



CNPq



CBPF - CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

Ciência e Sociedade

CBPF-CS-002/93

*Os Precursores da Física Nuclear
no Brasil*

por

José Maria Filardo Bassalo

*Rio de Janeiro
1993*

RESUMO: Neste trabalho iremos mostrar como iniciou a Física Nuclear no Brasil, desde as primeiras experiências realizadas sobre raios cósmicos, por Wataglin, Damy e Pompéia, nas décadas de 1930 e 1940, respectivamente, e por Lattes sobre a desintegração do Samário, na década de 1940, até a instalação do *Betatron*, por Damy, e o acelerador *van de Graaff*, por Sala, ambos na década de 1950.

PALAVRAS-CHAVE: Física Nuclear, Física Nuclear Brasileira.

PROJETO DE PESQUISA: Textos em Física - CONSEP: 0959/83.

O estudo da *Física Nuclear* tem sua emergência na descoberta acidental feita pelo físico francês Antoine-Henri Becquerel (1852-1908; PNF, 1903) nos primeiros meses de 1896. Com efeito, na sessão do dia 20 de janeiro de 1896 da Academia Francesa de Ciências, o matemático e físico francês Jules-Henri Poincaré (1854-1912) apresentou as primeiras fotografias de raios-X enviadas pelo físico alemão Wilhelm Konrad Roentgen (1845-1923; PNF, 1901), cuja descoberta dos mesmos havia sido realizada por ele, em 1895. Presente a essa sessão, Becquerel indagou de Poincaré de que parte do *tubo de Hittorf* (utilizado por Roentgen), haviam saído os raios-X. -“Da parte oposta ao catodo, que se tornara fluorescente”, respondeu Poincaré. Sendo especialista em fluorescência, Becquerel passou a realizar experiências procurando uma relação entre as substâncias fluorescentes e os raios-X emitidos pelas mesmas.

Em meados de fevereiro de 1896, Becquerel observou que cristais de sulfato de Urânio-Potássio (uranilo) eram capazes de impressionar uma chapa fotográfica mesmo quando recoberta com papel escuro, estando o conjunto exposto à luz solar. A explicação que deu para o fato foi a de que a luz solar provocara fluorescência nos cristais de uranilo, com a emissão de raios-X. Estes, por sua vez, ao atravessarem o papel escuro que envolvia os cristais, foram impressionar a chapa fotográfica. Becquerel procurou, então, repetir essa experiência no final de fevereiro. Porém, o tempo nublado em Paris o impediu de realizá-la. Contudo, Becquerel resolveu repetir a experiência no dia 1º de março, muito embora o tempo permanecesse ainda nublado. Esperando encontrar imagens muito fracas ao revelar a chapa fotográfica, foi surpreendido com imagens de grande intensidade. Em vista disso, concluiu que os cristais de uranilo emitiram novas espécies de raios até então desconhecidos.

Na continuação de suas experiências com esses novos “raios”, Becquerel descobriu que os mesmos ionizavam gases tornando-os condutores e, mais ainda, que eram emitidos pelo Urânio. Ao tomarem conhecimento dessa descoberta, alguns cientistas passaram a estudar sistematicamente esse novo fenômeno físico. Assim, um dos primeiros estudos sobre os trabalhos de Becquerel foi feito pela física e química polonesa Marie Sklodowska Curie (1867-1934; PNF, 1903; PNQ, 1911), em fins de 1897, ao escolhê-lo como assunto de sua tese de doutoramento. Inicialmente, ela deteve-se no estudo da intensidade dos raios de

Becquerel (expressão cunhada por ela própria). Mais tarde, em 1898, ao estudar o Tório, Madame Curie observou que esse elemento químico se comportava como o urânio usado por Becquerel, ocasião em que denominou esse novo fenômeno da Natureza de *radioatividade*. Ainda em 1898, Madame Curie (com a colaboração de outros cientistas, dentre eles, seu marido, o físico francês Pierre Curie (1859-1906, PNF, 1903)), descobriu mais dois novos elementos radioativos: *Polônio e Rádio*.

Novos aspectos da radioatividade foram posteriormente descobertos. Por exemplo, o físico inglês Lord Ernest Rutherford (1871-1937; PNQ, 1908), em 1897, observou que os "raios Becquerel" eram constituídos de dois tipos de partículas: *alfa* (α), carregada positivamente e *beta* (β), negativamente. Em 1900, o físico francês Paul Villard (1860-1934) descobriu que a radioatividade possuía uma terceira parcela que, contudo, não era afetada pelo campo magnético, como acontecia com as outras duas. Essa parcela, penetrante e semelhante aos raios-X, recebeu de Rutherford o nome de *radiação gama* (γ). Ainda em 1900, o próprio Becquerel demonstrou que os *raios beta* eram raios catódicos, isto é, elétrons. Por seu lado, em 1909, Rutherford e o químico inglês Thomas Royds (1884-1955), demonstraram ser as partículas alfa átomos de Hélio duplamente ionizados.

Uma primeira tentativa no sentido de entender o fenômeno da radioatividade deve-se aos físicos alemães Julius Elster (1854-1920) e Hans Geitel (1855-1923) ao determinarem, em 1899, a *lei da desintegração radioativa*: $N = N_0 \exp(-\ell t)$, onde N é a atividade de uma amostra radioativa no instante t , N_0 é sua atividade inicial, e ℓ é uma característica do material que compõe a amostra, chamada de *constante de decaimento* e ligada à *meia-vida* T , através da relação: $\ell = 0.693/T$. A *meia-vida* é o tempo para a amostra reduzir-se à metade por decaimento, e seu conceito foi introduzido por Rutherford. Em 1905, o físico austríaco Egon von Schweidler (1873-1948) obteve essa lei através da Teoria das Probabilidades. (Uma outra explicação físico-matemática (baseada na Mecânica Quântica que havia sido formulada em 1926) para a radioatividade foi dada em 1928, pelos físicos, o norte-americano Edward Uhler Condon (1902-1974) e o inglês Ronald Wilfrid Gurney (1898-1953) e, independentemente, pelo russo, naturalizado norte-americano, George Gamow (1904-1968), ao resolverem o problema do decaimento alfa, usando o *efeito tunel*, segundo

o qual uma partícula pode vencer uma barreira de potencial, com energia menor que a do pico da barreira. Nessa formulação eles conseguiram, inclusive, estimar a vida-média dos elementos radioativos.)

Dois outros novos aspectos do que hoje compõem o estudo da Física Nuclear, também foram estudados por Rutherford. O primeiro deles relaciona-se com a descoberta do *núcleo atômico*. Em 1909, Rutherford, juntamente com dois de seus colaboradores, o físico alemão Hans Geiger (1882-1945) e o físico inglês Sir Ernst Marsden (1889-1970) realizaram uma experiência na qual analisaram o desvio sofrido por um feixe de partículas alfa ao atravessar uma fina lâmina de ouro. Para explicar o resultado das colisões das partículas alfa com essa lâmina, colisões essas que, às vezes, faziam algumas delas voltar para a região de onde haviam partido, Rutherford, em 1911, idealizou um modelo para o átomo segundo o qual o mesmo seria um sistema planetário em miniatura, isto é, elétrons girando em órbitas circulares em torno de uma caroço central, positivamente carregado, ao qual denominou de *núcleo atômico*.

O outro aspecto da Física Nuclear também estudado por Rutherford, ainda relacionou-se com uma experiência envolvendo partículas alfa. Assim, ao fazê-las atravessar um cilindro contendo alguns gases, principalmente Nitrogênio ou Hidrogênio, Rutherford, em 1919, observou cintilações que as mesmas provocavam em um anteparo de sulfeto de Zinco, colocado atrás do cilindro. No caso de este conter Hidrogênio, acreditava Rutherford que as partículas alfa expulsavam o núcleo desse elemento químico (ao qual denominou de *próton*) e este, iria, portanto, colidir com o anteparo de sulfeto de zinco. No caso de haver Nitrogênio no cilindro, Rutherford acreditava, também, que a partícula alfa arrancava um próton ao núcleo do Nitrogênio, transmutando-o no Oxigênio, segundo a reação: ${}_2\text{He}^4 + {}_7\text{N}^{14} \Rightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1$. O próton (${}_1\text{H}^1$), então, provocava a cintilação no anteparo.

Ao apresentar, em 1920, na *Royal Society* de Londres o resultado de sua experiência, Rutherford sugeriu a existência de uma partícula neutra como constituinte do núcleo atômico, pois, para ele, o isótopo do Oxigênio que obtivera - ${}_8\text{O}^{17}$ -, poderia ser o bem conhecido ${}_8\text{O}^{16}$, acrescido de uma partícula neutra com a massa aproximadamente igual a do próton. A idéia de que o núcleo atômico era constituído de prótons e de "partículas neutras" foi-se fortalecendo por toda a década de 1920, pois que, com a mesma se explicava, por exemplo,

a razão pela qual a partícula alfa (núcleo do He) tinha uma massa que equivalia a de quatro prótons, enquanto a sua carga elétrica correspondia a de apenas dois prótons.

As experiências que levaram à identificação de uma partícula neutra pertencente ao núcleo foram realizadas pelos físicos alemães Walther Bothe (1891-1957; PNF, 1954) e Herbert Becker, em 1930, e pelo casal de físicos franceses, os Joliot-Curie (Frédéric (1900-1958; PNQ, 1935) e Irène (1897-1956; PNQ, 1935)), em 1932, ao bombardearem os elementos leves (Lítio, Berílio, Boro, etc) com partículas alfa. Contudo, as "radiações" penetrantes que emanavam desses elementos leves nessas experiências não foram corretamente interpretadas por esses físicos. Bothe e Becker acreditavam ser radiação gama e o casal Joliot-Curie admitiu uma nova espécie de "radiação" na Natureza. A interpretação de tal radiação como sendo uma partícula neutra - o *nêutron* -, foi feita pelo físico inglês Sir James Chadwick (1891-1974; PNF, 1935), ainda em 1932, ao afirmar que a melhor maneira de explicar aquelas radiações era supor que as partículas alfa expulsavam do núcleo de Berílio, por exemplo, partículas neutras (os *nêutrons*) numa reação do tipo: ${}_4\text{Be}^9 + {}_2\text{He}^4 \Rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_0n^1$. Ao comparar a ionização do Nitrogênio e do Hidrogênio avaliou a massa do nêutron como sendo aproximadamente igual a do próton.

A descoberta do nêutron ensejou uma série de experiências, bem como a formulação de algumas teorias, objetivando explicar certos resultados experimentais relacionados com o núcleo atômico. Por exemplo, logo em 1932, os físicos, o soviético D. Iwanenko, o alemão Werner Karl Heisenberg (1901-1976; PNF, 1932), e o italiano Ettore Majorana (1906-1938), independentemente, propuseram a hipótese de que o núcleo atômico era formado de prótons e de nêutrons - os *nucleons* -, que se diferenciavam por possuírem o número quântico *isospin* ou *spin isotópico*, diferentes. Esse modelo objetivou explicar porque os prótons interiores ao núcleo (muito embora sendo partículas carregadas positivamente), não sofriam a repulsão coulombiana correspondente, isto é, eram estáveis. Segundo esse modelo, tal estabilidade decorria de um mecanismo de força de troca entre os nucleons - a *força forte* - que mantém juntos prótons e nêutrons no interior do núcleo, independentemente de seu atributo físico, que é o da carga elétrica, significando isso dizer que essa força conserva aquele novo número quântico.

O mecanismo dessa nova força da Natureza só foi explicado pelo físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981; PNF, 1949), em 1935, ao propor que os nucleons se mantinham no interior do núcleo atômico através da força forte, análoga a que prende o elétron ao átomo, porém de curto alcance ($\approx 10^{-15}$ m). Utilizando os métodos da recente Teoria Quântica de Campos, formulada pelo físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933), em 1927, Yukawa admitiu que, assim como a força eletromagnética entre as partículas carregadas era conseqüência da troca de partículas sem massa - os *fótons* -, a força forte entre os nucleons decorria da troca de partículas - os *elétrons pesados* - que, diferentemente dos fótons, tinham massa intermediária entre a do próton e a do elétron, chegando Yukawa, inclusive, a estimá-la em torno de 200 vezes a massa do elétron m_e .

Para poder explicar o decaimento radiativo beta, o físico ítalo-norte-americano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938), em 1934, apresentou a teoria matemática desse tipo de decaimento, segundo a qual o nêutron, por intermédio de uma nova força na Natureza - a *força fraca* -, se transforma em um próton, emitindo a partícula beta e uma nova partícula que havia sido proposta pelo físico austro-norte-americano Wolfgang Pauli Junior (1900-1958; PNF, 1945), em 1930, partícula essa que Fermi, em 1937, denominou de *neutrino* (ν) (nêutron pequenino). (Em 1938, o físico austro-húngaro Maurice Goldhaber (1911-), juntamente com sua esposa Gertrude Scharff, demonstrou que a partícula beta era o elétron.) Assim, segundo Fermi, o decaimento beta é dado por: $n \Rightarrow p + e^- + \nu$. (É oportuno esclarecer que Pauli foi levado à proposta da existência do neutrino, por haver sido observada, na década de 1920, a não-conservação da energia na emissão de elétrons, por átomos que sofriam desintegração beta.)

Segundo o físico austríaco Victor Frederick Weisskopf (1908-), o estudo da Física Nuclear tem dois tipos de "fronteiras": a *externa*, em boa parte comum com a Física das Partículas Elementares, na qual os sistemas nucleares funcionam como "laboratórios" para o estudo da matéria nuclear, sem se preocupar com sua estrutura; e a *interna*, em que o problema central consiste em compreender, dentro de um modelo teórico consistente, as propriedades estruturais dessa mesma matéria. Contudo, essas fronteiras não são independentes, em virtude das limitações naturais, quer das teorias, quer dos equipamentos utilizados

nos "laboratórios nucleares".

Do exposto acima, vê-se que as propostas da existência das duas novas forças da Natureza (*forte e fraca*), se enquadram na fronteira interna da Física Nuclear, enquanto que as experiências que levaram à identificação do próton e do nêutron pertencem à fronteira externa. Ainda na década de 1930, muitos resultados foram obtidos na fronteira externa. Por exemplo, em 1932, o físico norte-americano Carl David Anderson (1905- ; PNF, 1936) ao estudar o desvio magnético da trajetória de raios cósmicos depois de atravessarem placas de chumbo colocadas em uma câmara de Wilson, observou partículas que sofriam desvio contrário ao dos elétrons, partículas essas denominados por ele de *pósitrons*, em 1933. Ainda em 1933, o pósitron foi confirmado em experiência realizada pelos físicos, o inglês Patrick Maynard Stuart Blackett (1897-1974; PNF, 1948) e o italiano Guiseppe P. S. Occhialini (1905-).

O exame de fotografias de raios cósmicos em câmaras de Wilson levou ainda Anderson e seu colaborador, o físico norte-americano Seth Henry Neddermeyer (1907-1988), a descobrirem, em 1936, uma nova partícula, de massa intermediária entre a do elétron e a do próton, razão pela qual a denominaram de *mesotron*, logo depois abreviada para *méson*. A descoberta dessa partícula provocou confusão entre os cientistas, pois estes não sabiam se se tratava da partícula prevista por Yukawa, ou se era uma nova partícula da Natureza. (É oportuno registrar que, em 1932, os físicos norte-americanos Ernest Orlando Lawrence (1901-1958; PNF, 1939) e Milton Stanley Livingston (1905-1986) construíram o primeiro acelerador circular - o *cyclotron* - aparelho importante para o desenvolvimento da fronteira externa da Física Nuclear.)

Ainda com relação a essas fronteiras, novos aspectos das mesmas foram sendo incorporados, ainda na década de 1930. Com efeito, lançando mão de sua teoria do decaimento beta e acreditando que o Urânio, ao captar um nêutron, poderia ser transmutado em um novo elemento químico de maior peso atômico, Fermi e seus colaboradores da Universidade de Roma (os físicos italianos Franco Rasetti (1902-), Edoardo Amaldi (1908-1989), Emílio Gino Segrè (1905-1989; PNF, 1959), Bruno Pontecorvo (1913-) e Oscar D'Agostino) começaram, em 1934, a bombardear com nêutrons, alguns elementos químicos em ordem de

número atômico crescente, tais como o Lítio (${}_{3}\text{Li}$), Berílio (${}_{4}\text{Be}$), Boro (${}_{5}\text{B}$), Carbono (${}_{6}\text{C}$), Nitrogênio (${}_{7}\text{N}$) e Oxigênio (${}_{8}\text{O}$). No entanto, a tentativa de obterem isótopos radioativos de tais elementos malogrou. Só conseguiram êxito com o Fluor (${}_{9}\text{F}$). Esse trabalho sistemático de bombardeamento de elementos químicos por nêutrons prosseguiu até que, em maio de 1934, esse chamado *grupo de Roma* irradiou o mais pesado dos elementos até então conhecido - o Urânio (${}_{92}\text{U}$). Esse grupo não entendeu bem os seus resultados, pois, além de obter a desintegração e a correspondente meia-vida do Urânio, obteve, também, uma mistura de outras meias-vidas. Desse modo, acreditando haver conseguido um novo elemento químico da tabela periódica, Fermi chegou a denominá-lo de *Urânio-X*.

Mais tarde, em 1939, os químicos alemães Otto Hahn (1879-1968; PNQ, 1944) e Fritz Strassmann (1902-1980) conseguiram obter os elementos alcalinos terrosos (Berílio (${}_{4}\text{Be}$), Magnésio (${}_{12}\text{Mg}$), Cálcio (${}_{20}\text{Ca}$), Estrôncio (${}_{38}\text{Sr}$), Bário (${}_{56}\text{Ba}$), e Rádio (${}_{88}\text{Ra}$)), através da desintegração do Urânio bombardeado com nêutrons. No entanto, quer as experiências de Fermi, quer as de Hahn e Strassmann, só foram explicadas, também em 1939, pela física sueco-austriaca Lise Meitner (1878-1968), auxiliada por seu sobrinho, o físico austro-alemão Otto Robert Frisch (1904-1979), ao formularem a hipótese da *fissão nuclear*, cuja teoria (a da *gota líquida*) foi desenvolvida ainda nesse mesmo ano pelos físicos, o dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922) e o norte-americano John Archibald Wheeler (1911-). (Por exemplo, segundo essa hipótese da *fissão nuclear*, no caso do Urânio, tem-se: $0n^1 + {}_{92}\text{U}^{235} \Rightarrow {}_{92}\text{U}^{236} \Rightarrow {}_{54}\text{Xe}^{140} + {}_{38}\text{Sr}^{94} + 2\ 0n^1 + \gamma + 200\ \text{MeV}$.)

Por fim, também em 1939, os físicos, o alemão-norte-americano Hans Albrecht Bethe (1906- ; PNF, 1967) e o alemão Karl Friedrich von Weizsaecker (1912-) propuseram, independentemente, dois processos de reações nucleares (*fusão nuclear*) para explicar a origem da energia das estrelas: o *ciclo do Carbono* (${}_{1}\text{H}^1 + {}_{6}\text{C}^{12} \Rightarrow {}_{7}\text{N}^{13}$; ${}_{7}\text{N}^{13} \Rightarrow {}_{6}\text{C}^{13} + e^+ + \nu$; ${}_{1}\text{H}^1 + {}_{6}\text{C}^{13} \Rightarrow {}_{7}\text{N}^{14} + \gamma$; ${}_{1}\text{H}^1 + {}_{7}\text{N}^{14} \Rightarrow {}_{8}\text{O}^{15} + \gamma$; ${}_{8}\text{O}^{15} \Rightarrow {}_{7}\text{N}^{15} + e^+ + \nu$; ${}_{1}\text{H}^1 + {}_{7}\text{N}^{15} \Rightarrow {}_{6}\text{C}^{12} + {}_{2}\text{He}^4$, com uma produção total de 24.7 MeV de energia), e a *cadeia próton-próton* (${}_{1}\text{H}^1 + {}_{1}\text{H}^1 \Rightarrow {}_{1}\text{H}^2 + e^+ + \nu$; ${}_{1}\text{H}^1 + {}_{1}\text{H}^2 \Rightarrow {}_{2}\text{He}^3 + \gamma$; ${}_{2}\text{He}^3 + {}_{2}\text{He}^3 \Rightarrow {}_{2}\text{He}^4 + {}_{1}\text{H}^1 + {}_{1}\text{H}^1$, também com produção total de 24.7 MeV de energia).

Este era o cenário da Física Nuclear mundial na década de 1930, ocasião em que a

Física Brasileira foi institucionalizada graças a vinda dos físicos, o ítalo-russo Gleb Wataghin (1899-1986) para a Universidade de São Paulo, que havia sido criada em 1934, e o alemão Bernard Gross (1905-) para o Instituto Nacional de Tecnologia e para a Universidade do Distrito Federal, criados, respectivamente, em 1934 e 1935, ambos no Rio de Janeiro. Esses dois físicos estrangeiros aglutinaram vários estudantes brasileiros e, com os mesmos, deram partida, no Brasil, ao estudo e pesquisa da Física de Raios Cósmicos ou de Alta Energia, da Física do Estado Sólido e da Física Nuclear. (É oportuno destacar que os trabalhos de Gross em Física de Raios Cósmicos, levaram-no à descoberta da famosa *transformação de Gross*, que relaciona o fluxo de partículas cósmicas na vertical e aquelas chegando a um ângulo θ com a normal ao sítio de observação.)

Chegamos, assim, ao objeto central deste artigo, no qual vamos destacar os físicos precursores da Física Nuclear Brasileira, para cujo desenvolvimento foi fundamental a experiência de Wataghin e seu grupo, sobre a Física dos Raios Cósmicos (Teórica e Experimental). É conveniente registrar que Gross também realizou pesquisas sobre raios cósmicos, quer na Alemanha, quer no Brasil. Contudo, seus trabalhos sobre a Física do Estado Sólido (dielétricos, viscoelasticidade, reologia, etc.) logo tiveram repercussão mundial (do qual destaca-se, por exemplo, a descoberta (com L. F. Denard) do "congelamento" de cargas elétricas nos dielétricos). Em virtude dessa repercussão, Gross passou, então, a dedicar-se mais a esse ramo da Física, havendo, inclusive, contribuído para que seu discípulo, o físico carioca Joaquim Costa Ribeiro (1906-1960) formasse o seu próprio grupo de pesquisa, na Faculdade Nacional de Filosofia, a partir de 1939, no Rio de Janeiro. Inicialmente, Costa Ribeiro trabalhou em raios cósmicos (com a colaboração do Padre F. Xavier Roser S. J., fundador do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ) e em radioatividade, havendo, em 1940, publicado dois trabalhos. No primeiro deles, estudou um novo método de mensuração radioativa; no segundo, aplicou esse método no estudo dos minerais radioativos brasileiros. Como resultado de suas pesquisas em Física do Estado Sólido, Costa Ribeiro (e seu grupo, do qual participavam os físicos cariocas Jayme Tiomno (1920-), Elisa Frota Pessoa (1921-) e Armando Dias Tavares), fez uma grande descoberta, em 1944: o famoso *efeito termodielétrico* ou *efeito Costa Ribeiro*.

Ao chegar em São Paulo, em 1934, Wataghin passou a organizar o Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP (FFCL/USP), tendo em vista o funcionamento do Curso de Bacharelado, o que aconteceu logo em 1935. Ora, com a criação da USP, a Escola Politécnica de São Paulo (criada em 1893) foi a ela incorporada, e seus cursos básicos de Física e de Matemática fundiram-se com os do Bacharelado. Desse modo, os futuros engenheiros passaram a frequentá-los. Dentre eles estavam os paulistas Abrahão de Moraes (1916-1970), Marcello Damy de Souza Santos (1914-) e Paulus Aulus Pompéia (1911-), além do pernambucano Mário Schenberg (1914-1990), que decidiram largar a engenharia e tornarem-se “filósofos”.

No Departamento de Física da FFCL/USP, Wataghin iniciou duas linhas de pesquisa, uma em Física Teórica e outra em Física Experimental, contando com a colaboração daqueles “filósofos” e, também da física Yolande Monteux. Contudo, sendo fundamentalmente teórico, porém com a consciência de que a teoria tinha que se basear em fatos experimentais, e considerando que o estudo dos raios cósmicos era, naquela ocasião, a fronteira da Física, Wataghin trouxe para São Paulo, em 1938, Occhialini que, conforme vimos, tinha uma grande experiência nesse campo, pois havia trabalhado com Rutherford e com Blackett. Desse modo (e na segunda metade da década de 1930), Wataghin deu partida ao seu grupo de pesquisas, obtendo resultados importantes e pioneiros em Mecânica Quântica e, principalmente, em raios cósmicos.

Em vista disso, em 1939, Wataghin, Damy e Pompéia fizeram a célebre descoberta da produção múltipla e simultânea de mésons no fenômeno dos “chuveiros penetrantes” (*cascade shower*), para a qual foi importante o trabalho experimental que Damy havia desenvolvido na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, entre 1938 e 1939, no grupo do famoso físico inglês Sir William Lawrence Bragg (1890-1971; PNF, 1915), sobre contadores e detectores de partículas, havendo, inclusive, naquela ocasião, desenvolvido uma técnica pioneira de medidas de tempos extremamente curtos com auxílio de circuitos especiais. Logo depois, em 1940, Schenberg publicou um trabalho teórico sobre esses “chuveiros penetrantes”, e Damy um trabalho experimental sobre contadores de partículas. Por sua vez, também em 1940, Occhialini publicou trabalhos experimentais, quer isoladamente sobre a radioatividade

beta do Rubídio, quer com Monteux, sobre contadores planos. (Todos esses trabalhos foram publicados nos Anais da Academia Brasileira de Ciências.)

O grupo de Wataghin logo chamou a atenção de jovens estudantes talentosos, tais como o paranaense César Mansueto Guilio Lattes (1924-), e os paulistas Oscar Sala (1922-), Roberto Aureliano Salmeron (1922-), Ugo Camerini e Walther Schützer. Por outro lado, também jovens professores da Faculdade Nacional de Filosofia do Rio de Janeiro, o pernambucano José Leite Lopes (1918-) e Tiomno fizeram estudos avançados com esse grupo. Em consequência disso, durante a década de 1940, uma série de trabalhos teóricos e experimentais foi realizada por elementos desse grupo de Wataghin, no Brasil e no exterior, principalmente em Astrofísica, Física de Raios Cósmicos, teoria geral dos campos de força e formalismos matemáticos quanto-mecânicos.

Desses trabalhos, destacam-se os de Schenberg com o físico russo-norte-americano George Gamow (1904-1968) sobre a teoria do colapso estelar, em 1941; e com o físico indiano Subrahmayan Chandrasekhar (1910- ; PNF, 1983) sobre a evolução das estrelas da seqüência principal, em 1942. (Nesses trabalhos de Schenberg, o mecanismo fundamental é o da emissão de neutrinos pelos caroços estelares altamente densos, depois dos mesmos captarem e re-emitirem um elétron, segundo o modelo do decaimento beta de Fermi); o trabalho de Wataghin sobre a existência da produção múltipla de píons (evento tipo "bola-de-fogo"), em 1943; a pesquisa de Leite Lopes com o físico Joseph Maria Jauch sobre uma teoria mesônica das forças nucleares, em 1944; ainda o trabalho de Leite Lopes com Schenberg sobre as divergências da Eletrodinâmica Quântica, em 1945; o trabalho de Lattes com H. Muirhead, Occhialini e o físico inglês Sir Cecil Frank Powell (1903-1969; PNF, 1950) sobre a descoberta do então méson primário π , em 1947; ainda a pesquisa de Lattes com o físico norte-americano Eugene Gardner sobre a produção artificial desse mesmo méson, em 1948; o trabalho de Tiomno com o físico norte-americano John Archibald Wheeler (1911-) no qual consideraram a desintegração do méson secundário μ como uma interação fraca, em 1949; e, finalmente, o trabalho de Tiomno com o físico sino-norte-americano Chen Ning Yang (1922- ; PNF, 1957) sobre a universabilidade da interação fraca de Fermi, em 1950.

Com relação a problemas ligados propriamente à Física Nuclear, ainda nessa mesma

década de 1940 foram realizados (por físicos brasileiros) alguns trabalhos importantes. Com efeito, Lattes, inicialmente com P. Cüer e, posteriormente, com E. G. Samuel, fez trabalhos relacionados à desintegração do Samário, nos anos de 1946 e 1947, graças às técnicas de emulsão nuclear que aprendera com Powell e Occhialini. Por sua vez, o físico mineiro Hervásio G. de Carvalho trabalhou na identificação de minerais alfa-radioativos por intermédio da técnica de emulsões nucleares, em 1948 e, também, com reações nucleares induzidas por prótons de alta energia, em 1949. Nesse mesmo final da década de 1940, Sala começou a trabalhar em Física Nuclear, nos Estados Unidos (por indicação de Damy), depois de haver pesquisado bastante em radiação cósmica, no grupo do Wataghin. Foi nos Estados Unidos que Sala, juntamente com R. Adair, P. Axel, H. H. Barschall, C. Bockelman, J. Bowe, M. Goldhaber, R. G. Herb, R. D. Hill e S. C. Snowdon desenvolveu, entre 1948 e 1949, trabalhos sobre reações nucleares induzidas por neutrons. Ainda Sala e Herb, em 1948, apresentaram as primeiras idéias sobre um gerador eletrostático tipo *van de Graaff*, que Sala instalou na USP, em 1954. Por fim, em 1950, as físicas cariocas Elisa Frota Pessoa e Neuza Margem (1926-) usaram emulsões nucleares para estudar a desintegração do méson primário π^+ .

Ao finalizarmos este trabalho sobre os precursores da Física Nuclear Brasileira destacaremos os trabalhos de Damy relacionados à instalação do *betatron brasileiro*, em 1951; do físico gaúcho José Goldemberg (1928-) juntamente com L. Katz e R. Montalbetti, no Canadá, em 1953, sobre reações foto-nucleares; e de Sala sobre o gerador *van de Graaff*, em 1954, conforme já frisamos. É oportuno esclarecer essas duas máquinas têm objetivos diferentes. O *betatron*, por exemplo, estuda estados de excitação coletiva, isto é, descreve o núcleo em termos de movimento coletivos. O *van de Graaff*, por sua vez, estuda estados de excitação de partículas individuais. Daí a necessidade de serem instalados esses dois tipos de máquinas para o início do desenvolvimento da Física Nuclear no Brasil.

Sendo a instalação do *betatron* um marco na Física Nuclear Brasileira, vamos nos deter um pouco mais sobre esse tipo de acelerador. Conforme vimos anteriormente, Lawrence e Livingston construíram, em 1932, o *cyclotron* que era um acelerador circular de partículas. Esse aparelho era constituído por uma fonte de partículas carregadas colocadas no centro de duas caixas em forma de D, uma defronte da outra (com um intervalo entre elas), e normais

a um campo magnético B uniforme. Devido à presença desse campo, a partícula carregada de carga q e de massa m , descreverá uma circunferência de raio r segundo a expressão: $r = mv/qB$, onde $v = \omega r$, sendo ω a velocidade ou frequência angular da partícula. No entanto, quando a mesma descreve a metade da circunferência recebe uma energia qV , onde V é a diferença de potencial devido a um campo elétrico E oscilante de frequência $\nu = \omega/2\pi$, situado entre os D e normal ao campo magnético B . Desse modo, toda a vez que a partícula atravessa o intervalo entre os D, ela é acelerada pelo campo elétrico E e sua trajetória toma a forma de uma espiral que se inicia no centro do acelerador e tem aceleração múltipla. Depois que a partícula adquire a energia necessária, é defletida em um canal e dirigido para o alvo que se deseja bombardear. O *cyclotron* de Lawrence e Livingston produziu prótons de 1 MeV.

No entanto, os *cyclotrons* apresentavam uma grande dificuldade quando eram utilizados na aceleração de elétrons, pois, a pequena massa dessas partículas aumentava à medida que sua velocidade crescia, segundo a mecânica relativista ($m = m_0[1 - (v/c)^2]^{-1/2}$) e, portanto, sua frequência ω defasava em relação à frequência do campo elétrico oscilante. A primeira tentativa para contornar essa dificuldade foi feita, em 1940, pelo físico norte-americano Donald William Kerst (1911-) ao construir o primeiro *betatron*, aparelho destinado a acelerar elétrons oriundos de um núcleo radioativo - a famosa partícula beta (daí o nome do acelerador) -, com uma energia de 2.5 MeV, em uma trajetória circular fixa de raio r , uma vez que o aumento relativístico de sua massa era compensado pela variação do campo magnético B (vide fórmula anterior), produzido por um eletro-ímã. Kerst, que trabalhava na Universidade de Illinois, nos Estados Unidos, continuou aperfeiçoando seu *betatron* tanto que, por volta de 1945, ele havia construído um de 100 MeV, enquanto os *cyclotrons* aperfeiçoados por Lawrence, atingiam no máximo 15 MeV.

Muito embora o grupo de Wataghin trabalhasse com raios cósmicos (havendo inclusive dado contribuições importantes a esse ramo da Física, conforme vimos), e considerando que, na década de 1940, a Física Nuclear começava a ser o assunto "quente" da Física, já que a *fissão nuclear* descoberta em 1938, havia se tornado uma realidade com a construção da primeira *pilha atômica* pelo grupo de Fermi, na Universidade de Chicago, em 1942, e a

construção da primeira *bomba atômica*, pelo físico norte-americano Julius Robert Oppenheimer (1904-1967), via *projeto Manhattan*, em 1945, o grupo de Wataghin decidiu que deveria pesquisar em Física Nuclear. Porém, para isso, era necessário contar com um acelerador.

Ora, naquela época, sendo o betatron de Kerst o melhor acelerador do mundo (conforme já referimos atrás), Damy e Wataghin foram, em 1945, para a Universidade de Illinois para estudarem esse tipo de acelerador, contando, para isso, com auxílio da Fundação Rockefeller. Ali, Damy permaneceu por nove meses e, ao trabalhar com Goldhaber (célebre por haver feito várias descobertas, dentre as quais destacam-se: a de que o deutério (isótopo do Hidrogênio) é constituído de um próton e de um nêutron; a do efeito fotoelétrico nuclear, isto é, a desintegração de um núcleo por raios-X de alta energia ou raios gama (em 1934, com Chadwick); a de que a partícula beta era o elétron (1938), conforme vimos; a de que emulsões nucleares são úteis para registrar os traços de partículas formadas em reações nucleares; e a de que o berílio era muito bom para moderar nêutrons rápidos (1940)), aprendeu seu funcionamento. Assim, em sua volta ao Brasil, passou a instalar um betatron, com a energia de 23 MeV, havendo-o concluído, em 1951. Para esse grande feito, contou, ainda, com auxílio financeiro da Fundação Rockefeller, e com auxílio técnico da Allis Chalmers dos Estados Unidos, que construiu o eletro-ímã, fundamental para seu funcionamento. O restante desse equipamento foi todo construído pelo grupo de Damy, em São Paulo, do qual participaram Sala, seu assistente, e os alunos Goldemberg, e os paulistas Eli Silva (1927-), Suzana Vilaça (1929-) e Otávia Borello (1930-). Mais tarde, incorporou-se ao grupo, o paulista Rômulo Ribeiro Pieroni. Durante todo o tempo que funcionou esse betatron, de 1951 até 1956, o grupo de Damy conseguiu descobrir uma série de fenômenos relacionados com seu funcionamento, tornando-se, em conseqüência e em sua modalidade, a máquina mais precisa do mundo.

É oportuno registrar que dois colaboradores de Damy, quais sejam, Sala e Goldemberg fizeram seus próprios grupos de pesquisa em Física Nuclear, em São Paulo: Sala, com a construção do acelerador *van de Graaff*, concluído em 1954 (foi Damy quem mandou Sala para os Estados Unidos para estudar esse tipo de acelerador, conforme dissemos), Goldemberg, com a instalação do acelerador linear de elétrons de 75 MeV, em 1970 (ele o havia

recebido da Universidade de Stanford, quando lá trabalhava).

No fecho deste artigo, queremos ainda ressaltar os trabalhos pioneiros de Marcello Damy no acompanhamento da montagem (realizada pela firma norte-americana Babcock-Wilcox) do primeiro *reator nuclear brasileiro* de Urânio enriquecido, e que começou a funcionar em 1957, sendo o primeiro do hemisfério sul (nessa construção, Damy contou com a colaboração de Goldemberg e do físico paulista Paulo Saraiva de Toledo); o trabalho do físico gaúcho Argus Fagundes Ourique Moreira (1920-), ao construir o primeiro *linear* (acelerador linear de elétrons) brasileiro, em 1963, no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro; e o trabalho do físico carioca Alceu Pinho Filho (1933-), que instalou, montou e adaptou o primeiro acelerador *van de Graaff* numa universidade particular, a Pontifícia Universidade Católica, do Rio de Janeiro, em 1972. (Este acelerador foi adquirido pelo padre F. Xavier Rosen S. J., e Alceu adaptou-o para atuar como acelerador de elétrons, já que a energia do feixe de prótons desse acelerador era absolutamente inútil para o trato de problemas nucleares com interesse científico.)

A instalação e as pesquisas realizadas com as máquinas referidas acima foram responsáveis pelo desenvolvimento da Física Nuclear Brasileira, a partir da segunda metade de nosso século, e seus resultados serão objeto de um próximo trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. BASSALO, J. M. F. 1987. *Crônicas da Física*. Tomo 1. GEU/UFPA.
 2. BASSALO, J. M. F. 1990. *Crônicas da Física*. Tomo 2. GEU/UFPA.
 3. BASSALO, J. M. F. 1992. *Crônicas da Física*. Tomo 3. EU/UFPA.
 4. BEISER, A. 1969. *Conceitos da Física Moderna*. Editora Polígono.
 5. COSTA RIBEIRO, J. 1955. *A Física no Brasil*. IN: Azevedo, F. (Organizador). *As Ciências no Brasil*. Editora Melhoramentos.
 6. DAMY, M. 1977. Entrevista com Ricardo Guedes e Tjerk Franken.
 7. FERNANDES, A. M. 1990. *A construção da Ciência no Brasil e o SBPC*. Editora da Universidade de Brasília/CNPq/ANPOCS.
 8. GOLDEMBERG, J. 1973. *100 anos de Física*. CBPF-CS, 11(2).
 9. KAPLAN, I. 1963. *Nuclear Physics*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
 10. LEITE LOPES, J. 1958. *Einstein e outros ensaios*. Os Cadernos de Cultura/MEC.
 11. PACHECO, J. A. 1991. *Contribuição de Mário Schenberg ao estudo da evolução estelar*. B1/SBF, 1(22):13.
 12. PAIS, A. 1991. *Niels Bohr's Times in Physics, Philosophy, and Polity*. Clarendon Press, Oxford.
 13. MOTOYAMA, S. 1979. *A Física no Brasil*. IN: Ferri, M. G. e Motoyama, S. (Organizadores). *História das Ciências no Brasil*, Volume 1. Editora Pedagógica e Universitária e Editora da Universidade de São Paulo.
 14. SALA, O. 1990. Entrevista com Amélia Império Hamburger e Penha Maria Cardozo Dias.
-

15. SCHWARTZMAN, S. 1979. *Formação da Comunidade Científica no Brasil*. Editora Nacional e Financiadora de Projetos (FINEP).
16. SCIASCIA, L. 1991. *Majorana desapareceu*. Rocco Editora.
17. SEGRÈ, E. 1987. *Dos Raios-X aos Quarks*. Editora da Universidade de Brasília.
18. WEHR, M. R. e RICHARDS Jr., J. A. 1965. *Física do Átomo*. Ao Livro Técnico S.A.
19. ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. *Micropaedia*, Volume 5. The University of Chicago, 1988.
20. FÍSICA NUCLEAR. IN: *A Física no Brasil na próxima década*. SBF/CNPq/FINEP.

AGRADECIMENTOS. Agradeço aos meus amigos José Jerônimo de Alencar Alves, professor do Departamento de Física da Universidade Federal do Pará, Ernest e Amélia Hamburger, professores do Instituto de Física da Universidade de São Paulo e Maria Cristina Martins, professora da Universidade Federal da Bahia, pela leitura crítica feita a este trabalho, e a minha mulher, Célia Coelho Bassalo, também professora da UFPA, pela forma deste texto. Agradeço, também, ao Núcleo de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica, nas pessoas de meus amigos, os professores Carlos Alberto Dias, seu Diretor, e André Luiz Oliveira, seu Secretário-Executivo, pelo uso e ensino do editor de texto PCTEX, bem como pela impressão a laser do texto. O seu conteúdo, contudo, é de minha inteira responsabilidade.