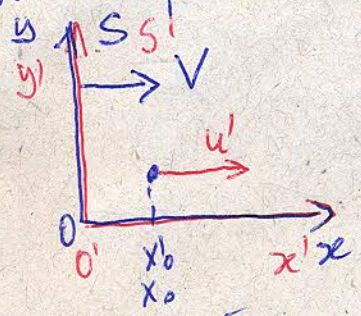


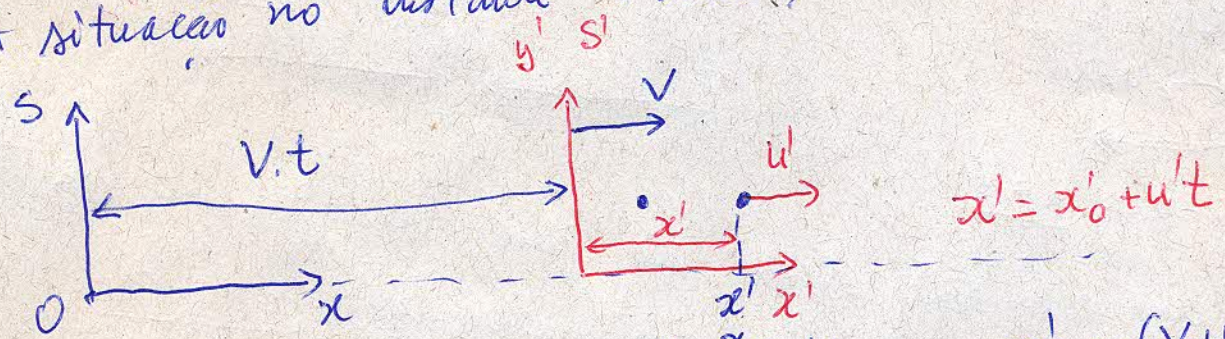
# Referenciais Não Inerciais

As leis de Newton são válidas somente em referenciais inerciais. Se um referencial S é inercial, então qualquer outro referencial S', movendo-se em relação a S com velocidade constante, também é inercial. Por exemplo, a plataforma de estação (S) e um trem se movimentando com velocidade constante (S'). Considere a situação em que em  $t=0$  as origens de S e S' coincidem. O trem se move para a direita com velocidade  $V$ .



Neste instante, uma pessoa no trem, observa uma bola, na posição  $x'_0$ , se deslocando para a direita com velocidade  $u'$ . Qual a velocidade  $u$  medida por um observador na plataforma?

A situação no instante  $t$  será:



$$x = Vt + x' = Vt + x'_0 + u't = x'_0 + (V + u')t$$

e portanto,  $u = \frac{dx}{dt} = u' + V$  Essa é a transformação de Galileu (clássica)

Entre 2 sistemas inerciais  $S'$  é fácil ver que se a bola tiver uma aceleração  $a'$ , medida pelo observador em  $S'$ , o observador em S medirá uma aceleração igual:

$$x' = x'_0 + u'_0 t + \frac{1}{2} a' t^2$$

$$x = Vt + x' = x'_0 + (V + u'_0)t + \frac{1}{2} a' t^2$$

$$\frac{dx}{dt} = (V + u'_0) + a' t = u_0 + a' t$$

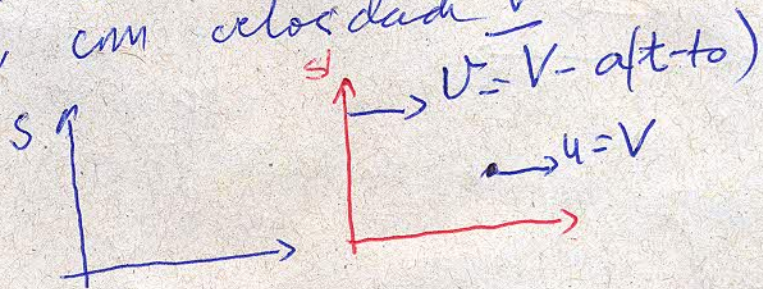
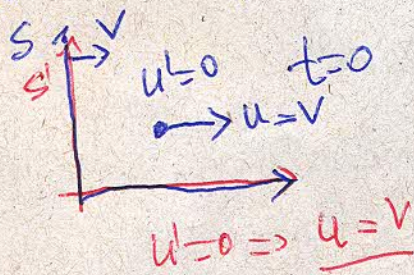
$$\Rightarrow u_0 = V + u'_0 ; a = a'$$



A causa de aceleração  $\underline{a}$  é (2ª lei de Newton) (2)

A resultante das forças agindo na bola.  
 portanto:  $m\vec{a} = \vec{F}_{res}$  e  $m\vec{a} = \vec{F}_{res}$  - A lei de Newton é válida em ambos os sistemas de referência.

Agora vamos imaginar uma bola parada, no piso do trem, que se move com  $v = ct$ . Num dado instante, o trem para e se freado, com aceleração constante  $\underline{a}$ , para a esquerda. Supondo que a bola não role, sem atrito, o observador na plataforma vai observar a bola continua seu movimento para a direita, com velocidade  $\underline{v}$ .



Se um observador dentro do trem, vê a bola se acelerando para a direita, com aceleração  $\underline{a}' = -\underline{a}$ .

$$\underline{u}' = -a(t-t_0)$$

Mas, segundo a 2ª lei de Newton, se não ocorre,  $(\frac{du'}{dt} = a')$ , então deveriam estar agindo na bola uma força, onde  $\underline{a}$  é a aceleração do trem.

$$\boxed{F = -ma}$$

$$\boxed{a: F = ma}$$

Não há nenhuma força agindo na bola e portanto  $\vec{F}_{res} = 0$  e a 2ª lei não se aplica.



Entretanto, podemos continuar a usar as leis (2ª) de Newton no referencial do trem, se introduzirmos uma força fictícia  $\vec{F}_f = -m\vec{a}$  também chamada de força mercial.

Note que a 2ª lei de Newton não é válida no sistema S' (acelerado) mesmo com a introdução de forças fictícias ( $\vec{F}_f$  não é resultado de interação de bola com nenhum outro corpo).

Um tipo bastante comum e interessante de força mercial é a chamada "força centrífuga", que experimentamos quando estamos em um sistema de referência fazendo um movimento circular (p.ex. carro fazendo uma ~~curva~~ curva com forma de um arco de círculo. Temos a sensação de que uma força tenta nos jogar para fora da curva. Na verdade, ~~na~~ quando o carro começa a fazer a curva, nosso corpo tenta continuar em linha reta, até que quando nosso ombro encosta na lateral do carro ~~é~~ aí sim, uma força (contato), ~~para~~ em direção ao centro de curvatura (= força centrípeta) nos muda a direção de nossa velocidade, acompanhando o carro.

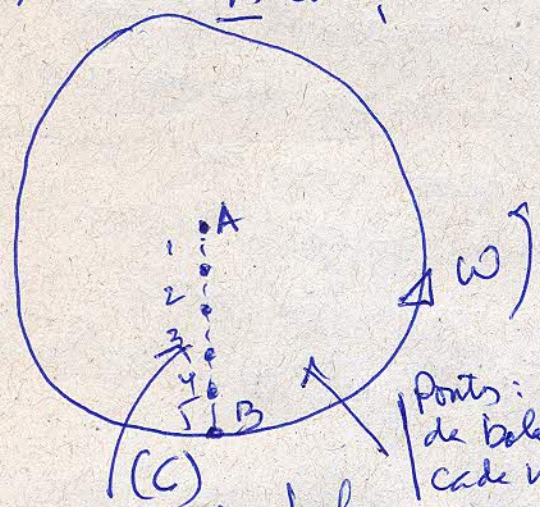
Força de Coriolis

A situação observada em um referencial girando fica ainda mais interessante se observarmos um objeto com velocidade não nula em relação ao referencial girante.



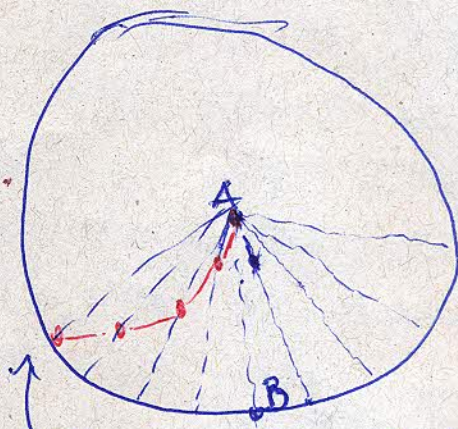
Suponha, p. ex. duas pessoas em uma plataforma circular, girando em relação ao seu centro (como no gira-gira do parque infantil). Uma ~~de~~ se localiza no centro da ~~de~~ plataforma e a outra na extremidade. Podem lançar uma bola que role (num atuto) no piso. Com pediram jogar a bola um para o outro, sem que esse toque no piso). Uma pessoa fora de plataforma vê a bola fazendo uma trajetória horizontal retilínea, pois, depois de abandonada, não há nenhuma força agindo na bola, na direção horizontal:

A lança a bola em direção a B



(C)  
Trajetória de bola  
Vista por uma pessoa fixa de plataforma (C)

Pontos: posição de bola a cada intervalo  $\Delta t$



posições de B no instante em que a bola foi lançada

posição de B quando a bola chega no final da plataforma.

! Parece haver uma força que desloca a bola para a direita da pessoa que a lançou (A)



Situação semelhante é observada quando  $\textcircled{5}$   
 $\underline{B}$  joga a bola para  $\underline{A}$  com velocidade radial  $\vec{v}_0$   
 O observador  $\underline{C}$  agora observa a bola fazendo  
 um movimento reto linear com velocidade  $\vec{v} = \vec{v}_r + \vec{v}_\perp$   
 onde  $\vec{v}_\perp = \omega R$  é a velocidade que a bola tem  
 antes do lançamento, devido a rotação da  
 plataforma:



Vivemos em um referencial girante! Portanto,  
 há muitos fenômenos que observamos na Terra,  
 reconhecidos de forças fictícias ou inerciais, de  
 Coriolis. A intensidade da força de Coriolis  
 é proporcional ao produto de  $\omega$  pelo componente  
 de velocidade do objeto que é perpendicular  
 ao plano  $\vec{B}$  e proporcional à massa do  
 objeto:

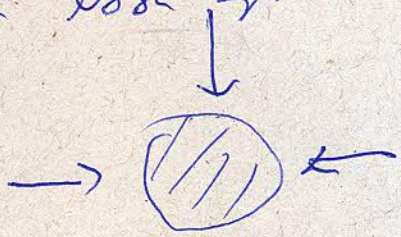
$$\vec{F}_{cn} = 2m \vec{v} \times \vec{\omega}$$



~~Um fenômeno~~

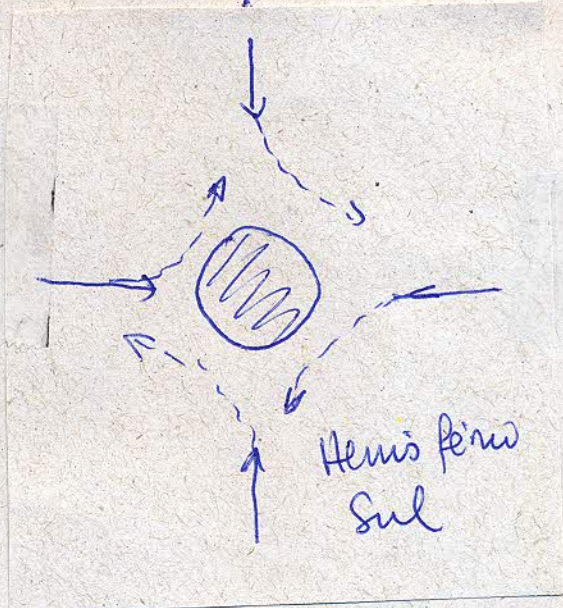
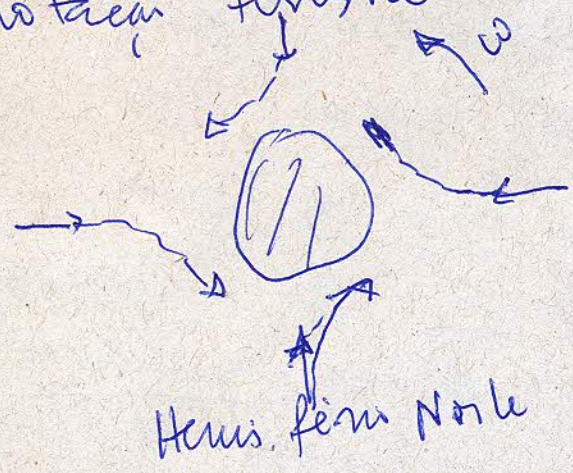
Fenômenos atmosféricos como furacões são devidos a essa força. Furacões, Tufões são originados quando o ar, em alguma parte do oceano é aquecido, sobe para as altas camadas de atmosfera, produzindo um regime de baixa pressão. O ar atmosférico de todos os lados então se move em direção a essa zona.

Se um fenômeno ocorre no equador ou em suas proximidades, nada de especial ocorre: (na figura ao lado, vista de cima, não há notação nem para esquerda nem para direita). Entretanto, quanto mais longe do equador, mais o efeito de



(Vista de cima)

Notação fenestrela.



- Estime a intensidade de força de Coriolis na água da pia, considere uma massa ~ 0,1 kg, com velocidade de ~~em~~ 0,1 m/s. Compare com a força gravitacional nesse gota. Faça o mesmo com uma bola, no que-que