



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



Fermi, Hahn, Meitner, Strassmann, Frisch, a Fissão Nuclear e o Prêmio Nobel de Química (PNQ) de 1944.

Em verbetes desta série, vimos que a descoberta do nêutron (${}_0n^1$), em 1932, pelo físico inglês Sir James Chadwick (1891-1974; PNF, 1935) permitiu a realização de *reações nucleares*, tendo essa partícula elementar como a partícula colidente sobre um núcleo fixo, reações essas que levaram à descoberta da fissão nuclear. Neste verbete, vou contar alguns aspectos curiosos de como ocorreu tal descoberta. Para isso, usarei os seguintes textos: Armin Hermann, *La Nueva Física: De Camino Hacia la Era Atómica* (Inter Naciones Bonn-Bad Godesberg, 1979); Emílio Segrè, *Dos Raios X aos Quarks: Físicos Modernos e suas Descobertas* (EDUnB, 1987); A. M. Nunes dos Santos, Maria Amália Bento e Christopher Aurette (Organizadores), *Mulheres na Ciência: Lise Meitner, Maria Goppert Mayer e Marie Curie* (Gradiva, 1991); Bruno Pontecorvo, *Enrico Fermi* (Edizioni Studio Tesi, 1993); Sharon Bertsch McGrayne, *Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências: suas vidas, lutas e notáveis descobertas* (Marco Zero, 1994); Abraham Pais, *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World* (Oxford University Press, 1995); Ruth Lewin Sime, *Lise Meitner: A Life in Physics* (University of Califórnia Press, 1997); e David Bodanis, *E = mc²: A Biography of the World's most Famous Equation* (Berkley Books, 2001).

Entre 22 e 28 de outubro de 1933, ocorreu a *Sétima Conferência Solvay*, em Bruxelas, Bélgica, tendo o estudo do núcleo como tema central. Nessa Conferência foram discutidas as recentes descobertas, ocorridas em 1932: o pósitron (e^+), pelo físico norte-americano Carl David Anderson (1905-1991; PNF, 1935), e o nêutron. Também foi analisada naquela reunião, a proposta do neutrino ($\bar{\nu}$), apresentada pelo físico austro-norte-americano Wolfgang Pauli Junior (1900-1958; PNF, 1945), em 04 de dezembro de 1930, em carta que enviara aos físicos, a sueco-austríaca Lise Meitner (1878-1968) e o alemão Hans (Johannes) Wilhelm Geiger (1882-1945), por ocasião da reunião do *Group of Radioactivity of Tübingen* (vide verbetes nesta série). Entre os presentes naquela Conferência, encontravam-se o físico ítalo-norte-americano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938) e a própria Lise Meitner.

Até a descoberta do nêutron, as reações nucleares eram realizadas com a partícula alfa (${}_2\text{He}^4$) como a partícula colidente. Assim, com essa técnica, em janeiro de 1934, o casal de físicos franceses, os Joliot-Curie, Irène (1897-1956; PNQ, 1935) e Frédéric (1900-1958; PNQ, 1935) realizou a primeira radioatividade induzida ao bombardear o alumínio (${}_{13}\text{Al}^{27}$) com a partícula alfa (${}_2\text{He}^4$), produzindo o primeiro isótopo radioativo, o fósforo (${}_{15}\text{P}^{30}$), acompanhado de um nêutron (${}_0n^1$). Depois de cerca de três minutos, o casal observou que o ${}_{15}\text{P}^{30}$ decaía no silício (${}_{14}\text{Si}^{30}$) e emitia o pósitron (${}_{+1}e^0$).

Ao voltar da *Sétima Conferência Solvay*, que aconteceu em Bruxelas, conforme falamos acima, Fermi reuniu seus colaboradores da *Universidade de Roma* [os italianos, os físicos Edoardo Amaldi (1908-1989), Bruno Pontecorvo (1913-1993), Franco Rama Dino Rasetti (1901-2001) e Emílio Gino Segrè (1905-1989; PNF, 1959), e o químico Oscar D'Agostino (1901-1975)] – o famoso Grupo de Roma (GR)– e apresentou a idéia de iniciar uma nova linha de pesquisa, cujo objetivo era o de produzir radioatividade induzida bombardeando, com nêutrons, alguns elementos químicos em

ordem crescente do número atômico. Além disso, Fermi incorporou a essa sua idéia a proposta, que ele próprio formulara no final de 1933, para a explicação do decaimento beta, qual seja, a do decaimento do nêutron em um próton e um elétron com a emissão do neutrino Pauliano (vide verbete nesta série). Os primeiros elementos radioativos que o GR produziu, em março de 1934, foram o flúor (${}^9\text{F}$) e o alumínio. Algumas semanas depois, eles produziram mais 20 elementos radioativos até o lantânio (${}_{57}\text{La}$), conforme Fermi anunciou, ainda em 1934 [*Ricerca Scientifica* 5, pgs. 282 (trabalho realizado com Amaldi, Pontecorvo, Rasetti e Segrè); 283; 330; *Nature* 133, p. 757]. É interessante destacar que quando Fermi mandou uma resenha de suas recentes experiências sobre radioatividade induzida por nêutrons para o físico e químico neozelandês-inglês Sir Ernest Rutherford (1871-1937; PNQ, 1908), este lhe respondeu agradecendo o envio do material e acrescentou que Fermi encontrara um bom filão para começar.

(www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/historia.pdf - acesso em 14 de dezembro de 2007).

Em maio de 1934 (*Ricerca Scientifica* 5, p. 452), Fermi, Amaldi, D'Agostino, Rasetti e Segrè bombardearam com nêutron o mais pesado dos elementos químicos até então conhecido: o urânio (${}_{92}\text{U}^{238}$). Contudo, não conseguiram entender muito bem os resultados que observaram, pois, além de obter a desintegração e a correspondente meia-vida do urânio, conseguiram, também, uma mistura de outras meias-vidas. Desse modo, ainda em 1934, Fermi afirmou na *Nature* 133 (p. 898) haver encontrado um novo elemento “transurânico”, o qual chegou a denominar de *urânio-X*. Note-se que Fermi recebeu pressão do governo fascista italiano, liderado pelo ditador Benito Amilcare Andréa Mussolini (1883-1945), para denominar esse novo elemento químico de *littorio*, uma vez que os “littorios” eram oficiais romanos que portavam os *fascios* (“feixes”) como insígnia. Destaque-se que, também em 1934 (*Angewandte Chemie* 47, p. 653), a química alemã Eva Tacke Noddack (1876-1979) indicou a possibilidade de explicar os resultados obtidos pelo GR, como uma fissão nuclear. Apesar dessa afirmação, ela nunca se preocupou em realizar uma experiência para fundamentar essa sua conjectura. É oportuno notar que, por volta de 1936, Fermi e seu GR, estavam convencidos da existência de dois elementos “transurânicos”, aos quais deram o nome de *ausônio* ($Z = 93$) e *hespério* ($Z = 94$) (Sime, op. cit.).

Como Fermi enviava os resultados de suas pesquisas para cerca de 40 pesquisadores de diversos laboratórios mundiais, dentre eles, Lise Meitner, esta, imediatamente, passou a realizar experiências análogas às do GR. Desse modo, também em 1934 (*Naturwissenschaften* 22, pgs. 420; 733; 759), ela apresentou uma série de resultados confirmando o que Fermi e seu grupo haviam conseguido. Em vista disso, ela falou ao químico alemão Otto Hahn (1879-1968; PNQ, 1944) [que conheceu indicado pelo físico alemão Heinrich Rubens (1865-1922)], por volta de 28 de setembro de 1907 e com quem trabalhou a partir dessa data (ver relação completa desses trabalhos em Santos, Bento e Aurretta, op. cit.), para examinarem as pesquisas do GR. Assim, em 1935 (*Naturwissenschaften* 23, pgs. 37; 230; 320), Meitner e Hahn realizaram experiências sobre as reações nucleares conseguidas com bombardeamento de nêutrons, que produziam supostos novos elementos químicos com $Z > 92$. Na primavera de 1935, Meitner e Hahn convidaram o químico alemão Fritz Strassmann (1902-1980) para participar daquelas experiências, cujos primeiros resultados foram apresentados, por esses três cientistas, ainda em 1935 (*Naturwissenschaften* 23, p. 544). No ano seguinte, em 1936, novos resultados foram apresentados por Meitner, Hahn e Strassmann (*Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaften* 69, p. 905), e por Meitner e Hahn (*Naturwissenschaften* 24, p. 158; *Angewandte Chemie* 49, p. 127).

Nesta oportunidade, creio ser interessante fazer um pequeno comentário sobre o início da vida científica de Lise Meitner. Entre 1901 e fins de 1905, ela estudou Matemática, Física e Filosofia na *Universidade de Viena*. Em 1906 (*Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien IIa, Bd. 115*, p. 125), defendeu sua Tese de Doutorado, orientada pelo físico austríaco Franz Serafin Exner (1849-1926) e seu assistente, o físico suíço Hans Benndorf (1870-1953), tendo como tema a condutividade térmica de corpos não-homogêneos. Ainda em 1906, Meitner publicou dois artigos, um sobre a reflexão Fresneliana (*Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien IIa, Bd. 115*, p. 259) e o outro sobre a absorção de “raios” alfa (α) e beta (β) (*Physikalische*

Zeitschrift 7, p. 588). Com esses resultados (e apesar de já ter 27 anos de idade), Meitner aventurou-se a pedir permissão aos pais para viajar ao exterior para ampliar seus estudos. Uma primeira tentativa foi estudar com a química e física polonesa-francesa Marie Sklodowska Curie (1867-1934; PNF, 1903; PNQ, em 1911), em Paris, que, no entanto, não a aceitou por não haver posição disponível. Porém, o famoso físico alemão Max Karl Ernest Planck (1858-1947; PNF, 1918), aceitou-a na *Universidade de Berlim*. Desse modo, ao chegar em Berlim, em setembro de 1907, foi procurar Planck, pois estava interessada em assistir aos seminários que ele ministrava nessa Universidade. Em uma primeira conversa na casa de Planck, ele falou-lhe: *Mas você já é doutora! O que mais você quer?* Meitner respondeu-lhe: *Eu gostaria de adquirir alguma compreensão real da física*. Com esse diálogo, ela percebeu logo que Planck não aprovava mulheres que estudavam.

Como as conferências de Planck não preenchiam o seu tempo, além delas não a entusiasmavam muito, Meitner foi à procura de um laboratório na qual pudesse realizar experiências, principalmente sobre radioatividade. Quase no final de setembro de 1907, provavelmente dia 28, conforme dissemos acima, ela foi falar com Hahn, que trabalhava no *Instituto de Química da Universidade de Berlim* e era considerado um respeitado especialista em radioatividade, e que, por acaso, estava à procura de um assistente. Contudo, aquele Instituto era dirigido pelo químico alemão Emil Hermann Fischer (1852-1919), que não permitia a entrada de mulheres nas suas aulas e muito menos no seu Instituto. Ao saber disso, Meitner foi conversar com Fischer para encontrar a razão dessa proibição. Ele lhe disse que agia dessa maneira, pois ficava muito apreensivo quando alunas, principalmente russas, aproximavam seus cabelos exóticos do *bico de Bunsen*. Porém, ele não se opunha que trabalhasse com Hahn, desde que fosse longe de seu local de trabalho. Hahn, que era extremamente charmoso e gostava de ter mulheres bonitas (o caso de Meitner) como assistentes, transformou a antiga carpintaria do prédio do Instituto, localizada em seu porão, em um pequeno laboratório, logo conhecido como a “Carpintaria”, na qual os dois realizaram importantes pesquisas [inclusive a descoberta do primeiro radioisótopo do actínio (${}_{89}\text{Ac}^{228}$)], publicadas em 1908 (*Physikalische Zeitschrift* 9, pgs. 321; 649; 697) e em 1909 (*Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 11, p. 55; *Physikalische Zeitschrift* 10, pgs. 148; 422; 741). Note-se que, isoladamente, Meitner publicou trabalhos em 1907 (*Physikalische Zeitschrift* 8, p. 489) em 1909 (*Physikalische Zeitschrift* 10, p. 697; *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 11, p. 648).

Quando, em 1909, foi legalizada a educação feminina na Alemanha, Meitner deixou de trabalhar de graça e foi oficialmente aceita no Instituto dirigido por Fischer. Em 1913, ela e Hahn foram para o *Instituto Kaiser Wilhelm de Química*, que havia sido criado em 23 de outubro de 1912. Desse modo, Meitner deixou a “Carpintaria” e, também, de servir-se do banheiro de um restaurante que ficava na mesma rua, uma vez que era proibida de usar o toalete do Instituto dirigido por Fischer. No entanto, é oportuno dizer que, a partir dessa nova situação, Fischer passou a apoiá-la (inclusive mandando instalar um toalete para mulheres em seu Instituto), tendo, inclusive, em 1917, a indicado para dirigir o *Departamento de Física da Radiação* daquele novo Instituto.

Depois desse breve comentário sobre o início da vida científica de Meitner, voltemos às reações nucleares tendo os nêutrons como partículas colidentes. Os resultados experimentais de tais reações, vistos anteriormente, precisavam de uma explicação teórica. Assim, uma primeira tentativa de explicar reações nucleares envolvendo a colisão de partículas leves (p.e.: o nêutron), com o núcleo atômico, foi apresentada pelo físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922), em artigos publicados em 1936 (*Naturwissenschaften* 24, p. 214; *Nature* 137, pgs. 344; 351), nos quais considerou que o núcleo, juntamente com a partícula incidente, formava um *núcleo composto* com uma certa *energia de excitação*, dotado de uma determinada vida-média antes de cindir-se. Nesse modelo de Bohr, conhecido como gota líquida, a partícula incidente que penetra no núcleo rapidamente reparte sua energia com os núcleons (prótons e nêutrons) e, desse modo, perde sua identidade. Esse modelo foi retomado por Bohr e pelo físico dinamarquês Fritz Kalckar (1910-1938), em 1937 [*Danske Videnskaberne Selskab Mathematisk-Fysiske Meddelanden* 14 (10)], ao considerarem a tensão superficial da matéria nuclear ao estudarem as energias

envolvidas na deformação dos núcleos. Observe-se que, antes, em 1935 (*Zeitschrift für Physik* 96, p. 431), o físico alemão Karl Friedrich von Weizsäcker (1912-2007) havia considerado o núcleo atômico como um pedaço de matéria incompressível e homogênea, ocasião em que apresentou uma fórmula empírica para o cálculo de sua massa, em função das massas dos núcleons (prótons e nêutrons) e de sua energia de ligação. Observe-se que, em 1928, o físico russo norte-americano George Antonovich Gamow (1904-1968) havia pensado na forma de uma gota líquida para o núcleo quando desenvolveu o seu famoso modelo do efeito túnel (vide verbete nesta série).

Continuemos o estudo das reações nucleares com nêutrons como partículas colidentes. Conforme vimos anteriormente, o GR, em 1934, havia produzido pelo menos quatro substâncias radioativas ao bombardear o urânio com nêutron. Em vista disso, Meitner, Hahn e Strassmann (1902-1980), em 1937 (*Zeitschrift für Physik* 106, p. 249), repetiram essa experiência e encontraram pelo menos nove elementos radioativos, seis dos quais com números atômicos (Z) maiores do que o do urânio (Z = 92). Esses resultados eram inquietantes, pois naquela época esses elementos químicos ainda não haviam sido encontrados. Supunha-se, apenas, que poderiam existir elementos com propriedades químicas semelhantes às do rênio (${}_{75}\text{Re}$), chamado “eka-rênio” (Z = 93), e às do ósmio (${}_{76}\text{Os}$), conhecido como “eka-ósmio” (Z = 94). Lembrar que o prefixo “eka”, que significa “abaixo de”, foi usado pelo químico russo Dmitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907), para previsão de certos elementos químicos que faltavam em sua famosa Tabela Periódica dos Elementos, de 1869. Por exemplo, ele previu os seguintes elementos: “eka-alumínio” \equiv gálio (${}_{31}\text{Ga}$) e o “eka-silício” \equiv germânio (${}_{32}\text{Ge}$), descobertos, respectivamente, em 1875 e 1886.

Por outro lado, também em 1937 (*Journal de Physique et le Radium* 8, p. 385), Irène Joliot-Curie e o físico iugoslávio Pavel Peter Savitch (n.1908) apresentaram os resultados de uma experiência, na qual o urânio e o tório (${}_{90}\text{Th}$) foram irradiados com nêutrons e que haviam produzido um isótopo radioativo do tório, com uma vida média de 3,5 horas. Esses resultados foram examinados e contestados, ainda em 1937, por Meitner (*Annalen der Physik* 29, p. 246) e por Meitner, Hahn e Strassmann (*Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaften* 70, p. 1374). Desse modo, em 20 de janeiro de 1938, Meitner escreveu para Irène dizendo-lhe que seu grupo de pesquisa, na *Universidade de Berlim*, não havia conseguido obter o isótopo do tório previsto por ela e que re-examinasse os seus experimentos. Em consequência disso, Irène e Savitch fizeram novas experiências e, em 1938 (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 206, pgs. 906; 1643), apresentaram novas conclusões. No primeiro artigo, escreveram que haviam cometido um erro (descoberto por Meitner, a quem agradeciam na oportunidade) na experiência anterior e, que o elemento radioativo que haviam encontrado era um isótopo do actínio (${}_{89}\text{Ac}$), decaindo no ${}_{57}\text{La}$. Contudo, como eles não conseguiram isolar este elemento químico, no segundo artigo, afirmavam que o tal elemento radioativo era um elemento transurânico, com propriedades semelhantes às do lantânio. Por sua vez, como Meitner, Strassmann e Hahn, ainda em 1938 (*Zeitschrift für Physik* 109, p. 538), haviam encontrado atividades características dos isótopos do rádio e do actínio bombardeando o tório com nêutrons rápidos, eles receberam com ceticismo a conjectura de Irène e Savitch sobre a existência de um elemento transurânico. Em vista disso, Meitner e Hahn chegaram a denominar, jocosamente, esse “novo” elemento químico de *curioso*.

O trabalho de Meitner com Hahn em Berlim começou a se tornar difícil em virtude de o Exército Nazista de Adolf Hitler (1889-1945) haver invadido a Áustria, em 12 de março de 1938 e, em consequência dessa invasão, esse país deixou de existir e Meitner perdeu a cidadania austríaca. Além disso, por ser descendente de judeus, ela foi afastada de seu cargo em Berlim, ficando sem remuneração, além de ser proibida de sair da Alemanha, conforme ordem assinada pelo chefe da Gestapo - a Polícia Secreta dos Nazistas -, o político e militar alemão Heinrich Himmler (1900-1945), que dizia: *Nenhum professor universitário, judeu ou não, terá permissão de deixar a Alemanha*. Em consequência disso, ajudada por amigos, em 13 de julho de 1938, Meitner fugiu da Alemanha, indo para Copenhague, onde Bohr lhe oferecera um cargo no Instituto que dirigia, e no qual trabalhava o sobrinho de Meitner, o físico austro-britânico Otto Robert Frisch (1904-1979). Como seu sobrinho estava realizando excelentes pesquisas sobre reações nucleares com nêutrons, certamente para não ofuscá-lo (McGrayne, op.cit.), Meitner, que acabara de se aposentar

oficialmente do *Instituto Kaiser Wilhelm de Química*, aceitou o convite para ir para Estocolmo, na Suécia, para trabalhar com o físico sueco Karl Manne Georg Siegbahn (1886-1978; PNF, 1924), que dirigia o *Instituto Nobel de Física*, que havia sido criado em 1937. Apesar de Siegbahn lhe haver recebido em seu Instituto, ele pouco a ajudou em suas pesquisas pois não tinha interesse em física nuclear, conforme ela registrou em carta que mandou para Hahn, em outubro de 1938, na qual escreveu: *Siegbahn não se interessa nenhum pouco pela física nuclear, e duvido que aprecie ter uma pessoa independente junto dele... Muitas vezes, vejo-me como uma boneca de corda que faz as coisas automaticamente, com um sorriso sempre amável, só não há vida real nela*. Outros detalhes do exílio de Meitner podem ser vistos nos livros citados no início deste verbete.

Foi em Estocolmo, cidade na qual viveu por 22 anos, que Meitner, com auxílio de seu sobrinho Frisch, formulou a explicação da fissão nuclear. Vejamos como isso aconteceu. Em 1938 (*Naturwissenschaften* 26, p. 475), Hahn, Strassmann e Meitner realizaram uma experiência sobre o bombardeamento do urânio com nêutrons lentos. Além dos resultados já conhecidos com esse tipo de reação nuclear, um deles, no entanto, era aparentemente um absurdo, qual seja, o da presença do bário (^{56}Ba), ao invés do rádio (^{88}Ra), como um dos produtos finais da reação. Isso indicava que o nêutron poderia induzir uma partição (fissão) do átomo de urânio em dois átomos de massas comparáveis. Ainda em 1938 (*Naturwissenschaften* 26, p. 756), Hahn e Strassmann encontraram resultados análogos aos que Irène e Savitch haviam obtido, também em 1938, resultados esses registrados acima. Contudo, neste último trabalho, Hahn e Strassmann descobriram que corpos radioativos resultantes do bombardeamento do urânio com nêutrons lentos, eram quimicamente semelhantes ao bário e, portanto, poderiam ser “isótopos do rádio”. Novas experiências realizadas por Hahn e Strassmann confirmaram esses resultados. Em vista disso, em 19 de dezembro de 1938, Hahn escreveu uma carta para Meitner, na qual falava da dificuldade de entender a razão pela qual o “isótopo de rádio” que ele e Strassmann, haviam obtido, comportava-se como o bário. Nessa carta, Hahn falou também que o urânio não poderia romper-se (grifo meu) em bário. E pediu-lhe uma explicação para esse fato. Temendo que Irène Joliot-Curie, na França, o ultrapassasse, Hahn preparou sozinho um novo artigo, embora houvesse colocado o nome de Strassmann, e o enviou para a *Naturwissenschaften*, no dia 22 de dezembro. O artigo foi publicado no Volume 27, p. 11, dessa Revista, no dia 6 de janeiro de 1939.

Em 30 de dezembro de 1938, Meitner e o sobrinho Frisch encontravam-se em uma cidade turística localizada em Kungälv, na costa oeste da Suécia, passando as férias de fim de ano. Naquele dia, ao tomar café com sua tia, Frisch percebeu que ela estava meditando sobre a carta de 19 de dezembro que Hahn lhe havia escrito. A partir daí começaram um longo diálogo, enquanto Frisch esquiava e era acompanhado, a pé, pela tia. Em um certo instante, ela disse ao sobrinho: *Hahn é um químico bom demais. Tenho certeza de que o resultado está certo. Mas que diabo significa isso? Como alguém pode conseguir um núcleo de bário de um de urânio? ... Ora, o urânio tem 92 prótons, e o bário, 56. Como o urânio poderia perder 36 prótons de uma só vez? Um nêutron pode fragmentar um ou dois prótons, mas 36? Poderia o núcleo do urânio ser cinzelado ou fatiado em dois? Não, o nêutron não poderia agir como um cinzel, e o núcleo não era um objeto sólido para ser fatiado em dois. Parecia-se mais como uma gota de um líquido*. (McGrayne, op. cit.)

Depois desse diálogo, Meitner e Frisch perceberam que poderiam usar o modelo da gota líquida, que Bohr havia desenvolvido, em 1936, isoladamente, e com Kalckar, em 1937, e do qual falamos anteriormente. Desse modo, pensaram que talvez o núcleo do urânio pudesse se alongar tomando uma forma ovalada, presa no meio por um laço que, ao apertar-se, a “gota nucleônica” dividia-se em duas. [Inicialmente, Meitner fez um desenho de um círculo e Frisch o completou com um estreitamento no meio desse círculo (www.aip.org/history/mod/fission/fission1/03.html - acesso em 08 de dezembro de 2007). Nesta oportunidade, agradeço ao meu amigo, o físico brasileiro Nelson Pinheiro Coelho de Souza (n.1956), por haver chamado a minha atenção sobre esse site, pelo acesso a alguns artigos usados neste verbete, além da leitura crítica deste texto.] Com essa idéia em mente, eles sentaram no tronco de uma árvore caída na neve e começaram a fazer cálculos. Novos cálculos realizados por Meitner, já em Estocolmo, indicavam que, no rompimento do urânio golpeado por um nêutron rápido, havia a liberação de energia de cerca de 200 MeV, em torno de 20

milhões de vezes mais que a quantidade equivalente de tri-nitro-tolueno (TNT). Isso significava dizer que, pela primeira vez, uma experiência era capaz de produzir mais energia do que consumia. É oportuno registrar que Meitner, ao encontrar aquele mesmo valor energético usando dois tipos de cálculos e ao comunicar essa coincidência ao seu sobrinho, eles exclamaram: *Tudo se encaixa*. Esses dois tipos de cálculo foram os seguintes: 1) usando a energia cinética dos dois novos núcleos que se repelem eletrostaticamente, cálculo esse realizado a partir do raio e da carga elétrica desses núcleos; 2) considerando que a diferença de massa entre os núcleos mãe e filhos, em torno de 1/5 da massa do próton, poderia ser transformada em energia de acordo com a célebre expressão deduzida pelo físico germano-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921), em 1905: $E = mc^2$. Observe-se que Meitner, dias antes de conversar com seu sobrinho, se lembrara da conferência que assistira sobre essa expressão, proferida pelo próprio Einstein, em setembro de 1909, por ocasião da reunião da Sociedade Científica Alemã (*Naturforschersamm*), ocorrida em Salzburg, na Áustria. É também interessante notar que foi nessa reunião que Einstein apresentou, pela primeira vez, a revolucionária hipótese sobre o caráter dual da luz: onda-partícula. Note-se, ainda, que Meitner foi de trem para essa reunião com Planck, Hahn e o físico alemão Max Theodor Felix von Laue (1879-1960; PNF, 1914), e que foi apresentada a Einstein pelo físico austríaco Anton Lampa (1868-1938), seu antigo instrutor de laboratório em Viena.

Ao voltar para Copenhague, Frisch conversou com Bohr, que estava de partida para os Estados Unidos, sobre o que ele e a tia haviam discutido em Kungälv, ou seja, sobre um possível rompimento do átomo de urânio ou de tório ao ser bombardeado com nêutrons. Ao ouvir isso, Bohr exclamou aos berros: *Como fomos idiotas!* Contudo, prometeu a Frisch que só contaria essa grande descoberta, depois que ele e a tia publicassem o artigo. Apesar dessa promessa, no navio que o levou aos Estados Unidos, que saiu de Copenhague no dia 7 de janeiro de 1939, Bohr falou dessa espetacular novidade com um cientista que estava a bordo, sem, contudo, dizer-lhe que era segredo. Logo que o navio aportou em Nova York, em 16 de janeiro de 1939, a notícia do rompimento do átomo se espalhou.

Ao tomar conhecimento do artigo de Hahn e Strassmann, publicado no dia 6 de janeiro de 1939 (*Naturwissenschaften* 27, p. 11) e referido anteriormente, Frisch discutiu com a tia, por telefone e por carta, a necessidade de publicar o que haviam descoberto em Kungälv. Desse modo, em 08 de janeiro de 1939, Frisch rascunhou uma carta (por ser mais fluente em inglês do que Meitner) que seria enviada para a revista inglesa *Nature*, na qual descreveu o que haviam descoberto sobre o rompimento de átomos pesados (tório e urânio) bombardeados com nêutrons. Contudo, para ter melhores dados sobre essa proposta de fissão nuclear, no dia 13 de janeiro de 1939, Frisch realizou uma experiência sobre o rompimento referido, e nela viu confirmado os cálculos que haviam feito por ocasião de suas férias de final de ano. Por fim, no dia 16 de janeiro de 1939, ele enviou os dois artigos para a *Nature*, e que foram publicados no volume 143, p. 239 (11 de fevereiro) e p. 276 (18 de fevereiro), respectivamente. É oportuno notar que, quando Frisch estava escrevendo esses artigos, perguntou ao biólogo norte-americano William A. Arnold [que trabalhava com o físico húngaro Georg Charles von Hevesy (1885-1966), no Instituto de Bohr] como se chamava em Biologia a divisão de uma célula, já que, conforme ele e a tia haviam proposto, núcleos pesados, quando bombardeado por nêutrons, também se partem como uma célula. Ao receber a resposta: *fissão binária*, ele então passou a chamar de fissão nuclear ao processo nuclear envolvendo esse tipo de experiência. Note-se, também, que os físicos alemães Siegfried Flügge (1912-1997) e Gottfried von Droste enviaram, no dia 22 de janeiro de 1939 para a Revista *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, uma interpretação da fissão nuclear que, no entanto, só foi publicada em março, no volume B42, p. 274.

A idéia básica desses trabalhos de Meitner e Frisch, baseada no modelo da gota líquida, nos cálculos que realizaram e comparando com resultados experimentais, era a seguinte: o urânio poderia comportar-se como um balão grande, fino e cheio de água ou como um grande e trêmulo pedaço de gelatina que, golpeado por um nêutron lento, o núcleo do urânio se partiria em dois. Além do mais, a “gota nucleônica” assim formada poderia dividir-se de várias maneiras diferentes. Por exemplo, em bário ($_{56}\text{Ba}$) e criptônio ($_{36}\text{Kr}$); ou em rubídio ($_{37}\text{Rb}$) e césio ($_{55}\text{Cs}$). Ou ainda em

outros pares de átomos de tamanho médio cuja soma dos prótons seria 92. Desse modo, concluíram, ser essa a razão dos resultados obtidos por ela, Meitner, isoladamente, e junto com Hahn e Strassmann, assim como os obtidos por Hahn e Strassmann e, também, por Irène Joliot-Curie, resultados esses referidos anteriormente. Estava assim explicada a fissão nuclear. A partir daí, o vocábulo fissão nuclear, de modo direto ou indireto, passou a fazer parte da Física e da Química, como se pode ver, por exemplo, nos seguintes artigos: Hahn e Strassmann (*Naturwissenschaften* 27, pgs. 11; 89); Meitner e Frisch (*Nature* 143 p.471; *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab: Matematisk-fysiske Meddelelser* 17, p. 5); Meitner (*Nature* 143, p. 637); Joliot-Curie e Savitch (*Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* 208, p. 343), Bohr e John Archibald Wheeler (*Physical Review* 56, pgs. 426; 1056) e Yakov Ilyich Frenkel [*Journal of Physics (USSR)* 1, p. 125], todos ainda em 1939. Observe-se que nestes dois últimos trabalhos, a fissão nuclear foi explicada usando o modelo da *gota-líquida* vista acima e, com isso, fizeram previsões sobre os valores da secção eficaz do núcleo atômico, para diferentes velocidades dos nêutrons incidentes.

Ainda sobre o tema e personagens envolvidos na fissão nuclear, é oportuno destacar mais alguns aspectos curiosos. Conforme vimos até aqui, as experiências realizadas sobre o bombardeamento de átomos pesados com nêutrons, indicavam, além do rompimento deles, a produção de novos elementos chamados de “transurânicos”, conhecidos com o prefixo “eka”, como os já citados: “eka-rênio” (Z = 93) e “eka-ósmio” (Z = 94), além do “eka-irídio” (Z = 95) e do “eka-platina” (Z = 96). É interessante notar que os dois primeiros “eka” foram descobertos pelos norte-americanos, o físico Edwin Mattison McMillan (1907-1991; PNQ, 1951) e o químico Philip Hauge Abelson (1913-2004), em junho de 1940 (*Physical Review* 57, p. 1185), e pelos físicos McMillan, Joseph William Kennedy (1916-1957) e Arthur Charles Wahl (1917-2006) e pelo químico Glenn Theodore Seaborg (1912-1999; PNQ, 1951), em dezembro de 1940 [*Physical Review* 69, p. 366 (1946)], e receberam, respectivamente, os nomes de neptúnio (${}_{93}\text{Np}$) e plutônio (${}_{94}\text{Pu}$). Os outros dois elementos “transurânicos” foram descobertos pelos químicos norte-americanos Seaborg, R. A. James, L. O. Morgan e Albert Ghiorso (n.1915), da *Universidade da Califórnia/Berkeley* (UC), em 1944 (*National Nuclear Energy Service* 22.1; 22.2), e receberam os nomes respectivos de amerício (${}_{95}\text{Am}$) e cúrio (${}_{96}\text{Cm}$).

Agora, vejamos o polêmico Prêmio Nobel de Química de 1944 (PNQ44) que foi atribuído a Hahn, secretamente pelo *Comitê Nobel*, antes do final da *Segunda Guerra Mundial*, que ocorreu no dia 08 de maio de 1945. O motivo dessa escolha secreta foi porque os Nazistas proibiram que os alemães recebessem PN. No entanto, quando essa notícia veio a público, no dia 16 de novembro de 1945, houve várias manifestações de desagrado a essa escolha, pois os que se manifestaram dessa maneira, achavam que aquele Prêmio deveria ser concedido aos três descobridores da fissão nuclear: Hahn, Meitner e Strassmann. Para justificar a sua escolha, Hahn afirmava que Meitner não teve nenhuma participação na descoberta da fissão nuclear pois, segundo ele, “enquanto a professora Meitner estava na Alemanha, não houve discussões sobre a fissão do urânio. Isso era considerado impossível”. Provavelmente, essa atitude de Hahn decorreu do fato de que, quando houve a explosão da Bomba Atômica (baseada na fissão do urânio) sobre a cidade de Hiroshima, no dia 06 de agosto de 1945 (vide verbete nesta série), Meitner tornou-se uma celebridade do dia para a noite, em virtude de várias manifestações públicas, principalmente, por ela haver dito em uma transmissão radiofônica transatlântica com Anna Eleanor Roosevelt (1884-1962), esposa do Presidente Franklin Delano Roosevelt (1882-1945), que “foi um acidente infeliz essa descoberta ter chegado em tempos de guerra”. Por sua vez, Strassmann ficou bastante desapontado com essa atitude de Hahn. Em vista disso, Hahn ofereceu-lhe 10% do valor do PN, oferta que foi imediatamente refutada por Strassmann (Bodanis, op. cit.). Um outro fato curioso sobre a não inclusão de Meitner no PNQ44, foi o veto apresentado por Manne Siegbahn ao *Comitê Nobel* contra seu nome. É oportuno destacar que os físicos experimentais suecos, dos quais Siegbahn era um deles, tinham bastante influência na escolha dos Nobelistas. Outros detalhes sobre a polêmica concessão do PNQ44, ver: McGrayne, op. cit., Sime, op. cit. É ainda curioso destacar que Einstein chamava Meitner de *Madame Curie Alemã*, e que Rutherford, quando se

encontrou pela primeira vez com Meitner, em Berlim, e cujos trabalhos já conhecia, disse-lhe com espanto: *Oh!, eu pensei que você fosse um homem!* .

Na conclusão deste verbete, é interessante ainda destacar mais alguns aspectos curiosos sobre os personagens envolvidos na descoberta da fissão nuclear. Em 1966, Hahn, Meitner e Strassmann receberam o Prêmio Enrico Fermi, da *Comissão de Energia Atômica (CEA)* dos Estados Unidos pelos seus trabalhos independentes e, também, em colaboração, que levou à descoberta da fissão nuclear. Destaque-se que Hahn havia indicado apenas Strassmann para receber esse Prêmio, porém Seaborg, que era Presidente do Comitê da **CEA**, indicou o nome dos três. Em 1967, um grupo de físicos russos do *Joint Institute for Nuclear Research*, em Dubna, na então União Soviética, liderado por Georgii Nikolaevich Flerov (1913-1990), anunciou que produziram alguns átomos do elemento 105, pelo bombardeamento do amerício (${}_{95}\text{Am}$) com néon (${}_{10}\text{Ne}$). Em abril de 1970, Ghiorso e seu grupo da **UC/Berkeley** (M. Nurmia, J. Harris, K. A. Y. Eskola e P. L. Eskola) anunciaram que haviam produzido o elemento 105, colidindo um feixe de nitrogênio (**N₇**) em um alvo de califórnio (**Cf₉₈**). Nessa ocasião, Ghiorso propôs o nome de *hahnio* (**Ha₁₀₅**) para homenagear Hahn. Contudo, em 1997, o Conselho do *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) trocou o nome de *hahnio* para *dubnio* (**Db₁₀₅**), para homenagear a cidade de Dubna, onde esse elemento foi primeiramente produzido. É oportuno registrar que esse elemento recebeu várias denominações, antes dessa denominação final: *unnilênio*, *joliócio* e *seaborgio*, além de *hahnio*. Por fim, em 29 de agosto de 1982, físicos do *Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI)* (“Laboratório de Investigação de Íons Pesados”), em Darmstadt, na Alemanha, produziram o elemento 109 ao bombardearem um alvo de bismuto (**Bi₈₃**) com núcleos acelerados de ferro (**Fe₂₆**). Esse novo elemento recebeu da **IUPAC**, em 1997, o nome de *meitnério* (**Mt₁₀₉**), em homenagem a Meitner.



ANTERIOR

SEGUINTE