

3.7. Desequilíbrio entre as subáreas de Química. — Verifica-se por um processo natural, que grupos com linhas de pesquisa já estabelecidas têm maior possibilidade de obter recursos, que são aplicados com maior eficiência. Entretanto, nota-se que na Química há um desequilíbrio no atendimento entre as diferentes sub-áreas, podendo, em decorrência algumas delas serem prejudicadas em seu desenvolvimento. Seria, pois, importante uma discussão aberta para identificar essas áreas e permitir que a comunidade, com apoio dos órgãos financiadores, possam tomar medidas para saná-las.

Assim, deveria ser objeto de debate um possível redirecionamento dos recursos alocados à Química, visando o atendimento de sub-áreas até então menos favorecidas, para que a Química nacional possa melhor desenvolver-se como um todo, tendo-se, porém, em mente as prioridades do país.

¹ Além das Coordenações citadas, a SDC conta, ainda, com uma Coordenação de Programação e Controle (CPC) e quatro serviços: Serviço de Programação e Controle de Bolsas no País (PCP), Serviço de Programação e Controle de Bolsas no Exterior (PCE), Serviço de Programação e Controle de Auxílios à Pesquisa (PCA) e Serviço de Programação e Controle Financeiro (PCF).

² Resolução Executiva 020/80 de 6-2-80.

³ Para efeito de contagem, a Físico-Química-Orgânica foi englobada à Físico-Química. Físico-Química-Orgânica compreende projetos tais como: formação de micelas; reatividade química e interfaces; estudos de interação eletrônica e conformacional de compostos por RMN, estudo de correlação entre espectros de RMN e estruturas moleculares e suas relações com a química destas moléculas; cromatografia líquida de alta eficiência, determinação de parâmetros cromatográficos e suas correlações com estruturas de produtos naturais; pesticidas clorados, etc.

⁴ Atuação dos Comitês Assessores do CNPq. (1979) Boletim Informativo 2, 4-14.

ASSUNTO GERAL

INFORMAÇÕES ELEMENTARES SOBRE RADIONUCLÍDEOS¹

Carol H. Collins, J. C. de Andrade e Kenneth E. Collins

Instituto de Química — Universidade Estadual de Campinas
13.100 — Campinas, SP, Brasil

(Recebido em 17/11/80)

Até hoje já foram identificados mais de dois mil núclídeos⁴ dos 107 elementos conhecidos atualmente. Destes, entretanto, apenas 253 são estáveis, isto é, não sofrem qualquer desintegração espontânea do núcleo⁵. Os restantes incluem radionuclídeos naturais e artificiais.

Existem 26 radionuclídeos naturais que desintegram-se por emissão de partículas α ou β e apresentam meias-vidas longas (pelo menos 10^8 anos), fato que permite que eles sejam encontrados ainda hoje, cerca de 10^{10} anos desde a formação da Terra. A Tabela 1 lista os mais importantes, a título de ilustração.

Outros radionuclídeos encontrados na natureza fazem parte das cadeias de desintegração natural do ^{232}Th , ^{235}U e ^{238}U , como mostra Figura 1, mas somente alguns poucos membros destas cadeias têm meias-vidas longas (Tabela 2). Os actínídeos também sofrem desintegração por fissão espontânea, mas este processo ocorre em uma proporção menor que um evento em 10^6 (a meia-vida mais curta para fissão espontânea é a do ^{238}U , $8,2 \times 10^{15}$ anos). Sendo assim, os produtos deste tipo de fissão não são acumulados na natureza.

Radionuclídeo	Meia-Vida ^b (anos)	Abundância Natural (%) ^b
^{40}K	$1,27 \times 10^9$	0,012
^{87}Rb	$4,9 \times 10^{10}$	27,83
^{113}Cd	9×10^{15}	12,2
^{115}In	5×10^{14}	95,7
^{142}Ce	5×10^{16}	11,08
^{144}Nd	$2,1 \times 10^{15}$	23,8
^{187}Re	5×10^{10}	62,60
^{186}Os	2×10^{15}	1,58
^{204}Pb	$1,4 \times 10^{17}$	1,42
^{209}Bi	$> 2 \times 10^{18}$	100,0
^{232}Th	$1,39 \times 10^{10}$	100,0
^{235}U	$7,1 \times 10^8$	0,720
^{238}U	$4,5 \times 10^9$	99,2746

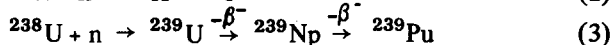
a. Existem 26 radionuclídeos com meias-vidas maiores que 10^8 anos.

b. Da referência 6.

Tabela 1 — Alguns Radionuclídeos Naturais^a.

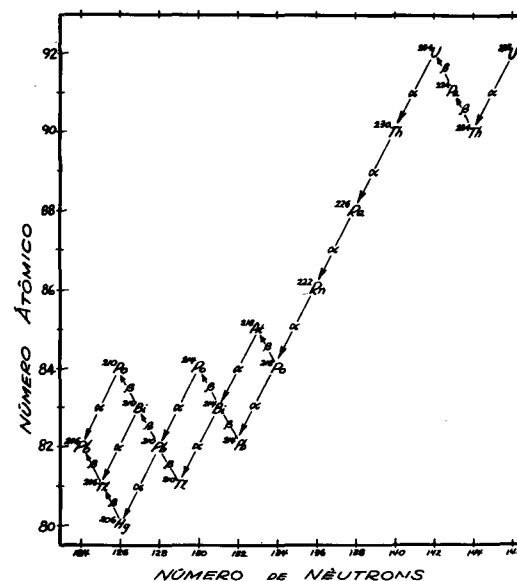
- a. Da referência 6.
- b. Alguns são também usados em pesquisas em ciências biológicas e exatas.

Além destes, outros radionuclídeos, com meias-vidas de alguns anos, são continuamente produzidos pela própria natureza, tanto na estratosfera, por ação dos raios cósmicos (por exemplo, carbono-14, $t_{1/2}$ 5730 anos, e hidrogênio-3 (trítio), $t_{1/2}$ 12,33 anos, equações 1 e 2), como na crosta terrestre (por exemplo, plutônio-238, $t_{1/2}$ $2,439 \times 10^4$ anos, equação 3).



Os métodos de produção dos radionuclídeos artificiais são geralmente usados para classificá-los, apesar de ser possível produzir um determinado isótopo por mais de um método diferente. Quatro são as suas principais classes, à saber:

2. Os radionuclídeos produzidos por ativação neutrônica, tanto com nêutrons térmicos em reator nuclear, através, principalmente, da reação (n,γ) , como com nêutrons energéticos, produzidos em geradores de nêutrons, os quais têm energias suficientemente altas para induzir as reações nucleares do tipo $(n,2n)$, (n,p) e (n,α) . Alguns dos radionuclídeos mais importantes produzidos por este processo estão indicados na Tabela 4.



58 QUÍMICA NOVA / ABRIL 1981

Radionuclídeo	Meia-Vida ^a	Área de Aplicação ^b
⁸⁵ Kr	10,7 a	indústria
⁹⁰ Sr	29 a	fonte-partículas β
		indústria
		medicina
¹³³ Xe	5,25 d	indústria
		medicina
¹³⁷ Cs	30,17 a	fonte-raios γ
		indústria
		medicina
¹⁴⁰ Ba	12,79 d	indústria
¹⁴⁴ Ce	284,4 d	indústria
¹⁴⁷ Pm	2,6234 a	fonte-partículas β
		medicina
		estudos espaciais

a. Da referência 6.

b. A maioria é também utilizada em pesquisas de ciências biológicas e exatas.

Tabela 3 — Alguns Produtos de Fissão.

Radio-nuclídeo	Reação de Produção ^a	Meia-Vida ^b	Área de Aplicação ^c
³ H	⁶ Li(n,α) ³ H	12,33 a	indústria
			agricultura
¹⁴ C	¹⁴ N(n,p) ¹⁴ C	5730 a	medicina
			indústria
			agricultura
			medicina
²⁴ Na	²³ Na(n,γ) ²⁴ Na	15,02 h	indústria
³² P	³² S(n,p) ³² P	14,28 d	hidrologia
			agricultura
³⁵ S	³⁵ Cl(n,p) ³⁵ S	87,2 d	medicina
⁴⁶ Sc	⁴⁵ Sc(n,γ) ⁴⁶ Sc	83,8 d	indústria
⁵¹ Cr	⁵⁰ Cr(n,γ) ⁵¹ Cr	27,71 d	indústria
			medicina
⁵⁹ Fe	⁵⁸ Fe(n,γ) ⁵⁹ Fe	44,6 d	medicina
			indústria
⁵⁸ Co	⁵⁸ Ni(n,p) ⁵⁸ Co	70,8 d	medicina
⁶⁰ Co	⁵⁹ Co(n,γ) ⁶⁰ Co	5,27 a	fonte-raios γ
			indústria
			medicina
⁶⁴ Cu	⁶³ Cu(n,γ) ⁶⁴ Cu	12,71 h	medicina
⁶⁵ Zn	⁶⁴ Zn(n,γ) ⁶⁵ Zn	243,8 d	indústria
⁷⁵ Se	⁷⁴ Se(n,γ) ⁷⁵ Se	120 d	medicina
⁸² Br	⁸¹ Br(n,γ) ⁸² Br	35,30 h	hidrologia
			indústria
^{99m} Tc	⁹⁸ Mo(n,γ) ⁹⁹ Mo $\xrightarrow{\beta^-}$ ^{99m} Tc	6,02 h	medicina
^{110m} Ag	¹⁰⁹ Ag(n,γ) ¹¹⁰ Ag	252 d	indústria
^{113m} In	¹¹² Sn(n,γ) ¹¹³ Sn $\xrightarrow{\beta^-}$ ^{113m} In	1,658 h	medicina
¹²³ Sb	¹²¹ Sb(n,γ) ¹²² Sb	2,72 d	indústria
¹³¹ I	¹³⁰ Te(n,γ) ¹³¹ Te $\xrightarrow{\beta^-}$ ¹³¹ I	8,041 d	medicina
			indústria
¹⁴⁰ La	¹³⁹ La(n,γ) ¹⁴⁰ La	40,23 h	indústria
¹⁴⁵ Sm	¹⁴⁴ Sm(n,γ) ¹⁴⁵ Sm	340 d	indústria
¹⁷⁰ Tm	¹⁶⁹ Tm(n,γ) ¹⁷⁰ Tm	129 d	indústria
¹⁹² Ir	¹⁹¹ Ir(n,γ) ¹⁹² Ir	74,2 d	fonte-raios γ
			indústria
¹⁹⁸ Au	¹⁹⁷ Au(n,γ) ¹⁹⁸ Au	2,696 d	indústria
			medicina
¹⁹⁷ Hg	¹⁹⁶ Hg(n,γ) ¹⁹⁷ Hg	64,1 h	medicina

a. n representa um nêutron térmico e π um nêutron energético.

b. Da referência 6.

c. A maioria é também utilizada em pesquisas em ciências biológicas e exatas.

Tabela 4 — Alguns Radionuclídeos Produzidos por Ativação Neutrônica

3. Os radionuclídeos produzidos pela incidência de partículas carregadas com alta energia cinética. Dependendo da energia da partícula incidente e da natureza do alvo, podem ser induzidas reações nucleares com ¹H (p), ²H (d), ³H (t), ³He e ⁴He (α). Estes processos são efetuados em aceleradores de partículas, tal como o ciclotron. A Tabela 5 mostra alguns radionuclídeos produzidos deste modo.

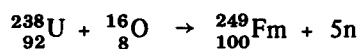
Radio-nuclídeo	Reação de Produção	Meia-Vida ^a	Área de Aplicação ^b
¹¹ C	¹⁰ B(d,n) ¹¹ C ¹¹ B(p,n) ¹¹ C	20,3 m	medicina
¹³ N	¹² C(d,n) ¹³ N	9,97 m	medicina
¹⁸ F	¹⁶ O(³ He,p) ¹⁸ F ²⁰ Ne(d,α) ¹⁸ F	109,8 m	medicina
²² Na	²⁴ Mg(d,α) ²² Na	2,601 a	indústria
⁵⁴ Mn	⁵⁵ Mn(p,pn) ⁵⁴ Mn	312,5 d	indústria
⁵⁷ Co	⁵⁶ Fe(d,n) ⁵⁷ Co ⁵⁸ Ni(p,pn) ⁵⁷ Ni $\xrightarrow{EC}$ ⁵⁷ Co	271 d	indústria
			medicina
⁶⁷ Ga	⁶⁵ Cu(α,2n) ⁶⁷ Ga ⁶⁸ Zn(d,2n) ⁶⁷ Ga	78,3 h	medicina
			indústria
⁷⁷ Br	⁷⁵ As(α,2n) ⁷⁷ Br	57,0 h	medicina
⁸⁵ Sr	⁸⁵ Rb(p,n) ⁸⁵ Sr	65,2 d	medicina
¹¹¹ In	¹⁰⁹ Ag(α,2n) ¹¹¹ In ¹¹¹ Cd(p,n) ¹¹¹ In	2,83 d	medicina
¹²³ I	¹²¹ Sb(α,2n) ¹²³ I ¹²² Te(d,n) ¹²³ I	13,2 h	medicina
¹²⁵ I	¹²³ Sb(α,2n) ¹²⁵ I	59,7 d	medicina
¹²⁵ Xe	¹²⁷ I(p,3n) ¹²⁵ Xe	17 h	medicina
¹⁶⁹ Yb	¹⁶⁹ Tm(d,2n) ¹⁶⁹ Yb	32,0 d	medicina
²⁰¹ Tl	²⁰⁰ Hg(d,n) ²⁰¹ Tl	73 h	medicina

a. Da referência 6.

b. A maioria é também utilizada em pesquisas em ciências biológicas e exatas.

Tabela 5 — Alguns Radionuclídeos Produzidos em Aceleradores de Partículas

4. Os radionuclídeos produzidos pela interação de um átomo pesado, carregado eletricamente, com um núcleo também pesado. Um exemplo seria a obtenção do ²⁴⁹Fm₁₀₀ (equação 4). Esta técnica é



usada na preparação de actínídeos mais pesados que o califórnio e nas tentativas, até agora sem sucesso, de se produzir os elementos chamados "super-pesados" (números atômicos 114-126).

Obviamente, o texto apresentado é apenas um resumo deste assunto, dada a sua extensão e complexidade mas, a partir dele o leitor poderá ter uma idéia de como são produzidos e utilizados alguns dos radionuclídeos mais comuns. Se uma extensão deste resumo for necessária, sugere-se que textos mais completos sejam consultados⁷.

¹Estes conceitos são aqui apresentados porque fatos científicos errôneos sobre esta matéria foram publicados recentemente, tanto em revistas científicas², como pela imprensa popular³. Como este é um assunto muito controverso, julgamos necessário um melhor esclarecimento sobre este tópico, para evitar confusões posteriores a este respeito.

²Ciência e Cultura, 32, 1127 (1980).

³Ver, por exemplo, Visão, 18 de agosto de 1980, página 38 e o "Jornal de Hoje" (Campinas), semana de 9 de junho de 1980.

⁴"Nuclídeo" é a denominação geral de um núcleo qualquer, o qual é caracterizado pelo número de prótons e nêutrons nele contido.

⁵O conceito de estabilidade baseia-se no limite de medida das meias-vidas, o qual é de cerca de 10^{20} anos.

⁶F. W. Walker, G. J. Kirouac e F. M. Rourke, "Chart of the Nuclides", 12ª edição, General Electric Co., San Jose, 1977.

⁷Ver, por exemplo: B. G. Harvey, "Química Nuclear", traduzido por F. W. Lima, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1969; G. Friedlander, J. W. Kennedy e J. M. Miller, "Nuclear and Radiochemistry" John Wiley & Sons, New York, 1964; M. Haissinsky, "Nuclear Chemistry and its Applications", Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, 1964; An. N. Nesmeyanov, "Radiochemistry", Mir Publishers, Moscow, 1974.

CARTAS AO EDITOR

"Não encontrando possibilidades de desenvolver experimentalmente estes meus planos de Pesquisas, estou lhe escrevendo Sr. Editor de "Química Nova" na esperança de que a divulgação desta carta, possa despertar o interesse da comunidade científica para as minhas idéias, cujas validades só se efetivarão por meio de demonstração experimental. Deste modo, com a publicação desta carta, espero poder concretizar, desenvolver e comprovar experimentalmente estes meus planos.

É sobejamente conhecido que, depois dos trabalhos básicos de Lavoisier, o verdadeiro fundador da Ciência Química, nos fins do século XVIII, desenvolveu-se uma Ciência Química Analítica, cujos objetivos iniciais, foram desvendar a composição qualitativa e quantitativa do Homem e das coisas do Mundo que o rodeiam.

Como corolário destas determinações surgiram sucessivamente os conceitos de composto puro, substância pura, e elemento puro, que constituíram os alicerces de todo o Edifício Químico até os dias presentes. Daí em diante, todos os meios e técnicas físicas e químicas, intencionalmente descobertos, foram utilizados para a qualificação e quantificação da Pureza, de compostos, substâncias e elementos químicos.

Nos dias presentes, depois da descoberta e desenvolvimento dos diferentes tipos de análises espectrais, permitindo-nos obter dados sobre espectros atômicos e moleculares, com a espectrometria de chama, a espectrometria do visível e do ultravioleta, da espectrometria do infravermelho, da de Raman, da Ressonância Nuclear Magnética, da paramagnética, da espectrometria do ^{13}C e espectrometria de massa, etc., com aparelhos cada vez mais potentes e de melhor e mais eficiente resolução, coadjuvados pelas fabulosas e cada vez mais sofisticadas e engenhosas técnicas cromatográficas e eletroforéticas, atingimos à separação e purificação das substâncias a níveis de Pureza, dita Pureza cromatográfica, espectral e isotópica.

Assim sendo, poderemos classificar a Química como a Ciência do Composto Puro, da Substância Pura e do Elemento Puro.

Entretanto, já no início do século XX e após o desenvolvimento da Bioquímica, a constatação do fato de que as reações químicas na Natureza se processam sem necessidade de utilização de substâncias puras, despertou a atenção dos pesquisadores químicos.

Assim, Lotka,⁴ influenciado pelos trabalhos de Brailsford Robertson,⁵ formulou uma teoria sobre reações sucessivas e concluiu posteriormente sobre a existência teórica de reações oscilantes,⁶ que foram realmente encontradas na prática laboratorial, pouco mais tarde.

O estudo, teórico e experimental das reações oscilantes, vem despertando cada dia maior interesse dos pesquisadores.

No Brasil, Mazalla, Schuchardt e De Paoli⁷ publicaram em 1978 revisão do assunto, bem como demonstração experimental da reação de Belusov-Zhabotinskii, a conhecida reação oscilante, melhor estudada.^{8,9}

Como acentuamos, é verificado que na Natureza, as reações químicas se processam sem necessidade de purificação das substâncias e muitas vezes em misturas de grande complexidade, mas em direções bem definidas, fornecendo produtos finais praticamente constantes, em diferentes lugares e distantes.

Partindo então da premissa, da verificação do fato de que na Natureza, misturas reacionais de grande complexidade em locais diferentes e distantes, dão produtos finais de reação, praticamente constantes, como por exemplo, os petróleos, as hulhas, os metabolitos animais e vegetais, julgamos poder admitir, serem estas reações regidas por leis bem definidas e ainda não conhecidas.

Estas Leis, ainda desconhecidas e que devem ser descobertas e estabelecidas, serão as leis da QUÍMICA DA NATUREZA, as LEIS DA QUÍMICA DOS CONJUNTOS.

Nesta oportunidade, cabe assinalar, que, analogamente à Existência de uma MATEMÁTICA DOS CONJUNTOS, criada pelo matemático alemão G. Cantor¹⁰, podemos formular também uma QUÍMICA DOS CONJUNTOS regida por suas leis próprias e bem definidas.

A nossa grande meta atual, seria então a pesquisa do conhecimento destas leis. Para atingirmos este objetivo, em minha opinião, só o estudo sistemático e exaustivo dos conjuntos químicos, poderia nos conduzir ao estabelecimento destas leis.

Antecipadamente, meus sinceros agradecimentos pela publicação desta,

¹Tendo perdido meus direitos políticos em 1970, no Brasil,* fiquei impedido de trabalhos experimentais, visto não possuir mais meu laboratório. Ver:

²Science 169 (nº 3940), 6, 1970.

³Antoine Laurent Lavoisier, Paris 1743-1794.

⁴Lotka Alfred J., J. Phys. Chem. 14, 271, 1910.

⁵Robertson, T. Brailsford - Arch. f. Entwicklungsmech. d. Organismen, 1908, p. 581, conforme nota de rodapé in Lotka, J. Phys. Chem. 14, 274, 1910.

⁶Lotka, Alfredo L., J. Am. Chem. Soc. 42, 1595, 1920.

⁷Mazalla, W., Schuchardt U., De Paoli M. A., 1 (nº 4), 9, 1978.

⁸Belousov, B. P., Sb. Ref. Radiats. Med. Moscow, 1958, 145 (1959), cf. Nicolis G. and Portnow J. in Chemical Oscillations - Chemical Reviews, 73, 366, 1973.

⁹Zhabotinskii, A. M., Dokl. Akad. Nauk SSSR. 157, 392 (1964), cf. Nicolis G. and Portnow J. in Chemical Oscillations-Chemical Reviews, 73, 371, 1973.

¹⁰Cantor G. 1845-1918.