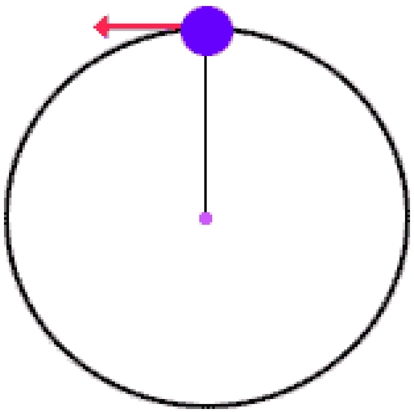
3ª Aula do cap. 06



ATRITO
E MOVIMENTO CIRCULAR.

Movimento circular e uniforme

Este movimento tem velocidade com módulo constante porem sua direção muda continuamente.

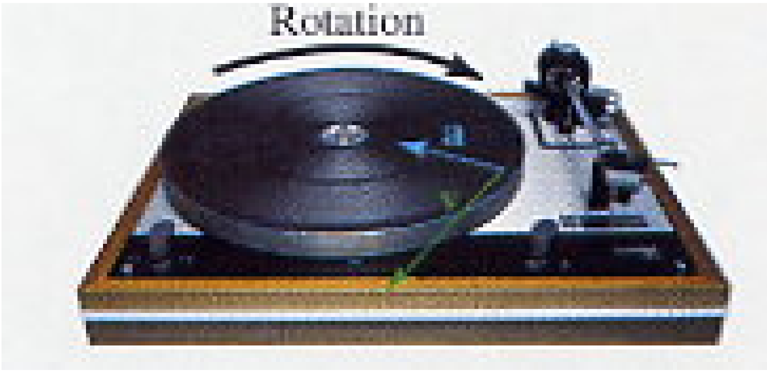
Exemplos:

•Movimento de satélites artificiais.

•Pontos em um disco de vitrola.

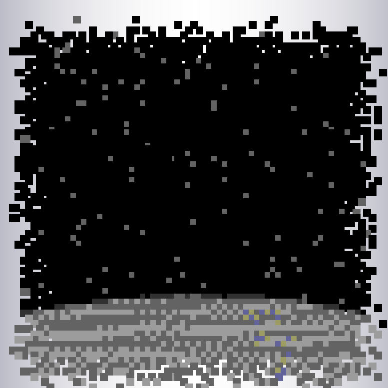
•Disco rígido de computador.

•Nós como partículas girando com o movimento da terra.



Referência:

•**Halliday**, David; Resnick, Robert & Walker, Jearl. Fundamentos de Física, Vol 1. Cap. 06 da 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.



A força que age e modifica a direção da velocidade de um corpo é chamada ***força central ou força centrípeta.***

Qualquer tipo de força pode funcionar como força centrípeta.

Exemplos:
A Lua gira em tomo da Terra devido à interação gravitacional entre os dois astros. A Lua tem órbita quase circular e a força que mantém a Lua nessa órbita é a força gravitacional aplicada pela Terra.

A Agência Espacial Européia (ESA) divulgou nesta terça-feira 15/4 imagens do lixo espacial em órbita em volta da Terra.

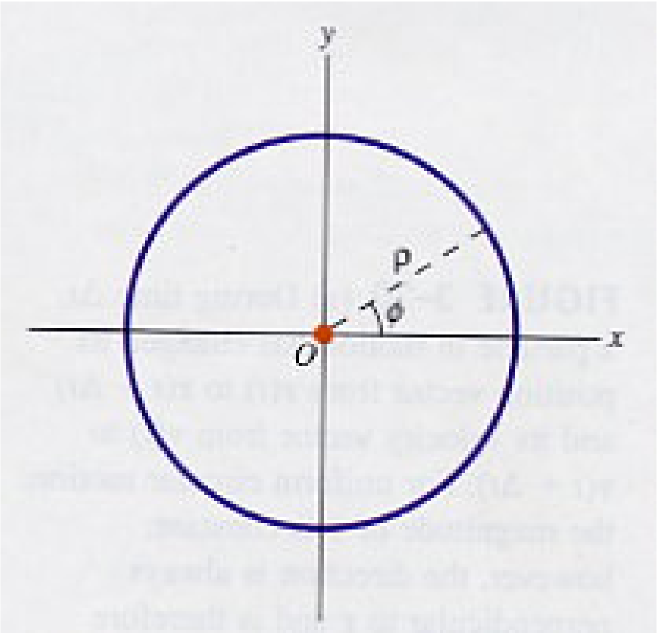
Segundo a agência, entre o primeiro lançamento, em 1957, e janeiro de 2008, cerca de 6 mil satélites já foram enviados para a órbita terrestre. Destes, apenas 800 estariam ativos e 45% estariam localizados a uma distância de até 32 mil Km da terra.

200 novos objetos são lançados todos os anos.

Os pesquisadores americanos Donald Kessler e Philip AnzMeador, afirmaram que, em vinte anos, já não será mais possível realizar operações em órbitas mais próximas da Terra.

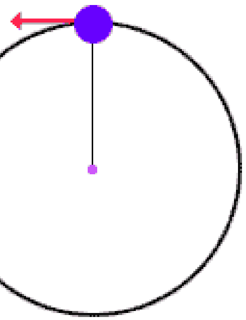
Movimento circular e uniforme

Usamos coordenadas polares **(ρ,ϕ)**



O arco fica, $\mathbf{s} = R\,\phi$

Como o raio é constante,
a única variável é ϕ.



Movimento circular e uniforme

Usamos coordenadas polares (ρ,ϕ)

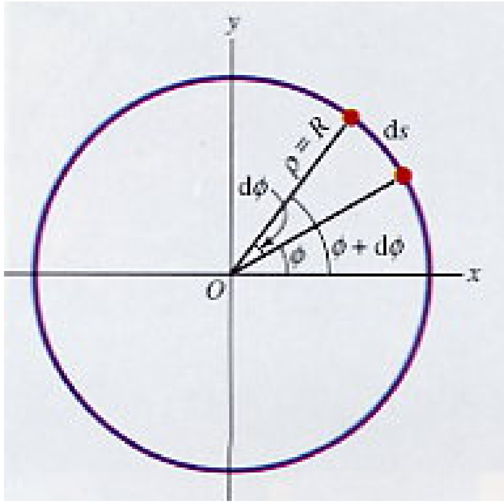
Daí, o arco fica, $s = R\,\phi$

Como o raio é constante,
a única variável é ϕ.

$$\mathbf{ds = Rd\phi}$$

que dividido pelo tempo dt dá:

$$\frac{ds}{dt} = v = R\frac{d\phi}{dt}$$



Definimos assim a velocidade angular

$$\omega = \frac{d\phi}{dt}$$ rd/s

Movimento circular e uniforme

Uma volta completa

$$2\pi R = vT$$

Período do movimento $T = \dfrac{2\pi R}{v} = \dfrac{2\pi}{\omega}$

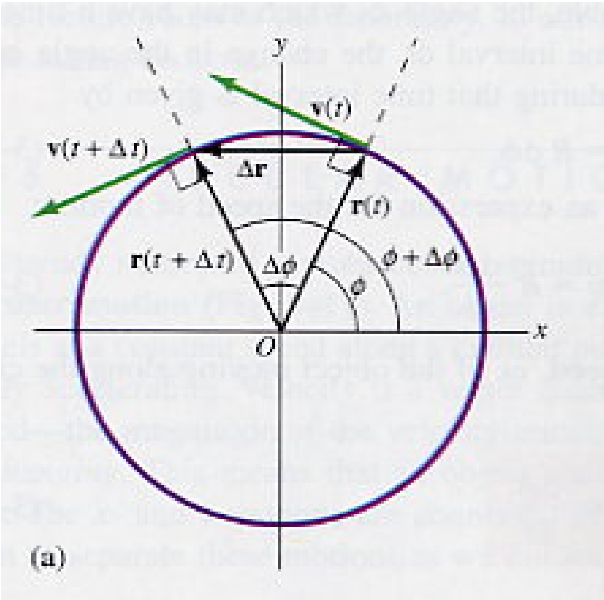
Frequência

$$f = \frac{1}{T}$$ hertz

Velocidade angular e frequência

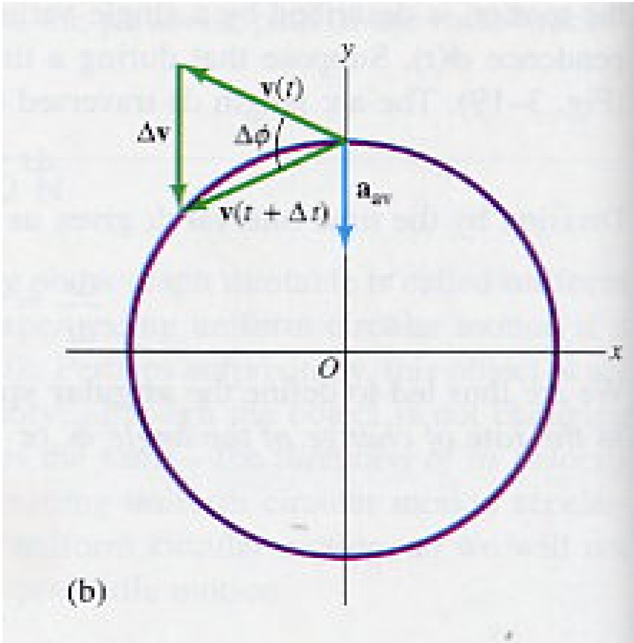
$$\omega = 2\pi f$$

Movimento circular e uniforme



$$\frac{\Delta \mathbf{r}}{\mathbf{r}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\mathbf{v}}$$

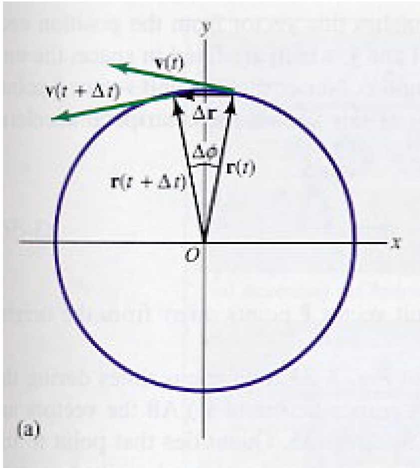
$$\mathbf{v}\frac{\Delta \mathbf{r}}{\mathbf{r}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{}$$



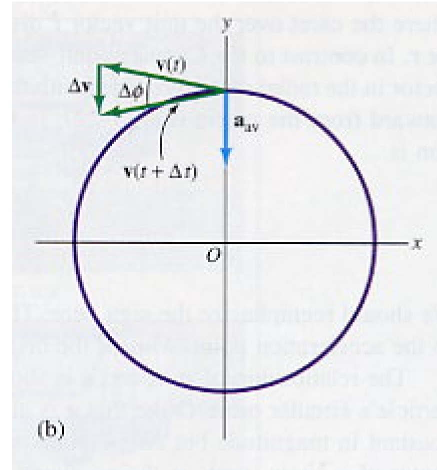
Aceleração média

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{r}\frac{\Delta r}{\Delta t}$$

Movimento circular e uniforme



$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$$



Aceleração média $\quad \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v}{r}\dfrac{\Delta r}{\Delta t}$

No limite $\Delta t \to 0$

Aceleração instantânea

$$a = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{r}\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta r}{\Delta t}$$

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

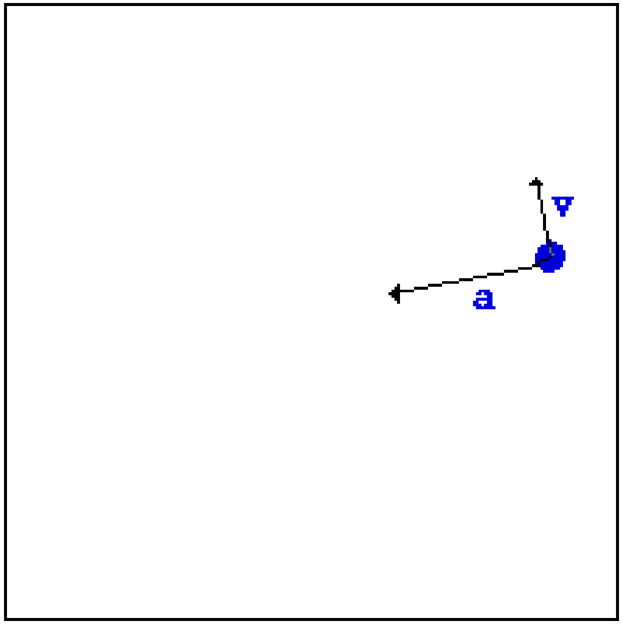
$$a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

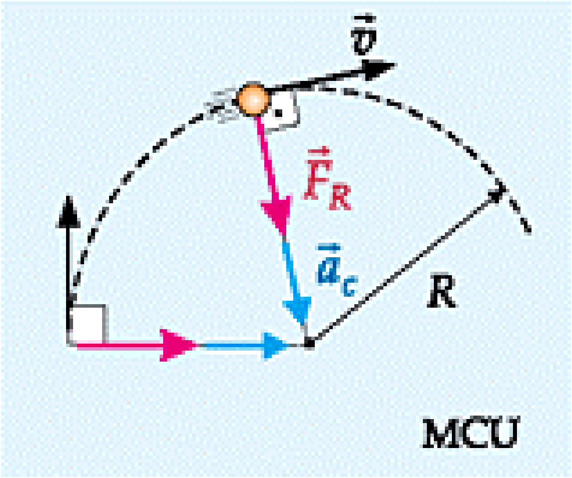
Aceleração centrípeta

Movimento circular e uniforme

A aceleração centrípeta cujo módulo fica:

$$\vec{a} = -\frac{v^2}{r}$$



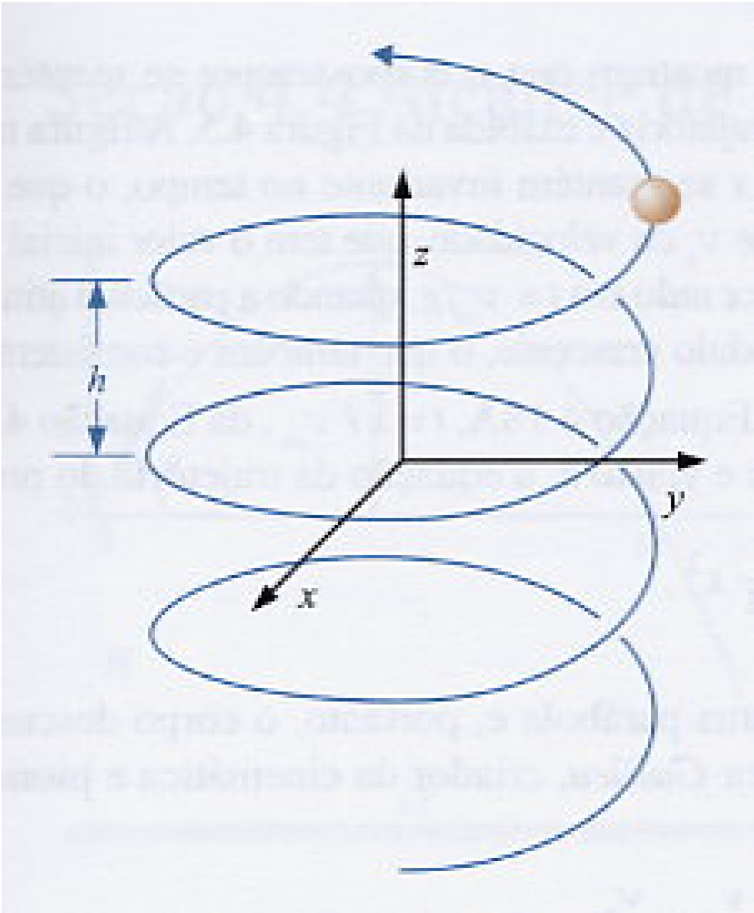


Tem direção do vetor posição e aponta para o centro do movimento.

Movimento helicoidal

Podemos compor este movimento no plano com o movimento em z. Note que a partícula anda uma altura h em um período do movimento no plano

$h = v_z T = v_z 2\pi/\omega$



A cada período T a partícula se desloca de h no plano z descrevendo um movimento helicoidal!

$\mathbf{r(t)} = R\cos\omega t\ \mathbf{i} + R\mathrm{sen}\omega t\ \mathbf{j} + v_z t\ \mathbf{k}$

R, ω e v_z constantes. A velocidade será:

$\mathbf{v(t)} = -\omega R\mathrm{sen}\omega t\ \mathbf{i} + \omega R\cos\omega t\ \mathbf{j} + v_z\ \mathbf{k}$

A aceleração:

$\mathbf{a(t)} = -\omega^2 R\cos\omega t\ \mathbf{i} - \omega^2 R\mathrm{sen}\omega t\ \mathbf{j}$

Resumo

- **Movimento Circular Uniforme**

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega} \qquad \omega = 2\pi f \qquad a = r\omega^2$$

- **Movimento Helicoidal** $\mathbf{r}(t) = R\cos\omega t\ \mathbf{i} + R\text{sen}\,\omega t\ \mathbf{j} + v_z t\ \mathbf{k}$

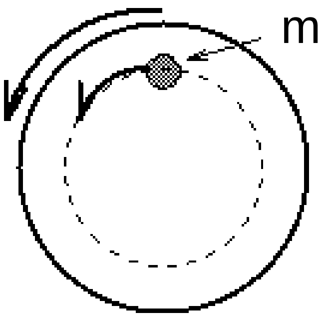
Exemplo: Pião roda uniformemente com 16Hz. Qual é a aceleração centrípeta de um ponto no raio do pião em R = 3cm

Velocidade angular é

$$\omega = 2\pi f \qquad \omega = 2\pi \text{rad}(16\text{Hz}) = 101 \text{rad}/\text{s}$$

A aceleração fica: $a = r\omega^2 = 303\, m/s^2$

Atrito e Movimento Circular



$$F_N - mg = 0$$

$$f_e = \mu_e F_N = \mu_e mg$$

Para que a moeda não deslize e caia do disco

$$F_c = f_e$$

$$\mu_e mg = m\frac{v^2}{r}$$

Atrito e Movimento Circular

$F_c = m\ a_c$

$$\mu_e mg = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$$

Para uma dada freqüência de rotação existe um raio máximo para que a condição acima seja satisfeita:

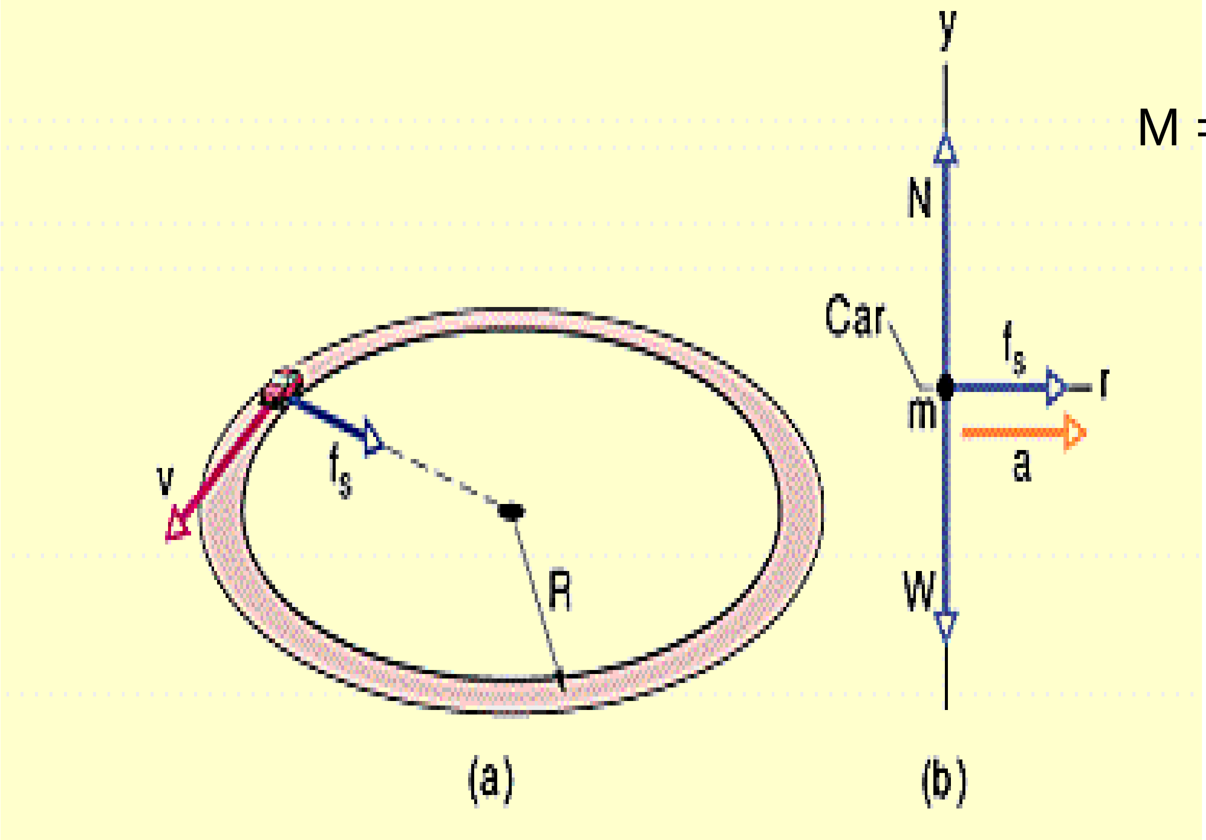
$$\mu_e = \frac{\omega^2 r_{\max}}{g} \quad \text{ou} \quad \mu_e = \frac{v^2}{rg}$$

Outro jeito para medir o coeficiente de atrito!

Atrito e movimento circular

Considere um *stock car* (carro com carroceria reforçada) com massa de m = 1600 kg se deslocando com uma velocidade constante v = 20 m/s ao redor de uma pista circular horizontal, de raio *R* = 190 m. Para que valor de μe entre os pneus do carro e a pista o carro estará na iminência de derrapar para fora da pista?

Resp.: μe = 0,21

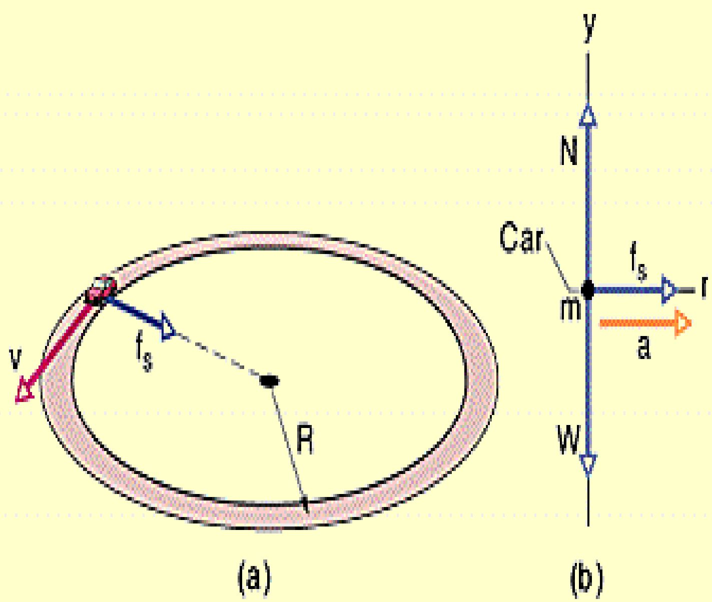


M = 1600 Kg, R = 190 m e V = 20 m/s

Atrito e movimento circular

Considere um *stock car* (carro com carroceria reforçada) com massa de m = 1600 kg se deslocando com uma velocidade constante v = 20 m/s ao redor de uma pista circular horizontal, de raio *R* = 190 m. Para que valor de μe entre os pneus do carro e a pista o carro estará na iminência de derrapar para fora da pista?

Resp.: μe = 0,21



fatrito = Fc

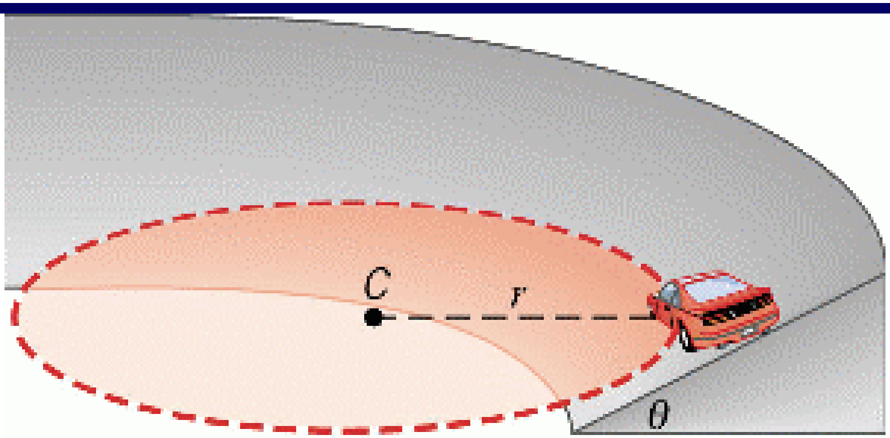
$$\mu_s mg = \frac{mv^2}{R},$$

$$\mu_s = \frac{v^2}{gR}$$

$$= \frac{(20\ \text{m/s})^2}{(9.8\ \text{m/s}^2)(190\ \text{m})} = 0.21.$$

M = 1600 Kg, R = 190 m
e V = 20 m/s

Força normal e movimento circular



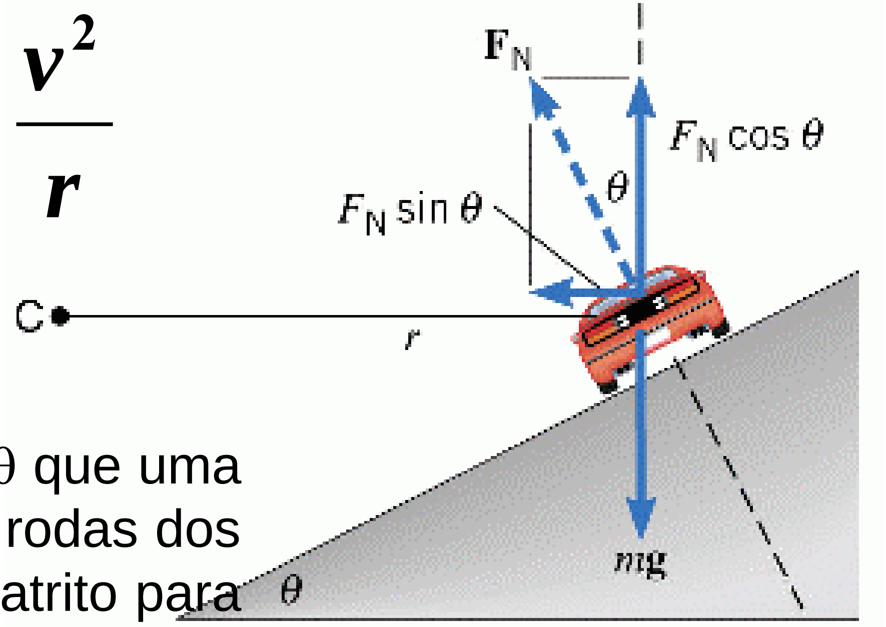
(a)

Componente ***x*** da normal = força centrípeta:

$$F_N \, sen\theta = m\frac{v^2}{r}$$

Componente ***y***:

$$F_N \cos\theta = mg$$



(b)

Qual deve ser o ângulo de elevação θ que uma pista de corrida deve ter para que as rodas dos carros não tenham que depender do atrito para evitar o escorregamento?

Força normal e movimento circular

Componente y: $F_N \cos\theta = mg$

Portanto: $$F_N = \frac{mg}{\cos\theta}$$

Componente x da normal = Fc:

$$F_N sen\theta = m\frac{v^2}{r}$$

$$\frac{mg}{\cos\theta} \times sen\theta = \frac{mv^2}{r}$$

$$\boxed{v = \sqrt{gr\tan\theta}}$$

O ângulo de elevação θ que uma pista de corrida deve ter para que as rodas dos carros não tenham que depender do atrito para evitar o escorregamento é :

$$\boxed{\theta = Tg^{-1}\left(\frac{v^2}{Rg}\right)}$$

Força normal e movimento circular

Portanto:

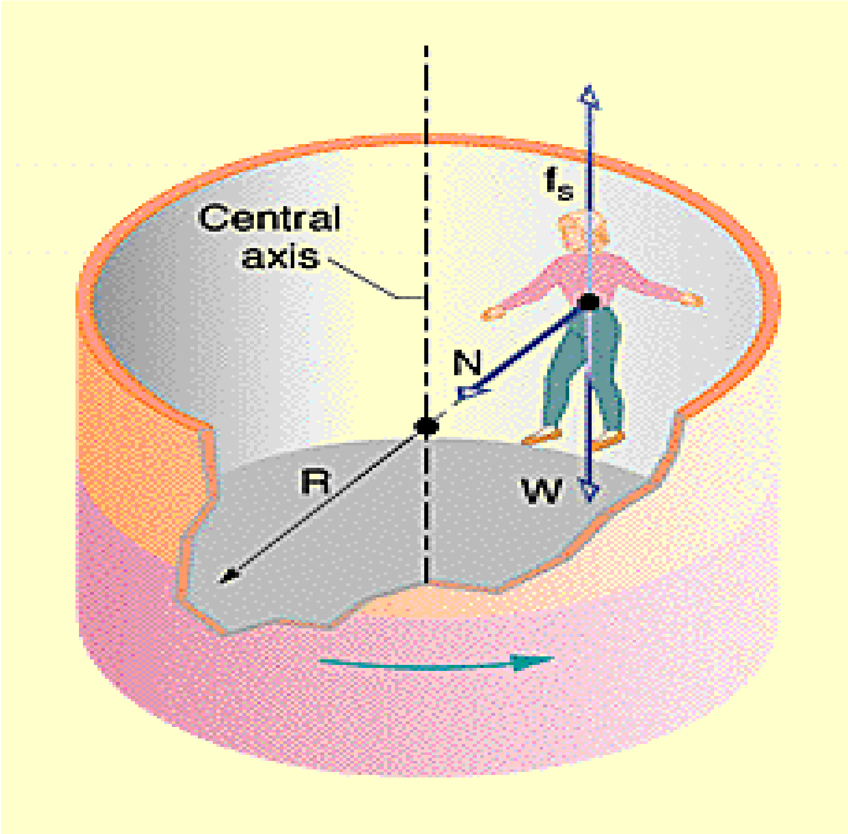
$$N = \frac{mv^2}{r}$$

$$\downarrow$$

$$f = \mu N = mg$$

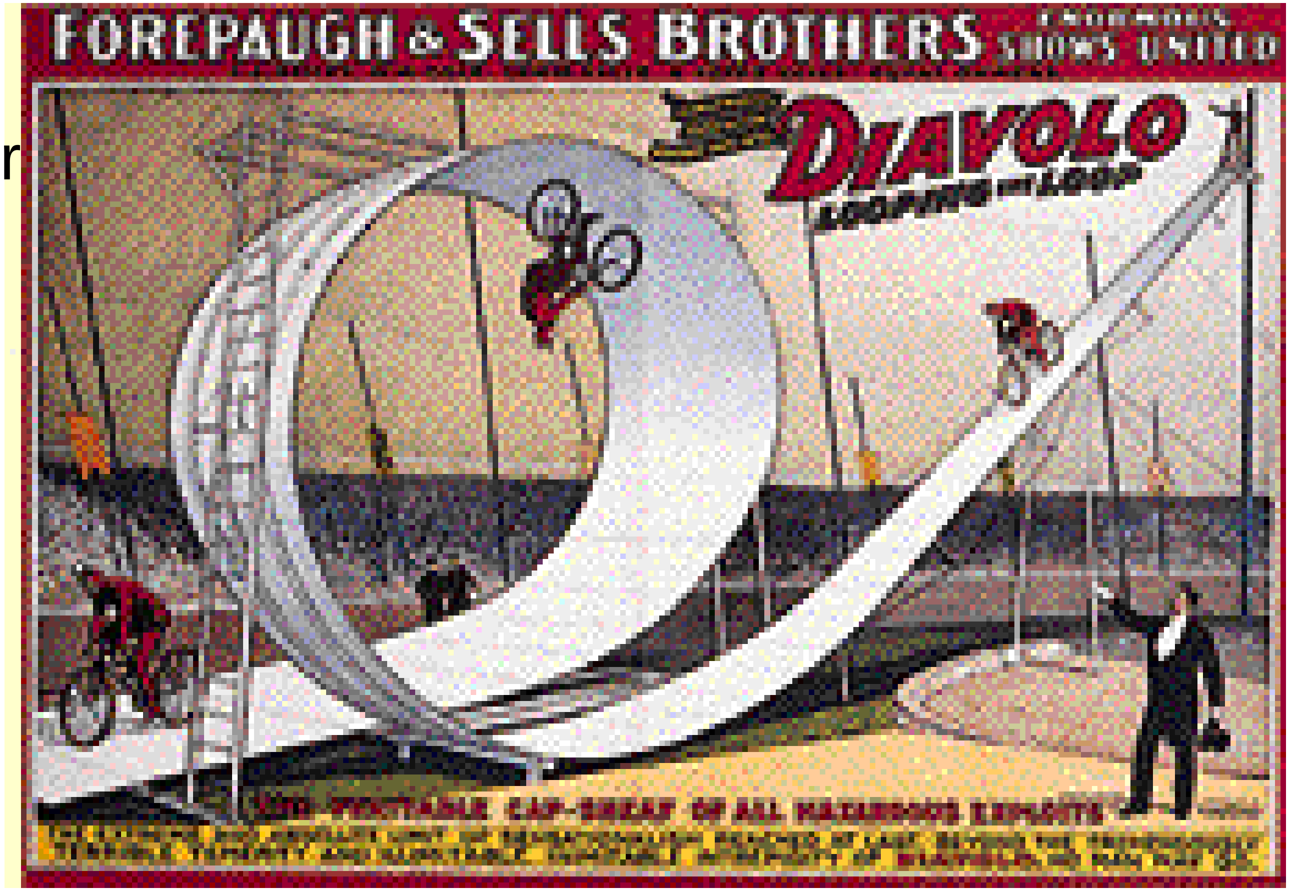
$$\downarrow$$

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{gr}{\mu}}$$



Força normal e movimento circular

Em uma apresentação em 1901, Allo Diavolo “Dare Devil” introduziu a acrobacia de dirigir uma bicicleta completando uma volta em um ***loop*** vertical. Supondo que o loop seja um círculo de raio R = 2,7 m, qual a menor velocidade que Diavolo poderia ter na parte mais alta do loop a fim de permanecer em contato com ele nesta parte?



Resp.: 5,1 m/s.

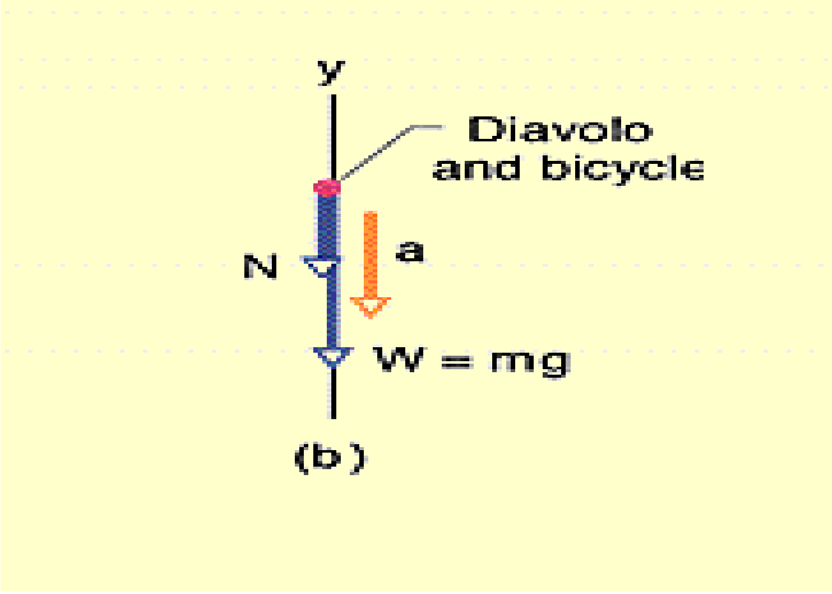
A menor velocidade que Diavolo poderia ter na parte mais alta do loop a fim de permanecer em contato com ele será:

$$N = 0$$

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

$$v_{\min} = \sqrt{gR}$$

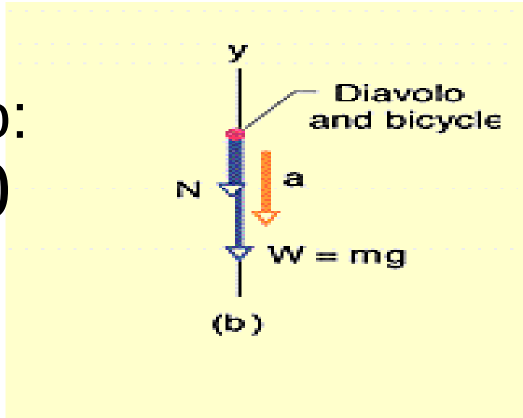
Resp. 5,1 m/s.



Em uma apresentação em 1901,Allo Diavolo "Dare Devil" introduziu a acrobacia de dirigir uma bicicleta completando uma volta em um *loop* vertical. Supondo que o loop seja um círculo de raio R = 2,7 m, qual a menor velocidade que Diavolo poderia ter na parte mais alta do loop a fim de permanecer em contato com ele nesta parte?

Portanto:

$$N = 0$$



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

$$v_{\min} = \sqrt{gR}$$

$$\mathbf{v_{min} = 5,1\ m/s}$$