

Cavendish, Suas Contribuições à Química e à Física e Suas Idiossincrasias.

O físico e químico inglês *Honourable* Henry Cavendish (1731-1810) deu várias contribuições importantes ao desenvolvimento da Física e da Química. Ele descendia de duques tanto do lado paterno (seu pai Charles era filho do segundo Duque de Devonshire, e foi membro do Conselho da *Royal Society of London*) quanto do materno (sua mãe Lady Anne Grey era filha do Duque de Kent), o que lhe permitiu herdar uma fortuna e, com isso, realizar seus trabalhos científicos sem se preocupar com a sua publicação. Com efeito, muito embora ele tenha trabalhado bastante naquelas duas Ciências, por cerca de 50 anos, ele escreveu um pouco menos de 20 artigos e não escreveu nenhum livro. Agora, vejamos algumas de suas contribuições científicas. Seu primeiro artigo, que foi comunicado a *Royal Society of London*, em 1766 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **56**, p. 141), e com o qual ganhou a *Medalha Copley* dessa Sociedade Científica, foi sobre medidas químicas e relacionadas com “ares factícios” (artificiais), isto é, ares contidos de forma não elástica em outros corpos, mas capazes de ser liberados e tornados elásticos. Nessa sua pesquisa, ele observou que um ácido, atuando em um metal, fazia desprender deste um gás que, por pegar fogo sempre em contato com uma chama e por acreditar, também, ser esse gás uma das causas das explosões nas minas, recebeu dele o nome de **ar inflamável**. É interessante ressaltar que esse “ar” recebeu do químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), o nome de **hidrogênio** (do grego: “gerador de água”), em decorrência de suas experiências, realizadas a partir de 1772, sobre as contradições da teoria do *flogístico Stahliano* (vide verbete nesta série). É também interessante observar que, ainda como resultado de seus primeiros trabalhos sobre os “ares factícios”, Cavendish chegou a mostrar que o **ar inflamável** era cerca de onze vezes mais leve do que o ar comum, e que o **ar fixo** era cerca de 1,57 vez mais pesado que também o ar comum. Registre-se que o **ar fixo** havia sido descoberto pelos químicos, o também médico flamengo Jan Baptist von Helmont (1577-1644), por volta de 1600, e o escocês Joseph Black (1728-1799), em 1754, e mais tarde identificado como o **gás carbônico** (CO₂).

Em 1781, ao explodir com uma centelha elétrica uma mistura de “ar inflamável” (**hidrogênio** - H) e “ar deflogisticado” (**oxigênio** - O) (sobre este “ar”, ver verbete nesta série), o químico inglês Joseph Priestley (1733-1804) observou que uma espécie de *orvalho* cobria a face interna da garrafa que continha essa mistura. No entanto, não deu muita atenção a essa descoberta dizendo apenas que “o ar comum deposita sua mistura quando flogisticado”. Ao repetir essa experiência, ainda em 1781, Cavendish percebeu que aquele *orvalho* era **água** que, contudo, apresentava-se ácida. Sem perceberem, Priestley e Cavendish haviam produzido, pela primeira vez, a síntese da **água**. Mais tarde, em 1784, em artigo intitulado **Experimento com ar**, Cavendish apresentou uma explicação para o que ele e Priestley haviam observado em 1781. Veja tal explicação. Partidário da teoria do *flogístico Stahliano* e crente na concepção quaternária (**terra**, **ar**, **água** e **fogo**) da Natureza proposta pelos gregos antigos, Cavendish não aceitou a idéia natural de que a **água** que havia sintetizado, era uma substância composta de “ar inflamável” e de “ar deflogisticado”, e sim, que tais “ares” eram, respectivamente, o **elemento grego água** com *flogístico* e sem *flogístico*. Logo depois, em 1785, Cavendish explicou que a acidez da **água** que observara em 1781 decorria da presença de “ar flogisticado” [mais tarde denominado de **nitrogênio** (N); este

havia sido primeiramente observado pelo químico escocês Daniel Rutherford (1749-1819), em 1772] por ocasião da explosão. Desse modo, Cavendish fez uma outra descoberta, sem o saber, qual seja, a *fixação de nitrogênio atmosférico*, com formação de **ácido nítrico** (ON), conforme mais tarde foi observado. Registre-se que, por essa mesma época, o engenheiro escocês James Watt (1736-1819) encontrou resultados análogos a esses de Cavendish.

Vistos as principais contribuições de Cavendish à Química, vejamos o que ele realizou em Física. Como ele raramente publicava o resultado de suas pesquisas, conforme destacamos acima, só se soube o que ele pesquisava quando foram descobertos seus cadernos de anotações. Por exemplo, em duas anotações intituladas **Observações sobre a teoria do movimento** e **Experimentos sobre calor**, ele registrou suas experiências sobre o calor, realizadas por volta de 1765. No primeiro deles, Cavendish chegou ao que foi posteriormente conhecida como **Lei Zero da Termodinâmica**, ou seja, quando dois corpos em diferentes temperaturas são colados em contato, o mais quente cede calor para o mais frio, até atingirem uma temperatura de equilíbrio. Cavendish, no entanto, não usou essa linguagem; ele explicou esse equilíbrio dizendo que o *momentum* mecânico perdido pelas partículas do corpo quente equivale ao *momentum* mecânico adquirido pelo corpo frio. Na segunda anotação, ele redescobriu os conceitos de **calor específico** e de **calor latente** que haviam sido introduzidos por Black, em suas pesquisas realizadas entre 1761 e 1765 (vide verbete nesta série). Por exemplo, para entender a razão do aparecimento de calores anônimos nas reações e que violavam o seu “princípio de conservação do *momentum* mecânico”, Cavendish afirmava que a diferença entre os calores específicos devia-se inteiramente à adição ou subtração de calor sensível nas reações. Por essas anotações, observa-se que Cavendish, de certa maneira, antecipara a tese de que o *calor é uma forma de movimento*, conforme foi demonstrado pelo físico anglo-norte-americano Sir Benjamin Thompson, Conde Rumford (1753-1814), em 1798 (vide verbete nesta série). Registre-se que os trabalhos realizados por Cavendish sobre Química, foram organizados por Sir Edward Thorpe em um livro intitulado **The Scientific Papers of the Honourable Henry Cavendish, F. R. S., 2: Chemical and Dynamical**, publicado em Cambridge, em 1921.

De posse de seus conhecimentos adquiridos ao estudar a elasticidade dos “ares factícios”, a partir de 1771, Cavendish começou a estudar o “ar (fluido) elétrico”, ocasião em que criou o termo “compressão” para designar o estado de tensão do “fluido elétrico”. Nesse seu estudo matemático, ele chegou a afirmar que o “fluido elétrico” dentro de um corpo parece um ar comprimido em um recipiente. Com essa idéia, ele chegou a determinar a intensidade e a quantidade desse “fluido”, assim como encontrou a relação entre essa intensidade e o seu “grau de eletrificação” (este, foi mais tarde conceituado como **potencial elétrico V**). Com tal estudo ele antecipou as descobertas realizadas pelo físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854), em 1825, sobre a **intensidade da corrente elétrica I** e sua relação com V, hoje conhecida como **Lei de Ohm**: $V = RI$, onde R é a **resistência elétrica**. É oportuno salientar que Ohm foi quem primeiro formulou matematicamente as **Leis do Circuito Elétrico** (circuito “galvânico”), e que foram apresentadas em seu livro **Die Galvanische Kette Mathematisch Bearbeitet** (“O Circuito Galvânico Matematicamente Analisado”), publicado em 1827.

Foi também Cavendish quem, de certa maneira, chegou à **Lei de Coulomb**. Vejamos como. Em 1767, o químico inglês Joseph Priestley (1733-1804) escreveu o livro intitulado **The History and Present State of Electricity** (“A História e Situação Atual da Eletricidade”), no qual apresentou a hipótese de que a força elétrica variava com o inverso do quadrado da distância, de maneira semelhante como a Força de Gravitação Newtoniana (vide verbete nesta série). Essa suposição decorreu da observação feita por Priestley de que pedacinhos de cortiça no interior de um recipiente metálico não sofriam nenhuma influência elétrica. Para Priestley, essa situação era análoga ao fato de que a força de gravitação no interior de uma superfície esférica era nula, devido à lei do inverso do quadrado da distância, conforme o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) demonstrara em seu célebre livro intitulado **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**, de 1687, com sua edição inglesa **Mathematical Principles of Natural Philosophy** (“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”) publicada em 1729. Dois anos depois, em 1769, o físico escocês John Robison (1739-1805) realizou experiências para testar essa lei do inverso do quadrado [$F \propto 1/(r^{2+q})$]. Com efeito, para medir essa força ele projetou e construiu um “eletrômetro” e, com ele, encontrou que $q = 0,06$, para o caso da força de atração; no caso da força de repulsão ele encontrou para q um valor negativo, o que fazia a potência de r ser ligeiramente menor do que 2.

Cavendish começou a realizar suas experiências sobre a força elétrica, em 1770. Nessas experiências, ele postulou que em uma matéria elástica de eletricidade suas partículas (“fluidos elétricos”) se repelem reciprocamente e atraem as partículas de todas as outras matérias. Como não dispunha de um dispositivo para medir tais forças, ele usava seu próprio corpo, por intermédio de choques elétricos recebidos, para avaliá-las. Embora aceitando a lei do inverso do quadrado, ele inicialmente realizou experiências supondo apenas uma lei do inverso da distância para chegar então ao inverso do quadrado, o que aconteceu somente em 1773. Assim, ao usar esferas condutoras concêntricas e isoladas uma da outra e ao medir o “grau de eletrificação” (potencial elétrico) entre elas, Cavendish encontrou que o q da expressão de Robison valia 0,02 para qualquer tipo de força elétrica: atração ou repulsão. É oportuno registrar que os trabalhos de Cavendish sobre eletromagnetismo foram reunidos pelo físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), em um livro intitulado **The Scientific Papers of the Honourable Henry Cavendish, F. R. S., 1: The Electrical Recherches**, publicado em Cambridge, em 1879. Nesse livro, Maxwell incluiu os dois trabalhos que Cavendish havia apresentado na *Royal Society*: em 1771 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **61**, p. 564), e em 1776 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **66**, p. 195). Registre-se que nas pesquisas de Cavendish com a eletricidade, coletadas por Maxwell, ele antecipou alguns conceitos e leis que foram formulados. Com efeito, além dos resultados já referidos neste verbete (**potencial elétrico** e as **Leis de Coulomb e de Ohm**), ele também encontrou a fórmula da capacitância de um condensador de placas planas paralelas; propôs a antiga unidade de capacitância; apresentou o conceito de **constante dielétrica** de um material; e formulou as leis da divisão de correntes em circuitos elétricos. É oportuno destacar que o conceito de **constante dielétrica** decorreu dos trabalhos do físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867), a partir de 1832. A

distribuição de correntes elétricas foi estudada pelo físico inglês Sir Charles Wheatstone (1802-1875), em 1843. (en.wikipedia.org/wiki/Henry_Cavendish.)

É interessante notar que, somente em 1785, o físico francês Charles Augustin Coulomb (1736-1806) anunciou em reuniões da *Academia Francesa de Ciências* a hoje famosa **Lei de Coulomb**: *A força de atração ou repulsão entre duas cargas elétricas é diretamente proporcional ao produto de suas quantidades de cargas elétricas, inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa seus centros, e se situa na mesma direção da reta que une seus centros.* Para chegar a essa lei, Coulomb usou uma **balança de torção**, que ele próprio havia construído em 1784. [Note-se que esse mesmo tipo de balança foi idealizado pelo geólogo e astrônomo inglês, o reverendo John Michell (1724-1793), pois pretendia medir a massa da Terra. Muito embora trabalhasse por cerca de dez anos na construção dessa balança, ele morreu antes de concluí-la.] Registre-se que, em suas experiências sobre a força elétrica, Coulomb demonstrou que para um desvio de 1° da balança de torção, a força correspondente seria, na linguagem atual, de $\sim 10^{-11}$ newtons (N). Ainda como resultado dessas experiências, Coulomb observou que a carga elétrica se situa na superfície externa de um condutor e que sua distribuição estática depende de sua curvatura; e mais ainda, que o ar comum não era um isolante ideal. Essas pesquisas de Coulomb foram publicadas nas *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*. As três primeiras memórias foram publicadas em 1785; a quarta em 1786; a quinta em 1787; a sexta em 1788; e a sétima, em 1789. [Para ver detalhes dessas experiências, ver: William Francis Magie, **A Source Book in Physics** (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1935); Sir Edmund Taylor Whittaker, **A History of the Theories of Aether and Electricity: The Classical Theories** (Thomas Nelson and Sons Ltd., 1951).]

Muito embora os trabalhos de Cavendish sobre eletricidade fossem considerados importantes por Maxwell, conforme vimos acima, Cavendish somente ficou na história da Física com sua famosa determinação da densidade (“peso”) da Terra, mais tarde relacionada com a **constante de gravitação universal** G . Vejamos como ele a calculou. Apesar de Cavendish conhecer o **Principia** de Newton desde a década de 1760, somente entre 1784 e 1809 é que ele se interessou em assuntos ligados à Astronomia Newtoniana. Nesse período, ele realizou seis trabalhos, sendo quatro deles menores: altura da aurora, reconstrução do ano civil hindu, astronomia náutica e um método de marcar divisões em instrumentos astronômicos circulares. Dos dois outros, apenas um deles o tornou famoso. O trabalho quase esquecido pelos historiadores foi o que realizou, em 1786, sobre o cálculo (não publicado) do desvio da luz passando próximo do Sol, usando a Teoria Newtoniana. O segundo, foi o célebre trabalho sobre a determinação do “peso” da Terra. Com essa idéia em mente, discutiu-a com um de seus poucos amigos, o reverendo Michell que, conforme dissemos acima, estava construindo uma balança de torção com essa finalidade. Como Michell morreu antes de usá-la, em 1793, Cavendish passou a trabalhar com ela. Assim, a partir de 1797, iniciou seu famoso *experimentum crucis* cujo resultado foi apresentado em 1798 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **88**, p. 469). Nessa experiência, Cavendish suspendeu uma barra bem leve por intermédio de um fio preso ao centro da mesma. Em cada extremidade dessa barra havia uma bola de chumbo (Pb) relativamente leve (1,61 pounds = 0,73 kg). Colocou então duas bolas grandes (350 pounds = 158,76 kg), fixas, também de chumbo, próximo das bolas leves. Ao calcular a força de atração entre essas bolas (grande e

pequena), Cavendish determinou que a densidade da Terra era 5,48 vezes maior do que a densidade da água. É oportuno salientar que, com esse cálculo, foi possível determinar o valor da **constante de gravitação universal** G [determinada pela primeira vez apenas em 1873 (*Comptes Rendus de l'Academie Française des Sciences de Paris* 76, p. 954), pelos físicos franceses Marie Alfred Cornu (1841-1902) e Jean-Baptistin Baille (1841-1918)], e com isso, universalizar a Lei da Gravitação Newtoniana que, na linguagem atual, é escrita na forma: $\vec{F} = G m_1 m_2 \hat{r}/r^2$, onde m_1 e m_2 representam as massas de dois corpos esféricos cujos centros estão distante de r , \hat{r} é o versor da direção da reta que une esses centros, e $G = 6,6732 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$. [Para maiores detalhes sobre essa experiência de Cavendish, consultar: Magie, op. cit.; Robert P. Crease, **Os 10 mais belos experimentos científicos** (Jorge Zahar Editor, 2006); e Russel McCormach, **/// Dicionário de Biografias Científicas, Volume I** (Contraponto, 2007).]

Na conclusão desse verbete sobre Cavendish, teceremos alguns comentários relativos as suas idiosincrasias, bem como a sua riqueza. Segundo Crease (op. cit.), Cavendish, ao perder sua mãe aos dois anos de idade, passou a ter medo das mulheres. Por exemplo, para evitar a presença da governanta, antes de dormir, deixava instruções por escrito sobre as tarefas e o que comeria no dia seguinte. Quando acidentalmente encontrou-se com ela, ele construiu uma escada nos fundos da casa para não mais encontrá-la. Cavendish tinha o hábito de vestir roupas esquisitas e se afastava das pessoas quanto mais pudesse. Era totalmente metódico em sua vida e trabalho. Comia sempre a mesma refeição: perna de carneiro. O químico inglês George Wilson (1818-1859), que escreveu o livro **Life of the Honourable Henry Cavendish** (Cavendish Society, Londres, 1851), escreveu que suas rotinas diárias eram executadas segundo uma lei “lei inflexível e imperativa como aquela que rege o movimento de estrelas”. E mais (citado em Crease, op. cit.): “Ele usava a mesma roupa ano após ano, sem dar atenção às mudanças da moda. Calculou a vinda de um alfaiate para fazer suas novas roupas como se fosse a chegada de um cometa. ... pendurava o chapéu sempre no mesmo cabide quando ia a encontros do Clube da *Royal Society*. A bengala sempre era colocada em uma de suas botas, e sempre na mesma... Assim ele foi em vida, uma bela peça de engrenagem intelectual. E como viveu pela regra, morreu por ela, predizendo sua morte como se fosse o eclipse de um grande astro (e foi mesmo) e contando o momento em que a sombra do mundo invisível viria cobri-lo em suas trevas”. Registre-se que Cavendish morreu no dia 24 de fevereiro de 1810, e foi cremado na *Derby Cathedral*.

Por fim, um comentário sobre a sua fortuna. Conforme dissemos no início deste verbete, Cavendish pertencia a Nobreza inglesa e, por isso, herdou uma grande fortuna, principalmente porque ele era dono de um Banco (depois transformado no *Banco de Londres*). Em virtude disso, ele nunca trabalhou. Talvez por isso, jocosamente, o engenheiro químico, jornalista e escritor, o russo-francês Jacques Bergier (Yakov Mikhailovich Berger) (1912-1978) em seu livro **Os Extraterrestres na História** (Hemus-Livraria, 1972), considerava Cavendish como um “extraterrestre”.