



## SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



### Efeito Gravitomagnético ou Efeito Relógio.

Em 1687, o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) publicou seu famoso livro intitulado *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”) no qual apresentou a sua célebre *Lei da Gravitação Universal*: “A Gravidade ... opera... proporcionalmente à quantidade de matéria... e propaga sua virtude para todos os lados a distâncias imensas, decrescendo sempre com o inverso do quadrado da distância”. Por sua vez, em 1785, o físico francês Charles Augustin Coulomb (1736-1806) demonstrou que: “A força de atração ou repulsão entre duas cargas elétricas é diretamente proporcional ao produto de suas quantidades de cargas elétricas, inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa seus centros, e se situa na mesma direção da reta que une seus centros”.

Essa similaridade formal entre as leis de Newton e de Coulomb levou a uma descrição da Teoria da Gravitação Newtoniana em termos de um campo gravitoeletrônico. Contudo, o desenvolvimento do eletromagnetismo ocorrido no século XIX suscitou uma nova descrição dessa Teoria, dessa vez envolvendo o magnetismo, e que foi apresentada pelos físicos, o alemão G. Holzmüller, em 1870 (*Zeitschrift für Mathematik und Physik* 15, p. 69) e o francês François Félix Tisserand (1845-1896), em 1872 (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 75, p. 760). Assim, eles postularam a existência de um campo gravitomagnético solar. É oportuno registrar que Bahran Mashoon, Frank Gonwald e Herbert I. M. Lichtenegger, em 1999 ([arxiv.org/abs/gr-qc/9912027](https://arxiv.org/abs/gr-qc/9912027)) e em 2001 (*Lectures Notes in Physics* 562, p. 83), usaram esse tipo de campo para explicar a anomalia da precessão do periélio do planeta Mercúrio, anomalia essa observada pelo astrônomo francês Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877). Registre-se que, em 12 de setembro de 1859, Le Verrier submeteu à *Academia Francesa de Ciência* o texto de uma carta que escrevera ao astrônomo francês Hervé Faye (1814-1902) na qual dizia haver encontrado que o periélio (ponto mais próximo do Sol) de Mercúrio avançava 38” a mais por século do que o previsto pela gravitação Newtoniana, e cuja razão para tal anomalia era ainda desconhecida. Em vista disso, Le Verrier achava que a mesma decorria da existência de um planeta entre o Sol e Mercúrio chamando-o de *Vulcano*.

O sucesso da explicação da anomalia referida acima pelo físico germano norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921) usando a sua Teoria da Relatividade Geral formulada em 1915 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* 2, pgs. 778; 799; 831; 844) (vide verbete nesta série), sugeriu aos austríacos, o matemático Josef Lense (1890-1985) e o físico Hans Thirring (1888-1976), em 1918 (*Physikalische Zeitschrift* 19, p. 156), a idéia de que essa Teoria também poderia explicar um *efeito gravitomagnético*, qual seja, a precessão de um giroscópio fixo no interior de um corpo esférico massivo girante semelhante ao nosso planeta Terra. Essa precessão ficou conhecida como efeito Lense-Thirring (EL-T).

Possivelmente, a dificuldade de observar (e que ainda até hoje permanece) o EL-T fez com que o gravitomagnetismo só voltasse a ser objeto de estudo na década de 1950, quando um completo tratamento relativístico dele foi então realizado. Nesse tratamento, os componentes gravitoeletrônico e gravitomagnético do tensor curvatura foram comparados com a força Lorentziana. Contudo, a diferença de caráter spinorial dos campos gravitacional (spin 2) e eletromagnético (spin 1) levou o Mashoon a analisar como o gravitomagnetismo afeta a estrutura espaço-temporal na Relatividade Geral Einsteiniana. Assim, dentre os vários aspectos dessa análise, Mashoon, Gronwald e Lichtenegger, nos trabalhos referidos acima, estudaram o efeito gravitomagnético sobre giroscópios e, também, sobre partículas puntiformes que se movem numa mesma órbita geodésica equatorial circular, mas em sentidos opostos, em torno de uma massa central girante.

Contudo, o efeito gravitomagnético referido acima, sobre relógios padrões em órbita em torno de um corpo astronômico girante, mais tarde conhecido como efeito relógio (ER), só começou a ser investigado por Mashoon, com a colaboração de Jeffrey M. Cohen, em 1993 (*Physics Letters A* 181, p. 353). No citado artigo de 1999,

Mashhoon, Gronwald e Lichtenegger mostraram, em detalhe, a diferença nos períodos próprios de relógios padrões deslocando-se em torno de um corpo girante, em órbitas geodésicas equatoriais circulares e em sentidos contrários, diferença essa dada por:  $\tau_+ - \tau_- \approx 4\pi a/c$ , onde  $\tau_+$  e  $\tau_-$  indicam, respectivamente, o período do movimento no sentido do corpo girante (“prograde”) e em sentido contrário (“retrograde”),  $a = J/(Mc)$ , sendo J e M, respectivamente, o momento angular e a massa da fonte girante, responsável pelo efeito gravitomagnético.<sup>139</sup> Registre-se que a diferença expressa pela expressão acima é relativa a um observador para o qual  $r \gg 2GM/c^2$ , onde G é a *constante gravitacional de Newton-Cavendish* (vide verbete nesta série). É oportuno destacar que, para o caso de a massa girante ser o planeta Terra, teremos:  $\tau_+ - \tau_- \approx 2,327 \times 10^{-7} s$ , conforme se pode ver em: B. Mashhoon, F. W. Hehl, F. Gronwald e D. S. Theiss [*Annalen der Physik* 8, p. 135 (1999)]; e A. A. Sousa e J. Maluf [*General Relativity and Gravitation* 36, p. 967 (2004)].

Ver mais sobre o ER em:

[www.missouri.edu/~physwww/people/BahramMashhoon.html](http://www.missouri.edu/~physwww/people/BahramMashhoon.html).



ANTERIOR

SEGUINTE