



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA



José Maria Bassalo

Fermi, a Força Fraca e a Fissão Nuclear.

Em verbetes que tratamos da **fissão nuclear** vimos que as primeiras experiências que indicavam esse tipo de reação nuclear foram realizadas pelo físico ítalo-norte-americano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938) e seus assistentes, os físicos, o ítalo-norte-americano Emílio Gino Segré (1905-1989; PNF, PNF, 1959) e os italianos Edoardo Amaldi (1908-1989) e Franco Rama Dino Rasetti (1910-2001), além do químico italiano Oscar d'Agostino (1901-1975). Esse grupo, que trabalhava na *Universidade de Roma* e, por isso, era conhecido como o *Grupo de Roma*, realizava experiências visando à produção de novos elementos radioativos, mediante o bombardeamento do urânio (U) com nêutrons (n). Vejamos como.

Em 1898, o físico inglês Sir Ernest Rutherford (1871-1937; PNQ, 1908) mostrou que os “raios Becquerel” eram constituídos de partículas carregadas positivamente [**partículas alfa** (α)] e negativamente [**partículas beta** (β)]. Logo depois, em 1899 (*Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* **129**, pgs. 996; 1205; 1899), o físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908; PNF, 1903) e, posteriormente, em 1900 (*Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* **130**, p. 647), o casal Curie [o físico francês Pierre (1859-1906; PNF, 1903) e a física e química polonesa-francesa Marie Sklodowska (1867-1934; PNF, 1903; PNQ, 1911)] mostraram que as partículas β eram elétrons (e^-) emitidos por um núcleo A que se transformava em um outro núcleo B. Ao estudar esse **decaimento β** , o físico inglês Sir James Chadwick (1891-1974; PNF, 1935) estabeleceu, em 1914 (*Verhandlungen der Deutschen Physikalische Gesellschaft* **16**, p. 383), que as partículas β possuíam um espectro contínuo de energia. Por outro lado, as experiências de Rutherford realizadas em 1911 e 1919 (vide verbete nesta série) levaram-no a idealizar que o **núcleo atômico** (que havia descoberto em 1911) era constituído de prótons (p) (descobertos por ele em 1919) e de partículas neutras compostas de prótons e de elétrons. Portanto, era natural pensar que os “raios” β eram oriundos de núcleos radioativos.

Desse modo, na década de 1920, desenvolveu-se uma questão polêmica relacionada à energia das partículas β . Desejava-se saber se a mesma era determinada pelas energias dos núcleos final (B) e inicial (A) ou se variava continuamente. Além do mais, havia uma questão objetiva: se um elétron é emitido pelo núcleo A que se transforma no núcleo B e tem energia menor que suas massas de repouso, para onde vai a energia que está faltando? Em 14 de fevereiro de 1929, o físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922) escreveu uma carta para o físico inglês Sir Ralph Howard Fowler (1889-1944), na qual defendeu a tese de que o **Princípio da Conservação da Energia**, que parecia estar sendo violado no **decaimento β** , só era válido estatisticamente para fenômenos macroscópicos, sendo violado nos processos microscópicos. Alias, essa mesma tese já havia sido defendida por Bohr, em trabalho publicado em 1924, em parceria com os físicos, o holandês Hendrik Anthony Kramers (1894-1952) e o norte-americano John Clarke Slater (1900-1976), para explicar o **efeito Compton**, observado em 1923 (vide verbete nesta série). Para resolver a polêmica referida acima, em 04 de dezembro de 1930, o físico austro-norte-americano Wolfgang Pauli Junior (1900-1958; PNF, 1945) propôs, na reunião do *Group of*

Radioactivity of Tübingen, em uma “carta aberta” aos físicos, a sueco-austríaca Lise Meitner (1878-1968) e o alemão Hans (Johannes) Wilhelm Geiger (1882-1945), a existência de uma partícula neutra, de massa muito pequena, não excedendo um centésimo da massa do próton, emitida junto com o elétron pelo núcleo radioativo “mãe” (A), cuja energia restaurava aquele princípio. [Para uma boa discussão sobre essa polêmica, ver: Abraham Pais, **Niels Bohr’s Times, in Physics, Philosophy, and Polity** (Clarendon Press, 1991).] Registre-se que, em 1932, Chadwick confirmou a existência do **nêutron** (n) como constituinte do “núcleo atômico Rutherfordiano”.

A “partícula Pauliana” foi denominada de **neutrino** (ν) (nêutron pequenino, em italiano) por Fermi, em 1934 (*Nuovo Cimento* **11**, p. 1; *Zeitschrift für Physik* **88**, p. 161), por ocasião em que formulou a teoria matemática do **decaimento beta** (β), segundo a qual, por intermédio de uma nova força na natureza – chamada mais tarde de **força fraca** – o nêutron transforma-se em um próton, com a emissão de um elétron e da “partícula Pauliana”, ou seja: $n \rightarrow p + e^- + \nu$. Aliás, Fermi já havia escrito um artigo intitulado **Tentativo di una Teoria della Emissione di Raggi Beta**, em 1933 (*Ricerca Scientifica* **4**, p. 491), no qual apresentou essa mesma idéia. Contudo, esse mesmo artigo foi rejeitado pela revista *Nature*, para a qual ele o enviou em dezembro de 1933, sob a alegação que ele apresentava muitas hipóteses que estavam longe de uma realidade física e, portanto, pouco interesse despertaria nos leitores. Note-se que, somente em 1953 (*Physical Review* **92**, p. 1045), os físicos norte-americanos Emil John Konopinski (1911-1990) e Hormoz Massou Mahmoud (n.1918) mostraram que a “partícula Pauliana” era uma antipartícula, o **antineutrino do elétron** ($\bar{\nu}$).

Com a sua teoria sobre o **decaimento beta** (β) em mente, Fermi e seu Grupo passaram a realizar experiências sobre a **radioatividade induzida** bombardeando, com nêutrons, alguns elementos químicos em ordem crescente do número atômico. Desse modo, ao bombardearem o isótopo urânio-238 (${}_{92}\text{U}^{238}$), o elemento químico mais pesado até então conhecido, eles acreditavam que poderiam obter o elemento seguinte da Tabela Periódica, o elemento “urânio X” (${}_{93}\text{X}^{239}$), uma vez que o nêutron utilizado seria transformado em próton (segundo o “Modelo Fermiano”) e, portanto, aumentaria de uma unidade o Z do urânio considerado. Contudo, na experiência que realizaram em maio de 1934, o resultado que conseguiram foi muito confuso, pois, além de observarem a desintegração e a correspondente meia-vida do urânio, obtiveram uma mistura de outras meias-vidas. Destaque-se que, ainda em 1934, a química alemã Eva Tacke Noddack (1896-1979) indicou a possibilidade de interpretar os resultados obtidos por Fermi e seus assistentes, como uma **fissão nuclear**. Contudo, ela nunca se preocupou em realizar uma experiência para fundamentar essa conjectura (vide verbetes referidos acima). É oportuno registrar que o primeiro elemento transurânico radioativo – o **neptúnio** (${}_{93}\text{Np}$) – foi obtido pelos norte-americanos, o físico Edwin Mattison McMillan (1907-1991; PNQ, 1951) e o químico Philip Hauge Abelson (1913-2004), em 1940 (*Physical Review* **57**, p. 1185), com a vida média de 2,3 dias, usando a mesma idéia que Fermi e seu Grupo utilizaram em 1934. Em dezembro de 1940, McMillan, e os norte-americanos, o químico Glenn Theodore Seaborg (1912-1999; PNQ, 1951) e os físicos Joseph William Kennedy (n.1917) e Arthur Charles Wahl (n.1917) produziram o segundo elemento transurânico radioativo – o **plutônio** (${}_{94}\text{Pu}$).

As experiências do *Grupo de Roma* foram repetidas pelos químicos alemães Otto Hahn (1879-1968; PNQ, 1944) e Fritz Strassmann (1902-1980), e Lise Meitner, em dezembro de 1938, e interpretadas como uma **fissão nuclear** por Meitner e seu sobrinho, o físico austro-alemão Otto Robert Frisch (1904-1979), em um artigo que enviaram para a *Nature*, em 16 de janeiro de 1939. Ainda no começo de 1939, Bohr e o físico norte-americano John Archibald Wheeler (n.1911) começaram a discutir, sob o ponto de vista teórico, qual a forma que o núcleo atômico teria ao absorver a energia extra de um nêutron colidente. Note-se que,

no dia 31 de janeiro de 1939, a **fissão nuclear** foi confirmada na *Universidade da Califórnia*, por uma equipe de cientistas liderada pelo físico norte-americano Luís Walter Alvarez (1911-1988; PNF, 1968), e da qual também faziam parte Abelson e o físico norte-americano Julius Robert Oppenheimer (1904-1967), ao investigarem o espectro de raios-X do urânio irradiado por um feixe de nêutrons (vide verbetes referidos anteriormente).

Uma das grandes frustrações de Fermi foi a de não haver descoberto a **fissão nuclear**, conforme se pode depreender do seguinte episódio. Em outubro de 1935, o exército do ditador fascista Benito Amilcare Andrea Mussolini (1883-1945) invadiu a Etiópia, localizada no nordeste (“chifre”) da África. Por sua vez, em março de 1936, o exército do ditador nazista Adolf Hitler (1889-1945) invadiu a Renânia, região situada entre a França e a Alemanha. Logo depois, Hitler aliou-se formalmente a Mussolini, dando origem ao famoso Eixo Roma-Berlin. Em seguida, houve o “Manifesto della razza” que defendia o anti-semitismo na Itália. Como sua esposa Laura era judia (semita), Fermi pensou seriamente em sair da Itália. Assim, depois de receber o *Prêmio Nobel de Física*, em Estocolmo, em dezembro de 1938, Fermi e sua família seguiram para Copenhague, para conversar com Bohr e, no dia 02 de janeiro de 1939 chegaram no porto de New York, sendo recebido pelo físico norte-americano George Braxton Pegram (1876-1958), Chefe do Departamento de Física da *Universidade de Colúmbia*. Nessa Universidade, Fermi participou do grupo de pesquisa, liderado pelo químico norte-americano Harold Clayton Urey (1893-1981; PNQ, 1934), que trabalhava em água pesada (D₂O), objetivando produzir o isótopo urânio-235 (${}_{92}\text{U}^{235}$). Em dezembro de 1941, o físico norte-americano Arthur Holly Compton (1892-1962; PNF, 1927), da *Universidade de Chicago*, foi encarregado da produção de plutônio-239 (${}_{93}\text{Pu}^{239}$). Com esse objetivo, Compton criou o *Metallurgical Laboratory* e convidou Fermi para trabalhar lá. Foi nesse laboratório que Fermi, com cerca de 40 cientistas, produziu a primeira fissão nuclear controlada - a **pilha atômica** -, em 02 de dezembro de 1942, nas arquibancadas do lado oeste do *Stagg Field* da *Universidade de Chicago*. No começo de 1943, Fermi aceitou o convite de Oppenheimer para trabalhar em *Los Alamos*, no Novo México, no *Projeto Manhattan* (PM), criado em junho de 1942, com o objetivo de produzir a **Bomba Atômica Americana** (vide verbetes referidos acima).

O sucesso alcançado com o PM levou a *Universidade de Chicago* a criar dois Institutos de Pesquisas: *Institute for Nuclear Studies* (INS) e *Institute for the Study of Metals* (ISM). Em 1946, Fermi foi convidado para ser professor no INS. Pois bem, foi por essa ocasião que Fermi e alguns físicos estavam examinando as plantas de engenharia desse Instituto, cujos desenhos mostravam uma figura humana vagamente esboçada no baixo-relevo sobre a entrada principal do edifício. Quando os amigos de Fermi procuravam especular sobre o que aquela figura representava, traído por seu próprio inconsciente, Fermi disse: *Um cientista não descobrindo a fissão nuclear!* É oportuno destacar que Fermi trabalhou no INS até sua morte ocorrida no dia 28 de novembro de 1954. Em 1955, esse Instituto passou a denominar-se *Enrico Fermi Institute for Nuclear Studies*. Esse nome foi encurtado para *Enrico Fermi Institute* em 1968. Destaque-se, também, que o ISM, em 1967, passou a ser denominado de *James Franck Institute*, em homenagem ao físico germano norte-americano James Franck (1882-1964; PNF, 1925), que trabalhou na *Universidade de Chicago*, de 1938 até morrer no dia 21 de maio de 1964.



ANTERIOR

SEGUINTE