

1. INTRODUÇÃO

1.1. GRANDEZA ESCALAR E VETORIAL

As grandezas podem ser:

Escalar: quando fica bem definida somente com a intensidade (módulo) e sua unidade. Ex.: tempo, massa, distância, etc.

Vetorial: quando além da intensidade (módulo) e sua unidade, necessita de direção e sentido para que fique bem definida. Ex.: velocidade, aceleração, força, etc

A grandeza vetorial é associada a um VETOR, ou seja, a um segmento de reta orientada por uma seta.

- A direção é a reta suporte.
- O sentido é a seta.
- O módulo é o tamanho da reta.



1.2. UNIDADE PADRÃO

Com a necessidade de se fazer medidas, passam a ser imprescindível o uso de unidades. Com estas surgem alguns padrões:

MEDIDA DE COMPRIMENTO:

O metro (m) é a unidade padrão de comprimento.

MEDIDA DE TEMPO

O segundo (s) é o padrão de tempo.

MEDIDA DE MASSA

O quilograma (Kg) é a unidade padrão de massa.

Um quilograma é a massa de água a 4° C em um volume de 1dm³ (1 litro).

Sistema Internacional – SI

Em 1971, na 14° Conferência Geral de Pesos e Medidas foi estabelecido em sistema de unidades derivadas das três fundamentais: metro, segundo e quilograma.

Grandeza	Representação	Unidade do SI	Outras unidades
Distância	d	M	cm, Km, pol. etc.
Int. tempo	Δt	S	h, ano, dia etc.
Massa	M ou m	Kg	g, Kg, ton etc.
Espaço	S	M	cm, Km, pol. etc.
Velocidade	V ou v	m/s	cm/s, Km/h etc.
Aceleração	a	m/s ²	Km/h ²

1.3. ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS E NOTAÇÃO CIENTÍFICA

Medir é comparar o padrão com o que se deseja medir. Logo o instrumento de medida é fundamental.

Ao fazer-se o registro da medida devem-se usar todas as graduações do instrumento e atribuir um algarismo (último) a critério da pessoa que faz a medida. Assim uma régua graduada em cm e mm mede uma caneta e deve encontrar a seguinte medida: 14,32 cm.

- 14 cm e 3 mm é a precisão do instrumento
- 0,2 mm são duvidosos

Estes quatro algarismos (três corretos e um duvidoso) são chamados de algarismos significativos.

NOTAÇÃO CIENTÍFICA:

Alguns números são muito grandes ou muito pequenos, tornando impraticável seu uso na forma como costumamos escrever.

Para facilitar a escrita destes e outros numerais, adota-se a notação científica, onde um número N pode ser expresso por:

$$N = n \cdot 10^x \quad \text{eq.1}$$

Onde $n \in \mathbb{Q}$ tal que $1 \leq n < 10$ e $x \in \mathbb{Z}$

Múltiplos e submúltiplos das unidades

Uma outra forma de tornar mais simples a escrita de um número é a utilização de prefixos.

Símbolo	Prefixo	Fator de multiplicação
T	Tera	10 ¹² trilhão
G	Giga	10 ⁹ bilhão
M	Mega	10 ⁶ milhão
K	Kilo	10 ³ mil
m	mili	10 ⁻³ milésimo
μ	micro	10 ⁻⁶ milionésimo
n	nano	10 ⁻⁹ bilionésimo
p	pico	10 ⁻¹² trilionésimo

2. CINEMÁTICA

Estuda o movimento dos corpos sem levar em consideração suas causas, como força energia etc.

2.1. SISTEMA DE REFERÊNCIA

Para se dizer que um corpo está em movimento é necessário estabelecer um REFERENCIAL. Para um referencial fixo na sala de aula você está em repouso. Para um referencial fixo no sol, você está em movimento (circular) com velocidade próxima de 30.000 m/s, pois esta é a velocidade média da Terra em translação (giro em torno do sol).

REFERENCIAL OU SISTEMA DE REFERENCIA é o ponto fixo no qual é usado como padrão para estudar um movimento.

PONTO MATERIAL é um ponto móvel (objeto que se move) ou ponto representativo de um móvel. Também chamado de PARTÍCULA. É um corpo de tamanho desprezível.

TRAJETÓRIA é a linha definida pelas posições do ponto material em cada instante.

Esquema:

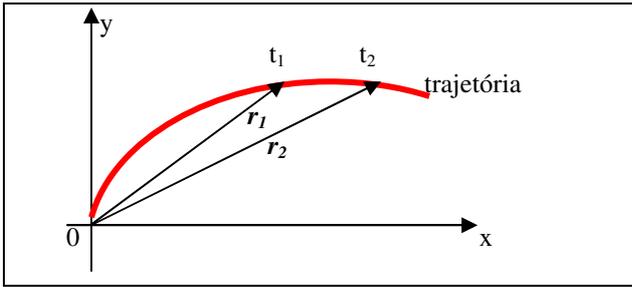
MOVIMENTO: Um corpo esta em movimento quando sua posição altera-se no decorrer do tempo.

REPOUSO: Um corpo esta em repouso quando sua posição não se altera no decorrer do tempo.

2.2. POSIÇÃO, DESLOCAMENTO, ESPAÇO, VELOCIDADE E ACELERAÇÃO.

a) POSIÇÃO (\vec{x} ou \vec{r})

Posição é uma grandeza vetorial representada por x ou r (\vec{x} ou \vec{r}). Na figura que segue r_1 e r_2 são os vetores posições.



Posição é definida como lugar onde o móvel encontra-se em um dado instante t em relação ao referencial o .

b) **DESLOCAMENTO** ($\Delta \vec{r}$)

Deslocamento de um móvel é a diferença (vetorial) dos vetores posição:

$$\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 \quad \text{eq. 2}$$

Para o movimento retilíneo (linha reta) ou movimentos próximos de reto, tem-se:

A medida do marco ZERO até a posição do móvel é chamada de ESPAÇO representado por S .

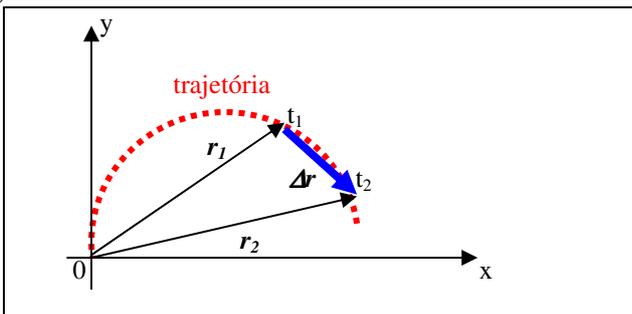
O ponto ZERO é então a origem dos espaços. Por extensão para movimentos curvos que a trajetória não comprometerá o cálculo é possível utilizar a grandeza espaço no lugar de posição. Entretanto é importante salientar que esta grandeza é uma criação dos autores de livros direcionados para o ensino Médio para facilitar a compreensão.

Neste caso a posição \vec{r} é o mesmo valor do espaço S . Portanto, o módulo do deslocamento Δr tem o mesmo valor de $\Delta S = S - S_0$.

Observação:

Verifique que ΔS pode ser positivo ou negativo.
 $\Delta S > 0$ (positivo) quando aumenta os espaços S .
 $\Delta S < 0$ (negativo) quando diminui os espaços S .

Verifique que nem sempre a distância percorrida (em pontilhado) será igual ao deslocamento (vetor indicado por Δr).



c) **VELOCIDADE:**

Velocidade média (\vec{v} ou v) é a razão entre deslocamento $\Delta \vec{r}$ (ou Δr) e o intervalo de tempo Δt para percorrê-lo. É uma grandeza vetorial.

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad \text{eq.3}$$

Velocidade escalar média (v_m) é a razão entre a variação de espaço ΔS e o intervalo de tempo Δt para percorrê-lo.

$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{eq.4}$$

A **velocidade escalar média** também pode ser definida como a razão entre a distância total percorrida (d) pelo intervalo de tempo Δt para percorrê-la.

$$v_m = \frac{d}{\Delta t} \quad \text{eq. 5}$$

Velocidade instantânea (\vec{v}) é a razão entre o deslocamento $\Delta \vec{r}$ e o intervalo de tempo Δt quando o intervalo de tempo tende a um valor ínfimo, ou seja, infinitamente próximo de zero ($\Delta t \rightarrow 0$). Pode ser simplesmente dito velocidade.

$$\vec{v} = \lim \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{dS}{dt} \quad \text{eq. 6}$$

d) **ACELERAÇÃO:**

É a variação da velocidade vetorial de uma partícula em certo intervalo de tempo. Aceleração é uma grandeza vetorial.

A **aceleração escalar média** (a_m) é definida por:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{eq. 7}$$

A aceleração instantânea a é definida por:

$$\vec{a} = \lim \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad \text{eq. 8}$$

Observação:

As equações 6 e 8 exigem um procedimento de cálculo chamado derivação ou derivada.

$$v = \frac{ds}{dt} \quad a = \frac{dv}{dt} \quad \text{(eq.6 e 8)}$$

Observe que usávamos o Δ (delta) para representar uma variação, como nos casos ΔS , Δv e Δt . Se esta variação for muito pequena (ínfima), indicamos por dS , dv e dt .

Exemplo:

Dada a função $y = 3t^2 - 2t + 2$

A derivada de y em função de t é:

$$\frac{dy}{dt} = 6t - 2 + 0$$

Aplicação:

Dada a função horária dos espaços $S = 3t^2 - 2t + 4$ (SI), determine as equações das velocidades e das acelerações em função do tempo.

$$S = 3t^2 - 2t + 4$$

$$v = \frac{dS}{dt} = 6t - 2$$

$$v = 6t - 2$$

$$a = \frac{dv}{dt} = 6$$

$$a = 6$$

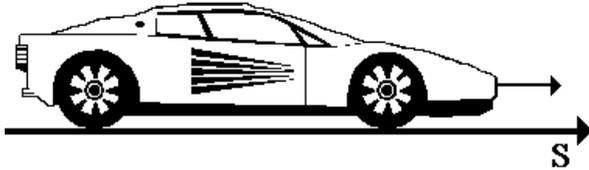
Importante:

A interpretação geométrica da derivada é a tangente a curva no ponto considerado.

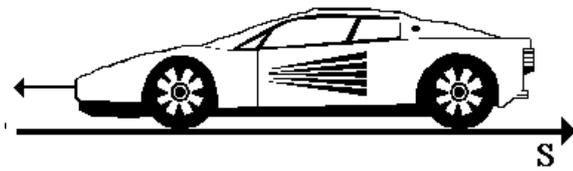
CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS:

Quanto a velocidade:

PROGRESSIVO: se sua velocidade é positiva, ou seja, quando ΔS é positivo.



RETROGRADO: se sua velocidade escalar for negativa, ou seja, quando ΔS é negativo.



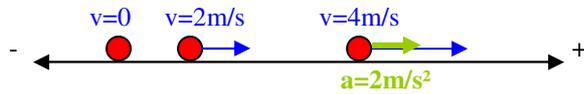
Quanto a variação do módulo da velocidade:

ACELERADO: se o módulo da sua velocidade escalar aumenta ou $v.a > 0$

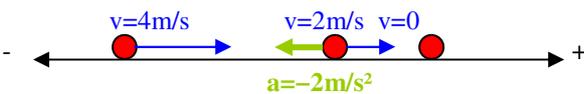
RETARDADO: (OU DESACELERADO OU FRENAGEM) se o módulo de sua velocidade escalar diminui, ou $v.a < 0$

Aplicação:

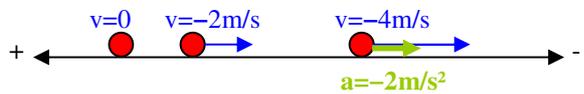
Veja as situações dos dois movimentos (acelerado e retardado) com referenciais diferentes. Considere que uma máquina fotográfica registra fotos a cada segundo. Então, em cada caso tem-se:



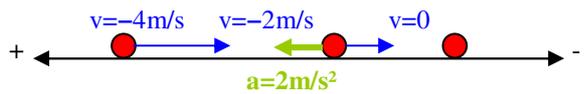
Movimento progressivo e acelerado



Movimento progressivo e retardado



Movimento retrogrado e acelerado



Movimento retrogrado e retardado

2.3. MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME (MRU)

É o movimento em linha reta (retilíneo) com velocidade constante (uniforme). Neste movimento o móvel percorre distâncias iguais em tempos iguais.

CARACTERÍSTICAS:

- Aceleração é constante e nula.
- A velocidade escalar é constante e diferente de zero.
- Os espaços variam linearmente (conforme uma equação do primeiro grau).

$$S = S_0 + v.t \quad \text{eq.9}$$

A eq.9 é chamada equação horária dos espaços no MRU ou MU.

Velocidade escalar média (v_m)

A velocidade escalar média é definida como a distância total percorrida (ou ΔS_{TOTAL}) dividido pelo tempo total para percorrê-la.

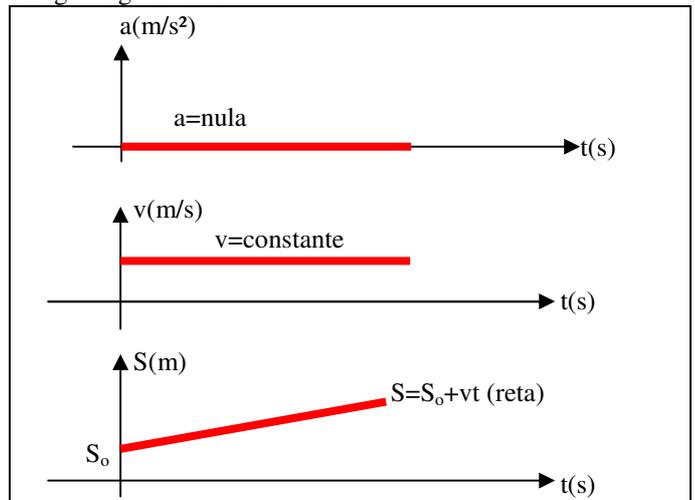
$$v_m = \frac{\Delta S_{Total}}{\Delta t_{Total}} = \frac{d_{Total}}{\Delta t_{Total}}$$

GRÁFICOS DO MRU

Como vimos no MRU ou MU as características básicas são:

- Aceleração constante e nula;
- Velocidade constante (diferente de zero)
- Espaços variáveis segundo uma equação do 1º grau ($S = S_0 + vt$).

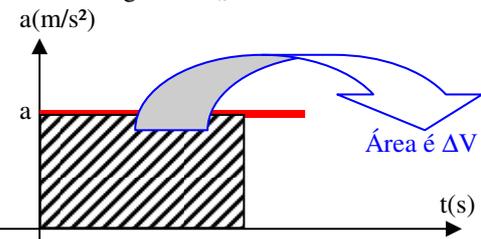
Logo os gráficos são:

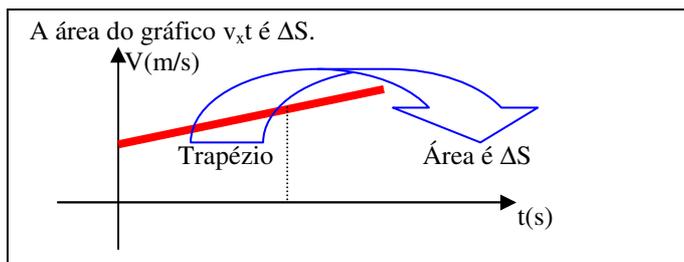


Observação:

A área de um gráfico pode ser numericamente igual a uma grandeza. Sempre que existir uma equação $A = x.y$ (na forma de um produto), se construirmos um gráfico com os fatores em abscissa e ordenada, o produto A é a área do gráfico.

A área do gráfico $a_x t$ é ΔV .





Velocidade relativa

Como já vimos a velocidade é relativa a um referencial. Assim em alguns casos, quando se tem dois ou mais móveis em movimento em relação a um ponto fixo é mais fácil interpretar o sistema mudando referencial para um dos móveis.

Velocidade relativa v_{rel} de um móvel em relação a outro numa direção é:

Mesmo sentido:
$$v_{rel} = |v_1 - v_2|$$

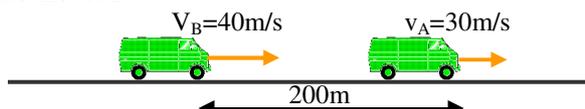
Sentidos contrários:
$$v_{rel} = |v_1| + |v_2|$$

Sendo d a distância entre os móveis num momento inicial, o tempo para o encontro dos móveis é dado por:

$$\Delta t_{encontro} = \frac{d}{v_{rel}}$$

Aplicação:

Dois móveis A e B com velocidade 30m/s e 40m/s respectivamente, deslocam-se na mesma direção e sentido. Se o móvel mais rápido está 200m atrás, quanto tempo ele levará para alcançar o móvel A? Qual a distância percorrida pelo móvel B?



A velocidade relativa do móvel B em relação ao móvel A pode ser calculado por:

$$v_{rel} = |v_1 - v_2| = |30 - 40| = 10 \text{ m/s}$$

O tempo para o encontro pode ser determinado por:

$$\Delta t_{encontro} = \frac{d}{v_{rel}} = \frac{200}{10} = 20 \text{ s}$$

A distância percorrida pelo móvel B é de:

$$\Delta S = v \cdot \Delta t = 40 \cdot 20 = 800 \text{ m}$$

2.4. MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (MRUV)

É o movimento em linha reta (retilíneo) com velocidade escalar variável uniformemente.

Esta variação da velocidade é uniforme, de tal forma que a aceleração é constante. Ou seja, o móvel apresenta variações de velocidades iguais em tempos iguais.

CARACTERÍSTICAS:

- Aceleração é constante e não nula.
- A velocidade escalar é variável linearmente (conforme uma equação do primeiro grau).

- Os espaços variam parabolicamente (conforme uma equação do segundo grau).

Assim:

$$v = v_0 + a \cdot t \quad \text{eq.10}$$

A eq.10 é chamada equação horária das velocidades no MRUV ou MUV.

$$S = S_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \quad \text{eq.11}$$

A eq 11 é a equação horária dos espaços do MRUV ou MUV.

A velocidade média no MRUV (ou MUV) é igual a média das velocidades.

$$v_m = \frac{\Delta S_{Total}}{\Delta t_{Total}} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{eq.12}$$

Equação de Torricelli

Uma facilitação para resolução dos problemas, principalmente quando não envolve tempo é a equação de Torricelli:

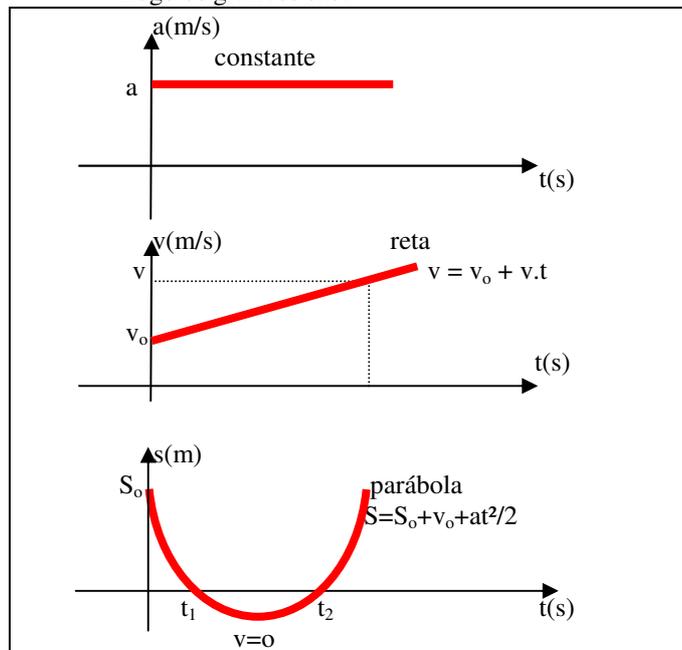
$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S \quad \text{eq.13}$$

GRAFÍCOS DO MUV

Como vimos o MUV apresenta as seguintes propriedades básicas:

- Aceleração constante não nula;
- Velocidade variável conforme uma equação do 1º grau ($v = v_0 + at$);
- Espaços variáveis conforme uma equação do 2º grau ($S = S_0 + v_0 \cdot t + at^2/2$).

Logo os gráficos são:

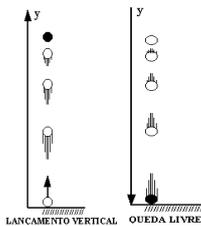


2.5. MOVIMENTO DE QUEDA LIVRE (MQL)

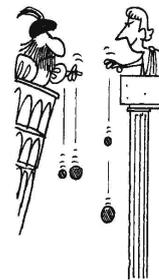
O MQL é um MRUV que ocorre na vertical, com aceleração de gravidade g .

Na Terra este valor é $g=9,8 \text{ m/s}^2$, mas para efeito de cálculo, adota-se $g=10\text{m/s}^2$.

Observe na figura da esquerda que um objeto foi lançado verticalmente para cima. Veja que fotos tiradas a cada segundo mostram que as distâncias percorridas são cada vez menores, ou seja, o movimento é retardado. Já na figura da direita está representado o mesmo objeto caindo em queda livre. Observe que para fotos batidas de intervalos de tempo iguais, as distâncias percorridas pelo objeto são cada vez maiores, ou melhor, o movimento é acelerado. É interessante observar que o objeto pára no final da subida para depois descer. Logo neste ponto a velocidade é zero.



A charge seguinte mostra do lado direito um grego da época de Aristóteles (séc. IVaC) e a sua concepção de que corpos mais pesados caem mais rápidos que os leves. Já no lado esquerdo está Galileu Galilei e sua suposta prova de que no vácuo isto não ocorre. O movimento de queda livre é assim chamado por ser livre da resistência oferecida pelo ar. Nestas condições todos os corpos, independente da forma ou massa, caem simultaneamente e chegam juntos ao solo. Ou melhor, o tempo de queda é o mesmo.



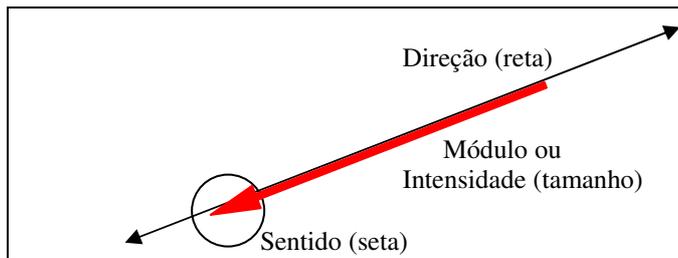
Além disto, algumas particularidades destacam-se:

1. Se um objeto for jogado verticalmente para cima, o tempo de subida é o mesmo de descida.
2. Numa mesma altura (cota) o módulo da velocidade na subida e na descida é o mesmo.
3. A única força que age no corpo enquanto estiver em movimento no vácuo e sem contato com nada é o peso.
4. A aceleração do corpo tanto na subida quanto na descida é a aceleração da gravidade. Entretanto na subida o movimento é retardado e na descida o movimento é acelerado. Se considerarmos que a velocidade é sempre positiva, na subida $a=-g$ e na descida $a=+g$.
5. As equações que regem a queda dos corpos ou o lançamento vertical são as do MRUV, considerando que $S = h$ e $a = \pm g$.

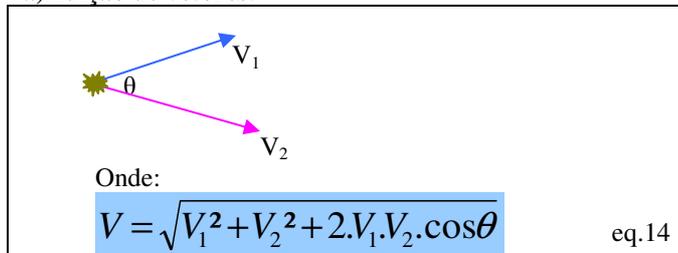
MRUV	MQL
$v = v_0 + a.t$	$v = v_0 \pm g.t$
$S = S_0 + v_0.t + \frac{a.t^2}{2}$	$h = h_0 + v_0.t \pm \frac{g.t^2}{2}$
$v^2 = v_0^2 + 2.a.\Delta S$	$v^2 = v_0^2 \pm 2.g.\Delta h$

2.5. VETORES:

É um ente matemático caracterizado por direção, sentido e intensidade (módulo).

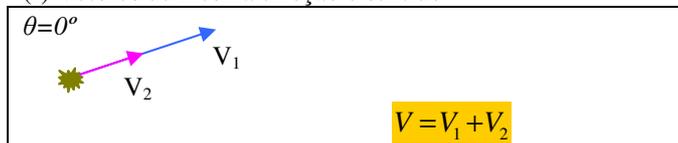


a) Adição de vetores:

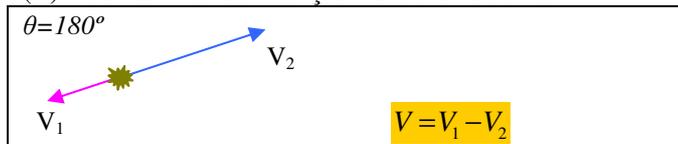


Conforme o ângulo θ a equação 14 pode ser simplificada:

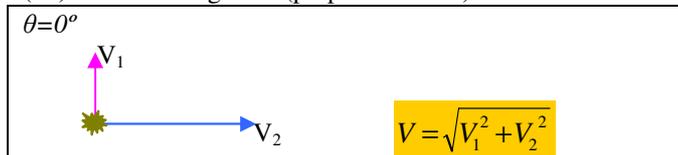
(I) Vetores de mesma direção e sentido



(II) Vetores de mesma direção e sentido contrário



(III) Vetores ortogonais (perpendiculares)



2.6. COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS

Uma análise vetorial dos movimentos nos permite verificar que a aceleração vetorial instantânea apresenta duas componentes:

- tangencial \vec{a}_t
- centrípeta \vec{a}_{cp}

A **aceleração tangencial** é decorrência da variação da intensidade do vetor velocidade. Como o nome diz tem a direção tangente a trajetória, o módulo dado por $\Delta v/\Delta t$, e sentido a favor ou contra o movimento.

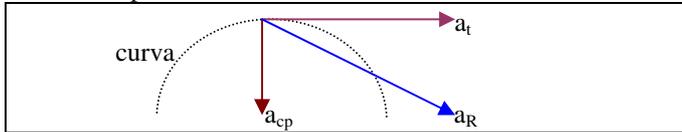
A **aceleração centrípeta** é a decorrência da variação da direção do vetor velocidade. Logo sempre que houver movimento curvo existe uma aceleração centrípeta e sempre que houver movimento retilíneo a aceleração centrípeta é nula.

O módulo da aceleração centrípeta depende do raio e da velocidade do móvel que realiza o movimento curvo.

O módulo da aceleração centrípeta é dado por:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R} \quad \text{eq 16}$$

A direção é sempre radial (direção do raio da curva).
O sentido para o centro da curva.



Logo, a aceleração vetorial, resultante é dado por:

$$a_R = \sqrt{a_{cp}^2 + a_t^2} \quad \text{eq 17}$$

Decomposição de movimentos

Em alguns casos um movimento pode ser bem complexo, como é o caso de alguns astros. Seu equacionamento envolve uma matemática mais sofisticada. Entretanto outros objetos apresentam movimentos bem definidos, como as trajetórias parabólicas de corpos lançados obliquamente na superfície da Terra. A compreensão destes movimentos é simplificada por um processo de decomposição vetorial.

Princípio da independência:

Projetando-se os movimentos ou suas causas em eixos ortogonais, tem-se:

“Quando um corpo se encontra sob ação de vários movimentos ortogonais simultaneamente, cada um deles se processa como se os demais não existissem.”

LANÇAMENTO OBLÍQUO OU MOVIMENTO BALÍSTICO (MB)

Um objeto é lançado no vácuo formando um ângulo qualquer com a horizontal. As características de seu movimento podem ser calculadas pelas equações:

Tempo de subida

$$t = \frac{v_0 \cdot \text{sen} \theta}{g} \quad \text{eq 18}$$

Tempo total (no ar)

$$t_{Total} = \frac{2v_0 \cdot \text{sen} \theta}{g} \quad \text{eq 19}$$

Altura máxima

$$h = \frac{v_0^2 \cdot \text{sen}^2 \theta}{2g} \quad \text{eq 20}$$

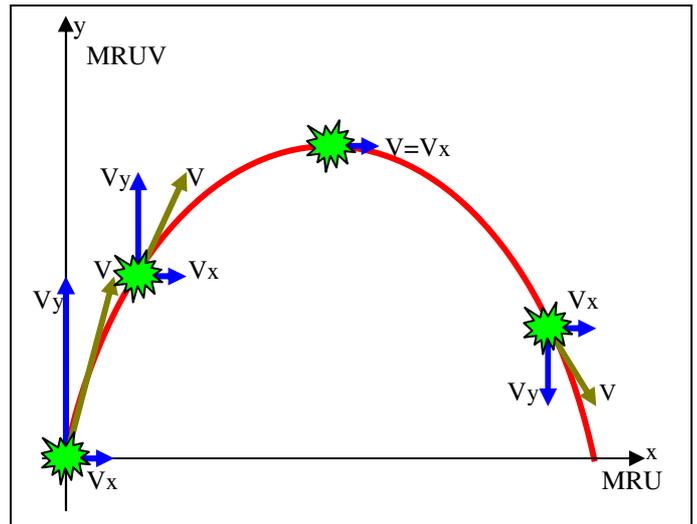
Alcance

$$A = \frac{v_0^2 \cdot \text{sen} 2\theta}{g} \quad \text{eq 21}$$

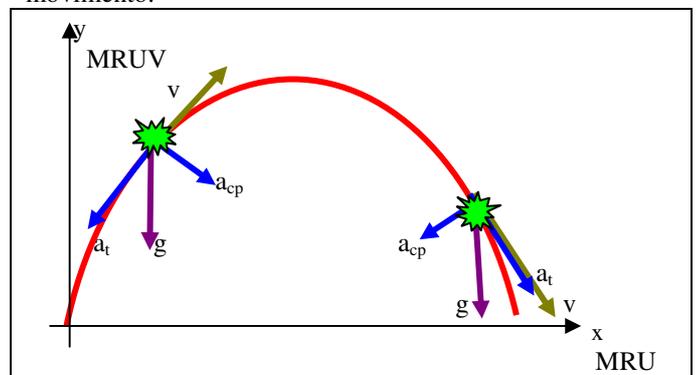
Importante:

Observe que o máximo alcance acontece quando na eq.21 $\text{sen} 2\theta$ é máximo, ou seja $2\theta = 90^\circ$, logo $\theta = 45^\circ$ proporciona o máximo alcance.

Observe também que para ângulos complementares o alcance é o mesmo



Observe os vetores \vec{a} (a_t e a_{ac}) e \vec{v} para este movimento.

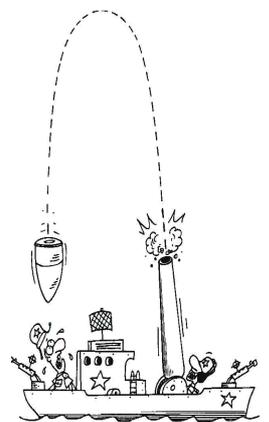


- A aceleração da gravidade é a resultante entre a aceleração centrípeta e tangencial.

- Na subida o movimento é retardado logo os vetores aceleração tangencial e velocidade são opostos.

- Na descida o movimento é acelerado logo os vetores aceleração tangencial e velocidade são de mesmo sentido.

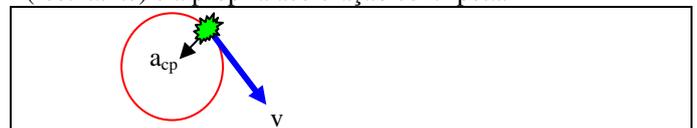
- No ponto de máxima altura a velocidade é diferente de zero. ($V=V_x=V_0 \cdot \text{cos} \theta$). A aceleração tangencial é nula e a aceleração centrípeta é a aceleração da gravidade.



2.7. MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)

É o movimento no qual o móvel apresenta trajetória circunferencial e o módulo do vetor velocidade é constante.

Observe que o vetor velocidade varia somente em direção, logo a aceleração tangencial é nula e a aceleração (resultante) é a própria aceleração centrípeta.



a) Frequência (f)

É o número de voltas realizado pelo móvel em certo intervalo de tempo

$$f = \frac{n}{\Delta t} \quad \text{eq.22}$$

Unidades:

No SI: Hertz (Hz) \rightarrow Hz = 1/s = s⁻¹

Usual: rpm = rotações por minuto

1 HZ = 60 rpm

b) Período (T)

É o tempo necessário para uma volta completa. Ou simplesmente a relação entre o intervalo de tempo e o número de rotações efetuadas.

$$T = \frac{\Delta t}{n} \quad \text{eq.23}$$

Unidade no SI: s = segundos

Como período é inverso da frequência:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{ou} \quad T = \frac{1}{f}$$

c) Velocidade tangencial (ou linear)

$$v = \frac{2\pi.R}{T} = 2\pi.R.f \quad \text{eq.24}$$

Unidade no SI: m/s

d) Velocidade angular (ω)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi.f \quad \text{eq.25}$$

Unidade no SI: rad/s

Relação entre as velocidades linear e angular:

$$v = \omega.R \quad \text{eq.26}$$

e) Aceleração centrípeta

Tem o módulo dado por:

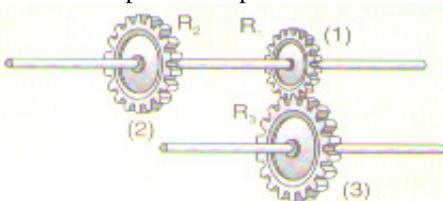
$$a_{cp} = \frac{v^2}{R} \quad \text{eq.27}$$

ou

$$a_{cp} = \omega^2.R \quad \text{eq.28}$$

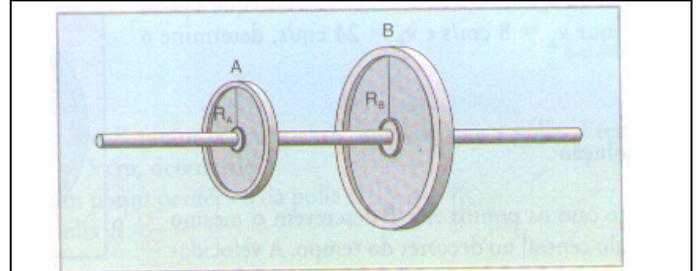
Acoplamentos:

Existem dois tipos de acoplamentos:



Na figura as polias (engrenagens) 1 e 2 estão acopladas coaxialmente ou por eixo. As polias 2 e 3 estão acopladas tangencialmente.

a) Coaxial ou por eixo:



Neste caso as duas polias A e B giram solidárias, logo:

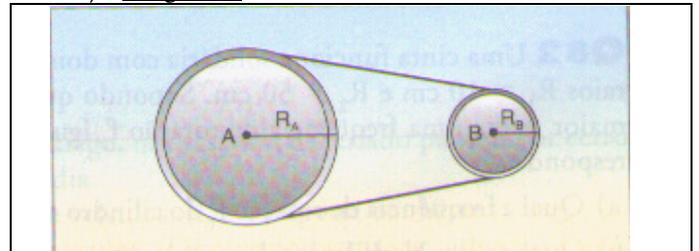
$$f_A = f_B$$

$$T_A = T_B$$

$$\omega_A = \omega_B$$

$$V_A < V_B$$

a) Tangencial:



Neste caso a periferia das polias A e B tem a mesma velocidade, logo:

$$f_A < f_B$$

$$T_A > T_B$$

$$\omega_A < \omega_B$$

$$V_A = V_B$$

3. DINÂMICA

3.1 PRIMEIRA LEI DE NEWTON

Também chamado de Axioma da Inércia.

Conforme consta no livro editado em 1686 escrito pelo próprio Isaac Newton, o enunciado desta lei é:

“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar o seu estado por forças imprimidas sobre ele.”

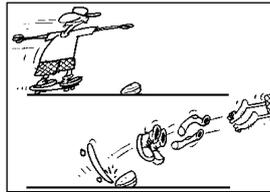
É importante destacar que força é uma grandeza vetorial capaz de deformar um corpo ou variar a velocidade do corpo.

Assim se um corpo for empurrado horizontalmente sobre o chão, pára, porque surge o atrito, caso contrário, continuaria indefinidamente.

Uma pedra é jogada para frente. Se não houvesse atrito do ar nem ação da força-peso (atração da Terra sobre os corpos) a pedra continuaria em MRU.

Quando um passageiro de um ônibus está em pé num corredor e o ônibus dobra em uma esquina ou faz uma curva qualquer, o passageiro parece ser jogado no sentido contrário. Na verdade existe uma tendência natural (princípio da inércia) para que ele continue em linha reta.

Quando um carro freia, os seus passageiros são jogados para frente mantendo-se em MRU. Aí está a necessidade de cinto de segurança.



3.2 SEGUNDA LEI DE NEWTON

Também conhecido com Princípio Fundamental da Dinâmica.

Newton escreveu em seu Principia (Princípios Matemáticos de Filosofia Natural) da seguinte forma:

“A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida e é produzida na direção da linha reta, na qual aquela força é imprimida.”

Entende-se aqui mudança de movimento por aceleração.

Num primeiro momento, Newton não expõe que esta proporção tem relação com a massa m , mais tarde explicita que:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \text{eq. 29}$$

Ou melhor:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad \text{eq. 29}$$

É importante destacar que \vec{F} é a força resultante que atua no corpo de massa m .

Unidades de força:

No SI é usado $N = \text{Newton}$

Usualmente tem-se lb (libras), Kgf (quilograma-força), gf (grama-força), tf (tonelada-força)

Observação:

1 N é a força necessária para acelerar 1 Kg à 1 m/s^2
 1 Kgf é a força de ação gravitacional sobre 1 Kg , portanto:

$$1 \text{ Kgf} = 9,8 \text{ N} \cong 10 \text{ N}$$

1 dyn é a força necessária para que 1 g seja acelerado a 1 cm/s^2 , portanto

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$$

FORÇA-PESO

É a força com que um planeta atrai os corpos que estão próximos.

A natureza desta força será estudada mais adiante em Gravitação Universal.

Esta força é determinada pelo produto da massa do corpo pela aceleração da gravidade local.

Para superfície da Terra $g=10 \text{ m/s}^2$.

Logo:

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

FORÇA DE TRACÇÃO OU TENSÃO

É um esforço interno em cordas, cabos, tirantes que são esticados.

3.3. TERCEIRA LEI DE NEWTON

Esta lei é conhecida como princípio da ação-reação e foi enunciada pela primeira vez da seguinte forma:

“A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou as ações mútuas de dois corpos, um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a parte oposta.”

É importante destacar que sempre existe uma reação de mesma intensidade, mesma direção, em sentido contrário e que atuam em corpos distintos. Logo, os pares ação-reação não se anulam.

FORÇA NORMAL

A força normal ou simplesmente normal (N) é a força que a superfície de apoio faz para manter equilibrado um objeto, por exemplo. A expressão normal significa perpendicular, ou seja, o vetor normal é sempre perpendicular a superfície de apoio. Uma balança de medida de massa indica na verdade o módulo da normal. Se a balança estiver em repouso ou MRU, a indicação será “correta”, pois o peso é igual a normal. Porém se a balança estiver em movimento variado terá uma indicação diferente.

Caso uma pessoa esteja sobre uma balança em um elevador que sobe aceleradamente, a indicação da balança será maior que o peso $m \cdot g$ da pessoa pois:

$$\mathbf{N} - \mathbf{P} = m \cdot \mathbf{a}$$

$$\mathbf{N} = m \cdot \mathbf{a} + m \cdot \mathbf{g}$$

$$\mathbf{N} = m(\mathbf{a} + \mathbf{g})$$

Caso uma pessoa esteja sobre uma balança em um elevador que desce aceleradamente, a indicação da balança será menor que o peso $m \cdot g$ da pessoa pois:

$$\mathbf{P} - \mathbf{N} = m \cdot \mathbf{a}$$

$$-\mathbf{N} = m \cdot \mathbf{a} - m \cdot \mathbf{g}$$

$$\mathbf{N} = m \cdot \mathbf{g} - m \cdot \mathbf{a}$$

$$\mathbf{N} = m(\mathbf{g} - \mathbf{a})$$

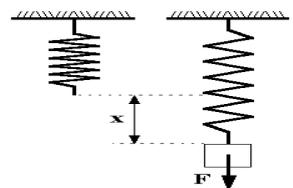
Observe que se $a=g$ a normal (indicação da balança) é nula. Este é o caso de um elevador caindo em queda livre. A pessoa teria a impressão de estar flutuando (levitando) no interior do elevador. Seus pés não mais fariam força sobre a balança e por isso ela indicaria que seu “peso” é zero. Este fenômeno é chamado de imponderabilidade.



3.4. LEI DE HOOKE

Robert Hooke foi um cientista que viveu no final do século XVII e que estudou o comportamento dos corpos deformáveis. Hooke chamou de comportamento elástico os corpos que após serem deformados, retornam ao estado original, como as molas, por exemplo.

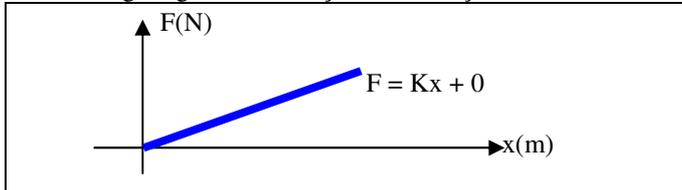
Seja uma mola com comportamento elástico. Se sobre ela atua uma força F , então sofre uma deformação x . Hooke verificou que a relação entre a força e a deformação (F/x) é sempre constante para os corpos elásticos e esta constante depende do material que a mola é feita.



Chama-se **constante elástica** da mola representada por K ou κ (letra grega kapa) a relação da força deformadora F e a respectiva deformação x , dada por:

$$k = \frac{F}{x} \quad \text{eq. 30}$$

Logo o gráfico da força x deformação tem-se:



Se a mola do exemplo anterior for esticada (deformada) e posteriormente liberada, não havendo nenhuma forma de atrito, permanecerá em movimento harmônico simples indeterminadamente (movimento oscilante).

Mas observe que quando se distender aumentando o tamanho da mola, a força que age na mola é em sentido contrário a deformação (deslocamento). Da mesma forma quando a mola esta se comprimindo, a força elástica que atua no material da mola é em sentido contrário a deformação (deslocamento). Assim a lei de Hooke pode ser perfeitamente escrita da seguinte maneira.

$$F = -k \cdot x \quad \text{eq.30}$$

Importante:

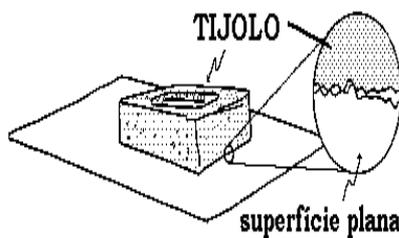
Analisando o gráfico verifica-se que a mola mais “dura” (que deforma menos) é a que tem maior constante elástica (coeficiente angular).

3.5 ATRITO

Basicamente o atrito é um fenômeno devido à interação entre dois corpos, dando origem a força de atrito.

Força de atrito é uma força que atua entre átomos superficiais de dois corpos em contato.

Consideramos a força de atrito em dois casos, um nos corpos parado em relação a superfície (atrito elástico) e outro em corpos em movimento em relação a superfície (atrito cinético).



Seja um livro repousado sobre a mesa. Aplica-se uma força pequena com um dedo horizontalmente sobre o livro de tal forma que ele permaneça em repouso, aumentando-se esta força, observa-se que ainda o livro permanece em repouso, logo a força aplicada é igual a força de atrito de tal forma que $F_R = 0$. A partir de certo valor da força aplicada (F_{ap}) o livro move-se.

Observe que após o início do movimento a força aplicada pode ser menor que aquela que deu início ao movimento para que assim permaneça em MRU. Conforme o gráfico:



Observações:

a) durante o repouso $F_{at} = F_{ap}$ (ver $\theta=45^\circ$). A força de atrito durante o repouso é chamada de força de atrito elástica.

b) na iminência do movimento a força de atrito pode ser calculada por:

$$f_{em} = F_i = F_{at} = \mu_e \cdot N \quad \text{eq. 31}$$

Onde:

$f_{em} = F_i =$ força de atrito na iminência do movimento que é igual a força de atrito máximo.

$\mu_e =$ coeficiente de atrito elástico que depende da natureza das superfícies em contato.

$N =$ força normal (sempre perpendicular a superfície).

c) durante o deslizamento a força de atrito permanece constante e normalmente é menor que a força de atrito máximo. A força de atrito durante o deslizamento e chamada força de atrito cinética dada por:

$$F_{atc} = \mu_c \cdot N \quad \text{eq.32}$$

Onde:

$F_c = F_{atc} =$ força de atrito cinético

$\mu_c =$ coeficiente de atrito cinético

$N =$ força normal

Pelo gráfico anterior, observa-se que $\mu_e \geq \mu_c$.

PLANO INCLINADO

Solução de problemas de plano inclinado “passo a passo”:

- 1) Definir sistema cartesiano.
- 2) Determinar as componentes do peso.

$$P_x = P \cdot \sin \alpha$$

$$P_y = P \cdot \cos \alpha$$

- 3) Definir normal ($N = P \cdot \cos \alpha$)

4) Aplicar a segunda lei de Newton nos vetores da direção do plano (eixo X).

3.6. FORÇA CENTRÍPETA E CENTRIFUGA

Como já vimos, aceleração centrípeta é uma aceleração que decorre da variação da direção do vetor velocidade, ou seja, surge sempre que o movimento for curvo.

Por outro lado, o postulado da inércia nos garante que se a resultante das forças de um móvel é nula, então descreverá um MRU.

Logo, no caso do móvel descrever uma curva, a resultante das forças, para um referencial fora do móvel (e

fixo na curva), é não nula. Esta resultante é a força centrípeta:

$$\mathbf{F}_R = m \cdot \mathbf{a} \quad \text{mas} \quad \mathbf{a}_{cp} = v^2/R$$

Logo

$$F_{cp} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

eq. 33

É importante salientar que a força centrípeta é a resultante das forças que agem no corpo, ou seja, em cada situação uma ou mais forças podem exercer o papel da força centrípeta.

EXEMPLOS:

- Quando giramos uma pedra presa à extremidade de um fio. A tração no fio faz papel de centrípeta.
- A lua gira em órbita circular em torno da Terra porque a Terra atrai a lua. Esta força de atração gravitacional faz papel de centrípeta.
- Em um pêndulo cônico, a força centrípeta é a resultante do peso e a tração no fio.
- Em um carro que descreve uma curva horizontal as forças de atrito entre os pneus e o asfalto fazem o papel de centrípeta.
- No “looping” na montanha russa, a força centrípeta e a soma do peso e a normal.

Entretanto se o referencial for um ponto fixo no próprio móvel, o corpo que gira em relação a outro ponto qualquer estará em repouso em relação a este ponto fixo no móvel. Um exemplo é uma pessoa que está dentro de um carro que realiza uma curva em MCU. Em relação ao centro da curva esta pessoa está em movimento, mas em relação a um ponto no painel do veículo está em repouso. Como já vimos, existe uma força para o centro da curva, a força centrípeta. Para que o móvel permaneça em repouso devemos considerar a existência de outra força para fora anulando a primeira. Esta outra força é chamada CENTRÍFUGA e observe que não é reação a força centrípeta.

3.7. GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

O brilho e o movimento dos astros sempre intrigaram os homens em qualquer época. Em todas as etapas da civilização o homem procurou explicações para os mistérios da gravitação. Entre os grandes estudiosos destacam-se:

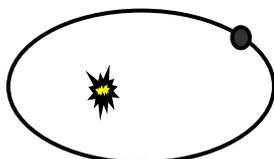
Johannas Kepler (1571 – 1630): usando as observações de Tycho, elaborou algumas conclusões que ficam conhecidas como as leis de Kepler

Newton (1642 – 1727): usando estudos de Galileu e Kepler chegou a lei de gravitação universal que explica os fenômenos da mecânica celeste.

3.8. LEIS DE KEPLER

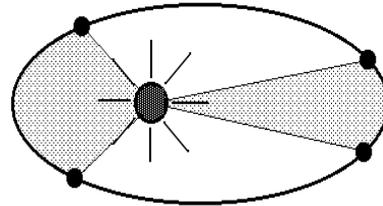
1ª Lei de Kepler:

“Os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do sol, ocupando este um dos focos da elipse.”



2ª Lei de Kepler:

“O segmento imaginário que une o sol ao planeta descreve áreas proporcionais aos tempos gastos em percorrê-los.”



OBSEVAÇÕES:

- Os pontos P e A são:

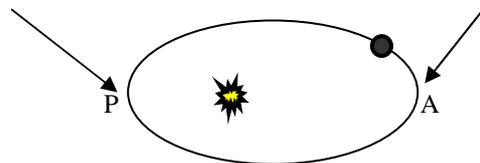
P é o periélio (ponto mais próximo do sol)

A é o afélio (ponto mais afastado do sol)

Se $A_1 = A_2 \Rightarrow \Delta t_1 = \Delta t_2$ logo $v_P > v_A$

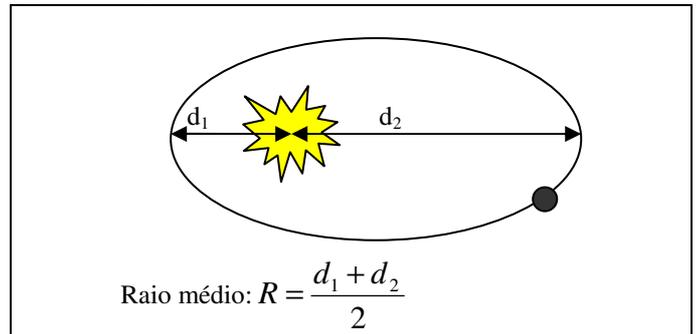
periélio

afélio



3ª Lei de Kepler:

“Os quadrados dos tempos de revolução dos planetas (tempo para dar uma volta completa em torno do sol) são proporcionais aos cubos das suas distâncias médias ao sol.”



Matematicamente:

$$T^2 = K \cdot R^3$$

eq. 34

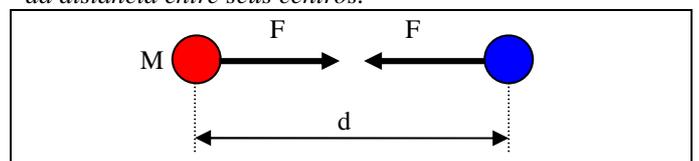
A constante K conhecida como constante de Kepler e depende da massa do sol.

As Leis de Kepler podem ser aplicadas a qualquer sistema estelar.

Lei da Gravitação Universal de Newton:

Isaac Newton estudando as leis de Kepler e algumas conclusões de Galileu chegou a uma lei para qualquer corpo, em órbita ou não:

“Dois corpos atraem-se com forças proporcionais às suas massas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre seus centros.”



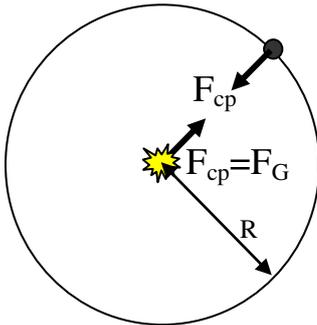
Matematicamente:

$$F = \frac{G.M.m}{d^2} \quad \text{eq. 35}$$

Onde $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{Kg}^2$ constante de gravitação universal que não depende dos corpos nem do meio que a envolve.

OBSERVAÇÕES:

I) No caso de um corpo em órbita circular (ou elíptica), como a lua ou um satélite artificial da Terra, a força gravitacional F_G faz papel de centrípeta F_{cp} .



Conclusão:

A velocidade de um satélite não depende da massa dele, mas sim da massa da Terra e da altura de sua órbita.

$$F_{\text{centrípeta}} = F_{\text{gravitacional}}$$

$$\frac{m.v^2}{R} = \frac{G.M.m}{R^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{G.M}{R}} \quad \text{eq. 36}$$

ou

$$v = \sqrt{\frac{G.M}{r_{\text{Terra}} + h}} \quad \text{eq. 36}$$

II) Força peso P de um objeto (força de atração da massa M do planeta sobre a massa m do objeto situado próximo a superfície) é gravitacional:

$$\vec{P} = \vec{F}$$

$$mg = \frac{G.M.m}{d^2}$$

Logo o módulo da aceleração da gravidade g na superfície de um planeta de massa M e raio R é dada por:

$$g = \frac{G.M}{R^2} \quad \text{eq. 37}$$

Com efeito, quanto maior a gravidade do planeta maior o peso do corpo.



4. PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO

4.1. TRABALHO DE UMA FORÇA

Trabalho mecânico de uma força é uma grandeza, capaz de medir energia do movimento imprimido por uma força. Neste caso deve haver força e deslocamento para que haja trabalho.

Por definição Trabalho de uma força \vec{F} é o produto da componente da força F na direção do deslocamento pelo deslocamento \vec{d} .

Matematicamente:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \cdot \cos \theta \quad \text{eq. 38}$$

Unidade: j (Joule)

Observações:

I) Embora força e deslocamento sejam vetores, o produto deles é uma grandeza escalar. Logo Trabalho é uma grandeza escalar.

II) Se $\theta = 90^\circ \Rightarrow \cos \theta = 0$ logo trabalho é nulo

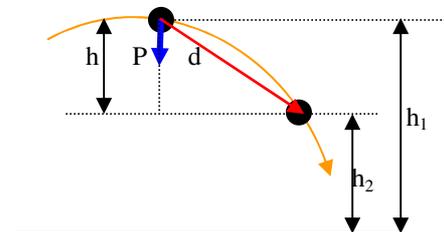
III) Se $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$ o trabalho é dito motor e é positivo (movimento espontâneo).

IV) Se $90 < \theta \leq 180^\circ$ o trabalho é dito resistente e é negativo (movimento forçado).

V) O gráfico $F \times d$ resulta como área o trabalho realizado pela força F .

TRABALHO DA FORÇA PESO:

Seja um objeto lançado no campo gravitacional:



$$h = h_1 - h_2$$

O módulo do trabalho da força peso é dado por:

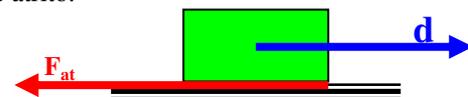
$$W = m.g.h \quad \text{eq. 39}$$

⚡ O trabalho da força peso na descida é positivo e na subida é negativo.

⚡ O trabalho não depende da trajetória.

TRABALHO DA FORÇA ATRITO:

Seja um objeto que desliza sobre uma mesa com atrito. Observe que o deslocamento será sempre contrário à força de atrito.



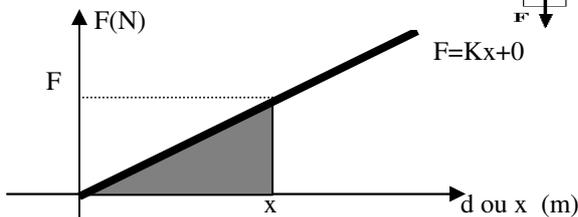
Logo a trabalho da força de atrito é negativo.

TRABALHO DA FORÇA ELÁSTICA (HOOKE)

Seja um sistema elástico, como uma mola:

O comportamento de uma mola elástica caracteriza-se por deformação proporcional a força elástica que restituir a mola a posição original.

Assim:



A área da figura (triângulo) do gráfico $F \times d$ é o trabalho W realizado pela força F :

$$W = \text{Área}$$

$$W = \frac{B \cdot b}{2}$$

$$W = \frac{Fx}{2}$$

$$W = \frac{kx^2}{2}$$

eq. 40

4.2. POTÊNCIA

Potência é definida como a rapidez em que a energia é transformada de uma modalidade a outra.

Assim a potência de um carro, por exemplo, é dado pela rapidez que a energia química da gasolina é transformada em energia mecânica no movimento do veículo.

Em linguagem matemática:

$$Pot = \frac{E}{\Delta t}$$

eq. 41

Energia é, de forma simplista, a capacidade de realizar trabalho, ou seja, de gerar movimento. Assim, a unidade de energia é o Joule (j). No estudo do movimento a potência pode ser calculada por:

$$Pot = \frac{W}{\Delta t}$$

eq.41

Unidade: W (Watt)

Mas é comum usar:

☑ KW = 1.000W = 1KW(quilowatt)

☑ HP = 745,7W

☑ CV = 735W

No caso da potência mecânica pode-se considerar que um móvel que tenha velocidade instantânea v e com uma propulsão devido a uma força motora F . Assim a potência desenvolvida será determinada por:

$$Pot = F \cdot v$$

eq. 42

EXEMPLO:

Um carro apresenta potência de 65HP (aproximadamente 50.000W). Determinar a força desenvolvida pelo motor quando:

a) Em 1ª marcha (3,6Km/h=10m/s)

$$Pot = F \cdot v$$

$$50000w = F \cdot 10m/s$$

$$F = 5000N$$

Isto quer dizer que a força que o motor exerce para movimentar o veículo equivale a uma força de 500Kg realizada pelo homem.



b) Em 5ª marcha (144Km/h=40m/s)

$$Pot = F \cdot v$$

$$50000w = F \cdot 40m/s$$

$$F = 1250N$$

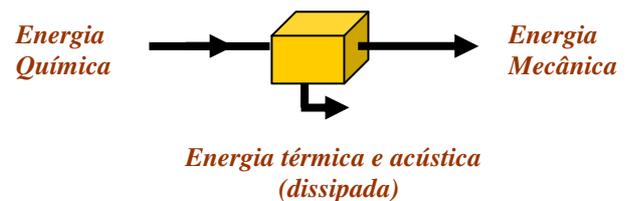
Isto quer dizer que a força que o motor exerce para movimentar o veículo equivale a uma força de 125Kg realizada pelo homem.



RENDIMENTO:

Quando um veículo com motor a gasolina está em movimento, o motor transforma energia química do combustível em energia térmica dentro do motor durante a explosão empurram o pistão que gira as rodas.

Motor



Neste caso a energia total é energia química, a energia efetivamente útil e a energia mecânica (trabalho) e o ruído (energia sonora) e aquecimento (energia térmica) são perdas, ou seja, energia dissipada.

Na prática, nenhum sistema (motor de carro, ventilador, aparelho de som, etc.), aproveita 100% da energia total disponível, no mínimo aquecimento (energia térmica) é dissipada.

Define-se rendimento como sendo o percentual de energia aproveitada (útil) em relação a disponível, ou seja:

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total}}}$$

eq. 43

O rendimento também pode ser apresentado em percentuais, assim:

$$\eta_{\%} = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total}}} \cdot 100$$

eq. 44

4.3 ENERGIA CINÉTICA E POTENCIAL

Com já vimos energia é a capacidade de realizar movimento. Quando esta energia está "armazenada" é dita potencial, como as gorduras numa pessoa, energia contida na pilha ou um objeto no alto de um prédio entre outras.

a) Energia Potencial Gravitacional (E_p ou U)

Neste último caso, um objeto de massa m está a uma altura h num campo gravitacional, logo pode cair (entrar em

movimento). Com efeito, tem energia para realizar o movimento (trabalho), esta energia é dita potencial gravitacional e é numericamente igual ao trabalho da força peso.

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad \text{eq. 45}$$

b) Energia potencial elástica (Ep ou U)

Quando uma mola está distendida e é liberada, restitui-se entrando em movimento, logo realiza trabalho. Portanto tem energia armazenada. Esta energia é chamada energia potencial elástica dado por:

$$E_p = \frac{kx^2}{2} \quad \text{eq.46}$$

c) Energia Cinética (Ec ou K)

Quando um corpo está em movimento com velocidade v apresenta energia que está sendo transformada em movimento. A energia neste caso é chamada de energia cinética.

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad \text{eq. 47}$$

d) Teorema da Energia Cinética

“O trabalho realizado pela força resultante que atua sobre um corpo é igual a variação da energia cinética deste corpo.

Matematicamente:

$$W = \Delta E_c \quad \text{eq.48}$$

4.4. CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Aplicações:

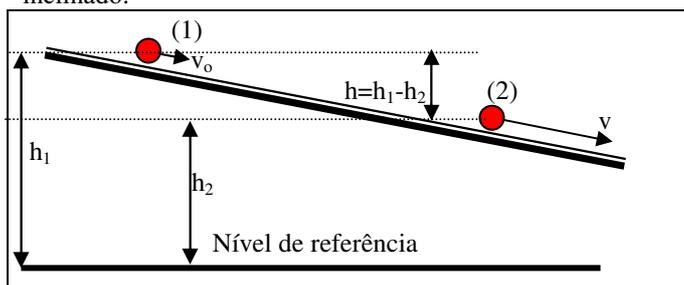
A transformação da energia química do combustível em mecânica (movimento), térmica e acústica no motor.

A transformação da energia potencial gravitacional da água represada em uma barragem em energia cinética durante a queda e posteriormente em elétrica em uma usina hidroelétrica.

Para nosso estudo, no momento consideramos a conservação da energia mecânica, ou seja, as transformações exclusivamente de energia cinética em potencial e vice-versa (sistemas conservativos).

Entretanto, considera-se também a possibilidade de sistemas dissipativos.

Assim, seja um objetivo que desliza em um plano inclinado:



Num **Sistema conservativo**, onde não existe qualquer forma de atrito, a energia mecânica total é conservada:

$$E_M = const.$$

$$E_{M_1} = E_{M_2}$$

$$E_p + E_c = E_{p_1} + E_{c_1}$$

$$mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}$$

$$gh_1 + \frac{v_1^2}{2} = gh_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 2g(h_1 - h_2)$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2g\Delta h$$

Equação de Torricelli

Observe que no sistema conservativo é possível calcular a velocidades ou altura de queda através da equação de Torricelli.

Sistema dissipativo

Seja um objeto que desce em um escorregador com atrito, ou seja, parte da energia potencial é transformada em outras formas de energia (perdas p) como calor (energia térmica) e energia acústica (som). Neste caso diz-se que a energia mecânica é dissipada.

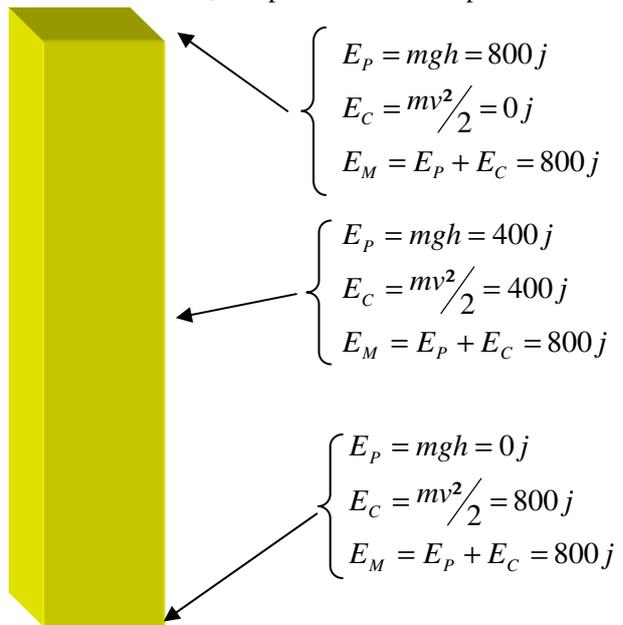
$$E_{Total} = const.$$

$$E_{M_1} = E_{M_2} + perdas$$

$$E_p + E_c = E_{p_1} + E_{c_2} + p$$

Exemplo:

Considerando um sistema conservativo, um objeto de 2Kg é abandonado do alto de um prédio de 40m. Observe no desenho as energias potenciais, cinéticas e mecânicas na base, no ápice e no meio do prédio.



4.5 QUANTIDADE DE MOVIMENTO (\vec{Q} ou \vec{P})

Imagine uma colisão no qual a deformação de um dos corpos é considerável... A colisão causará maior

deformação quando os corpos apresentarem grande velocidade e grande massa.

Estudando o caso anterior verifica-se que o poder de destruição em uma colisão de um corpo com outro depende de duas variáveis: velocidade e massa. Contudo para estudar as colisões é necessário introduzirmos uma nova grandeza capaz de medir o movimento e seus efeitos. Esta grandeza é chamada Quantidade de Movimento (\vec{Q}) ou Momento Linear (\vec{p}) definida pelo produto entre a velocidade de um corpo e sua massa.

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v} \quad \text{eq. 49}$$

Observe que o momento linear é uma grandeza vetorial. Portanto possui intensidade mv , direção e sentido do vetor velocidade.

Unidade: Kgm/s.

4.6. IMPULSO (\vec{I})

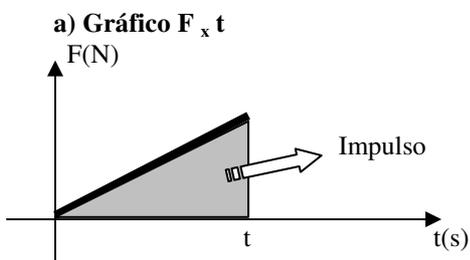
De forma simples, Impulso pode ser considerado como a grandeza física que mede o “empurrão”.

O impulso \vec{I} é definido pelo produto da força que age sobre um corpo (que está sendo empurrado) pelo intervalo de tempo de ação desta força.

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t \quad \text{eq. 51}$$

Normalmente este intervalo de tempo é curto, na ordem de décimos ou centésimos de segundo ou até menos.

Unidade: Ns



A área deste gráfico é numericamente igual ao impulso.

b) Teorema do Impulso:

Considere um corpo de massa m sob ação de uma forma resultante F .

“O impulso de uma força devido a sua atuação de um intervalo de tempo é igual a variação da quantidade de movimento desse corpo ocorrida neste intervalo de tempo.”

Matematicamente:

$$\vec{I} = \Delta \vec{Q} \quad \text{eq. 52}$$

Então a segunda lei de Newton pode ser escrita por:

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

ou

$$\vec{F} = \frac{\vec{I}}{\Delta t}$$

4.7. PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO:

Aplicada comumente a explosões, disparos e choques onde as forças internas são mais intensas que as externas, o princípio da conservação da quantidade de movimento é a combinação da idéia do momento linear com a terceira lei de Newton.

Diz que:

“Quando nenhuma força externa resultante age num sistema, a quantidade de movimento do sistema permanece constante.”

Matematicamente:

$$\vec{Q} = \text{Const.} \quad \text{eq. 53}$$

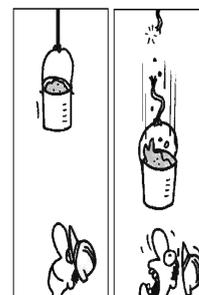
Ou

$$\vec{Q}_1 = \vec{Q}_2$$

4.8. COLISÕES:

Uma colisão (ou choque mecânico) apresenta duas fases. A primeira é chamada fase de deformação, corresponde ao momento em que os corpos entram em contato e passam a se deformar mutuamente. Nesta fase a perda de energia cinética, transformada principalmente em térmica, acústica e potencial elástica.

Na segunda fase, chamada fase de restituição, correspondente aos fenômenos que acontecem posteriores a fase de deformação.



a) Coeficiente de restituição:

Define-se o coeficiente de restituição como a relação entre as velocidades relativas de afastamento e de aproximação.

$$e = \frac{v_{R_{afast}}}{v_{R_{aprox}}} \quad \text{eq. 54}$$

O coeficiente de restituição é:

- adimensional
- $0 \leq e \leq 1$

b) Tipos de colisões:

As colisões podem ser classificadas em:

(i) Perfeitamente elástica:

$$e = 1$$

$$E_{C_1} = E_{C_2}$$

$$\vec{Q}_1 = \vec{Q}_2$$

(ii) Parcialmente elástico ou inelástico:

$$0 < e < 1$$

$$E_{C_1} > E_{C_2}$$

$$\vec{Q}_1 = \vec{Q}_2$$

(iii) Perfeitamente inelástico:

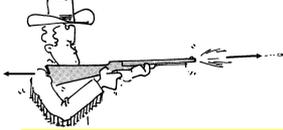
$$e = 0$$

$$E_{C_1} > E_{C_2}$$

$$\vec{Q}_1 = \vec{Q}_2$$

Importante

No caso de disparos, empurrões etc.



$$\vec{Q}_{\text{rifle}} = \vec{Q}_{\text{projétil}}$$

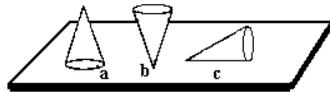


$$\vec{Q}_1 = \vec{Q}_2$$

5. ESTÁTICA:

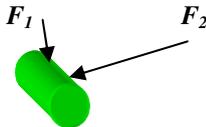
Estática estuda os corpos em equilíbrio, ou melhor, as condições e os procedimentos de cálculo para o equilíbrio dos corpos.

Os três corpos uma vez parados em relação ao plano, estão em equilíbrio estático. Entretanto o corpo (a) está em equilíbrio estável; o corpo (b) está em equilíbrio instável e o corpo (c) está em equilíbrio indiferente.



5.1. SISTEMA DE FORÇAS

Dado um sistema de n forças atuando em um corpo.



A resultante das forças que atuam no sistema pode ser determinada por:

a) Método gráfico:

- Poligonal
- Paralelogramo

b) Método analítico:

- Lei dos co-senos: Quando existem apenas duas forças e se conhece o ângulo entre elas:

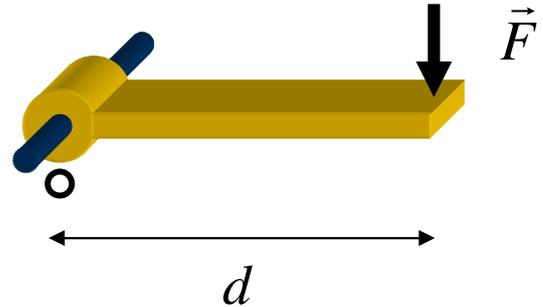
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\theta}$$

- Decomposição: Decompõem-se as forças em eixos cartesianos (x e y)

5.2. MOMENTO DE UMA FORÇA

Momento de uma força ou Torque de uma força é a grandeza que mede a rotação causada por uma ou mais forças. De forma simplificada é a medida do giro de um corpo.

Define-se momento de uma força em relação a um ponto O (M_0) o produto da força F aplicada pela distância d do ponto de aplicação da força ao ponto O onde pressupõem-se o giro.



$$M_0 = F \cdot d$$

eq. 54

Importante: (*)

A distância d é sempre perpendicular a Força. Caso não seja, é necessário decompô-la.

A figura a seguir mostra a influência da distância d correspondente ao ponto de aplicação da força em relação ao ponto fixo, neste caso representado pelas dobradiças da porta. Verifique que quanto maior a distância, "maior a facilidade do giro" (torque).



5.3. CONDIÇÃO DE EQUILÍBRIO:

Existem dois tipos de equilíbrio.

• **Equilíbrio estático:** quando o corpo está em repouso ($v=0$ e $a=0$).

• **Equilíbrio dinâmico:** quando o corpo está em MRU ($v=\text{constante}$ e $a=0$).

Em qualquer caso para que um corpo esteja em equilíbrio é necessário que o corpo esteja em equilíbrio em relação a translação e a rotação:

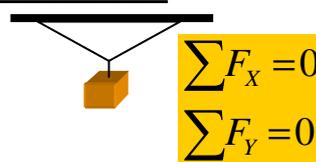
Assim as condições de equilíbrio são:

$$\begin{cases} \vec{M}_{R_0} = 0 \\ \vec{F}_R = 0 \end{cases} \quad \text{Ou seja}$$

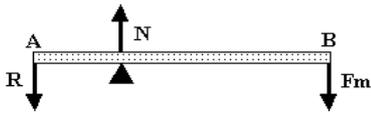
Momento resultante seja nulo.

Força resultante seja nula.

Ponto material



Corpo extenso rígido



$$\sum F_x = 0$$
$$\sum F_y = 0$$
$$\sum M_0 = 0$$

5.4. CENTRO DE GRAVIDADE:

Os corpos materiais podem ser considerados como formado por infinitas partículas, cada uma com uma massa m tal que a soma dos n massas correspondem a massa M do corpo ($M=n.m$)

O peso do corpo pode ser representado num determinado local que represente todos os pesos elementares sem mudar as condições do corpo. Este ponto de aplicação é chamado CENTRO DE GRAVIDADE.

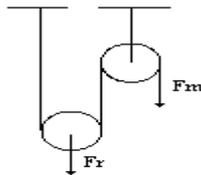
“Centro de gravidade de um corpo é o ponto de aplicação da força peso.”

5.5. MÁQUINA SIMPLES

a) Talha exponencial:

É um conjunto de polias interligadas por cordas cuja finalidade é diminuir o esforço.

Observe que a roldana móvel proporciona redução da força de tração nas cordas de sustentação.



$$F_m = \frac{F_r}{2^n}$$

eq. 55

Vantagem mecânica:

É a relação entre a força resistente (F_r) e a força motriz (F_m).

$$VM = \frac{F_r}{F_m}$$

eq.

56

b) Alavancas:

Consiste em barra rígida que pode girar em relação a um ponto fixo:

(i) Alavanca interfixa:

O ponto fixo fica entre a força motriz e a força resistente. Exemplo: tesoura, alicate, etc.

(ii) Alavanca inter-resistente:

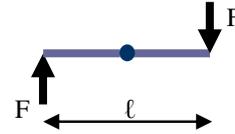
A força resistente fica entre a força motriz e o ponto fixo. Exemplo: Carrinho de mão, quebra nozes, etc.

(iii) Alavancas inter-potentes:

A força motriz fica entre a força resistente e o ponto fixo. Exemplo: A vassoura ao varrer, pegador de macarrão, etc.

OBSERVAÇÃO:

Um tipo de alavanca especial é a o BINÁRIO. Exemplos: torneira, chave de fenda, etc.



Calculando o momento da força F que atua igualmente nos extremos da barra que gira sobre seu eixo central:

$$M = F \cdot \frac{\ell}{2} + F \cdot \frac{\ell}{2}$$

$$M = 2 \cdot F \cdot \frac{\ell}{2}$$

Em um binário é válida a relação:

$$M = F \cdot \ell$$

eq.57

Amigo estudante

Desejo que este material tenha lhe ajudado na aprendizagem das ciências naturais. No entanto é razoável considerar que os conhecimentos de Física não são os principais atributos de um homem. Mas os valores por este formado sim constituem a essência da existência humana. Tal reflexão remete a experiência vivida por Oppenheimer que presenciou, estarecido, as conseqüências de seus estudos e pesquisas explodindo em Hiroshima e Nagasaki. Após quase enlouquecer, estudou profundamente as ciências sociais e foi o autor de uma frase fantástica: "O pior perigo da humanidade é o cientista alienado".

Desejo que teus esforços tenham retorno rápido, que teus estudos sejam enriquecidos por uma formação humanista alicerçados em um compromisso de justiça, solidariedade, paz e bons relacionamentos.

Que Deus lhe acompanhe sempre.

Giovani Soares

Envie suas sugestões para taoluz@bol.com.br ou fale diretamente com o professor. (Contato: 3226-4275)