



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



A Classificação e a Nomenclatura das Partículas Elementares.

Hoje, as Partículas Elementares se classificam em **portadoras (“carriers”) de força (interação)** e em **portadoras da matéria**. Dentro dessa classificação, elas pertencem a dois grupos distintos com relação ao seu spin: **fermiônicas** [com spin semi-inteiro e que satisfazem a **Estatística de Fermi-Dirac**; destaque-se que o nome **férmion** foi cunhado pelo físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933), em 1947] e **bosônicas** [com spin inteiro e que satisfazem a **Estatística de Bose-Einstein**; esse nome foi dado para homenagear o físico indiano Satyendra Nath Bose (1894-1974)]. Sobre essas Estatísticas, ver verbete nesta série. É oportuno registrar que existe um terceiro grupo, ainda em estudo, que são as **gentiliônicas**, previstas pelos físicos brasileiros Mauro Sérgio Dorsa Cattani (n.1942) e Normando Celso Fernandes (n.1936), em 1982 (*Revista Brasileira de Física*.**12**, p. 585), e que satisfazem a **Estatística de Gentile**, proposta pelo físico italiano Giovani Gentile Junior, em 1940 (*Nuovo Cimento* **1**, p. 493 (1940)). Neste verbete, vamos definir essas classificações e ver como elas foram nomeadas. Para isso, usaremos os seguintes textos: Sheldon Lee Glashow and Ben(jamin) William Bova, **Interactions: A Journey Through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World** (Warner Books, 1989); Glashow, **The Charm of Physics** (Touchstone Book, 1991); Leon Max Lederman and Dick Teresi, **The God Particle** (Delta Book, 1994); Murray Gell-Mann, **The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex** (W. H. Freeman and Company, 1994); Abraham Pais, **Inward Bound of Matter and Forces in the Physical World** (Clarendon Press and Oxford University Press, 1995); John Gribbin, **Q is for Quantum: An Encyclopaedia of Particle Physics** (Touchstone Book, 1999); Martinus Justinus Godefridus Veltman, **Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics** (World Scientific, 2003); Maria Cristina Batoni Abdalla, **O Discreto Charme das Partículas Elementares** (EDUNESP, 2006); Roberto Aureliano Salmeron, **Challenges of 21st Century Physics** (Mimeo, 2008); e José Maria Filardo Bassalo e Mauro Sérgio Dorsa Cattani, **Teoria de Grupos para Físicos** (Livraria da Física, 2008).

Em verbete desta série, estudamos as forças (interações) que existem na Natureza e sua tentativa de unificá-las. Tais forças são em número de quatro - **gravitacional, eletromagnética, fraca e forte** – com as intensidades respectivas dadas por: 10^{-39} : $1/137$: 10^{-6} : 1. Elas são mediadas (intermediadas), respectivamente, por uma **partícula elementar bosônica: gráviton (G)**, ainda não detectada, de carga e massa nulas, e de spin dois; **fóton (γ)**, de carga e massa nulas, e de spin um; **W^{\pm} e Z^0** , de massas, respectivamente, (**$80,423 \pm 0,039$**) e (**$91,187 \pm 0,002$**) GeV/c^2 (registre-se que: $1 \text{ GeV} = 10^3 \text{ MeV} = 10^9 \text{ eV}$), e de spin 1; e **glúon (g)**, em número de 8, com carga de “cor” e massa nula, e de spin 1. Por sua vez, a **força eletrofraca**, unificação das forças eletromagnética e fraca, é mediada pela partícula **bosônica Higgs (H)**, ainda não detectada, de carga nula e massa provável entre 92 e 114 GeV/c^2 , e de spin nulo.

O **fóton (γ)** (do grego **photo**, que significa “luz”) foi cunhado, em 1926 (*Nature* **118**, p. 874), pelo químico norte-americano Gilbert Newton Lewis (1875-1946). As partículas **W^{\pm}** receberam essa denominação por parte dos físicos sino-norte-americanos Tsung-Dao Lee (n.1926; PNF, 1957) e Chen Ning Yang (n.1922; PNF, 1957), e a **Z^0** , recebeu essa notação por parte do físico norte-americano Steven Weinberg (n.1933; PNF, 1979). O **glúon** (do inglês **glue**, que significa “cola”) é

uma partícula que mantêm os **quarks** [que são partículas **fermiônicas**, em número de seis, conhecidas como **sabores** (“flavours”), e existem três tipos (“cores”) de cada **quark**: **red** (r) (“vermelho”); **blue** (b) (“azul”); **green** (g) (“verde”);] juntos, e sua existência foi proposta pela Teoria Cromodinâmica, formulada pelos físicos norte-americanos David Jonathan Gross (n.1941; PNF, 2004) e Frank Anthony Wilczek (n.1951; PNF, 2004) e, independentemente, Hugh David Politzer (n.1949; PNF, 2004), em 1973 (vide verbete nesta série). É oportuno destacar que, embora os **glúons**, assim como os **quarks**, não existam livremente, **jatos de glúons** foram observados, em 1981, na Alemanha, e em 1982 (*Physics Letters B* **118**, p. 203), por uma equipe de 54 físicos, da *UA2 Collaboration*, usando o *Superproton Synchrotron* (SPS) do *Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire* (CERN). Note-se que o nome **quark** foi batizado pelo físico norte-americano Murray Gell-Mann (n.1929; PNF, 1969), em 1964, para homenagear o escritor irlandês James Augustine Aloysius Joyce (1882-1941), que escreveu em seu livro intitulado **Finnegan’s Wake** (Faber & Faber / UK, 1939), a seguinte estrofe: *Three quarks for Master Mark*. Por fim, o termo **Higgs** decorre do nome do físico inglês Peter Ware Higgs (n.1929) que, em 1964, formulou o hoje conhecido **mecanismo de Higgs**, segundo o qual as partículas W^\pm e Z^0 adquirem massa pela “quebra espontânea da simetria ‘gauge’” que essas partículas, juntamente com a partícula ν , estão sujeitas, conforme a Teoria Eletrofraca (vide verbete nesta série).

As partículas **portadoras da matéria** se classificam em dois tipos: **hádrons** e **léptons**. Os **hádrons** (do grego **adros**, que significa “grosso e volumoso”), nome cunhado pelo físico russo Lev Borisovich Okun (n.1929), em 1962 (*Proceedings of the Internacional Conference on High Energy Physics 1962*, CERN, p. 845), são partículas que sofrem os quatro tipos de força (interação) e são de dois tipos: **bárions** e **mésons**. Os **bárions** (do grego **barys**, que significa “pesado”), cujo nome foi cunhado pelo físico e historiador da ciência, o holandês-norte-americano Abraham Pais (1918-2000), em 1954 (*Proceedings of the Internacional Conference on Theoretical Physics 1954*, Kyoto, p. 157), são **férmions** formados por três **quarks** e se classificam em duas categorias: **núcleons** e **hyperons**. O termo **núcleon** foi introduzido em 1941 (*Köngelige Danske Videnskab Selskab Matematisk-Fysiske Meddelanden* **18**, p. 3), pelo físico dinamarquês Christian Möller (1904-1980) para representar as partículas constituintes do **núcleo atômico**, ou seja: **prótons** e **nêutrons**. É oportuno destacar que o **núcleo** (do latim **nucleus**, que significa “parte interna”), foi descoberto pelo físico neozelandês Sir Ernest Rutherford – Barão Rutherford (1871-1937; PNQ, 1908), em 1911; o **próton** (do grego **protos**, que significa “primeiro”), foi também descoberto por Rutherford, em 1919, e quem, aliás, deu esse nome, em 1920; e o **nêutron** (nome inventado por Rutherford, em 1921), foi descoberto pelo físico inglês Sir James Chadwick (1891-1974; PNF, 1935), em 1932. Os **hyperons** (do grego **iper**, que significa “super”, “acima” ou “além de”), termo introduzido pelo físico francês Louis Leprince-Ringuet (1901-2000), em 1953 (*Annual Review of Nuclear Science* **3**, p. 39), representam as partículas com massa intermediária entre **núcleons** e **píons** (sobre estes, ver verbete nesta série). Por sua vez, os **mésons** (do grego **meso**, que significa “médio”) receberam essa denominação, em 1939, por parte do físico indiano Homi Jehangir Bhabha (1909-1966), são **bósons** e formados por um par **quark/antiquark**. Os **léptons** (do grego **leptos**, que significa “fino” ou “pequeno”) tiveram seu nome inicialmente cunhado por Möller e Pais, em 1946 e, independentemente, pelo físico belga Léon Rosenfeld (1904-1974), em 1948, para representar qualquer partícula de massa pequena como o **elétron** e o **neutrino**. Eles são em número de seis, são **férmions** e não sofrem interação (força) forte.

A seguir, apresentaremos uma relação de algumas Partículas Elementares (para a relação completa, consultar o site: www.aventuradasparticulas.ift.unesp.br, versão portuguesa atualizada do projeto educacional patrocinado pelo **Particle Data Group** do *Lawrence National Laboratory*, em Berkeley), com a seguinte seqüência: nome e/ou notação, estrutura quarkônica, massa (em MeV/c^2), carga (em função da carga do elétron – e), spin e data (previsão ou descoberta). É oportuno registrar que cada Partícula Elementar tem uma antipartícula correspondente (denotada com uma barra em cima da notação), com a mesma massa e spin, porém com a carga elétrica de sinal contrário.

QUARKS/ANTIQUARKS: up (u, \bar{u}) [4; $\pm 2e/3$; $1/2$; (p.1964)]; down (d, \bar{d}) [8; $\mp e/3$; $1/2$; (p.1964)];

strange (s, \bar{s}) [150; $\mp e/3; 1/2$; (p.1964)]; **charm** (c, \bar{c}) [1200; $\pm 2e/3; 1/2$; (p.1964; d.1974)]; **bottom** (b, \bar{b}) [4700; $\mp e/3; 1/2$; (p.1974; d.1977)]; e **top** (t, \bar{t}) [175000; $\pm 2e/3; 1/2$; (p.1974; d.1995)].

BÁRIONS/ANTIBÁRIONS: próton/antipróton ($p = uud; \bar{p} = \bar{u}\bar{u}\bar{d}$) [938,27; $\pm e; 1/2$; (d.1919; p.1928, d.1955)]; **nêutron/antinêutron** ($n = udd; \bar{n} = \bar{u}\bar{d}\bar{d}$) [939,56; 0; $1/2$; (d.1932; p.1928, d.1956)]; **Lambda-zero** ($\Lambda^0 = uds; \bar{\Lambda}^0 = \bar{u}\bar{d}\bar{s}$) [1115,7; 0; $1/2$; (d.1947)]; **Sigma-mais** ($\Sigma^+ = \bar{s}^- u u s$) [1189,4; + e; $1/2$; (d..1947)]; **Sigma-menos** ($\Sigma^- = \bar{s}^+ d d s$) [1197,4; - e; $1/2$; (d..1947)]; **Sigma-zero** ($\Sigma^0 = \bar{s}^0 = u d s$) [1192,6; + e; $1/2$; (d.1947)]; **Xi-zero/antiXi-zero** ($\Xi^0 = u s s; \bar{\Xi}^0 = \bar{u}\bar{s}\bar{s}$) [1315; 0; $1/2$; (d.1959; d.1960)]; **Xi-menos/antiXi-menos** ($\Xi^- = d s s; \bar{\Xi}^- = \bar{d}\bar{s}\bar{s}$) [1321; $\mp e; 1/2$; (d.1952; d.1960)]; **Delta-mais-mais** ($\Delta^{++} = u_u u_u u_s$) [1232; + 2 e; $3/2$; (d.1953)]; **Delta-mais** ($\Delta^+ = u u d$) [1232; + e; $3/2$; (d.1953)]; **Delta-zero** ($\Delta^0 = u d d$) [1232; 0; $3/2$; (d.1953)]; **Delta-menos** ($\Delta^- = d_d d_d s$) [1232; - e; $3/2$; (d.1953)]; **Sigma estrela-mais** ($\Sigma^{*+} = u u s$) [1383; + e; $3/2$; (d.1960)]; **Sigma estrela-menos** ($\Sigma^{*-} = d d s$) [1383; - e; $3/2$; (d.1960)]; **Sigma estrela-zero** ($\Sigma^{*0} = u d s$) [1383; 0; $3/2$; (d.1960)]; **Xi estrela-zero** ($\Xi^{*0} = u s s$) [1532; 0; $3/2$; (d.1962)]; **Xi estrela-menos** ($\Xi^{*-} = d s s$) [1532; - e; $3/2$; (d.1962)]; **Ômega-menos** ($\Omega^- = s_s s_s s_s$) [1672,5; - e; $3/2$; (p.1961, d.1964)]; **Lambda charmoso-mais** ($\Lambda_c^+ = u d c$) [2290; + e; $1/2$; (d.1975)]; **Xi charmoso-mais** ($\Xi_c^{*+} = u s c$) [2466; + e; $1/2$; (d.1983)].

MÉSONS/ANTIMÉSONS: píon-menos ($\pi^- = \bar{u} d = u \bar{d}$) [140; - e; 0; (d.1947)]; **píon-mais** ($\pi^+ = \bar{d} u = u \bar{d}$) [140; + e; 0; (d.1947)]; **píon-zero** ($\pi^0 = \bar{u} d = d \bar{u}$) [135; 0; 0; (d.1950)]; **káon-zero** ($K^0 = d \bar{s}$) [498; 0; 0; (d.1951)]; **káon-mais** ($K^+ = u \bar{s}$) [494; + e; 0; (d.1949)]; **káon-menos** ($K^- = \bar{u} s$) [498; - e; 0; (d.1949)]; **antikáon-zero** ($\bar{K}^0 = \bar{d} s$) [498; 0; 0; (d.1951)]; **eta-zero** ($\eta^0 = u \bar{u}$) [548; 0; 0; (p.1960, d.1961)]; **eta linha-zero** ($\eta'^0 = s \bar{s}$) [958; 0; 0; (d.1964)]; **rho-menos** ($\rho^- = \bar{u} d$) [770; - e; 1; (d.1961)]; **rho-mais** ($\rho^+ = u \bar{d}$) [770; + e; 1; (d.1961)]; **rho-zero** ($\rho^0 = d \bar{d}$) [770; 0; 1; (d.1961)]; **káon estrela-zero** ($K^{*0} = d \bar{s}$) [892; 0; 1; (p.1960, d.1962)]; **antikáon estrela-zero** ($\bar{K}^{*0} = \bar{d} s$) [892; 0; 1; (p.1960, d.1961)]; **káon estrela-mais** ($K^{*+} = u \bar{s}$) [892; + e; 1; (d.1961)]; **káon estrela-menos** ($K^{*-} = \bar{u} s$) [892; - e; 1; (d.1961)]; **ômega-zero** ($\omega^0 = u \bar{u}$) [782; 0; 1; (d.1963)]; **phi-zero** ($\phi^0 = s \bar{s}$) [1020; 0; 1; (d.1963)]; **psi/jota** ($\psi/J = c \bar{c}$) [3695; 0; 1; (p.1970; d.1974)]; **D-zero** ($D^0 = \bar{u} c$) [1865; 0; 0; (d.1975)]; **D-mais** ($D^+ = \bar{d} c$) [1865; + e; 0; (d.1976)]; **Úpsilon-zero** ($\Upsilon^0 = b \bar{b}$) [9500; 0; 0; (d.1977)]; **mésonB-zero** ($B^0 = \bar{b} d$) [5280; 0; 0; (d.1987)].

LÉPTONS/ANTILÉPTONS: elétron/pósitron ($e^-; e^+$) [0,51; $\mp e; 1/2$; (d.1897; p.1928, d.1932)]; **neutrino-eletrônico/antineutrino-eletrônico** ($\nu_e; \bar{\nu}_e$) [≈ 0 ; 0; $1/2$; (p.1931;d.1956)]; **múon-menos/múon-mais** ($\mu^-; \mu^+$) [107; $\mp e; 1/2$; (d.1936)]; **neutrino-muônico/antineutrino-muônico** ($\nu_\mu; \bar{\nu}_\mu$) [≈ 0 ; 0; $1/2$; (p. 1960, d.1962)]; **tau-menos/tau-mais** ($\tau^-; \tau^+$) [1777; $\mp e; 1/2$; (d.1975)]; e **neutrino-tauônico/antineutrino-tauônico** ($\nu_\tau; \bar{\nu}_\tau$) [≈ 0 ; 0; $1/2$; (d.2000)].

Na conclusão deste verbete, é oportuno falar sobre partículas que foram previstas e que até agora não foram descobertas. Neste verbete, já falamos de três delas: **grávitons**, **gentileons** (para mais detalhes sobre essas partículas, ver: Bassalo e Cattani, op. cit.) e **bósons de Higgs**. Agora, vejamos outras. Em verbete desta série, tratamos das partículas propostas que decorrem da Teoria da Supersimetria, desenvolvida em 1973, e segundo a qual cada partícula deverá possuir uma **supercompanheira** com propriedades idênticas, exceto no valor de seu spin, que vale o spin da partícula correspondente, subtraído de $1/2$. Assim, teríamos: **gravitino**, **fortino**, **wino-mais/menos**, **zino-zero**, **gluonino**, **squarks** e **sléptons**. Além dessas partículas, há previsões de outras. Vejamos quais são elas.

Nos verbetes em que tratamos da contribuição ao desenvolvimento da Física, realizada pelos

físicos brasileiros César (Cesare) Mansueto Giulio Lattes (1924-2005) e José Leite Lopes (1918-2006), vimos que esses dois físicos previram novos tipos de partículas elementares. Lattes, por exemplo, participando do *Projeto de Colaboração Brasil-Japão*, do qual fazia parte o físico japonês Shun-ichi Hasegawa, apresentou resultados experimentais (anos respectivos entre parênteses) sobre a evidência da existência das seguintes partículas: **mirim** (1963), **açu** (1967), **guaçu** (1971), **centauro** (1973), **mini-centauro** (1977), **geminion** (1978) e **chiron** (1981). Leite Lopes, por sua vez, propôs, em 1975 (*Revista Brasileira de Física* **5**, p. 37), que os **léptons** são formados pelos quatro **quarks** (u, d, s, c) e mais um “quinto quark” (ℓ), de carga nula e spin 1/2. Segundo Leite Lopes, os léptons massivos teriam as seguintes estruturas quarkônicas: $e = \bar{u} d \ell$; $\mu = \bar{u} s \ell$ e $\tau = \bar{c} d \ell$. Registre-se que antes, em 1973 (*Physical Review Letters* **31**, p. 661; *Physical Review* **D8**, p. 1240), os físicos, o indiano-norte-americano Jogesh C. Pati (n.1937) e paquistanês Abdus Salam (1926-1996; PNF, 1979), formularam a hipótese de que os **léptons** seriam formados de partículas de spin $\frac{1}{2}$, denominadas de **preons**. É ainda oportuno registrar que, em 1979 (*Physics Letters* **B86**, p. 83; 87), Haim Harari e Michael A. Shupe, em trabalhos independentes, propuseram que o elétron e seu neutrino associado, bem como os **quarks** u e d, são formados das partículas denominadas por eles de **rishons** (palavra hebraica, que significa “primeiro”), constituídas de dois tipos: T (de carga $-e/3$) e V (de carga nula), iniciais de **Tohu Vovohu** (palavras hebraicas que significam, respectivamente, “sem forma” e “vazio”). Segundo esses físicos, todas as Partículas Elementares seriam estados excitados das seguintes partículas fundamentais: $e^- = TTT$, $\nu_e = VVV$, $u = TTV$ e $d = TVV$. Por fim, em 1981 (*Physics Letters* **B102**, p. 319), H. Fritzsch e G. Mandelbaum apresentaram a idéia de que os **quarks**, os **léptons** e os **bósons** intermediários mediadores das interações (forças) seriam formados de partículas chamadas **haplons** (em grego, significa “simples”), de spin nulo ou $\frac{1}{2}$, cuja ligação seria feita pela força **hypercolor** e mediada pelo “quantum” **hyperglúon**.



ANTERIOR

SEGUINTE