



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br



Coriolis, Poisson, Foucault e a Rotação da Terra.

Em verbete desta série, vimos que o físico francês Gustave Gaspard Coriolis (1792-1843), em trabalho apresentado em 1835, com o título **Sur les Equations du Movement Relatif des Systèmes de Corps** (“Sobre as Equações de Movimento dos Sistemas de Corpos”), observou que a célebre **Segunda Lei de Newton** deveria ser modificada ao ser aplicada ao movimento de corpos com massa m , relacionados a um sistema de referência com velocidade angular ($\vec{\omega}$), para incluir as **forças de inércia**. É interessante registrar que, em linguagem atual, a **Lei de Newton-Coriolis**, para sistemas não-inerciais girantes e independentes do tempo, sendo \vec{r} o vetor posição ligando o corpo ao centro do sistema girante, é dada por:

$$\vec{F}^* = m d^2 \vec{r} / dt^2 = m d\vec{r} / dt - m \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) - 2m \vec{\omega} \times d^* \vec{r} / dt,$$

onde o primeiro, o segundo e o terceiro termos representam, respectivamente: a **força de Newton**, a **força centrífuga** e a **força de Coriolis**, sendo estas duas últimas conhecidas como **forças de inércia**.

O efeito da rotação da Terra, considerada como um sistema não-inercial girante, foi objeto de estudo por parte do físico e matemático francês Denis Siméon Poisson (1781-1840), em seu livro intitulado **Formules Relatives aux Effects du Tir du Canon sur les Differentes Parties de son Affût** (“Fórmulas Relativas aos Efeitos do Tiro de Canhão sobre as Diferentes Posições de seu Chassis”), publicado em 1826. Neste livro, ele calculou o efeito da rotação de nosso planeta sobre as balas de canhão atiradas no ar. Segundo Poisson, essas balas sofreriam um pequeno desvio (de difícil observação) para o lado enquanto a Terra girava por baixo delas. Afirmou ainda que o movimento dos pêndulos seria afetado pela rotação terrestre. .

Um dos primeiros físicos que tentou medir a rotação da Terra, usando o movimento dos pêndulos, foi o francês Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868). Com efeito, em janeiro de 1851, ele suspendeu um pêndulo na abóbada de sua casa usando um arame fino com 1,98 m de comprimento e um peso de 4,98 kg, e começou a observar que o plano do pêndulo virava-se acompanhando o movimento diário da esfera celeste. Para comprovar essa observação, ele colocou um pequeno pino no chão e que tocava a extremidade do pêndulo. Ao considerar essa situação, observou que em menos de um minuto o pêndulo já havia se deslocado para a esquerda do observador. Assim, Foucault concluiu, em trabalhos publicados ainda em 1851 (*Journal des Débats*, 31 de março; *Journal of the Franklin Institute*, p. 350, maio), que a cada movimento do pêndulo – o hoje conhecido **pêndulo de Foucault** – seu plano de oscilação se desviava de certo ângulo $\Delta\phi$ para cada intervalo de tempo Δt . Com isso, era possível calcular a velocidade angular da Terra, por intermédio da expressão: $\omega = \Delta\phi / \Delta t$.

Quando as experimentações de Foucault, realizadas em 1851, chegaram ao conhecimento do Imperador francês Charles Louis Napoleão Bonaparte (Napoleão III) (1808-1873), este pediu que Foucault organizasse uma demonstração pública no *Panthéon (Les Invalides)*, em Paris, de latitude $\sim 49^\circ\text{N}$. Com a ajuda de seus assistentes, Foucault pendurou na cúpula desse prédio um fio (com diâmetro menor do que 1,5 mm) de aço, comprimento em torno 67 m e de um peso (aproximadamente 30 kg) feito de uma bala de canhão com um estilete na extremidade. Ele tomou o cuidado de colocar areia fina no piso abaixo da cúpula para que o estilete registrasse o movimento do plano do pêndulo. Assim, ele encontrou o valor para a rotação da Terra com um pouco mais de 11 graus por hora.

Encantado com esse resultado, Napoleão III nomeou-o físico do *Observatório de Paris*. Para maiores detalhes dessa experiência de Foucault, ver: Robert P. Crease, **Os Dez Mais Belos Experimentos Científicos** (Jorge Zahar Editor, 2006).

Sobre as tabelas construídas pelos artilheiros e baseadas no livro de Poisson, é oportuno registrar o seguinte fato curioso que aconteceu na *Primeira Guerra Mundial* (1914-1918), narrado pelo físico norte-americano Horace Richard Crane (1907-2007), em 1990 (*The Physics Teacher*, p. 264, maio), e reproduzido por Crease, op. cit.:

Na Primeira Guerra Mundial, durante as operações navais perto das ilhas Malvinas, os artilheiros britânicos ficaram surpresos ao ver que seus disparos caíam à esquerda dos navios alemães. Eles haviam seguido as tabelas (de correção de alvo) preparadas segundo a fórmula de Poisson, mas não se lembraram de mudar os sinais das correções, a fim de torná-las válidas para o hemisfério sul.

O entendimento desse erro pode ser visto na expressão da **Lei de Newton-Coriolis** anotada acima, uma vez que para o hemisfério norte, o vetor \vec{r} tem um sentido e no hemisfério sul, seu sentido é simétrico, ocasionando a troca de sinal. Um estudo completo da Dinâmica de sistemas girantes, principalmente o **pêndulo de Foucault**, encontra-se em: Keith R. Symon, **Mechanics** (Addison Wesley Publishing Company, Inc., 1961).



ANTERIOR

SEGUINTE