Aula 3
Mecânica
Cinemática

Física Aplicada à Farmácia

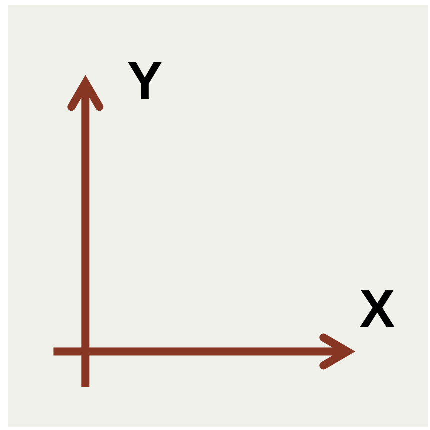
Prof. Dr. Henrique A. M. Faria

Sistema de coordenadas

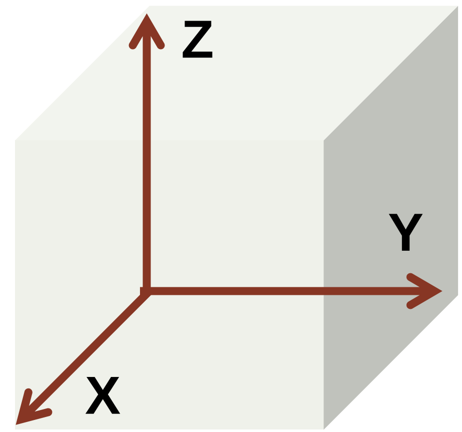
- Conjunto de quantidades que especifica de maneira unívoca um ponto no espaço;
- Usado para representar o movimento de um ser vivo no espaço;
- Permite inter-relacionar as variáveis do movimento de dois ou mais corpos.

Tipos de sistema de coordenadas

Unidimensional



Bidimensional (Cartesiano)



Tridimensional

Grandeza Escalar

- Definida apenas pela magnitude.

ex.: temperatura, massa e tempo.

Grandeza Vetorial

- Definida pela magnitude, direção e sentido.

ex.: deslocamento, velocidade, aceleração e força.

Direção

Linha imaginária ao longo da qual alguém ou algo se move ou aponta.

Ex.: ao longo do eixo x.

Sentido

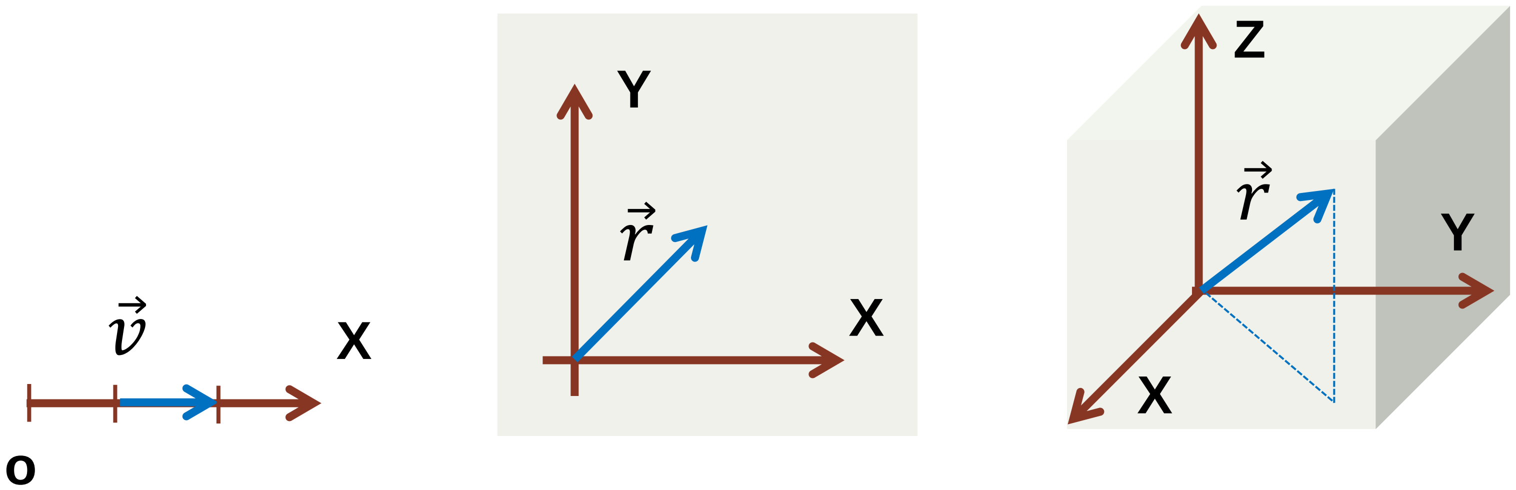
Orientação segundo a qual o movimento se efetua.

Ex.: da origem para valores crescentes de x.

Três grandezas vetoriais definem o movimento de um corpo:

- Deslocamento ($\Delta\vec{r}$);
- Velocidade ($\vec{v}$);
- Aceleração ($\vec{a}$).

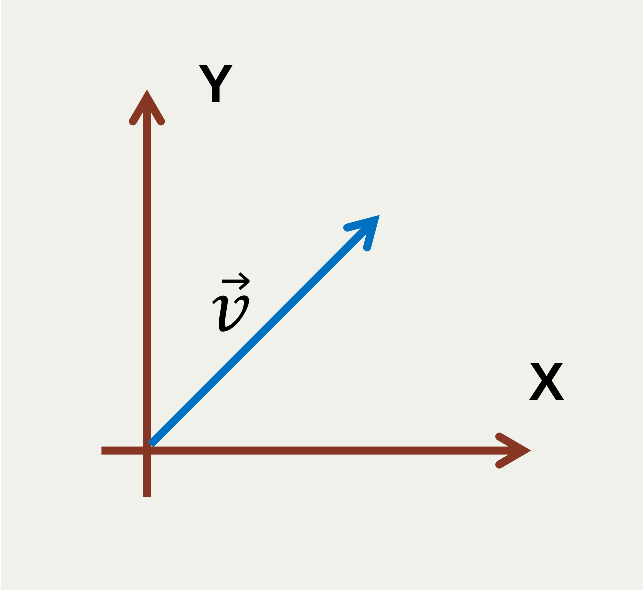
Exemplos de representação de vetores



Unidimensional

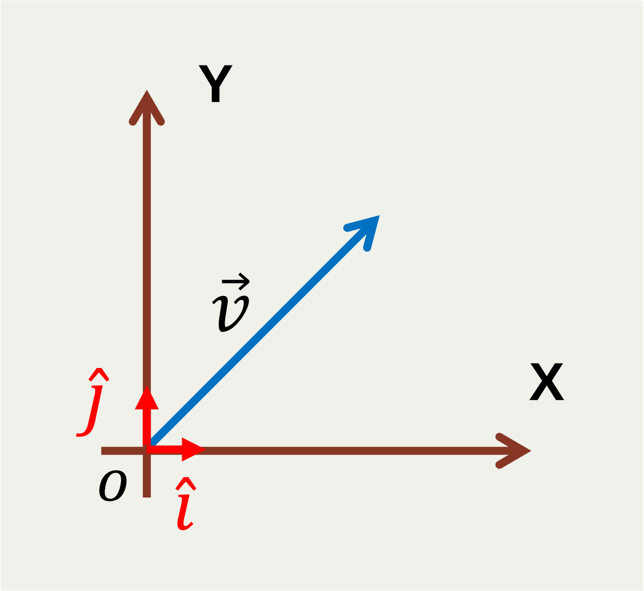
- **Magnitude:** 1 unidade de X;
- **Direção:** do eixo X;
- **Sentido:** da origem para valores positivos de X.

Representação de vetor no plano



$\vec{v}$ **:** **Vetor velocidade;**

Representação de vetor no plano

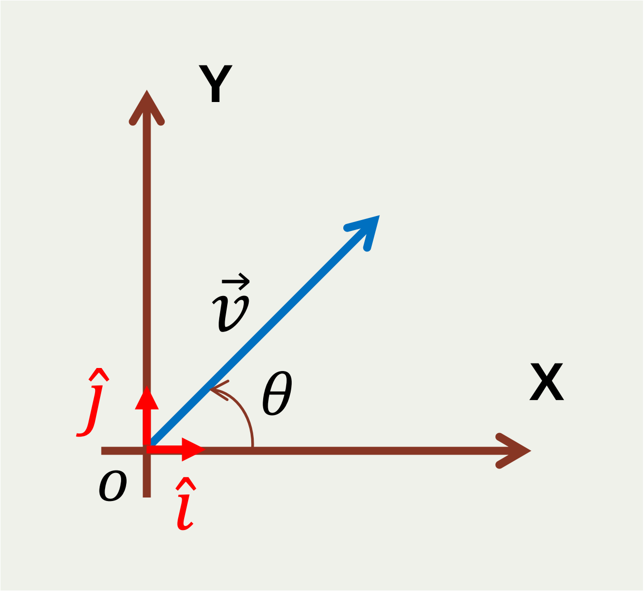


$\vec{v}$: Vetor velocidade;

$\hat{\imath}$ e $\hat{j}$: Vetores unitários;

O : Origem do sistema de coordenadas;

Representação de vetor no plano



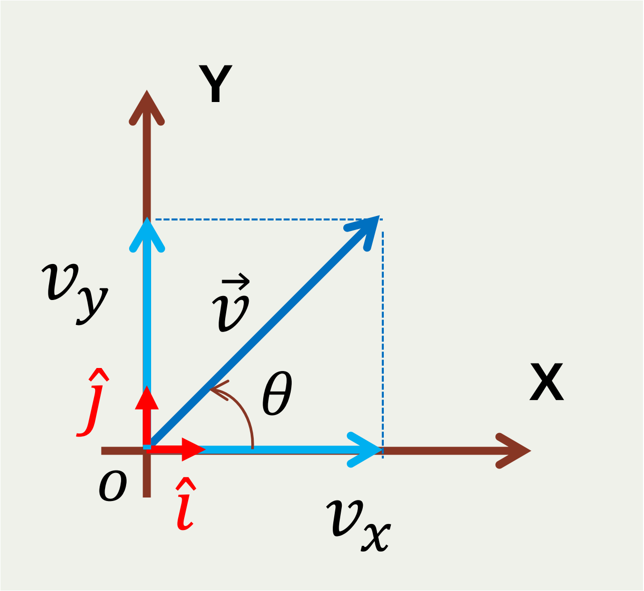
$\vec{v}$: **Vetor velocidade;**

$\hat{\imath}$ e $\widehat{j}$: **Vetores unitários;**

O : **Origem do sistema de coordenadas;**

θ : **Ângulo em relação a direção do eixo X;**

Representação de vetor no plano



$\vec{v}$: Vetor velocidade;

$\hat{\imath}$ e $\hat{j}$: Vetores unitários;

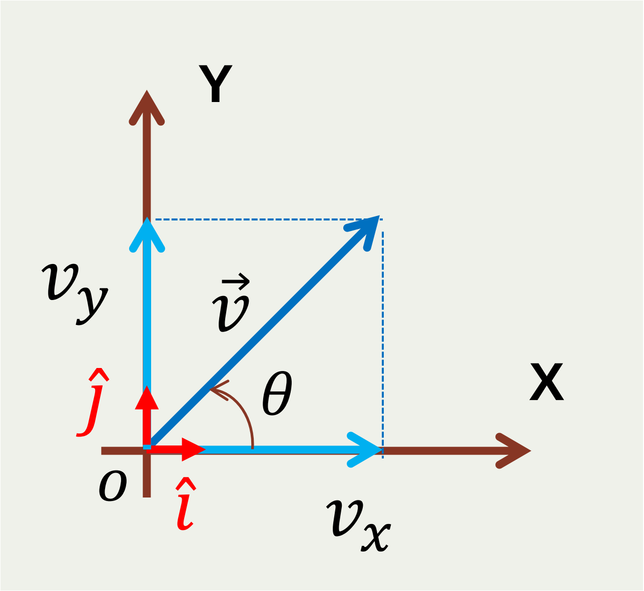
O : Origem do sistema de coordenadas;

θ : Ângulo em relação a direção do eixo X;

v_y : Componente do vetor velocidade no eixo Y;

v_x : Componente do vetor velocidade no eixo X.

Relações do vetor no plano



$\vec{v}$: Vetor velocidade;

$\hat{\imath}$ e $\hat{j}$: Vetores unitários;

O : Origem do sistema de coordenadas;

θ : Ângulo em relação a direção do eixo X.

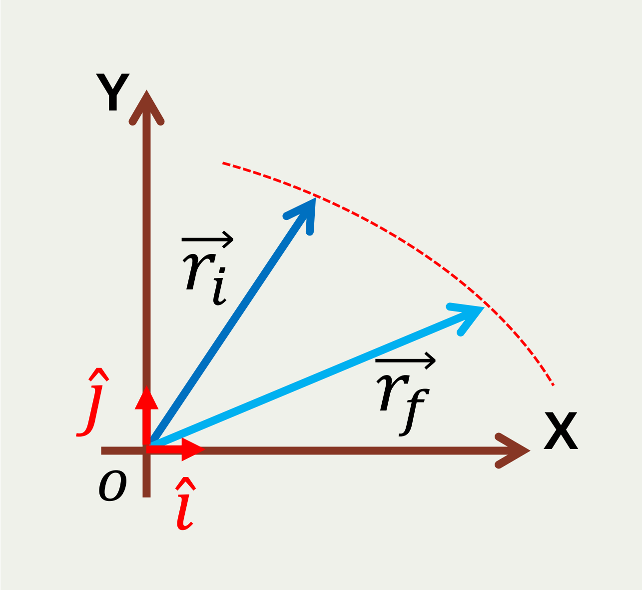
$$v_x = v\cos\theta$$

$$v_y = v\,sen\theta$$

$$v = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2}$$

$$\theta = tg^{-1}\frac{v_y}{v_x}$$

Soma de vetores Posição

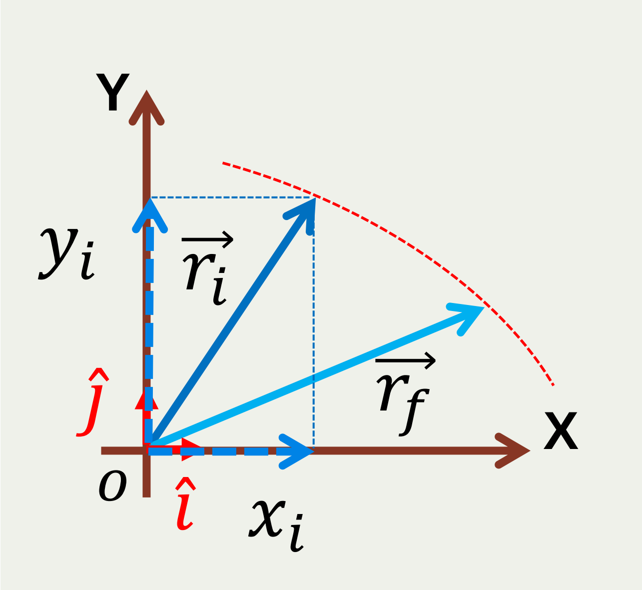


$\overrightarrow{r_i}$: **Vetor posição inicial;**

$\overrightarrow{r_f}$: **Vetor posição final;**

$\hat{\imath}$ e $\hat{\jmath}$: **Vetores unitários;**

Soma de vetores Posição



$\vec{r_i}$: **Vetor posição inicial;**

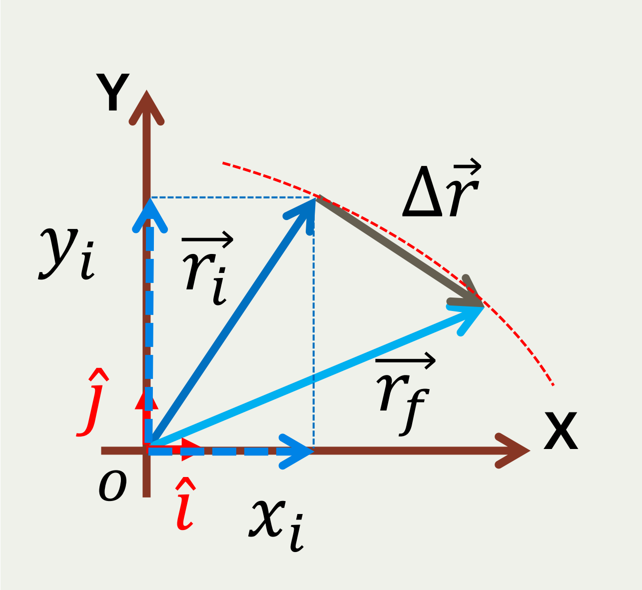
$\vec{r_f}$: **Vetor posição final;**

$\hat{\imath}$ e $\hat{\jmath}$: **Vetores unitários;**

$$\vec{r_i} = x_i\hat{\imath} + y_i\hat{\jmath}$$

$$\vec{r_f} = x_f\hat{\imath} + y_f\hat{\jmath}$$

Soma de vetores Posição



$\vec{r_i}$: **Vetor posição inicial;**

$\vec{r_f}$: **Vetor posição final;**

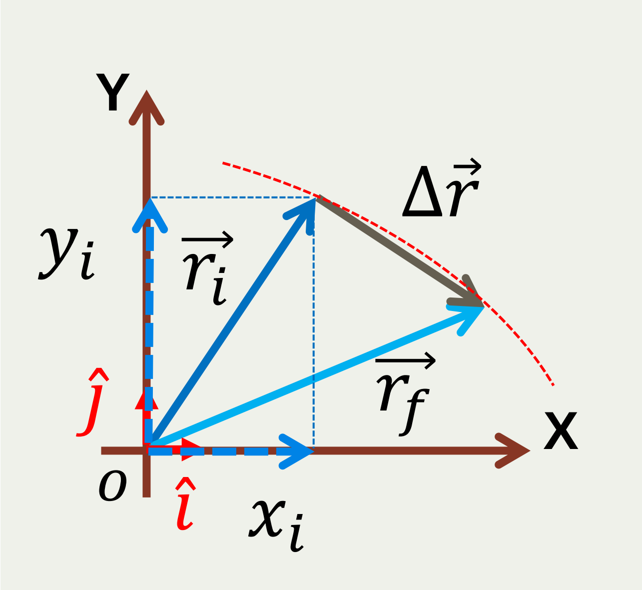
$\hat{\imath}\ e\ \hat{j}$: **Vetores unitários;**

$$\vec{r_i} = x_i\hat{\imath} + y_i\hat{j}$$

$$\vec{r_f} = x_f\hat{\imath} + y_f\hat{j}$$

$$\vec{r}_i + \Delta\vec{r} = \vec{r}_f \qquad \Longrightarrow \qquad \Delta\vec{r} = \vec{r}_f - \vec{r}_i$$

Soma de vetores Posição



$\vec{r_i}$: **Vetor posição inicial;**

$\vec{r_f}$: **Vetor posição final;**

$\hat{\imath}\ e\ \hat{\jmath}$: **Vetores unitários;**

$$\vec{r_i} = x_i\hat{\imath} + y_i\hat{\jmath}$$

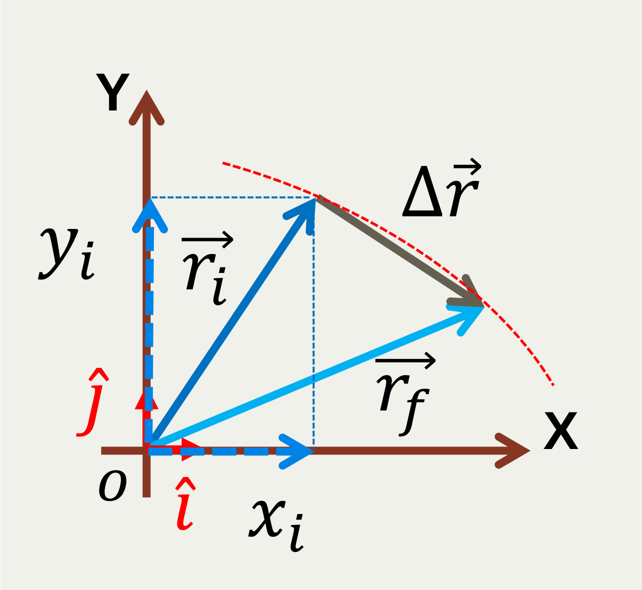
$$\vec{r_f} = x_f\hat{\imath} + y_f\hat{\jmath}$$

$$\vec{r}_i + \Delta\vec{r} = \vec{r}_f \quad \Longrightarrow \quad \Delta\vec{r} = \vec{r}_f - \vec{r}_i$$

$$\Delta\vec{r} = \left(x_f\hat{\imath} + y_f\hat{\jmath}\right) - \left(x_i\hat{\imath} + y_i\hat{\jmath}\right)$$

$$\Delta\vec{r} = \left(x_f - x_i\right)\hat{\imath} + \left(y_f - y_i\right)\hat{\jmath}$$

Soma de vetores Posição



$\vec{r_i}$: **Vetor posição inicial;**

$\vec{r_f}$: **Vetor posição final;**

$\hat{\imath}\ e\ \hat{\jmath}$: **Vetores unitários.**

$$\vec{r_i} = x_i\hat{\imath} + y_i\hat{\jmath}$$

$$\vec{r_f} = x_f\hat{\imath} + y_f\hat{\jmath}$$

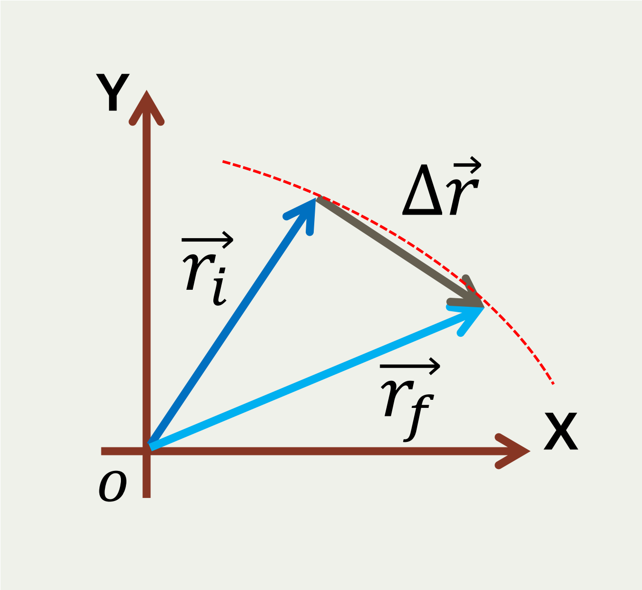
$$\vec{r}_i + \Delta\vec{r} = \vec{r}_f \qquad \Longrightarrow \qquad \Delta\vec{r} = \vec{r}_f - \vec{r}_i$$

$$\Delta\vec{r} = \left(x_f\hat{\imath} + y_f\hat{\jmath}\right) - \left(x_i\hat{\imath} + y_i\hat{\jmath}\right)$$

$$\Delta\vec{r} = \left(x_f - x_i\right)\hat{\imath} + \left(y_f - y_i\right)\hat{\jmath}$$

$\overrightarrow{\Delta r}$: **Representa o deslocamento entre os pontos inicial e final da trajetória.**

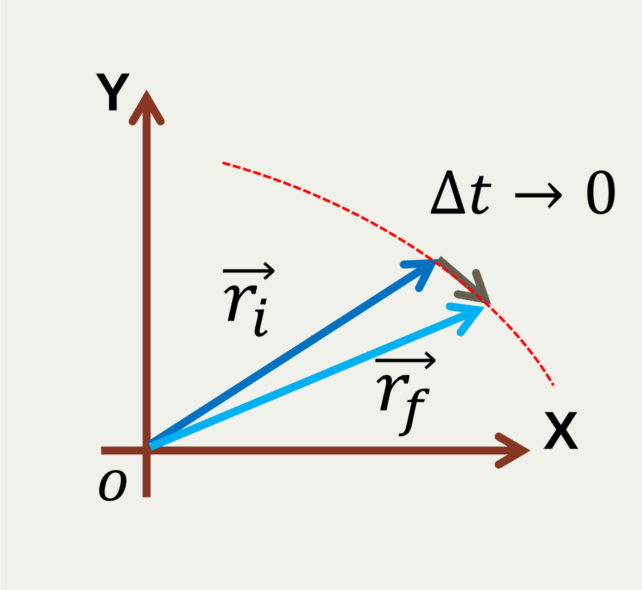
Velocidade média



Se Δt é o tempo gasto para ir da posição inicial ($\overrightarrow{r_i}$) até a final ($\overrightarrow{r_f}$), define-se a velocidade média ($\overrightarrow{v_m}$) como:

$$\overrightarrow{v_m} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Velocidade Instantânea



Se Δt tende a zero e $\vec{r_i}$ se aproxima de $\vec{r_f}$ temos a velocidade instantânea ($\vec{v}$):

$$\vec{v} = \lim_{t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Aceleração média

Se $\Delta\vec{\boldsymbol{v}}$ é a diferença entre a velocidade final ($\overrightarrow{v_f}$) e a velocidade inicial ($\overrightarrow{v_i}$), define-se a aceleração média ($\overrightarrow{a_m}$) pela razão:

$$\overrightarrow{a_m} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Aceleração média

Se $\Delta\vec{\boldsymbol{v}}$ é a diferença entre a velocidade final ($\overrightarrow{v_f}$) e a velocidade inicial ($\overrightarrow{v_i}$), define-se a aceleração média ($\overrightarrow{a_m}$) pela razão:

$$\overrightarrow{a_m} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

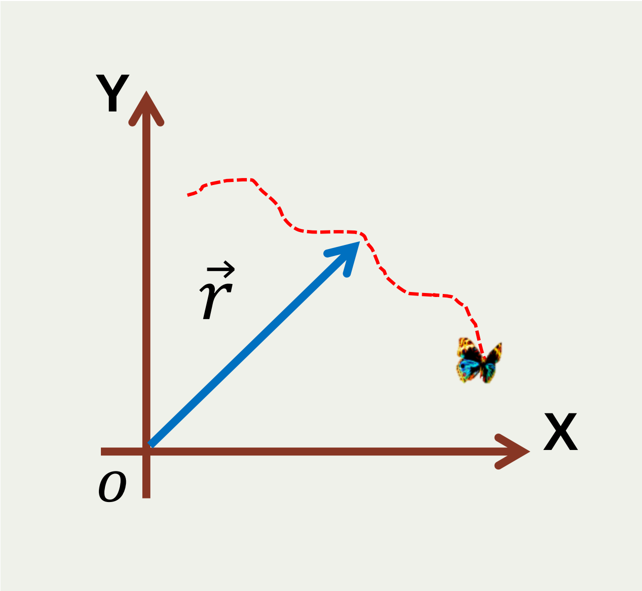
Aceleração Instantânea

Se Δt tende a zero e $\overrightarrow{v_i}$ se aproxima de $\overrightarrow{v_f}$ temos a aceleração instantânea ($\vec{a}$):

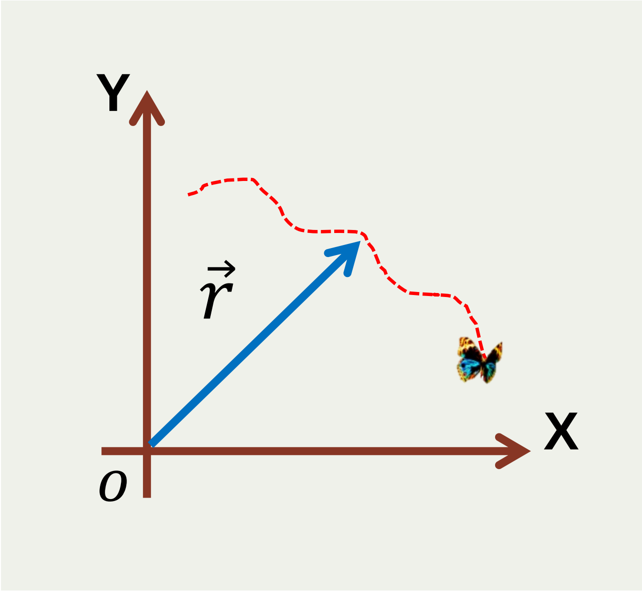
$$\vec{a} = \lim_{t \to 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Exemplo 1 da aplicação de vetores

Um borboleta executa uma trajetória em um plano descrita pelo vetor posição $\vec{r} = 3cos2t\,\hat{\imath} + \ 3sen2t\,\hat{\jmath}$. Determine a expressão para a velocidade instantânea ($\frac{d\vec{r}}{dt}$).



Exemplo 1 da aplicação de vetores



$$\vec{r} = 3cos2t\,\hat{\imath} + 3sen2t\,\hat{\jmath}$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}[3cos2t\,\hat{\imath} + 3sen2t\,\hat{\jmath}]$$

$$= (\frac{d}{dt}3cos2t)\,\hat{\imath} + (\frac{d}{dt}3sen2t)\hat{\jmath}$$

$$= 3\,(\frac{d}{dt}cos2t)\,\hat{\imath} + 3(\frac{d}{dt}sen2t)\hat{\jmath}$$

$$= 3\,(-2sen2t)\,\hat{\imath} + 3(2cos2t)\hat{\jmath}$$

$$\boldsymbol{\frac{d\vec{r}}{dt} = -6sen2t\,\hat{\imath} + 6cos2t\hat{\jmath}}$$

Exemplo 2

Dados dois vetores $\vec{A} = 5\hat{\imath} + 7\hat{\jmath}$ e $\vec{B} = \hat{\imath} + 2\hat{\jmath}$. Determine a magnitude e a direção do vetor soma $\vec{S} = \vec{A} + \vec{B}$.

Exemplo 2

Dados dois vetores $\vec{A} = 5\hat{\imath} + 7\hat{\jmath}$ e $\vec{B} = \hat{\imath} + 2\hat{\jmath}$. Determine a magnitude e a direção do vetor soma $\vec{S} = \vec{A} + \vec{B}$.

$$\vec{S} = \vec{A} + \vec{B} = (5\hat{\imath} + 7\hat{\jmath}) + (\hat{\imath} + 2\hat{\jmath}) = (5+1)\hat{\imath} + (7+2)\hat{\jmath} = 6\hat{\imath} + 9\hat{\jmath}$$

$$\vec{S} = 6\hat{\imath} + 9\hat{\jmath} \qquad \Longrightarrow \qquad S_x = 6 \quad e \quad S_y = 9$$

Magnitude ou módulo :

$$|\vec{S}| = S = \sqrt{{S_x}^2 + {S_y}^2}$$

Direção

$$\theta = tg^{-1}\frac{S_y}{S_x} = arctg\,\frac{S_y}{S_x}$$

Exemplo 2

Dados dois vetores $\vec{A} = 5\hat{\imath} + 7\hat{\jmath}$ e $\vec{B} = \hat{\imath} + 2\hat{\jmath}$. Determine a magnitude e a direção do vetor soma $\vec{S} = \vec{A} + \vec{B}$.

$$\vec{S} = \vec{A} + \vec{B} = (5\hat{\imath} + 7\hat{\jmath}) + (\hat{\imath} + 2\hat{\jmath}) = (5+1)\hat{\imath} + (7+2)\hat{\jmath} = 6\hat{\imath} + 9\hat{\jmath}$$

$$\vec{S} = 6\hat{\imath} + 9\hat{\jmath} \qquad \Longrightarrow \qquad S_x = 6 \quad e \quad S_y = 9$$

Magnitude ou módulo :

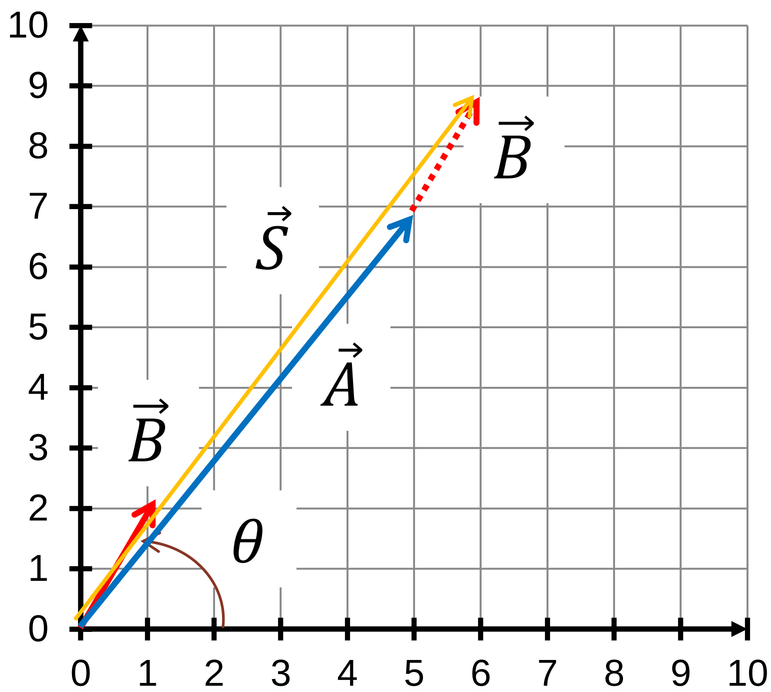
$$|\vec{S}| = S = \sqrt{{S_x}^2 + {S_y}^2} \qquad \Longrightarrow \qquad S = \sqrt{6^2 + 9^2} = 10{,}8$$

Direção

$$\theta = tg^{-1}\frac{S_y}{S_x} = arctg\,\frac{S_y}{S_x} \qquad \Longrightarrow \qquad \theta = arctg\,\frac{9}{6} = 56{,}3°$$

Exemplo 2

Representação do$s\ vetores\ no\ plano\ cartesiano$:



$$\left|\vec{S}\right| = S = 10{,}8$$

$$\theta = 56{,}3°$$

Obs.: Um vetor pode ser trasladado no plano, desde que sejam mantidas a magnitude e direção.

Exemplo 3

A posição de uma formiga que está se deslocando na direção de um eixo x é dada por $x = 3t + 2$, onde $\boldsymbol{x}$ é expresso em metros e $\boldsymbol{t}$ em segundos. Determine:

a) Sua posição inicial;
b) Sua velocidade instantânea;
c) Sua aceleração instantânea.

Exemplo 3

a) Posição inicial

Na posição inicial consideraremos o tempo $t = 0$:

$$x(t) = 3t + 2 \qquad x(0) = 3 \times 0 + 2 \qquad \boldsymbol{x(0) = 2\ m}$$

b) Velocidade instantânea

A velocidade é a taxa de variação do espaço no tempo:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} \qquad v(t) = \frac{d}{dt}(3t + 2) \qquad \boldsymbol{v(t) = 3\ m/s}$$

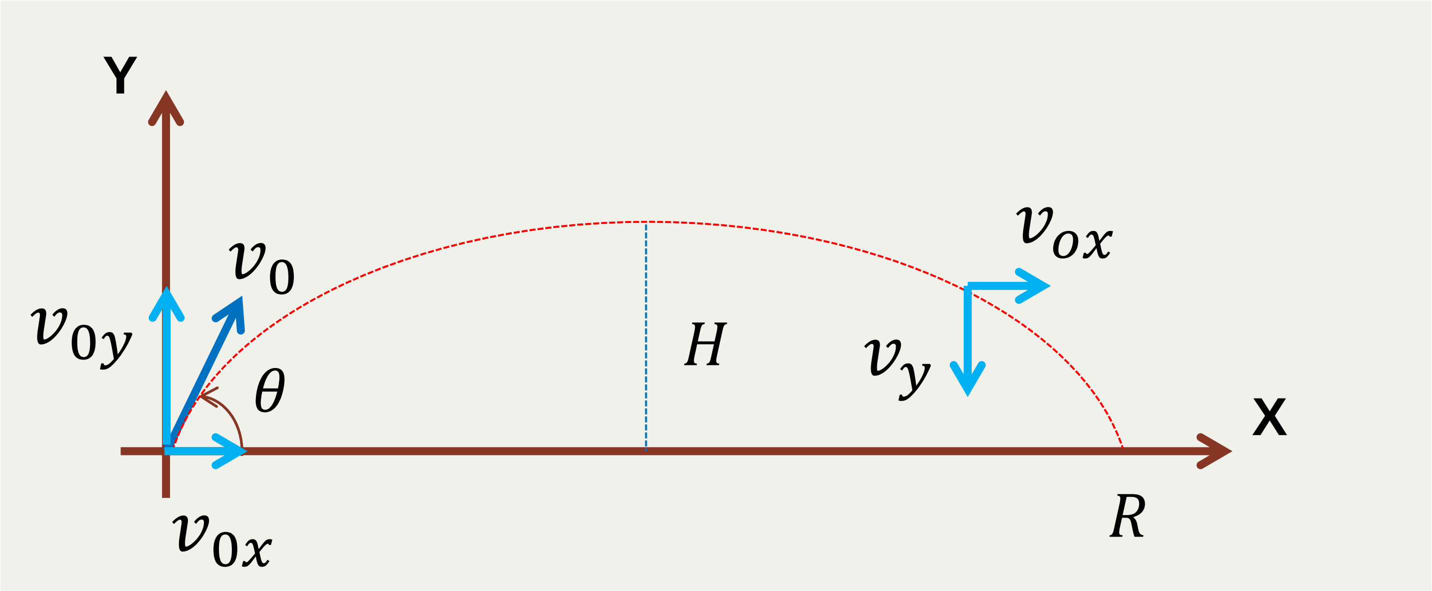
c) Aceleração

A aceleração é a taxa de variação da velocidade no tempo:

$$a(t) = \frac{dv}{dt} \qquad v(t) = \frac{d}{dt}(3) \qquad \boldsymbol{a(t) = 0}$$

Movimento Parabólico

Movimento composto na direção horizontal e vertical.



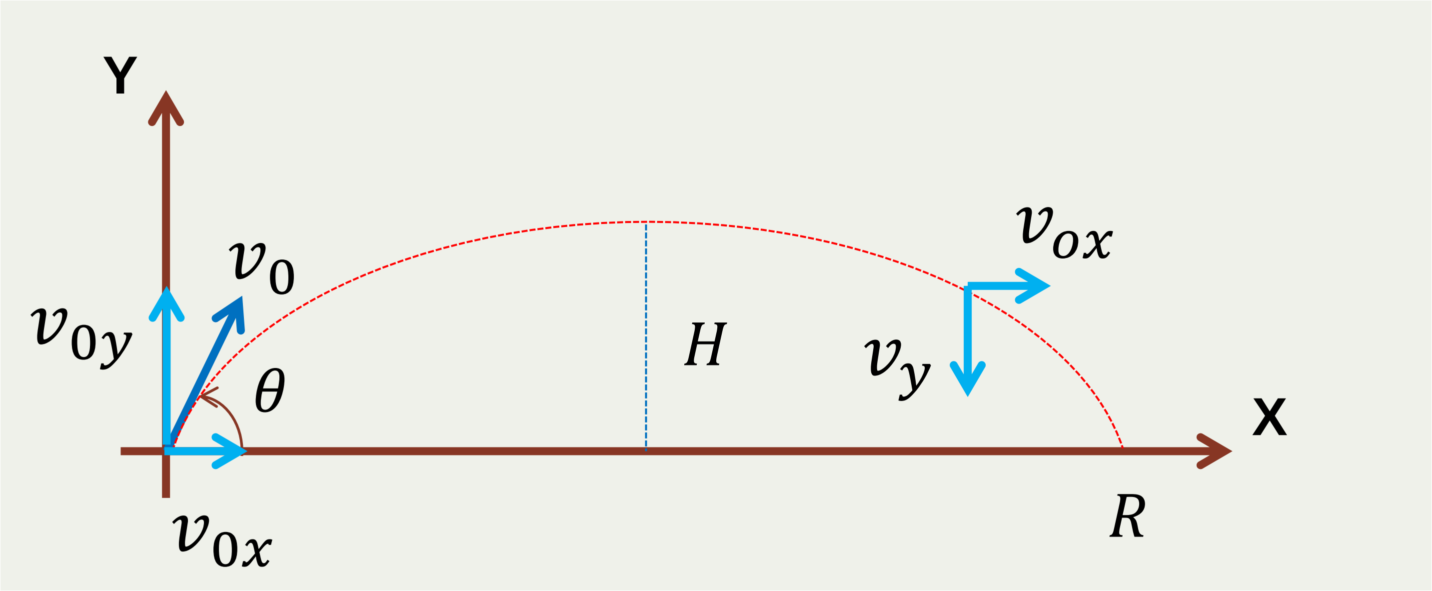
No eixo Y o movimento é acelerado (MUV);

No eixo X a velocidade é uniforme (MU).

Movimento Parabólico

(MU) $v_x = v_{0x}$ $\quad x = x_0 + v_{0x}t$ $\quad a_x = 0$

(MUV) $v_y = v_{0x} - gt$ $\quad y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$ $\quad a_y = -g$



$v_0 = \sqrt{(v_{0x})^2 + (v_{0y})^2}$ Na altura máxima: $v_y = 0$

Forças fundamentais

1. **Gravitacional**: interação entre massas;
2. **Eletromagnética**: interação entre cargas elétricas;
3. **Nuclear forte**: interação entre nêutrons e prótons;
4. **Nuclear fraca**: Interação entre partículas subatômicas.

Forças fundamentais

1. **Gravitacional**
2. **Eletromagnética**

Fenômenos discutidos na Mecânica Clássica, eletricidade, magnetismo e mecânica estatística.

3. **Nuclear forte**
4. **Nuclear fraca**

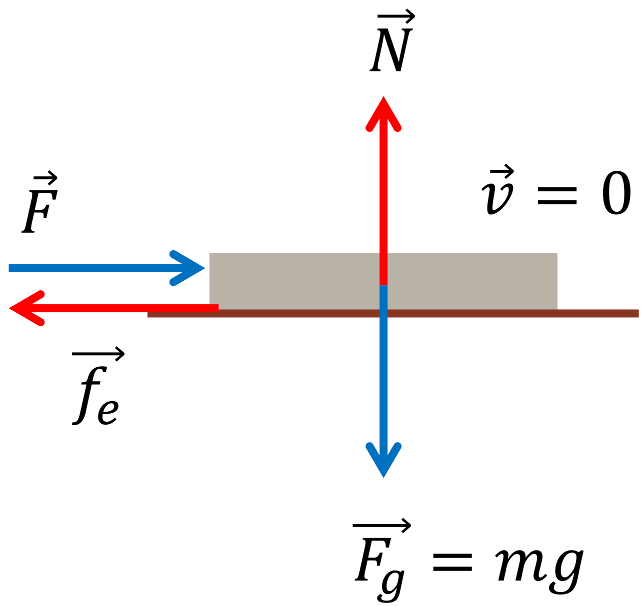
Responsáveis pela estrutura dos átomos, moléculas e interações entre elas.

Forças derivadas

- As demais forças são derivadas das fundamentais;
- Na biofísica analisamos o efeito das forças derivadas;
- A origem dessas forças pode ser externa ou resultante do próprio corpo.

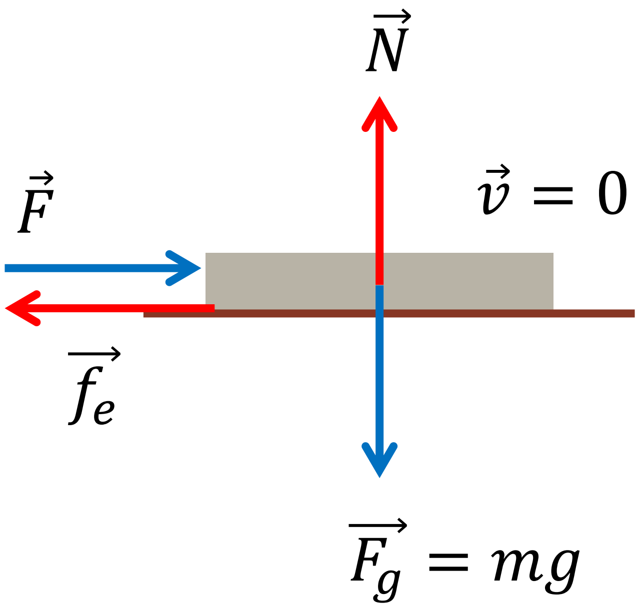
Forças de atrito

Aplicação de uma força
sobre um livro
em repouso:

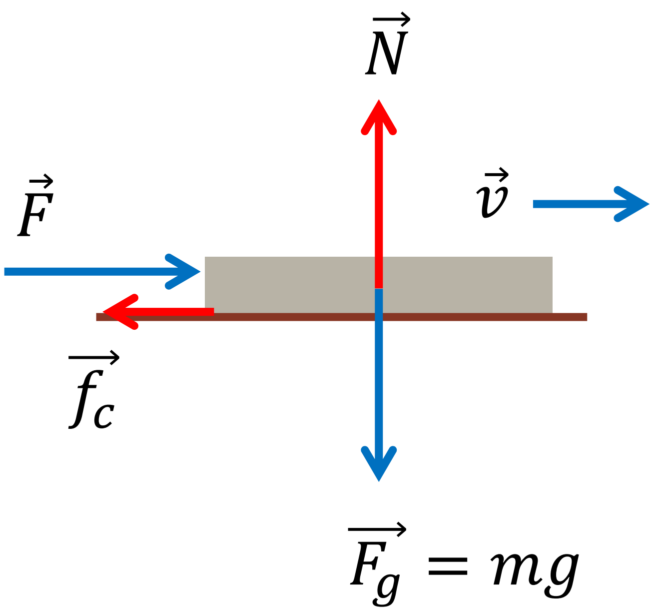


Forças de atrito

Aplicação de uma força sobre um livro em repouso:



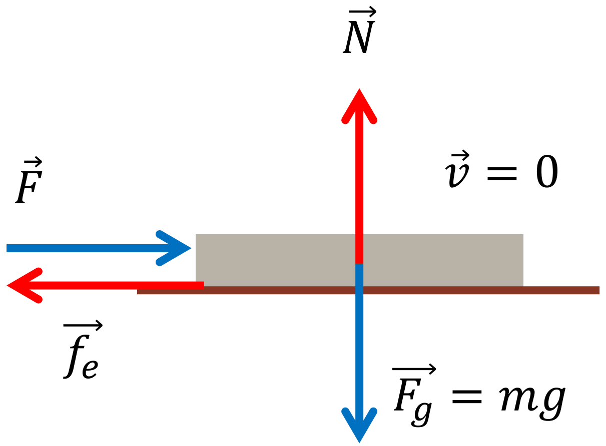
Ao adquirir velocidade a resistência ao movimento diminui:

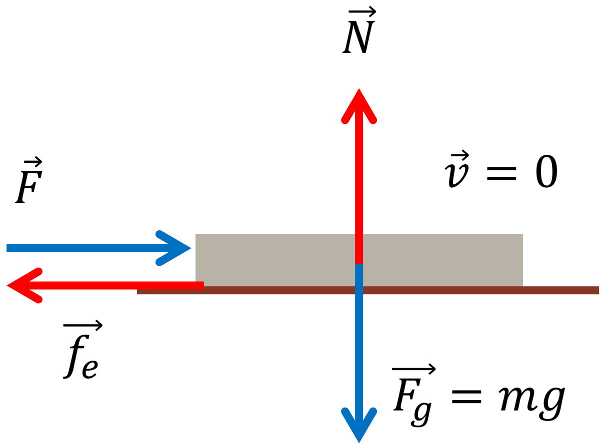


Forças de atrito

- As forças de atrito estão relacionadas com as forças de contato entre as superfícies;

- O coeficiente de proporcionalidade é o coeficiente de atrito.


$\vec{N}$
$\vec{v} = 0$
$\vec{F}$
$\overrightarrow{f_e}$
$\overrightarrow{F_g} = mg$

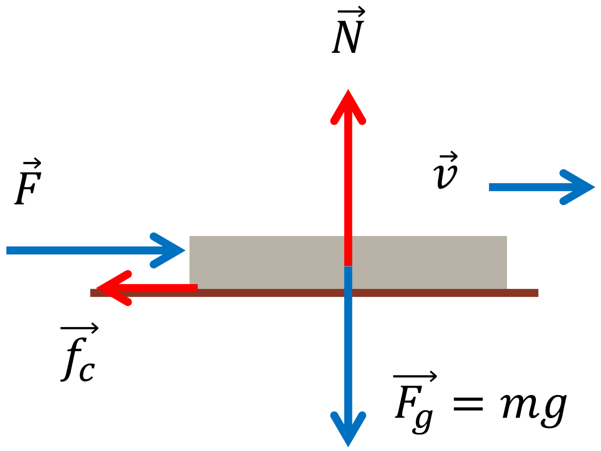


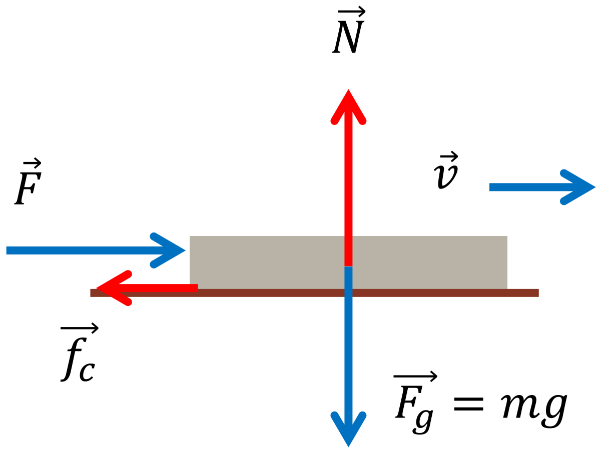
$$f_e = \mu_e N$$

N: força normal;

f_e : força de atrito estática;

μ_e : coeficiente de atrito estático.

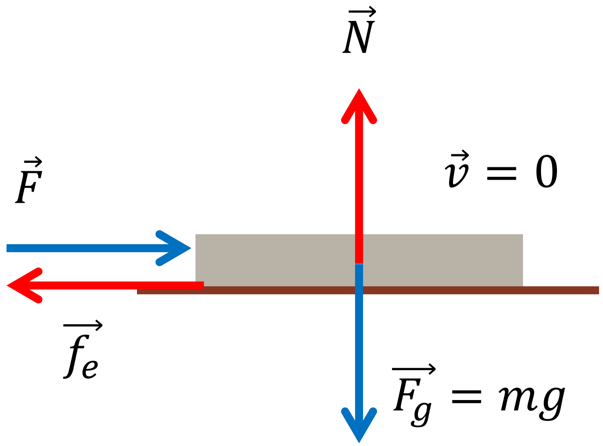

$\vec{N}$
$\vec{F}$
$\vec{v}$
$\vec{f_c}$
$\vec{F_g} = mg$

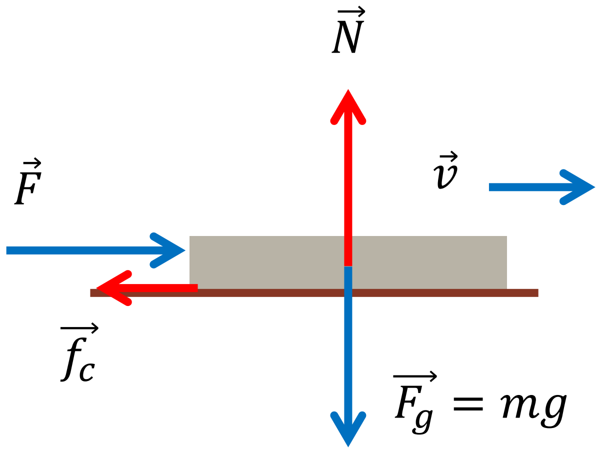


$$f_c = \mu_c N$$

f_c : força de atrito cinética;

μ_c : coeficiente de atrito cinético.





$$f_e = \mu_e N$$

$$f_c = \mu_c N$$

N: força normal;

f_e : força de atrito estática;

μ_e : coeficiente de atrito estático.

f_c : força de atrito cinética;

μ_c : coeficiente de atrito cinético.

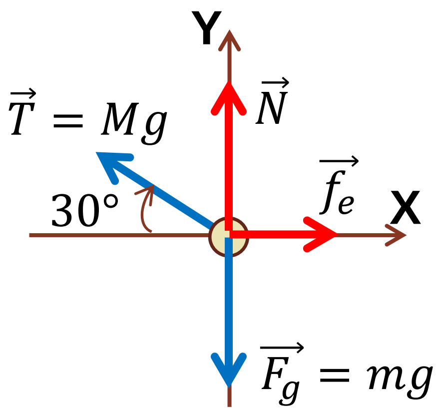
Exemplo com coeficiente de atrito

Um paciente com 70 kg está submetido a um esforço de tração sobre uma cama, conforme Figura abaixo. Qual será o valor máximo da massa suspensa $\boldsymbol{M}$ para que o esforço $\boldsymbol{T}$ na cabeça não o desloque da posição de repouso.
Considere o coeficiente de atrito entre a cama e as roupas do paciente igual a $\boldsymbol{\mu_e} = 0{,}20$.

Fonte: Adaptado de Duran, Pearson, 2011.

Solução

- Diagrama de corpo livre e dados:



$m = 70kg$: massa do paciente ;

$\mu_e = 0{,}20$: Coeficiente de atrito estático;

$M =$? Massa suspensa.

- Para que o paciente permaneça em repouso as forças nos dois eixos devem estar em equilíbrio:

$$\sum F_x: \quad T\cos 30 = f_e \qquad mas, \quad T = Mg \quad e \quad f_e = \mu_e N$$

$$\sum F_y: \quad T sen 30 + N = F_g \qquad mas, \quad F_g = mg$$

Solução

- Substituindo as expressões das forças no sistema de equações temos:

$$Mgcos30 = \mu_e N \qquad (1)$$

$$Mgsen30 + N = mg \qquad (2)$$

- Da equação (1) isolamos N :

$$N = {}^{Mgcos30}/_{\mu_e} \qquad (3)$$

- Substituímos (3) em (2):

$$Mgsen30 + {}^{Mgcos30}/_{\mu_e} = mg \qquad (4)$$

Solução

- Isolamos M da equação (4):

$$M\cancel{g}\left(sen30 + \frac{cos30}{\mu_e}\right) = m\cancel{g}$$

- Inserindo os valores numéricos encontramos M:

$$M\left(0{,}50 + \frac{0{,}866}{0{,}20}\right) = 70$$

$$M\;4{,}83 = 70$$

$\boldsymbol{M = 14{,}5\ Kg}$ Será o valor máximo da massa suspensa para que o paciente permaneça em repouso.

Forças Elásticas

- Um corpo submetido a esforços experimentará, em alguma magnitude, deformações em suas dimensões;

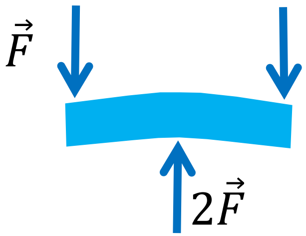
- Os esforços podem ser classificados em quatro tipos fundamentais:

    tração, compressão, flexão e torção.

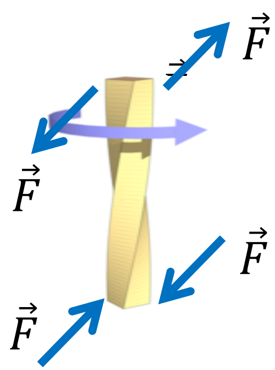
A. Tração: Ação de duas forças opostas de igual intensidade e no sentido de afastamento;

B. Compressão: Ação de duas forças opostas de igual intensidade e no sentido de aproximação;

C. Flexão: Ação de pelo menos três forças, sendo duas no mesmo sentido e outra no sentido contrário;



D. Torção: Ação de dois pares de forças que agem em sentidos opostos e em planos paralelos.



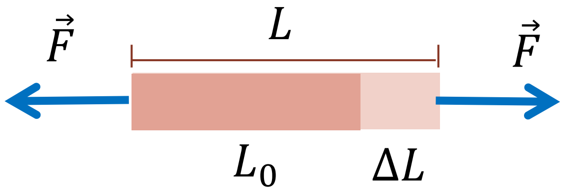
Módulo de Young (Y)

- Ao ser submetido a esforços de tração, compressão, flexão e torção os corpos sofrem deformação;

- As deformações são alterações em suas dimensões;

- As variações lineares (ΔL) são determinadas pelas diferenças entre o comprimento final (L) e o comprimento inicial (L_o).

$$\Delta L = L - L_0$$



Módulo de Young (*Y*)

- Verificou-se, experimentalmente, para a maioria dos materiais como metais, madeiras, borrachas e ossos que para pequenos esforços (F) a variação (ΔL) é proporcional à força aplicada:

$$F = K\Delta L$$

Sendo K a constante elástica do material.

- Essa expressão é conhecida como lei de Hooke.

Módulo de Young (*Y*)

- Esse comportamento elástico também pode ser descrito em termos da variação relativa do comprimento ($\Delta L/L_0$) e da força aplicada (F)por unidade de área (A):

$$\frac{F}{A} = Y\frac{\Delta L}{L_0} \qquad (1)$$

Sendo $\boldsymbol{Y}$ denominado módulo de Young do material.

- A expressão (1) é utilizada para o cálculo do módulo de Young.

Módulo de Young (Y)

- O módulo de Young (Y) fornece o grau de elasticidade do material;
- Quanto maior Y menos elástico é o material;

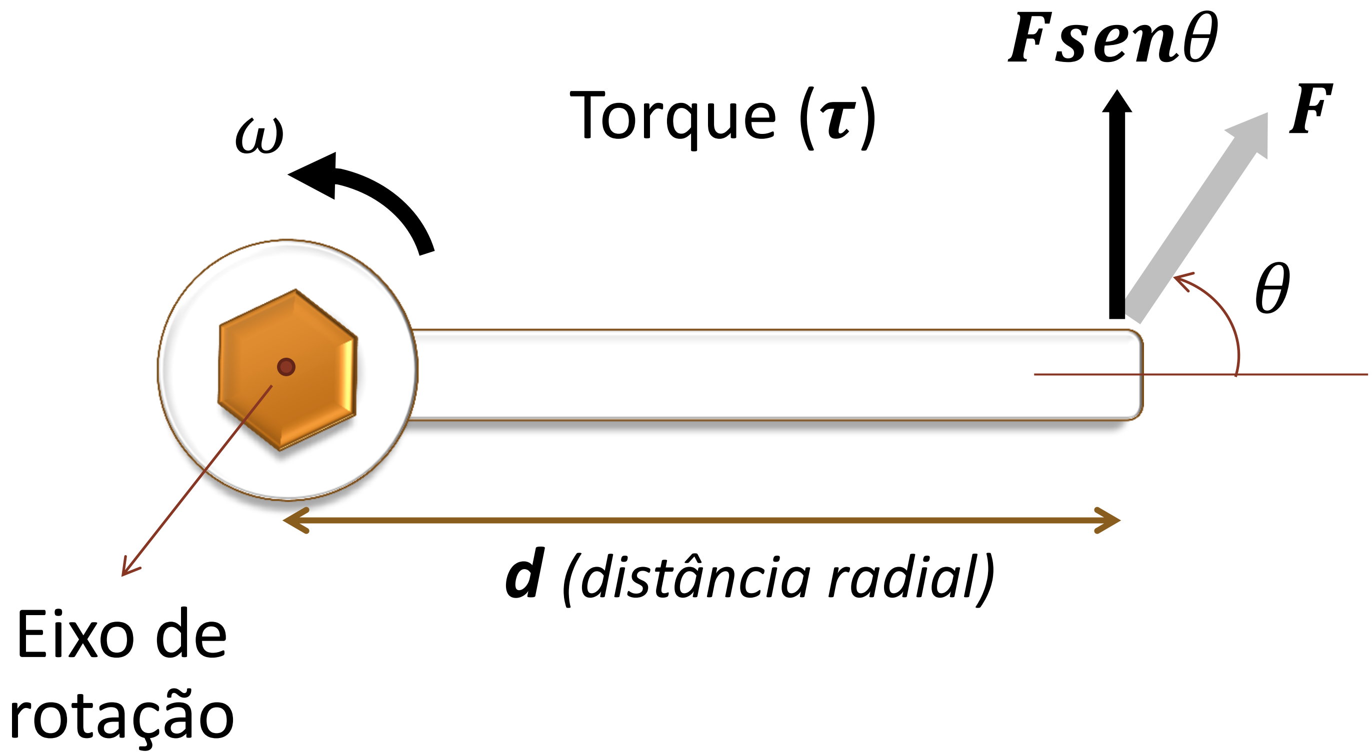
Material	Módulo de Young (10^7 N.m^{-2})
Aço	2070
Borracha	0,010
Osso compacto	179

Momento de uma força (torque)

- A aplicação de uma força ($\boldsymbol{F}$) pode causar rotação;
- O torque ($\boldsymbol{\tau}$) é responsável por mudar a velocidade angular ($\boldsymbol{\omega}$) de um corpo;
- O torque ($\boldsymbol{\tau}$) é uma grandeza vetorial;
- Somente a componente perpendicular à distância radial do eixo de rotação causa o torque.

<http://www.bigtires.com.br/index.php>Acesso em 24/03/2017.

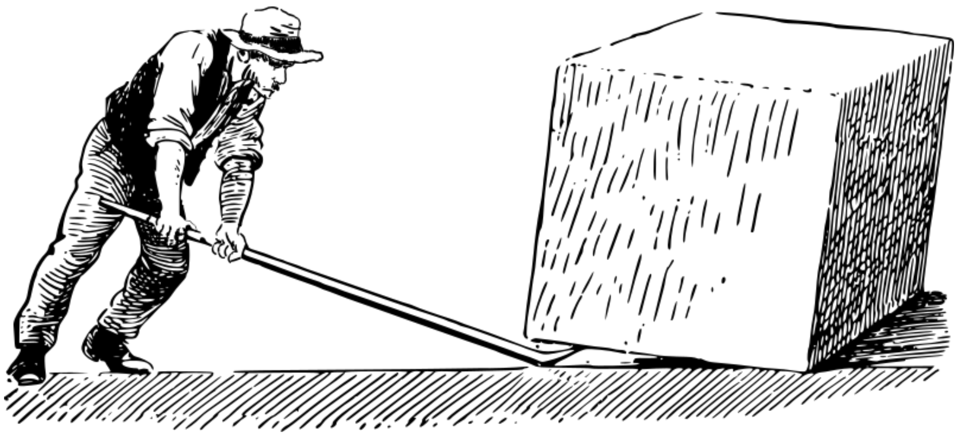
Momento de uma força (torque)



$$\tau = F\ d\ sen\theta$$

Alavancas

- Sistema capaz de equilibrar ou elevar um corpo que exerce uma carga ($\boldsymbol{R}$) pela aplicação de um pequena força ($\boldsymbol{P}$) através de um ponto de apoio ($\boldsymbol{D}$);



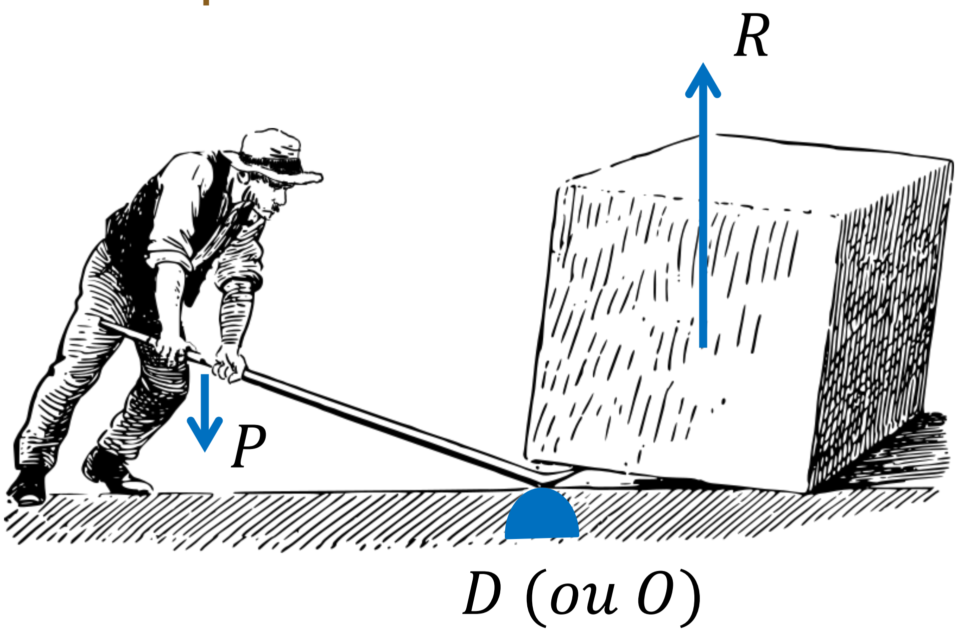
Openclipart: Quarryman.

Alavancas

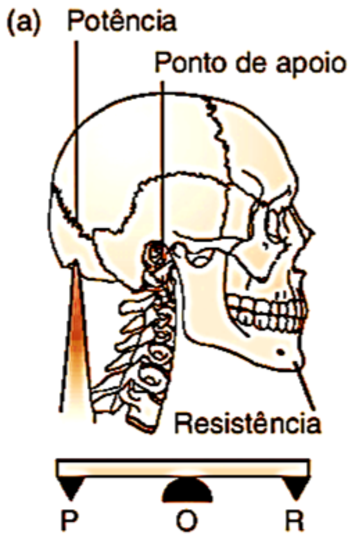
$\boldsymbol{R}$: carga com maior intensidade de força;

$\boldsymbol{P}$: força de menor intensidade;

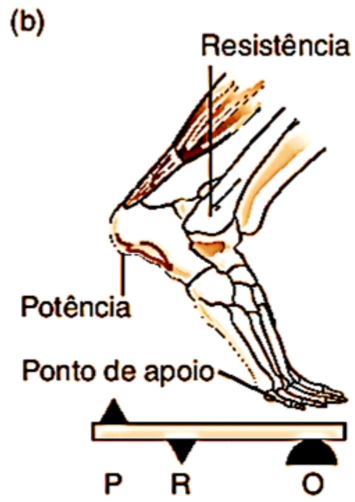
$\boldsymbol{D}$: ponto de apoio.



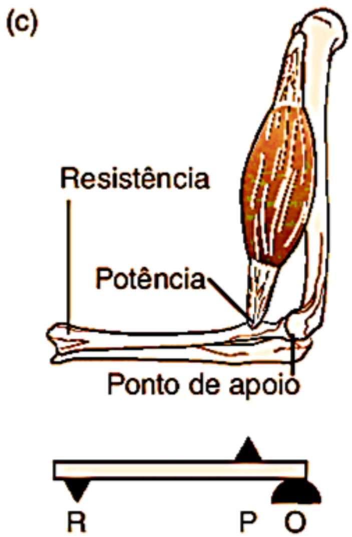
Tipos de alavancas



Interfixa



Inter-resistente



Interpotente

Fonte: Duran, Pearson, 2011, p. 56.

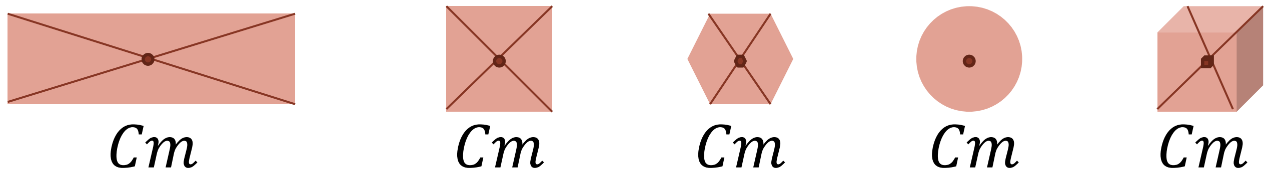
Centro de massa

- Ponto que se comporta, do ponto de vista do movimento, como se toda massa nele estivesse concentrada;

- Quando há forças externas atuando no corpo a resultante é aplicada sobre esse ponto;

Centro de massa

- Nos corpos com forma simétrica o centro de massa (Cm) coincide com o centro geométrico do corpo;



- Se o corpo tiver forma geométrica irregular o centro de massa pode ser localizado pelo somatórios das partes.

Centro de massa de sistemas

- Nos sistemas, com mais de uma partícula, as coordenadas do centro de massa no plano são calculados pelas expressões:

$$x_{Cm} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} \qquad y_{Cm} = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i}$$

m_i: massa da partícula;

x_i: coordenada da partícula no eixo x;

y_i: coordenada da partícula no eixo y.

Exemplo do cálculo de centro de massa

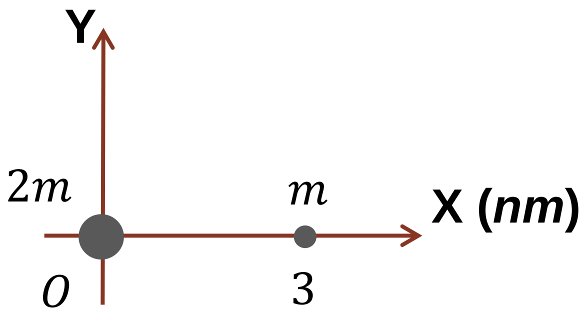
Uma molécula diatômica possui um átomo menor com massa $\boldsymbol{m}$ e o átomo maior com massa $2\boldsymbol{m}$ distantes de $\mathbf{3}\ \boldsymbol{nm}$. Calcule o centro de massa dessa molécula.

Exemplo do cálculo de centro de massa

Uma molécula diatômica possui um átomo menor com massa $\boldsymbol{m}$ e o átomo maior com massa $2\boldsymbol{m}$ distantes de $\mathbf{3}\ \boldsymbol{nm}$. Calcule o centro de massa dessa molécula.

Solução

- Para facilitar o cálculo o átomo maior será posicionado na origem dos eixos de coordenadas:



$$m_1 = 2m$$

$$x_1 = 0 \quad y_1 = 0$$

$$m_2 = m$$

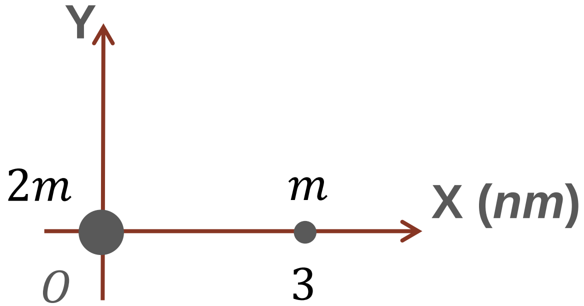
$$x_2 = 3\,nm = 3.10^{-9}\,m$$

$$y_2 = 0$$

- Só há coordenadas no eixo x, portanto utilizaremos a expressão para o centro de massa em x:

$$x_{Cm} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

$$x_{Cm} = \frac{2m.0 + m.3.10^{-9}}{2m + m} = \frac{m.3.10^{-9}}{3m} = 1.10^{-9}\,m$$



$m_1 = 2m$

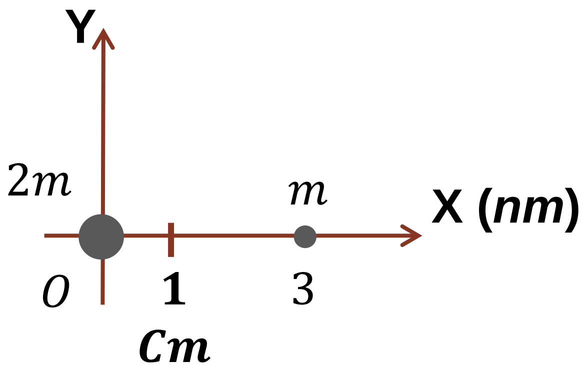
$x_1 = 0 \quad y_1 = 0$

$m_2 = m$

$x_2 = 3\,nm = 3.10^{-9}\,m$

$y_2 = 0$

O centro de massa estará a 1 $\boldsymbol{nm}$ da origem no eixo $\boldsymbol{x}$.



$m_1 = 2m$

$x_1 = 0 \quad y_1 = 0$

$m_2 = m$

$x_2 = 3\,nm = 3.10^{-9}\,m$

$y_2 = 0$

Obrigado pela atenção!

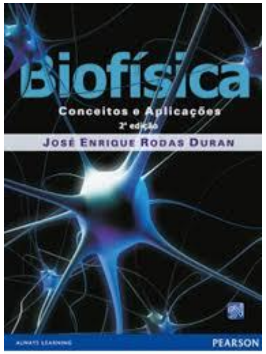
E bons estudos.

Exercícios

- **Acessar o site**:

https://www.profhenriquefaria.com

Referências



DURAN, J.E.R. **Biofísica. Fundamentos e Aplicações, 2ª Ed.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. (Capítulo 2)

UNESP. Instituto de Química. **Laboratório de Física I: apostila de práticas**. Compilada por Santos, C.O.P; *et. al*. Araraquara: Instituto de Química, 2017.