Física l

4 – Leis de Newton do Movimento

Introdução

Mecânica clássica

PHILOSOPHIÆ

NATURALIS

PRINCIPIA

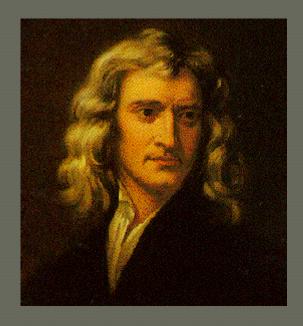
MATHEMATICA.

Autore J S. NEWTON, Trin. Coll. Camab. Sec. Mathefeos Profetfore Lucafiano, & Societatis Regalis Sodali.

> IMPRIMATUR. S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES. Jahn 5. 1686.

> > LONDINI,

Jussu Societatis Regie ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.



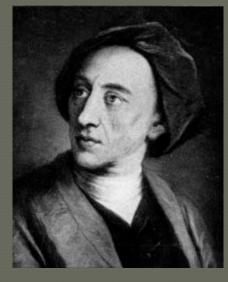
Isaac Newton (1643-1727)

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

Introdução

Sobre Isaac Newton foi dito...

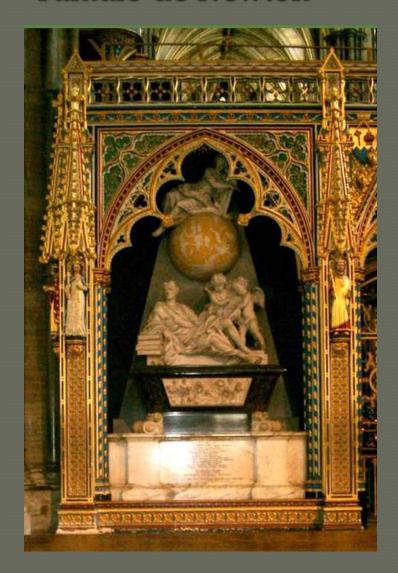
"A natureza e suas leis escondiam-se na escuridão da noite. Deus disse 'Faça-se Newton!' E tudo se iluminou.'' (Alexander Pope)



Alexander Pope (1688-1744)

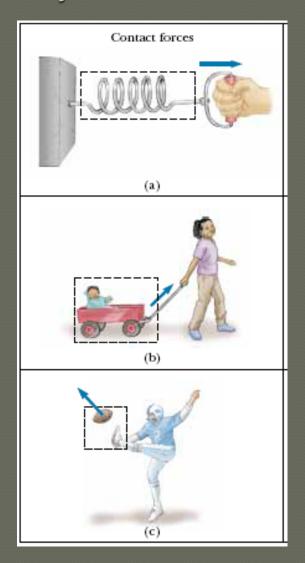
Introdução

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."

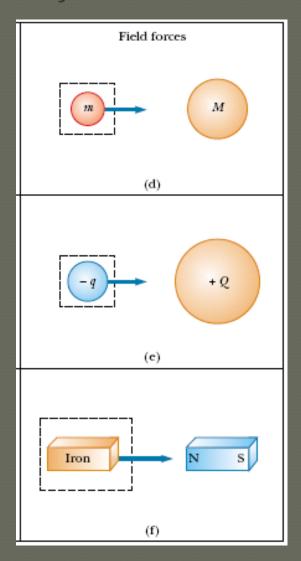
Tipos de forças



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

Forças de contato

Tipos de forças



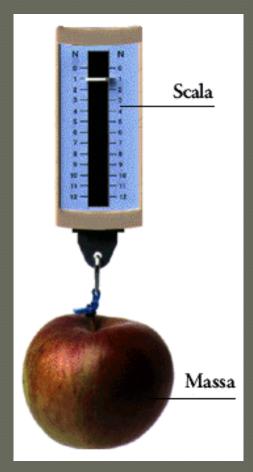
Os corpos dentro dos retângulos tracejados estão sujeitos a forças externas.

Forças de ação à distância ou forças de campo

Dinamômetro

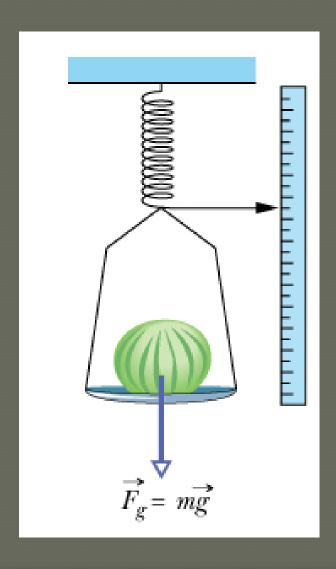
Instrumento analógico ou digital cuja função é medir a intensidade da força aplicada em uma de suas extremidades





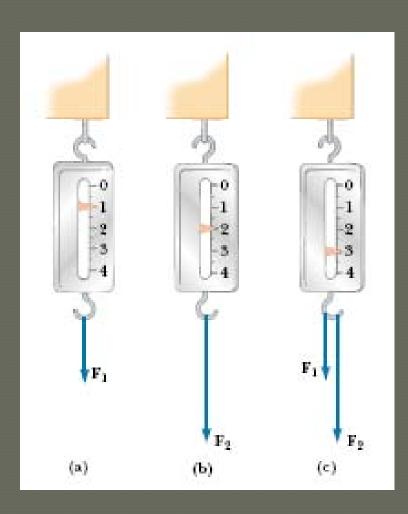


Dinamômetro



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

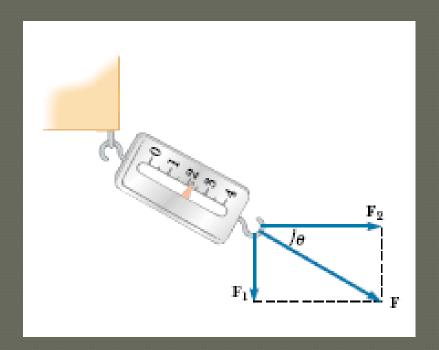
Força é grandeza vetorial



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

Força é grandeza vetorial

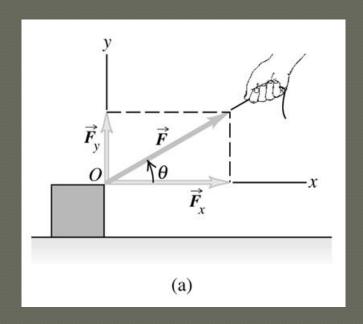


O efeito da aplicação da força \mathbf{F} é equivalente ao efeito da aplicação de suas forças componentes \mathbf{F}_1 e \mathbf{F}_2 , simultaneamente.

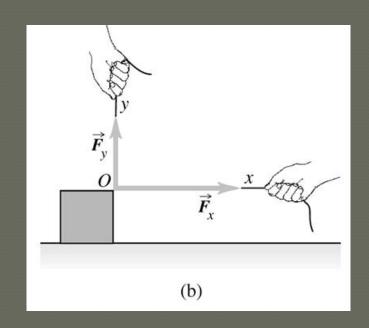
$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

Força é grandeza vetorial

O efeito da aplicação da força ${\bf F}$ é equivalente ao efeito da aplicação de suas forças componentes ${\bf F}_{\scriptscriptstyle X}$ e ${\bf F}_{\scriptscriptstyle V}$, simultaneamente.



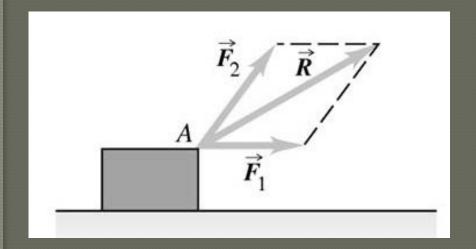




(b) Aplicação de $\mathbf{F}x$ e $\mathbf{F}y$ ao bloco

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{x} + \mathbf{F}_{y}$$

Força é grandeza vetorial

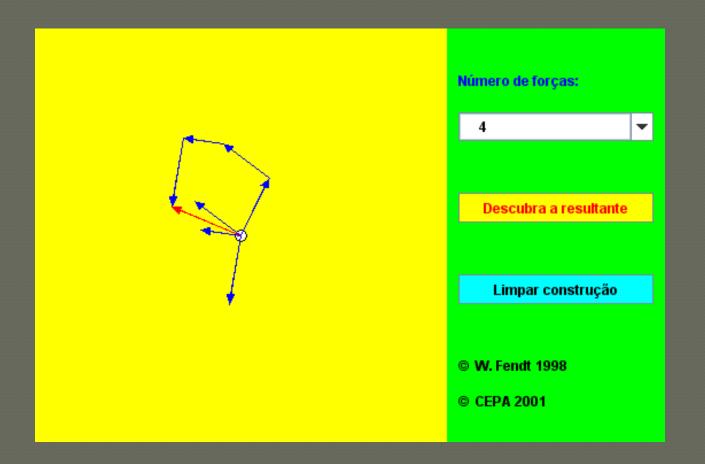


O efeito da aplicação da força \mathbf{R} é equivalente ao efeito da aplicação das forças \mathbf{F}_1 e \mathbf{F}_2 , que somadas resultam em \mathbf{R} .

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

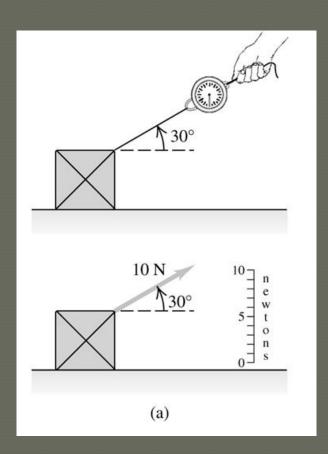
Força resultante

Força é grandeza vetorial





Força é grandeza vetorial



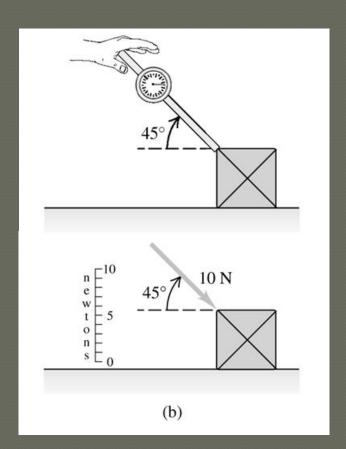


Um bloco é <u>puxado</u> por um fio conectado a um dinamômetro, que marca 10 N em sua escala e faz um ângulo de 30° com a horizontal.



Representação esquemática do processo.

Força é grandeza vetorial



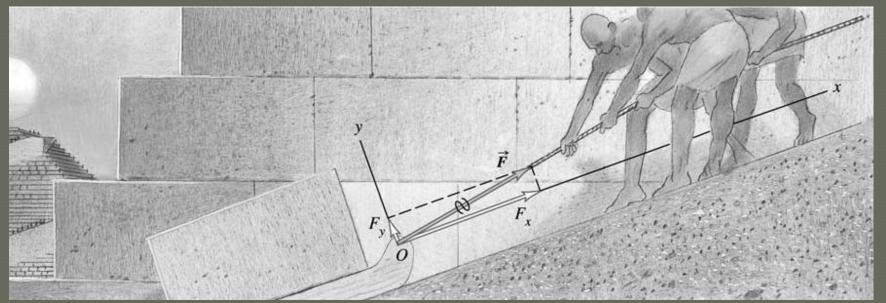


Um bloco é <u>empurrado</u> por uma barra conectada a um dinamômetro, que marca 10 N em sua escala e faz um ângulo de 45° com a horizontal.



Representação esquemática do processo.

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.

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



AXIOMATA SIVE LEGES MOTUS

Lex. L.

Corpus come perference in flatu for quiescendi vel movembi uniformiter in direction, nifi quaternes a viribus impressis cogstur flature illum mutare.

Projectifia perfeverant in moribus fuis nifi quatenns a refiftentia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorfum. Trochus, cuius partes colurendo perpetuo retrahunt fefe a motibus refiflincis, non ceffat rotari nifi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus fuos & progreffivos & circulares in spatis minus refistentibus factor confervant diutius.

Lex. II.

Matationem motus proportionalem effe vi motrici impressa, & fieri seemedum lineam restam qua vis illa imprimitur.

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla triplum generabit, five fimul & femel, five gradatim & fucceffive imprefla fuerit. Et hie motus quonsam in casadem femper plagam cum vi generatrice determinatur, fi corpusantea movebatur, motus ejus vel confpiranti additur, vel contrario fubducitur, vel oblquo oblique adjicitur, & cum co secundum utrius[q] determinationem componitur. 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.

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.

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

Primeira lei de Newton ou "lei da inércia"



Estação de Montparnasse, Paris, 22 de outubro de 1895



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.

A lei da inércia em ação



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



Reprodução do acidente em Montparnasse

Mundo a Vapor, Canela, RS





Efeito dramático da inércia

Filme demonstrativo sobre o efeito de um engavetamento





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.

Sistema de referência inercial e não inercial





















Sistema de referência inercial e não inercial





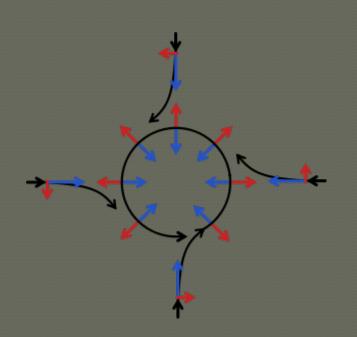








Sistema de referência inercial





Sistema de baixa pressão sobre a Islândia

Aceleração devido à diferença de pressão

Força de Coriolis

Movimento observado

Movimento da água no ralo do tanque

Realidade ou truque?



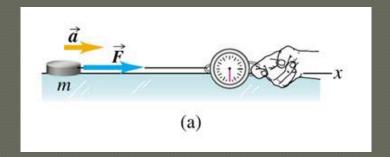
Truque!

A velocidade angular da Terra é demasiado lenta para ter um efeito significativo sobre sistemas tão pequenos. O efeito seria mais intenso próximo dos pólos, de forma que fazer essa experiência perto do Equador faz com que o efeito Coriolis seja ainda mais fraco. Neste vídeo, existem três diferentes aparatos, cada um projetado para exibir diferentes dinâmicas do fluido.

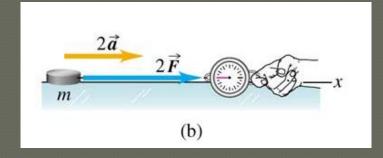
Segunda lei de Newton

A aceleração é proporcional à força resultante

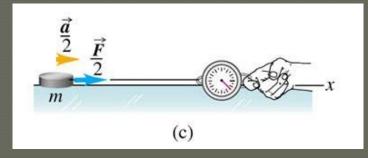
$$a \propto \sum F$$



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



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

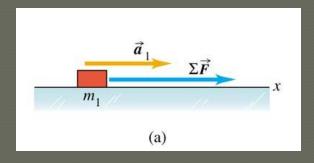


Dividindo-se a força por dois , a aceleração também será reduzida à metade.

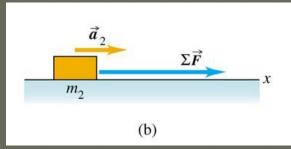
Segunda lei de Newton

A aceleração é inversamente proporcional à massa

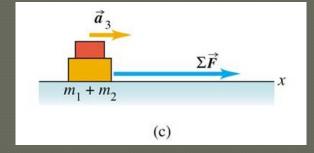
$$\mathbf{a} \propto \frac{1}{m}$$



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



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



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

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

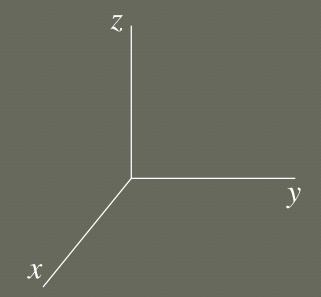
A forma matemática da segunda lei de Newton pode ser desdobrada em três equações parciais, cada uma correspondente a um eixo cartesiano ortogonal.

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

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$\sum F_z = ma_z$$



Massa e peso

Características

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

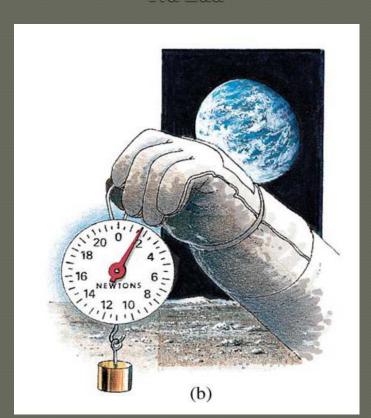
A massa de um corpo corresponde à quantidade de matéria que o mesmo possui e caracteriza a propriedade de inércia do corpo.

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

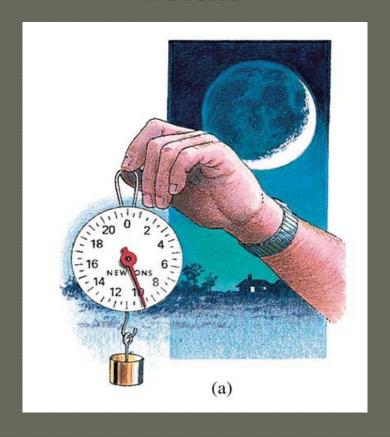
Massa e peso

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.

Terceira lei de Newton

Enunciado

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

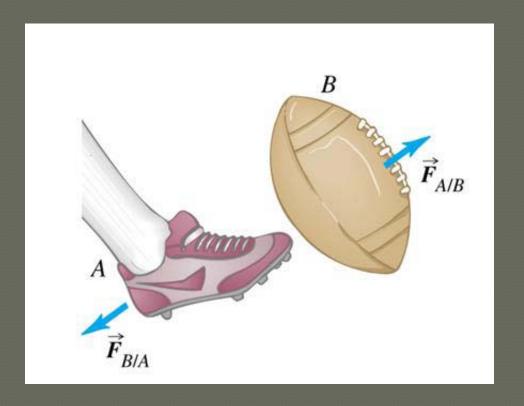
Quando um corpo A exerce uma força sobre um corpo B (ação), então o corpo B exerce uma força sobre o corpo A (reação).

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

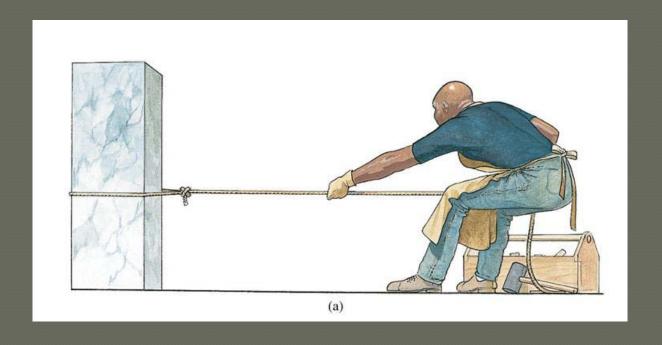
Forças de ação e reação

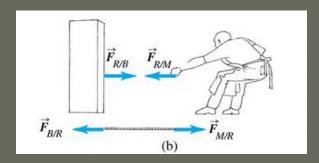


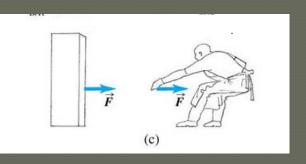
$$\mathbf{F}_{\mathrm{B/A}} = -\mathbf{F}_{\mathrm{A/B}}$$

Terceira lei de Newton

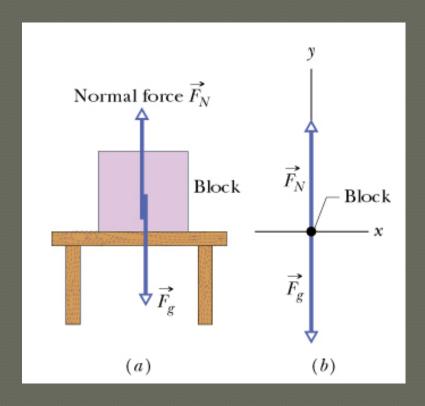
Forças de ação e reação







Bloco sobre a mesa



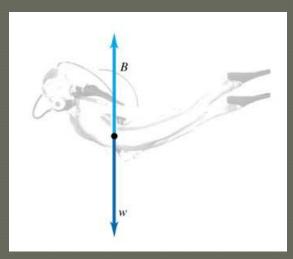
- (a) Situação esquemática;
- (b) Diagrama de corpo livre.

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}_{α} e a \mathbf{F}_{N} .

Mergulhador

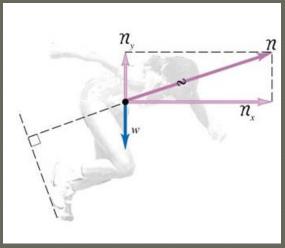




As forças relevantes que atuam sobre o mergulhador são a força da gravidade **w** (*weight*) e o empuxo da água **B** (*buoyancy force*).

Corredora na largada

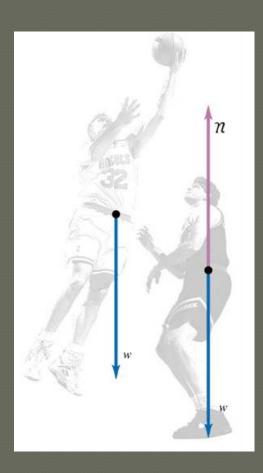




As forças relevantes que atuam sobre a corredora são a força da gravidade \mathbf{w} e a força de reação do solo devido ao seu pisar η , que pode ser decomposta numa força normal η_y , que a empurra para cima, e numa força de atrito η_x , que a empurra para frente.

Jogadores de basquete

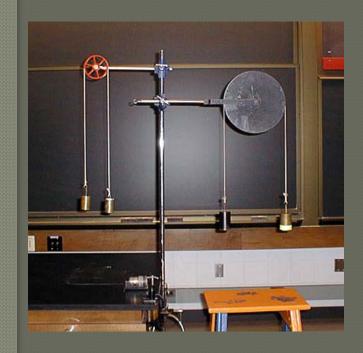


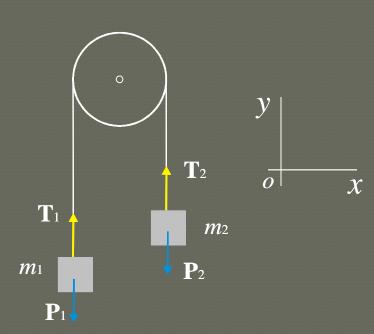


As forças relevantes que atuam sobre os jogadores são a força da gravidade **w** e a força de reação do solo devido ao seu pisar η.

Note que o jogador que saltou não está sujeito à força η, pois não está em contato com o solo.

Máquina de Atwood





Aproximações usadas: (a) Fio inextensível e

(b) Roldana de massa desprezível.

Vetores:

$$\mathbf{T}_{1}=T\mathbf{j}$$

$$T_2 = Tj$$

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

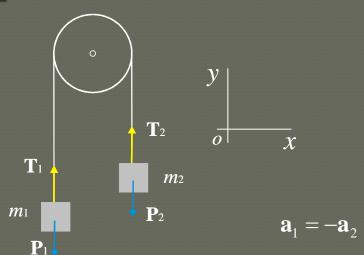
$$\mathbf{P}_2 = -m_2 g \mathbf{j}$$

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

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

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

Máquina de Atwood



Forças no bloco 1:

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

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

$$-m_1g_1 + T_1 = m_1a_1$$

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

Forças no bloco 2:

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

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

$$-m_2 g j + T j = -m_2 a_1 j$$

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

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

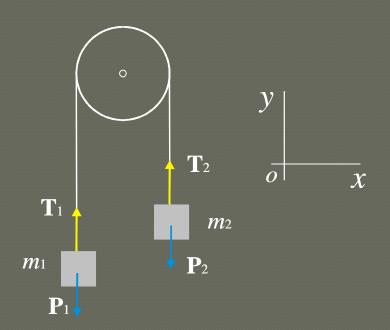
$$a_1 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g$$

Vetores aceleração:

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

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

Máquina de Atwood



Vetores aceleração:

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

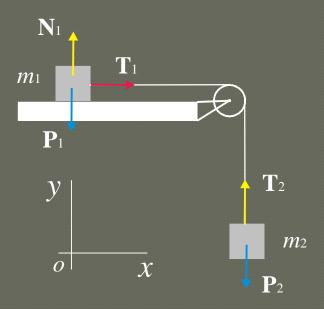
$$\mathbf{a}_2 = -\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g \mathbf{j}$$

Testes:

$$m_1 = m_2 \Rightarrow a_1 = a_2 = 0$$

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

Meia máquina de Atwood



Vetores:

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

$$T_1 = Ti$$

$$T_2 = Tj$$

$$\mathbf{P}_{1} = -m_{1}g\mathbf{j}$$

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

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

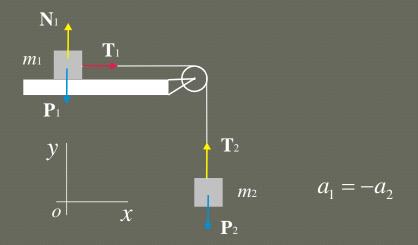
$$\mathbf{a}_2 = -a\mathbf{j}$$

$$a_1 = -a_2$$

Aproximações usadas:

- (a) Fio inextensível e
- (b) Roldana de massa desprezível.

Meia máquina de Atwood



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:

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

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

$$-m_2 g J + T J = m_2 a_2 J = m_2 (-a_1) J$$

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

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

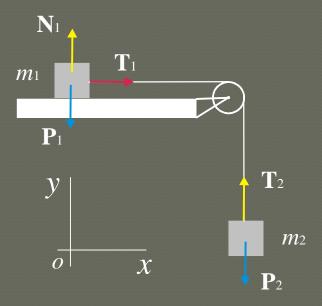
$$a_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g$$

Vetores aceleração:

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

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

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:

$$m_1 = 0 \implies \mathbf{a}_2 = -g \mathbf{j}$$

 $m_2 = 0 \implies \mathbf{a}_1 = 0$

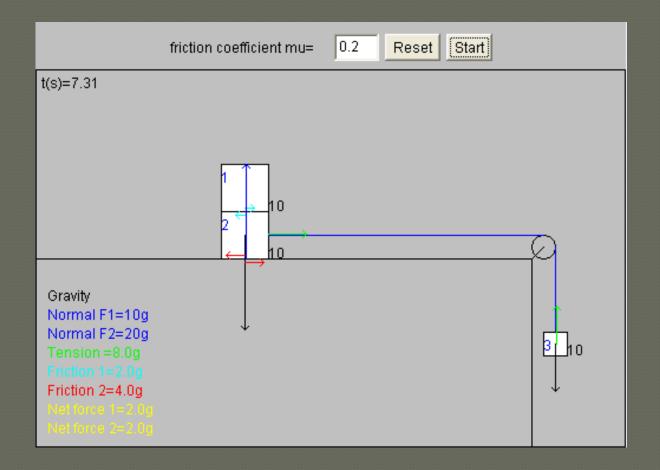
Meia máquina de Atwood



Meia máquina de Atwood

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





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



