



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

Os Primeiros Elementos Químicos Sintetizados pela Tecnologia: Tecnécio (Tc) e Astatíneo (Astató) (At) e Suas Diversas Aplicações.

Segundo vimos em verbetes desta série, em 1869 (*Journal of the Russian Physical Chemical Society* **1**, p. 60; *Zeitschrift für Chemie* **12**, p. 405), o químico russo Dmitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907) apresentou sua famosa **Tabela Periódica dos Elementos** (TPE), na qual os 63 elementos químicos até então conhecidos eram classificados segundo a ordem crescente de seus pesos atômicos (hoje, número atômico Z , que representa o número de prótons do núcleo atômico), sendo agrupados em colunas de elementos que apresentavam propriedades químicas semelhantes. Registre-se que essa TPE foi completada por Mendeleiev em mais três outros artigos: 1871 (*Journal of the Russian Physical Chemical Society* **3**, p. 25), 1872 (*Annalen der Chemie, Supplementband* **8**, p. 149), e 1889 (*Journal of Chemical Society* **55**, p. 634).

Ao olhar os elementos químicos dispostos em sua tabela, Mendeleiev percebeu que havia lugares vagos entre eles. Assim, afirmou: - *Entre os elementos ordinários, a falta de uma quantidade de análogos do boro (${}_{5}\text{B}$) e do alumínio (${}_{13}\text{A}$) é marcante.* Em vista disso, previu a existência de elementos ausentes: **eka-alumínio**, **eka-boro**, **eka-silício**, **eka-zircônio**, **eka-manganês**, **dvi-manganês** e **eka-iodo**. Os prefixos utilizados por ele, *eka* e *dvi*, que significam *um* e *dois*, em sânscrito, indicavam a ausência de um ou dois lugares abaixo (diretamente ou não) do elemento que segue o prefixo. Como *eka* também significa “o primeiro a seguir”, por essa razão, esse prefixo é, às vezes, traduzido por “em baixo de”. É oportuno destacar que, ainda em vida, Mendeleiev viu confirmada a sua previsão. Com efeito, os três primeiros, denominados de **gálio** (${}_{31}\text{Ga}$), **escândio** (${}_{21}\text{Sc}$) e **germânio** (${}_{32}\text{Ge}$), foram descobertos, respectivamente, em 1875 (*Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* **81**, p. 493), pelo químico francês Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (1838-1912); em 1879 (*Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* **88**, p. 645), pelo químico sueco Lars Fredrik Nilson (1840-1899); e, em 1886 (*Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* **19**, p. 210), pelo químico alemão Clemens Alexander Winkler (1838-1904). Muito embora o Ga e o Ge se situem hoje (ver qualquer TPE atual), logo abaixo, respectivamente, do A e do silício (${}_{14}\text{Si}$), o Sc encontra-se na coluna 03 da TPE, duas casas abaixo do B, que, no entanto, localiza-se na coluna 13 da TPE.

Por outro lado, somente na primeira metade do Século 20 os outros quatro elementos previstos por Mendeleiev foram isolados: o **háfnio** (${}_{72}\text{Hf}$) – o **eka-zircônio** –, em 1923 (*Nature* **111**, p. 79), pelo físico holandês Dirk Coster (1889-1950) e o químico húngaro-sueco George Charles von Hevesy (1885-1966; PNQ, 1943); o **rênio** (${}_{75}\text{Re}$) – o **dvi-manganês** – e o **masúrio** – o **eka-manganês** –, em 1925 (*Naturwissenschaften* **13**, p. 567), pelos químicos alemães Walter Karl Friedrich Noddack (1893-1960), Ida Eva Tacke (depois, Noddack) (1896-1979) e Otto Berg (1873-1939). Em 1929 (*Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie* **183**, p. 353), o casal Noddack confirmou a descoberta do Re. É oportuno registrar que o nome **masúrio** foi dado para homenagear a região Masuria, localizada na parte oriental da Prússia, hoje Polônia, terra da família dos pais de Walter Noddack. (en.wikipedia.org/Otto_Berg).

A descoberta do então **masúrio** foi objeto de uma grande polêmica, segundo nos conta a química norte-americana Ruth Lewin Sime (n.1939) em seu livro intitulado **Lise Meitner: A Life in Physics** (University of California Press, 1997). Como vimos acima, ele foi descoberto em 1925, pelos Noddack e Berg, bombardeando a **columbíta** [$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$] com um feixe de elétrons e, ao

examinarem o espectro de raios-X decorrente desse bombardeio, concluíram que haviam observado a presença dos elementos químicos de pesos atômicos 75 e 43, respectivamente, **rênio** e **masúrio**. O **rênio** foi confirmado pelo casal Noddack, em 1929, segundo vimos acima, mas o **masúrio** permaneceu inconclusivo.

Essa polêmica sobre o **masúrio** só foi resolvida, em 1937 (*Atti Rendiconti Lincei, Academia Nazionale dei Lincei* **25**, p. 273), quando o físico ítalo-norte-americano Emilio Gino Segré (1905-1989; PNF, 1959) e o mineralogista italiano Carlo Perrier (1886-1948), da *Universidade de Palermo*, na Sicília, Itália, anunciaram que haviam produzido artificialmente um novo elemento químico, bombardeando o molibdênio ($_{42}\text{Mo}$) com dêuteron [$_{1}\text{D}^2 \equiv {}_1\text{H}^2$, que havia sido descoberto, em 1932 (*Physical Review* **39**, p. 164), pelos químicos norte-americanos Harold Clayton Urey (1893-1981; PNQ, 1934), Ferdinand Graft Brickwede (1903-1989) e George Moseley Murphy (1903-1969)] usando o **cíclotron** da *Universidade da Califórnia*, em Berkeley, USA. Como eles haviam sintetizado esse novo elemento químico usando a Tecnologia, mais tarde, em 1947 (*Nature* **159**, p. 24), deram-lhe o nome de **tecnécio** ($_{43}\text{Tc}$) (*technetos*, que significa **artificial** em grego). Note-se que, em 1951 (*Science* **114**, p. 59), a astrônoma norte-americana Charlotte Emma Moore (1898-1990) detectou o Tc no Sol e, em 1952 (*Science* **115**, p. 479), o astrônomo norte-americano Paul Willard Merrill (1887-1961) detectou a assinatura espectral do $_{43}\text{Tc}^{98}$ [em particular, luz de comprimentos de onda de 403,1 nm, 423,8 nm, 426,2 nm e 429,7 nm (1 nm = 10^{-9} m)] na luz vinda das estrelas vermelha-gigantes do tipo-S [neste tipo estão as estrelas gigantes frias e que apresentam evidências de bandas de óxido de zircônio (ZrO) em seu espectro], com uma vida média de $4,2 \cdot 10^6$ anos.

Agora, vejamos a descoberta do **eka-iodo**, o elemento químico de peso atômico (Z) 85. Em 1931 (*Physical Review* **37**, p. 1178), os físicos norte-americanos Fred C. Allison (1882-1974), Edgar James Murphy (1917-1992), Edna R. Bishop (1897-1964) e Anna L. Sommer (1899-1996), do então *Alabama Polytechnic Institute*, anunciaram a descoberta do elemento-85, ao qual deram o nome de *alabamine* (*alabamium*) ($_{85}\text{Ab}$). Contudo, em 1934 (*Physical Review* **47**, p. 310), o físico norte-americano Herbert G. MacPherson (1911-1993), na *University of Califórnia*, mostrou que havia um erro nessa descoberta. Uma nova falsa descoberta do elemento-85 foi anunciada, em 1937 (*Chemical Abstracts* **31**, p. 17), pelo químico indiano Rajendralal De, na então *Universidade de Dhaka* (hoje, Bangladesh), Índia, ao examinar os elementos da família radioativa do tório ($_{90}\text{Th}$). Assim, ele supôs ter isolado um elemento equivalente ao então *rádio F* [hoje, polônio-210 ($_{84}\text{Po}^{210}$)], ao qual lhe deu o nome de *Dakin*. Aliás, nesse mesmo trabalho, ele também afirmou haver isolado um segundo elemento: o *Gourium*. Em 1939, as físicas, a romena Horia Hulubei (1896-1972) e a francesa Yvette Cauchois (1908-1999) observaram linhas espectrais desconhecidas no espectro do radônio ($_{86}\text{Rn}$), atribuídas ao elemento-85, denominado então de *Dor* (Do). Logo depois, em 1940 (*Nature* **146**, p. 225), o químico suíço Walter Minder (1905-1992) anunciou a descoberta do elemento-85 como um **emissor beta-menos** ($\beta^- \equiv e^-$) ($n \rightarrow p + e^- + \text{img alt="gamma symbol" data-bbox="448 705 475 725" style="vertical-align: middle; height: 1em;"/>$) do então *rádio A-222* [hoje, polônio-210 ($_{84}\text{Po}^{218}$)], dando-lhe o nome de *helvetium* (Hv) (para homenagear sua terra, Helvetia, nome latino de Suíça). Ainda em 1940 (*Physical Review* **58**, p. 672), Segré e os físicos norte-americanos Dale Raymond Corson e Kenneth Ross Mackensie (1912-2002) bombardearam o bismuto ($_{83}\text{Bi}^{209}$) com a partícula α (${}_{2}\text{He}^4$) e sintetizaram o elemento-85, ao qual deram o nome de **astatíneo** (**astato**) ($_{85}\text{At}$) (*astatos*, que significa instável, em grego). Em 1942 (*Nature* **150**, p. 767), Minder e a física inglesa Alice (Prebil) Leigh-Smith (1907-1987) anunciaram a descoberta de um isótopo do Hv, como **emissor beta-menos** do então *tório A* [hoje, polônio-210 ($_{84}\text{Po}^{216}$)], dando-lhes o nome de *anglohelvetium* (Ah) Por fim, essa polêmica sobre o elemento-85 foi finalmente resolvida, em favor da descoberta de Segré, Corson e Mackensie, com os trabalhos da física austríaca Berta Karlik (1904-1990) e de seu colaborador Traude Bernert. Com efeito, em 1942 (*Naturwissenschaften* **30**, p. 44), conjecturaram a existência do $_{85}\text{At}$ (e não o Hv) como decorrência da **emissão beta-menos** do então *rádio A* ($_{84}\text{Po}^{218}$) e, em 1943, ratificaram a existência do

^{85}At em dois trabalhos: no primeiro (*Naturwissenschaften* **31**, p. 298) esse elemento como **emissor alfa** ($\alpha \equiv {}_2\text{He}^4$) e, no segundo (*Zeitschrift für Physik* **123**, p. 51), com os dois tipos de emissão (α , β). Em 1944 (*Naturwissenschaften* **32**, p. 44) e, em 1946 (*Naturwissenschaften* **33**, p. 23), Karlik e Bernert confirmaram os resultados anteriores.

Para concluir este verbete, veremos os isótopos do Tc e do At e suas mais variadas aplicações, principalmente em Medicina Nuclear (MN). O Tc não possui isótopos estáveis. Seus isótopos radioativos ocorrem como fissão espontânea do urânio (${}_{92}\text{U}$) ou por captura de nêutrons (n) pelo ${}_{42}\text{Mo}$. O isótopo do Tc, o ${}_{43}\text{Tc}^{99m}$ (onde m indica metaestabilidade), foi obtido em 1971 (*Journal of Nuclear Medicine* **12**, p. 739), por J. E. Beaver e H. B. Hupf, em uma reação nuclear no qual um alvo de ${}_{42}\text{Mo}^{100}$ foi bombardeado com prótons (${}_{1}\text{p}^1$) de 22 MeV e com a produção de dois nêutrons (${}_{0}\text{n}^1$) (${}_{1}\text{p}^1 + {}_{42}\text{Mo}^{100} \rightarrow {}_{43}\text{Tc}^{99m} + 2 {}_{0}\text{n}^1$) e, então, o ${}_{43}\text{Tc}^{99m}$ decai em ${}_{43}\text{Tc}^{99}$, com a emissão de γ de $\sim 0,14$ MeV e com uma vida média de 6,01 h. Por causa dessa vida média, o ${}_{43}\text{Tc}^{99m}$ é usado em MN como radiofármacos no estudo de varias partes do corpo humano: cérebro, esqueleto, fígado, miocárdio, pulmões, rins, sangue, tireóide e vesícula biliar, funcionando como traçadores, principalmente, na análise de tumores. Por outro lado, o isótopo ${}_{43}\text{Tc}^{99}$ [isolado, em 1961 (*Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* **23**, p. 142), por B. T. Kenna e P. K. Kuroda, em quantidades muito pequenas, em um pedaço de pechblenda, oriunda da África, e decorrente de uma fissão espontânea do ${}_{92}\text{U}^{238}$] é um **emissor beta-menos** com a energia de $\sim 0,294$ MeV, transformando-se em rutênio (${}_{44}\text{Ru}^{99}$), com uma vida média de $2,111 \cdot 10^5$ anos, é usado na Indústria em equipamentos de calibração e, com possível aplicação em equipamentos ópticos- eletrônicos e em nanobaterias nucleares. [Odair Dias Gonçalves e Ivan Pedro Salati de Almeida, **Física Nuclear, IV: Física hoje** (Instituto Ciência Hoje/Centro Brasileiro de Pesquisas Física, 2007); en.wikipedia.org/technetium.]

Por fim, tratemos agora dos isótopos do ${}_{85}\text{At}$ e suas aplicações. Esse elemento é extremamente radioativo. Todos os seus isótopos (produzidos apenas em quantidades microscópicas) e dos 32 até então conhecidos, têm menos de 12 horas de vida média, sendo, principalmente, **emissores beta-mais** ($\beta^+ \equiv e^+$) ($p \rightarrow n + e^+ + \gamma$), **beta-menos** ($\beta^- \equiv e^-$) ($n \rightarrow p + e^- + \gamma$) e **emissores alfa** ($\alpha \equiv {}_2\text{He}^4$). Devido a sua vida média ser pequena e o calor gerado por sua radioatividade ser alto, eles nunca são vistos, pois são imediatamente vaporizados. Daí porque, eles são algumas vezes descritos como metal ou como metalóide, e de cor negra. Embora sejam frequentes na crosta terrestre, nunca foram identificados nas estrelas. Os três mais importantes isótopos do At, são: ${}_{85}\text{At}^{209}$, ${}_{85}\text{At}^{210}$ e ${}_{85}\text{At}^{211}$ e foram sintetizados por intermédio do bombardeio do ${}_{83}\text{Bi}^{209}$ com a α . Assim, em 1951 (*Physical Review* **82**, p. 13), os físicos norte-americanos G. W. Barton, Albert Ghiorso (1915-2010) e I. Perlman produziram o ${}_{85}\text{At}^{209}$ em uma reação do tipo: ${}_{83}\text{Bi}^{209} + {}_2\text{He}^4$ (60 MeV) $\rightarrow {}_{85}\text{At}^{209} + 4 {}_{0}\text{n}^1$. Os outros dois isótopos foram sintetizados, em 1968 (*Russian Chemical Reviews* **37**, p. 87), pelos químicos russos V. D. Nefedov, Yu. V. Norseev, M. A. Toropova e Vladimir A. Khalkin por intermédio das seguintes reações: ${}_{83}\text{Bi}^{209} + {}_2\text{He}^4$ (40 MeV) $\rightarrow {}_{85}\text{At}^{210} + 3 {}_{0}\text{n}^1$ e ${}_{83}\text{Bi}^{209} + {}_2\text{He}^4$ (26 MeV) $\rightarrow {}_{85}\text{At}^{211} + 2 {}_{0}\text{n}^1$.

Os isótopos vistos acima apresentam decaimentos dos tipos **beta-mais** (β^+) e **alfa** (α): ${}_{85}\text{At}^{209} \rightarrow {}_{84}\text{Po}^{209} + \beta^+$ (3,486 MeV) e ${}_{85}\text{At}^{209} \rightarrow {}_{83}\text{Bi}^{205} + {}_2\text{He}^4$ (5,758 MeV), ambos com a vida média de 5,41 h, e ${}_{85}\text{At}^{210} \rightarrow {}_{84}\text{Po}^{210} + \beta^+$ (3,981 MeV) e ${}_{85}\text{At}^{210} \rightarrow {}_{83}\text{Bi}^{206} + {}_2\text{He}^4$ (5,632 MeV), ambos com a vida média de 8,1 h; do tipo **alfa** (α): ${}_{85}\text{At}^{211} \rightarrow {}_{83}\text{Bi}^{207} + {}_2\text{He}^4$ (5,983 MeV), com a vida média de 7,21 h; e do tipo **captura do elétron** (ϵ) [$p + \epsilon (e^-) \rightarrow n + \nu_e$]: ${}_{85}\text{At}^{211} \rightarrow {}_{84}\text{Po}^{211} + \epsilon$ (0,786 MeV), também com a vida média de 7,21 h.

Na conclusão deste verbete, é oportuno ressaltar que o ${}_{85}\text{At}^{211}$, como emissor de α , é muito empregado na Medicina Nuclear principalmente em radioterapia tumoral. Por outro lado, ele é usado

preferencialmente na tireóide em lugar do iodo-131 (${}_{53}\text{I}^{131}$), pois este é um emissor de β^- (elétron) altamente energético e, portanto, bastante penetrante, enquanto a α do ${}_{85}\text{At}^{211}$ é pouco penetrante. [Avgusta Konstantinovna Lavrukhina and Aleksandr Aleksandrovich Pozdnyakov, **Analytical Chemistry of Technetium, Promethium, Astatine and Francium** (Ann Arbor, 1970); en.wikipedia.org/astatine.] É oportuno destacar que, em 2013 (*Nature Communications* **3**, article number 1189), D. Pesquera, G. Herranz, A. Barla, E. Pellegrin, F. Bondino, E. Magnano, F. Sánchez e J. Fontcuberta anunciaram que haviam medido o potencial de ionização do At: 9,31751 eV (eV = elétron-volt).



ANTERIOR

SEGUINTE