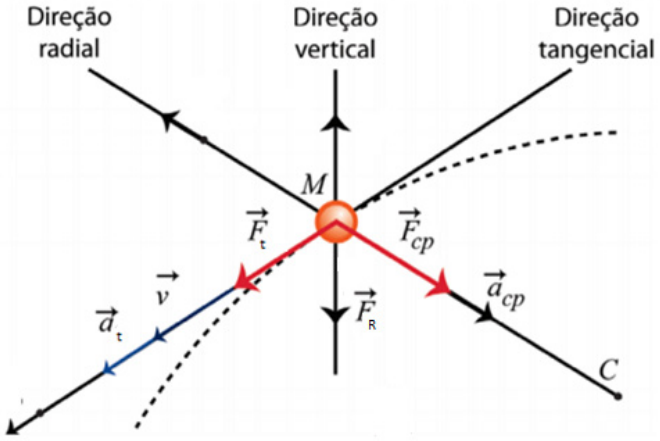
MOVIMENTO CIRCULAR E FORÇA CENTRÍPETA

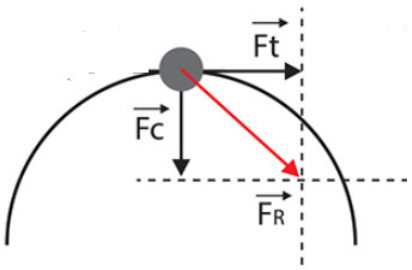
Neste módulo vamos estudar de uma forma mais profunda como a força resultante atua sobre uma partícula. Devemos lembrar que a força resultante é a soma vetorial de todas as forças que atuam na partícula.

A força resultante $\vec{F}_R$ pode ser decomposta em duas direções perpendiculares entre si: uma componente na direção tangencial e outra na direção radial à trajetória. Observe as imagens abaixo:

a)



b)



As componentes da força resultante $\vec{F}_t$ e $\vec{F}_{cp}$ chamamos de **componente tangencial** e **componente centrípeta** respectivamente. A componente centrípeta da força resultante é frequentemente chamada de **força centrípeta**.

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

$$F_R^{\,2} = F_t^2 + F_{cp}^2$$

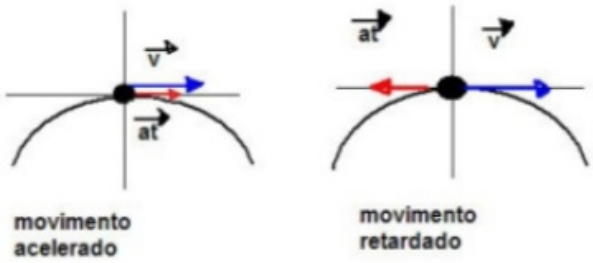
Componente Tangencial $\vec{F}_t$

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

A força tangencial sempre aponta na mesma direção e sentido que a aceleração tangencial, por isso, $\vec{F}_t$ sempre está na mesma direção que o vetor velocidade, visto que o vetor velocidade é sempre tangencial à trajetória e no sentido do movimento. Tenhamos atenção, pois, $\vec{F}_t$ pode estar no mesmo sentido ou no sentido contrário à velocidade.

Quando o movimento é acelerado, o **módulo da velocidade aumenta** com o tempo e $\vec{F}_t$ **tem mesma direção e sentido que o vetor velocidade.**

Quando o movimento é retardado, o **módulo da velocidade diminui** com o tempo e $\vec{F}_t$ **tem mesma direção e sentido contrário ao vetor velocidade**.

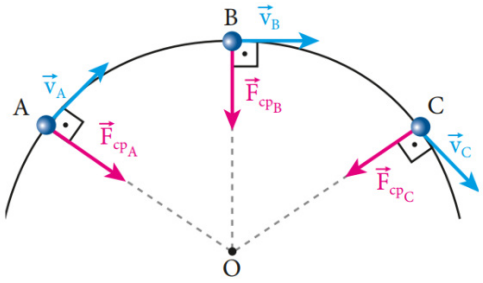


A **função da força tangencial é variar a intensidade da velocidade vetorial**, perceba que se a força tangencial for nula o módulo da velocidade permanece constante.

- Se $\left|\vec{F}_t\right| = 0$, então $\left|\vec{a}_t\right| = 0$ e o módulo da velocidade $|\vec{V}|$ será constante.

Componente Centrípeta $\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp}$

A força centrípeta tem, a cada instante, direção radial à trajetória e sentido para o centro de curvatura. Veja que $\vec{F}_{cp}$ é perpendicular (90°) ao vetor velocidade $\vec{V}$ em todos os pontos da trajetória, assim, **sua função é variar a direção do vetor velocidade $\vec{V}$**.



A aceleração centrípeta tem módulo dado por $\left|\vec{a}_{cp}\right| = \frac{V^2}{R}$, assim, aplicando o princípio fundamental da dinâmica, a intensidade do componente centrípeta da força resultante é dada por

$$\left|\vec{F}_{cp}\right| = m \cdot \left|\vec{a}_{cp}\right|$$

$$\left|\vec{F}_{cp}\right| = m . \frac{V^2}{R}$$

Sabendo que V = w.R podemos expressar a relação em função da velocidade angular w

$$\left|\vec{F}_{cp}\right| = m.w^2.R$$

APLICAÇÕES RECORRENTES

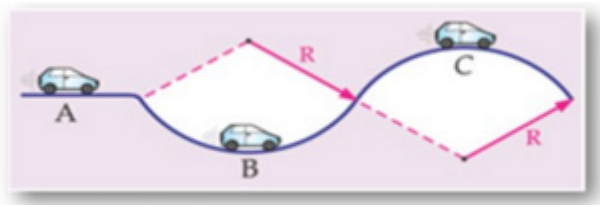
Depressão e Lombada

Vamos considerar um automóvel com módulo da velocidade constante.

Perceba que em cada caso montamos a equação inicial usando a seguinte ideia:

Força centrípeta é igual a soma das forças para dentro da curva menos a soma das forças para fora da curva.

$$F_{cp} = F_{dentro} - F_{fora} = m.\frac{V^2}{R}$$



Na depressão circular a força normal **N** aponta para dentro da curva e o peso **P** para fora, por isso:

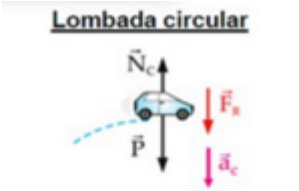


$$F_{Rc} = N_B - P = m \cdot a_C$$

$$N_B - mg = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$N_B = mg + m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Na lombada circular a força peso P aponta para dentro da curva e a normal N para fora, por isso:

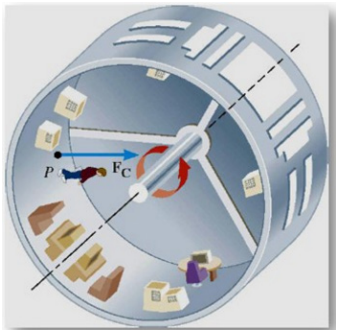


$$F_{Rc} = P - N_C = m \cdot a_C$$

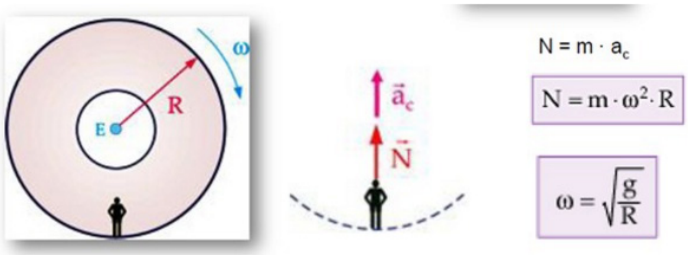
$$mg - N_C = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$N_C = mg - m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Gravidade Simulada



Quando colocamos água num copo e giramos rapidamente, percebemos que a água não derrama. A ideia aqui é bem parecida, ao colocarmos uma pessoa dentro de uma nave em um lugar sem força gravitacional, podemos girar a nave a uma velocidade angular tal que a força normal tenha mesmo módulo que a força gravitacional de um planeta de gravidade conhecida, quando isso acontece, simulamos a gravidade desse planeta. Abaixo mostramos a relação entre a velocidade angular ω, a gravidade **g** que se deseja simular e o raio da curva **R**.



Qual a velocidade máxima que podemos fazer uma curva plana sem derrapar?

Com nossos conhecimentos sobre atrito podemos responder. Sabemos que para um objeto deslizar sobre outro é preciso superar a força de atrito estático máxima, nesse caso, vemos na imagem abaixo que a força que aponta para o centro da trajetória é a força de atrito, como queremos descobrir a velocidade máxima, temos que considerar a iminência de deslize, ou seja, a força de atrito estático máximo

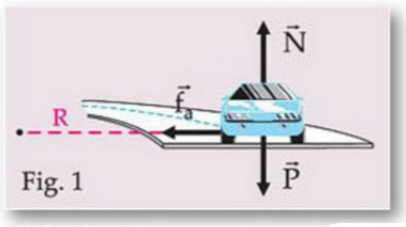


Fig. 1

$$F_{R_c} = f_{at\,máx} \Rightarrow m.\frac{v_{máx}^2}{R} = \mu_e.m.g \qquad \boxed{V_{máx} = \sqrt{\mu_e.g.R}}$$