **g** com o local

Na Lua



Na Terra



Um corpo de 1,0 kg pesa 9,8 N na Terra e 1,6 N na Lua.

©2004 by Pearson Education

Terceira lei de Newton

Enunciado

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

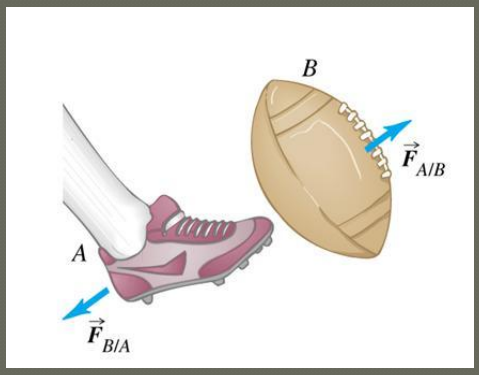
Quando um corpo *A* exerce uma força sobre um corpo *B* (ação), então o corpo *B* exerce uma força sobre o corpo *A* (reação).

As forças de ação e reação têm o mesmo módulo e a mesma direção, mas possuem sentidos contrários.

As forças de ação e reação atuam em corpos diferentes.

Terceira lei de Newton

Forças de ação e reação

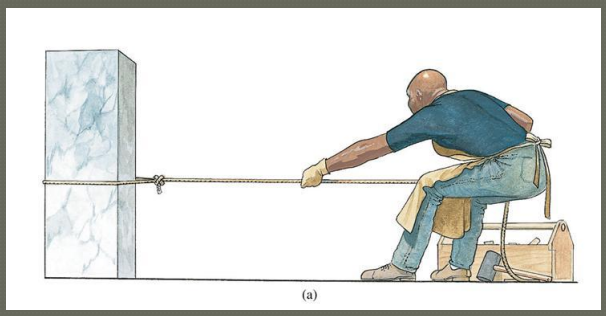


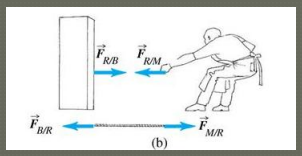
$$\mathbf{F}_{B/A} = -\mathbf{F}_{A/B}$$

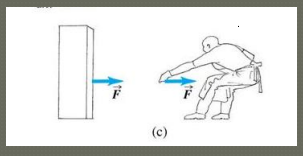
©2004 by Pearson Education

Terceira lei de Newton

Forças de ação e reação



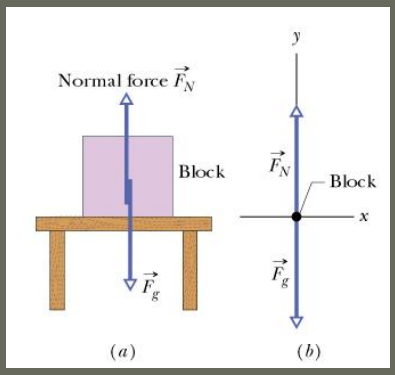




©2004 by Pearson Education

Exemplo de diagrama de corpo livre

Bloco sobre a mesa



(a) Situação esquemática; (b) Diagrama de corpo livre.

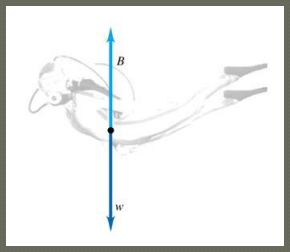
As forças relevantes que atuam sobre o bloco são a força da gravidade $\mathbf{F}_g$ e a força normal $\mathbf{F}_N$.

Existem outras forças que atuam sobre o bloco, tais como o empuxo do ar, a atração gravitacional do Sol, da Lua, etc. No entanto, estas forças são irrelevantes quando comparadas a $\mathbf{F}_g$ e a $\mathbf{F}_N$.

©2002 by John Wiley & Sons

Exemplo de diagrama de corpo livre

Mergulhador

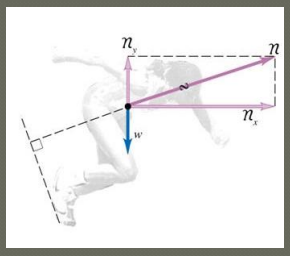


As forças relevantes que atuam sobre o mergulhador são a força da gravidade **w** (*weight*) e o empuxo da água **B** (*buoyancy force*).

©2004 by Pearson Education

Exemplo de diagrama de corpo livre

Corredora na largada

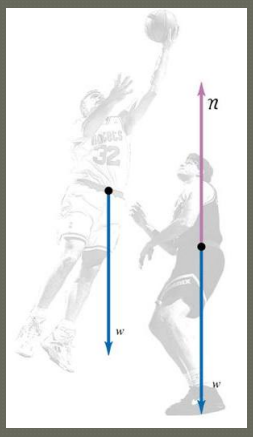


As forças relevantes que atuam sobre a corredora são a força da gravidade **w** e a força de reação do solo devido ao seu pisar η, que pode ser decomposta numa força normal η_y, que a empurra para cima, e numa força de atrito η_x, que a empurra para frente.

©2004 by Pearson Education

Exemplo de diagrama de corpo livre

Jogadores de basquete

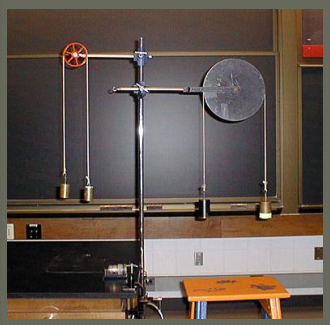


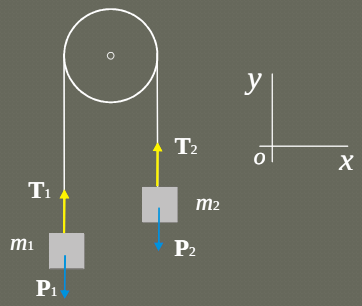
As forças relevantes que atuam sobre os jogadores são a força da gravidade **w** e a força de reação do solo devido ao seu pisar η. Note que o jogador que saltou não está sujeito à força η, pois não está em contato com o solo.

©2004 by Pearson Education

Exemplo prático

Máquina de Atwood





Vetores:

$\mathbf{T}_1 = T\mathbf{j}$

$\mathbf{T}_2 = T\mathbf{j}$

$\mathbf{P}_1 = -m_1 g\mathbf{j}$

$\mathbf{P}_2 = -m_2 g\mathbf{j}$

$\mathbf{a}_1 = a\mathbf{j}$

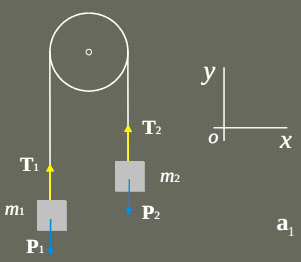
$\mathbf{a}_2 = -a\mathbf{j}$

$\mathbf{a}_1 = -\mathbf{a}_2$

Aproximações usadas:
(a) Fio inextensível e
(b) Roldana de massa desprezível.

Exemplo prático

Máquina de Atwood



$\mathbf{a}_1 = -\mathbf{a}_2$

Forças no bloco 1:

$\sum \mathbf{F}_1 = m_1 \mathbf{a}_1$

$\mathbf{P}_1 + \mathbf{T}_1 = m_1 \mathbf{a}_1$

$-m_1 g\mathbf{j} + T\mathbf{j} = m_1 a_1 \mathbf{j}$

$T = m_1 a_1 + m_1 g \quad (1)$

Forças no bloco 2:

$\sum \mathbf{F}_2 = m_2 \mathbf{a}_2$

$\mathbf{P}_2 + \mathbf{T}_2 = m_2 \mathbf{a}_2 = -m_2 \mathbf{a}_1$

$-m_2 g\mathbf{j} + T\mathbf{j} = -m_2 a_1 \mathbf{j}$

$T = -m_2 a_1 + m_2 g \quad (2)$

Igualando-se as Eqs. (1) e (2) e resolvendo-se para *a*:

$$a_1 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g$$

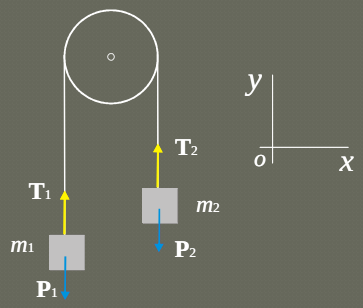
Vetores aceleração:

$$\mathbf{a}_1 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g\mathbf{j}$$

$$\mathbf{a}_2 = -\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g\mathbf{j}$$

Exemplo prático

Máquina de Atwood



Vetores aceleração:

$$\mathbf{a}_1 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g\mathbf{j}$$

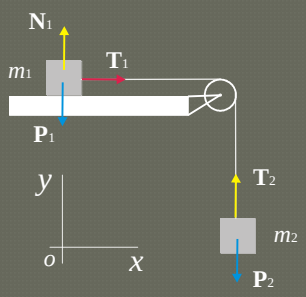
$$\mathbf{a}_2 = -\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g\mathbf{j}$$

Testes:

$m_1 = m_2 \Rightarrow a_1 = a_2 = 0$
$m_1 = 0 \quad \Rightarrow \mathbf{a}_2 = -g\,\mathbf{j}$
$m_2 = 0 \quad \Rightarrow \mathbf{a}_1 = -g\,\mathbf{j}$

Exemplo prático

Meia máquina de Atwood



Vetores:

$\mathbf{N}_1 = mg\mathbf{j}$

$\mathbf{T}_1 = T\mathbf{i}$ $\qquad$ $\mathbf{T}_2 = T\mathbf{j}$

$\mathbf{P}_1 = -m_1 g\mathbf{j}$ $\qquad$ $\mathbf{P}_2 = -m_2 g\mathbf{j}$

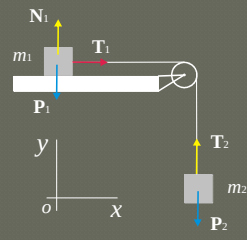
$\mathbf{a}_1 = a\mathbf{i}$ $\qquad$ $\mathbf{a}_2 = -a\mathbf{j}$

$$a_1 = -a_2$$

Aproximações usadas:
(a) Fio inextensível e
(b) Roldana de massa desprezível.

Exemplo prático

Meia máquina de Atwood



$a_1 = -a_2$

Igualando-se as Eqs. (1) e (2) e resolvendo-se para *a*:

$$a_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g$$

Forças no bloco 1:

$\sum \mathbf{F}_1 = m_1 \mathbf{a}_1$

$\mathbf{P}_1 + \mathbf{N}_1 + \mathbf{T}_1 = m_1 \mathbf{a}_1$

$-m_1 g\mathbf{j} + m_1 g\mathbf{j} + T\mathbf{i} = m_1 a_1 \mathbf{i}$

$T = m_1 a_1 \quad (1)$

Forças no bloco 2:

$\sum \mathbf{F}_2 = m_2 \mathbf{a}_2$

$\mathbf{P}_2 + \mathbf{T}_2 = m_2 \mathbf{a}_2$

$-m_2 g\mathbf{j} + T\mathbf{j} = m_2 a_2 \mathbf{j} = m_2 \quad -a_1 \quad \mathbf{j}$

$T = -m_2 a + m_2 g \quad (2)$

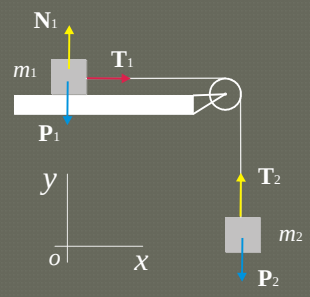
Vetores aceleração:

$$\mathbf{a}_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g\mathbf{i}$$

$$\mathbf{a}_2 = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} g\mathbf{j}$$

Exemplo prático

Meia máquina de Atwood



Vetores aceleração:

$$\mathbf{a}_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g\mathbf{i}$$

$$\mathbf{a}_2 = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} g\mathbf{j}$$

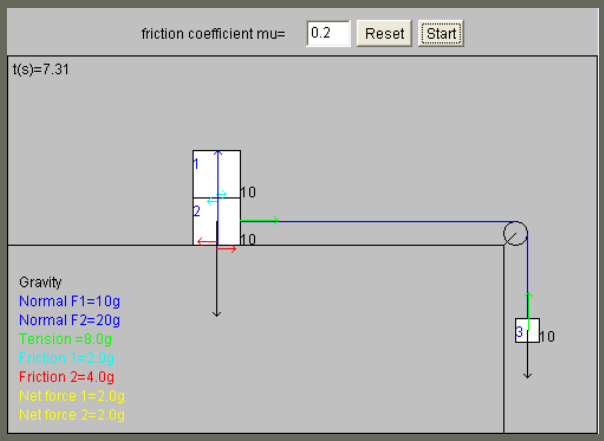
Testes:

$m_1 = 0 \quad \Rightarrow \mathbf{a}_2 = -g\,\mathbf{j}$

$m_2 = 0 \quad \Rightarrow \mathbf{a}_1 = 0$

Meia máquina de Atwood

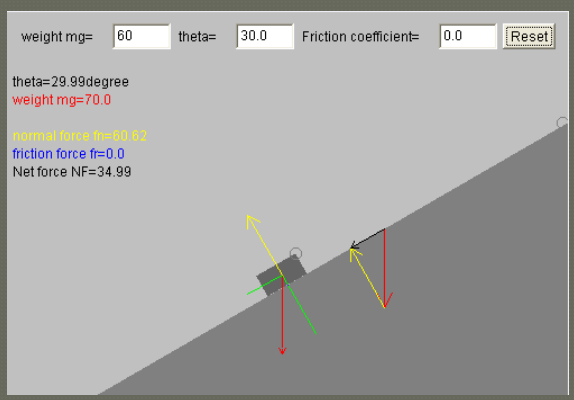
Este simulador mostra o diagrama de forças e o movimento do sistema quando a força de atrito está presente.



SMF © 2006-2008, Simple Machines LLC

Exemplo prático

Ajuste os parâmetros na parte superior do simulador e observe o comportamento das forças que agem sobre o bloco sobre a rampa.



SMF © 2006-2008, Simple Machines LLC