



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br



Magnetohidrodinâmica, Antiferromagnetismo, Ferrimagnetismo, e o Prêmio Nobel de Física (PNF) de 1970.

Em 1970, o PNF foi concedido aos físicos, o sueco Hannes Olof Gosta Alfvén (1908-1995) e o francês Louis Eugène Félix Néel (1904-2000). Alfvén, por suas descobertas na **Magnetohidrodinâmica**, e Néel por suas descobertas no **magnetismo**, particularmente, o **antiferromagnetismo** e o **ferrimagnetismo**.

Vejam, inicialmente, os trabalhos de Alfvén. Em 1934, ele defendeu a Tese de Doutorado em Física na *Universidade de Uppsala*, que tratava sobre a investigação de ondas eletromagnéticas ultra-curtas. Como professor dessa Universidade, Alfvén publicou um artigo, em 1937 (*Arkiv für Matematik Astronomie och Fysik, Stockolm 25B*, no. 29), no qual argumentou que se um **plasma** (gases eletricamente carregados) permeia o espaço, ele poderia carregar correntes elétricas capazes de criar um campo magnético galáctico. Com esse trabalho, ele iniciou uma nova disciplina que mais tarde seria chamada de **Magnetohidrodinâmica** (MHD). Prosseguindo com seu argumento, em 1939 e 1940 (*Kungliga Svenska Vetenskakademiens Handlingar 18*, nos. 3 e 9), Alfvén apresentou a sua teoria sobre tempestades magnéticas e aurora boreal. Em 1945 (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 105*, p. 3; 382), ao estudar as manchas solares, analisou o comportamento do **plasma** em campos magnéticos, ocasião em que descobriu a forma que uma onda de choque eletromagnética adquire ao se propagar em um **plasma**, onda essa conhecida desde então como **onda de Alfvén**. Mais tarde, em 1950 (*Physical Review 78*, p. 616), Alfvén e o meteorologista norueguês Nicolai Herlofson sugeriram que a emissão de rádio de nossa Galáxia – a *Via Láctea* (VL) – é devida a uma radiação de sincrotron (sobre esse tipo de radiação, ver verbete nesta série) de elétrons ultra-relativísticos girando no campo magnético de nossa VL. Registre-se que essa sugestão foi trabalhada teoricamente por K. O. Kippenhauer, ainda em 1950 (*Physical Review 79*, p. 739). Foi também em 1950 que Alfvén reuniu seus trabalhos sobre a MHD no livro intitulado **Cosmical Electrodynamics: Fundamental Principles**, publicado pela Clarendon Press. Este livro teve uma segunda edição, em 1963 e ainda pela Clarendon, porém, desta vez, Alfvén teve a colaboração do físico sueco Carl-Gunne Fälthammar (n.1931). Nessa nova edição eles reforçaram a tese de que, em grandes escalas, a força eletromagnética e a de gravitação se equivalem em importância. Observe-se que Alfvén, em 1956, escreveu um trabalho monográfico no qual discutiu a origem do sistema solar.

Dificuldades com a formação de partículas em decorrência do Modelo (Teoria) do Big-Bang (vide verbete nesta série), levaram Alfvén e o físico sueco Oskar Benjamin Klein (1894-1977) em 1962 (*Arkiv für Matematik Astronomie och Fysik, Stockolm 23*, p. 187), a apresentarem um modelo de formação do Universo considerando a simetria bariônica, ou seja, que o Universo era constituído de quantidades iguais de matéria e de antimatéria. Essa simetria foi desenvolvida por Alfvén no livro intitulado **Worlds-Antiworlds: Antimatter in Cosmology**, publicado em 1966, pela Freeman. Note que essa simetria foi também desenvolvida por Klein, em 1971 (*Science 171*, p. 339), da qual decorreu o **modelo Alfvén-Klein**.

É interessante destacar que Alfvén escreveu vários livros de divulgação científica, alguns com a colaboração de sua mulher Kerstin Maria Erikson (1910-1992). Em 1968, com o pseudônimo de Olof Johannesson, escreveu uma sátira político-científica intitulada **The Great Computer: A Vision**, publicada pela Gollancz. [Robert L. Weber, **Pioneers of Science: Nobel Prize Winners in Physics** (The Institute of Physics Press, 1980)]

Até se aposentar, em 1991, como professor da *Universidade da Califórnia*, em San Diego, e do *Instituto Real de Tecnologia*, em Estocolmo, Alfvén continuou trabalhando com sua ideia polêmica do modelo cosmológico: **Plasma Cosmology**, conforme se pode ver, por exemplo, em sua **Nobel Lecture** (11 de Dezembro de 1970) e nos trabalhos críticos desse seu modelo registrados nos seguintes sites: en.wikipedia.org/wiki/Plasma_Cosmology/Hannes_Alfvén.

Agora, vejamos as descobertas de Néel que o levaram a receber o PNF. Conforme vimos em verbete desta série, em 1929 (*Proceedings of the Royal Society of London A123*, p. 714), o físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933) obteve a hoje célebre *hamiltoniana do ferromagnetismo*:

$$H_{\text{ferro}} = \sum J_{ij} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j,$$

onde J_{ij} é a *matriz integral de troca* e $\vec{S}_{i(j)}$ é o operador de spin total do átomo $i(j)$ da rede. Por sua vez, em 1931 (*Zeitschrift für Physik* 71, p. 205), o físico germano-norte-americano Hans Albrecht Bethe (1906-2005; PNF, 1967) analisou o caso de uma cadeia unidimensional de spins com interação de troca J , positiva, como no caso do *ferromagnetismo de Heisenberg* (vide verbete nesta série), ou negativa no caso “normal”, relevante para o processo de coesão de elétrons. Nesse trabalho, Bethe calculou a função de onda de estados com um número arbitrário de spins opostos. Esse cálculo (embora incompleto em muitos aspectos, pois não considerava, por exemplo, o caso de $J < 0$), é notável já que ele é considerado a primeira solução exata de um sistema quântico de muitos-corpos em interação.

A solução correspondente a $J < 0$ foi encontrada por Néel, em 1932 (*Annales de Physique* 17, p. 64), ao formular um modelo de uma estrutura magnética para a qual os spins nas redes são arranjados, de um modo paralelo e antiparalelo, alternadamente, de maneira que o campo magnético resultante é nulo. Néel demonstrou ainda que esse estado – denominado por ele de *antiferromagnetismo* – desaparece acima de uma determinada temperatura, conhecida desde então como *temperatura de Néel*: $T_N = \mu C$, onde C , para o caso da aproximação de campo médio, se refere a uma subrede simples. Mais tarde, em 1936 (*Annales de Physique* 5, p. 232), Néel demonstrou que a anomalia do calor específico próximo de 350^0 C, apresentada pelo manganês (Mn), sugeria que esse metal poderia ser *antiferromagnético*. Em 1948 (*Annales de Physique* 3; 206, p. 137; 49), Néel descobriu um outro estado magnético – o *ferrimagnetismo*, como o chamou – no qual os spins nas redes são alinhados paralela e antiparalelamente, porém suas intensidades não são iguais, produzindo, dessa forma, um campo magnético resultante. Aos materiais que apresentam tal propriedade, chamou-os de *ferrites*. Note que a fórmula química usual de um *ferrite* é: $MO.Fe_3O_3$, onde o cátion divalente M pode ser um dos elementos químicos: zinco (Zn), cádmio (Cd), ferro (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), cobalto (Co) ou magnésio (Mg). Os *ferrites* são cristais que têm pequena condutividade elétrica comparada aos materiais *ferromagnéticos*, razão pela qual eles são usados em situações envolvendo altas frequências, porque esses materiais são imunes a correntes elétricas de fuga (“stray currents”). [Robert Martin Eisberg and Robert Resnick, *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles* (John Wiley and Sons, 1974); Louis Eugène Félix Néel, *Magnetism and the Local Molecular Field* (*Lecture Nobel*, 11 de Dezembro de 1970)].



ANTERIOR

SEGUINTE