



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

Efeito Kaluza-Harress-von Laue-Sagnac e o Monitoramento Aéreo Espacial: RLG e GPS.

Segundo vimos em verbete desta série, em 1881, o físico germano-norte-americano Albert Abraham Michelson (1852-1931; PNF, 1907) inventou o **interferômetro** com o objetivo de testar a existência do éter luminífero cartesiano. Nesse aparelho, um raio de luz é dividido em dois (r_1 , r_2) quando incide sobre uma lâmina de vidro P, cuja face posterior é coberta por uma camada fina de prata (Ag). O raio r_1 é refletido pela superfície de prata e dirige-se para um espelho M_1 colocado a uma distância d de P; o raio r_2 atravessa P e atinge o espelho M_2 colocado à mesma distância d de P. Após a reflexão de r_1 em M_1 esse raio percorre a mesma distância d até a placa P; uma parte dele reflete e a outra atravessa P dirigindo-se para um telescópio manipulado por um observador O. Por sua vez, o raio r_2 após refletir-se em M_2 percorre a mesma distância d até a placa P; uma parte dele reflete e a outra atravessa P dirigindo-se para o telescópio do observador O. Michelson acreditava que, quando esses dois raios chegassem nesse telescópio, haveria um deslocamento das franjas de interferência, quando o interferômetro sofresse uma rotação. Esse deslocamento decorria da diferença de tempo percorrida pela luz nos dois braços iguais do interferômetro, diferença essa calculada usando-se a lei de composição de velocidades galileana, paradigma, até então, da Física. Contudo, ele observou apenas um minúsculo deslocamento, indicando ser a presença do éter luminífero cartesiano incompatível com aquela lei. Registre-se que, em 1887, Michelson, juntamente com o químico norte-americano Edward William Morley (1838-1923), realizou a célebre experiência de Michelson-Morley, na qual confirmaram o resultado obtido por Michelson, em 1881.

Em 1899 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **129**, p. 758; 818) e 1900 (*Journal de Physique* **9**, p. 177), o físico francês Georges M. M. Sagnac (1869-1928) descreveu experiências que realizara sobre a propagação da luz através da matéria, baseadas na ideia de um **éter estacionário** com a mesma elasticidade e densidade em qualquer lugar. Tendo em mente a ideia de um éter imóvel, Sagnac idealizou e construiu um **interferômetro de rotação** em que todos os seus componentes – espelhos, fontes de luz e chapa fotográfica – situavam-se em um disco que podia ser girado em várias velocidades. Desse modo, a luz viajava em torno desse disco e ao longo de um circuito poligonal determinado por sucessivas reflexões em quatro espelhos colocados sobre o perímetro do disco. Assim, a luz proveniente da fonte é dividida em dois feixes que viajam em torno do disco em direções opostas e, ao se combinarem na chapa fotográfica, produzem figuras de interferência pela ação do *vento etéreo*, efeito esse denominado por ele de **efeito turbilhonar óptico** (*effet tourbillonnaire optique*). A construção desse **interferômetro** e as experiências que realizou com esse instrumento óptico foram descritas por Sagnac em artigos publicados em 1910 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **150**, p. 1302) e 1911 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **152**, p. 310). É importante destacar que essas experiências de rotação, envolvendo discos girantes e raios luminosos, foram concebidas pelo físico inglês Sir Oliver Joseph Lodge (1851-1940), em 1893 (*Philosophical Transactions of Royal Society of London* **A184**, p. 727) e em 1897 (*Philosophical Transactions of Royal Society of London* **A189**, p. 149), para estudar a interferência entre dois raios de luz viajando em sentidos opostos, no espaço entre um par de discos de aços girantes e paralelos. Com essa experiência, Lodge mostrou que o éter não era transportado, embora o físico francês Augustin Jean Fresnel (1788-1827), em 1821

(*Annales de Chimie* **17**, p. 180), haja demonstrado que o éter era parcialmente arrastado em sua famosa explicação da dispersão da luz (vide verbete nesta série).

Contudo, em 1913, Sagnac fez uma observação surpreendente com o equipamento que inventara, ou seja, observou que, quando a direção da rotação era revertida, havia um deslocamento (z) nas franjas de interferência de seu interferômetro, dado pela expressão: $z = 4\omega S/(\lambda V_0)$, onde ω é a velocidade angular do interferômetro, S é a área compreendida entre os caminhos da luz de comprimento de onda λ , e V_0 , segundo Sagnac, é a velocidade constante da luz no **éter lorentziano**. [A demonstração da expressão acima, por intermédio da TRG, pode ser vista em: Lev Davidovich Landau et Evgeny Mikhailovich Lifschitz, **Théorie du Champ** (Éditions de la Paix, s/d)]. Essa observação, que foi publicada, ainda em 1913 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **157**, p. 708; 1410) e, depois, em 1914 (*Journal de Physique Théorique et Appliquée* **4**, p. 177). Note que esse resultado contradizia a Teoria da Relatividade Restrita. Registre que essa observação, que passou a ser conhecida como **Efeito Sagnac** (ES), já havia sido constatada por F. Harress, em 1911, e sua previsão teórica, no vácuo, foi apresentada, ainda em 1911 (*Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München*, p. 404) [e, posteriormente, em 1920 (*Annalen der Physik* **62**, p. 448)], pelo físico alemão Max Theodor Felix von Laue (1879-1960; PNF, 1914), previsão essa que era consistente, quer com a Teoria Lorentziana do éter luminífero estacionário (**éter lorentziano**), quer com a TRR. Antes, em 1910 (*Physikalische Zeitschrift* **11**, p. 977), o matemático e linguista alemão Theodor Kaluza (1885-1955) demonstrou o ES no espaço tetra-dimensional minkowskiano. [Sigalia Dostrovsky, **IN: Dictionary of Scientific Biography** (Charles Scribner's, 1981); Roberto Lalli, **The Sagnac Effect: An Historical Study of Its Discovery and Its Earlier Interpretation**, *Istituto di Fisica Generale Applicata, Università degli Studi di Milano* (Itália, 2008)].

Como Sagnac não encontrou muito apoio sobre a existência do éter previsto em sua experiência de 1913, começou então a escrever uma série de artigos (envolvendo aspectos teóricos e experimentais) para confirmar essa sua previsão. Com efeito, em 1919 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **169**, p. 529; 643; 783; 1027), 1920 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **170**, p. 800; 1239; **171**, p. 99) e 1923 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **176**, p. 161), desenvolveu sua Teoria Mecânica do Éter que refutava as Teorias da Relatividade Einsteinianas: Especial ou Restrita (TRE/TRR) (1905) e Geral (TRG) (1915) (vide verbetes nesta série sobre essas Teorias), artigos esses que foram aceitos pelos anti-relativistas e criticados pelos relativistas. Por exemplo, em 1921, os físicos franceses, Paul Painlevé (1863-1933) (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **173**, p. 677) mostrou que a TRG não explicava o ES, enquanto Paul Langevin (1876-1946) (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **173**, p. 831) demonstrou o ES usando a TRG. Mais detalhes sobre o ES, ver: Lalli, op. cit.; <http://www.ldolphin.org/sagnac.html>.

Mesmo depois da morte de Sagnac, em 1928, a polêmica entre os anti e os pró-relativistas sobre a explicação do ES continuou, porém, com menos intensidade. Por exemplo, em 1937 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **204**, p. 1322; 1925), 1939 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **208**, p. 988) e 1942 (*Journal de Physique et le Radium* **3**, p. 153), os físicos franceses A. Dufour e F. Prunier realizaram experiências nas quais confirmaram o ES, efeito esse que, conforme vimos acima, refuta a TRE(R).

A invenção do **laser**, em 1960 (vide verbete nesta série), deu ensejo aos físicos norte-americanos Warren M. Macek e D. T. M. Davis Junior, em 1963 (*Applied Physics Letters* **2**, p. 67), construírem o **Ring Laser Gyroscope** (RLG) ("Anel Giroscópico a Laser") que tem como princípio o ES. A partir da década de 1970, o RLG passou a ser usado na **navegação aeroespacial**. Observe que, hoje, essa navegação é auxiliada pelo **Sistema de Posicionamento Global**, o famoso GPS (*Global Positioning System*), idealizado inicialmente pelos Estados Unidos, em 1973, com finalidades militares, em virtude da *Guerra Fria*, em consequência do lançamento do satélite *Sputnik*, em 1957, pela então União Soviética. O GPS consiste de um conjunto de 28 satélites ("espelhos") sendo 4 sobressalentes em 6 planos orbitais. Esses satélites, construídos pela *Rockwell*, foram lançados entre fevereiro de 1978 e

novembro de 2004. Cada um deles circula a Terra duas vezes por dia, numa altitude de 20.200 km e a uma velocidade de 11.265 km/h. Mais detalhes, ver os *sites* da wikipedia.org/wiki, sobre RLG e GPS, e o artigo de James H. Sharp, **Laser Gyroscopes** (*Google*, acesso em 02 de dezembro de 2010).

Concluindo este verbete é interessante anotar que a observação do ES em um **interferômetro de nêutron**, em 1993 (*Science* **262**, p. 1384), pelo físico austríaco Helmut Rauch (n.1939), esse efeito voltou a ser objeto de polêmica, pois, segundo vimos neste trabalho, ele refuta as Teorias Relativistas. Assim, o físico italiano Franco Selleri (n.1936), em uma série de artigos escritos, em 1996 (*Foundations of Physics* **26**, p. 641); em 1997 [*Foundations of Physics Letters* **10**, p. 17 (com F. Goy)]; *IN*: M. Ferrero and A. Van der Merwe (Editors), **Fundamental of Theories of Physics v.81**, p. 381 (Kluwer Academic Publishers)]; e em 2004 [*IN*: G. Rizzi and M. L. Ruggiero (Editors), **Fundamental of Theories of Physics v.135**, p. 57 (Kluwer Academic Publishers)], mostrou que o ES é um paradoxo na TRR e, para resolvê-lo, descartou a simultaneidade (sincronização) relativa einsteiniana e considerou que a simultaneidade é absoluta (**sincronização de Selleri**), o que resulta em uma espécie de espaço absoluto ou **éter lorentziano**. Por sua vez, o físico francês Jean Vigier (1920-2004), em 1997 (*Physics Letters* **A234**, p. 75), resolveu o paradoxo referido acima sugerindo que o fóton tinha massa e, portanto, o ES poderia ser deduzido da TRG. Assim, com esse argumento, mostrou que existe um referencial inercial privilegiado e, portanto, uma espécie de **éter espacial** (Lalli, op. cit.).



ANTERIOR

SEGUINTE