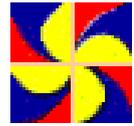




# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

[www.bassalo.com.br](http://www.bassalo.com.br)



---

## Bohr, Heisenberg, Pauli e a Teoria Quântica de Campo Não-Linear.

Neste verbete, descrevemos um episódio ocorrido em 1958, envolvendo os físicos, o dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922), o alemão Werner Karl Heisenberg (1901-1976; PNF, 1932) e o austro-suíço Wolfgang Pauli Junior (1900-1958; PNF, 1945), sobre a ideia de Heisenberg de unificar as Partículas Elementares com as suas interações. Antes, vejamos a história dessa unificação. Para realizá-la, Heisenberg precisava desenvolver uma nova Teoria Quântica de Campos (TQC) que fosse não-linear (TQCN-L) e sem a necessidade da **renormalização** como aconteceu com a Eletrodinâmica Quântica (*Quantum Electrodynamics* – QED) [Bassalo & Caruso, **Feynman** (Livraria da Física, 2013)]. Assim, uma primeira abordagem matemática sobre a TQCN-L foi realizada por Heisenberg, em 1946 (*Zeitschrift für Naturforschung* **1**, p. 608), ao escolher a teoria spinorial usada pelo físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933), em 1928, para escrever sua famosa **Equação de Dirac** (ED) [Bassalo & Caruso, **Dirac** (Livraria da Física, 2013)]. Depois de trabalhar muito usando o formalismo matemático do espaço métrico de Hilbert [lembrar que, em 1924, os matemáticos alemães Richard Courant (1888-1972) e David Hilbert (1862-1943) haviam escrito o famoso livro: **Methoden der Mathematischen Physik** (“Métodos da Física Matemática”)], no final de outono de 1957, depois de participar de um Congresso em Genebra sobre a construção de um acelerador no *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN), na volta passou por Zurique para conversar com Pauli sobre o que já havia escrito para obter sua desejada TQCN-L. Então, recebeu o “sinal verde” de Pauli para prosseguir com suas pesquisas.

Assim, em 16 de dezembro de 1957, Heisenberg mandou uma carta para Pauli na qual detalhou o que havia já obtido de sua TQCN-L. Pauli respondeu-lhe, em duas cartas, suas considerações sobre o texto e o

entusiasmou a continuar. Devido a esse entusiasmo, Heisenberg propôs escreverem um artigo juntos, quase 30 anos depois que haviam escrito os trabalhos sobre os fundamentos da TQC, em 1929 (*Zeitschrift für Physik* **56**, p. 1) e 1930 (*Zeitschrift für Physik* **59**, p. 168) (ver verbetes nesta série). Então, no dia 27 de fevereiro de 1958, Heisenberg preparou o rascunho de um artigo, em nome dele e de Pauli, com o seguinte título: **On the Isospin Group in the Theory of Elementary Particles** (“Sobre o Grupo Isospin na Teoria das Partículas Elementares”), artigo esse que nunca foi formalmente escrito, pois Pauli foi para os Estados Unidos, no início de 1958 e, como dificuldades matemáticas apareceram na formulação da teoria, eles, então, decidiram preparar apenas uma apresentação preliminar (*preprint*), com 14 páginas, com cópias mimeografadas a serem entregues, no dia 27 de fevereiro de 1958, a um grupo de físicos. Contudo, três dias antes, Heisenberg apresentou a teoria em uma palestra no *Instituto de Física da Universidade de Göttingen* (IFUG). Um jornalista presente enviou para os jornais do mundo a sensacional notícia: - *O professor W. Heisenberg e seu assistente W. Pauli descobriram a equação do cosmos*. Em uma entrevista para uma rádio, Heisenberg confirmou a notícia dizendo: - *À exceção de detalhes a serem desenvolvidos mais tarde, essa equação é de fato a chave para o universo*.

Sabedor dessa sensacional notícia por intermédio do físico austríaco Victor Frederick Weisskopf (1908-2002), no dia 07 de março de 1958, Pauli enfureceu-se e escreveu uma carta para Heisenberg, que era uma folha em branco, apenas com a legenda: - *Isto é para mostrar ao mundo que posso pintar como Ticiano* [pintor italiano Ticiano Vecellio (Vecelli) (1473/1490-1576), pintor italiano]. *Faltam apenas detalhes técnicos*. Note-se que, sobre essa carta, existe outra versão: - *À exceção de detalhes a serem desenvolvidos mais tarde, estas são obras-primas de arte equivalentes às de Michelangelo* [pintor, escultor, poeta e arquiteto italiano, Michelangelo di Lodovico Buonarroti Simoni (1475-1564)] [Antônio Fernando Ribeiro de Toledo Piza, **Schrödinger & Heisenberg** (Odysseus, 2003)]. Em consequência dessas cartas [Bassalo & Caruso, **Pauli** (Livraria da Física, 2013)], Pauli decidiu então se desligar desse projeto enviando uma nota ao grupo de físicos que recebera o *preprint*. No dia 23 de abril de 1958, data em que se comemorou o primeiro

centenário de nascimento do físico alemão Marx Karl Ernest Planck (1858-1947; PNF, 1918), no mesmo auditório do IFUG e na presença de 1800 ouvintes, Heisenberg fez uma nova palestra ocasião em que, na presença de em torno de 1800 ouvintes, escreveu a famosa fórmula “chave-do-universo”:  $\gamma_\mu \partial_\mu \psi \pm \ell^2 \gamma_\mu \gamma_5 \psi (\psi^\dagger \gamma_\mu \gamma_5 \psi) = 0$ , onde  $\gamma_\mu$  é a **matriz de Dirac**,  $\partial_\mu = \partial/\partial x^\mu$  ( $\mu = 1, 2, 3, 4$ ),  $\psi$  é o **spinor de Heisenberg**,  $\dagger$  indica o hermitiano conjugado e  $\gamma_5 = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \gamma_4$ . Registre-se que essa equação figurou na primeira página dos dois principais jornais alemães [David C. Cassidy, **Uncertainty: The Life and Science of Werner Heisenberg** (H. W. Freeman and Company, 1991); Silvan S. Schweber, **QED and the Men Who Made It: Dyson, Feynman, Schwinger and Tomonaga** (Princeton University Press, 1994); Michio Kaku, **Hiperespaço** (Rocco, 2000)].

Agora, vejamos o referido episódio entre Bohr, Heisenberg e Pauli. Depois da “bombástica” notícia sobre a “Equação do Universo”, Heisenberg e Pauli só voltaram a se encontrar em julho de 1958, no CERN, por ocasião de um Congresso sobre Física de Alta Energia. Em uma das sessões desse Congresso sobre as Ideias Fundamentais da Teoria de Campos, coordenado por Pauli, Heisenberg foi apresentar sua TQCN-L com os detalhes matemáticos. Antes de dar a palavra a Heisenberg, Pauli disse: - *O que os senhores vão ouvir hoje é apenas um substituto para as ideias fundamentais*. Depois da palestra, Pauli apontou dificuldades no formalismo e fez várias outras críticas. Apesar disso, semanas mais tarde eles voltaram a se encontrar em Varenna, nas margens do lago Como [cidade onde nasceu o físico italiano Alessandro Guiseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827)], na Itália, por ocasião de um Curso de Verão que lá se organizava. Como o tema desse Curso era a Física das Partículas Elementares, Heisenberg e Pauli eram os principais convidados. Ao término da apresentação de Pauli sobre a equação que representava a “dinâmica do cosmos”, Bohr disse: - *Todos concordamos que sua teoria é maluca. A questão que nos divide é se ela é maluca o bastante* [Bassalo & Caruso, **Heisenberg** (Livraria da Física, 2014)].

Contudo, existe outra versão sobre esse episódio. Em seu livro intitulado **De Primatas a Astronautas: A Jornada do Homem em Busca do Conhecimento** (Zahar, 2015), o físico e historiador da ciência norte-

americano Leonard Mlodinow (n.1954) a conta de outra maneira, usando como fonte o seguinte texto: William H. Crooper, **Great Physicist: The Life and Times of Leading from Galileu to Hawking** (Oxford University Press, 2004). Assim, segundo o físico norte-americano Jeremy Bernstein (n.1929), em 1958, Pauli estava ministrando uma Conferência na *Universidade de Columbia* sobre a TQCN-L, desenvolvida por seu amigo Heisenberg. Bohr estava na plateia e foi-lhe solicitado um comentário. Antes da fala de Bohr, Pauli admitiu que a mesma, à primeira vista, parece ser *um pouco maluca*. Bohr replicou dizendo: - *O problema é que ela não é maluca o suficiente*. Pauli e Bohr começaram a discutir entorno de um grande quadro na frente da plateia. Pauli, então, virou-se para a plateia e disse: - *Sim minha teoria é maluca o suficiente*. Bohr, contudo, continuou insistindo: - *Não, sua teoria não é maluca o suficiente!* Segundo Mlodinow, “logo os dois famosos cientistas zanzavam diante da sala, gritando como dois colegiais”.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)