

Aula 24 – Força de Coriolis

Prof^a Nair Stem

Instituto de Física da USP

Força de Coriolis

PROPOSTA DA AULA DE HOJE

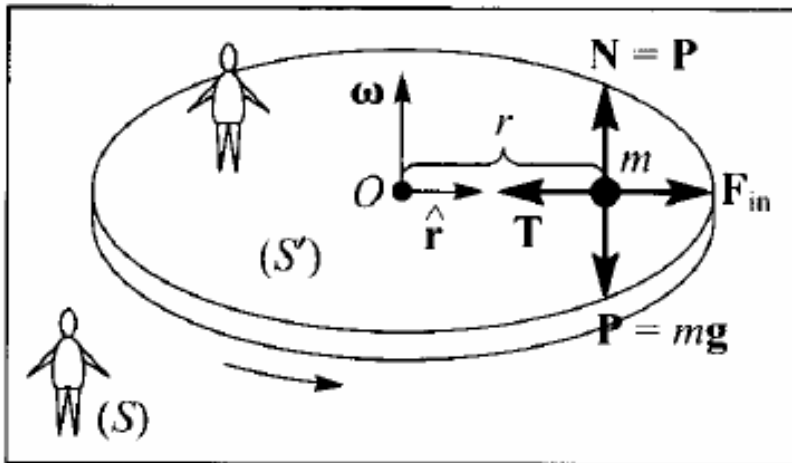


Figura 13.10 Plataforma girante.

Na aula passada => força de inércia que atua sobre uma partícula em repouso em um referencial S' girante => FORÇA CENTRÍFUGA

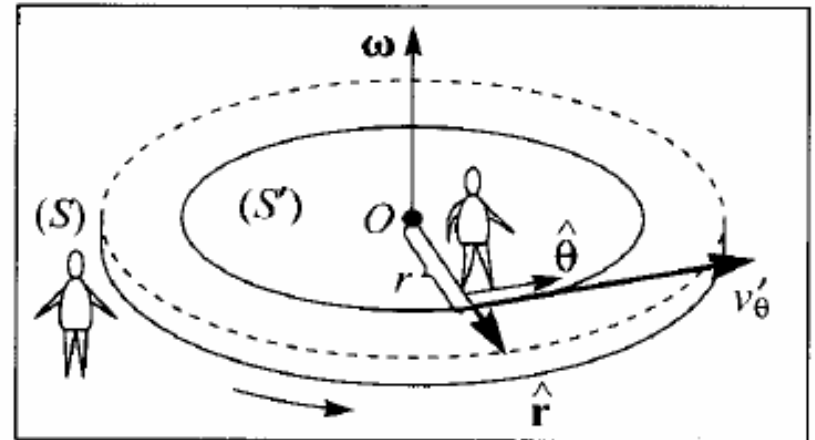


Figura 13.11 Movimento tangencial em referencial girante.

O que acontece para um corpo em movimento no referencial S' ???????

Força de Coriolis

http://www.youtube.com/watch?v=_36MiCUS1ro

Sugestão para
a leitura:

<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/gkv/history/Persson98.pdf>

Força de Coriolis

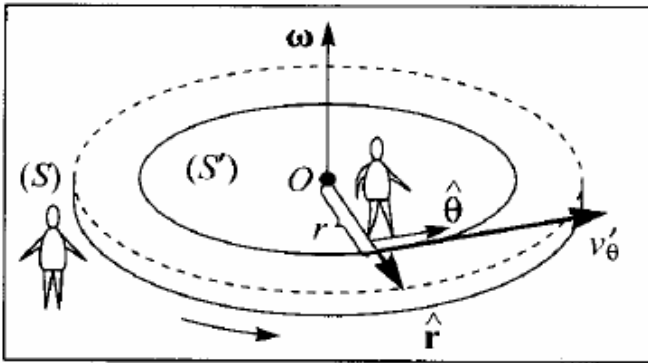


Figura 13.11 Movimento tangencial em referencial girante.

Pessoa caminha na plataforma em um círculo de raio r em torno de O com velocidade tangencial constante, v_θ .

$$v_\theta = v'_\theta + \omega r$$

Velocidade pessoa vista por observador em S

Velocidade da pessoa em S'

Velocidade de arrastamento da plataforma

Em S temos a força centrípeta:

$$\mathbf{F} = -\frac{mv_\theta^2}{r} \hat{\mathbf{r}}$$

Cuja origem é o atrito entre a sola de sapatos e a plataforma (PESSOA CAMINHANDO)

Força de Coriolis (trajetória circular na plataforma)

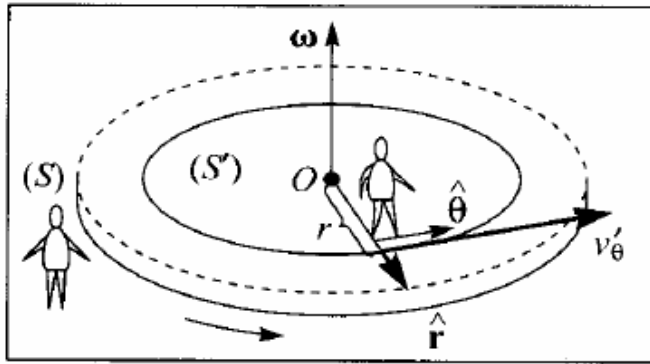


Figura 13.11 Movimento tangencial em referencial girante.

Substituindo

$$v_{\theta} = v'_{\theta} + \omega r$$

em

$$\mathbf{F} = -\frac{mv_{\theta}^2}{r} \hat{\mathbf{r}}$$

$$\Rightarrow \mathbf{F} = -m \left(\frac{v_{\theta}'^2}{r} + \omega^2 r + 2\omega v'_{\theta} \right) \hat{\mathbf{r}}$$

FORÇA CENTRÍPETA EM S'

$$\begin{aligned} \mathbf{F}' &= m\mathbf{a}' = -m \frac{v_{\theta}'^2}{r} \hat{\mathbf{r}} = \mathbf{F} + \mathbf{F}_{in} \\ &= \end{aligned}$$

Comparando com a equação anterior

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= -m \left(\frac{v_{\theta}'^2}{r} + \omega^2 r + 2\omega v_{\theta}' \right) \hat{\mathbf{r}} \\ F' &= -m \frac{v_{\theta}'^2}{r} \hat{\mathbf{r}} = \mathbf{F} + m\omega^2 r \hat{\mathbf{r}} + 2m\omega v_{\theta}' \hat{\mathbf{r}} \end{aligned}$$

Lembrando que

$$\mathbf{F}' = \mathbf{F} + \mathbf{F}_{in}$$

$$\Rightarrow \mathbf{F}_{in} = m\omega^2 r \hat{\mathbf{r}} + 2m\omega v_{\theta}' \hat{\mathbf{r}} \quad \text{Define-se} \quad \boxed{\mathbf{F}_{\text{Coriolis}} = 2m\omega v_{\theta}' \hat{\mathbf{r}}}$$

Força de Coriolis

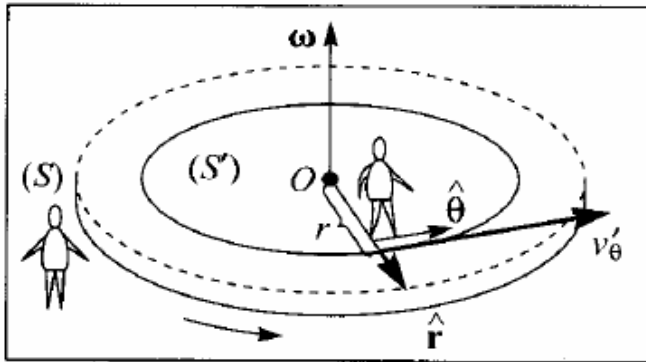


Figura 13.11 Movimento tangencial em referencial girante.

$$\mathbf{F}_{\text{Coriolis}} = 2m\omega v'_\theta \hat{\mathbf{r}}$$

No sentido radial

- Depende de ω e da velocidade (diferente da centrífuga que depende de ω e r);
- Força de Coriolis é perpendicular à velocidade da partícula e **tende a desviar o movimento para a direita (sentido anti-horário)**.

FORÇA DE CORIOLIS: E se a velocidade for puramente radial em S'????

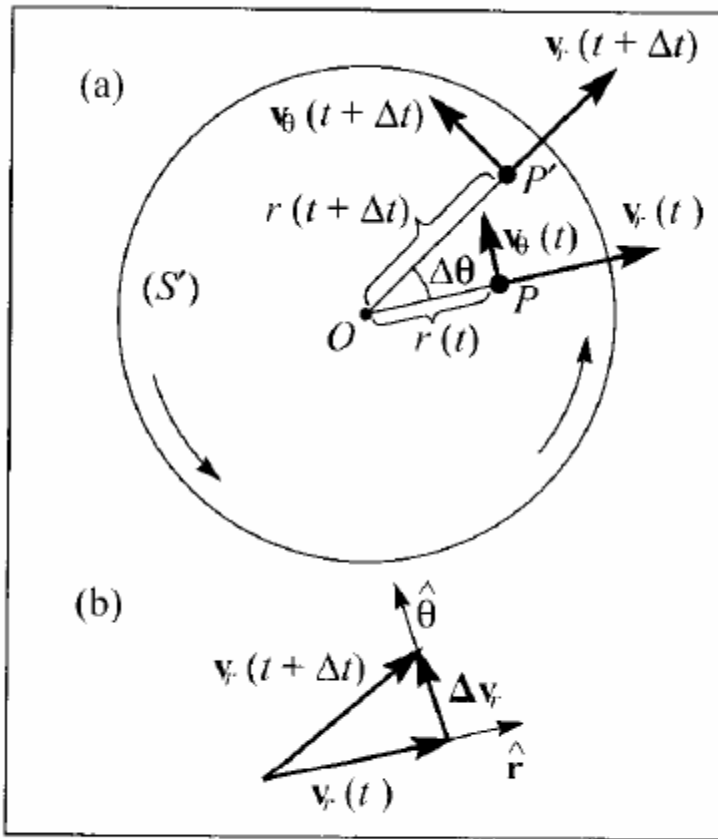


Figura 13.12 Movimento radial em referencial girante.

Em S'

puramente radial: $\mathbf{v}' = v'_r \hat{\mathbf{r}}$

Em S

Além da aceleração centrípeta, ele possuirá também uma componente tangencial $v_\theta = \omega r$

NO REFERENCIAL S HÁ duas CONTRIBUIÇÕES PARA A_θ

A COMPONENTE TANGENCIAL DA VELOCIDADE AUMENTA

A distância aumenta
 $\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$

$$\Delta V_\theta = \omega(r + \Delta r) - \omega r = \omega \Delta r$$



$$a) \frac{\Delta v_\theta}{\Delta t} = \omega \frac{\Delta r}{\Delta t} = \omega v_r$$

A aceleração tangencial tende a ωv_r para $\Delta t \rightarrow 0$

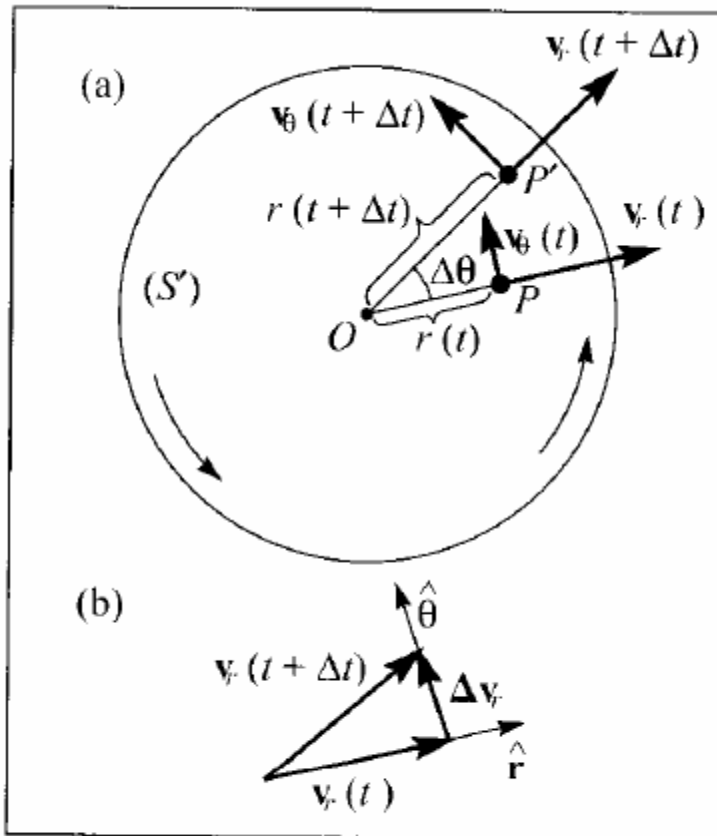


Figura 13.12 Movimento radial em referencial girante.

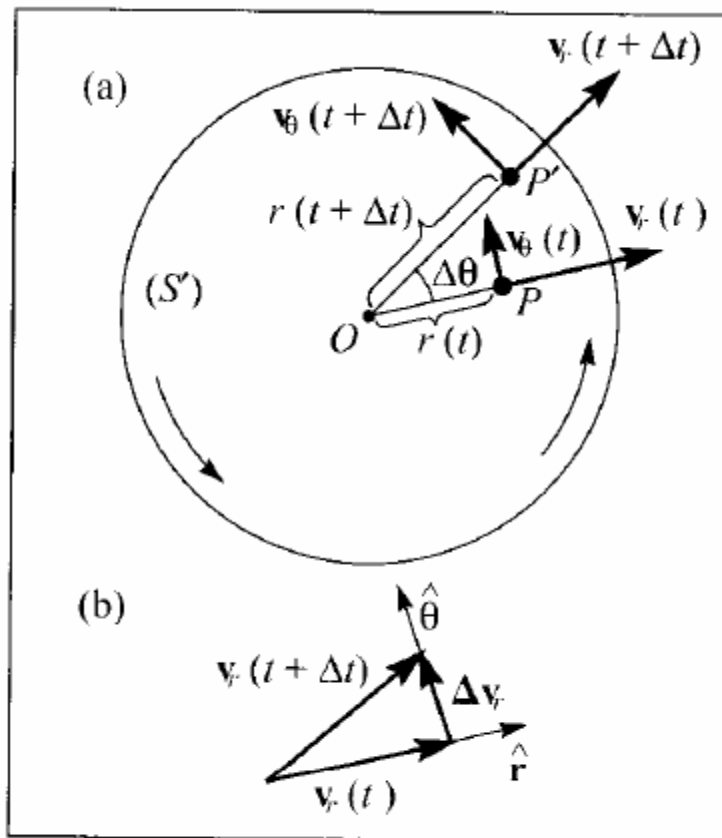


Figura 13.12 Movimento radial em referencial girante.

B) Durante o intervalo de tempo Δt , a plataforma muda o ângulo de $\Delta\Theta = \omega\Delta t$ e muda portanto a direção do v_r

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

SOMANDO AS DUAS CONTRIBUIÇÕES

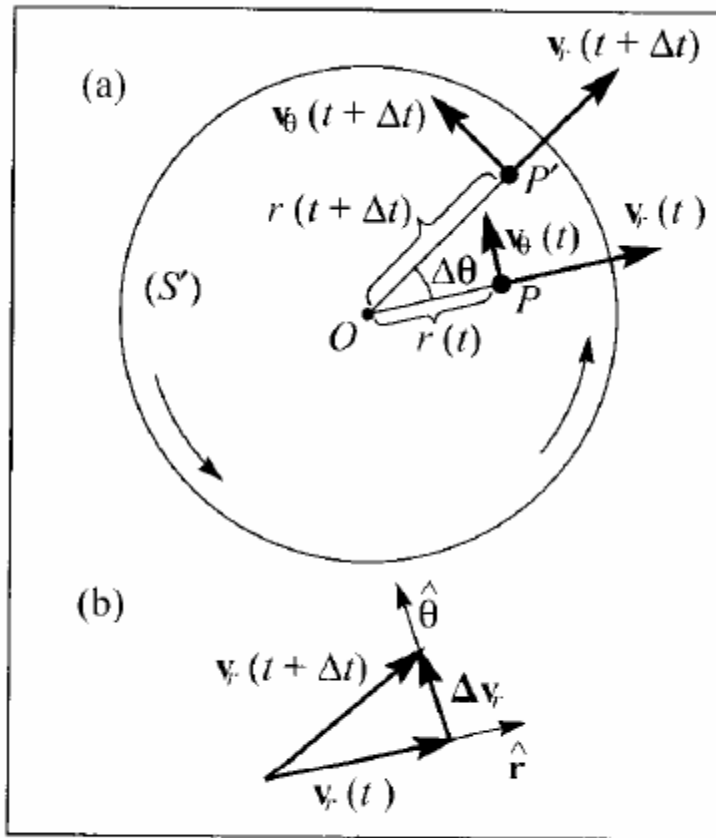


Figura 13.12 Movimento radial em referencial girante.

$$a) \quad \frac{\Delta v_\theta}{\Delta t} = \omega \frac{\Delta r}{\Delta t} = \omega v_r$$

$$B) \quad \frac{\Delta v_r}{\Delta t} = v_r \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \omega v_r$$



$$a_\theta = 2\omega v_r = 2\omega v'_r$$

v_r É O MESMO EM S E S'

O movimento radial em S' com velocidade v_r' visto por S :

È um movimento acelerado:

$$\mathbf{a} = -\omega^2 r \hat{\mathbf{r}} + 2\omega v_r' \hat{\boldsymbol{\theta}}$$

↓
Componente
centrípeta
usual

↓
Novo termo
qdo visto de S

Como em S' (velocidade constante v_r' : $ma' = 0 \Rightarrow F' = F + F_{in}$

$F = -F_{in}$



$$\mathbf{F}_{in} = -m\mathbf{a} = m\omega^2 r \hat{\mathbf{r}} - 2m\omega v_r' \hat{\boldsymbol{\theta}}$$

Pêndulo de Foucault (Referencial S')

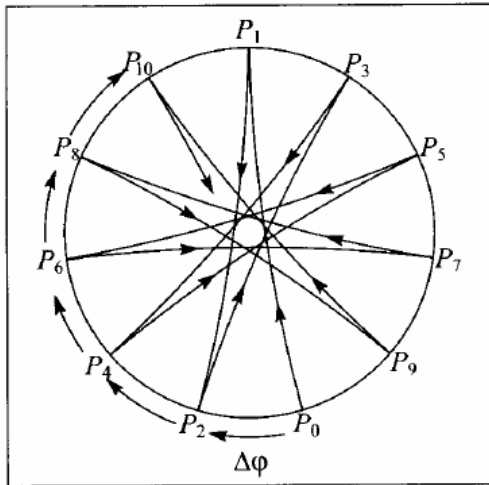


Figura 13.21 Trajetória da extremidade do pêndulo de Foucault.

1851 O Físico Francês Jean Leon Foucault suspendeu uma esfera de 30kg do alto da cúpula dos Inválidos em Paris por um fio de 67 m de comprimento, colocando-o em oscilação como um pêndulo. Durante o movimento escoava areia para marcar trajetória, apresentada ao lado.

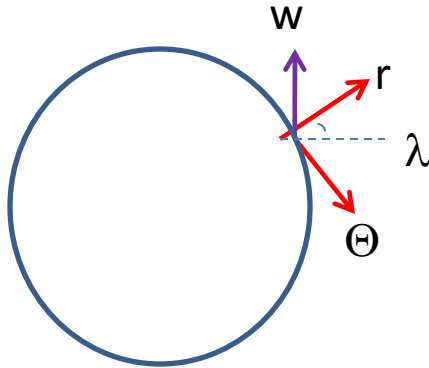
Para cada oscilação

Variação angular

$$\Delta\varphi \Rightarrow \omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = 11^{\circ}15' \text{ por hora}$$

$$T(\lambda) = \frac{2\pi}{\omega \sin \lambda} = \frac{24h}{\sin \lambda}$$

Pêndulo de Foucault



Componente radial

$$w_r = w \sin \lambda \hat{r}$$

Período para uma
oscilação depende da
latitude λ

$$T(\lambda) = \frac{2\pi}{w \sin \lambda} = \frac{24h}{\sin \lambda}$$

São Paulo $\lambda = 23^\circ 33' \Rightarrow \sin \lambda = 0.4 \Rightarrow T = 60 \text{ horas}$

Pêndulo de Foucault em um referencial S (inercial)

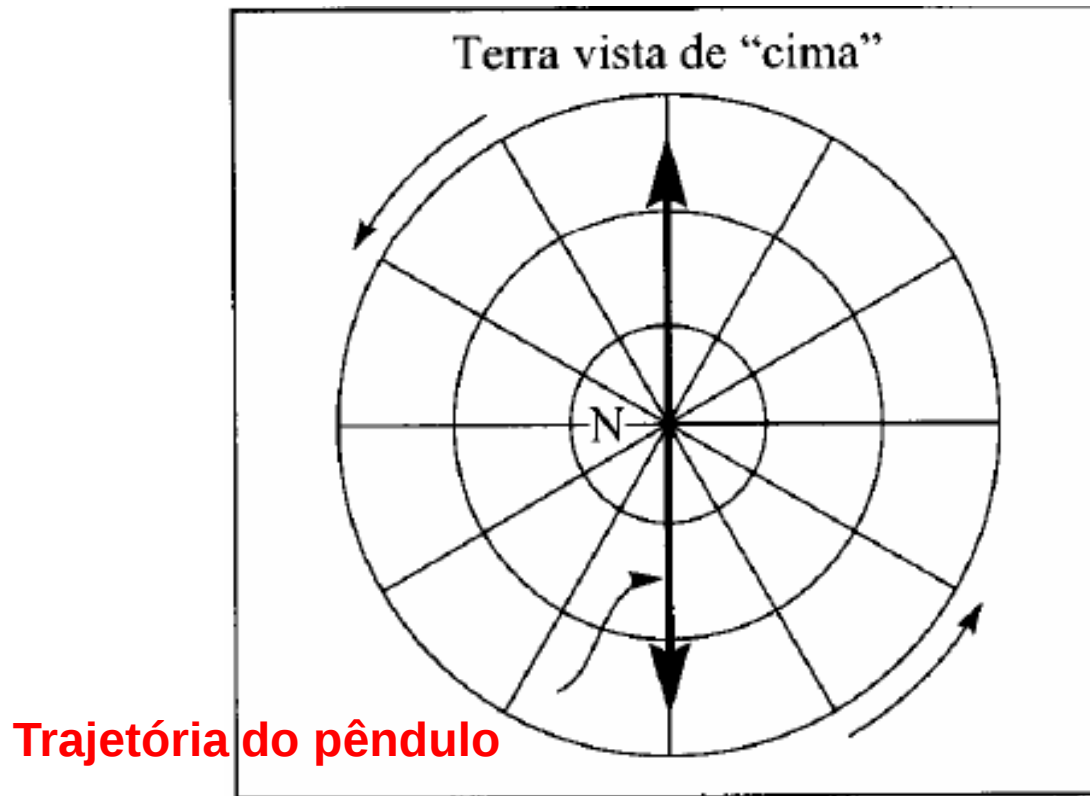
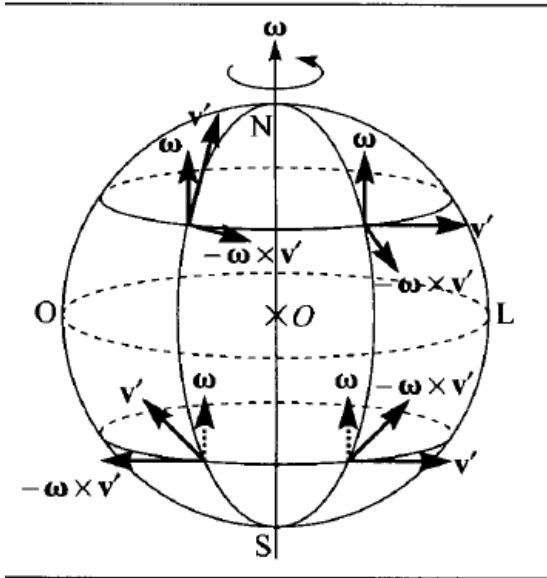


Figura 13.22 Pêndulo de Foucault no polo norte.

APÊNDICE

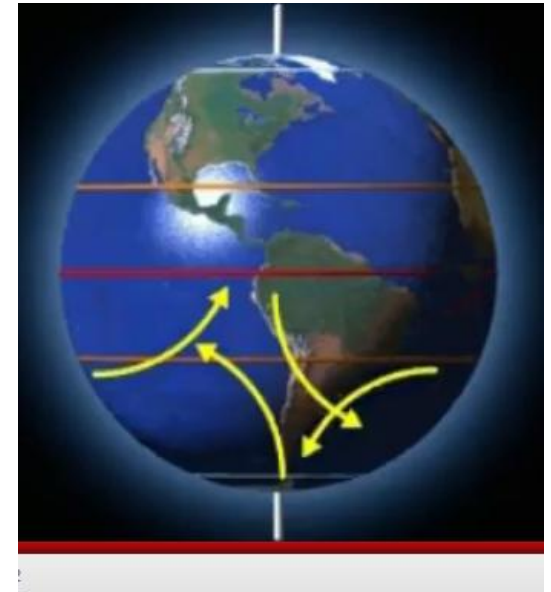
Efeito das Forças de Coriolis em um Objeto que se move no plano horizontal



Força de Coriolis:
Proporcional ao produto
vetorial $\omega \times v'$



Hemisfério Norte:
Força de Coriolis
em relação ao
sentido do
movimento é para
a direita.



Hemisfério Sul:
Força de Coriolis em
relação ao sentido
do movimento é
para a esquerda.

http://www.youtube.com/watch?v=mcPs_OdQOYU

Efeitos da Força de Coriolis



Movimento giratório de furacões:

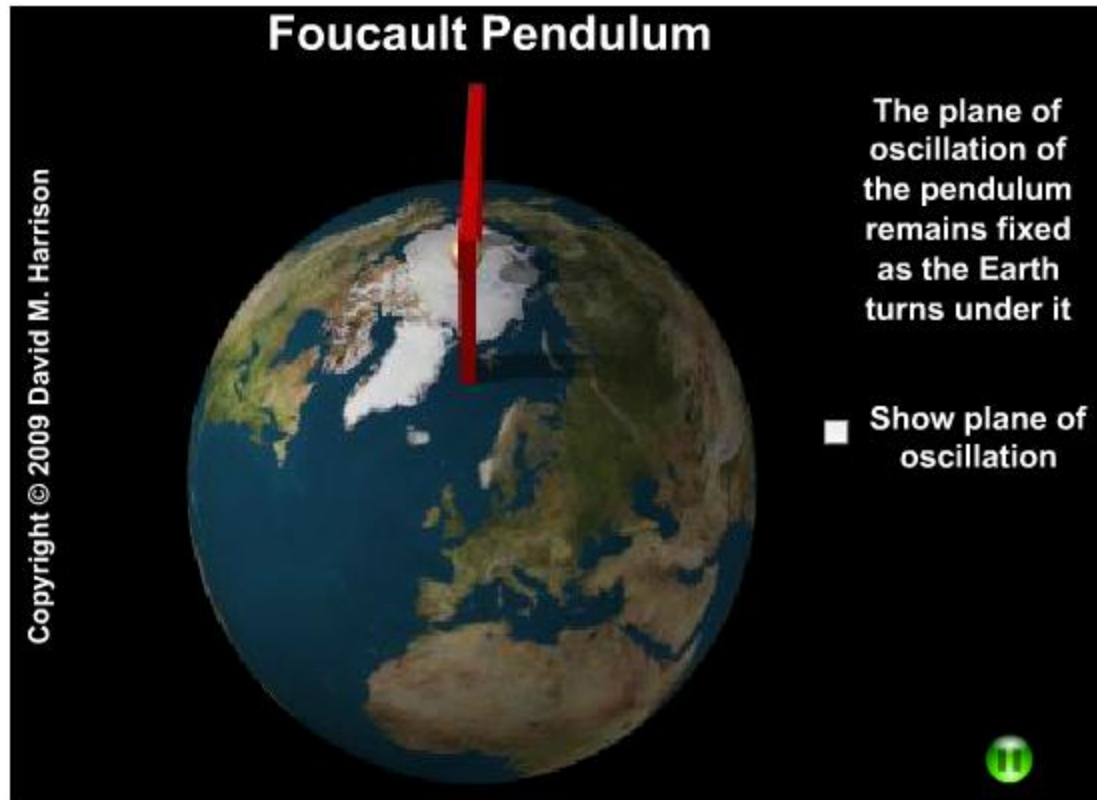
- > hemisfério norte sentido anti-horário
- > hemisfério sul deveria ser horário.



The water of the ocean surface moves in a regular pattern called surface ocean currents. the currents are named. In this map, warm currents are shown in red and cold currents are shown in blue. Click on image for full size
Windows to the Universe

A água na superfície dos oceanos é movida pelos ventos que sopram em direções específicas devido à rotação da Terra e ao Efeito Coriolis..

http://www.windows2universe.org/earth/Water/ocean_currents.html



<http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol13a01.pdf>

<http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/Multimidia/Simulacoes/Mecanica/Pendulo-de-Foucault-no-Polo-Norte>