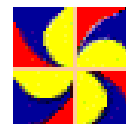




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



FILOSOFIA PURA E FILOSOFIA DA FÍSICA: DA ARCHÉ AO ÁTOMO PLANETÁRIO (DE TALES DE MILETO A RUTHERFORD)

Neste verbete, continuaremos com a discussão sobre **Filosofia Pura e Filosofia da Física** [iniciada com as dos filósofos gregos: Aristóteles de Estagira (384-322) e Platão (Aristocles) de Atenas (427-347); (www.searadaciencia.ufc.br)], tomando como base a convicção que temos de que ambas as disciplinas buscam a **verdade** [ou a **visão da verdade**, segundo o matemático e filósofo inglês Sir Bertrand (Arthur William) Russel (1872-1970)]. A primeira, estudando o comportamento do HOMEM na Natureza, na tentativa de entender e interpretá-la e, a segunda, estudando o comportamento da própria Natureza, objetivando encontrar e compreender suas leis, usando-as para controlá-la. Da mesma maneira como fizemos nos verbetes anteriores, este verbete busca a substância primordial do Universo, desde os **filósofos pré-socráticos** até o começo do Século 20, busca essa que sempre envolve uma relação entre **Filosofia Pura** e **Filosofia da Ciência**. Para isso, usarei como base os seguintes textos: Bertrand Russel, **História da Filosofia Ocidental I, II, III** (Companhia Editora Nacional, 1967); François Châtelet (Organizador), **História da Filosofia 1-8** (Zahar Editores, 1974); Alexandre Koyré, **Estudos da História do Pensamento Científico** (Forense Universitária, EdUnB, 1982); Cecile Landau, Andrew Szudek e Sarah Tomley (Editores), **O Livro da Filosofia** (Globo, 2011); e Roger-Pol Droit, **Filosofia em Cinco Lições** (Nova Fronteira, 2012). E, na medida em que for necessário, usarei outros textos que serão devidamente creditados.

A procura da substância primordial, do elemento comum, da matéria prima, enfim, - da **arché** (*princípio*, em grego) -, que compõe o Universo, começou há mais de 25 séculos com os gregos jônicos, os chamados **pré-socráticos**, isto é, aqueles que antecederam ao filósofo grego Sócrates de Atenas (c.470-399). Alguns deles apresentavam concepções unitárias (monistas) para a **arché**, enquanto outros, pluristas.

Assim, o filósofo grego Tales de Mileto (624-546) afirmava que o elemento primordial do Universo era a **água**, sobre a qual a Terra flutua e é o começo de todas as coisas, afirmação baseada em uma antiga ideia do poeta grego Homero [floresceu cerca (f.c.) Século 9 ou 8 a.C.], de que do Deus Oceano se originavam todas as coisas. Contudo, para o filósofo grego Anaximandro de Mileto (610.c.547) tal elemento era

mais indefinido do que a **água** de Tales, pois considerava ser o **apeíron** (*infinito*, em grego), baseado na ideia do poeta grego Hesíodo (f.c. 800 a.C.) para o qual tudo se originava do **caos**. Já para o filósofo grego Anaxímenes de Mileto (c.570-c.500) seria o **ar** o tal elemento primordial de vez que o mesmo se reduziria à **água** por simples compressão. No entanto, para o filósofo grego Xenófonos de Jônia (Colofonte) (c.570-c.460) era a **terra** a matéria prima do Universo. Por fim, o filósofo grego Heráclito de Éfeso (c.540-c.480) propôs ser o **fogo** essa matéria universal. Note-se que, para o filósofo grego Empédocles de Agragas (atual Agrigento) (c.490-c.430) os elementos fundamentais da natureza eram em número de quatro: **água, ar, fogo, terra**, que se combinavam de várias maneiras para formar as substâncias. Porém, esses elementos eram colocados em constante movimento por intermédio do **amor** ou **amizade** (*philia*, em grego) que os unia, e do **ódio** ou **inimizade** (*ekthros* ou *neikos*, em grego), que os separava.

Com a tomada da Jônia (atual Turquia) pelos persas, iniciada pelo Rei Ciro II, O Grande (? -526 a.C.), em 546 a.C., surge um novo movimento filosófico que tenta explicar a **arché** não como um elemento único, em um certo sentido “macroscópico” (**água, ar, fogo, terra**) mas como uma porção também única, porém subdividida “microscopicamente” da matéria. Assim é que para o filósofo grego Anaxágoras de Clazômenas (c.500-c.428) o Universo decorria da razão de uma ação abstrata sobre as **homeomerias** (“sementes”) que seriam as matérias primas constituintes de todas as espécies imagináveis. Contudo, elas seriam partículas diferentes, em número infinito que, do mesmo modo, continham outras “sementes”, e assim por diante *ad infinitum*.

Em contraposição a essa visão “panteísta” do Universo proposta por Anaxágoras, os filósofos gregos Leucipo de Mileto (c.460-c.370) e seu discípulo Demócrito de Abdera (c.470-c.380) apresentaram uma visão “monoteísta” segundo a qual todas as coisas do Universo são formadas por um único tipo de partícula – o **átomo** (*indivisível*, em grego) -, eterno e imperecível, que se movimentava no vazio. Entretanto, para explicar as diversas propriedades das substâncias, eles admitiam que os **átomos** diferissem geometricamente por sua forma e posição, e que, por serem infinitamente pequenos, só poderiam ser percebidos pela razão.

A formulação da concepção material do Universo quer *monista*, quer *plurista*, continuou ainda na Antiguidade. Com efeito, a concepção quaternária foi retomada por Aristóteles, porém seus elementos fundamentais – os **essenciais** - eram: **frio** (*tò psychrón*), **quente** (*tò thermón*), **úmido** (*tò hydrón*) e **seco** (*tò xerón*) que, grupados, dois a dois, reproduziam os elementos de Empédocles da seguinte maneira: **seco + frio = água, seco + quente = fogo, úmido + frio = água**, e **úmido + quente = ar**. Registre-se que, para Aristóteles, os elementos **úmido** e **seco** eram *passivos* e tendiam a servir como “matéria”, e os elementos **quente** e **frio** eram *ativos* ou *criativos* e serviam como instrumentos de “forma” ou de “movimento”. Porém, tais elementos

comporiam apenas as coisas “terrenas” e “lunares”, sendo o espaço celeste formado pela **quinta essência** – o **éter**.

Ainda no mundo antigo, agora pós-socrático, a concepção atomística da matéria foi retomada pelo filósofo grego Epicuro de Samos (341-270) para quem: - *Os átomos têm uma inconcebível variedade de formas, já que não poderiam nascer tantas variedades delas se essas formas fossem limitadas; eles (os átomos) se encontram eternamente em movimento contínuo e, além disso, se movem com igual velocidade quando se deslocam no vazio.* Essas ideias revolucionárias de Epicuro sobre o **atomismo**, bem como às de toda a sua filosofia – o **epicurismo** (este, baseado na noção do prazer ligado ao exercício da virtude) – foram perpetuadas pelo filósofo e poeta romano Tito Caro Lucrécio (96-55) no célebre livro **De Rerum Naturae** (“Sobre a Natureza das Coisas”) (Éditions Garnier, 1954), publicado em 56 a.C. Neste livro, o **atomismo** foi escrito em hexâmetros e levados às últimas consequências, uma vez que Lucrécio acreditava serem todos os objetos da Natureza, até os materiais, como o **corpo** e a **alma**, constituídos de **átomos**.

É ainda oportuno salientar que a concepção atômica dos gregos antigos foi retomada pelos filósofos hindus, ainda na Antiguidade. Por exemplo, o filósofo hindu Kanada [Kanabhuj ou Kanablasksha (*devorador de átomos*, em sânscrito)] (f.c. Século 2 ou 1 a.C.) acreditava que os elementos primordiais do Universo eram manifestações da **alma** (*atman*) ou **essência** desse mesmo Universo, e que havia cinco elementos-manifestações que se ligavam aos sentidos, da seguinte maneira: **éter-audição**, **ar-tato**, **fogo-visão**, **água-paladar** e **terra-olfato**. Além disso, aos quatro elementos de Empédocles, Kanada acrescentou mais quatro: **espaço**, **tempo**, **alma** e **manas**, sendo que os dois primeiros constituíam a base do espaço no qual viviam e se movimentavam os corpos vivos, e que o **manas** seria a ligação do corpo com a **alma**. Ainda para Kanada, todos esses elementos primordiais da Natureza eram feitos de **átomos** indivisíveis e indestrutíveis.

A visão atomística hindu foi cada vez mais sendo aprimorada, tanto que nos primeiros séculos de nossa Era Cristã (d.C.), os filósofos hindus consideravam que os **átomos** que compunham os quatro elementos propostos por Empédocles só se combinavam se fossem semelhantes e desde que estivessem na presença de um terceiro. Desse modo, dois **átomos** poderiam causar um efeito (*dyad*), enquanto três desses “efeitos” produziram um efeito de outra natureza (*tryad*). E mais ainda, como os *dyads* se arrumavam para formar um *tryad* dava origem às diversas qualidades das substâncias.

Com a decadência do *Império Romano do Ocidente* (cuja sede era em Roma), em 476 d.C., o começo das conquistas árabes levadas a cabo pelo general ‘Amr ibn Al – ‘Ās, ao incorporar o Egito em 369, e a invasão da Espanha pelos mouros, em 711, o *Império Islâmico* construído pelo Profeta MAOMÉ (571-632) e seus

seguidores, começou a ser o centro intelectual do mundo, a partir do Século 8 d.C., graças ao interesse e apoio cultural de Califas famosos como, por exemplo, Harun-al-Rachid (764-809), Al-Mansur (f.c.762) e seu neto Al-Mámun (786-833). Inicialmente foram traduzidos textos gregos e hindus, sendo o mais célebre dos tradutores o médico árabe Hunayan ibn *Ishāq* (*Al – Ibādī*) (808-873). Ao período de traduções seguiu-se a idade áurea da ciência árabe, que perdurou aproximadamente de 900 a 1000 d.C., durante a qual houve, também, a formulação de concepções próprias sobre o Universo. Desse modo, os árabes (*alquimistas*) acreditavam que os elementos principais do Universo deveriam se encontrar em princípios ou qualidades das substâncias e não nas substâncias em si. Assim, o **enxofre** seria o princípio da combustão (**fogo**), o **sal** tinha a qualidade da calcinação (**terra**) e o **mercúrio** estava ligado ao elemento líquido (**água**).

Os árabes desenvolveram ainda uma **teoria atômica** baseada na dos gregos e hindus (vide verbete nesta série). No entanto, para o filósofo judeu (de origem árabe) e médico espanhol Moisés Ben Maimon, conhecido como Maimônides (1135-1204), não era só a matéria que era constituída de **átomos**, também, o **espaço** e o **tempo** da filosofia hindu. Ainda para ele, o **tempo** era constituído de elementos atômicos chamados de **intervalos** ou **agoras**. Admitiam também os árabes que todos os **átomos** eram continuamente criados por ALÁ, todos semelhantes, porém não possuíam propriedades quantitativas, somente qualitativas.

As concepções uma e/ou plural sobre o Universo, formuladas na primeira dezena de séculos da Era Cristã, continuaram a ser defendidas e divulgadas pelos estudiosos durante a Idade Média e a Renascença. Por exemplo, o médico e *alquimista* suíço-alemão Philippus Aureolus Theophrastus Bombast von Honhnheim, conhecido como Paracelso (1493-1541) procurava justificar os quatro elementos propostos por Empédocles ao divulgar no Ocidente, as ideias árabes sobre as qualidades e princípios de tais elementos. Por sua vez, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) em seu livro **De Revolutionibus Orbium** (“Das Revoluções dos Corpos Celestes”), publicado em 1543, falou da *corporeidade* dos **átomos**. Também atomista foi o físico e astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642), já que em seu livro **Il Saggiatore** (“O Ensaíador”), de 1623, considerava que os **átomos ígneos** (de calor) eram menos rápidos e, portanto, menos penetrantes do que os **átomos luminosos** (da luz). É oportuno salientar que, segundo o escritor italiano Pietro Redondi (n.1950), em seu livro **Galileu Herético** (Companhia das Letras, 1991), foi a defesa do **atomismo** por parte de Galileu a provável causa de seu processo pela *Santa Inquisição*, em 1633.

A ideia de que o **átomo** era uma parte real, porém indivisível da matéria, parece haver sido proposta pelo filósofo e matemático francês Pierre Gassendi (1592-1655), em 1647, ao afirmar que em cada corpo os **átomos** se reúnem em pequenos

grupos, as **moléculas**, que é o diminutivo da palavra latina **moles**, que significa massa ou quantidade de matéria.

O **atomismo** real defendido por Gassendi, na França, logo foi aceito e divulgado na Inglaterra. Assim é que, o físico e químico inglês Roberto Boyle (1627-1691) e seu assistente, o físico inglês Robert Hooke (1635-1703) tornaram claro seu apoio às **teorias atômicas** para explicar as substâncias materiais. Por exemplo, Boyle em seu célebre livro **The Sceptical Chymist** (“O Químico Cético”), publicado em 1661, apresentou sua ideia segundo a qual os corpos eram constituídos por **elementos** que, para ele eram assim definidos: - *Que entendo por elementos são certos corpos primitivos e simples, perfeitamente sem mistura, os quais não sendo formados de quaisquer certos corpos, nem uns dos outros, são os ingredientes dos quais todos os corpos perfeitamente misturados são feitos, e que podem finalmente ser analisados* No entanto, o **elemento boyleano** não era o **elemento químico** que conhecemos hoje, uma vez que para ele a **água** (hoje: H₂O) era um elemento quase puro, enquanto que o ouro (Au), cobre (Cu), mercúrio (Hg) e enxofre (S) eram compostos químicos ou misturas. É interessante registrar que o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) defendia e expunha suas ideias **atomísticas** em suas pesquisas sobre a Óptica, iniciadas em 1666, e reunidas em seu tratado intitulado **Optics, or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light** (“Óptica, ou um Tratado das Reflexões, Refrações, Inflexões e Cores da Luz”), publicado em 1704.

O **elemento boyleano** incipiente foi cada vez mais sendo estudado e reformulado. Com efeito, o químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) procurou separar os elementos dos compostos químicos e, baseado no princípio: - *Cada elemento de um composto pesa menos do que o composto como um todo* -, elaborou a primeira tabela contendo cerca de 30 elementos, apresentada em seu famoso **Traité Élémentaire de Chimie** (“Tratado Elementar de Química”), editado em 1789. A partir de então, novos elementos foram acrescentados a essa *Tabela de Lavoisier* em decorrência de novas descobertas e como uma nomenclatura geral, proposta pelo químico sueco Jöns Jakob Berzelius (1779-1848), em 1813 (*Annals of Philosophy* **2**, p. 443) e 1814 (*Annals of Philosophy* **3**, p. 51; 93; 144; 353), que usava as primeiras letras dos nomes gregos ou latinos desses elementos químicos, como, por exemplo: cobre – Cu (*Cuprum*, latino); ouro - Au (*Aurum*, latino); magnésio - Mg (*Magnese*, grego); fósforo - P (*Phosphorus*, grego); etc. Além disso, Berzelius descobriu novos elementos químicos, tais como: cério (Ce), em 1803 [em parceria com o químico sueco Wilhelm Hisinger (1766-1852) e, independentemente, pelo químico alemão Martin Heinrich Klaproth (1743-1817)]; selênio (Se), em 1817 (nome dado para homenagear a Lua, pois em latim, ela se chama *Sellenius*); e, em 1828, o tório (Th), nome dado para homenagear o deus nórdico *Thor*. Antes, em 1818, ele deu o nome de lítio (Li) (do grego *Lithos*, que significa “pedra”) ao elemento químico descoberto por seu aluno, o químico sueco Johan August Arfwedson (1792-1841), em 1817.

Note-se que outro aluno de Berzelius, o químico sueco Nils Sefström (1787-1845), em 1831, descobriu o vanádio (V), ao qual deu esse nome para homenagear a deusa nórdica do amor e da beleza, *Vanadis* (ou Freia). É oportuno registrar que esse elemento químico havia sido descoberto pelo mineralogista espanhol Andrés Del Rio (1764-1849), em 1801, que o denominou de “eritrônio”. Contudo, apesar desse feito, foi convencido por outros químicos que não havia descoberto nenhum novo elemento químico (**Dicionário de Química**, Texto Editora Lda., 2000).

Ainda sobre Berzelius, acrescenta-se que ele isolou, pela primeira vez, o silício (Si), em 1823; o zircônio (Zr), em 1824 [este elemento havia sido descoberto por Klaproth, em 1789, no zircão ou zirconita (hoje, silicato de zircônio: $ZrSiO_4$), que é um mineral de “cor dourada” (*zargun*, em árabe) e o nome foi dado pelo químico inglês Sir Humphry Davy (1778-1829), em 1808]; e o titânio (Ti), em 1825 [este elemento havia sido descoberto pelo mineralogista inglês William Gregor (1761-1817), em 1791, e, independentemente, por Klaproth, em 1795, no rutilo, um mineral de “cor vermelha” (*rutilus*, em latim), que o denominou de titânio, em 1796, para homenagear os Titãs, os deuses gigantes da mitologia grega]. É oportuno destacar que o trabalho de Berzelius também foi importante para elucidar os diversos compostos envolvendo novos elementos químicos descobertos nas duas últimas décadas do Século 18, como, por exemplo: o urânio (U) descoberto por Klaproth, em 1789, no mineral pechblenda (nome dado por ele para homenagear o planeta Urano que havia sido descoberto, em 1781). Também, em 1789, Klaproth isolou e denominou o telúrio (Te) [descoberto pelo mineralogista austríaco Franz Müller (1740-1825), em 1782]. Em 1790, o químico irlandês Adair Crawford (1748-1795) e, independentemente, o químico e médico escocês William Cruickshank (? – c.1811) notaram a presença de um mineral (hoje, estroncianita ou carbonato de estrôncio: $SrCO_3$) nas minas da região de nome Strontian, em [Argyleshire](#), na Escócia, com propriedades diferentes dos espatos pesados. Por sua vez, em 1793, o médico e químico escocês Thomas Charles Hope (1766-1844) confirmou a descoberta de Crawford e Cruickshank e deu o nome de *strontites* àquele mineral. O elemento químico principal desse mineral foi isolado pela primeira vez, em 1808, por Davy, ocasião em que deu o nome de estrôncio (*strontium* – Sr). Por fim, em 1797, o físico francês Louis Vauquelin (1763-1829), deu o nome de cromo (Cr) ao elemento químico encontrado no composto cromita ([óxido](#) duplo de [ferro](#) e [cromo](#): $FeCr_2O_4$) por causa das cores vivas de seus compostos.

Muito embora a ideia de elemento químico considerasse o átomo como uma partícula indivisível, porém real da matéria, o **atomismo científico** só começou quase no final do Século 18 e início do Século 19, como veremos a seguir. Em 1799, os químicos franceses Claude Louis, Conde Berthollet (1748-1822) (de origem italiana) e Joseph Louis Proust (1754-1826), de modo independente, observaram que os elementos unem-se, não de qualquer maneira, mas só segundo “certas proporções”. Para Berthollet [**Recherches sur les Lois de l’Affinite** (Baudouin/Paris, 1801)], tais

proporções “não eram obrigatoriamente fixas”; para Proust (*Annales de Chemie* **32**, p. 26), elas seriam “fixas” sempre que se tratava realmente de “combinações” e não apenas de “misturas” como considerava Berthollet. Essas observações de Berthollet-Proust ficaram posteriormente conhecidas como a **Lei de Proust ou Lei das Proporções Definidas**: - *As massas dos elementos que integram um composto estão entre si numa razão definida*. [Armand Gibert, **Origens Históricas da Física Moderna: Introdução Abreviada** (Fundação Calouste Gulbenkian, 1982)]. Por sua vez, em 1808, o químico inglês John Dalton (1766-1844), em seu livro **New System of Chemical Philosophy** (“Novo Sistema de Filosofia Química”), enfatizou que na Natureza existem átomos invisíveis e imutáveis. E, mais ainda, que todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos, e que vários átomos se podem reunir para formar um *átomo composto*. Nesse livro, Dalton formulou sua famosa **Lei das Proporções Múltiplas** (mais tarde conhecida como **Lei de Dalton**): - *Se dois elementos A e B formarem mais de um composto, as massas de A, que se combinam com a mesma massa de B, nos diferentes compostos, devem ter, como razões, números inteiros*. Note-se que, ainda em 1808, o químico francês Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), trabalhando em colaboração com o químico francês Louis Jacques Thenard (1777-1857), descobriu que, com pressão e temperatura mantidas constantes, um volume de gás oxigênio (O) se combina exatamente com dois volumes de gás hidrogênio (H) para formar dois volumes de vapor d’água. Descobriu mais ainda que um volume de gás nitrogênio (N) se combina com um volume de O para formar dois volumes de óxido nítrico (NO). Essa descoberta ficou conhecida como **Lei de Gay-Lussac ou Lei dos Volumes**: - *Se os gases A e B se combinam para formar um composto C, os três volumes relativos podem ser representados por números inteiros*. Registre-se que Gay-Lussac publicou essa sua descoberta, em 1809 (*Mémoires de la Société d’Arcueil* **2**, p. 207).

As **Leis de Berthollet-Proust-Gay-Lussac-Dalton** começaram a ser entendidas graças ao trabalho do químico e físico italiano Conde Lorenzo Romano Amedeo Avogadro Carlo di Quaregna e di Cerreto (1776-1856). Com efeito, em 1811 (*Journal de Physique* **73**, p. 58), Avogadro enunciou a sua famosa hipótese: - *Todos os gases à mesma temperatura e pressão contêm o mesmo número de partículas por unidade de volume*. Contudo, ele teve o cuidado de especificar que as partículas poderiam ser **átomos** ou **moléculas**, fazendo então a distinção entre esses dois tipos de partículas. Com essa distinção feita, foi possível entender a observação “esquisita” realizada por Gay-Lussac, conforme vimos acima, qual seja: um volume de gás oxigênio (O) se combina exatamente com dois volumes de gás hidrogênio (H) para formar dois volumes de vapor d’água. Segundo a proposta de Avogadro, essa combinação decorre do fato de que um volume da molécula de oxigênio (O₂) se combina com dois volumes da molécula de hidrogênio (H₂) para formar dois volumes da molécula de água (H₂O): $O_2 + 2 H_2 \rightarrow 2 H_2O$. Para a outra observação feita por Gay-Lussac e referida acima, tem-se: $O_2 + N_2 \rightarrow 2 NO$.

Não obstante essa **hipótese de Avogadro** permitir fazer a distinção entre *átomo* e *molécula* e, portanto, calcular as massas atômicas e moleculares dos elementos químicos, ela não foi levada em consideração pelos maiores químicos da

época, entre os quais se encontravam Berzelius e Dalton. Tal fato motivou que os químicos apresentassem tabelas de massas moleculares discrepantes (o próprio Dalton, em 1802, usou o valor 8 para a massa molecular do O₂, e não 16, seu real valor). Por sua vez, a ideia de **peso (massa) atômico (a)** [P(M)A] de um elemento químico foi proposta pelo químico inglês William Prout (1785-1850), em 1815 (*Annals of Philosophy* **6**, p. 321) e 1816 (*Annals of Philosophy* **7**, p. 111), ao considerar que os P(M)A eram múltiplos do P(M)A do hidrogênio (H). Em 1818, Berzelius publicou tabelas revisadas de massas moleculares dos elementos químicos até então conhecidos, tomando como base a massa molecular 16 do O. Em 1826, Berzelius reviu essa tabela usando a **Lei de Dulong-Petit**, formulada pelos físicos franceses Pierre Louis Dulong (1785-1838) e Aléxis Thérèse Petit (1791-1820) de 1819 (*Annales de Chimie et de Physique* **10**, p. 403). É oportuno registrar que Berzelius foi extremamente produtivo, publicando vários livros [dentre eles, o famoso: **Lärbok i kemien** (“Manual de Química”), 1808] e numerosos artigos, reunidos pelo filósofo sueco Arne Holmberg (1889-1966), no livro intitulado: **Bibliografi över Berzelius** (Uppsala-Estocolmo, 1933). Muito embora o químico italiano Stanislao Canizzarro (1826-1910) haja, em 1858 (*Il Nuovo Cimento* **7**, p. 321), apresentado a diferença entre **átomo** e **molécula** (combinação de **átomos**), a mesma só foi oficializada por ocasião do *Primeiro Congresso Internacional de Química* realizado em Karlsruhe, Alemanha, por uma resolução datada de 04 de setembro de 1860.

A análise dos P(M)A de 63 elementos químicos apresentados em Karlsruhe, levou os químicos a procurarem uma relação entre eles e propriedades físico-químicas dos elementos correspondentes. Uma primeira tentativa para obter essa relação foi apresentada pelo químico inglês John Alexander Reina Newlands (1837-1898), em 1863 (*Chemical News* **7**, p. 70) e em 1864 (*Chemical News* **10**, p. 94), por intermédio de sua famosa **Lei das Oitavas** [nome cunhado por ele em 1865 (*Chemical News* **12**, p. 83)], segundo a qual os 56 elementos químicos então conhecidos podiam ser agrupados em oito (8) colunas, com cada coluna contendo sete (7) elementos. A relação até hoje aceita e conhecida como **Tabela Periódica dos Elementos** foi proposta pelo químico russo Dmitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907), em 1869 (*Journal of the Russian Physical Chemical Society* **1**, p. 60; *Zeitschrift für Chemie* **12**, p. 405), na qual os elementos químicos eram classificados segundo a ordem crescente de seus pesos atômicos (hoje, número atômico Z, que significa o número de elétrons e que é igual ao de prótons), sendo agrupados em colunas os elementos que apresentavam propriedades químicas semelhantes. Destaque-se, também que, em 1870 (*Annalen der Chemie*, Supplementband **7**, p. 354), o químico alemão Julius Lothar Meyer (1830-1895) obteve uma tabela semelhante a essa de Mendeleiev. Um aspecto curioso dessa descoberta de Mendeleiev [detalhada por ele em outros três artigos, escritos em 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)] é que ele teria se inspirado no jogo de cartas conhecido como “paciência”, em que as cartas são

dispostas por “naipe” na horizontal e por número na vertical, segundo nos conta o escritor norte-americano Bill Bryson (n.1951), em seu livro intitulado **Breve História de Quase Tudo** (Companhia das Letras, 2005). Note-se que, em 1878 (*Chemical News* **38**, p. 106), Newlands voltou a apresentar uma nova *Tabela de Elementos Químicos*. É interessante destacar que Mendeleiev conseguiu prever a existência de novos elementos químicos e que foram posteriormente descobertos. Para detalhes, ver: Leonid Ponomarev, **In Quest of the Atom** (Mir, 1973); Francisco Caruso e Vitor Oguri, **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos** (Campus, 2006; LTC, 2016).

Agora, vejamos a questão da indivisibilidade do **átomo** e seu modelo. A primeira tentativa de apresentar um modelo para explicar esse “elemento eterno, indivisível e imperecível” dos gregos antigos, foi apresentada pelo físico francês André Marie Ampère (1775-1836), em 1814 (*Annales de Chimie* **90**, p. 43), ao supor que os átomos eram constituídos de partículas menores (subatômicas), que giravam em torno de um centro, constituindo as famosas “*correntes amperianas*”. Com essa ideia, Ampère pretendia explicar o **elemento químico boyleano**. Mais tarde, em 1828, o físico e filósofo alemão Gustav Theodor Fechner (1801-1887) propôs que o “átomo” consistia de uma parte central massiva que atraía gravitacionalmente uma nuvem de partículas de calor quase imponderáveis. [*IN*: J. B. Biot, **Lehrbuch der Experimentalphysik oder Erfahrungsnaturlehre 1** (Leipzig, Tradução de Fechner)].

Um primeiro modelo eletrodinâmico para o átomo foi proposto pelo físico alemão Wilhelm Eduard Weber (1804-1891) como consequência de suas pesquisas sobre o eletromagnetismo. Com efeito, em 1862 (*Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematische Klasse* **10**, p.3) e 1871 (*Gesellschaft der Wissenschaften, Mathematische-Physische Klasse* **10**, p.1), ele apresentou uma modificação do **átomo fechneriano** ao supor que a parte central desse “átomo” era eletrizada com um determinado sinal e que cargas elétricas de sinais opostos orbitavam em torno dessa parte central de acordo com a lei da força que propusera em 1846, na primeira de suas famosas publicações denominadas **Elektrodynamische Maassbestimmungen** (“Medidas Eletrodinâmicas”), lei essa dada pela expressão (em módulo):

$$F = (e_1 e_2 / r^2) \times \{1 - (1/c^2) [(dr/dt)^2 - 2 r (d^2r/dt^2)]\},$$

onde dr/dt e d^2r/dt^2 representam, respectivamente, os módulos da velocidade e da aceleração radiais relativas entre as cargas elétricas e_1 e e_2 , e c é uma constante que expressa a relação entre as unidades eletrostática e eletrodinâmica daquelas cargas. Nessa expressão, o termo dominante ($e_1 e_2 / r^2$) significa a **força eletrostática coulombiana** [proposta pelo físico francês Charles Augustus Coulomb (1736-1806), em 1785 (*Mémoires de l'Académie des Sciences, Paris* p. 488)], e os demais termos modificam essa força na medida em que as cargas elétricas apresentam um movimento relativo.

Usando seu **modelo atômico**, segundo me informou o físico brasileiro André Koch Torres de Assis (n.1962) (e-mail de 26 de julho de 2007, a quem agradeço nesta oportunidade), Weber chegou a um resultado muito importante, assim descrito por Assis: - *Dois cargas de mesmo sinal nem sempre se repelem. Caso estejam muito próximas uma da outra elas podem se atrair! Com isto era possível em seu modelo prever e explicar a estabilidade de um núcleo composto apenas de cargas positivas, com as cargas negativas orbitando ao redor deste núcleo. Ou seja, a força de Weber dá uma explicação natural para as forças nucleares, explicando a estabilidade dos núcleos utilizando apenas uma força eletromagnética clássica!* [Para maiores detalhes sobre a eletrodinâmica de Weber e seu modelo planetário, ver: K. H. Wiederkehr, **Wilhelm Eduard Weber: Erforscher der Wellenbewegung und der Elektrizität** (Stuttgart, 1967); A. K. T. Assis, **Weber's Electrodynamics** (Kluwer, 1994; EDUNICAMP, 1995); A. K. T. Assis and Júlio Akashi Hernandez, **The Electric Force of a Current: Weber and the Surface Charges Resistive Conductors Carrying Steady Currents** (Apeiron, 2007).]

A partir de 1880, o físico holandês Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928; PNF, 1902) começou a elaborar um novo **modelo atômico eletrodinâmico** para a matéria, segundo o qual os "elétrons" (que para ele significava qualquer partícula carregada, positivamente ou negativamente, com ou sem massa) eram distribuídos no interior da matéria e livres de oscilarem com certa frequência própria em torno de posições fixas. Esse modelo foi por ele usado para o desenvolvimento de sua **Teoria do Elétron**, a partir de 1892, e que lhe permitiu explicar a dispersão da luz, bem como prever o **efeito Zeeman** [separação magnética das linhas espectrais observado pelo físico holandês Peter Zeeman (1865-1943; PNF, 1902), em 1896 (*Verlag van de gewone Vergadering der wis-en natuurkundige Afdeeling, Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam* **5**, p. 181; 242; *Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin* **7**, p. 128)]. No entanto, esse **modelo atômico lorentziano** apresentava dificuldade para estudar o espalhamento dos **raios-X** pela matéria [que havia sido descoberto, em 1895 (*Sitzungsberichte der Würzburger Physikalischen-Medicinischen Gesellschaft* **137**, p. 132), pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923; PNF, 1901)]. Para contornar essa dificuldade, o físico inglês Sir Joseph John Thomson (1856-1940; PNF, 1906), em 1899 (*Philosophical Magazine* **48**, p. 547), começou a desenvolver um modelo para o átomo, considerando-o como composto de

um grande número de “corpúsculos” carregados negativamente [“corpúsculos” (mais tarde reconhecidos como **elétrons**) para os quais que ele havia determinado a relação entre a carga (e) e a massa (m), em 1897 (vide verbete nesta série)] e “alguma” carga positiva que contrabalançasse a carga negativa total. Logo depois, em 1904 (*Philosophical Magazine* **7**, p. 237), Thomson elaborou um novo modelo atômico para poder explicar aquele espalhamento. Vejamos qual.

Para Thomson, o **átomo** era considerado como sendo constituído por uma carga elétrica positiva, homogeneamente distribuída na forma de uma esfera de raio da ordem de 1 \AA (10^{-8} cm), e movendo-se no seu interior, em anéis concêntricos, um certo número de elétrons de modo a manter o átomo neutro. Além disso, cada elétron de carga (e) e massa (m) era considerado ligado ao centro do **átomo** e oscilando amortecidamente com frequência angular própria (ω_0), configuração que essa que lhe valeu a denominação de “pudim de ameixas”, nome esse que, segundo Caruso e Oguri (op. cit.), é inadequado pois, no “pudim”, o número de ameixas é distribuído aleatoriamente, enquanto no **modelo thomsiano** “os elétrons são distribuídos uniformemente em anéis concêntricos para que fossem satisfeitas as condições de estabilidade que assegurassem o equilíbrio, postulando ainda que o número desses anéis fosse mínimo”. Note-se que, com esse modelo, Thomson conseguiu explicar o **espalhamento Rayleigh** [apresentado pelo físico inglês John William Strutt, Lord Rayleigh (1842-1919; PNF, 1904), em 1871 (*Philosophical Magazine* **41**, p. 107) (vide verbete nesta série)], o espalhamento dos **raios-X** pela matéria – e que ficou conhecido como **espalhamento Thomson** -, e o **espalhamento ressonante** que se relaciona com a **luminescência** (vide verbete nesta série).

Ainda em 1904 (*Nature* **69**, p. 392; *Philosophical Magazine* **7**, p. 445), o físico japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950) propôs um modelo atômico, segundo o qual o átomo era formado por uma parte central carregada positivamente e rodeada de anéis de elétrons deslocando-se com a mesma velocidade angular, um sistema semelhante ao planeta Saturno, com seus anéis, razão pela qual esse modelo de Nagaoka ficou conhecido como **modelo saturniano**. Com esse modelo, Nagaoka procurava explicar as raias espectrais, bem como as emissões radioativas: **alfa** (α) e **beta** (β). Com efeito, para ele, as oscilações perpendiculares ao plano do movimento dos anéis resultavam no espectro “tipo banda” (contínuo), enquanto as oscilações paralelas àquele plano resultavam num espectro “tipo raia” (discreto). Por outro lado, a quebra de um desses anéis provocava a **emissão (decaimento) beta** (β). É oportuno notar que a **emissão** β [junto com a **emissão alfa** (α)] havia sido observada pelo físico inglês Sir Ernest Rutherford (1871-1937; PNQ, 1908), em 1898 (*Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* **9**, p. 401),. Em 1899, em trabalhos independentes, os físicos, o francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908; PNF, 1903), os austríacos Stefan Meyer (1872-1949) e Egon Ritter von Schweidler (1873-1948) (*Physikalische Zeitschrift* **1**, p. 113), e o alemão Frederick Otto Giesel (1852-1927) (*Annalen der Physik* **69**, p. 834), observaram a deflexão magnética sofrida por essas partículas. Em 1900 (*Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* **130**, p. 1010; 1178), Becquerel mostrou

que os raios β eram raios catódicos, isto é, elétrons. Note-se que: 1) a **radioatividade** [emissão de partículas (α e β) por parte de cristais de sulfato de urânio-potássio (uranilo: UO_2^{+2}) e o nome cunhado pela química e física polonesa Marya (Marie) Skolodowska Curie (1867-1934; PNF, 1903; PNQ, 1911), em 1898] foi descoberta por Becquerel, em 1896 (*Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* **122**, p. 420; 501); 2) em 1900 (*Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris* **130**, p. 1010; 1178), o físico francês Paul Villard (1860-1934) observou uma terceira componente da **radioatividade** que não era defletida pelo campo magnético, altamente penetrante, e denominada de **raio gama** (γ) por Rutherford, em 1902 (*Physikalische Zeitschrift* **3**, p. 517); 3) em 1908 (*Memoirs of the Manchester Literary and Philosophical Society* **53**, p. 1), Rutherford e o químico inglês Thomas Royd (1884-1955) observaram que as α nada mais eram do que núcleos do hélio (He).

É interessante ressaltar que uma primeira ideia de um modelo tipo “**saturniano**” já havia sido apresentada, em 1901 (*Revue Scientifique* **15**, p. 449), pelo físico francês Jean Baptiste Perrin (1870-1942; PNF, 1926), ao considerar a hipótese de que os elétrons nos átomos se deslocavam em órbitas em torno de um caroço central com velocidade da ordem das velocidades com que os elétrons são arrancados do alumínio (Al) devido ao **efeito fotoelétrico** [emissão de elétrons pela incidência de luz e cujas leis foram enunciadas pelo físico húngaro-alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947; PNF, 1905, em 1902 (*Annales de Physique, Leipzig* **8**, p. 149)]. Se tal ocorresse, observou Perrin, a frequência de revolução dos elétrons era da ordem das frequências ópticas das raias espectrais. Ainda para Perrin, as instabilidades das órbitas eletrônicas de seu modelo eram as responsáveis pelos fenômenos da **radioatividade** e, principalmente, pela **emissão** β .

Uma das grandes dificuldades enfrentadas pelos modelos de Thomson e de Perrin-Nagaoka era o de saber o número de elétrons em cada anel, além, é claro, de explicar a sua estabilidade em virtude da **radiação larmoniana** [emissão de energia eletromagnética por uma carga elétrica acelerada e deduzida pelo físico e matemático inglês Sir Joseph J. Larmor (1857-1942), em 1897 (*Philosophical Magazine* **44**, p. 503)]. Antes de esses modelos serem formalmente apresentados, já existia dificuldade em conhecer o número de elétrons e de sua correspondente distribuição no interior de um átomo. Por exemplo, em 1902 (*Transactions of the Royal Society of Canada* **8**, p. 79), Rutherford escreveu: - *O átomo de hidrogênio (H) é uma estrutura muito complicada constituída, possivelmente, de mil ou mais elétrons*. Ora, como esse elemento é o primeiro da Tabela Periódica, podemos imaginar que a dificuldade aumentava para os demais elementos dessa Tabela. Essa mesma dificuldade foi enfrentada por Thomson ao usar o seu modelo. Apesar de conhecer a **radiação larmoniana** e, portanto, que ela levaria ao colapso o seu modelo, Thomson discutiu a estabilidade de seu sistema apenas do ponto de vista dinâmico. Contudo, o número de elétrons do H ainda permanecia um problema para Thomson, conforme se pode ver em seu livro intitulado **Electricity and Matter** (Scribner, 1904), no qual escreveu: - *O átomo de hidrogênio contém cerca de mil elétrons*. Entretanto, na segunda edição de

seu livro **Conduction of Electricity through Gases** (Cambridge University Press, 1906), Thomson mudou de opinião ao afirmar o seguinte: - *O número de elétrons em um átomo situa-se entre 0,2 e 2 vezes o peso atômico de uma substância. Para o hidrogênio esse número não pode diferir muito da unidade.* Aliás, ainda nesse livro, Thomson escreveu: - *As linhas espectrais não são devidas às vibrações de corpúsculos (isto é, elétrons) no interior do átomo, mas sim devido às vibrações de corpúsculos em consequência de um campo de forças exterior ao átomo.* É oportuno esclarecer que na distribuição eletrônica de seu modelo, Thomson usou uma analogia com os resultados da experiência realizada pelo físico norte-americano Alfred Marshall Mayer (1836-1897), em 1878 (*American Journal of Science* **15**, p. 276; *Nature* **17**; **18**, p. 487; 258), na qual mostrou como pequenos pólos magnéticos se orientam na presença de um campo magnético intenso (Caruso e Oguri, op. cit.).

Contudo, a grande dificuldade do **modelo thomsiano** apareceu quando Rutherford e seus colaboradores, os físicos, o alemão Hans (Joahannes) Wilhelm Geiger (1882-1945) e o inglês Ernst Marsden (1889-1970), começaram a estudar o espalhamento de partículas α pela matéria. Com efeito, em 1906 (*Philosophical Magazine* **11**, p. 166; **12**, p. 134), Rutherford apresentou os resultados de experiências nas quais observou um pequeno espalhamento (desvio de aproximadamente 2^0) de partículas α ao passarem através de uma lâmina de mica de 0,003 cm de espessura. Em 1908 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A81**, p. 174), Geiger estudou o espalhamento de um feixe de partículas α , oriundo de um composto de rádio, o brometo de rádio (RaBr_2), através de uma lâmina fina de metal [alumínio (Al) e ouro (Au)]. As partículas α espalhadas eram detectadas em contadores de cintilações. Usando essa técnica de contagem, Geiger e Marsden, em 1909 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A82**, p. 495), estudaram o espalhamento de um feixe de partículas α [oriundas do radônio (Rn)], através de uma lâmina fina de metal. Nesse estudo, eles observaram que do feixe, não muito bem colimado e contendo cerca de 8.000 daquelas partículas, apenas uma delas era refletida, ou seja, era espalhada num ângulo $> 90^0$. Este tipo de espalhamento foi também comentado por Geiger, em 1910 (*Proceedings of the Royal Society of London* **A83**, p. 492). Ainda em 1910 (*Cambridge Literary and Philosophical Society* **15**, part 5, p.456), o próprio Thomson mostrou que seu modelo não explicava os resultados obtidos por Geiger e Marsden.

Em 1911 (*Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society* **55**, p. 18; *Philosophical Magazine* **5**, p. 576; **21**, p. 669), Rutherford interpretou os resultados das experiências de Geiger e Marsden, propondo seu célebre **modelo planetário do átomo**, decorrente da fórmula que deduziu para o espalhamento de partículas (α ou β) pela matéria – **fórmula do espalhamento de Rutherford** (em notação atual):

$$y = [(n t)/2] \times \{[Z^2 (e E)^2 Q]/(m^2 u^4 r^2)\} \times \operatorname{cosec}^4 (\varphi/2).$$

onde y expressa o número de partículas espalhadas sobre a unidade de área de um anteparo (“screen”) colocado a uma distância r da fonte espalhadora e num ângulo φ medido a partir da direção das partículas incidentes; n e t denotam, respectivamente, o número de átomos na unidade de volume da lâmina alvo e sua espessura; m , u e Q representam, respectivamente, a massa, a velocidade e o número total de partículas incidentes; Z a carga elétrica do núcleo do átomo que compõe a lâmina alvo; E a carga elétrica das partículas incidentes ($E = 2e$, para a α e $E = e$, para a β); sendo e a carga elétrica do elétron. É interessante observar que, para a dedução dessa célebre fórmula, Rutherford contou com a colaboração de seu genro, o matemático inglês Ralph Howard Fowler (1889-1944).

Apesar da formulação desse **modelo planetário rutherfordiano**, o **modelo saturniano de Perrin-Nagaoka** ainda foi utilizado pelo físico inglês John William Nicholson (1881-1955) em suas pesquisas sobre as raias espectrais cósmicas. Com efeito, em 1911 (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **72**, p. 49; 139) e em 1912 (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **72**, p. 677; 693; 729), ele desenvolveu um novo **modelo atômico saturniano**. Contudo, para deter a radiação lamorniana decorrente do movimento dos elétrons em seus anéis, Nicholson considerou nula a soma vetorial das acelerações desses elétrons, e que seus momentos angulares deveriam variar discretamente e em quantidades proporcionais à **constante de Planck** (h). Registre-se que essa hipótese foi demonstrada pelo físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922), em 1913 (*Philosophical Magazine* **26**, p. 1; 476; 857).

Com esse **modelo atômico saturniano**, Nicholson explicou que as raias espectrais eram devidas às pequenas vibrações dos anéis eletrônicos dos átomos primários que, em seu entendimento, eram de três tipos: **coronium**, contendo dois elétrons; **hidrogênio**, com três elétrons; e **nebulium**, com quatro elétrons. Para Nicholson, o **hélio** era considerado um elemento composto. Mais tarde, mostrou-se que o **nebulium** nada mais era do que uma mistura metaestável de oxigênio (O) e nitrogênio (N), e que o **coronium** é o ferro (Fe) altamente ionizado.

As dificuldades dos modelos atômicos clássicos analisados neste artigo foram contornadas pelo **modelo atômico quântico**, conhecido como **modelo atômico quântico de Bohr-Ishiwara-Wilson-Sommerfeld** ou a **velha Mecânica Quântica**, formulado em 1915, em trabalhos independentes do próprio Bohr (*Philosophical Magazine* **29**, p. 332; **30**, p. 394), e dos físicos, o japonês Jun Ishiwara (1881-1947) (*Tokyo Sugaku Buturi-gakkakiwi Kizi* **8**, p. 106), o inglês William Wilson (1875-1965)

(*Philosophical Magazine* **29**, p. 795) e o alemão Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (186-1951) (*Sitzungsberichte Bayerischen Akademie Wissenschaften zu München*, p. 425).



ANTERIOR

SEGUINTE