JÁ LHE PERGUNTARAM...

... por que um ciclista inclina a bicicleta ao fazer uma curva? (José Isidoro Avelar de Magalhães, Depto. de Física, UFSC)

Quando uma bicicleta se desloca em movimento retilíneo, o vetor momentum angular resultante do movimento rotacional de suas rodas está dirigido lateralmente para o lado esquerdo do ciclista (Fig. 1). A conservação do momentum angular ajuda a manter a estabilidade da bicicleta; se esta estivesse parada, qualquer inclinação lateral faria aparecer um torque não equilibrado da força peso do sistema bicicleta + ciclista, o qual aceleraria angularmente ambos (em relação a um eixo de referência que passe pelos pontos de apoio das rodas no solo), fazendo com que tombassem para o lado. Com a bicicleta em movimento, sabemos que isso não ocorre, pois o torque $\vec{\tau}$ *da força peso ocasionará apenas uma variação* $\Delta\vec{L}$ *na direção do vetor momentum angular* $\vec{L}_0$*, conforme a relação* $\Delta\vec{L} = \vec{\tau}\,\Delta t$.

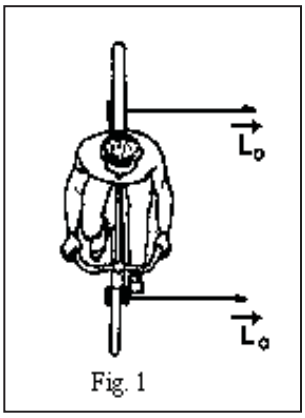

Fig. 1

Ora, para a bicicleta fazer uma curva, é necessário justamente que o vetor momentum angular mude continuamente sua direção. Portanto, um torque externo deve atuar sobre o sistema. Então, o ciclista,

ao inclinar-se para o lado em que faz a curva, propicia o aparecimento de um torque $\vec{\tau}$ da força peso. Quando a inclinação for para a esquerda, o vetor torque da força peso estará apontando "para trás" (Fig. 2); quando a inclinação for para a direita, $\vec{\tau}$ apontará "para a frente". A variação do momentum angular, $\Delta\vec{L}$ se dá na direção e no sentido do torque. Assim, em ambos os casos, a variação do momentum angular será tal que $\vec{L}$ percorrerá então uma trajetória curvilínea, acompanhando o movimento da bicicleta. Isso explica, de forma um tanto simplificada, a razão pela qual uma bicicleta deve ser inclinada ao se fazer uma curva.

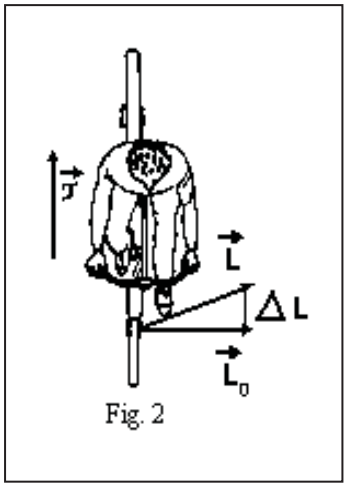

Fig. 2

A questão ainda pode ser examinada de um outro ponto de vista. Utilizemos um sistema de referências ligado ao ciclista e, portanto, acelerado. Tomemos como origem o centro de massa do sistema bicicleta + ciclista. Para um observador nesse sistema de referência, a situação é de equilíbrio estático. Ao fazer a curva, ele nota a presença de três forças reais de interação (não levando em conta a resistência do ar): a força peso $\vec{P}$, a força normal $\vec{N}$ do solo sobre a bicicleta e a força lateral $\vec{F}_a$, centrípeta, de atrito estático entre os pneus e o solo. A única maneira do observador explicar o equilíbrio é postulando a existência de uma força centrífuga, F_c, que compense a força

centrípeta (Fig. 3). Notemos bem que esta força centrífuga é fictícia; ela não resulta de nenhuma interação física e aparece tão somente devido ao fato do referencial estar em rotação. Em relação ao centro de massa, os torques da força peso e da força centrífuga são ambos nulos e fica evidente que, para haver equilíbrio, a bicicleta deve estar inclinada, de forma que o torque da força centrípeta seja compensado pelo torque da força normal. Se a bicicleta estivesse na vertical, o torque da força normal seria nulo e, devido ao torque da força centrípeta, não haveria equilíbrio.

Fig. 3

Neste sistema de referência acelerado, o torque externo resultante sendo nulo, $\vec{L}$ é constante. Como o referencial acompanha o movimento de rotação da bicicleta em torno do centro de curvatura, o mesmo acontece com o vetor momentum angular.