

A descoberta desta dependência periódica permitiu-lhe corrigir valores de pesos atômicos de 11 elementos dos 63 conhecidos na altura. O resultado deste trabalho inspirado foi a publicação do seu famoso artigo "A lei periódica dos elementos químicos" em 1871. No artigo, delineou o sistema periódico na sua forma moderna e previu a descoberta de novos elementos que Mendeleev determinou a partir do sânscrito — ekaboro, ekaalúminio e ekasilício. Deixou espaços em branco para estes elementos da tabela: em menos de 20 anos foram descobertos estes elementos, conhecidos agora por gálio, escândio e germânio.

Intuitivamente, Mendeleev sentiu o valor único do urânio. Chamou a atenção para o lugar especial deste elemento no sistema periódico e realçou que "a investigação do urânio, a partir das suas fontes naturais, conduzirá a muitas descobertas novas e não hesitar em recomendar que os que procuram novos projectos de investigação se devem virar seriamente para compostos de urânio." Ao deixar espaços em branco entre o bismuto e o tório e também entre o tório e o urânio, ele foi fenomenal ao abrir caminho a Pierre Curie e a Maria Sklodovski - Curie para a descoberta de elementos transurânicos.

Em meados do século XX, assistiu-se à descoberta dos elementos transurânicos. E quando em 1955 uma equipa de cientistas americanos chefiada pelo Prémio Nobel G. Seaborg descobriu o elemento 101, puseram-lhe o nome de mendelevio. "O sistema de Mendeleev, lê-se no artigo, tem sido durante cerca de um século uma chave para a descoberta de elementos." Mais tarde, descobriram-se os elementos 101, 102, 103, 104, 105, 106 e 107. Todos estes novos elementos químicos encaixaram nos buracos que Mendeleev deixou em aberto na tabela.

Na década de 1870, as diligências científicas de Mendeleev alargaram-se. Ele preocupou-se e virou-se activamente para problemas relacionados não só com a Química como também para aspectos gerais do desenvolvimento de ideias científicas na Rússia. A sua preocupação principal foi com o petróleo, já que, como químico, estava bem ciente que o petróleo era uma fonte preciosa primária para a obtenção de uma diversidade de produtos. Ao realçar a importância especial do carvão para a Humanidade, desenvolveu muitos esforços para desenvolver a indústria de carvão nacional. Mais tarde, publicou uma série de artigos sobre a natureza das soluções e sobre a expansão de gases. Ao sumariar as suas produções científicas, escreveu: "Só há quatro campos a que devo a minha reputação: a lei periódica, a investigação sobre a elasticidade dos gases, o tratamento de soluções como associações e os "Fundamentos da Química". Esta é toda a minha fortuna."

Mendeleev foi um dos fundadores da divisão de aeronáutica da Sociedade Técnica Russa e, mais tarde, tomou parte no planeamento do primeiro quebra-gelo russo e empreendeu a sua própria concepção original de um submarino e vários aeroplanos. Sob as ordens do Ministério da Marinha e da Guerra desenvolveu pólvora sem fumo para o exército e para a marinha. Também trabalhou na utilização de produtos químicos na agricultura e no papel de fertilizantes. Durante 15 anos dedicou a sua energia e talento à metrologia e é conhecido como um dos fundadores da metrologia científica.

Finalmente não se pode deixar de mencionar o seu apego às artes. A sua colecção de pinturas e esculturas demonstra a sua paixão pelas artes, atendendo a que as

artes, tal como a ciência, eram vida para ele. Considerava-as como os dois lados da nossa aspiração indivisível pela beleza, harmonia eterna e suprema verdade. O nome de Mendeleev é imortal. A sua personalidade é legendaria e os seus feitos científicos nunca serão esquecidos.

## A obra de Mendeleev no sistema periódico\*

Bernadette Bensaude-Vincent <sup>a</sup>

Por todo o mundo pendem majestosamente das paredes de laboratórios e salas de aula de Química os quadros que mostram o sistema periódico dos elementos químicos. Durante o século passado, este foi ligeiramente alargado e não assenta hoje nos mesmos princípios, embora se tenham mantido os seus aspectos gerais. Ainda em 1869, quando estabeleceu a classificação, Mendeleev desconhecia completamente as configurações electrónicas que agora estão intimamente ligadas às explicações químicas dos elementos. Além disso, ele conhecia 70 elementos dos 109 hoje conhecidos. Como pôde ter realizado tão grande descoberta? Teria sido um lampejo de génio ou um sonho profético?

Mendeleev não foi o primeiro químico a tentar descobrir um sistema de elementos. Teve tantos precursores e rivais que Van Spronsen, que estudou pormenorizadamente a história do sistema periódico, concluiu que esta descoberta tem de ser partilhada por seis químicos que, entre 1862 e 1869, foram construindo, a pouco e pouco, todo o sistema (<sup>1</sup>). A nossa finalidade não é determinar quem merece um prémio, mas salientar o método original de descoberta que Mendeleev usou.

Mendeleev descobriu a lei periódica ao escrever um manual para os seus alunos da Universidade de S. Petersburgo, *Os Princípios da Química*. Ele esforçava-se por dar uma visão geral da Química e encontrou-se perante muitos factos e leis, aparentemente desligados, que se tinham acumulado durante os últimos anos. Graças aos novos e poderosos instrumentos de análise, como a pilha voltaica, o número de substâncias simples

<sup>a</sup> Musée National des Sciences, des Techniques et des Industries, 211, Avenue Jean Jaurès, 75019 Paris, France.

\* Tradução de M. Manuela C. Rosa.

СТОЛЕТИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА  
Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА



conhecidas aumentou rapidamente durante a primeira metade do século XIX. Lavoisier classificou 33 substâncias simples no seu *Traité Élémentaire de Chimie* (1789); já em 1830, quando se começou a fazer análise espectral, Berzelius enumerou 50 (atingindo-se 70 durante a década de 1860). A hipótese atômica de Dalton ajudou certamente a identificar e a descrever estas novas substâncias: proporcionou individualidade a cada elemento através do seu peso atômico, obtido a partir de experiências feitas por meio das leis de Gay-Lussac, Avogadro, Dulong e Petit, e Mitscherlich. Porém, a questão de como resumir a Química mantinha-se para o professor dos meados do século.

### Monismo versus pluralismo

Os químicos do século XIX escolheram duas estratégias alternativas para conseguirem tratar o número crescente de elementos. A primeira consistiu numa tentativa para reduzir a multidão de substâncias simples a um único elemento. Esta foi a hipótese unitária de Prout, a qual levou à identificação do hidrogénio como matéria fundamental. Esta hipótese confirmada pelos valores inteiros dos pesos atômicos, tinha muitos defensores entre os químicos mais eminentes da época, como por exemplo Thomas Thomsons na Grã-Bretanha e, mais tarde, J.B. Dumas e Galissard de Marignac, na Europa continental. Esta corrente reducente estimulou ao longo do século várias tentativas de classificação dos elementos com base nos pesos atômicos. Quase todos os predecessores de Mendeleev advogaram a hipótese de Prout: desde Döbereiner que propôs as primeiras tríadas de elementos, em 1817, até Julius Lothar Meyer que estabeleceu um sistema periódico geral precisamente antes de Mendeleev, todos os classificadores foram motivados pela mesma esperança: fundamentar a sua fé na unidade numa estrutura de relações entre os elementos. O sistema de Beguyer de Chancourtois, a "força telúrica", salientou muito particularmente esta ideia; foi o primeiro sistema periódico (publicado em 1862) e foi claramente inspirado na hipótese de Prout (7). Todos os precursores consideraram as analogias químicas entre os elementos como laços familiares e tomaram a classificação como a árvore geneológica da matéria inanimada.

Mendeleev escolheu a teoria oposta. Admitiu que os elementos químicos eram antes verdadeiramente individualizados, que nunca poderiam ser divididos nem convertidos noutros. Até morrer lutou contra os reducentes e ficou extremamente desapontado quando percebeu que a sua descoberta se tinha transformado num argumento importante a favor da hipótese de Prout. A sua convicção da existência de elementos múltiplos e individuais baseava-se essencialmente em teorias filosóficas mas acabou por ser um dos factores importantes que conduziram à lei periódica. Porque, se Mendeleev desistiu da unidade da matéria, não desistiu completamente da ideia de unidade. A unidade que se perdeu na matéria devia ser compensada pela unidade de uma lei simples que regesse todos os elementos múltiplos.

### Elemento e substância simples

Era esta a investigação a fazer. Mas daqui até à descoberta foi um longo caminho: nove anos de intensa e árdua pesquisa (8); Mendeleev costumava aludir à Conferência de Karlsruhe, realizada em 1860, como o primeiro passo no que respeita a lei periódica. Qual foi a

influência desta conferência internacional sobre os químicos?

Em primeiro lugar, foi o momento em que se fizeram muitos relatos sobre determinações aperfeiçoadas dos pesos atômicos. Depois, como estas alterações eram baseadas na lei de Avogadro, implicavam um acordo geral no que respeita a necessidade de distinguir entre átomos e moléculas.

Devido à famosa definição de Lavoisier de elementos como corpos indecomponíveis, a maior parte dos químicos não distinguia os dois termos, substância simples e elemento. Pelo contrário, Mendeleev salientou a força entre os corpos simples reais, caracterizados pelo seu peso molecular, e os elementos, definidos como a parte material que é comum ao corpo simples e a todos os seus compostos e que eram caracterizados pelo seu peso atômico (4).

Aparentemente de pouca importância, esta distinção foi porém de grande significado. Foi mesmo tão essencial na descoberta de Mendeleev que ele a incluiu na própria formulação da lei periódica:

"As propriedades dos corpos simples, a constituição dos seus compostos, assim como as propriedades destes últimos, são função periódica dos pesos atômicos dos elementos." Assim, entre todos os químicos que procuravam estabelecer um sistema de elementos, Mendeleev foi o primeiro a dar a impressão de se preocupar com uma definição clara daquilo que ia ser classificado. Deu um novo conceito de elemento químico como uma entidade invisível, abstracta — e contudo material — definida através de um padrão positivo, o seu peso atômico.

### O método da descoberta

O impacto da teoria do multi-elemento e do trabalho conceptual de Mendeleev é visível no método de descoberta, tal como é relatado nos seus *Princípios da Química* (9). Mendeleev começou a construir o sistema pela análise cuidadosa dos elementos que entram na constituição de substâncias vulgares como a água, o ar, os compostos de carbono e o sal comum. Deste modo, foi capaz de definir os "elementos característicos": hidrogénio, oxigénio, nitrogénio, carbono, cloro; em seguida, utilizou as suas propriedades como ferramentas para pesquisar outros elementos e organizou-os em referência e comparação com os elementos característicos. A sugestão decisiva apareceu no capítulo dedicado ao sal comum. Estabeleceu que o sódio e o cloro eram os dois pilares do sistema, isto é, elementos dos dois grupos extremos. A ideia de comparar os elementos mais diferentes foi a chave do sucesso final porque revelou

СТОЛЕТИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА  
Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА





então as diferenças regulares nos valores do peso atômico entre dois elementos vizinhos e torna evidente a originalidade do método de Mendeleev. No que respeita aos seus precursores, ao procurarem encontrar a genealogia dos elementos, ocuparam-se, acima de tudo, em ordenar os elementos análogos em famílias prováveis. Ser-lhes-ia muito difícil fazer algo mais do que identificar alguns grupos isolados enquanto que Mendeleev foi capaz de enfrentar o problema da classificação de uma maneira mais geral.

A distinção conceptual entre elemento e substância simples foi outra chave do sucesso. Dado que os químicos se ocupavam dos corpos empiricamente simples, apenas poderiam fazer colecções e nunca verdadeiras classificações. Seriam forçados a considerarem todas as propriedades observadas e não poderiam seleccionar um único padrão. Além disso, se escolhessem a valência química teriam de enfrentar o problema das valências múltiplas. Mas uma vez que Mendeleev definiu claramente o elemento químico pelo seu peso atômico, foi capaz de ordenar os elementos de acordo com o padrão constante dos seus valores crescentes e descobriu a função periódica entre as propriedades químicas e os valores do peso atômico.

É certo que este padrão revelou algumas deficiências: por vezes tornou pouco visíveis fortes analogias químicas — entre Li e Mg, Be e Al, B e Si, por exemplo; outras vezes induziu vizinhanças imprevistas (por exemplo no oitavo grupo); finalmente, não permitiu que as terras raras fossem classificadas. Mendeleev estava bem ciente destas deficiências e fez o que pôde para melhorar a localização dos elementos duvidosos e para revelar o maior número de analogias naturais.

Contudo, nunca duvidou da validade deste padrão porque o seu novo conceito de elemento mostrou ser muito fecundo. Não poderiam ter sido feitas as brilhantes previsões de três elementos desconhecidos — mais tarde denominados gálio, escândio e germânio — com uma muito boa aproximação das suas propriedades, sem a clara distinção entre “substância simples” e “elemento”. Apenas os elementos poderiam ser previstos. Os corpos simples, sendo por definição empíricos, não poderiam ser considerados existentes antes de terem sido descobertos pela experiência. Pelo contrário, um sistema firmemente baseado num conceito abstracto de elemento, como o apresentado por Mendeleev, torna possível prever resultados experimentais.

Podemos assim perceber que a grande descoberta de Mendeleev não foi o resultado de uma súbita revelação. O planeamento do sistema começou no início da década de 1860 a partir de um interesse pedagógico e amadureceu durante um longo período de tempo envolvendo uma teoria filosófica precisa da matéria assim como definições conceptuais. Mendeleev superou todos os sistemas rivais porque compreendeu perfeitamente que uma classificação sistemática exigia um conceito abstracto claro e um único padrão. Mas o seu sistema não pode ser encarado como uma antecipação profética do atomismo moderno. Com a sua forte crença nos elementos individuais, Mendeleev foi um homem do seu século. Foi muito menos um precursor do que foram os apoiantes da hipótese de Prout, seus rivais e inimigos. Isto é tanto mais surpreendente quanto o seu sistema veio a ser tão extraordinariamente fecundo ao longo do século XX.

## REFERÊNCIAS

- (1) J.W. van Spronsen, “The periodic system of chemical elements. A history of the first hundred years”, Elsevier (1969).
- (2) Beguyer de Chancourtois, *Comptes-rendus de L'Académie des Sciences*, 54, 842 (1862).
- (3) Para um relato detalhado do método de descoberta, veja B.M. Kedrov, “Filosofski Analiz Peruych Troedov D.I. Mendeleev o Perioditseskom Zakone (1869-1871)”. Moscow (1969); e o artigo sobre Mendeleev no *Dictionary of Scientific Biography*.
- (4) D.I. Mendeleev, “The relation between the properties and the atomic weight of the elements”, *Journal of the Russian Chemical Society*, 60-67 (1869); e a sua “Faraday lecture”, proferida no dia 4 de Junho de 1889, *Journal of Chemical Society*, 55, 634 (1889), reeditada em D.M. Knight, *Classical Scientific Papers in Chemistry*, 2.<sup>a</sup> série, 322-334, Mills and Boon (1970).
- (5) D.I. Mendeleev, *The Principles of Chemistry* (1869-72); London, (1891), 2 vol.

## Os elementos transuranianos \*

G.T. Seaborg <sup>a</sup>

A adição de 17 elementos transuranianos à herança natural dos elementos levou a sua expansão de aproximadamente 20% nos blocos feitos a partir dos elementos que existem na Natureza. A investigação destes elementos feitos pelo homem para além do urânio levou a uma tremenda expansão do nosso conhecimento da estrutura atômica e nuclear. Cada um destes elementos tem um número de isótopos conhecido, todos radioactivos, por isso leva a um total de aproximadamente 200. Sintéticos na origem, eles são produzidos numa variedade de reacções de transmutação produzidas por neutrões ou partículas carregadas, incluindo iões pesados (2 dos elementos estão também presentes na Natureza em muito pequenas concentrações). Muitos deles são produzidos e isolados em grandes quantidades através do uso de reactores de fissão nuclear: plutónio (n.º atómico 94) em massas expressas em tonelada; neptúnio (n.º 93), amerício (n.º 95) e cúrio (n.º 46) em massas expressas em quilograma; o berkélio (n.º 97) em massas de 100 miligramas; califórnia (n.º 98) em massas expressas em grama; e einsteinio (n.º 99) em

<sup>a</sup> Lawrence Berkeley Laboratory, 1, Cyclotron Road Berkeley, Califórnia, 94720, U.S.A.

\* Tradução de M. Otilia Santos.

СТОЛЕТИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА  
Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

