Capítulo 3 – A Mecânica Clássica

A Mecânica Clássica é formalmente descrita pelo físico, matemático e filósofo Isaac Newton no século XVII. Segundo ele, todos os eventos no universo são resultados de forças. Assim, enquanto a cinemática estuda o movimento sem conhecer suas causas, a mecânica analisa e dá esta causa: a força.

São inúmeras as definições existentes de forças. Utilizaremos a mais didática para corresponder com os nossos objetivos. É importante lembrar que este tópico é bastante cobrado nas provas de vestibular e dominar a teoria é imprescindível.

A Força

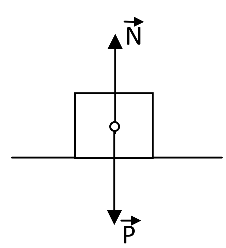
Definiremos força como **a interação entre dois corpos**. A partir da definição, notamos que, para haver força é necessário que existam, pelo menos, dois corpos interagindo. E, também, a palavra interação (ação entre) nos mostra que um corpo age sobre o outro, e, ao mesmo tempo, este corpo age sobre o primeiro.

A força é uma grandeza vetorial, e, em homenagem ao físico Isaac Newton, sua unidade é o Newton (N).

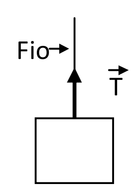
Unidade: [N]

Alguns exemplos de forças:

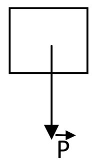
a) Força Normal: é a força de reação a um apoio



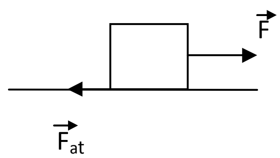
b) Tração: Uma corda ou um fio nunca “empurram” um objeto, mas podem “puxá-lo”. A esta força que ela faz para puxar chamamos Tração.



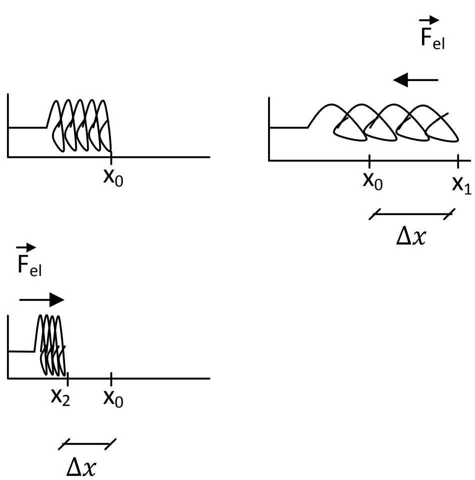
c) Peso: É a força com a qual o planeta puxa os corpos em direção ao seu centro.



d) Força de Atrito: É a força que um corpo exerce sobre o outro para se opor ao deslizamento entre eles.



e) Força Elástica: É a força de uma mola ou elástico. A mola ou elástico possui sua posição de equilíbrio, e, caso este equilíbrio seja perturbado, ela irá reagir como uma força contrária que tentará restabelecer o equilíbrio.



A Força Elástica está sempre tentando recolocar a mola em equilíbrio (Lei da Inércia), e esta força é dada por:

$$\boxed{F_{el} = k.\Delta x}$$

Sendo k a constante de elasticidade da mola, ou seja, cada tipo e material de mola terão um diferente.

As Leis de Newton

Isaac Newton agrupou as propriedades das forças na natureza em três Leis. Elas relacionam as conseqüências das forças no movimento dos corpos.

1ª Lei de Newton: Se a soma das forças que atuam sobre um corpo é nula, então este corpo está em equilíbrio (ou seja, em repouso, ou em MRU).

Desta Maneira, para saber se um corpo está em equilíbrio, basta ver se o somatório das forças que atuam sobre ele é nula. Matematicamente, escrevemos que, <u>no equilíbrio</u>:

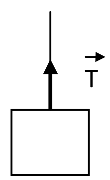
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

Sendo $\sum$ = Somatório

<u>**Exemplo 3.1:**</u>

Um corpo com um peso de 100 N está preso por uma corda. Sabendo-se que este corpo está em equilíbrio. Para calcular a força de tração na corda, basta utilizar as equações do equilíbrio.



$$\sum F_x = 0$$

Como não há forças atuando na direção x, esta condição já foi atendida.

$$\sum F_y = 0$$

Há duas forças atuando na direção y, o peso do corpo e a tração na corda. Logo, a soma das duas deve ser nula. Então:

$\vec{P} + \vec{T} = 0$

P – T = 0

(invertemos o sinal de T pois, na equação acima, estávamos tratando da soma de vetores e agora estamos tratando da soma dos módulos. Como os sentidos de P e T são inversos, eles devem ter sinais contrários. Neste caso, convencionei que T seria negativo.)

T = P

$\boxed{T = 100\ N}$

Exemplo 3.2:

Um bloco de peso 50 N desliza sobre uma superfície com uma velocidade constante de 8 m/s. Para calcular a força normal, que é a reação da superfície ao apoio do bloco, utilizaremos os mesmos procedimentos do exemplo 3.1.

Como o corpo está com velocidade constante, está em equilíbrio. Sua velocidade não vai interferir na Normal. Então:

$\vec{P} + \vec{N} = 0$

P – N = 0

N = P

$\boxed{N = 50\ N}$

Lei da Inércia

Chamamos de inércia a tendência que todos os corpos possuem de permanecer no equilíbrio. Se um corpo está em repouso, sua tendência é permanecer em repouso, ou seja, em equilíbrio. Para um corpo em velocidade constante, sua tendência também é permanecer em velocidade constante.

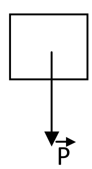
Com isso, vemos que, ao menos que forças externas interfiram, os corpos permanecerão em equilíbrio porque tendem para esse fim. Um exemplo prático. Quando você está em pé dentro de um ônibus, e este ônibus está a uma determinada velocidade, seu corpo também estará a esta velocidade. Quando o ônibus freia, a sua tendência é de permanecer com aquela velocidade, então você e os outros passageiros são “jogados” para frente. Ou seja, nosso movimento é resultado da inércia.

2ª Lei de Newton: Se a soma das forças que atuam sobre um corpo **não** é nula, então este corpo está em movimento acelerado e a força resultante é dada por:

$$\boxed{\vec{F_r} = m.\vec{a}}$$

Lembrando das propriedades dos vetores, como a massa é sempre positiva, a direção e o sentido da aceleração serão os mesmos da Força Resultante.

Força Peso: Vamos imaginar um corpo solto a uma determinada altura do solo. A única força que atua sobre ele, desprezando a resistência do ar, é o seu peso.



Logo, a soma das forças que atuam sobre ele não é nula, o que, segundo a 2ª Lei de Newton, indica que seu movimento é acelerado, o que já sabemos. Também a partir dessa lei, sabemos que a força resultante, que neste caso é o peso, é dada por:

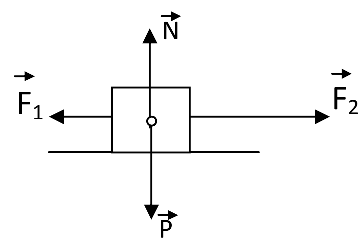
$\vec{F_r} = m.\vec{a}$ ou $\vec{P} = m.\vec{a}$

Como a aceleração em uma queda é a aceleração da gravidade g, chegamos que o peso é dado por:

$$\boxed{\vec{P} = m.\vec{g}}$$

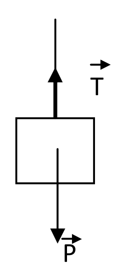
Lembrando que o peso é uma força e, por isso, é medida em Newtons. O que medimos em uma balança convencional é a nossa MASSA, medida em kg.

Exemplo 3.3:



No diagrama acima, o peso e a normal são iguais, portanto dizemos que eles se anulam. Já $F_2 > F_1$, então a soma vetorial não é nula. Assim, podemos dizer que este corpo está em MRUV (sua trajetória é retilínea).

Exercício Resolvido: Um corpo com massa 20 kg está preso por um fio, que realiza sobre ele uma tração de 300 N. Determine se este corpo está subindo e, se estiver, qual sua aceleração. (Use g=10m/s²)



$P = m.g$
$P = (20).(10)$
$P = 200\ N$

Como T>P, o corpo está subindo

Pela 2ª Lei:

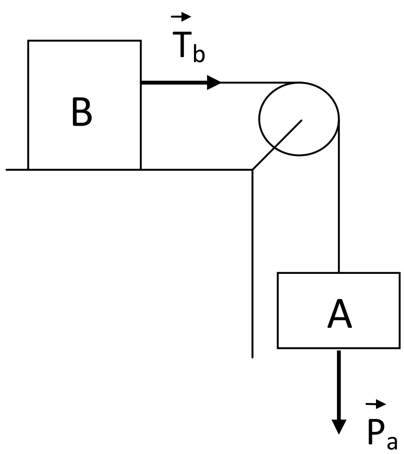
$F_r = m.a$
$T - P = m.a$

$300 - 200 = 20.a$
$100 = 20a$

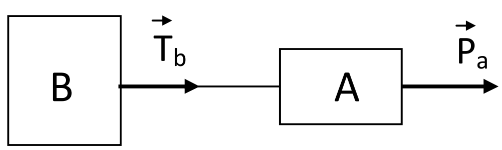
$\boxed{a = 5 \text{ m/s}^2}$

Sistema de Polias Fixas

Uma polia é uma roldana por onde um fio pode deslizar, com ou sem atrito. Veja a figura abaixo:



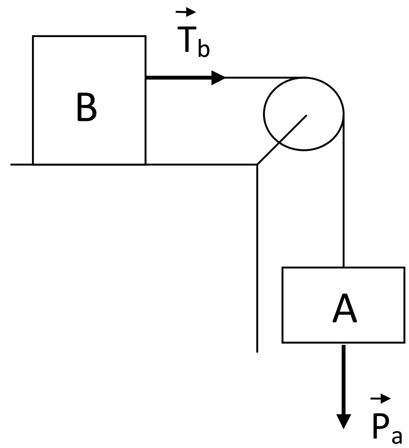
Supondo esta polia ideal, ou seja, sem atrito, o diagrama acima equivale ao seguinte:



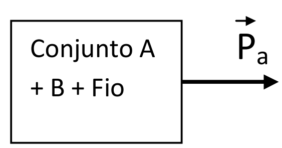
Esta segunda configuração, equivalente à primeira, torna a realização do problema mais fácil.

<u>**Exercício Resolvido:**</u> Um bloco A, de massa 2 kg, está preso ao bloco B, de massa 3 kg por um fio preso em uma polia fixa. Calcule (use $g=10m/s^2$):

a) A aceleração do conjunto
b) A tração com que a corda puxa o bloco B



a) Como o problema pediu a aceleração do conjunto, podemos considerar os dois blocos mais o fio (que está sendo considerado sem massa), como um único bloco:

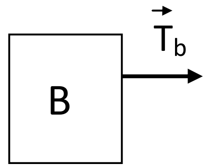


A força resultante que atua sobre o conjunto é o peso de A, logo, pela 2ª Lei de Newton.

$F_r = m.a$
$P_a = m.a$
$(m_a.g) = (m_a+m_b).a$
$(2).(10) = (2+3).a$
$20 = 5a$

$\boxed{a = 4 \text{ m/s}^2}$

b)



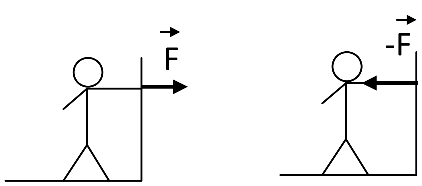
Isolando-se o corpo B, vemos que a força resultante que atua sobre ele é a tração na corda. Então, pela 2ª Lei:

$T_b = m_b.a$
$T_b = (3).(4)$

$\boxed{T_b = 12 \text{ N}}$

3ª Lei de Newton: Quando um corpo A exerce uma força sobre o corpo B, o corpo B exerce sobre o corpo A uma força de mesma direção, módulo e sentido inverso. Por isso, esta lei também é chamada Lei da Ação e Reação.

Para ilustrar tal lei, vamos imaginar que um garoto está empurrando a parede com uma força F. Pela 3ª Lei de Newton, a parede deve estar exercendo sobre o garoto uma força –F, como na figura abaixo:



Definimos a Força como uma interação entre dois corpos, e enaltecemos que a palavra interação é a “ação entre”. Assim, a lei da ação e reação pode ser vista como uma conseqüência do conceito de força, pois, segundo ela, a toda ação corresponde uma reação (interação).

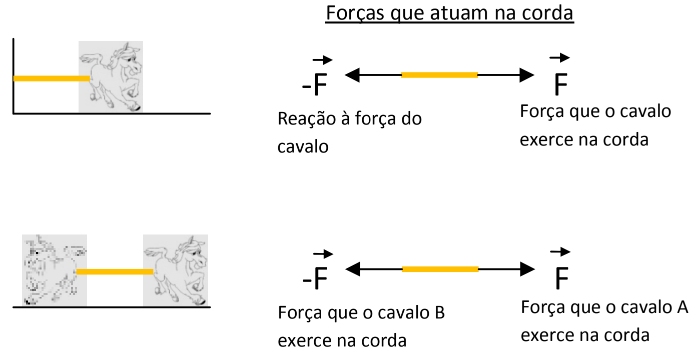
Diversas vezes os alunos fazem a seguinte pergunta: “se temos duas forças de mesmo módulo, direção, porém sentidos inversos, por que elas não se anulam e os corpos ficam parados?

Para facilitar a resposta, vamos olhar os dois exemplos abaixo:

No caso (a) realmente o corpo não se movimentaria, porque as duas forças opostas estão sendo exercidas **sobre o mesmo corpo**. No caso (b), que corresponde à 3ª Lei, as forças opostas **são exercidas em corpos distintos**, portanto não se anulam.

<u>Exemplo 3.4:</u> Imagine que um cavalo está preso em uma parede por uma corda, e está puxando-a até sua tensão máxima, ou seja, na iminência de romper. Se amarrarmos o mesmo cavalo e a mesma corda a outro cavalo igual ao primeiro, fazendo a mesma força, porém no sentido contrário, podemos afirmar que esta corda vai romper?

<u>Forças que atuam na corda</u>



Portanto, podemos ver que nos dois casos as forças que atuam na corda são as mesmas. Assim, como no primeiro caso a corda não rompe, na segunda também não romperá.

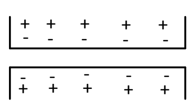
Casos Especiais de Forças

Força de Atrito ($\vec{F}_{at}$)

O atrito, que impede o deslizamento entre dois corpos, tem dois motivos principais: a rugosidade das superfícies e as interações de Coulomb.

Superfície Perfeitamente Lisa (não existe)   Superfície Rugosa

Por mais que uma superfície, a olho nu, aparente ser lisa, ao vermos com um microscópio, percebemos seus desníveis. Outra razão que não vale a pena despendermos muito tempo é a interação elétrica entre os átomos.



A força de atrito pode ser dividida em duas distintas. Na realidade, o atrito oferecido para um corpo em repouso é diferente do oferecido a um corpo em movimento. A força de atrito é maior quando um corpo está parado, como acontece para empurrar um carro, por exemplo. Para colocá-lo em movimento, deve-se fazer muita força, e, uma vez em movimento, torna-se mais fácil empurrá-lo.

Assim, dividimos a F_{at} em estática e dinâmica.

Força de Atrito Estático

É o atrito que opõe a colocação de um corpo em movimento. Cada tipo de material e superfície vai oferecer um determinado atrito, por isso, definimos que cada superfície possui o seu **coeficiente de atrito estático (μ_e).**

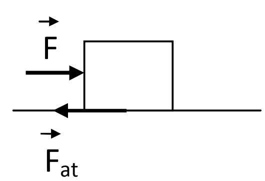
Este coeficiente ficará sempre entre 0 e 1. Logo:

$$0 < \mu_e < 1$$

e,

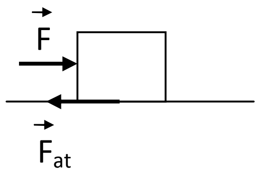
$$\boxed{\vec{F}_{at_{máx}} = \mu_e . \vec{N}}$$

Pode-se notar que o atrito depende de duas variáveis: a normal (que normalmente é igual ao peso) e o atrito da superfície. A primeira justifica porque para nós é mais difícil arrastar objetos mais pesados, pois agora sabemos que o atrito a ser vencido é maior. A segunda justifica porque a borracha é mais aderente do que outros materiais: seu coeficiente de atrito é maior.



Chamamos a F_{at}, na fórmula, de máxima, pois ela é variável. Vamos usar um exemplo para tentar ilustrar.

Suponha que para colocar uma caixa que está no chão em movimento seja necessário aplicar uma força mínima de 20 N. Ou seja, se aplicarmos nela uma força de 10 N, ela não se moverá. Vamos analisar este último caso.



Sabemos que a força $\vec{F}$ que está sendo aplicada tem módulo 10 N. Como essa intensidade não é suficiente para vencer o atrito, a caixa continua em repouso. Se ela está em repouso, vamos utilizar as regras da 1ª Lei.

$$\sum F_y = 0$$

$$P - N = 0$$
$$P = N\ (ok)$$

A primeira condição foi satisfeita.

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_{at} = 0$$
$$F = F_{at}$$

$$\boldsymbol{F_{at} = 10\ N}$$

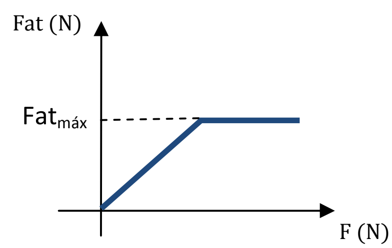
Assim, podemos ver que, se fizermos uma força menor do que a mínima necessária para mover um corpo, a força de atrito será igual a esta força. De forma mais clara, utilizando este exemplo:

- se fizermos uma força de 1 N para mover a caixa, a força de atrito contrária ao movimento será de 1 N, e a caixa permanecerá em repouso.

- se fizermos uma força de 5 N para mover a caixa, a força de atrito contrária ao movimento será de 5 N, e a caixa permanecerá em repouso.

- se fizermos uma força de 10 N para mover a caixa, a força de atrito contrária ao movimento será de 10 N, e a caixa permanecerá em repouso.

E assim até chegar a força de atrito máxima 20 N. É por esse motivo que na fórmula dada utilizamos $F_{at_{máx}}$, pois a força de atrito pode ser no mínimo 0 e no máximo $F_{at_{máx}}$, podendo assumir todos os valores entre esses dois extremos. Graficamente seria:



Força de Atrito Dinâmico

É o atrito que opõe a continuação do movimento de um corpo. Assim como no estático, cada superfície possui o seu **coeficiente de atrito dinâmico (μ_d).**

Este coeficiente também ficará sempre entre 0 e 1. Logo:

$$0 < \mu_d < 1$$

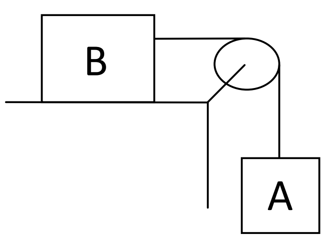
e,

$$\boxed{\vec{F}_{at} = \mu_d.\vec{N}}$$

A força de atrito dinâmica será sempre a mesma, independente da força aplicada ao corpo. Vale lembrar também que sempre $\mu_d < \mu_e$.

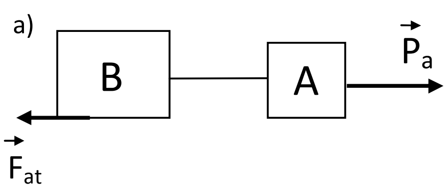
<u>Exercício Resolvido:</u> No desenho abaixo, o corpo B tem massa 8 kg. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e o chão vale 0,5, e o coeficiente de atrito dinâmico vale 0,4. Sabendo-se que nesta região a aceleração da gravidade vale 10 m/s², calcule:

a) A maior massa possível que o bloco A pode ter para que o conjunto permaneça em equilíbrio.
b) Supondo-se agora que o corpo A tenha 10 kg, a aceleração do conjunto.



Resposta:

a)



Para permanecer em equilíbrio:

$P_a = F_{at_{máx}}$

$m_a.g = \mu_e.N$
$m_a.(10) = (0,5).(m_b.g)$
$10m_a = 0,5.80$

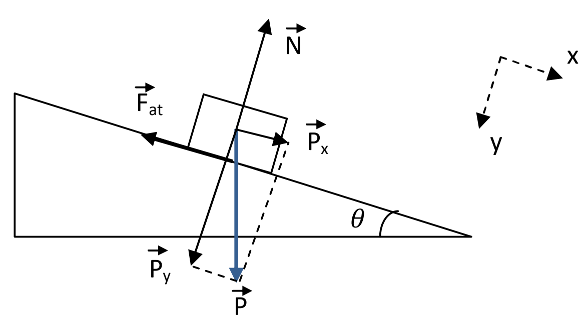
$$\boxed{m_a = 4\ kg}$$

b) Neste caso, como sabemos que o conjunto não está mais em equilíbrio, usaremos o atrito dinâmico.

$F_r = m.a$
$P_a - F_{at} = m_{conjunto}.a_{conjunto}$
$m_a.g - \mu_d.N = m_{conjunto}.a_{conjunto}$
$(10).(10) - (0,4).(10).(8)$
$= (10+8)a_{conjunto}$
$100 - 24 = 18.a_{conjunto}$
$a_{conjunto} = \dfrac{76}{18}$

$$\boxed{a_{conjunto} \cong 4,2\ m/s^2}$$

Observação Importante: Em planos inclinados, devemos adotar um sistema de coordenadas também inclinado, e decompor os vetores:



$P_x = P.\cos\theta$

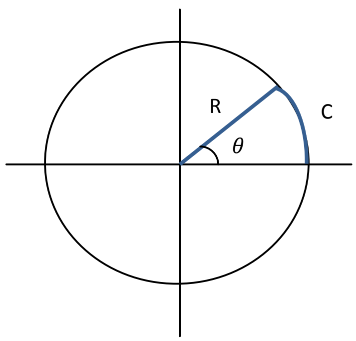
$P_y = P.\text{sen}\,\theta = N$

Força Centrípeta

Esta força está relacionada ao movimento circular. Por isso, vamos iniciar introduzindo os conceitos deste movimento.

O Radiano

A unidade mais comum para medir ângulos é o grau. No entanto, na Física, existe uma forma mais utilizada, pois se adéqua melhor à teoria: o radiano (rad). O ângulo em radianos é dado pela divisão entre o arco abraçado pelo ângulo e o raio da circunferência:



$$\boxed{\theta = \frac{C}{R}}$$

Com isso, podemos estabelecer algumas relações entre graus e radianos. Por exemplo, 360° é uma volta completa na circunferência, logo o arco vale 2πR. Assim:

$$\theta = \frac{2\pi R}{R}$$

$$\theta = 2\pi$$

Logo, 360° = 2π rad. Para facilitar, vamos dizer que 2π rad equivale à uma pizza inteira. Então, meia pizza (180°), equivale à metade disto, ou seja, π rad. Veja a tabela abaixo.

Graus	Radianos
0°	0 rad
90°	π/2 rad
180°	π rad
270°	3π/2 rad
360°	2π rad

Outras conversões importantes também são:

30°	π/6 rad
45°	π/4 rad
60°	π/3 rad

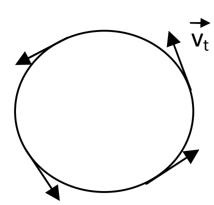
Para facilitar, vamos ver, por exemplo, 45°. Meia pizza (π rad) pode ser dividida em 4 fatias de 45°, portanto este valor em radianos vale π/4, que significa meia pizza dividida em 4 fatias.

Para fazer a conversão de outros valores mais complexos, pode-se usar a regra de 3.

360° ---------------------- 2π rad
x° ---------------------- Y rad

Velocidade Tangencial

É a mesma velocidade que estudamos em MRU e MRUV, porém o movimento não é mais retilíneo, e sim circular. Assim, a velocidade será sempre tangencial à circunferência.

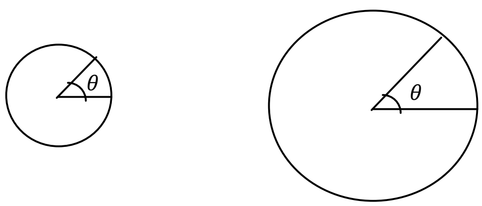


$$\boxed{v_t = \frac{\Delta C}{\Delta t}}$$

Sendo ΔC o arco percorrido pelo corpo.

Velocidade Angular (ω)

Assim como a velocidade é a rapidez com que um corpo percorre uma determinada distância, a velocidade angular de um corpo é a rapidez com que ele percorre um ângulo.



Nos desenhos acima, a variação do ângulo foi a mesma para as duas circunferências, embora a dos arcos não. Se essas trajetórias tiveram a mesma duração de tempo, então as velocidades angulares são iguais. Ela pode ser dada por:

$$\boxed{\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}}$$

Unidade: [rad/s]

Relação entre Velocidade Tangencial e Velocidade Angular

Vimos que o ângulo em radiano é dado por:

$$\theta = \frac{C}{R} \qquad logo \qquad C = \theta . R$$

Podemos analisar a variação dos dois lados da equação em relação ao tempo:

$$\frac{\Delta (C)}{\Delta t} = \frac{\Delta (\theta . R\ )}{\Delta t}$$

Como R é Constante, podemos retirá-lo do Delta.

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = R . \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$

Como $v_t = \frac{\Delta C}{\Delta t}$ e $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$, chegamos em:

$$\boxed{v_t = \omega . R}$$

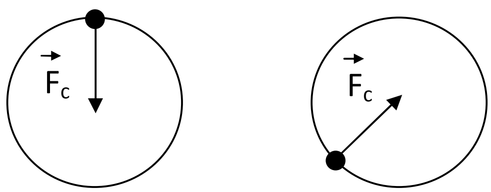
Movimento Circular Uniforme (MCU)

O MCU é o movimento em trajetória circular com velocidade tangencial constante. Através das equações acima descritas, podemos desenvolvê-las da mesma forma que fizemos no MRU, e obteremos as seguintes equações:

$$\begin{cases} C = C_o + v_T . t \\ \theta = \theta_o + \omega . t \end{cases}$$

Força Centrípeta ($\boldsymbol{F_c}$)

Para que um movimento tenha uma trajetória circular, obrigatoriamente deve atuar sobre ele uma força denominada centrípeta. Ela recebe este nome pois está sempre apontada para o centro.



No entanto, é importante observar que a **FORÇA CENTRÍPETA NÃO EXISTE**. Vamos explicar isso melhor. Na realidade, não existe uma força chamada centrípeta em direção ao centro da circunferência, o que ocorre é que alguma força (seja ela de atrito, elétrica, tensão) **faz o papel de força centrípeta**.

Alguns exemplos. Imagine um carro andando em uma pista em formato de um círculo. O que faz com que ele mantenha uma trajetória circular? A resposta é: a força de atrito entre a borracha do pneu e o asfalto da pista. Se não fosse o atrito, o carro deslizaria em linha reta. Assim, como esta força está sempre apontada para o centro do círculo, dizemos que ela faz o papel da força centrípeta.

No caso de uma bolinha presa na ponta de um barbante, se girarmos o barbante, a bolinha ficará girando em movimento circular. Ela só pode assumir esse movimento pois o barbante está puxando a bolinha em direção ao centro, ou seja, fazendo o papel de força centrípeta.

A fórmula da Aceleração Centrípeta é dada por:

$$\boxed{a_c = \frac{{v_t}^2}{R}}$$

Como ela é força resultante, podemos, pela 2ª Lei de Newton, encontrar a Força Centrípeta.

$F_r = m.a$

$$\boxed{F_c = m.\frac{{v_t}^2}{R}}$$

Movimento Circular Uniformemente Acelerado (MCUV)

É o movimento em trajetória circular onde a velocidade tangencial não é constante, e, mais do que isso, varia uniformemente. Ocorre da mesma forma que o MRUV. Assim, podemos dizer que a **aceleração tangencial** é dada por:

$$\boxed{a_t = \frac{\Delta v_t}{\Delta t}}$$

Assim como temos agora uma aceleração tangencial , teremos também uma **aceleração angular**, dada por:

$$\boxed{\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}}$$

A unidade da aceleração angular será rad/s², e as equações também serão muito parecidas com as do MRUV:

1. $v_t = v_{0_t} + a_t.t$
2. $C = C_0 + v_{0_t}.t + \frac{a_t}{2}t^2$
3. ${v_t}^2 = {v_{0_t}}^2 + 2\,a_t\,\Delta C$

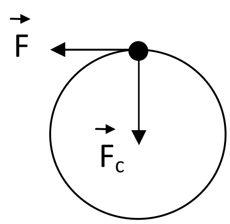
E em relação à variação do ângulo:

1. $\omega = \omega_0 + \alpha t$

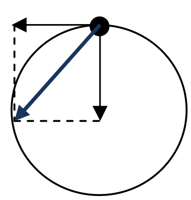
2. $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{\alpha}{2} t^2$

3. $\omega^2 = {\omega_0}^2 + 2\,\alpha\,\Delta\theta$

Observação importante: No MCUV, assim como no MCU, obrigatoriamente também temos uma força centrípeta. No entanto, o movimento tangencial também é acelerado, portanto, pela 2ª Lei de Newton, existe uma força atuando também na direção tangencial. Veja a figura abaixo:

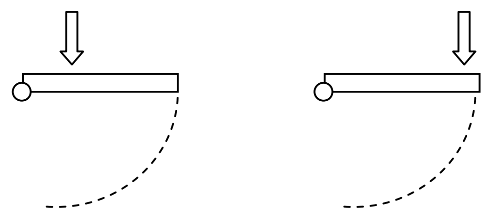


Logo a força resultante do movimento será dada por $\vec{F} + \vec{F}c$.



Momento ($\vec{M}$)

Imagine-se tentando abrir uma porta, fazendo a força necessária em dois pontos diferentes dela, como na figura abaixo:



Na figura (a), estamos aplicando a força para abrir a porta mais longe da maçaneta, enquanto na figura (b) estamos aplicando a força mais perto da maçaneta. No caso (a), a força necessária pra movimentar a porta é maior do que no caso (b). Mas por quê?

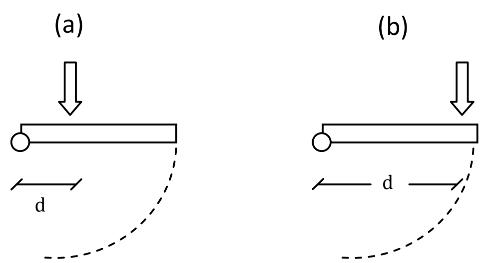
A resposta para essa pergunta é o Momento. O Momento (ou torque) é a conseqüência da força sobre um corpo rígido. Em outras palavras, assim como para colocar deslocar um corpo é necessário realizar uma força, para rotacionar um corpo é necessário um momento.

Assim, o Momento é resultado da força aplicada multiplicada pelo que chamamos de **braço de alavanca**.

$$\boxed{M = F.d}$$

Unidade do Momento: [N.m]

Para demonstrar melhor esta grandeza, vamos aproveitar o exemplo da porta.

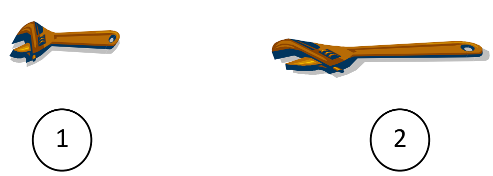


Chamamos de braço de alavanca a menor distância entre a **reta de direção da força** e o **ponto de rotação**. Está representado na figura pela letra d.

Como o Momento é a grandeza necessária para rotacionar um corpo, para abrir esta porta, é necessário um Momento determinado. No caso (a), o braço de alavanca é menor, portanto a força deve ser maior para se ter o mesmo Momento de (b).

Exemplo 3.5:

Observe as duas ferramentas abaixo e responda com qual das duas a força para afrouxar um parafuso será menor?

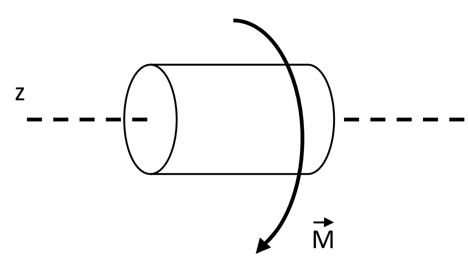


A resposta é a chave 2, porque é possível aplicar nela uma força mais distante do ponto de rotação, assim, pode-se obter um mesmo momento realizando uma força menor.

Observação Importante: Quando falamos sobre a 1ª Lei de Newton, chamamos a atenção para o equilíbrio e as suas condições. Com isso, dissemos que, para que um esteja em equilíbrio:

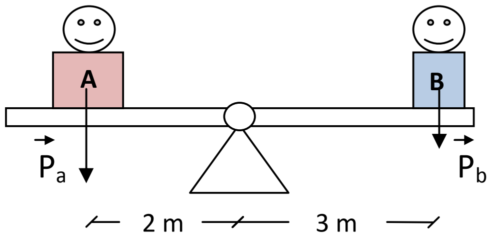
Mas, além disso, para que um corpo esteja em equilíbrio, ele não pode estar em rotação. Para isso, além das forças que atuam sobre ele serem nulas, é necessário que a soma dos Momentos também seja nula.

Usamos a letra z pois a direção do Momento neste caso é pra fora do papel. Isto ocorre porque a direção do momento é o eixo sobre o qual o corpo gira. Veja o exemplo abaixo:



Exercício Resolvido: Em um parquinho infantil, existe uma gangorra. Nela, dois meninos estão sentados de forma que ela esteja em equilíbrio. Sabendo que o menino A tem massa 30 kg e está a 2 m do centro da gangorra, e que o menino B dista

3 m do centro da gangorra, calcule a massa do menino B. Use g=10m/s².



Resposta:

No equilíbrio:

$\sum F_x = 0$ (V)

$\sum F_y = 0$ (V) => os pesos são iguais às reações normais.

$\sum M_z = 0$

$\vec{M}_a + \vec{M}_b = 0$

Como o momento de A está no sentido anti-horário e o momento de B está no sentido horário, seus módulos terão sinais inversos:

$M_a - M_b = 0$

$F_a . d_a - F_b . d_b = 0$

$P_a . d_a - P_b . d_b = 0$

$(30).(10).(2) - m_b .(10).(3) = 0$

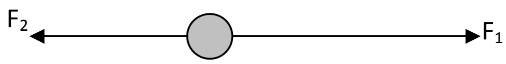
$600 - 30m_b = 0$

$30m_b = 600$

$\boxed{m_b = 20\ kg}$

EXERCÍCIOS CAPÍTULO 3

1) Consideremos uma partícula em movimento retilíneo sob a ação de apenas duas forças F_1 e F_2, como mostra a figura.



Sabendo que F_1 = 50N e F_2 = 30N, diga a direção e o sentido do movimento, e se ele é acelerado, retardado ou uniforme.

2) Um bloco de massa de 3,0kg move-se sobre uma superfície horizontal lisa com velocidade v_0 no instante t = 0. Aplica-se ao corpo uma força de 18N em sentido contrário ao do movimento. Esta força reduz v_0 à metade do seu valor enquanto o corpo percorre 9m Quanto vale a velocidade inicial v_0?

3) Duas forças F_1 e F_2, que atuam sobre uma mesma partícula inicialmente em repouso, fazem entre si um ângulo de 60º. Sabe-se que seus módulos são respectivamente 10N e 6,0N, e que a velocidade da partícula após ter percorrido 10m era de 10m/s. Calcule então a massa da partícula.

4) Um indivíduo de 60kg está dentro de um elevador em movimento, num local onde g = 10m/s^2. O indivíduo está sobre uma balança de molas graduada em newtons. Determine a intensidade da força que a balança indica quando o elevador:

a) se move com velocidade constante;

b) desce retardado com aceleração de 1,0m/s^2;

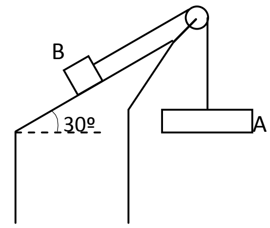
c) sobe retardado com aceleração de 1,0m/s^2.

5) Um corpo de massa 4,0kg é abandonado em um plano inclinado sem atritos. O plano inclinado tem 3,0m de altura e sua base ocupa 4,0m de largura no solo. Sendo g = 10m/s^2, determine:

a) a aceleração do corpo;

b) a intensidade da força de reação normal.

6) Constrói-se um arranjo experimental.como mostra a figura ao lado. O plano inclinado sem atritos forma com a horizontal um ângulo de 30º; o fio e a polia são ideais e g = 10m/s^2. Sendo as massas dos corpos A e B, respectivamente iguais a 2,0kg e 3,0kg, determine:



a) a aceleração dos corpos;

b) a tração no fio.

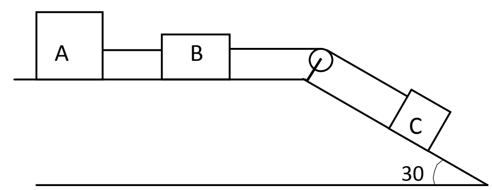
7) Um corpo de massa igual a 60kg encontra-se apoiado sobre um plano inclinado de 30º com a horizontal. Considere g = 10m/s^2 e despreze os atritos. Uma força paralela ao plano de sentido ascendente atua sobre o corpo. Qual o módulo necessário desta força para que:

a) o corpo suba o plano com aceleração de 0,8m/s^2;

b) o corpo se movimente com velocidade constante.

c) Quanto vale a reação normal do corpo?

8) Três corpos A, B e C estão dispostos conforme mostra a figura. A massa de A é de 4,0kg, a massa de B é de 0,60kg, a massa de C é de 0,40kg e g = 10m/s^2. Despreze todos os atritos.



a) Qual o módulo da aceleração do conjunto?

b) Quais as intensidades das forças que tracionam os fios e que ligam os corpos A e B, e, B e C?

c) Se o sistema for impedido de se mover por uma força aplicada em A, quais serão as novas intensidades das forças que tracionam os fios?

9) Uma partícula descreve um movimento circular uniformemente acelerado no sentido anti-horário. Represente graficamente a partícula, a trajetória, a velocidade vetorial, a resultante tangencial, a resultante centrípeta e a resultante de todas as forças.

10) Um móvel de massa m = 0,50 kg realiza um movimento circular de raio R = 1,0m, obedecendo à equação horária do espaço: s = 1,0 – 2,0t^2 (SI). Determine, no instante t = 1,0s, a intensidade da resultante:

a) centrípeta;

b) tangencial;

c) das forças atuantes sobre o móvel.

11) Uma partícula de massa m = 0,25 kg descreve trajetória circular de raio R = 0,50 m com velocidade escalar constante de 10 m/s. Calcule a intensidade da força resultante que age sobre a partícula.

12) Um ponto material de massa m = 0,20 kg descreve uma trajetória circular de raio R = 0,50 m, com velocidade angular constante ω = 8,0 rad/s. Determine a intensidade da força resultante que age sobre a partícula.

13) Um ponto material de massa m = 0,25 kg descreve uma trajetória circular de raio R = 0,50 m, com velocidade escalar constante e freqüência f = 4,0 Hz. Calcule a intensidade da resultante centrípeta que age sobre o ponto material. Adote $\pi^2 = 10$.

Nota: f = 1/T ; sendo T o período do movimento, ou seja, o tempo que o corpo leva para dar uma volta completa.

Gabarito

1) Direção horizontal. O sentido é indeterminado. Se o sentido for para a direita, o mov. é acelerado. Caso contrário, é retardado.
2) 12 m/s
3) 2,8 kg
4) a) 600N b) 660N
   c) 540N
5) a) $6{,}0 m/s^2$ b) 32N
6) a) $1{,}0 m/s^2$ b) 18N
7) a) 348N b) 300N
   c) $300\sqrt{3}$ N
8) a) $0{,}40 m/s^2$
   b) $T_{AB} = 1{,}6N$ e
   $T_{BC} = 1{,}84N$
   c) $T_{AB}' = T_{BC}' = 2{,}0N$

9) gráfico

10) a) 2,0 N; b) $2\sqrt{(17)}$ N; c) 8,0 N

11) 50 N

12) 6,4 N

13) 1.280 N