



SEARA DA CIÊNCIA

CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



Spin Isotópico ou Isospin.

Segundo vimos em verbetes desta série, a descoberta do nêutron pelo físico inglês Sir James Chadwick (1891-1974; PNF, 1935), em 1932 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A136**, pgs. 696; 735), como uma das partículas constituintes do núcleo atômico [descoberto pelo físico neozelandês-inglês Sir Ernest Rutherford (1871-1937; PNQ, 1908), em 1911], juntamente com o próton, provocou uma grande dificuldade para os físicos, qual seja, a de explicar a razão dos prótons não se repelirem pela força eletromagnética no interior do núcleo, força essa proposta pelo físico francês Charles Augustin Coulomb (1736-1806), em 1785. Para resolver essa dificuldade, ainda em 1932, os físicos, o alemão Werner Karl Heisenberg (1901-1976; PNF, 1932) (*Zeitschrift für Physik* **77**, p. 1), o russo Dimitrij Iwanenko (1904-1994) (*Nature* **129**, p. 798) e o italiano Ettore Majorana (1906-1938) propuseram a hipótese de que os prótons e os nêutrons, enquanto partículas constituintes do núcleo atômico, se comportavam como partículas únicas [núcleons, nome cunhado pelo físico dinamarquês Christian Möller (1904-1980), em 1941 (*Køngelige Danske Videnskabernes Selskab Matematisk-Fysiske Meddelanden* **18**, p. 6)], que interagem por intermédio de uma força atrativa capaz de superar a repulsão Coulombiana. Ainda em 1932 (*Zeitschrift für Physik* **78**, p. 156), Heisenberg defendeu a idéia de que os componentes do núcleo deveriam se caracterizar por um novo número quântico, e não por sua carga elétrica. É oportuno destacar que, segundo nos fala o romancista italiano Leonardo Sciascia (1921-1989), em seu livro **Majorana Desapareceu** (Rocco, 1991), Majorana formulou a teoria sobre as “forças de troca” entre os constituintes do núcleo atômico, seis meses antes de Heisenberg. Depois de apresentá-la aos seus colegas do *Instituto de Física da Universidade de Roma*, se recusou a publicá-la, bem como proibiu que seu colega, o físico italiano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938) o apresentasse no *Congresso de Física* que iria ser realizado em Paris. Segundo ainda Sciascia, a condição imposta por Majorana a Fermi, caso ele quisesse apresentar tal teoria, era a de que Fermi o fizesse atribuindo sua autoria a um professor italiano de eletro-técnica, possivelmente da *Universidade de Roma*, pelo qual Majorana não tinha nenhum apreço, e que certamente estaria presente no referido Congresso. Destaquemos, também, que a dificuldade de não haver a repulsão Coulombiana entre os prótons foi contornada de outra maneira pelo físico japonês Hideaki Yukawa (1907-1981; PNF, 1949), em 1935, ao formular a Teoria da Força Forte entre os “núcleons” (vide verbete nesta série).

A idéia de que os “núcleons” não deveriam ser caracterizados por sua carga elétrica foi retomada, em 1936 (*Physical Review* **50**, p. 846), pelos físicos norte-americanos Benedict Cassen (1902-1972) e Edward Uhler Condon (1902-1974), ao apresentarem um formalismo que incorporava a igualdade entre as interações próton-próton, próton-nêutron e nêutron-nêutron, igualdade essa que ficou então conhecida como **Princípio da Independência da Carga Elétrica**. Logo em 1937 (*Physical Review* **51**, p. 106), o físico húngaro-norte-americano Eugene Paul Wigner (1902-1995; PNF, 1963) usou o grupo de simetria SU(4) para estudar esse princípio. Nessa ocasião, ele chamou de **spin isotópico** [hoje, **isospin** (I)], ao número quântico proposto por Heisenberg, em 1932, segundo vimos acima, em analogia ao conceito de *spin*, que havia sido introduzido pelos físicos holandeses George Eugene Uhlenbeck (1900-1988) e Samuel Abraham

Goudsmith (1902-1978), em 1925 (vide verbete nesta série). Sobre o grupo geral $SU(n)$, ver também verbete nesta série.

O número quântico de Heisenberg-Iwanenko-Majorana-Wigner (**isospin**), baseado no **Princípio da Independência da Carga Elétrica (Q)**, permitia identificar os dois subestados que um **núcleon** poderia assumir, por intermédio do terceiro componente desse número, ou seja, o **componente Z** ($I_Z \equiv I_3$). Assim, o próton teria $I_Z = + \frac{1}{2}$ e o nêutron, teria $I_Z = - \frac{1}{2}$, e suas respectivas cargas seriam dadas por: $Q = e (I_Z + \frac{1}{2})$, sendo e a carga do elétron. Dessa maneira, a carga do próton seria: $e (I_Z + \frac{1}{2}) = e (\frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = e$, e a do nêutron, $e (I_Z + \frac{1}{2}) = e (- \frac{1}{2} + \frac{1}{2}) = 0$. Dizia-se, então, que o **núcleon** formava um **dupletto**, pois, sendo tal **dupletto** caracterizado pelo **isospin** $I = \frac{1}{2}$, ele teria dois estados, uma vez que o número de estados de um **multipletto de isospin** vale $M = 2 I + 1$. Desse modo, teríamos: $M = 2 \times \frac{1}{2} + 1 = 2$.

A adoção do número quântico **isospin** para caracterizar o **dupletto núcleon** e a conseqüente expressão para calcular a carga elétrica de uma partícula em função desse número, apresentou sua primeira dificuldade com a descoberta dos **mésons-pi** (hoje, **pions**) ($\pi^{\pm,0}$), entre 1947-1950 (vide verbete nesta série). Como eles formavam um **tripletto**, foi atribuído aos mesmos o **isospin** $I = 1$, com os seguintes componentes: $I_Z = + 1, 0, -1$. Contudo, a fórmula para o cálculo da carga elétrica de uma partícula referida acima não poderia ser usada para esse tripletto, por causa da presença da parcela $\frac{1}{2}$. Em vista disso, em 1954, foi proposto um outro número quântico, o **bariônico (B)**, para poder diferenciar o **tripletto pión** do **dupletto núcleon**. Assim, os **bárions-núcleons** teriam $B = + 1$ (e para as respectivas antipartículas: $B = - 1$), e os **mésons-pi**, $B = 0$. Com isso, a expressão para o cálculo da carga elétrica passou a ser dada por: $Q = e (I_Z + B/2)$ que, como é fácil ver, se aplica perfeitamente aos **núcleons** ($B = + 1$) (**próton**: $I_Z = + \frac{1}{2}$; **nêutron**: $I_Z = - \frac{1}{2}$) e também aos **pions** ($B = 0$) (π^+ : $I_Z = + 1$; π^- : $I_Z = - 1$ e π^0 : $I_Z = 0$).

Contudo, apesar da adoção do B , uma nova dificuldade apareceu na aplicação da fórmula $Q = e (I_Z + B/2)$ para as **partículas estranhas** que foram descobertas, a partir de 1947 e até a metade da década de 1950. Tais partículas, conforme vimos em verbetes desta série, eram (em notação atual) os **mésons-káons** [dupletto: K^+, K^0] e os **bárions-hyperons** [tripletto: $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$; dupletto: Ξ^-, Ξ^0 ; singletto: Λ^0]. Essas partículas não se enquadravam naquela fórmula de Q como se pode verificar. Por exemplo, a Σ^+ , cuja carga vale $+ e$, com $B = + 1$ e $I_Z = + 1$, teria $Q = + 3e/2$. Para contornar essa dificuldade, conforme vimos em verbete desta série, em 1953, os físicos, o norte-americano Murray Gell-Mann (n.1929; PNF, 1969) (*Physical Review* **92**, p. 833) e, de maneira independente, os japoneses Tadao Nakano (n.1926) e Nishijima (*Progress in Theoretical Physics* **10**, p. 581) estenderam o **Princípio da Independência da Carga Elétrica** às **partículas estranhas**, ocasião em que apresentaram a proposta de um novo número quântico, denominado de **estranheza (S)** ("strangeness") por Gell-Mann, e de **eta (η)** por Nakano e Nishijima, que seria incorporada à fórmula do cálculo da carga Q , por intermédio da expressão: $Q = e [I_Z + (B + S)/2]$. A partir desta expressão, como se pode ver facilmente, para obter-se o valor correto das cargas das **partículas estranhas** referidas acima, foi necessário atribuir os seguintes valores para S : $+ 1$, para K^+ e K^0 ; $- 1$, para Λ^0 e $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$; $- 2$, para Ξ^-, Ξ^0 ; e 0 , para **núcleons** e **pions**. Por exemplo, para o cálculo da carga elétrica ($- e$) de Ξ^- , caracterizada por: $B = + 1, I_Z = - 1/2$ e $S = - 2$, tem-se: $Q = e [- \frac{1}{2} + (1 - 2)/2] = - e$. É importante notar que, em 1956 (*Physical Review* **104**, p. 1164), o físico norte-americano Julian Seymour Schwinger (1918-1994; PNF, 1965) propôs um novo número quântico, chamado de **hypercarga (Y)**, que seria a soma de S e B . Desse modo, a partir desse trabalho de Schwinger, os físicos passaram a usar a fórmula: $Q = e (I_Z + Y/2)$.

Em 1981 (*Ciência e Cultura* **33**, p. 285), o autor deste verbete propôs uma generalização da fórmula para o cálculo de Q vista acima, objetivando incluir o **número quântico leptônico** (L), que havia sido proposto, em 1953 (*Physical Review* **92**, p. 1045), pelos físicos norte-americanos Emil John Konopinski (1911-1990) e Hormoz Massou Mahmoud (n.1918), que valeria $+ 1$ para o elétron (e^-) e seu neutrino associado (ν_e), e $- 1$ para as respectivas antipartículas (e^+ , $\bar{\nu}_e$). Naquele artigo, há a proposta de que o elétron (e^-) e seu neutrino associado (ν_e), bem como o múon-menos (μ^-) e seu neutrino associado (ν_μ), formam dupletos de isospin (**isodupletos**), com $I_Z = - 1/2$ e $I_Z = + 1/2$, respectivamente, e ambos com $L = + 1$. Por outro lado, cada **isodupletto leptônico** das respectivas antipartículas (e^+ , $\bar{\nu}_e$; μ^+ , $\bar{\nu}_\mu$), seria caracterizado por: $I_Z = \pm 1/2$ e $L = - 1$. Desse modo, esses léptons teriam sua carga elétrica (Q) calculada por intermédio da expressão dada por: $Q = e [I_Z + (B - L + S)/2]$, com a condição de que $B = S = 0$, como é fácil se observar. Por exemplo, as cargas do μ^+ e de seu neutrino respectivo ($\bar{\nu}_\mu$), seriam: $Q = e \{+ 1/2 + [0 - (-)1 + 0]/2\} = e$; $Q = e \{- 1/2 + [0 - (-)1 + 0]/2\} = 0$.

É oportuno salientar que a fórmula proposta acima também se aplica ao **isodupletto leptônico** (τ^- , ν_τ) e seu respectivo **anti-isodupletto leptônico** (τ^+ , $\bar{\nu}_\tau$), como também se pode facilmente constatar. Ainda é oportuno registrar que essa fórmula ainda se aplica aos **hádrons** (**bárions** e **mésons**), bastando fazer nela, $L = 0$.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)