



SEARA DA CIÊNCIA

CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



A Descoberta dos Léptons.

Em verbetes desta série, vimos que os **léptons** (nome cunhado em 1946) são Partículas Elementares de spin $\frac{1}{2}$, sensíveis às interações eletromagnética e fraca, obedecem à **Estatística de Fermi-Dirac** (1926) (portanto são **férmions**) e são em número de doze: seis partículas e seis respectivas antipartículas. Como naqueles verbetes falamos também da descoberta dessas partículas, neste verbete vamos destacar outros aspectos dessa descoberta. O primeiro **lépton** descoberto foi o **elétron** (e^-). Vejamos como aconteceu essa descoberta. O filósofo grego Tales de Mileto (624-546) fez, provavelmente, por volta de 600 a. C., a primeira observação sobre um fenômeno elétrico ao atritar um bastão de âmbar com um pedaço de lã e notar que ele atraía pequenos corpos, como por exemplo, pedacinhos de palha seca colocados à sua proximidade. Mais tarde, o botânico e filósofo grego Teofrasto de Ereso (c.372-c.287), em sua descrição sobre jóias, relacionou os nomes de alguns minérios que apresentavam o mesmo comportamento do âmbar quando atritados. Em 1600, o físico e médico inglês William Gilbert (1544-1603) publicou, em Londres, o tratado intitulado **De magnete magnetisque corporibus, et de magno magnete telluro**, composto de seis livros, nos quais reuniu suas observações sobre os fenômenos elétricos e magnéticos. Nessas observações, percebeu que o cristal de rocha, e também uma grande variedade de pedras preciosas, tinham o mesmo comportamento do âmbar, também quando friccionados, razão pela qual chamou de **elétricos** a esses corpos, pois em grego, âmbar significa **elektron**, que é o nome da ilha grega onde o âmbar era encontrado. O nome **elétron**, como unidade de eletricidade ganha ou perdida pelos corpos “eletrizados”, foi cunhado pelo astrônomo e físico anglo-escocês George Jonhstone Stoney (1826-1911), em 1894, em um artigo intitulado **Of the ‘Electron’ or Atom of Electricity**, publicado na *Philosophical Magazine* **38**, p. 418. Por fim, em 1897 e, em trabalhos independentes, do geofísico alemão Emil Johann Wiechert (1861-1928) (*Schriften der Physik.-Ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg*. **38**, p. 3), e dos físicos, o alemão Walther Kaufmann (1871-1947) (*Annalen der Physik und Chemie* **61**, p. 544) e o inglês Sir Joseph John Thomson (1856-1940; PNF, 1906) (*Philosophical Magazine* **44**, p. 295), o **elétron** foi descoberto. Para maiores detalhes sobre essa descoberta e as demais tratadas neste verbete, ver: Chen Ning Yang, **Elementary Particles: A Short History of Some Discoveries in Atomic Physics** (Princeton University Press, 1961); Steven Weinberg, **The Discovery of Subatomic Particles** (Penguin Books, 1993); Abraham Pais, **Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World** (Oxford University Press, 1995); Val L. Fitch e Jonathan L. Rosner, **IN: Twentieth Century Physics, Volume II** (Institute of Physics Publishing and American of Institute Physics Press (1995); Frederick Reines, *Nobel Lecture 1995*; Martin L. Perl, *Nobel Lecture 1995*; e Masatoshi Koshiha, *Nobel Lecture 2002*.

O segundo **lépton** a ser descoberto foi o **pósitron** (e^+), previsto como a **antipartícula** do **elétron** pelo físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933), em trabalhos publicados em 1928 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A117**; **A118**, pgs. 610; 351). Nestes, Dirac apresentou a hoje famosa **equação de Dirac** (vide verbete nesta série), em cuja solução, ele encontrou que, além de a mesma descrever o **elétron**, descrevia também partículas idênticas a essa partícula, porém com carga positiva e energia negativa. Ele a chamou de “buraco” e afirmou, também, que ela ocupava todos os estados de energia negativa do então chamado “mar de Dirac”.

Em 1929 (*Zeitschrift für Physik* **56**, p. 330), o matemático alemão Hermann Weyl (1885-1955) interpretou esse “buraco” como sendo um próton, interpretação essa aceita pelo próprio Dirac, em 1930 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A126**, p. 360; *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* **26**, pgs. 361; 376; e *Nature* **126**, p. 605). No entanto, a hipótese do “buraco” ser um próton foi descartada, ainda em 1930, pelos físicos, o norte-americano Julius Robert Oppenheimer (*Physical Review* **35**, p. 562) e o russo Igor Yevgenyevich Tamm (1895-1971; PNF, 1958) (*Zeitschrift für Physik* **62**, p. 545) e, desse modo, em 1931 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A133**, p. 60), Dirac propôs que o “buraco” seria uma nova partícula – chamada por ele de “anti-elétron” - e ainda não conhecida, apesar de já haver evidência experimental de sua existência, como indicada em 1929, nos trabalhos independentes, dos físicos, o russo Dmitry Vladimirovich Skobelzyn (1892-1992) (*Zeitschrift für Physik* **54**, p. 686) e o italiano Bruno Benedetti Rossi (1905-1994) (seu trabalho não foi aceito para publicação). Por fim, essa nova partícula foi descoberta em 1932. Vejamos como.

O físico norte-americano Carl David Anderson (1905-1991; PNF, 1936) era aluno de doutoramento do também físico norte-americano Robert Andrews Millikan (1868-1953; PNF, 1923), no *California Institute of Technology* (CALTECH), especialista em **raios cósmicos** (vide verbete nesta série). Como trabalho de Tese de Doutorado (defendida em 1930), Anderson estudava a trajetória desses “raios” em uma **câmara de Wilson** (CW) (vide verbete nesta série). Contudo, como essas “partículas cósmicas” são normalmente de alta energia, sua passagem pela CW era quase imperceptível. Assim, com o intuito de freá-las, Anderson inseriu uma placa de chumbo (Pb) normalmente à câmara e, ao examinar as trajetórias de tais partículas que emergiam dessa placa e depois de atravessarem uma região de forte campo magnético, observou que algumas daquelas trajetórias eram idênticas às do **elétron**, porém de curvatura oposta. Depois de examinar cerca de 70.000 fotografias, Anderson anunciou, em 1932 (*Science* **76**, p. 238), a descoberta do **elétron positivo**, denominado por ele, em sua *Nobel Lecture*, de **pósitron**, e posteriormente reconhecido como a **antipartícula** do **elétron**. Registre-se que, muito embora Anderson não haja citado o trabalho de Dirac no artigo de 1932, ele fez referência ao mesmo em sua *Nobel Lecture*. A descoberta de Anderson foi confirmada, em 1933, em experiências realizadas no *Cavendish Laboratory*, da *Universidade de Cambridge*, na Inglaterra, pelos físicos, o italiano Giuseppe Pablo Stanislao Occhialini (1907-1993) e os ingleses, o Barão Patrick Maynard Stuart Blackett (1897-1974; PNF, 1948) e Sir James Chadwick (1891-1974; PNF, 1935) (vide verbete nesta série). Registro que foi meu professor da então *Escola de Engenharia do Pará*, o engenheiro químico e civil, o brasileiro Miguel de Paulo Rodrigues Bitar (n.1922), quem primeiro me falou do **pósitron**, no Curso de Engenharia Civil que realizei entre 1954-1958, em Belém do Pará.

Foram ainda experiências realizadas por Anderson que levaram à descoberta de mais um **lépton**, o hoje **múon** (μ). Com efeito, ainda no CALTECH e com auxílio do físico norte-americano Seth Henry Neddermeyer (1907-1988), Anderson fez mais uma inovação na CW daquele Instituto. Assim, inserindo um **contador Geiger** (vide verbete nesta série) para observar a passagem dos “raios cósmicos positivos” penetrantes e lentos, e que, depois de atravessarem o contador, logo paravam. Ao examinarem os traços deixados por aqueles “raios”, observaram que se tratava de uma nova partícula, de massa aproximada de $200 m_e$ (m_e = massa do elétron = $0.5 \text{ MeV}/c^2$). Essa descoberta foi anunciada por Anderson e Neddermeyer, em 1937 (*Physical Review* **51**, p. 884). Essas partículas, denotadas pela letra grega μ , inicialmente denominadas de **mésos Andersonianos** e, também, de **mesotrons** (cuja raiz grega, *meso*, significa médio), tiveram sua existência comprovada, ainda em 1937, em experiências independentes, realizadas pelos físicos, os norte-americanos Jabez Curry Street (1906-1989) e Edward Carl Stevenson (n.1907) (*Physical Review* **51**, p. 1005), e os japoneses Yoshio Nishina (1890-1950), Masa Takeuchi e Torao Ichimiya (*Physical Review* **52**, p. 1198).

Na década de 1940, conforme vimos em verbetes desta série, foi observado que essa nova partícula era produzida na colisão dos “raios cósmicos” com a atmosfera terrestre., conforme ficou confirmado nas famosas experiências da *Universidade de Bristol*, na Inglaterra, realizadas em 1947, e lideradas pelo físico inglês Sir Cecil Frank Powell (1903-1969; PNF, 1950), com a

colaboração dos físicos, o também inglês Hugh Muiread (1925-2007), o brasileiro Cesare (César) Mansuetto Giulio Lattes (1924-2005), e o italiano Occhialini. Em tais experiências, ficou comprovado que os “mesotrons”, chamados então de “mésons secundários” – mésons μ^- , eram produto do decaimento (cujos modos veremos mais adiante) de “mésons primários” – os mésons π (hoje, **píons**) -, e que possuíam dois tipos de carga: positiva (μ^+) e negativa (μ^-), sendo o primeiro, a **antipartícula** do segundo. É interessante registrar que, em 1948, Lattes e o físico norte-americano Eugene Gardner (1913-1950) produziram artificialmente esses **múons**, na *Universidade da Califórnia*, em Berkeley, nos Estados Unidos da América.

O **neutrino do elétron** ($\bar{\nu}_e$) e sua antipartícula associada, o **antineutrino do lépton** ($\bar{\nu}_e$), são outros dois tipos de **léptons** que foram “descobertos”, por ocasião da produção artificial dos então mésons $\pi \rightarrow \mu + \nu$, bem como nos processos de fissão nuclear ocorrida nos testes de bombas atômicas realizados na década de 1940, em *Los Alamos* (ver verbete nesta série). É oportuno registrar que a “descoberta” desses neutrinos, foi realizada de maneira indireta (daí o uso de aspas), conforme mostraremos a seguir. Em verbete desta série, vimos que na década de 1920, havia uma polêmica sobre a energia da **partícula β** (**elétron** emitido por um núcleo A que se transforma em um núcleo B, por um decaimento radioativo), uma vez que não havia conservação da energia nesse processo de transformação. Para contornar essa dificuldade, o físico austro-norte-americano Wolfgang Pauli Junior (1900-1958; PNF, 1945) propôs, em 1930, a existência de uma partícula neutra, de massa muito pequena, não excedendo um centésimo da massa do próton, que era emitida junto com o **elétron** pelo núcleo radioativo “mãe” (A), e cuja energia restaurava a conservação de energia. Essa “partícula Pauliana” foi denominada de **neutrino** (ν) (nêutron pequenino, em italiano) pelo físico italiano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938), em 1934, por ocasião em que formulou a teoria matemática do **decaimento β** , segundo a qual, por intermédio de uma nova força na natureza – posteriormente chamada de **força fraca** – o nêutron (n) se transforma em um próton (p), com a emissão de um **elétron** (e^-) e da “partícula Pauliana” (ν), ou seja: $n \rightarrow p + e^- + \nu$. Note-se que, somente em 1953, os físicos norte-americanos Emil John Konopinski (1911-1990) e Hormoz Massou Mahmoud (n.1918) mostraram que a “partícula Pauliana” era a antipartícula do “neutrino Fermiano”, recebendo então o nome de **antineutrino do elétron** ($\bar{\nu}_e$).

Desde 1945, o físico norte-americano Frederick Reines (1918-1998; PNF, 1995) tentava observar o “neutrino Pauliano-Fermiano” sem, contudo, lograr êxito. Em 1951, ao entrar de licença sabática de seu emprego no Laboratório de *Los Alamos*, Reines convidou seu colega, o também físico norte-americano Clyde Lorrain Cowan Junior (1919-1974), para irem em busca daquela partícula, denotado por Reines como $\bar{\nu}_e$. Inicialmente, eles consideraram a hipótese de usar os testes de bombas atômicas como fonte de neutrinos, mas logo decidiram estudar a colisão de um fluxo de “neutrinos-menos” ($\bar{\nu}_e$) oriundos do **decaimento β^-** (β^- , era o **elétron**) produzido pelo reator do *Hanford Engineering Works*, situado em Washington, com prótons de um cintilador líquido, em uma reação nuclear do tipo: $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + \beta^+$, com β^+ representando o **pósitron**. Estes, por sua vez, ao encontrarem **elétrons** livres do fluido do cintilador, se aniquilavam e se transformavam em fótons, responsáveis, portanto pela cintilação. O resultado dessa experiência foi apresentado por Reines e Cowan, em 1953 (*Physical Review* **92**, p. 830). Mais tarde, em 1956 (*Science* **124**, p. 103) e em 1960 (*Physical Review* **117**, p. 159), Cowan, Reines, F. B. Harrison, H. W. Kruse e A. D. McGuire confirmaram o resultado da experiência de 1953, usando um tanque de $\frac{1}{2} \text{ m}^3$ de água para detectar o $\bar{\nu}_e$ [agora reconhecido como o **antineutrino do elétron** ($\bar{\nu}_e$)] proveniente do *Savannah River Nuclear Reactor*, localizado na Carolina do Sul.

Em verbetes desta série, vimos que a suspeita de haver um neutrino diferente do **neutrino eletrônico** ($\bar{\nu}_e$) e envolvido no decaimento do méson “secundário” μ , foi aventada ainda na década de 1940, com os trabalhos dos físicos, o alemão Lothar Wolfgang Nordheim (1899-1985), em 1941, o italiano Bruno M. Pontecorvo (1913-1993), em 1947, o também italiano Giampietro Puppi (1917-2006), em 1948, e o norte-americano John Archibald Wheeler (1911-2008) junto com o brasileiro Jayme Tiomno (n.1920), em 1948-1949. Nesses trabalhos, eram estudados os possíveis

modos de decaimento dos mésons “primário” (π) e “secundário” (μ), assim como se colocava a seguinte questão: será que um fluxo de **neutrinos** provindos do decaimento dos π , ao colidir com prótons (p), produzirá nêutrons (n) e **pósitrons** (e^+) como observado por Reines e Cowan? Contudo, para se poder responder a essa pergunta, era necessário se obter o feixe de **neutrinos** produzido pelos π .

Em 1960, Pontecorvo e o físico norte-americano Melvin Schwartz (n.1932; PNF, 1988) (*Soviet Physics – JETP* **10**, p. 1236) e, independentemente, os físicos sino-norte-americanos Tsung-Dao Lee (n.1926; PNF, 1957) e Chen Ning Yang (n.1925; PNF, 1957) (*Physical Review Letters* **4**, pgs. 306; 307) propuseram um tipo de experiência para a produção dos **neutrinos** em decorrência do decaimento dos π , com o seguinte aspecto: $p + p \rightarrow p + n + \pi^+$, $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$. De posse desses neutrinos, hoje conhecidos como **neutrino do múon** (ν_μ), Schwartz e os físicos norte-americanos Leon Max Lederman (n.1922; PNF, 1988), Jack Steinberger (n.1921; PNF, 1988), Gordon Danby, Jean-Marc Gaillard, Konstantin Goulianos e Nariman B. Mistry, realizaram uma experiência no **ciclotron Nevis** do *Brookhaven National Laboratory*, em 1962 (*Physical Review Letters* **9**, p. 36), na qual comprovaram a existência do **neutrino do múon** (ν_μ), bem como confirmaram a existência do **neutrino do elétron** (ν_e), em reações do tipo: $\nu_e + p \rightarrow n + e^+$; $\nu_e + n \rightarrow p + e^-$; $\nu_\mu + p \rightarrow n + \mu^+$ e $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$. É oportuno salientar que a existência de dois neutrinos (ν_e , ν_μ) foi confirmada no CERN, em 1964, em experiências das quais participou o físico brasileiro Roberto Aureliano Salmeron (n.1922) (vide verbete nesta série).

Para concluir este verbete, vejamos a descoberta dos dois últimos **léptons** até agora conhecidos: o **tau** (τ^\mp) e o **neutrino(antineutrino) do tau** ($\nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$). Em outubro de 1975 (*Physical Review Letters* **35**, p. 1489), uma equipe de pesquisadores do *Stanford Linear Accelerator Center* (SLAC) da *Universidade de Stanford*, nos Estados Unidos, sob a liderança do físico norte-americano Martin Lewis Perl (n.1927; PNF, 1995), realizaram uma experiência na qual estudaram a colisão **elétron-pósitron** ($e^- - e^+$), com a produção anômala de **elétrons** e de **múons**. Essa produção decorria do decaimento de uma nova partícula, a princípio denominada de U, inicial da palavra **unknown** (“desconhecido”, em inglês), decorrente das seguintes reações: $e^+ + e^- \rightarrow U^+ + U^-$, com o seguinte modo de decaimento de U: $U \rightarrow \mu(e) + \bar{\nu}_\mu(\bar{\nu}_e) + \nu_U$. Ainda em 1975 (Perl, *Nobel Lecture*), Perl e seu estudante de pós-graduação, o físico grego Petros Afentoulis Rapidis, sugeriram o nome **tau** (τ), inicial da palavra **τριτων** (“triton”, terceiro em grego), para esse terceiro **lépton**. A comprovação dessa nova partícula ocorreu, em 1977, em duas experiências [uma liderada por Perl (*Physical Review Letters* **38**, p 117) e a outra (*Pluto Collaboration*) liderada por Hinrich Meyer e Eric Lohrmann (*Physics Letters* **B68**, pgs. 297; 301), em Hambourg, na Alemanha], ocasião em que foi observado que se tratava de um **lépton pesado**, com massa de $(1.9 \pm 0.1) \text{ GeV}/c^2$ e spin $\frac{1}{2}$. É oportuno registrar que a equipe de Perl era composta dos físicos: G. S. Abrams, A. M. Boyarski, M. Breidenbach, M. Briggs, F. Bulos, William Chinowsky, J. T. Dakin, G. J. Feldman, C. E. Friedberg, D. Fryberger, Gerson Goldhaber, G. Hanson, F. B. Heile, B. Jean-Marie, J. A. Kadyk, R. R. Larsen, A. M. Litke, D. Lüke, B. A. Lulu, V. Lüth, D. Lyon, C. C. Morehouse, J. M. Paterson, F. M. Pierre, T. P. Pun, Rapidis, Burton Richter (n.1931; PNF, 1976), B. Sadoulet, R. F. Schwitters, W. Tanebaum, George H. Trilling, F. Vannucci, J. S. Whitaker, F. C. Winkelmann e J. E. Wiss. Por sua vez, a equipe de Meyer e Lohrmann era formada dos físicos: A. Backer, V. Blobel, J. Burger, J. Burmester, L. Criegee, H. C. Dehne, K. Derikum, R. Devenish, G. Flügge, J. D. Fox, G. Franke, Ch. Gerke, C. Grupen, P. Harms, G. Horlitz, Th. Kahl, G. Knies, B. Koppitz, W. Luhsen, M. Rossler, R. Schmitz, U. Timm, K. Wacker, H. Wahl, P. Waloschek, G. G. Winter, S. Wolff, G. Zech e W. Zimmermann. Concluindo este verbete, é oportuno salientar que, nas experiências sobre a descoberta dos **léptons** [**elétron** (e^-), **pósitron** (e^+), **múon** (μ^\mp) e **tau** (τ^\mp)] e de seus **neutrinos(antineutrinos)** ($\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$) que acabamos de estudar, estas últimas partículas são consideradas de massa nula em consequência do Modelo Padrão das Partículas Elementares (vide verbete nesta série). Contudo, experiências (*Kamiokande Collaboration*) realizadas desde 1987, sob a liderança do

físico japonês Masatoshi Koshiba (n.1926; PNF, 2002) e relacionadas com a **oscilação de neutrinos** ($\nu_e \rightarrow \nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$), parecem indicar que tais partículas têm massa.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)