

Claudio A. Téllez S.

Instituto de Química - Universidad Autónoma de México - UNAM - Circuito Exterior - Ciudad Universitaria - Coyoacan - 04510 - México D.F.

Recebido em 15/10/92; cópia revisada em 15/2/93

In this article the ideas that the atomistic philosophers, Leucippus and Democritus, transmitted to us are analyzed and the manner with which these concepts, with modifications, appear in the different subjects of chemistry is shown.

Keywords: Leucippus, Democritus. Atomismus.

INTRODUÇÃO

Num trabalho anterior¹, as idéias dos atomistas gregos Leucipo e Demócrito foram analisadas. Observou-se que o próprio conceito de átomo, como corpo indivisível, nasceu como uma resposta à Escola Eleática. Os atomistas Leucipo e Demócrito resgataram a pluralidade perante o monismo de Parmênides, resgataram o movimento, a "geração" e a "corrupção", e frente à lógica acirrada de Parmênides, ressurgiram com as teses que dão valor ao conhecimento adquirido pelas experiências sensíveis. Porém todas estas colocações e discursos filosóficos não teriam tido os seus frutos se as idéias, na sua estrutura pura, na sua essência, não houvessem transcendido. Ao perguntarmos aonde elas transcenderam teremos talvez uma resposta ambígua, não muito precisa sobre as inserções dos conceitos na ciência atual. Se perguntássemos a um cientista sobre a validade das teses dos atomistas gregos, teríamos como resposta que elas estão obsoletas e que o átomo indivisível foi dividido por J. J. Thomson no início do século XX. Nada restou então dos conceitos que nos foram deixados pelos atomistas gregos? Não podemos ser tão taxativos. Houve transferência, no entanto seria absurdo e ingênuo pensar que as noções de movimento, forma e tamanho dos átomos, peso (no seu significado anterior a Newton), massa e velocidade, passaram à ciência moderna de forma linear, com o mesmo significado e abrangência que os gregos entendiam.

A história assinala os marcos mais importantes do pensamento através de épocas bem definidas. Procurar, na história, os caminhos evolutivos dos conceitos do atomismo seria uma tarefa fora do alcance deste artigo. Se o atomismo pareceu chegar ao seu término nos inícios do séc. III antes de Cristo, nos últimos trinta anos do séc. IV, Epicuro retomou as antigas teses do atomismo e formulou um sistema próprio. Lucrécio (s.I.a.C) revitalizou o atomismo na sua época e influenciou os estudiosos medievais. No século XVII, o filósofo e médico alemão, D. Sennert (1572-1637), postulou uma teoria física renovadora do atomismo de Demócrito, introduzindo na conceituação a doutrina das entidades mínimas de J. C. Scaliger. P. Gassendi (1592-1655), aderiu às idéias de Demócrito. Poucos anos separaram Gassendi de R. Boyle (1626-1691), considerado o precursor da química moderna e quem conectou a teoria corpuscular com a química.

Este artigo tem o propósito de indicar com que modificações ou em que estado de evolução reaparecem os conceitos dos atomistas pré-socráticos nas diferentes áreas da ciência química.

QUE IDÉIAS PERMANECEM NA CIÊNCIA QUÍMICA ATUAL?

Em primeiro lugar, o alcance da palavra átomo. Em grego, o verbo cortar é "temno" (τέμνω), a palavra corte é "tomé" (τομή). Para indivisível, existe a palavra "ameristos" ('αμεριστος). Átomo, portanto, significa não cortado, ('α,τέμνω - 'ατομοζ). Como analisou-se anteriormente, a indivisibilidade surgiu como resposta à Escola de Parmênides de Eléia que sustentava a divisibilidade dos corpos.

Na atualidade, denominamos como átomos os elementos químicos que conhecemos na Tabela Periódica, e sabemos que nos dias de hoje, é possível a fissão nuclear, a formação de íons, a degradação radioativa. É possível, em princípio, separar algum constituinte destes átomos. No sentido dos gregos, estes elementos não seriam partículas compactas e carentes de vazio. Sabemos que os nossos átomos estão constituídos por um conjunto de partículas subatômicas, que denominamos de acordo com as suas cargas e massas como núcleons (prótons e neutrons), léptons (elétrons, elétron tipo neutrino, múon, múon tipo neutrino, tau, tau tipo neutrino) e quarks (up, down, strange, charm, bottom, top). No sentido da gênese da palavra, para os gregos, os átomos seriam partículas que ainda são indivisíveis, por exemplo, os léptons e quarks. Assim, etimologicamente, a palavra átomo na conotação atual é mal empregada.

FORMAS E TAMANHOS

Aécio² comentava: "... (os átomos) eram pequenos e imperceptíveis, possuindo toda classe de formas, figuras e diferenças de tamanho. "Não estaríamos errados ao supor que os atomistas pré-socráticos, influenciados pelo conhecimento pitagórico da época, imaginavam os átomos de diferentes formas geométricas (Fig. 1a). No século atual, pesquisadores de renome têm postulado átomos com forma de corpos geométricos. G.N. Lewis³ propôs um modelo estático de átomo cúbico, através do qual chegou aparentemente ao conceito da repetição periódica das camadas eletrônicas e ao conceito da estabilidade relativa das estruturas dos gases nobres⁴ (Fig. 1b). I. Langmuir⁵, estendeu as idéias do átomo cúbico de Lewis, porém, dois anos depois, N. Bohr postulou o seu modelo atômico anelar, dando origem às interpretações mais modernas do átomo. Da rigidez do modelo de N. Bohr, uma nova concepção da geometria dos átomos aparece no tratamento mecânico quântico, com a introdução do conceito de orbital, como a representação gráfica das diferentes funções de onda orbital.

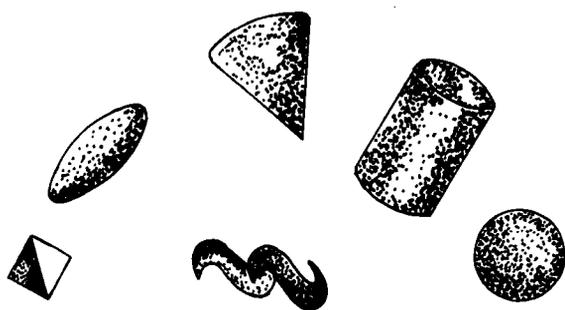


Figura 1a. Forma dos átomos de acordo com os atomistas gregos.

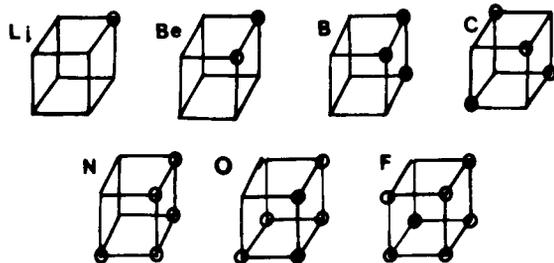


Figura 1b. Modelo de átomo cúbico de G. N. Lewis.

Relativo à grandeza, tanto para os atomistas gregos quanto para o modelo atual, os átomos são tão pequenos que escapam à nossa percepção visual.

PESO

Com relação ao peso, Aristóteles⁶, em seu livro "De generatione et corruptione", escreve: "...Demócrito afirmou, porém, que cada um dos (corpos) indivisíveis é mais pesado conforme a sua preponderância." Numa outra citação aos atomistas, o estagirita, na sua obra "O Céu"⁷, expressa: "Quem diz que (os elementos primeiros) são sólidos, pode muito bem afirmar que o maior deles é também o mais pesado. Nos compostos, porém, como se manifesta que nem todos possuem esta propriedade, vemos que muitas coisas cujo volume é menor, são mais pesadas."

Dos textos de Aristóteles^{6,7} desprende-se uma distinção clara entre elementos e compostos. Nos elementos, a "hyperoché" (preponderância) é de magnitude e tamanho. Assim, quanto maior é um átomo, tanto mais pesado ele é.

No artigo anterior¹, citávamos Aécio, que afirmava que Demócrito dizia que os corpos primeiros, isto é, os sólidos, não possuem peso. No entanto, se movem no infinito, em virtude de sua mútua colisão. Perante as colocações antagônicas de Aristóteles e Teofrasto por um lado, e Aécio por outro, concordamos com os comentaristas da BCG⁸: "Demócrito falou do peso dos átomos relativo ao seu tamanho, no entanto não foi do seu interesse conectar diretamente o peso com o movimento, já que este ficava justificado pela existência do vazio e pela 'necessidade', entendida como lei mecânica natural".

Atualmente, dizemos que os átomos possuem massas diferentes. O peso é uma força proporcional à massa, e naturalmente este conceito não tinha sido vislumbrado pelos atomistas gregos. Com o advento do princípio da Gravitação Universal, a diferença foi estabelecida, portanto, exigir dos primeiros atomistas esta explicação seria descabido. Dalton enunciou a Lei das Proporções Múltiplas⁹. Ele, e posteriormente Berzelius¹⁰, publicaram as primeiras tabelas de "atomic weights". Textos

de química geral da década dos anos cinquenta publicaram tabelas de "Pesos Atômicos". Recentemente, foi introduzido o conceito de "massa atômica" em substituição ao "peso atômico", pois o peso é uma força, e a massa está relacionada à quantidade de matéria.

MOVIMENTOS DOS ÁTOMOS

Na primeira parte deste artigo¹, concluímos que, segundo os gregos, os diferentes movimentos dos átomos deviam-se à natureza do seu peso, à causa de diferenças mútuas e outras diferenças, às colisões ou choques mútuos e à causa das vibrações.

Os atomistas gregos distinguiram os seguintes tipos de movimentos:

- 1) Aleatório.
- 2) Giratório de diversas classes.
- 3) Perpétuo.
- 4) Do igual em direção ao igual.

A idéia do movimento dos átomos, como os atomistas o entendiam, ficou bem estipulada nos comentários de Diógenes Laércio¹¹: "... os átomos chocando-se e girando em todos os sentidos, vão se separando e se reunindo com os seus semelhantes." De acordo com os atomistas gregos, o átomo era a menor partícula de matéria, tão pequena que era impossível cortá-lo. Atualmente, imaginamos o átomo como a unidade fundamental de matéria que dá origem à formação dos corpos. Assim, os átomos se separam e se reúnem, e as substâncias se dissociam para formar novos corpos. Se os átomos colidem e giram em todos os sentidos, de acordo com a colocação de Diógenes Laércio, a imagem mais próxima deste tipo de movimento será encontrada séculos mais tarde, na teoria cinético-molecular dos gases. Neste paralelo, a visão mais depurada que temos é a do movimento browniano, considerado também na mecânica quântica estocástica¹².

Com relação ao movimento perpétuo dos átomos, no estudo das vibrações moleculares, consideram-se os deslocamentos diversos dos átomos que estão diretamente ligados (ligação química primária) e indiretamente ligados (ligação química secundária) e calculam-se amplitudes vibracionais para temperaturas de 0°K.

Se fazemos a abstração de não considerarmos o movimento translacional dos átomos, as partículas subatômicas estão em movimento, os elétrons giram e se movimentam ondulatoriamente de acordo com a última teoria atômica.

O movimento do igual em direção ao igual teve para os gregos o sentido de agrupação, agrupação de indivisíveis semelhantes para a formação dos corpos. Este conceito é válido, não somente para as substâncias puras, caracterizadas por um único elemento químico. Na formação de supercondutores nas aleações A-15, encontramos para a estrutura de V₃Si¹³ infinitas cadeias retas de átomos de vanádio, em cada uma das três direções ortogonais. A figura 2 representa esquematicamente a formação destas ligações V-V.

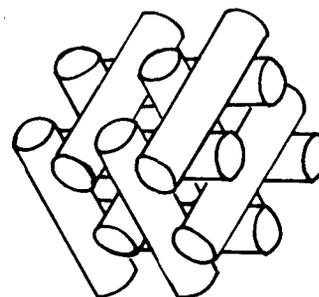
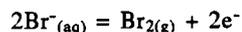
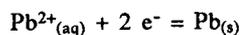


Figura 2. Cadeias retas de átomos de Vanádio.

Nos processos de óxido-redução, por exemplo:



distinguimos claramente o movimento do igual em direção ao igual. Este processo se ilustra na figura 3.

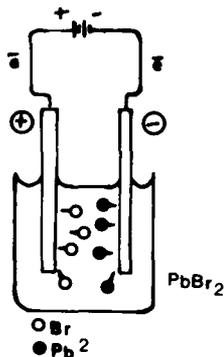
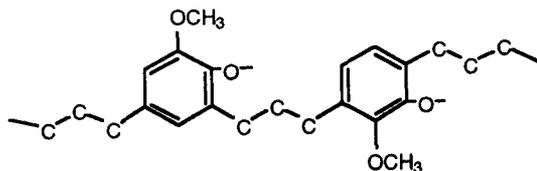


Figura 3. Eletrólise. PbBr_2 fundido. (Movimento do igual em direção ao igual).

Conjunto de átomos (falando em termos dos gregos), unidos pelas suas diferenças de forma e tamanho, constituem hoje, as unidades que denominamos moléculas ou complexos. Estas moléculas se agrupam também na direção do igual ao igual para formar, por exemplo, cadeias de polímeros. Assim, na formação do polietileno a unidade $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$ está repetida n vezes. A lignina é um polímero de unidades:



Esta tendência do igual em direção ao igual é utilizada na química analítica fundamental nos processos de centrifugação, onde o processo é análogo ao que os gregos diziam como: “as partes leves dirigem-se em direção ao vazio exterior, como se fossem levantadas: no entanto, as demais ficam juntas.” Nos processos de separação pelas diversas técnicas de cromatografia, distinguimos por este movimento do igual ir em direção ao igual, os diferentes constituintes da amostra que se analisa. Na figura 4, representamos exemplos deste tipo de movimento que ocasiona a separação dos diferentes corpos.

O movimento giratório de diversas formas não é novidade. Um gás diatômico pode distribuir a sua energia translacional ao longo de três eixos coordenados. De igual forma, podemos considerar que este gás diatômico tem componentes rotacionais nos três eixos e falamos que possui, então, três graus de liberdade rotacional (Fig. 5).

O elétron, no sentido etimológico da palavra átomo, seria uma partícula “não cortada”, e corresponderia a um dos hipotéticos e imaginários átomos dos gregos. Esta partícula teria movimentos rotatórios em diferentes órbitas, de acordo com o modelo atômico de Bohr-Pauling. Neste modelo atômico, con-

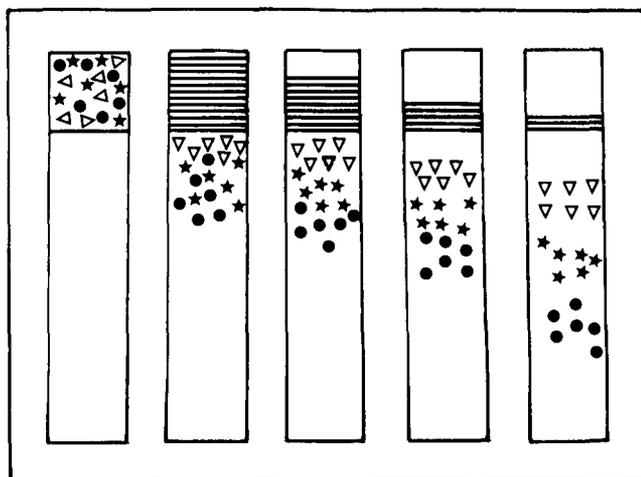


Figura 4. Cromatografia. (Movimento do igual em direção ao igual).

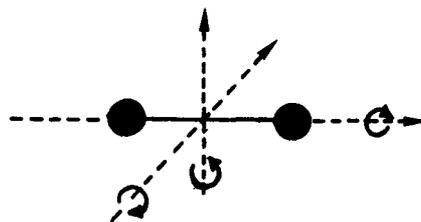


Figura 5. Graus de liberdade rotacional.

sidera-se o elétron como uma pequena esfera (“O mais belo dos corpos, de acordo com Platão, é a esfera.”) carregada, que gira sobre o seu próprio eixo (Fig. 6).

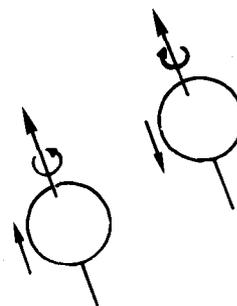
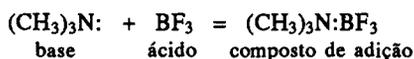


Figura 6. Spin do elétron.

Com relação à formação dos corpos, das citações de Simplicio, mais exaustivas que as de Aristóteles, podemos tomar conhecimento da mais primitiva teoria das colisões, onde as efetivas seriam aquelas que dão formação aos corpos compostos. Estas colisões efetivas teriam lugar sempre que os átomos em questão se interligam mutuamente em concordância com as suas figuras, tamanhos, posições e ordenamentos. Se pensarmos nas diferentes formas dos átomos, de acordo com o que os atomistas imaginavam, estes átomos seriam esféricos, côncavos, convexos, triangulares, ganchudos, piramidais, cilíndricos, etc. Uma colisão entre átomos bipiramidais e esféricos não seria uma colisão efetiva; no entanto, efetivas seriam aquelas entre os átomos ganchudos, entre átomos côn-

cavos e convexos, e entre aqueles que, de acordo com suas simetrias, permitissem uma ligação. A união entre um par de átomos ganchudos, por serem estes iguais, em nossos termos significaria uma ligação homonuclear. No entanto, a união entre átomos côncavos e convexos, além de dar a idéia de uma ligação heteronuclear, projeta a imagem de união por encaixe ou "ensambladura", como por exemplo, na formação do composto de adição $(\text{CH}_3)_3\text{NBF}_3$, onde teríamos a seguinte representação.



É comum nos textos de química usar o modelo de pontos de Lewis para explicar a ligação covalente coordenada, e usa-se também o modelo de encaixe ou "ensambladura", para explicar a ligação covalente simples, dupla e tripla. Esta idéia ingênua de representarmos os elétrons por pontos e cruzes não difere em ingenuidade da concepção grega antiga.

Na tendência do igual em direção ao igual, como resultado na formação dos corpos, damos como exemplo para o caso dos átomos, a eletrólise e a orientação final dos átomos de vanádio na constituição de um supercondutor¹³.

Extrapolando a idéia às moléculas, apresentamos a formação de polímeros do etileno e lignina. A centrifugação e cromatografia (líquida e gasosa), foram também exemplos deste tipo de movimento que poderíamos acrescentar para indicar os processos de osmose, de difusão, e quaisquer processos de migração de íons que aconteçam por diferença de potencial químico.

A concepção dos átomos ganchudos, que, talvez, não foi uma idéia particular dos atomistas, mas uma extensão de Aécio e Simplício, não deixa de ter a sua conotação ao introduzirmos a idéia da ligação por "ensambladura" ou encaixe. Esta idéia não é usada somente pelos químicos para explicar ligação. As reações de inibição da aglutinação passiva de partículas inertes, em imunologia, proporcionam exemplos típicos de "ensambladura" ou encaixe. Assim, por exemplo, para detectar a gravidez, a reação final que representamos na figura 7, baseia-se na reação entre o anti-GCH ativo e o látex-GCH, dando como resultado da aglutinação, um corpo de bela simetria. Esta tendência do igual em direção ao igual pode extrapolar-se a moléculas mais simples, como por exemplo a estrutura cristalina do complexo: $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{FeCl}_6]^{14}$, consta de unidades octaédricas, tanto para os cátions complexos de $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ quanto para os ânions $[\text{FeCl}_6]^{3-}$. Nestes casos, conjuntos de átomos diferentes formaram as unidades octaédricas, o que, em termos dos atomistas gregos, seriam dois átomos "únicos em um estreito contato mútuo". A estrutura do complexo ao qual fizemos referência, encontra-se na figura 8.

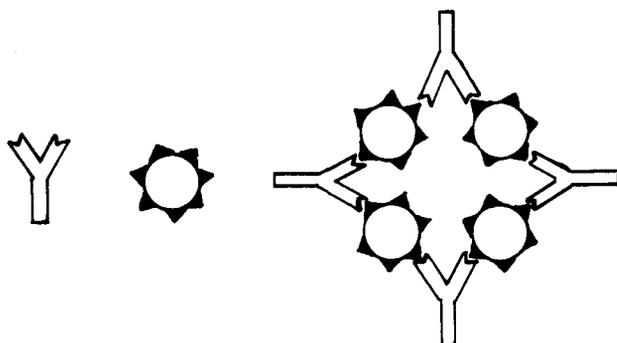


Figura 7. Modelo de "ensambladura" ou "encaixe": reação anti-GCH + látex-GCH.

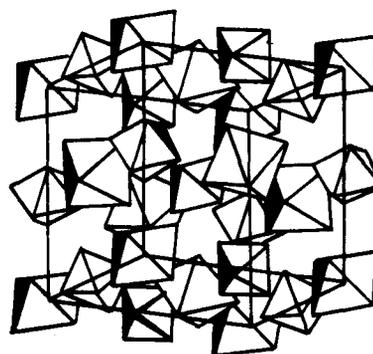


Figura 8. "Átomos unidos num estreito contacto mútuo".

CONCLUSÃO

Advertindo que não se trata de uma transferência linear dos atomistas, porém da preservação da arquitetura conceitual, trouxeram-se à química atual as antigas teses com o intuito de apresentar onde, em que áreas e técnicas da ciência química, o paralelo pode ser empregado. Encontramos congruências com a teoria das colisões no movimento browniano, na eletrólise, cromatografia, centrifugação, osmose, na formação de supercondutores, polímeros e outros processos de formação de moléculas. Discutiu-se o conceito de ligação por "ensambladura" ou "encaixe" como uma idéia tácita, deixando claro que este conceito não é só aplicado na química básica, mas também a outras áreas da ciência que precisam da química como seu instrumento.

AGRADECIMENTOS

A Sra. Mónica Zepeta Torres (bióloga) e ao Comitê Assessor da Química Nova, por seus valiosos comentários e interesse demonstrado pelo trabalho. A FINEP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Téllez, S.C.A.; "O Atomismo de Leucipo e Demócrito". *Química Nova*, (1992), 15, 95.
2. Aécio.; BCG: 359 (68 A 47) p. 206.; 369 (68 A 48) p. 214.
3. Lewis, G.N.; *J. Amer. Chem. Soc.*, (1916), 38, 762.
4. Jensen, W. B.; *J. Chem. Ed.*, (1984), 61, 191.
5. Langmuir, I.; *J. Amer. Chem. Soc.*, (1919), 41, 868.
6. Aristóteles.; BCG: 414 (68 A 60) p.230.
7. Aristóteles.; "Du Ciel", Societé d'Édition "Les Belles Letres", Paris, 1965.
8. BCG: "Los Filósofos Presocráticos". V.III. p.234.
9. Dalton, J.; "A New System of Chemical Philosophy", published by S. Russel for R. Bickerstoff, London, 1808.
10. Berzelius, J.J.; *Pogg. Ann*, (1826), 8, 177.; (1826), 8, 1.; (1831), 22, 14.
11. Diógenes Laércio.; BCG: 453 (67 A 1) p. 244.
12. Prado de Andrade, A.F.; "Processos Estocásticos de Partículas que Interagem Indiretamente Via Efeito de Memória e a Interpretação Estocástica da Mecânica Quântica". Tese de Doutorado. Unicamp, Campinas, SP, 1984.
13. King, R.B.; *Inorg. Chem.*, (1990), 29, 2164.
14. Morón, N.C.; Palácio, F.; Navarro, R.; Pons.J.; Casabó, J.; Carlin.; *Inorg. Chem.*, (1990), 29, 842.

BCG: Biblioteca Clásica Gredos. Ed. Gredos S.A., Madrid. 1986.