



## SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



### A Descoberta dos Mésons.

Em verbetes desta série, vimos que os **mésons** (nome cunhado em 1939) são Partículas Elementares de spin inteiro (0 ou 1), sensíveis às interações eletromagnética, fraca e forte, obedecem à **Estatística de Bose-Einstein** (1924) (portanto são **bósons**) e são reunidas em famílias (**píons**, **káons**, **eta**, **rho**, **ômega**, **phi**, **psigions**, **charmosos** e **B**). Como naqueles verbetes também falamos da descoberta dessas partículas, neste verbete vamos destacar outros aspectos dessa mesma descoberta. Os primeiros **mésons** encontrados foram os **píons-mais/menos** ( $\pi^{\pm}$ ), nas experiências realizadas com raios cósmicos, em 1947 (*Nature* **160**, pgs. 453; 486; *Proceedings of the Royal Society of London* **61**, p. 173), nos Alpes franceses e nos Andes bolivianos, das quais participaram os físicos, os ingleses Sir Cecil Frank Powell (1903-1969; PNF, 1950) e Hugh Muirhead (1925-2007), o brasileiro Cesare (César) Mansueto Giulio Lattes (1924-2005) e o italiano Giuseppe Pablo Stanislao Occhialini (1907-1993), que trabalhavam na *Universidade de Bristol*, na Inglaterra, logo conhecido como o famoso *Grupo de Bristol*. Nessas experiências, eles calcularam a massa dessas partículas como sendo:  $m_{\pi} = (260 \pm 30)m_e$ , onde  $m_e = 0,5 \text{ MeV}/c^2$  representa a massa do **elétron**. Registre-se que essas partículas foram produzidas artificialmente, o **píon-menos** ( $\pi^-$ ), em 1948 (*Science* **107**, p. 270), pelo físico norte-americano Eugene Gardner (1913-1950) e por Lattes, e o **píon-mais** ( $\pi^+$ ), em 1949 (*Physical Review* **75**, p. 382), por John Burfening, Gardner e Lattes. Nessas experiências, realizadas no **sincrocíclotron**, o acelerador de partículas- $\alpha$  da *Universidade de Berkeley*, na Califórnia, eles estimaram a massa desses píons carregados em torno de  $300 m_e$ . É oportuno destacar que, em fevereiro de 1949, Lattes encontrou uma primeira evidência do terceiro membro da família dos píons, o **píon-zero** ( $\pi^0$ ), ao examinar algumas chapas que haviam sido expostas a raios  $\gamma$  produzidos pelo **síncrotron**, um acelerador de elétrons, que havia sido construído pelo físico norte-americano Edwin Mattison McMillan (1907-1991; PNQ, 1951), também naquela Universidade norte-americana.

A descoberta do  $\pi^0$  foi confirmada, em 1950, em trabalhos independentes realizados pelos físicos norte-americanos: R. F. Bjorklund, W. E. Crandall, B. J. Moyer e H. F. York (*Physical Review* **77**, p. 213); e Jack Steinberger (n.1921; PNF, 1988), Wolfgang Kurt Hermann Panofsky (1919-2007) e Jack Stanley Sterner (n.1921) (*Physical Review* **78**, p. 802). Na primeira experiência, foi observado que a quantidade de raios  $\gamma$  emergentes de um alvo bombardeado por prótons (p) de 345 MeV era muito grande para poder ser explicada como sendo a radiação de frenagem ("Bremstrahlung") daqueles prótons ao serem freados pelos núcleos dos alvos. Desse modo, Bjorklund e colaboradores, inferiram que houve uma produção de um "méson neutro", seguida de sua desintegração em dois raios  $\gamma$ , com uma vida-média de  $1,8 \times 10^{-16}$  s. Na segunda experiência, foi estudado o bombardeio dos então **mésons pi-menos** ( $\pi^-$ ) através de um recipiente contendo hidrogênio ( ${}^1_1\text{H}^1 = \text{p}$ ), com a emissão de raios  $\gamma$ , em uma reação nuclear do tipo (em notação atual):  $\pi^- + \text{p} \rightarrow \text{n} + \pi^0 \rightarrow \text{n} + 2\gamma$ . A análise da conservação de energia nessa reação permitiu calcular a massa desse "méson neutro" como sendo:  $m(\pi^0) \sim 262 m_e$ . Registre-se

que, ainda em 1950, a descoberta de  $\pi^0$  foi confirmada por A. G. Carlson, J. E. Hooper e D. T. King (*Philosophical Magazine* **41**, p. 701), e por Panofsky, R. L. Aamodt e York (*Physical Review* **78**, p. 825), e que a vida-média dessa partícula foi calculada como sendo  $10^{-16}$  s, em 1960 (*Proceedings of the 1960 International Conference on High Energy Physics at Rochester*), por A. V. Tollestrup, S. M. Berman, R. Gomez e R. Rudermann.

Sobre a família dos píons é oportuno fazer alguns comentários. Como desde as experiências de 1947 sobre os “mésons carregados”, referidas acima, havia evidências de um “méson neutro” decaindo em  $2\gamma$ , em 1948 (*Doklady Akademii Nauk SSSR* **60**, p. 207), o físico russo Lev Davidovich Landau (1908-1968; PNF, 1962) demonstrou que esse possível decaimento indicava que esse “méson neutro” deveria possuir spin. Essa conjectura foi confirmada, em 1950 (*Physical Review* **77**, p. 242), pelo físico sino-norte-americano Chen NinYang (n.1922; PNF, 1957). [Note-se que esse tipo de decaimento (além de outros tipos, envolvendo  $\gamma, e^-, e^+$ ) voltou a ser estudado pelo físico norte-americano Nicholas P. Samios, em 1961 (*Physical Review* **121**, p. 275).] Em 1951 (*Physical Review* **81**, 565), Panofsky, Aamodt e J. Hadley mostraram que a paridade (P) dos píons (carregados e neutro) era negativa (-) ao estudarem o espalhamento inelástico de “mésons negativos” ( $\pi^-$ ) com prótons (p) e dêuterons ( $d = {}_1H^2$ ). Ainda em 1951, R. Durbin, H. Loar e Steinberger (*Physical Review* **83**, p. 646) e, independentemente, D. L. Clark, A. Roberts e Robert Rathbun Wilson (1914-2000) (*Physical Review* **83**, p. 649), realizaram experiências do tipo  $p + p \leftrightarrow \pi^+ + d$ , nas quais mostraram ser nulo o spin do  $\pi^+$ . A paridade negativa dos píons (carregados e neutro) foi confirmada, em 1952 (*Physical Review* **85**, p. 373), por R. W. Hales, Roger H. Hildelbrand, N. Knable e Moyer ao estudarem a colisão de prótons (p) com núcleos leves. Por fim, em consequência do Teorema CPT, demonstrado em 1957 (vide verbete nesta série), que diz que toda a partícula tem uma antipartícula (denotada por uma barra em cima da notação da partícula) de mesma massa e de cargas contrárias, e do conceito de spin-paridade ( $J^P$ ) [onde J = momento angular total = momento angular orbital ( $l$ ) + spin (s), e P é a paridade, que pode ser positiva (+) ou negativa (-)], demonstrou-se que  $\pi^- = \bar{\pi}^+$  e  $\pi^0 = \bar{\pi}^0$ , e que a família de píons é caracterizada por:  $J^P = 0^-$ .

Agora, vejamos a descoberta da família dos káons. Conforme vimos em verbetes desta série, a solução do famoso *quebra-cabeça*  $\theta-\tau$  (“ $\theta-\tau$  puzzle”), em 1955/1956, mostrou que tais partículas eram “mésons pesados”, de spin nulo, e se constituíram nos primeiros káons:  $K^+, K^- = \bar{K}^+, K^0$  e  $\bar{K}^0$ . Registre-se que essas partículas foram descobertas no final da década de 1940, e confirmadas no começo da década de 1950, e foram inicialmente denominadas de **partículas estranhas**, pois eram produzidas por interação forte, entre píons e núcleons [próton (p) e nêutron (n)], e decaíam por interação fraca. Sobre essa primeira família de káons, é oportuno registrar que, em 1956 (*Nuovo Cimento* **4**, p. 1433), W. A. Cooper, H. Filthuth, J. A. Newth, G. Petrucci, o físico brasileiro Roberto Aureliano Salmeron (n.1922) e Antonino Zichichi (n.1929) anunciaram a descoberta do méson tau neutro ( $\tau^0$ ), depois identificado como o  $K^0$ , descoberta essa logo confirmada por esses mesmos físicos, em 1957 (*Nuovo Cimento* **5**, p. 1388), quando anunciaram a produção de mésons pesados:  $K^+, K^- = \bar{K}^+, K^0$  e  $\bar{K}^0$ , assim como a primeira produção associada desses “mésons K”. Note-se que as massas desses káons valem:  $494 \text{ MeV}/c^2$ , para os carregados ( $K^\pm$ ), e  $498 \text{ MeV}/c^2$ , para os neutros ( $K^0, \bar{K}^0$ ), e o spin-paridade:  $J^P = 0^-$ . A partir daqui, iremos tomar  $c=1$  nos valores da massa das partículas.

A descoberta da segunda família dos káons, inicialmente denominadas de **ressonâncias mesônicas**, começou com a previsão feita pelo físico brasileiro Jayme Tiomno (n.1920), em 1960. Conforme vimos em verbete desta série, por ocasião do *1960 International Conference on High Energy Physics at Rochester*, Tiomno apresentou um trabalho no qual previu a existência de um novo méson, análogo ao “méson neutro” ( $K^0$ ), de spin zero, porém de paridade oposta, com

massa aproximada de 650 MeV e relacionado com as interações fortes. Nessa mesma Conferência, o físico norte-americano Murray Gell-Mann (n.1929; PNF, 1969) fez uma proposta análoga a essa, porém, para ele, tal partícula estaria relacionada às interações fracas. Em 1961 (*Physical Review Letters* **6**, p. 120), Tiomno e seus ex-alunos, os físicos brasileiros Nicim Zagury (n.1934) e Antonio Luciano Leite Videira (n.1935) (de origem portuguesa) publicaram um artigo mais detalhado sobre “a possível existência de um novo méson K”, com spin 1. Nesse artigo, eles examinaram a assimetria da produção dos **bárions** [lâmbda ( $\Lambda^0$ ) e sigma ( $\Sigma^-$ )] e de **káons** ( $K^{+,0}$ ), em experiências envolvendo reações de espalhamento de  $\pi$  e p, do tipo (em notação atual):  $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$  e  $\pi^- + p \rightarrow \Sigma^- + K^+$ . Essas experiências haviam sido realizadas, em 1958 (*Nuovo Cimento* **10**, p. 468), por F. Eisler, R. Plano, A. Prodell, Samios, Melvin Schwartz (n.1932; PNF, 1988), Steinberger, P. Bassi, V. Borrelli, Giampietro Puppi (1917-2006), H. Tanaka, P. Waloschek, V. Zoboli, Marcello Conversi (1917-1988), P. Franzini, I. Manelli, R. Santangelo e V. Silvestrini. Assim, examinando essas experiências, Tiomno, Zagury e Videira observaram que elas apresentavam uma assimetria, pois, enquanto a  $\Lambda^0$  da primeira reação tinha, no sistema do centro de massa, a direção preferencial do p, por sua vez, a  $\Sigma^-$  da segunda reação apresentava a direção oposta. Registre-se que a produção de **ressonâncias mesônicas** por espalhamento de **píons** ( $\pi$ ) foi prevista em 1961, pelos físicos italianos S. Bergia, A. Stanghellini, S. Fubini e C. Villi (*Physical Review Letters* **6**, p. 367), e por Bergia e Stanghellini (*Nuovo Cimento* **21**, p. 155). Sua produção aconteceu ainda em 1961, conforme veremos logo mais.

Ainda em 1961 (*Physical Review Letters* **6**, p. 300), os físicos norte-americanos Margaret Alston, Luis Walter Alvarez (1911-1988; PNF, 1968), Philippe Eberhard, Myron Lindsay Good (1923-1999), William Graziano, Harold K. Ticho e Stanley Wojcicki anunciaram que haviam descoberto a primeira **ressonância mesônica estranha** [por apresentar o número quântico estranheza (S) diferente de zero] ao estudarem o espalhamento de **káons** por prótons (p), em uma reação do tipo (em linguagem atual):  $K^- + p \rightarrow K^{*0} + \pi^- + p$ . Esse novo **méson**, que recebeu o nome **káon estrela-zero** ( $K^{*0}$ ), com a massa de 892 MeV,  $S = +1$  e  $J^P = 1^-$ . Observe-se que o nome “ressonância” foi cunhado por ser a sua vida-média extremamente pequena, da ordem de  $10^{-23}$  s, e sua denominação foi emprestada da Física Nuclear, onde ela corresponde a pólos das amplitudes de deslocamento localizadas em certas regiões do plano complexo da energia.

Por outro lado, a primeira **ressonância mesônica não-estranha** teve sua primeira evidência anunciada em 1961 (*Physical Review Letters* **6**, p. 365), por J. A. Anderson, V. X. Bang, P. G. Burke, D. D. Carmony e N. Schmitz, e sua descoberta anunciada, ainda em 1961, por D. L. Stonehill, Charles Baltay, H. Courant, W. Ficckinger, E. C. Fowler, H. Kraybill, J. Sandweiss, J. R. Sanford e H. T. Taft (*Physical Review Letters* **6**, p. 624) e, independentemente, por A. R. Erwin, R. March, W. D. Walker e E. West (*Physical Review Letters* **6**, p. 628) ao estudarem o espalhamento de **píons** ( $\pi^\pm$ ) por **prótons** (p) de uma câmara de bolhas de hidrogênio (H) líquido, em reações do tipo:  $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p(\rho) + \pi^0(\pi^+)$  e  $\pi^- + p \rightarrow n + \pi^+ + \pi^-$ . Ao analisarem essas reações com o **Diagrama (“plot”) de Dalitz** [este diagrama foi proposto pelo físico norte-americano Richard Henry Dalitz (1925-2006), em 1953, conforme vimos em verbete nesta série], verificaram se tratar de uma **ressonância mesônica não-estranha**, com as características: 765 MeV,  $S = 0$  e  $J^P = 0^-$ . Essa partícula recebeu de Gell-Mann, em 1962 (*Physical Review* **125**, p. 1067), o nome de **méson-rho** ( $\rho$ ), que apresenta três estados de carga:  $\rho^+$ ,  $\rho^-$ ,  $\rho^0$ . Poucos meses depois, ainda em 1961 (*Physical Review Letters* **7**, p. 178), os físicos norte-americanos Bogdan C. Maglic, Alvarez, Arthur H. Rosenfeld (n.1926) e M. Lynn Stevenson realizaram uma experiência, na qual estudaram o espalhamento de **antiprótons** ( $\bar{p}$ ) por **prótons** (p) de uma câmara de bolhas do **bevatron** da **Universidade de Berkeley**, em uma reação do tipo:  $\bar{p} + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0 + \pi^+ + \pi^-$ . Ao analisarem o espectro de distribuição de massa efetiva *versus* o número de eventos para estados de tripletos de **píons** ( $\pi^+, \pi^0, \pi^-$ ) com o **“plot” de Dalitz**, descobriram uma nova **ressonância mesônica não-estranha**, com a massa de 784 MeV,  $S = 0$  e  $J^P = 1^-$ , e o spin nulo. Essa partícula recebeu de Gell-Mann, em



seu artigo de 1962 citado acima, o nome de **méson-ômega-zero** ( $\omega^0$ ), que a considerou como o isosinglete do produto tensorial  $\mathbf{8} \otimes \mathbf{8}$ , onde  $\mathbf{8}$  é o octeto do SU(3) (sobre esse grupo, ver verbete nesta série). Observe-se que, ainda em 1962 (*Physical Review Letters* **9**, p. 472), o físico japonês Jun John Sakurai (1933-1982) interpretou essa partícula como um singlete unitário. É oportuno destacar que o  $\bar{p}$  foi descoberto em 1955, em uma reação do tipo:  $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$  (vide verbete nesta série).

Uma nova **ressonância mesônica não-estranha** foi descoberta, ainda em 1961 (*Physical Review Letters* **7**, p. 421), por Aihud Pevsner, R. W. Kraemer, M. Nussbaum, C. Richardson, P. E. Schlein, R. C. Strand, T. Joochig, M. M. Block, A. Engler, R. Gessaroli e C. M. Meltzer ao estudaram o espalhamento de **píons-positivos** ( $\pi^+$ ) por dêuterons ( $D = {}_1H^2$ ) de uma câmara de bolhas, em uma reação do tipo:  $\pi^+ + d \rightarrow p + p + \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ . A análise realizada por esses físicos do espectro de distribuição de massa efetiva *versus* o número de eventos para estados de tripletos de píons ( $\pi^+, \pi^0, \pi^-$ ) indicou a presença de dois picos (“peaks”), um em torno de 800 MeV e o outro em torno de 500 MeV, este com a largura menor do que 10 MeV. A análise desses picos por intermédio do “*plot*” de Dalitz mostrou que o primeiro deles confirmava a descoberta da  $\omega^0$ , referida acima, e que o segundo pico indicava uma nova **ressonância pseudo-escalar mesônica** com a massa de 548 MeV,  $S = 0$  e  $J^P = 0^-$  e o spin nulo. Essa nova partícula recebeu de Gell-Mann, em seu referido artigo de 1962, o nome  $\chi^0$  e, posteriormente, o nome **eta-zero** ( $\eta^0$ ). Registre-se que essa partícula havia sido prevista, em 1960, pelo físico japonês Yoshio Ohnuki (n.1928) (vide verbete nesta série) e, também, por Sakurai, em 1961 (*Physical Review Letters* **7**, p. 355). Note-se que ela é chamada de “pseudo-escalar” por apresentar, respectivamente, P negativo e J nulo.

Em 1962, novas experiências envolvendo o espalhamento de **káons** por prótons mostraram que havia quatro combinações do **méson estranho káon-estrela**  $K^*$ :  $K^{*+}$  e  $K^{*0}$ , com  $S = +1$ , e  $K^{*-}$  e  $\bar{K}^{*0}$ , com  $S = -1$ . Por seu lado, em 1963, Schlein, W. E. Slater, L. T. Smith, D. H. Stork e Ticho (*Physical Review Letters* **10**, p. 368) e, independentemente, P. L. Connoly, M. Gundzik, E. L. Hart, G. W. London, J. Leitner, S. S. Yamamoto, R. R. Rau, Kwan W. Lai, Samios, G. C. Moneti, S. Lichtman, I. O. Skillicorn e M. Goldberg (*Physical Review Letters* **10**, p. 371) anunciaram a descoberta de uma nova **ressonância mesônica não-estranha** analisando também o seguinte espalhamento de **káons** por **prótons** (em notação atual):  $K^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \phi^0$ , com  $\phi^0 \rightarrow K^+ + K^-$ , e depois dessa análise concluíram que se tratava de uma nova ressonância, à qual deram o nome de **méson pseudo-vetorial phi-zero** ( $\phi^0$ ), com as seguintes características: 1019 MeV,  $S = 0$  e  $J^P = 1^-$ . É oportuno destacar que Gell-Mann, também no trabalho citado de 1962, previu tal partícula, denominando-a, na ocasião, de  $B^0$ . Note-se que ela é chamada de “pseudovetorial” por apresentar, respectivamente, P negativo e J unitário.

A busca de **ressonâncias mesônicas** usando espalhamento de píons por prótons prosseguiu por toda a década de 1960. Assim, em 1964, por exemplo, foram descobertas três novas dessas **ressonâncias não-estranhas**. A primeira delas, a  $A_{2H}$  (1320 MeV e  $J^P = 2^+$ ), foi anunciada por J. Bartsch, L. Bondar, W. Brauneck, M. Deuschamann, K. Eickel, C. Grote, H. Kaufmann, K. Lanius, R. Leiste, R. Pose, D. C. Colley, W. P. Dodd, B. Musgrave, J. Simmons, K. Bockmann, N. Nellen, V. Blodel, H. Butenschon, P. von Handel, G. Knies, P. Schilling, G. Wolf, J. M. Brownlee, I. Butterworth, F. L. Campaine, M. Ibbotson, M. Saeed, N. N. Biswas, I. Luers, D. Luers, Schmitz e J. Weigl (*Physical Review Letters* **11**, p. 204). A segunda, a  $f^0$  (1260 MeV e  $J^P = 2^+$ ), foi observada por Y. Y. Lee, B. P. Roe, D. Sinclair e John C. Vander Velde (*Physical Review Letters* **12**, p. 342) e, independentemente, por L. Sodickson, M. Wahlig, I. Mannelli, D. H. Frisch e O. Fackler (*Physical Review Letters* **12**, p. 485), na reação  $\pi^- + p \rightarrow f^0 + n$ , com os respectivos modos de decaimento:  $f^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$  e  $f^0 \rightarrow 2\pi^0$ . A terceira, a  $\eta^{(0)}$  (958 MeV,  $J^P = 0^-$ ;  $\eta^{(0)} \rightarrow \eta^0 + 2\pi$ ), também foi descoberta por dois grupos de pesquisadores independentes: G. R. Kalbfleisch,

Alvarez, A. Bárbaro-Galtieri, O. I. Dahl, Eberhard, W. E. Humphrey, J. S. Lindsey, D. W. Merrill, Joseph J. Murray, A. Rittenberg, R. R. Ross, J. B. Shafer, F. T. Shively, D. M. Siegel, G. A. Smith e Robert D. Tripp (*Physical Review Letters* **12**, p. 527), e Goldberg, Gundzik, Lichtman, Leitner, M. Primer, Connoly, Hart, London, Samios e Yamamoto (*Physical Review Letters* **12**, p. 546). Novos estudos sobre as **ressonâncias mesônicas** foram realizados ainda na década de 1960, cujos detalhes podem ser vistos em: W. S. C. Williams, **An Introduction to Elementary Particles** (Academic Press, 1971); M. Leon, **Particle Physics: An Introduction** (Academic Press, 1973); Tsung-Dao Lee, **Particle Physics and Introduction to Field Theory** (Harwood Academic Publishers, 1981).

A adoção do **Modelo de Quarks** levou a previsão e descoberta de novos **mésons**. Vejamos como isso aconteceu. Conforme vimos em verbetes desta série, a quantidade de Partículas Elementares descobertas entre a metade da década de 1940 e a metade da década de 1960 levou os físicos a tentar uma classificação delas tomando como base a Teoria de Grupos (vide verbete nesta série). Assim, foram desenvolvidos o **Modelo de Sakata** (1956), o **Modelo de Octetos de Gell-Mann-Ne’eman** (1961) e o **Modelo de Quarks de Gell-Mann-Zweig** (1964). Este último modelo previa que as partículas até então conhecidas eram formadas de uma mistura dos três **quarks** [up (u), down (d) e strange (s)] e da seguinte maneira: os **bárions**, com três **quarks**, e os **mésons**, com um par **quark-antiquark**. Esses três “sabores” de **quarks** e mais os três **léptons** [elétron ( $e^-$ ), **neutrino do elétron** ( $\nu_e$ ) e **múon** ( $\mu$ )] até então conhecidos, formavam uma simetria ternária da Natureza. Contudo, a descoberta, em 1962, e sua confirmação, em 1964, de um quarto **lépton** - o **neutrino do múon** ( $\nu_\mu$ ) – quebrou essa simetria. Em vista disso, ainda em 1964, James Daniel Bjorken (n.1934) e Sheldon Lee Glashow (n.1932; PNF, 1979) (*Physics Letters* **11**, p. 255); D. Amati, H. Bacry, J. Nuyts e Jacques Prentki (*Nuovo Cimento* **34**, p. 1732); Z. Maki e Ohnuki (*Progress in Theoretical Physics* **32**, p. 144); Lev Borisovich Okun (n.1929) (*Physics Letters* **12**, p. 250); W. Krolikowski (*Nuclear Physics* **52**, p. 342); e Y. Hara (*Physical Review* **B134**, p. 701) estudaram a extensão do grupo SU(3) para o grupo SU(4) e, com isso, aventaram a existência de novas partículas caracterizadas por um quarto “sabor” de **quark** – o **charme** (c) -, nome cunhado por Bjorken e Glashow [Sheldon Lee Glashow, **The Charm of Physics** (Touchstone Book, 1991)], e caracterizado pelo número quântico C. É oportuno notar que os **mésons não charmosos** apresentam a seguinte estrutura quarkônica [José Maria Filardo Bassalo e Mauro Sérgio Dorsa Cattani, **Teoria de Grupos** (Livreria da Física, 2008)]:

$$\begin{aligned} & \pi^+(\bar{u}d) ; \pi^-(\bar{u}\bar{d}) ; \pi^0 [(1/\sqrt{2})(\bar{d}\bar{d} - u\bar{u})] ; K^+(\bar{u}s) ; K^0(\bar{d}s) ; K^-(\bar{u}\bar{s}) ; \bar{K}^0(\bar{d}\bar{s}) ; \\ & \eta^0 [(1/\sqrt{6})(-u\bar{u} - \bar{d}\bar{d} + 2s\bar{s})] ; |\eta^0\rangle [(1/\sqrt{3})(u\bar{u} + \bar{d}\bar{d} + s\bar{s})] \end{aligned}$$

No **Modelo do Charme** referido acima há a previsão de três **mésons charmosos**, denotados na época por  $S_P, D_P$  e  $D_P^0$  e de um **méson pseudo-escalar não-charmoso** ( $\chi^0$ ), com massa em torno de 950 MeV e  $J^P = 0^-$ . O sucesso desse modelo aconteceu, ainda em 1964, com a descoberta da **ressonância mesônica não-estranha**  $\eta^0$ , com 958 MeV e  $J^P = 0^-$ , e que recebeu essa denominação por decair na partícula  $\eta^0$ , segundo vimos acima. Note-se que os primeiros **mésons charmosos** só foram descobertos, em 1976, conforme veremos mais adiante.

Proposto o **charme**, começou a corrida dos físicos experimentais para a sua descoberta e, para isso, foi importante a **Teoria do Charme** desenvolvida, em 1970 (*Physical Review* **D2**, p.1285), por Glashow, John Iliopoulos (n.1940) e Luciano Maiani (n.1941) para estudar as propriedades de simetria das correntes leptônicas (carregadas e neutras) – a chamada Álgebra de

Correntes – nas interações fracas de neutrinos ( $\nu$ ) com a matéria hadrônica, nas quais, segundo a **Teoria Eletrofraca de Salam-Weinberg** (1967-1968), estavam envolvidos os bósons mediadores da interação fraca:  $W^{+/-}$  e  $Z^0$  (vide verbete nesta série). Como à época da **Teoria do Charme** ou **Teoria GIM** (nome derivado das letras iniciais dos autores) não havia evidência experimental, nem de interações fracas envolvendo correntes neutras, e nem dos bósons  $W^{+/-}$  e  $Z^0$  (que só foram descobertos em 1983, conforme vimos em verbete desta série), a GIM foi vista com um certo ceticismo. Contudo, conforme vimos em verbete desta série, esse ceticismo começou a declinar quando o físico francês Paul Musset (1933-1985), liderando uma equipe de 55 pesquisadores da câmara de bolhas “Gargamelle”, no *Conseil Européen de Recherches Nucleaires* (CERN), na Suíça, anunciou, em 1973 (*Journal de Physique, Paris* **11/12**, p. T34), que havia encontrado evidências de correntes leptônicas neutras ao estudar a interação de neutrinos ( $\nu$ ) com a matéria nuclear (núcleons). Registre-se que, em 1974 (*Physical Review Letters* **32; 33**, pgs. 800; 843), essa descoberta foi confirmada por dois grupos de pesquisadores (14 e 12) do então *Fermi National Accelerator Laboratory* (FNAL e hoje, FERMILAB), da *Universidade de Chicago*, nos Estados Unidos da América.

Por fim, a confirmação da **Teoria GIM** ocorreu em novembro de 1974 (com a publicação de seus resultados ocorrida em dezembro), quando quatro grupos de pesquisadores independentes anunciaram a descoberta de uma nova **ressonância mesônica pseudo-vetorial** de massa muito elevada ( $3,105 \text{ GeV} = 3105 \text{ MeV}$ ) e  $J^P = 1^-$ , e de largura muito estreita ( $\sim 0.07 \text{ MeV}$ ). Esses quatro grupos de pesquisadores, foram: J. J. Aubert, U. Becker, P. J. Biggs, J. Burger, M. Chen, G. Everhart, P. Goldhagen, Y. Y. Lee, L. Leong, T. McCorrison, T. G. Rhoades, M. Rohde, Samuel Chao Chung Ting (n.1936; PNF, 1976) e Sau Lan Wu (*Physical Review Letters* **33**, p. 1404), do *acelerador de prótons* (“Alternating Gradient Synchrotron” - AGS) do *Brookhaven National Laboratory* (USA); J. E. Augustin, A. M. Boyarski, M. Breidenbach, F. Bulos, J. T. Dakin, G. J. Feldman, G. E. Fischer, D. Fryberger, Gail J. Hanson, B. Jean-Marie, R. R. Larsen, V. Lüth, H. L. Lynch, D. Lyon, C. C. Morehouse, J. M. Paterson, Martin Lewis Perl (n.1927; PNF, 1995), Petros Afentoulis Rapidis, Burton Richter (n.1931; PNF, 1976), Roy F. Schwitters, M. M. Tanenbaum, F. Vannucci, G. S. Abrams, D. D. Briggs, William Chinowsky, C. E. Friedberg, Gerson Goldhaber (n.1924), R. J. Hollebeek, J. A. Kadyk, B. Lulu, F. M. Pierre, George H. Trilling, J. S. Whitaker, J. E. Wiss e J. E. Zipse (*Physical Review Letters* **33**, p. 1406), do *anel de colisão* (“Stanford Positron Electron Accelerator Ring” – SPEAR) do *Stanford Linear Accelerator Center* (SLAC) da *Universidade de Stanford* (USA); C. Bacci, R. Baldini Celio, M. Bernardini, G. Capon, R. Del Fabro, M. Grilli, E. Iarocci, L. Jones, M. Locci, C. Mencuccini, G. P. Murtas, G. Penso, G. Salvini, M. Spano, M. Spinetti, B. Stella, V. Valente, B. Bartoli, D. Bisello, B. Esposito, F. Felicetti, P. Monacelli, M. Nigro, L. Paoluzi, I. Peruzzi, G. Piano Mortari, M. Piccola, F. Ronga, F. Sebastiani, L. Trasatti, F. Vanoli, G. Barbarino, G. Barbiellini, C. Bemporad, R. Biancastelli, M. Calvetti, M. Castellano, F. Cevenini, F. Cosntantini, P. Lariccia, S. Patricelli, P. Parascandolo, E. Sassi, C. Spencer, L. Tortora, U. Troya e S. Vitale (*Physical Review Letters* **33**, p. 1408), do *anel de colisão* ADONE, no *Frascati National Laboratory*, na Itália; e W. Braunschweig, C. L. Jordan, H. U. Martyn, H. G. Sander, D. Schmitz, W. Sturm, W. Wallraff, K. Berkelman, D. Cords, R. Felst, E. Gadermann, H. G. Grindhammer, H. Hultschig, P. Joos, W. Koch, U. Kötz, H. Krehbiel, D. Kreinick, L. Ludwig, K. H. Mess, H. C. Mofeitt, D. Notz, G. Poelz, K. Sauerberg, P. Schmüser, G. Vogel, B. H. Wiik, G. Wolf, G. Buschhorn, R. Kotthaus, U. E. Kruse, H. Lierl, H. Oberlack, S. Orito, K. Pretzl, M. Schliwa, T. Suda, Y. Totsuka e S. Yamada (*Physics Letters* **B53**, p. 393), do *anel de colisão* DORIS (“DOPpel Ring Speicher”), em Hamburg, na Alemanha.

O grupo de pesquisadores liderados pelo físico sino-norte-americano Ting descobriu essa nova ressonância em uma reação do tipo:  $p + Be \rightarrow e^+ + e^- \rightarrow J + H$ , enquanto o segundo grupo de pesquisadores liderado pelo físico norte-americano Richter a obteve por intermédio da reação:  $e^+ + e^- \rightarrow \nu + H$ . Nessas reações, Be representa o elemento químico berílio, e H significa

hádron. Os dois outros grupos de pesquisadores encontraram esse nova partícula por intermédio da colisão pósitron-elétron ( $e^+ + e^-$ ).

Sobre essa nova **ressonância mesônica**, é oportuno fazer alguns comentários. Provavelmente, o nome que Richter deu para essa partícula, a letra grega psi ( $\Psi$ ), seja devido à forma do gráfico em que são relacionadas as secções de choque da colisão pósitron-elétron, com a produção de hádrons e múons, conforme se pode ver em sua *Nobel Lecture* [Burton Richter, **From the Psi to Charm – The Experiment of 1975 and 1976** (Nobel e-Museum, 11 de Dezembro de 1976)]. Por sua vez, o nome dado por Ting, a letra J, decorre do fato de que a partícula foi obtida em uma reação envolvendo a corrente eletromagnética, que é denotada por J, conforme se vê em textos sobre Teoria Eletromagnética. [Samuel Chao Chung Ting, **The Discovery of the J Particle** Nobel e-Museum, 11 de Dezembro de 1976]. Contudo, o físico norte-americano James S. Trefil (n.1938), em seu livro **From Atoms to Quarks: An Introduction to the Strange World of Particle Physics** (Charles Scribner's Sons, 1980), afirma que talvez a escolha da letra J por parte de Ting tenha sido devido à semelhança entre essa letra e o caráter chinês para a palavra Ting. Hoje, essa partícula não tem uma notação única, pois ela é conhecida como **psi/jota** ( $\Psi/J$ ) ou **jota/psi** ( $J/\Psi$ ), dependendo do autor.

Ainda sobre essa nova partícula, é oportuno salientar que, desde 1967, o físico norte-americano Max Leon Lederman (n.1922; PNF, 1988) e seu grupo de pesquisadores no então FNL, realizaram experiências de espalhamento de múons com prótons e elétrons, cujos resultados indicavam a sua existência. Tais resultados foram apresentados em artigos publicados em 1968 (R. W. Ellsworth, A. C. Melissinos, J. H. Tinlot, H. von Briesen Junior, T. Yamanouchi, Lederman, T. Tannebaum, R. L. Cool e A. Maschke: *Physical Review* 165, p. 1449), em 1969 (L. Camilleri, J. H. Christenson, M. Kramer, Lederman, Y. Nagashima e Yamanouchi: *Physical Review Letters* 23, p. 153) e em 1970 (Christenson, G. S. Hicks, Lederman, P. J. Limon, B. G. Pope e Emilio Zavattini: *Physical Review Letters* 25, p. 1523). No entanto, somente com a descoberta da  $J/\Psi$  (ou **Gypsy**, como Lederman a chamou), em 1974, é que Lederman percebeu que essas experiências poderiam ter levado à descoberta dessa partícula, se ele tivesse usado uma técnica de detecção mais refinada. Sobre essa “descoberta perdida”, o filósofo e escritor norte-americano Robert P. Crease, em seu livro **Os 10 mais belos experimentos científicos** (Jorge Zahar Editor, 2006), reproduz as opiniões de Lederman sobre essa sua “quase descoberta”. Com efeito, segundo Lederman, naquela ocasião (1967-1970), ele e sua equipe não tinham “o conhecimento suficiente sobre os elementos cruciais da física”. Afirmou, também, que ele “devia ter sido esperto o bastante para substituir o material espesso (que usara nos experimentos que realizou) por material mais fino”. Disse ainda que “se eu tivesse sido mais esperto, teria recomeçado o experimento do início. Mas não fui. Fui burro”. Para maiores detalhes sobre a descoberta da  $J/\Psi$ , ver: Sheldon Lee Glashow e Ben Bova, **Interactions: A Journey Through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World** (Warner Books, 1989); Leon Lederman and Dick Teresi, **The God Particle: If the Universe Is the Answer, What Is the Question?** (Delta Book, 1994); Crease, op. cit.; Glashow, op. cit.; e Trefil, op. cit.

Depois de novembro de 1974 várias **ressonâncias mesônicas gipsions (psigions)** foram observadas experimentalmente, as quais apresentaram uma espectroscopia análoga à atômica e à nuclear, com tais ressonâncias de massa maior decaindo em uma de massa menor, com emissão de hádrons, como, por exemplo, as observadas pelo grupo de Richter, ainda em 1974 (com A. Litke e B. Sadoulet e sem Dakin: *Physical Review Letters* 33, p. 1453) e confirmada em 1975 (sem Lulu, Pierre, Rapidis, Tanenbaum e Wiss: *Physical Review Letters* 34, p. 233; com Litke e Sadoulet e sem Augustin, Hollebeek e Wiss: *Physical Review Letters* 34, p. 1181), do tipo:  $\Psi'(3684) \rightarrow \Psi(3095) + \pi^+ + \pi^-$ , onde o número entre parêntesis representa a massa da partícula em MeV. [Para maiores detalhes sobre a espectroscopia das **gipsions (psigions)**, ver: Hélio Freitas de Carvalho, **Espectroscopia dos mésons pesados e novos quarks** (Tese de Doutorado



DFPUC/RJ, 1977); Elliot Leader and Enrico Predazzi, **An Introduction to Gauge Theories and the 'New Physics'** (Cambridge University Press, 1983)].

O processo de produção dessas novas ressonâncias por meio de feixes de partículas de natureza variada (fótons, píons, núcleons e léptons) e a medida dos parâmetros característicos de tal processo, indicavam ser as mesmas produzidas por interação forte, isto é, eram hadrônicas. Porém, sua elevada massa (da ordem de GeV) e sua vida média relativamente longa (da ordem de  $10^{-20}$  s), não permitiram enquadrá-las no **Modelo de Quarks**. Em vista disso, em 1975, sete grupos de físicos, quais sejam: S. Borchardt, V. S. Mathur e Susumu Okubo (n.1930) (*Physical Review Letters* **34**, p. 38); Thomas Appelquist (n.1941) e Hugh David Politzer (n.1949; PNF, 2004) (*Physical Review Letters* **34**, p. 43); Álvaro de Rújula e Glashow (*Physical Review Letters* **34**, p. 46); Curt G. Callan Junior (n.1942), R. L. Kingsley, Sam Bard Treiman (1925-1999), Anthony Wilczek (n.1951; PNF, 2004) e A. Zee (*Physical Review Letters* **34**, p. 52); B. J. Harrington, S. Y. Park e A. Yildiz (*Physical Review Letters* **34**, p. 236); Appelquist, Rújula, Politzer e Glashow (*Physical Review Letters* **34**, p. 365); e E. Eichten, Kurt Gottfried, Toichiro Kinoshita (n.1925), K. D. Lane e T. M. Yan (*Physical Review Letters* **34**, p. 369) propuseram que a  $J/\psi$  ( $\psi/J$ ) seria um estado ligado do **quark c** (com as características:  $m = 1,3$  GeV,  $J = 1/2$ ,  $Q = + 2e/3$  e  $C = + 1$ ) e de seu **antiquark  $\bar{c}$**  ( $m = 1,3$  GeV,  $J = 1/2$ ,  $Q = - 2e/3$  e  $C = - 1$ ), ou seja:  $J/\psi \equiv \psi/J = c\bar{c}$ . Registre-se que esse estado ligado recebeu, de Appelquist e Politzer (e, independentemente, de Rújula), o nome de **charmonium** [em analogia ao estado ligado pósitron-elétron – **positronium** -, pela primeira vez observado pelo físico austro-norte-americano Martin Deutsch (1917-2002), no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), em 1951], que é uma partícula não-charmosa, isto é, com  $C = 0$ .

Como algumas **ressonâncias mesônicas gipsions (psigions)** ou **charmonia** se desintegravam segundo uma interação tipicamente forte ( $\sim 10^{-23}$  s), a **Teoria GIM** previa então a existência de **hádrons (mésons e bárions) charmosos**, de massa entre 2-3 GeV, vida-média entre  $10^{-12}$  –  $10^{-14}$  s, e com  $C \neq 0$ . A partir de 1975, evidências experimentais sobre a existência dessas partículas charmosas foram observadas em interações de neutrinos e interações de fótons, analisadas em *câmara de bolhas*, assim em interações de partícula-antipartícula em **anéis de colisão**. Uma primeira evidência de um **méson charmoso ( $D^0$ )** foi anunciada, em 1975 (*Physics Letters* **B58**, p. 361), por Musset e sua equipe de pesquisadores constituída de H. Deden, F. J. Hasert, W. Krenz, J. von Krogh, D. Lanske, J. Morfin, M. Pohl, K. Schultze, H. Weerts, G. H. Bertrand-Coremans, M. Goossens, H. Mulkens, J. Sacton, W. van Doninck, P. Vilain, H. Burmeister, D. C. Cundy, D. Haidt, A. Lloret, J. B. M. Pattinson, D. H. Perkins, F. Romano, A. Rousset, H. Wachsmuth, L. Beher, V. Brisson, A. Contet, B. Degrange, M. Haguenaue, L. Kluberg, U. Nguyen-Khac, P. Petiau, E. Belloti, S. Bonetti, D. Cavalli, E. Fiorini, A. Pullia, M. Rollier, B. Aubert, L. M. Chounet, J. Gandsman, P. Heusse, M. Jaffre, L. Jauneau, C. Longuemare, A. M. Lutz, C. Pascaud, J. P. Vialle, F. W. Bullock, T. W. Jones, A. G. Michette, G. Myatt e J. Pinfold ao analisarem a interação de um feixe de neutrinos ( $\nu$ ) com nêutrons ( $n$ ) da *câmara de bolhas "Gargamelle"* do CERN, em uma reação que apresentava o seguinte aspecto:

$$\nu + n \rightarrow p + \mu^- + D^0 \rightarrow p + \mu^- + e^+ + K^0 + \pi^- + \nu_e.$$

Essa evidência da existência de  $D^0$  foi confirmada em 1976, em experiências realizadas por três grupos de pesquisa. O próprio grupo de Musset (CERN) (com A. Aldrovandi, J. Blietschau, A. Blondel, D. Blum, I. Danielchenko, T. François, C. Matteuzzi, K. Myklebost, D. Pittuck, P. van Dam e L. Welch, e sem Beher, Burmeister, Contet, Gandsman, Goossens, Pinfold, Schultze, Villain e von Krogh: *Physics Letters* **B60**, p. 207); e dois grupos no NFL: von Krogh, W. Fry, Ugo Camerini (n.1925), D. Cline, R. P. Loveless, J. Mapp, R. H. March, D. D. Reeder, Angelina Barbaro-Galtieri, P. Bosetti, G. Lynch, J. Marriner, F. Solmitz, M. L. Stevenson, Haidt, G. Harigel, Wachsmuth, R. Cence, F. Harris, S. I. Parker, M. Peters, V. Peterson e V. Stenger (*Physical Review Letters* **36**, p. 710); e B. C. Barish, J. F. Bartlett, A. Bodek, K. W. Brown, D. Buchholz, F. Jacquet, J.



Lee, F. S. Merritt, F. J. Sciulli, L. Stutte, H. Suter, H. E. Fisk e G. Krafczyk (*Physical Review Letters* **36**, p. 939).

O grupo inicial de Richter do SPEAR, ainda em 1976 (com M. S. Alam, W. C. Carithers, S. C. Cooper, R. G. Devoe, J. M. Dorfan, J. Jaros, A. D. Johnson, D. Luke, R. J. Madaras, H. K. Nguyen, I. Peruzzi, M. Piccolo, F. M. Pun, Sadoulet, R. H. Schindler, e J. Siegrist, e sem Augustin, Briggs, Bulos, Dakin, Fischer, Hollebeek, Jean-Marie, Lulu, Lyon, e Zipse: *Physical Review Letters* **37**, p. 255), anunciou a descoberta de um **méson charmoso-zero** [ $D^0(\bar{u}c)$ ] de massa 1865 MeV, com os seguintes modos de decaimento:  $D^0 \rightarrow K^- + \pi^+$ ;  $D^0 \rightarrow K^- + \pi^+ + \pi^- + \pi^+$ . Este mesmo grupo de Richter (com Fischer e Pierre, e sem Cooper, Sadoulet e Wiss) anunciou, também em 1976 (*Physical Review Letters* **37**, p. 569), a descoberta do primeiro **méson charmoso-mais** [ $D^+(\bar{d}c)$ ] de massa 1875 MeV. Registre-se que, em 1975 (*Physical Review Letters* **34**, p. 1125), E. G. Cazzoli, A. M. Cnops, P. L. Connolly, R. I. Louttit, M. J. Murtagh, Robert B. Palmer, Samios, T. T. Tso e H. H. Williams anunciaram que haviam encontrado evidências da existência de **bárions charmosos**, oriundos da interação de um feixe de neutrinos com a matéria hadrônica (núcleons) de uma *câmara de bolhas*. E, em 1976 (*Physical Review Letters* **37**, p. 882), B. Knapp, W. Lee, P. Leung, S. D. Smith, A. Wijangco, J. Knauer, D. E. Yount, J. Bronstein, R. Coleman, G. Gladding, M. Goodman, M. Gormley, R. Messner, T. O'Halloran, J. Sarracino, A. Wattenberg, M. Binkley, I. Gaines e J. Peoples anunciaram a descoberta dos seguintes **bárions charmosos**:  $\Lambda_c(\bar{u}dc)$ , com 2260 MeV, e  $\Sigma_c(\bar{u}cc)$ , com 2480 MeV, depois de estudarem a interação de fótons com a matéria hadrônica referida acima. A partir daí, vários outros **hádrions charmosos** foram descobertos, como se pode ver em: *La Recherche* **104** (10/1979); *Science News* **117** (01/1980); *La Recherche* **111** (05/1980); Leader e Predazzi (1983), op. cit.; Glashow e Bova (1989), op. cit.; Glashow (1991); Lederman e Teresi (1994), op. cit.; Val L. Fitch and Jonathan L. Rosner, *IN: Twentieth Century Physics, Volume II* (Institute of Physics Publishing and American Institute of Physics Press, 1995); José Maria Filardo Bassalo, **Nascimentos da Física (1971-1990); ----- (1991-2000)** (Fundação Minerva, 2007; 2008).

Conforme vimos em verbete desta série, em 1975, o grupo de pesquisadores do SLAC, agora sob a liderança de Perl, anunciou a descoberta do quinto lépton: o **tau** ( $\tau$ ). Por sua vez, segundo o Modelo Padrão das Partículas Elementares (vide verbete nesta série), todo **lépton** forma um duplete com o seu **neutrino** correspondente ( $\nu_\tau$ ). Deste modo, a simetria quadrangular da Natureza (quatro **quarks** e quatro **léptons**) da qual falamos anteriormente, acabara de ser rompida e, portanto, deveria haver mais dois quarks para completar o mesmo número de léptons. Aliás, essa possibilidade já havia sido aventada, ainda em 1974 (*1974 Williamsburg DPF Meeting*) [depois da descoberta da **charmonium**, de cuja estrutura faz parte o quarto **quark** ( $c$ )], por parte de Michael Barnett, da *Universidade de Stanford*, Feza Gursev, da *Universidade de Yale*, Pierre Sikivie, da *Universidade de Maryland*, e Pierre Raymond, do *California Institute of Technology* (CALTECH). Essa possibilidade foi de novo proposta, em agosto de 1975, pelo físico israelense Haim Harari (n.1940), no *Stanford 1975 Lepton-Photon Conference*, ocasião em que chegou a propor que esses dois novos “sabores” de **quarks** eram caracterizados, respectivamente, pelos números quânticos T (de “truth”, verdade em inglês) e B (de “beauty”, beleza em inglês), e que seriam mais pesados do que os 4 **quarks** ( $u, d, s, c$ ) até então conhecidos. Note-se que, em 1977, Lederman denominou esses novos **quarks**, respectivamente, de **top** ( $t$ ), com a carga de  $+2e/3$ , e semelhante aos “sabores”  $u$  e  $c$ , e de **bottom** ( $b$ ), com carga de  $-e/3$ , e semelhante aos “sabores”  $d$  e  $s$ . Hoje, as massas desses **quarks** valem, respectivamente: 175 GeV e 4,3 GeV.

Em 1976 (*Physics Letters* **B66**, p. 286), Eichten e Gottfried discutiram a possibilidade de existirem estados ligados de um possível **quark pesado**. Ainda em 1976 (*Physical Review Letters* **36**, p. 1478), A. Benvenuti, Cline, W. T. Ford, R. Imlay, T. Y. Ling, A. K. Mann, Reeder, Carlo Rubbia (n.1934; PNF, 1984), R. J. Stefanski, L. R. Sulak e P. J. Wanderer sugeriram uma possível

produção desse novo **quark**, ao analisarem uma anomalia no espalhamento inelástico de antineutrinos.

A primeira evidência experimental da existência de um quinto **quark** foi anunciada em 1977 [*Physical Review Letters* **39**, pgs. 252; 1240, 1640(E)], em decorrência de uma experiência realizada por Lederman e sua equipe de pesquisadores (Steve W. Herb, D. C. Horn, J. C. Sens, H. D. Snyder, J. K. Yoh, R. J. Fisk, J. A. Appel, B. C. Brown, Charles N. Brown, Walter R. Innes, K. Ueno, Yamanouchi, A. S. Ito, H. Jostlein, D. M. Kaplan e R. D. Kephart), na qual estudaram o espalhamento de prótons por um núcleo atômico, de cobre (Cu) e de chumbo (Pb), com a produção de múons ( $\mu^-$  e  $\mu^+$ ) e de mais uma **ressonância mesônica** de massa 9,5 GeV e  $J^P = 1^-$ , denominada por Lederman de **méson upsilon** ( $\Upsilon$ ), e que seria constituída pelo estado ligado **quark bottom e antiquark bottom**, ou seja:  $\Upsilon = b\bar{b}$ . Ainda em 1977, novos estados ressonantes desta nova partícula foram descobertos [ $\Upsilon'$  (~10 GeV),  $\Upsilon''$  (~10.3 GeV) e  $\Upsilon'''$  (~10.6 GeV)] no *Deutsches Elektronen Synchrotron* (DESY), em Hamburg, no CERN, e no *Cornell Electron Storage Ring* (CESR), em New York. Em 1983, dois grupos de físicos trabalhando independentemente no SLAC, o MAC (45 físicos) (*Physical Review Letters* **51**, p. 1022) e o MARK II ( ) (*Physical Review Letters* **51**, p. 1316), encontraram que tais ressonâncias, conhecidas como **mésons B**, possuem uma vida média de  $\sim 14 \times 10^{-13}$ s. Em 1987 (*Physics Letters B* **192**, p. 245), um grupo de 78 físicos da *Colaboração ARGUS* anunciou a descoberta de mais um **méson-B**, o **B-zero** ( $B^0 = \bar{b}d$ ), com a massa de 5,28 GeV.

É ainda interessante destacar que o sexto **quark**, o **top** (t), cuja massa foi calculada teoricamente, em 1980 (*Zeitschrift für Physics C: Particles and Fields* **6**, p. 47), pelos físicos japoneses K. Hikasa e K. Igi, e confirmada, em 1981 (*Physical Review Letters* **46**, p. 1354), por Andrzej J. Buras, do FNAL, como sendo em torno de 200 GeV, teve sua primeira evidência experimental anunciada, em 26 de abril de 1994 (*Physical Review Letters* **73**, p. 225; *Physical Review D* **50**, p. 2966), por um grupo de 397 físicos trabalhando no detector *Collider Detector Facility* (CDF), do acelerador *Tevatron* do FERMILAB. Contudo, sua descoberta oficial só foi comunicada, em 1995, por dois grupos de pesquisadores do mesmo FERMILAB, o já referido CDF (agora composto de 407 físicos: *Physical Review Letters* **74**, p. 2626) e o D0 [composto de 402 físicos, dos quais oito brasileiros – Gilvan Augusto Alves (n.1960), José Guilherme Rocha Lima (n.1967), Arthur Kós Antunes Maciel (n.1951), João Ramos Torres de Mello Neto (n.1960), Jussara Marques de Miranda (n.1962), Vítor Oguri (n.1951), Alberto Franco de Sá Santoro (n.1941) e Moacyr Henrique Gomes e Souza (n.1944): *Physical Review Letters* **74**, p. 2632], e com a massa de  $\sim 200$  GeV.

Na conclusão deste verbete sobre a descoberta dos **mésons**, é oportuno fazer dois comentários. O primeiro, é para homenagear os físicos e engenheiros brasileiros que trabalharam na **Física do Charme** e na descoberta do **quark top**, nas experiências realizadas no FERMILAB: E-691 (Foto Produção de Charme); E-769 (Hadroprodução de Charme); e E-791 (Produção Hadrônica de Sabores Pesados), e no *Laboratório de Física Experimental* (LAFEX), do *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas* (CBPF), no Rio de Janeiro, construído sob a liderança de Santoro. Além dos físicos citados acima, temos ainda: Sandra Amato (n.1963), João Carlos Costa dos Anjos (n.1944), Ignácio Alfonso de Bediaga e Hickman (n.1954), Márcia Begalli (n.1958), Francisco Caruso Neto (n.1959), Wagner de Paula Carvalho (n.1968), Carlos Ourívio Escobar (n.1948), Miriam Gandelman (n.1968), Sérgio Joffily (n.1942), Carlos Alberto Ferreira Lima (n.1940), Adolfo Pedro de Carvalho Malbouisson (n.1946), Hélio da Motta Filho (n.1955), Luis Martins Mundim Filho (n.1966), Maria Elena Pol (n.1948), Alberto Correa dos Reis (n.1958), Itzhak Roditi (n.1953), Ronald Cintra Shellard (n.1948), Fernando Raimundo Aranha Simão (n.1941), José Soares (n.1957) e André Sznajder (n.1967). Os engenheiros, são: Carla Osthoff de Barros (n.1961), Mariano Sumrell Miranda (n.1960), Mario Vaz da Silva Filho (n.1945) e Bruno Richard Schulze (n.1958).

O segundo comentário, devido aos meus amigos Alberto Santoro, Francisco Caruso e José Guilherme Lima (que fizeram as leituras críticas deste verbete, aos quais agradeço nesta oportunidade), é o de que embora a **Física do Charme** (e do **charmonium**) e a **Física do Bottom** (e do **bottomonium**) já estejam razoavelmente bem conhecidas, como a produção, modos de decaimento e razões de ramificação [Bassalo (2007; 2008), op. cit.], a **Física do Top** (e do **toponium**) se beneficiará bastante a partir da entrada em operação, até o final de 2008, do *Large Hadron Collider* (LHC), do CERN, e do qual se espera, desde 1964, a confirmação do **bóson de Higgs** (vide verbete nesta série) e que, de certa maneira, fechará o Modelo Padrão das Partículas Elementares (vide verbete nesta série). Espera-se, também, que o LHC traga uma nova revolução desvendando os caminhos para uma provável expansão desse Modelo a novos regimes de energia, e que responda a algumas das perguntas atuais sobre a origem e o futuro do Universo. É oportuno registrar que a Colaboração D0 do FERMILAB anunciou, em 25 de julho de 2008, um possível prelúdio para confirmar ou não, o **bóson de Higgs**, ao observarem no *Tevatron*, um par de bósons  $Z^0$  ([www.fnal.gov/pub/presspass/images/Dzero-zz-pairs.html](http://www.fnal.gov/pub/presspass/images/Dzero-zz-pairs.html)).

Registre-se, também, que pesquisadores (*Belle Collaboration*) do *High Energy Accelerator Research* (KEK) em Tsukuba, no Japão, anunciaram, em agosto de 2008, a descoberta de três novos **mésons** [ $Z_1$  (4051 MeV),  $Z_2$  (4248 MeV) e  $Y_b$  (10860 MeV)]. As duas primeiras partículas ( $Z_1$  e  $Z_2$ ) têm carga elétrica unitária e foram encontradas no decaimento de **mésons-B**. A  $Y_b$  é um híbrido exótico, formado por um par de **bottom-antibottom**, conectado por um **glúon excitado**. Para maiores detalhes dessa descoberta, ver: [www.kek.jp/intra-press/2008/BellePress13e.html](http://www.kek.jp/intra-press/2008/BellePress13e.html).



ANTERIOR

SEGUINTE