



Aula do cap 05

Força e Movimento I Leis de Newton



Isaac Newton (1642 – 1727)

Até agora apenas descrevemos os
Movimentos usando a : **cinemática**

É impossível, no entanto, **entender** qual a causa dos movimentos através da cinemática.

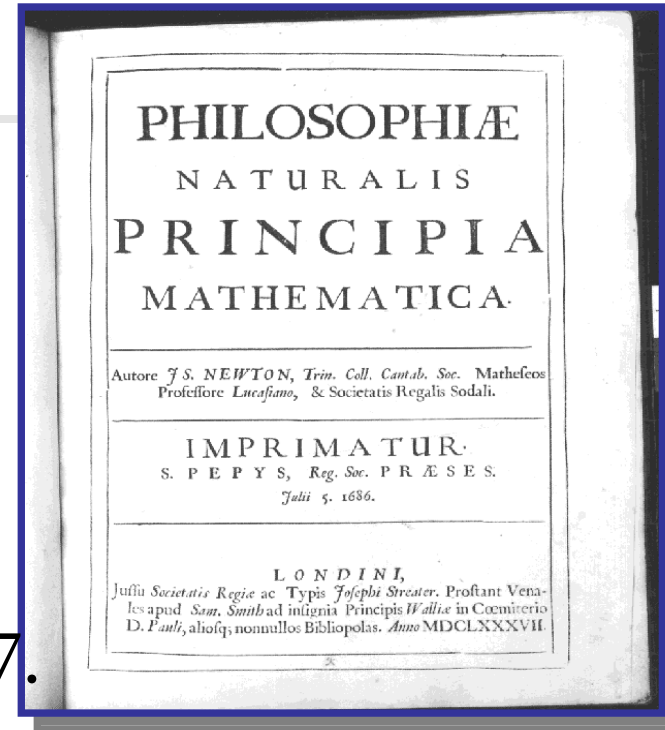
Forças causam modificações no movimento e o seu conhecimento permite prever o movimento subsequente de um objeto.

Esse estudo das causas do movimento é a **Dinâmica**.

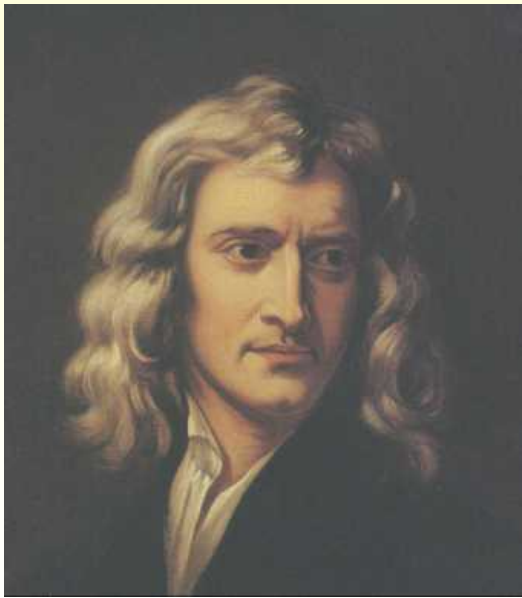


Leis de Newton

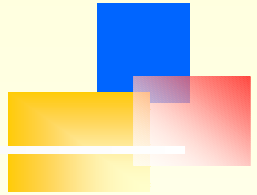
As leis que descrevem os movimentos de um corpo foram propostas por **Isaac Newton** em 1687.



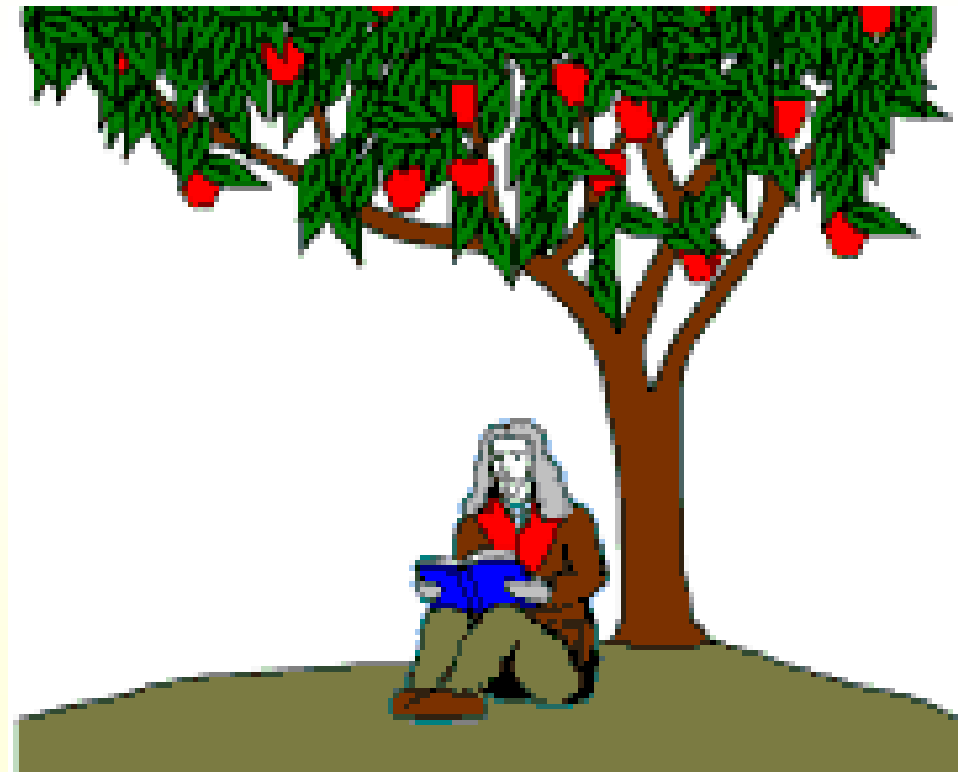
Hoje em dia são conhecidas como as **Leis de Newton** e foram baseadas em cuidadosas e extensivas observações dos movimentos e suas modificações.

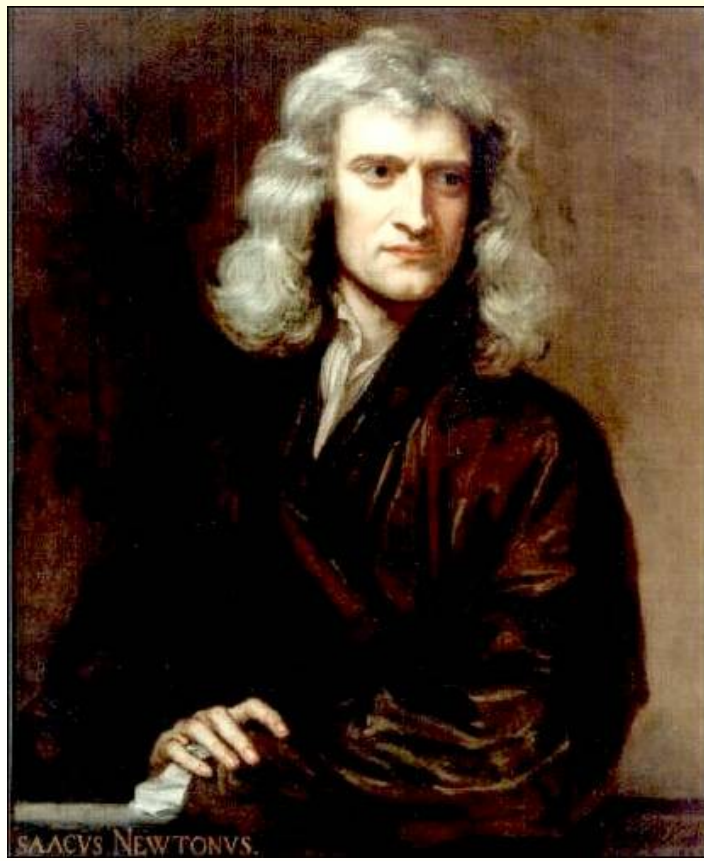


Sir. Isaac Newton



Físico, matemático e astrônomo inglês, nasceu em 25 de dezembro de 1642 na cidade de Woolsthorpe, Lincolnshire. Estudou no Trinity College de Cambridge, onde recebeu em 1665 o título de bacharel.

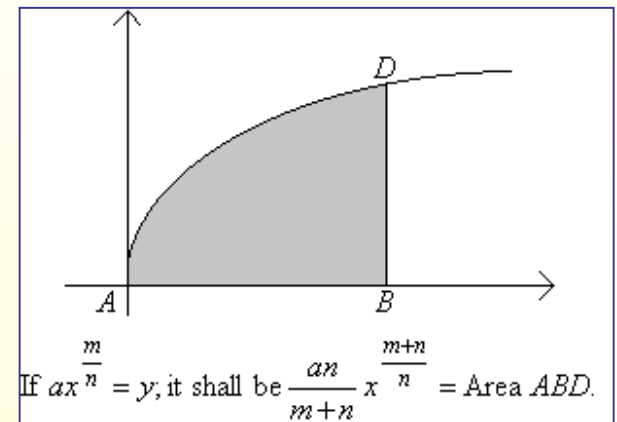




Isaac Newton (1642 – 1727)

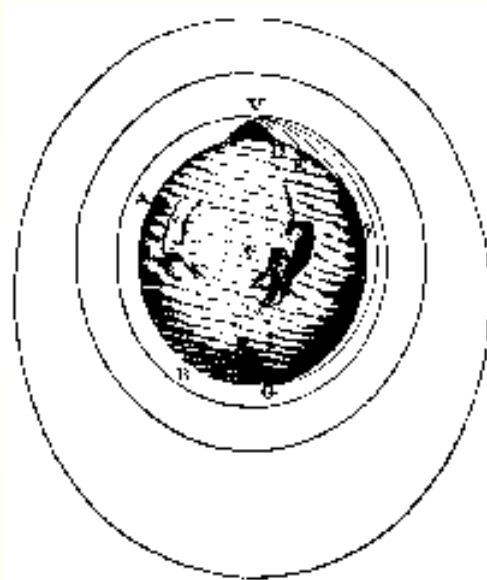
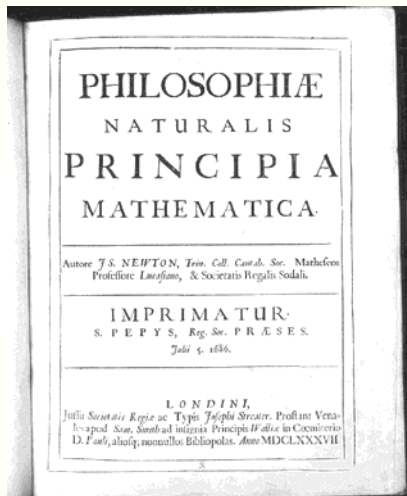
- Newton foi um dos maiores gênios de todos os tempos, com certeza o maior físico que já existiu.
- Baseou-se principalmente nos trabalhos de Kepler (para a Gravitação) e Galileo (movimentos dos corpos).
- Newton definiu as principais grandezas físicas tais como as conhecemos hoje: Espaço, Tempo, Velocidade, Aceleração, Força, Massa...

Para resolver problemas de movimento, Newton criou o Cálculo Diferencial e Integral.



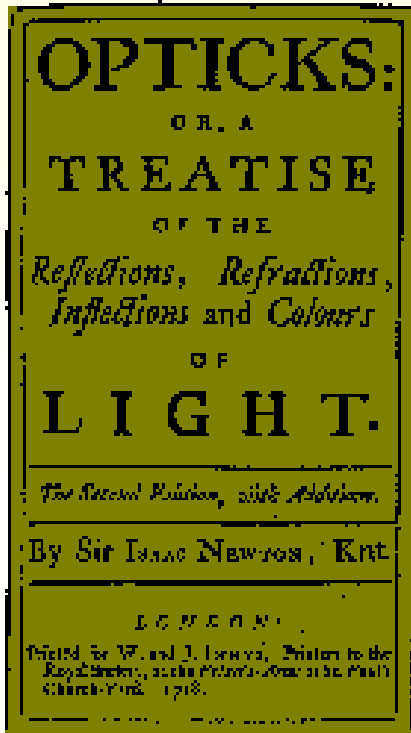
Mecânica: seu famoso “Principia” definiu a Física desde então.

Pode-se dizer que Galileo e Kepler descreveram como os corpos se movem, Newton então descreveu **porque** eles se movem.



Em seu livro Newton credits a 1ª Lei e a 2ª Lei da mecânica à Galileo “... Que primeiro observou que o espaço percorrido por um móvel depende do quadrado do tempo...”

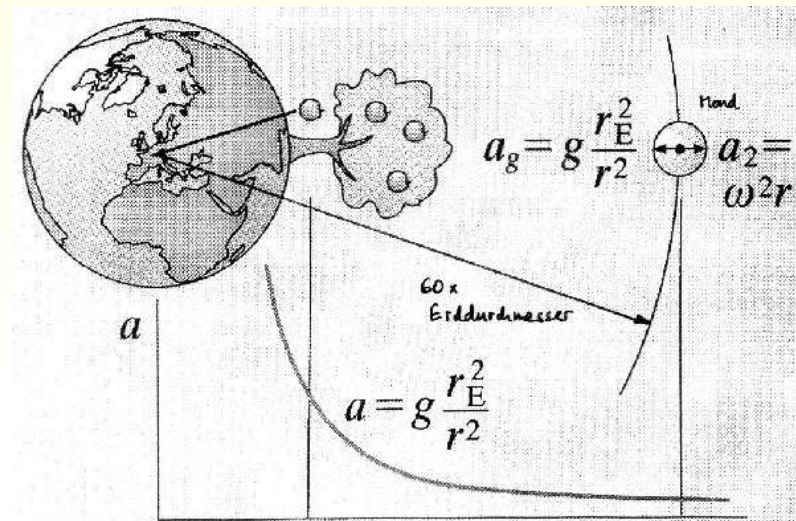
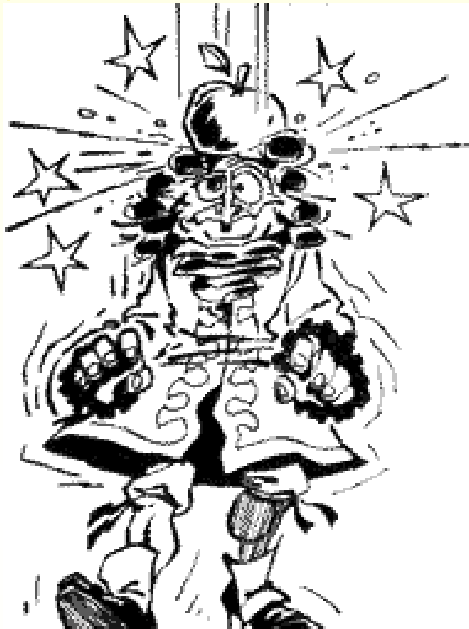
Realizações de Newton



Newton também “fundou” a Óptica, onde discutiu os fenômenos ópticos (reflexão, refração...) e a natureza da luz, que ele considerava composta de partículas.

Desenvolveu também um novo tipo de telescópio, o refletor. Antes dele, só havia o refrator.

Realizações de Newton



Gravitação Universal: a força que rege o movimento dos corpos celestes é a mesma força que explica a queda de uma maçã! Esta foi a primeira grande unificação na Física: as leis que regem os movimentos dos corpos celestes são as mesmas que governam o movimento dos corpos na superfície terrestre.

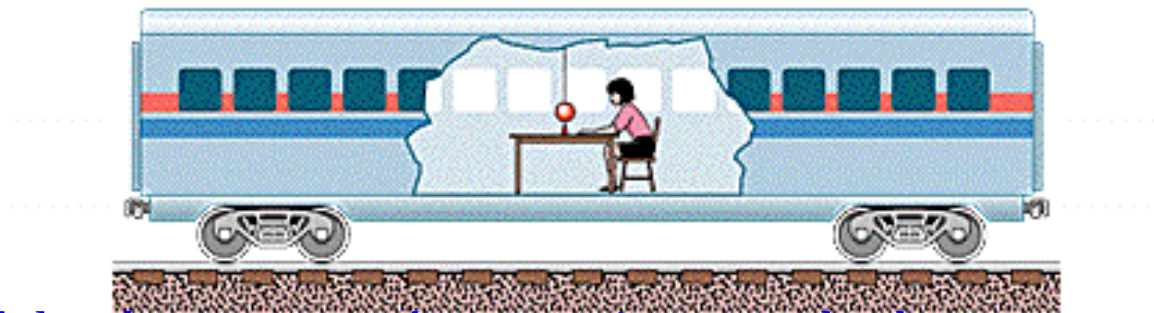
As Três Leis de Newton

**1ª Lei de Newton:
Lei da Inércia.**

**2ª Lei de Newton:
Força Resultante e aceleração.**

**3ª Lei de Newton:
Ação e Reação.**

Referencial Inercial!!!!



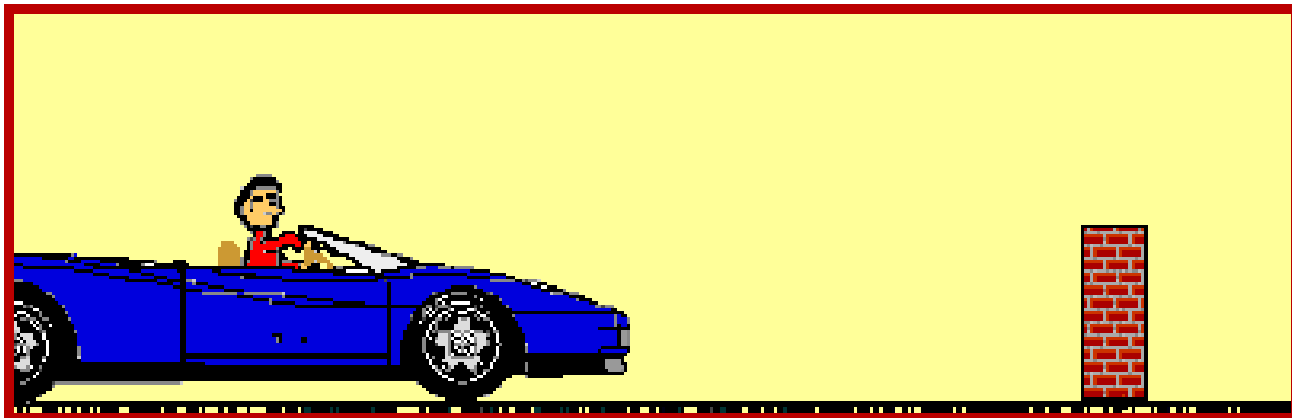
O pêndulo só permanecerá na posição vertical sobre a marca vermelha se o trem possuir velocidade constante.

1º LEI DE NEWTON

- LEI DA INÉRCIA -

"Qualquer corpo em movimento retilíneo e uniforme (ou em repouso) tende a manter-se em movimento retilíneo e uniforme (ou em repouso)."

Um exemplo para observação da inércia dos corpos é quando um veículo é freado, como resultado os passageiros tendem a manter-se no seu estado de movimento.





1ª Lei de Newton

Um corpo **isolado** mantém a sua velocidade constante

$$\vec{v} = \vec{v}_0 = cte$$

O **repouso** é apenas um caso particular da expressão acima:

$$\vec{v}_0 = \mathbf{0}$$

Corpo isolado e velocidade constante:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \mathbf{0}$$



1ª Lei de Newton

Corpo “isolado” $\Rightarrow$ **Força resultante total nula**

$$\sum \vec{F} = 0 \quad \text{Corpo isolado}$$

Um corpo movendo-se com velocidade **constante** não tem uma força **resultante** agindo sobre ele.

Não menos importante: todas as 3 coordenadas da posição movem-se linearmente com o tempo

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t$$



1ª Lei de Newton

A 1ª lei de Newton também pode ser enunciada assim:

Um objeto movendo-se com velocidade constante não tem uma força resultante agindo sobre ele.

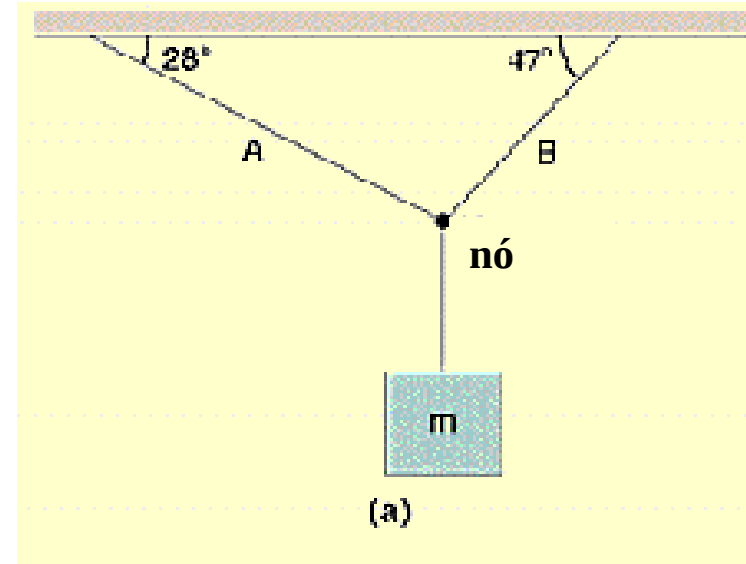
O sistema de referência para o qual a 1ª lei de Newton é válida é um **sistema de referência inercial!**

Corpo “isolado” $\Rightarrow$ **Força resultante total nula**

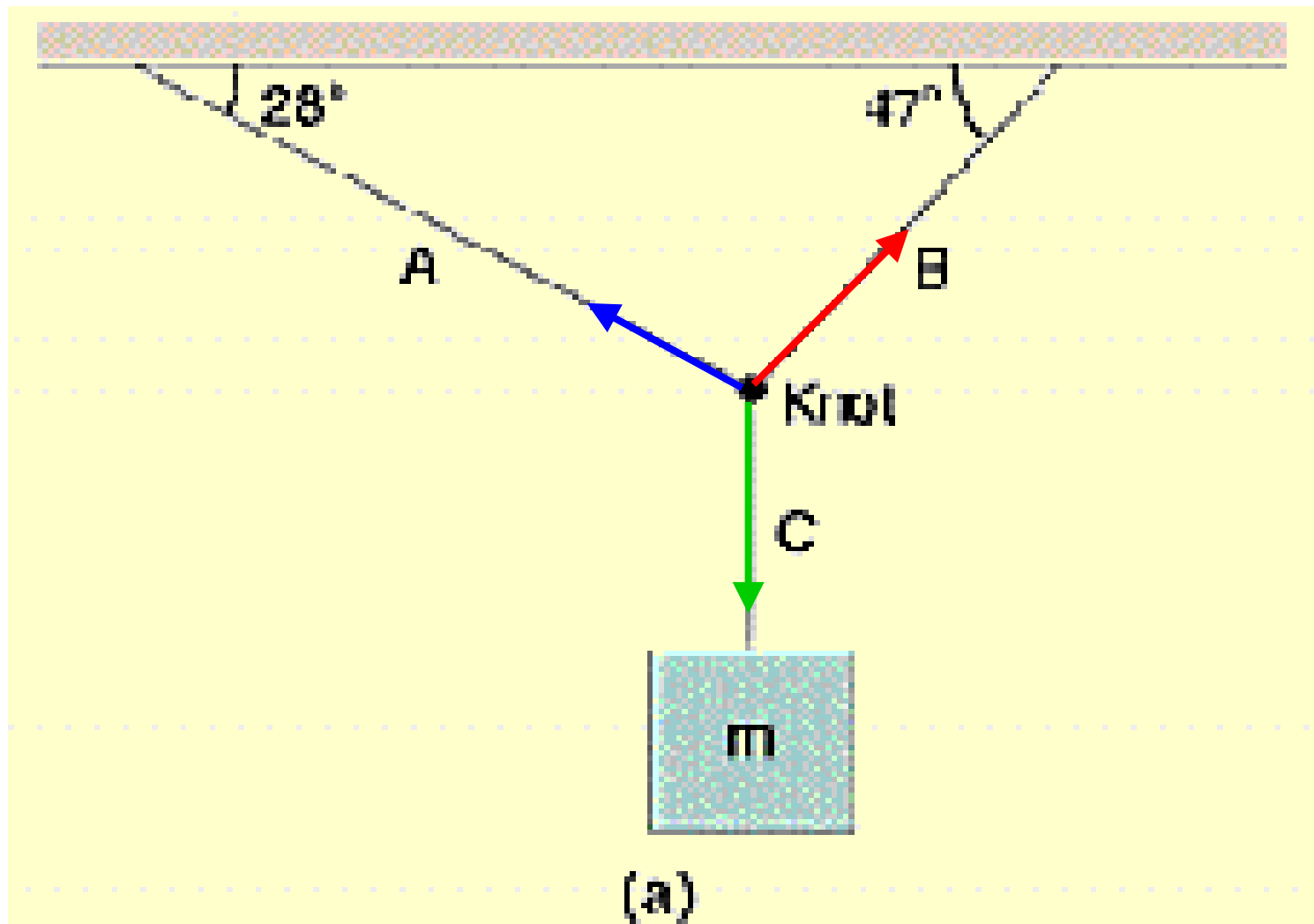
$$\sum \vec{F} = 0 \quad \text{Corpo isolado}$$

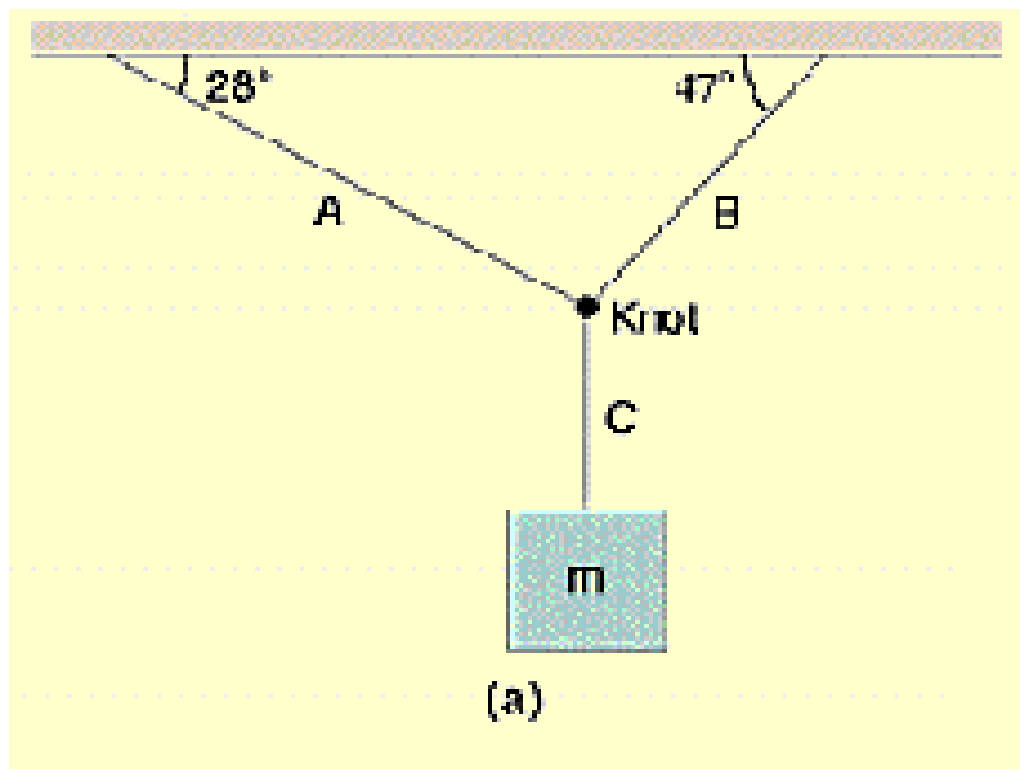
O **repouso** é apenas um caso particular:

Exemplo:



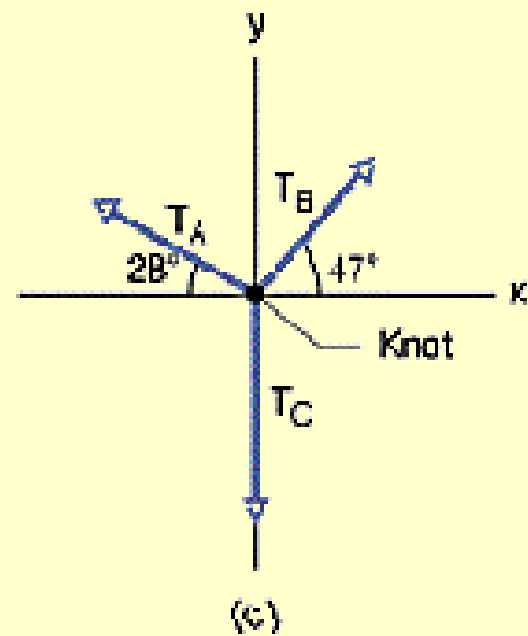
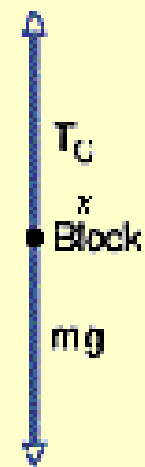
- 1) Um bloco de massa $m = 15 \text{ kg}$ está pendurado por um cabo preso a dois outros cabos “A” e “B” ligados a um suporte, como mostra a figura. Os cabos superiores fazem ângulos de 28° e 47° com a horizontal. a) Determine as trações nos cabos T_A , T_B ?
- b) Se os ângulos dos cabos podem ser ajustados, em qual situação teremos $T_A = T_B$?

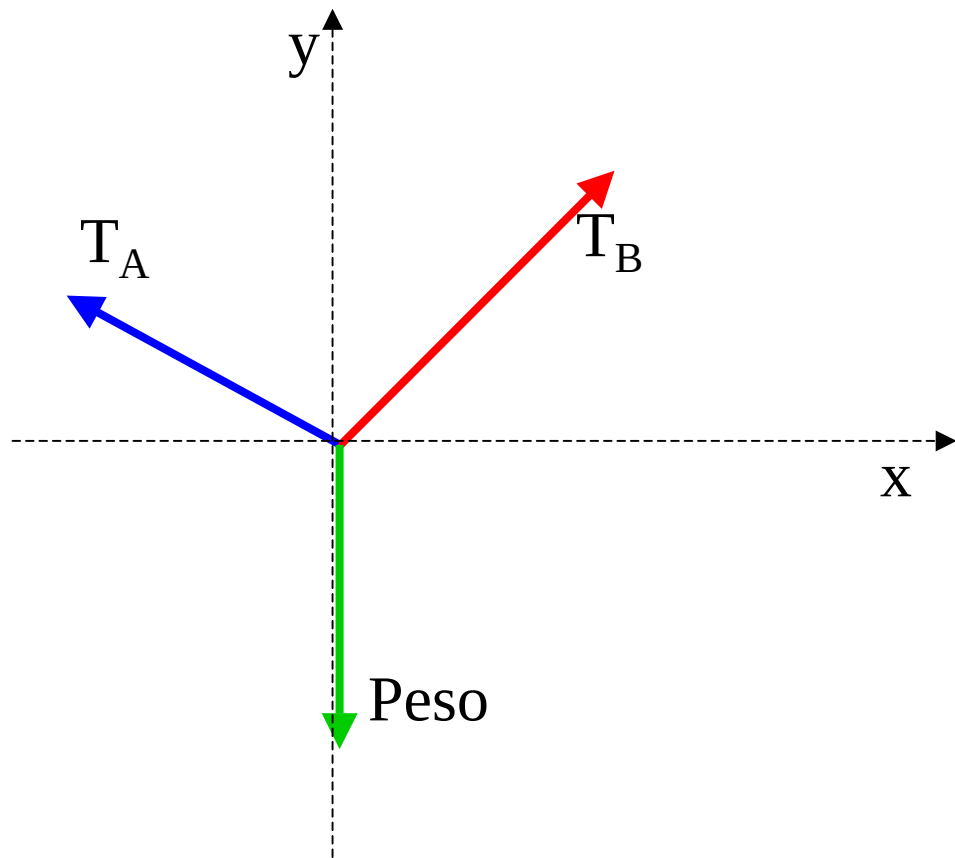


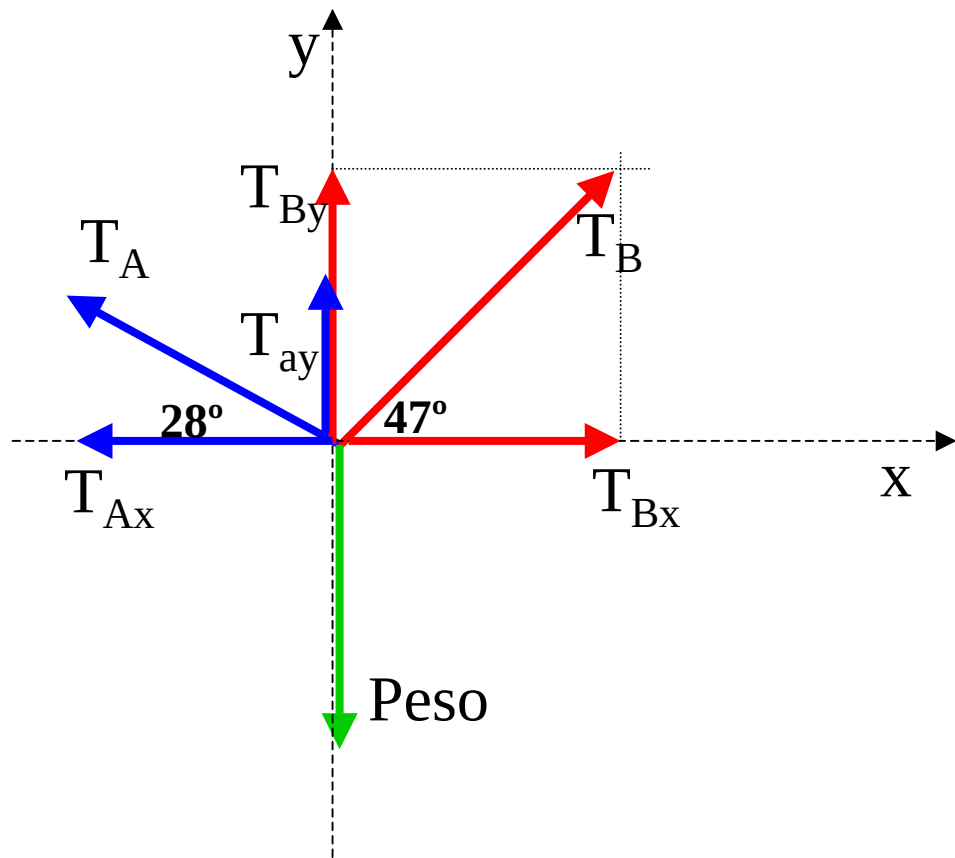


$$m = 15 \text{ Kg}$$

Encontre as tensões T_A e T_B !







$$\sum \vec{F}_y = 0$$

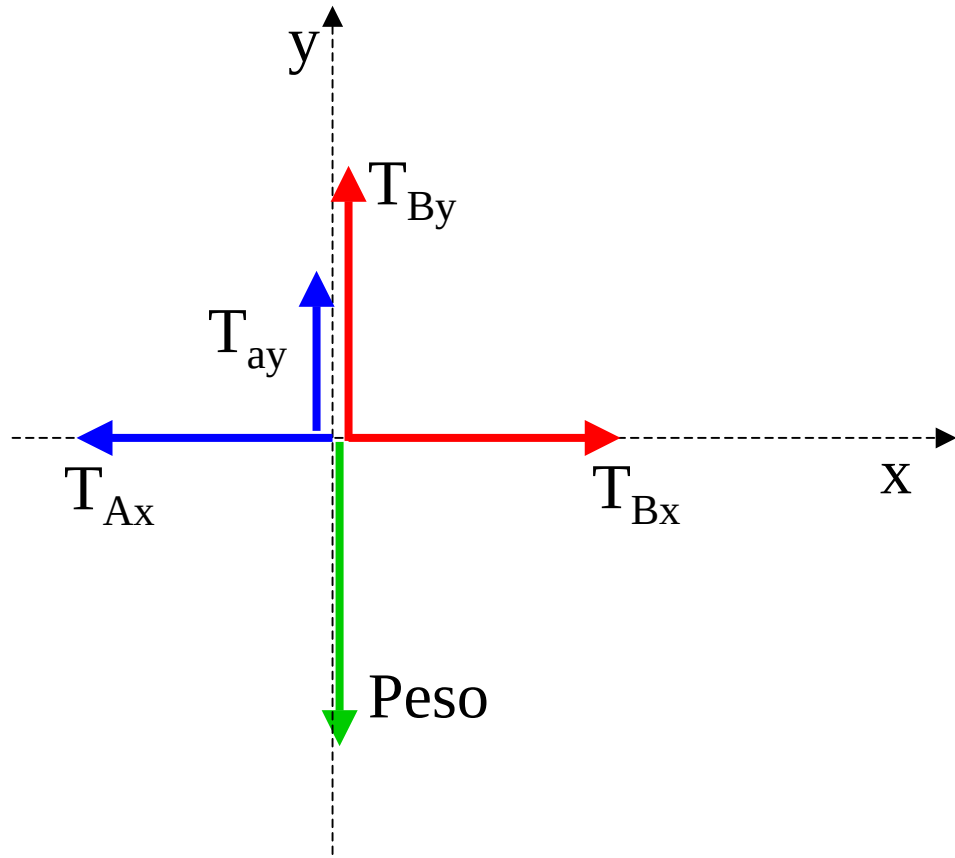
$$\sum \vec{F}_x = 0$$

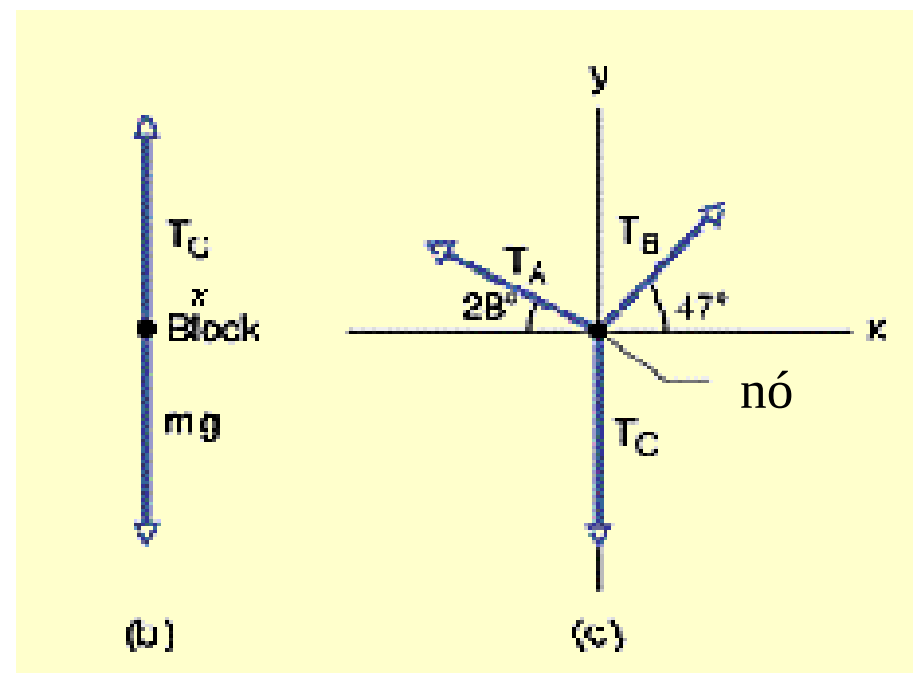
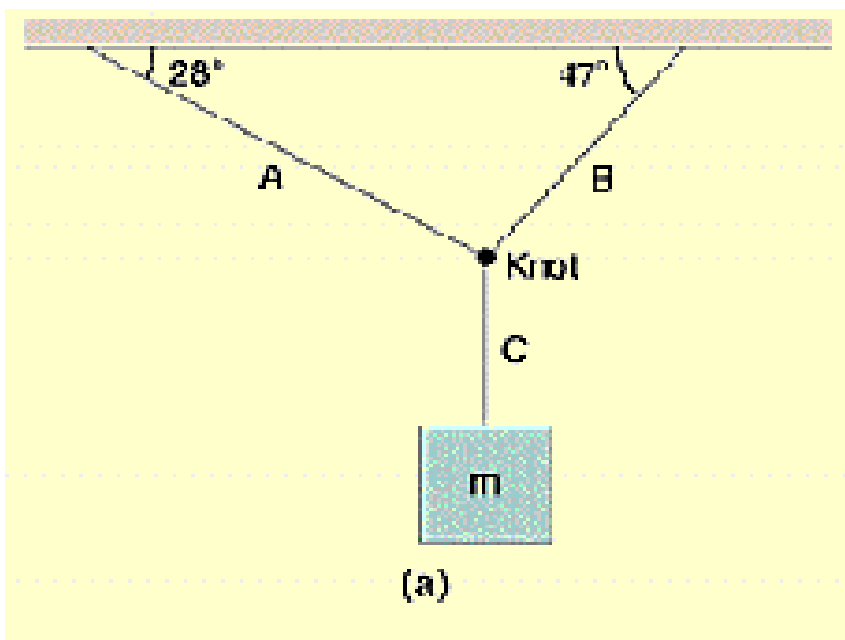
$$T_{Bx} = T_B \cos 47^\circ$$

$$T_{By} = T_B \sin 47^\circ$$

$$T_{Ax} = T_A \cos 28^\circ$$

$$T_{Ay} = T_A \sin 28^\circ$$





$$T_C = mg = (15 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \\ = 147 \text{ N} \approx 150 \text{ N.} \quad (\text{Answer})$$

The clue to our next step is to realize that the knot where the three cords join is the only point at which all three forces act, and it is this knot to which we should apply **Newton's second law**. Figure 5-21c is the **free-body diagram** for the knot. Since the knot is not accelerated, the **net force** acting on it must be zero. Thus

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{T}_A + \mathbf{T}_B + \mathbf{T}_C = 0.$$

This vector equation is equivalent to the two scalar equations

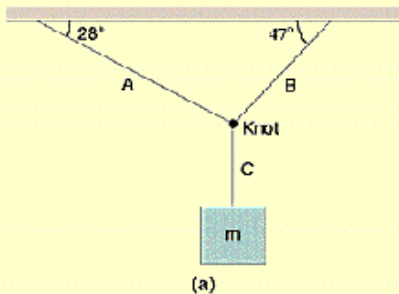
$$\sum F_y = T_A \sin 28^\circ + T_B \sin 47^\circ - T_C = 0 \quad (5-23)$$

and

$$\sum F_x = -T_A \cos 28^\circ + T_B \cos 47^\circ = 0. \quad (5-24)$$

Note carefully that, when we write the **x component** of $\mathbf{T}_A$ as $T_A \cos 28^\circ$, we must include a minus sign to show that it extends in the negative direction of the **x axis**.

Exemplo



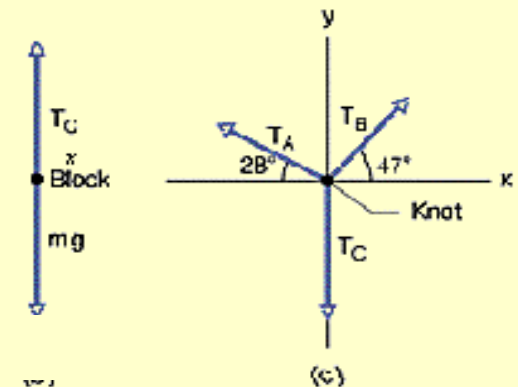
$$T_A(0.469) + T_B(0.731) = 147 \text{ N}$$

and

$$T_B(0.682) = T_A(0.883)$$

$$T_B = \frac{0.883}{0.682} T_A = 1.29 T_A.$$

Substituting



$$\begin{aligned} T_A &= \frac{147 \text{ N}}{0.469 + (1.29)(0.731)} \\ &= 104 \text{ N} \approx 100 \text{ N}. \end{aligned}$$

(Answer)

Finally, T_B is found from

$$\begin{aligned} T_B &= 1.29 T_A = (1.29)(104 \text{ N}) \\ &= 134 \text{ N} \approx 130 \text{ N}. \end{aligned}$$

(Answer)

2ª Lei de Newton

- Força Resultante e Aceleração.
- Diagrama de corpo livre.
- Forças Normais: referenciais inerciais e não inerciais
- Plano inclinado.
- Medidas de Força.
- Exemplos.



Isaac Newton (1642 – 1727)

Referência:

- **Halliday**, David; Resnick, Robert & Walker, Jearl. Fundamentos de Física, Vol 1. Cap. 05 da 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.



2ª lei de Newton

Um corpo sob a ação de uma força resultante acelera

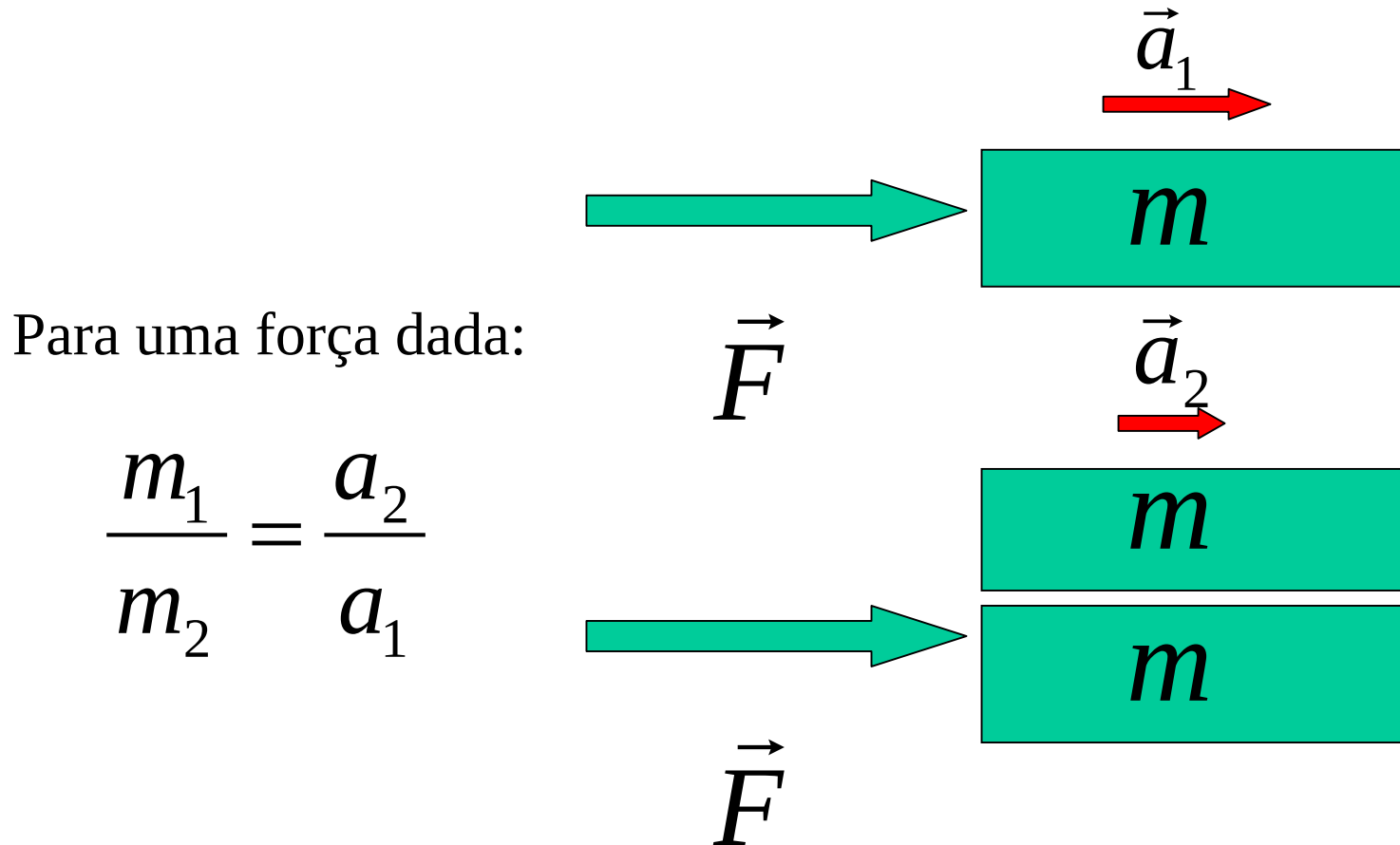
Essa aceleração também depende de uma propriedade
intrínseca de cada corpo: **a massa!**



Conceito de **inércia**

A massa que aparece na 2ª lei de Newton é muitas vezes
chamada de
massa inercial

Massa e definição de força



- **Força de 1 N:** aquela que causa uma aceleração de 1 m/s^2 a um quilograma padrão.



2ª lei de Newton

A segunda lei de Newton é a lei fundamental da Mecânica. Existe uma relação muito simples entre força e aceleração, isto é, a força **F** é sempre diretamente proporcional à aceleração que ela provoca.

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

Onde m é a massa do corpo.

Esta relação é conhecida como a 2ª lei de Newton.

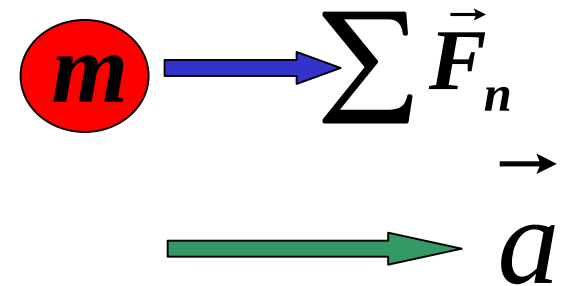
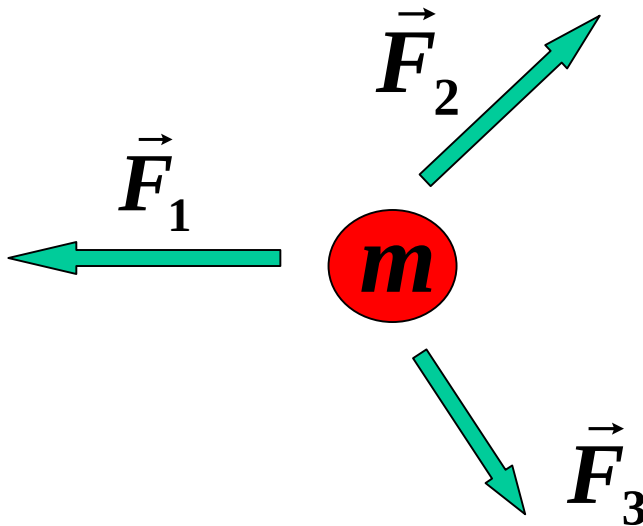
No enunciado da lei de Newton, o termo F tanto pode representar uma força como a força que resulta da soma de um conjunto de forças.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$



Força Resultante:

Uma Grandeza Vetorial





2ª lei de Newton

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Decomposição vetorial:

$$\sum F_x = ma_x = m \frac{dv_x}{dt}$$

$$\sum F_y = ma_y = m \frac{dv_y}{dt}$$

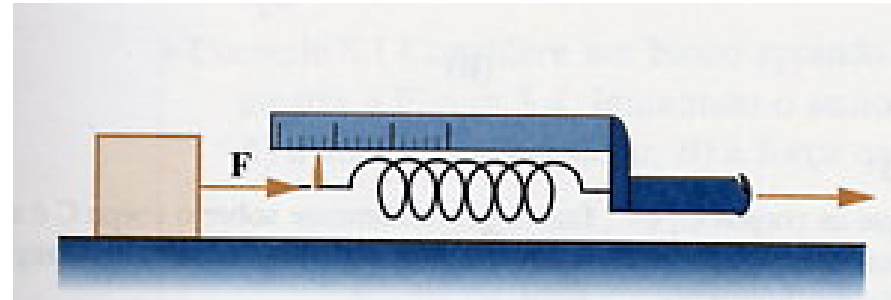
$$\sum F_z = ma_z = m \frac{dv_z}{dt}$$

Assim como para a 1a. Lei, a 2a. Lei só é válida num **referencial inercial**

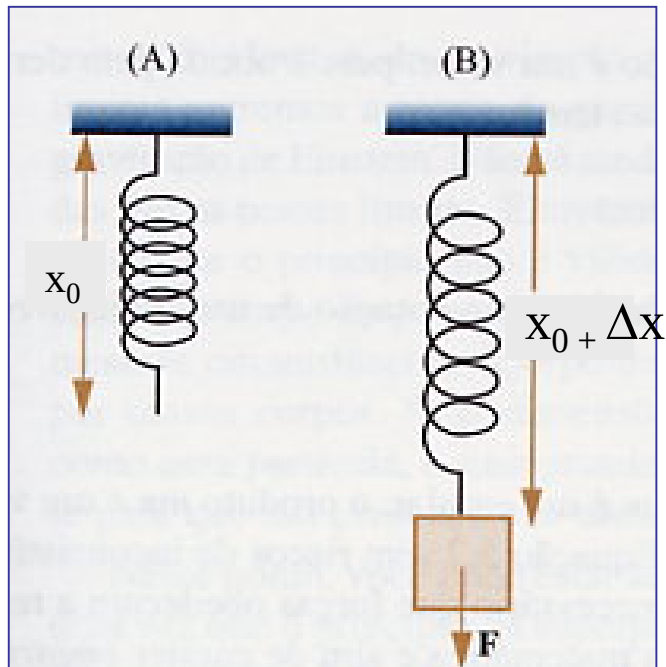
Medidas de força

Considere bloco padrão, de massa $m = 1 \text{ kg}$

- Imprima aceleração de 1 m/s^2 ao conjunto
- Isto corresponde a uma força de 1 N .
- A distensão na mola está medindo esta força



Medidas de força



Dinamômetro

Corpos elásticos se deformam sob a ação de forças de contato.

Exemplo: Mola

Força de mola

$$F = -k \Delta x$$

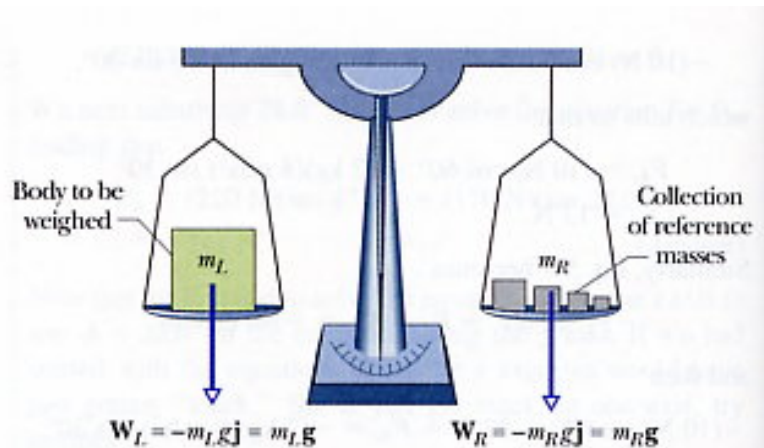
Δx = deformação mola

Lei de Hooke, (homenagem a R. Hooke, (1635-1703) o primeiro a formular a lei)

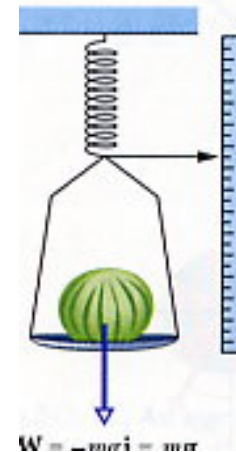
Peso $\neq$ massa

Instrumentos de medida de massas

Balança de braços
iguais: comparação com
massas padrão



Balança de mola:
medida da força peso:



Forças Normais: referenciais inerciais



balança

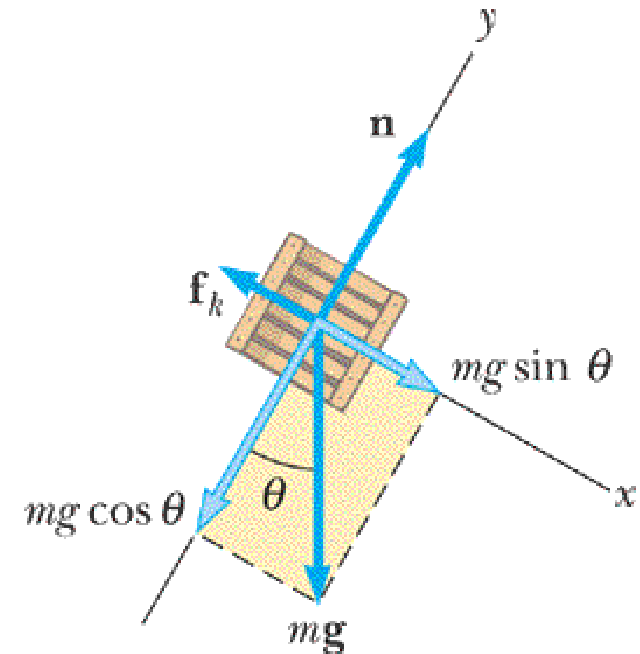
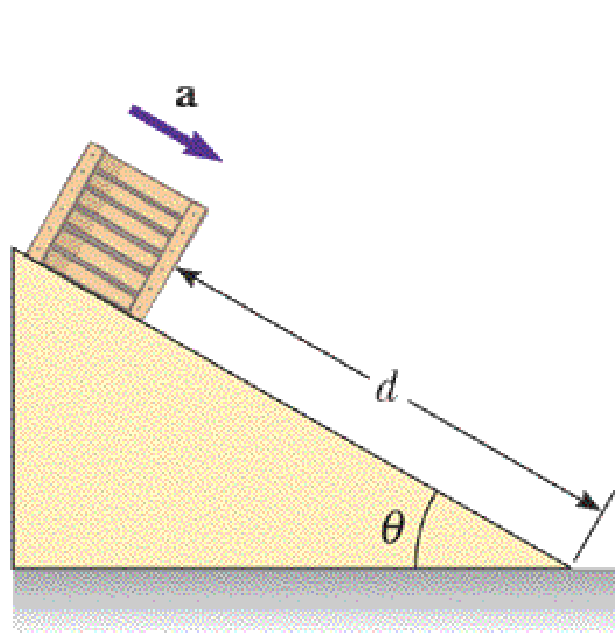
O peso possui o mesmo
módulo da força normal.
balança de banheiro!

$$\vec{N} + m\vec{g} = 0$$

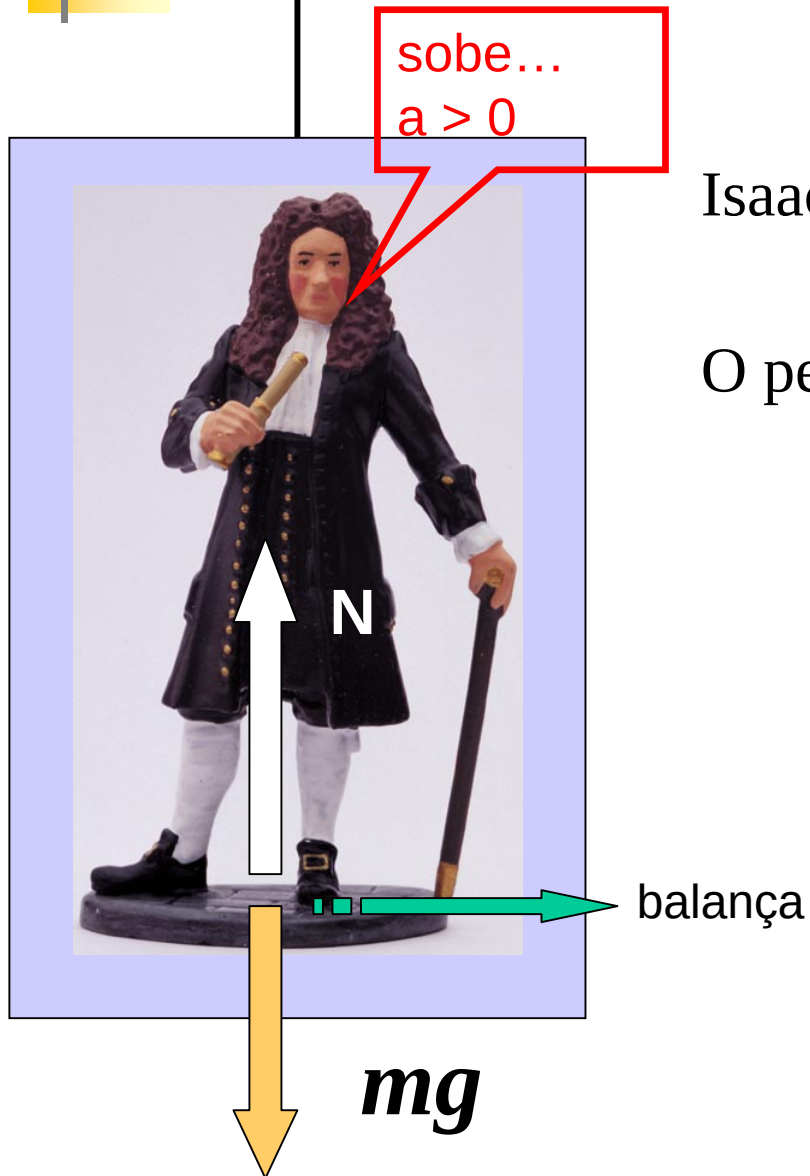
Forças normais: referenciais inerciais

Um exemplo onde o peso é maior que a força normal.

$$\text{Normal} = mg \cos \theta$$



Forças normais: referenciais não inerciais



Isaac Newton dentro de um elevador sobre uma balança.

O peso aparente é dado pela força normal:

balança de banheiro!

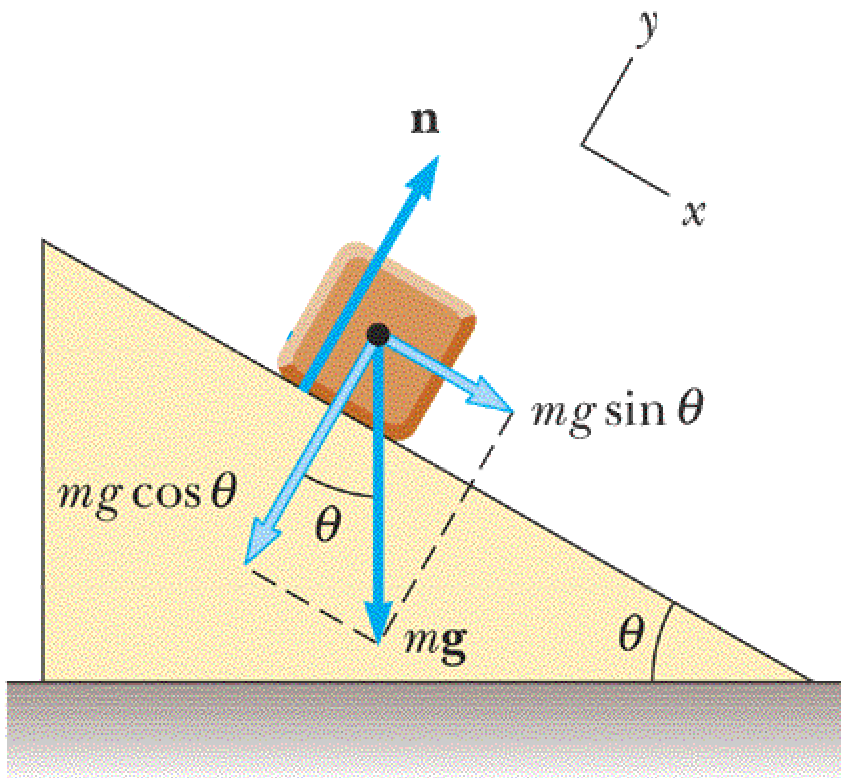
$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = 0 \rightarrow \vec{N} = m\vec{g}$$

$$\vec{a} > 0 \rightarrow |\vec{N}| > |m\vec{g}|$$

$$\vec{a} < 0 \rightarrow |\vec{N}| < |m\vec{g}|$$

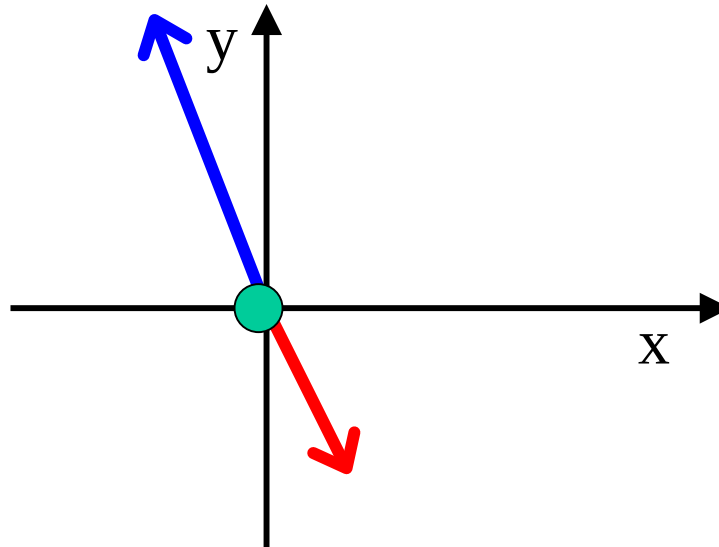
Ex.: Calcular a aceleração de um bloco de massa **m** que desce por um plano inclinado 35° com a horizontal, sabendo que não existe atrito entre o bloco e o plano.





Exemplo:

Sobre uma partícula de massa 0,4 kg, agem, simultaneamente, as forças $\mathbf{F}_1 = 2,0 \text{ N } \mathbf{i} - 4,0 \text{ N } \mathbf{j}$ e $\mathbf{F}_2 = -2,6 \text{ N } \mathbf{i} + 5,0 \text{ N } \mathbf{j}$. Se a partícula estiver em repouso na origem no instante $t = 0$ determine (a) o vetor posição $\mathbf{r}(t)$ (função horária) da partícula e (b) o vetor velocidade $\mathbf{v}(t)$ no instante $t = 6,0 \text{ s}$



$$\mathbf{F}_1 = 2,0 \text{ N } \hat{\mathbf{i}} - 4,0 \text{ N } \hat{\mathbf{j}} \text{ e}$$

$$\mathbf{F}_2 = -2,6 \text{ N } \hat{\mathbf{i}} + 5,0 \text{ N } \hat{\mathbf{j}}.$$

Equação geral do vetor posição em função do tempo:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2$$

Força resultante: $\Sigma \vec{\mathbf{F}} = \vec{\mathbf{F}}_1 + \vec{\mathbf{F}}_2 = -0.6 \text{ N } \hat{\mathbf{i}} + 1.0 \text{ N } \hat{\mathbf{j}}$

Aceleração: $\vec{\mathbf{a}} = \frac{\Sigma \vec{\mathbf{F}}}{m} = -1.5 \text{ m/s}^2 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \text{ m/s}^2 \hat{\mathbf{j}}$

Vetor posição em função do tempo: $\mathbf{r} = \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2 = \frac{1}{2} a_x t^2 \hat{\mathbf{i}} + \frac{1}{2} a_y t^2 \hat{\mathbf{j}}$
 $= -0.75 \text{ m/s}^2 t^2 \hat{\mathbf{i}} + 1.25 \text{ m/s}^2 t^2 \hat{\mathbf{j}}$

Vetor posição em $t = 6\text{s}$: $\mathbf{r} = -1.92 \text{ m } \hat{\mathbf{i}} + 3.20 \text{ m } \hat{\mathbf{j}}$

Vetor velocidade em $t = 6\text{s}$: $\vec{\mathbf{v}} = \vec{\mathbf{a}} t = (-1.5 \text{ m/s}^2 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \text{ m/s}^2 \hat{\mathbf{j}}) t$
 $= -2.4 \text{ m/s } \hat{\mathbf{i}} + 4.00 \text{ m/s } \hat{\mathbf{j}}$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2 = \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2$$

$$\vec{\mathbf{a}} = \frac{\Sigma \vec{\mathbf{F}}}{m}$$

$$\Sigma \vec{\mathbf{F}} = \vec{\mathbf{F}}_1 + \vec{\mathbf{F}}_2 = -0.6 \text{ N } \hat{\mathbf{i}} + 1.0 \text{ N } \hat{\mathbf{j}}$$

$$\vec{\mathbf{a}} = \frac{\Sigma \vec{\mathbf{F}}}{m} = -1.5 \text{ m/s}^2 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \text{ m/s}^2 \hat{\mathbf{j}}$$

$$\mathbf{r} = \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2 = \frac{1}{2} a_x t^2 \hat{\mathbf{i}} + \frac{1}{2} a_y t^2 \hat{\mathbf{j}}$$

$$= -0.75 \text{ m/s}^2 t^2 \hat{\mathbf{i}} + 1.25 \text{ m/s}^2 t^2 \hat{\mathbf{j}}$$

$$\mathbf{r} = -1.92 \text{ m } \hat{\mathbf{i}} + 3.20 \text{ m } \hat{\mathbf{j}}$$

$$\vec{\mathbf{v}} = \vec{\mathbf{a}} t = (-1.5 \text{ m/s}^2 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \text{ m/s}^2 \hat{\mathbf{j}}) t$$

$$= -2.4 \text{ m/s } \hat{\mathbf{i}} + 4.00 \text{ m/s } \hat{\mathbf{j}}$$

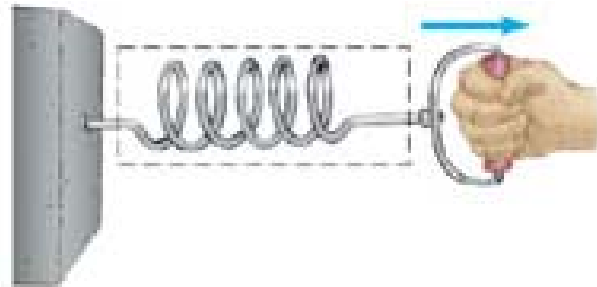
Forças de contato e forças a distância

Contato físico não é sempre necessário para que uma força atue sobre um corpo. A força peso (atração gravitacional) **não é uma força de contato** como a força de atrito.

Na verdade as forças de contato são também forças que agem a distâncias equivalentes a **distâncias interatômicas**.



Contact forces



(a)

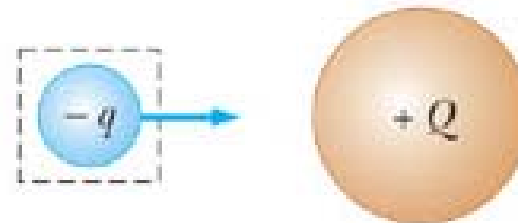
Field forces



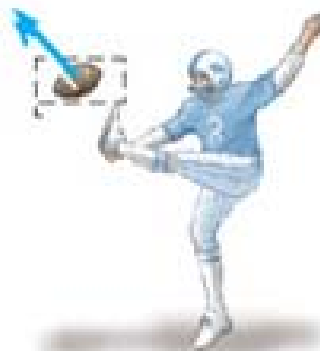
(d)



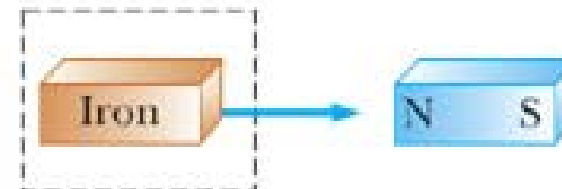
(b)



(e)

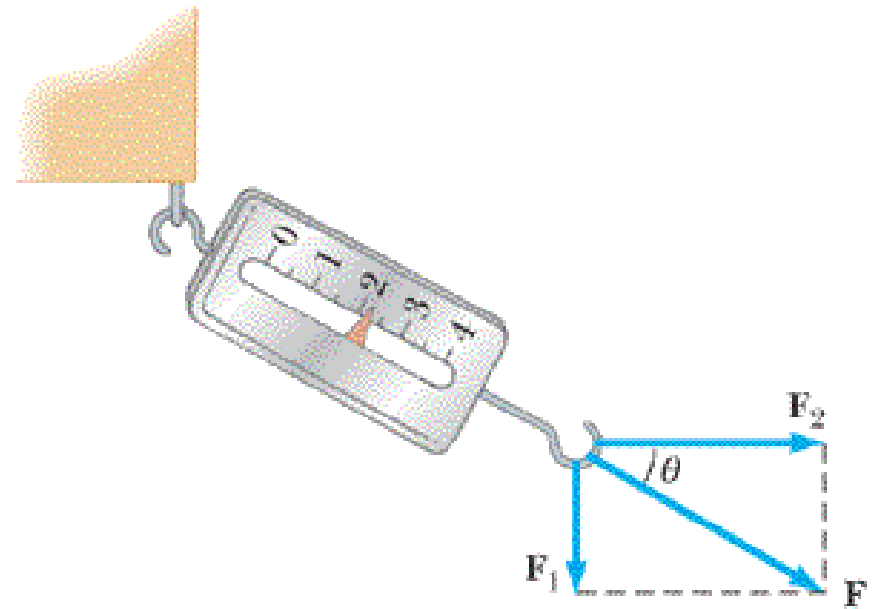
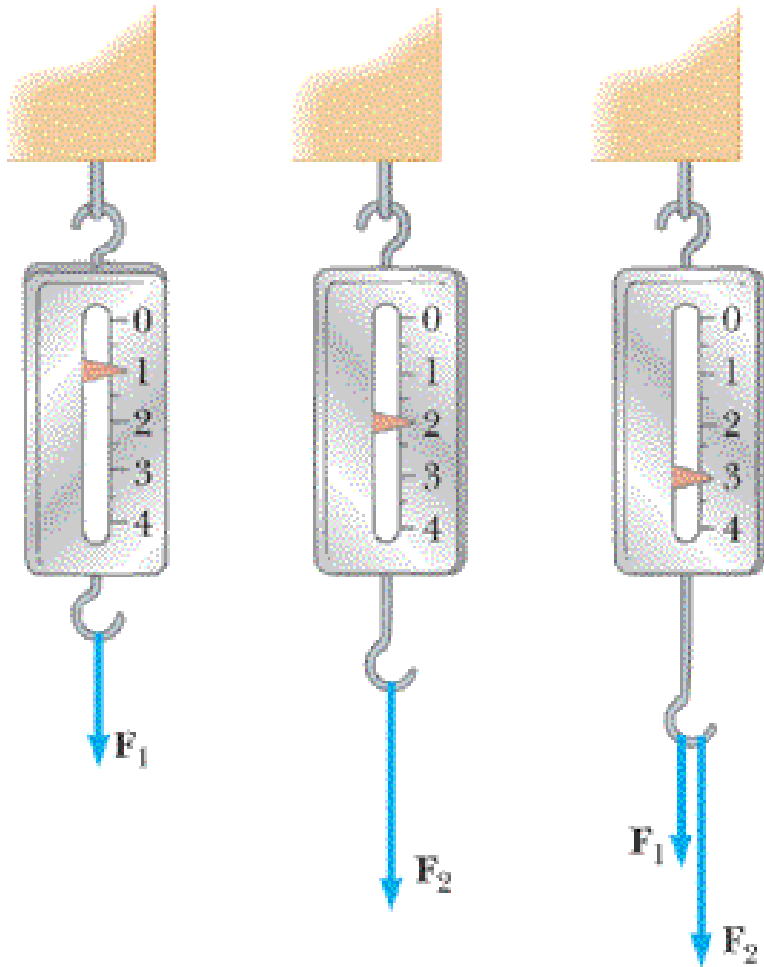


(c)



(f)

CARACTERÍSTICA VETORIAL DA FORÇA





3º Lei de Newton

AÇÃO E REAÇÃO

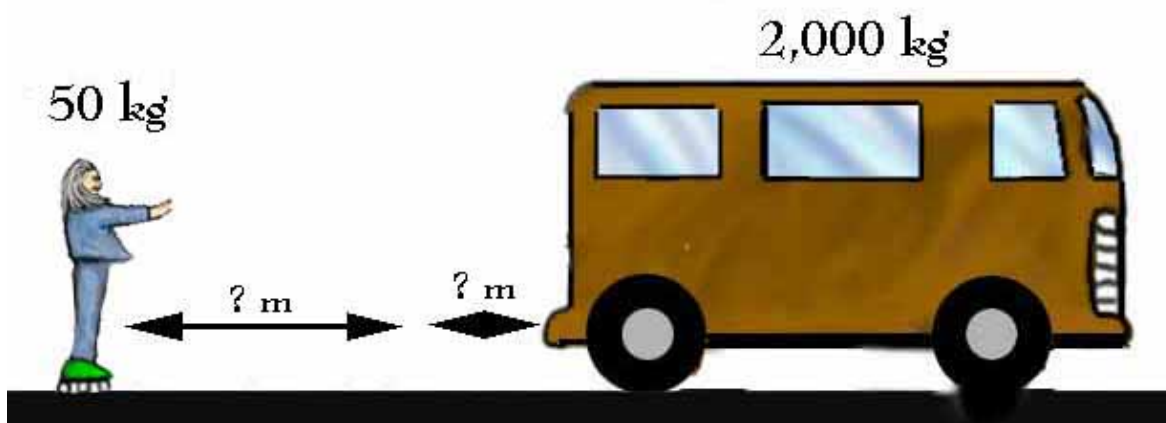
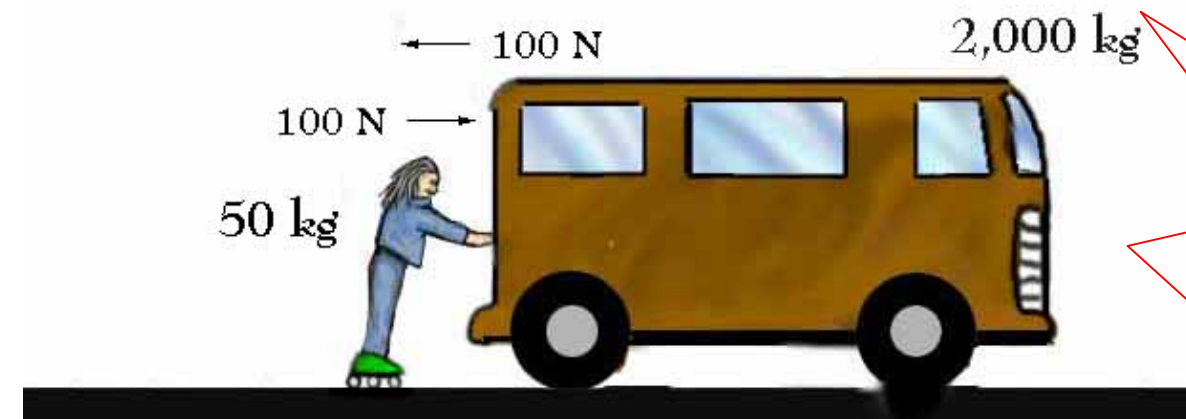
"Para toda força que surgir num corpo como resultado da interação com um segundo corpo, deve surgir nesse segundo uma outra força, chamada de reação, cuja intensidade e direção são as mesmas da primeira, mas cujo sentido é o oposto da primeira."



Um patinador encostado a uma parede ganha impulso, isto é, ele se acelera ao "empurrar" uma parede com as mãos.

3ª lei de Newton:

a cada ação corresponde uma reação

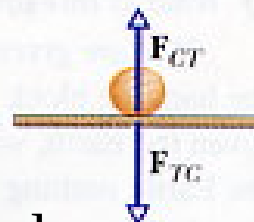
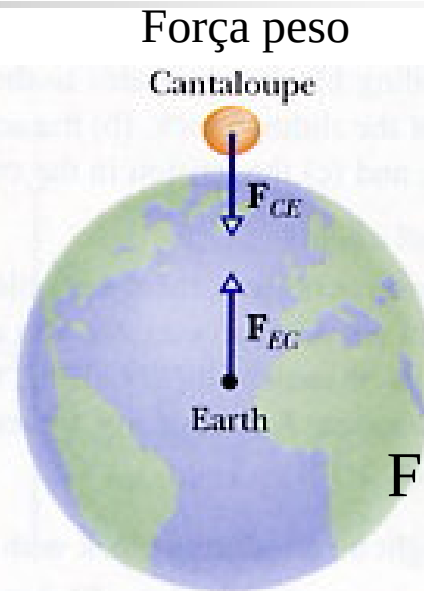
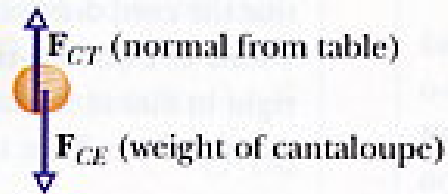
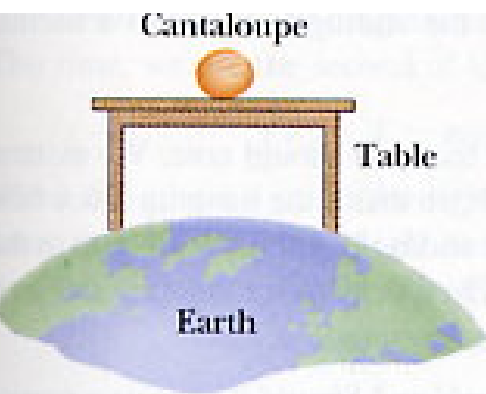


...pela 2ª lei:

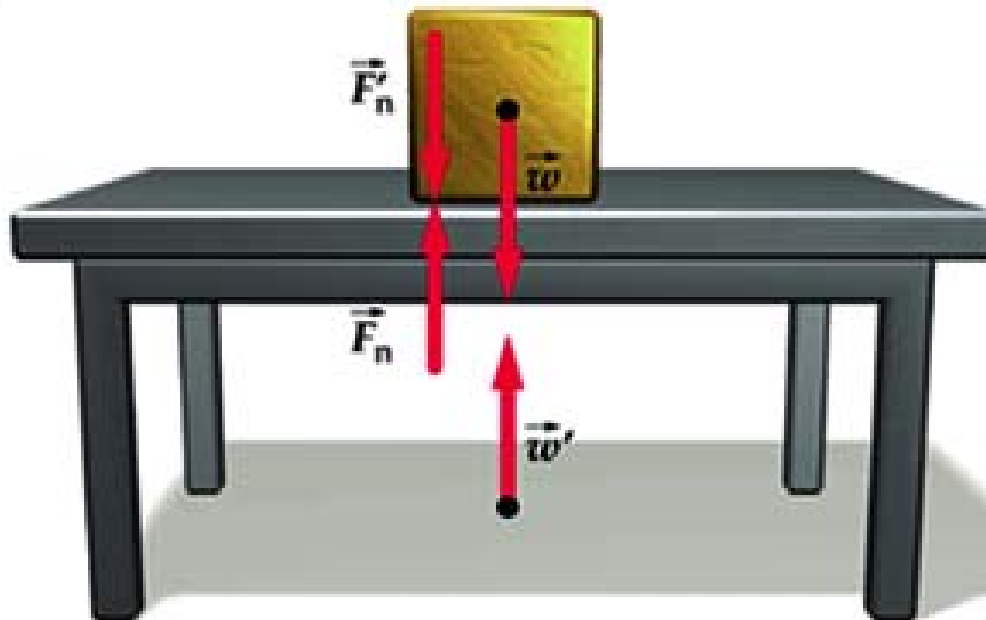
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

... após o empurrão, o deslocamento do garoto é maior do que o da van.

3ª Lei de Newton

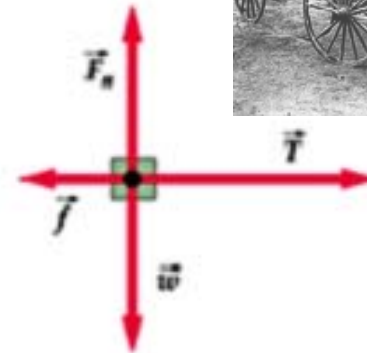
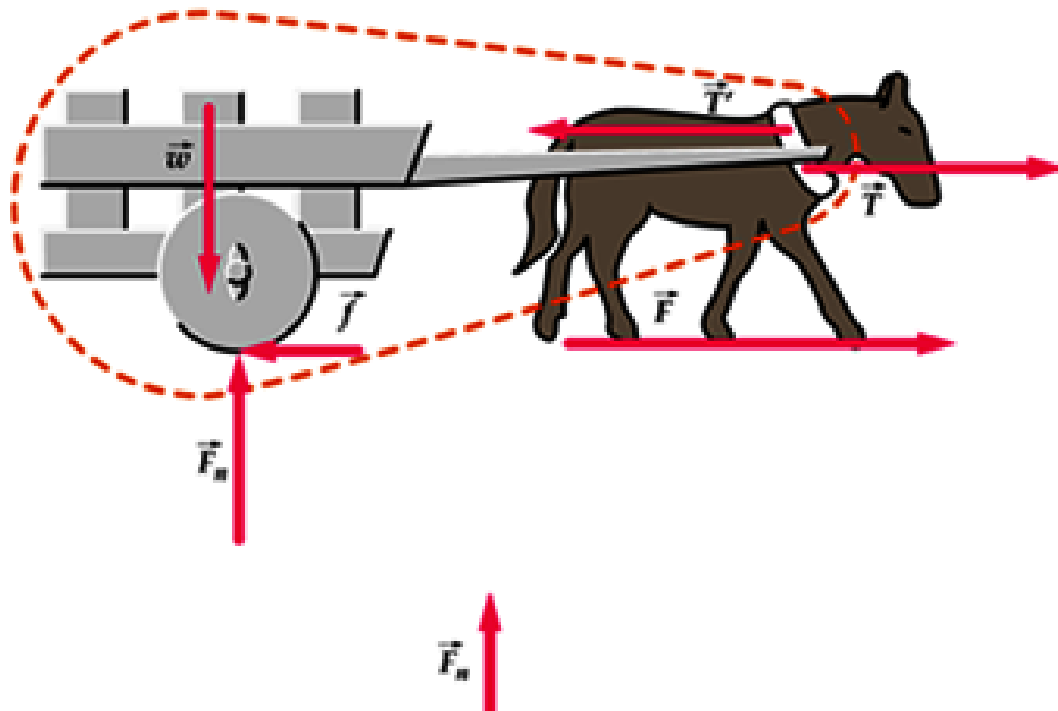


Força da mesa



Exemplo

Um cavalo se recusa a puxar uma carroça pensando assim:
“De acordo com a terceira Lei de Newton, qualquer força que eu exerça sobre a carroça será contrabalançada por uma força igual e oposta que a carroça exercerá sobre mim; assim, a força resultante será nula e não terei a menor possibilidade de acelerar a carroça.” O que há de errado neste raciocínio?



As Leis de Newton permitem uma descrição (e previsão) extremamente precisa do movimento de todos os corpos – grandes ou pequenos, simples ou complexos.

Apenas em dois limites as leis de Newton deixam de ser válidas:

dinâmica de sistemas **muito pequenos** ou com **velocidades muito grandes**.

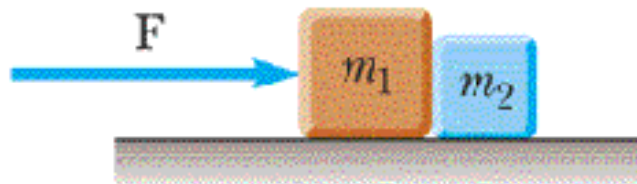
Física do muito pequeno - **escalas atômicas e sub-atômicas** – é o objeto de estudo da **Mecânica Quântica**.

Física do muito veloz – objetos com **velocidades próximas à velocidade da luz** – é estudada pela **Teoria da Relatividade**.

APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON

Dois blocos estão em contato sobre uma mesa sem atrito. Uma força de horizontal $\mathbf{F} = 60 \text{ N}$ é aplicada a um dos blocos como mostrado na figura. A massa do primeiro bloco é $m_1 = 10,5 \text{ kg}$ e a do segundo bloco é $m_2 = 4,5 \text{ kg}$.

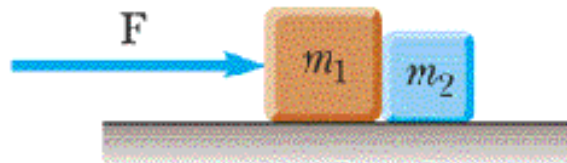
Determine a força de contato entre os dois blocos.



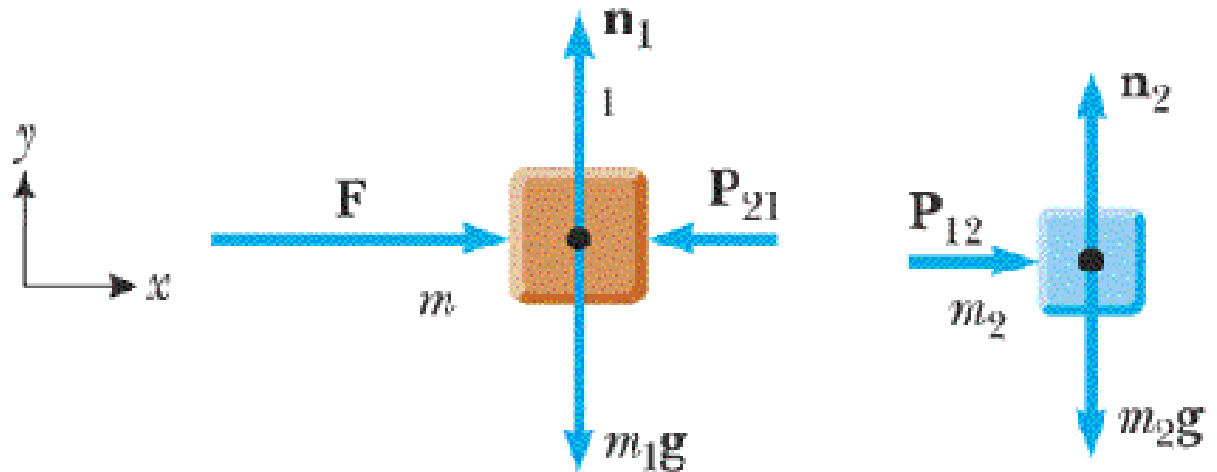
APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON

$F = 60 \text{ N}$, $m_1 = 10,5 \text{ kg}$ e $m_2 = 4,5 \text{ kg}$.

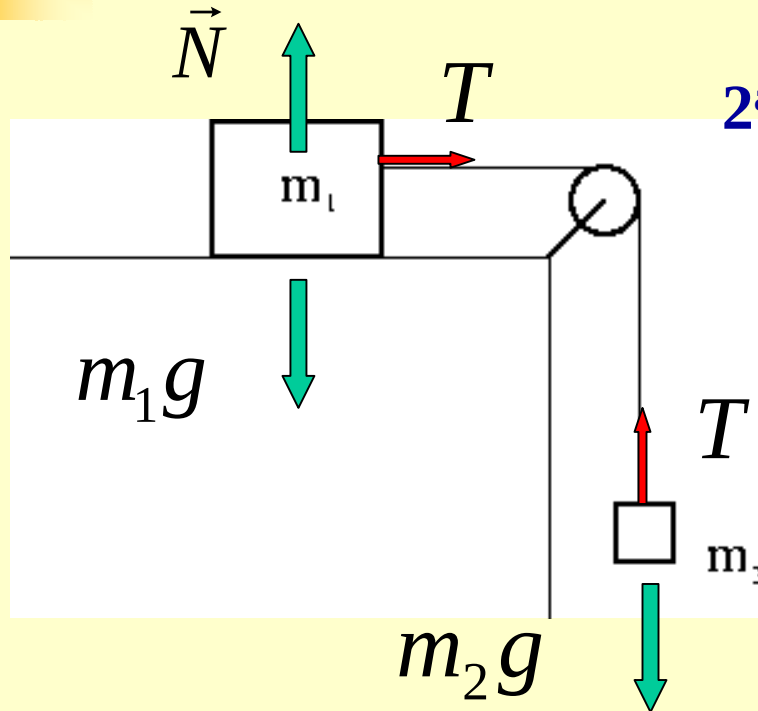
Diagrama de corpo livre.



(a)



APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON



2ª lei de Newton $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

Trata-se na verdade de um problema unidimensional! **Para o bloco 1:**

$$T = m_1 a$$

Para o bloco pendurado:

$$m_2 g - T = m_2 a$$

Respostas:

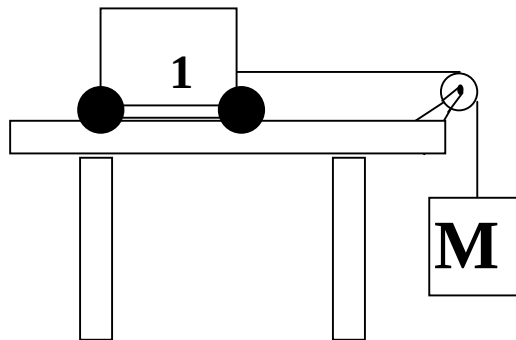
$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g$$

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

APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON

Quando o sistema da figura abaixo é liberado do repouso, o bloco $m_1 = 3,0 \text{ kg}$ tem aceleração de $a = 1 \text{ m/s}^2$ para a direita. As superfícies e a polia não têm atrito.

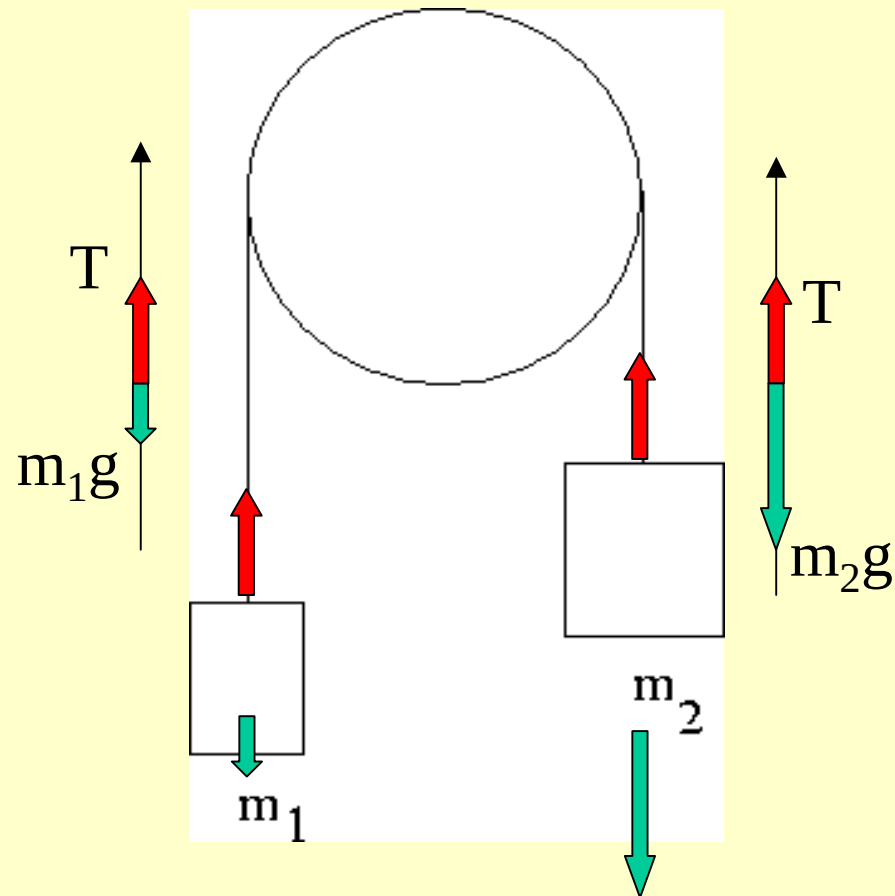
- a) qual a **tensão** na corda durante o movimento.
- b) qual o valor da massa M .



APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON

Máquina de Atwood

G. Atwood (1745-1807) inventou em 1784 o dispositivo para medir g .



Bloco 1: $m_2g - T = m_2a$

Bloco 2: $m_1g - T = -m_1a$

Respostas

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}g \quad T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}g$$