

Nascimentos da Física

José Maria Filardo Bassalo

Departamento de Física da UFPA

66075-900 - Belém, Pará

Recebido 26 de junho, 1996

Com este trabalho, iniciamos uma nova saga. Desta vez, a exemplo do escritor uruguaio Eduardo Hughes Galeano (1940-) em sua fantástica trilogia **Memória do Fogo (Nascimentos)**, 1986; **As Caras e as Máscaras**, 1985; **O Século do Vento**, 1988 - Editora Nova Fronteira), apresentaremos em forma de verbetes, e na ordem cronológica (seguindo a divisão clássica das idades históricas), os principais fatos (*nascimentos*) referentes aos conceitos físicos, os quais serão apresentados por temas separados. Para isso, basicamente, usaremos os dados que coletamos nos quatro tomos de nossas **Crônicas da Física** (EUFPA: 1987, 1990, 1992, 1994) e nas referências aí indicadas.

With this work, we begin a new saga. This time, as the Uruguayan writer Eduardo Hughes Galeano (1940-) made in his fantastic trilogy **Memória do Fogo (Nascimentos)**, 1986; **As Caras e as Máscaras**, 1985; **O Século do vento**, 1988 - Editora Nova Fronteira), we present in entries, and in chronological order (following the classical division of historical ages), the main events (*births*) concerned to the physical concepts, which will be presented in separated subjects. For that, basically, we use the data that we gather in our four books **Crônicas da Física** (EUFPA: 1987, 1990, 1992, 1994) and in the references therein.

Idade Moderna: Eletricidade e Magnetismo

Primeira Metade do Século 19 (1801-1850)

Em 1801, o físico italiano Alessandro Giuseppe Volta (1745-1827) demonstrou em Paris, para o general francês Napoleão Bonaparte (1769-1821), Imperador da França, o funcionamento da **pilha** ou **bateria elétrica** que havia inventado em 1800. Em consequência dessa demonstração, Napoleão o fez Conde e Senador do reino da Lombardia.

Entre 1801 e 1804, o químico francês Charles Bernard Desormes (1777-1862) construiu as primeiras pilhas secas, compostas de discos metálicos separados por uma pasta de sal.

Em 1802, o jurista italiano Gian Domenico Romagnosi (1761-1835) relatou na *Gazetta di Trento*, uma experiência na qual havia observado uma relação entre o “fluido galvânico” e o magnetismo.

Em 1803, o químico e físico inglês William Hyde Wollaston (1766-1828) isolou o elemento químico **paládio (Pd)**, usando uma bateria elétrica. (Aliás, registre-se que foi Wollaston o primeiro a demonstrar a

origem elétrica da corrente produzida nas baterias.)

Em 1804, Wollaston isolou o elemento químico **ródio (Rh)**, usando uma bateria elétrica.

Em 1805, o físico francês Jean Nicolas Pierre Hachette (1769-1834) e Desormes, realizando experiências distintas, tentaram, sem êxito, verificar se uma pilha voltaica, isolada e suspensa livremente, seria orientada pelo magnetismo terrestre, como acontece com uma bússola.

Em 1807, o químico inglês Sir Humphry Davy (1778-1829) isolou os elementos químicos **potássio (K)** e **sódio (Na)**, fazendo passar uma corrente elétrica (gerada por uma bateria de 250 placas) através da potassa e da soda.

Em 1807, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) tentou, sem êxito, realizar experiências com as quais procurava descobrir relações entre a eletricidade e o magnetismo.

Em 1808, Davy isolou o **bário (Ba)**, o **estrôncio (Sr)**, o **cálcio (Ca)** e o **magnésio (Mg)**.

Em 1808, o químico inglês John Dalton (1766-1844) publicou o livro intitulado *New System of Chemical Philosophy (Novo Sistema de Filosofia Química)* no

qual afirmou que na Natureza existem átomos invisíveis e imutáveis, e que todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos, e que vários átomos se podem reunir para formar um “átomo composto”. Ainda nesse livro, Dalton a apresentou sua famosa **Lei das Proporções Múltiplas**, logo 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 números inteiros como razões entre elas”.

Em 1809, o químico francês Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) enunciou a **Lei dos Volumes** logo conhecida como **Lei de Gay-Lussac**: - “Se os gases A e B se combinam para formar um composto C, os três volumes relativos podem ser representados por números inteiros”. Contudo, essa lei apresentava uma aparente contradição, qual seja, a de que, os gases ao se combinarem, parecia, algumas vezes, que ocupavam menos espaço. Por exemplo, experimentalmente se observava que quando dois volumes de hidrogênio (H) e um de oxigênio (O) se combinavam para formar vapor d’água, este ocupava um volume menor do que o H e o O ocupavam separadamente, isto é, dois volumes de H mais um volume de O resultava em dois volumes de vapor d’água.

Em 1809, Davy isolou os metais alcalinos-terrosos.

Em 1811, no *Journal de Physique* 73, o físico e químico italiano Amedeo Avogadro (Conde de Quaregna e de Cerreto) (1776-1856) registrou o resultado de suas experiências das quais concluiu haver uma distinção entre átomo e molécula. Para chegar a essa conclusão, Avogadro observou que se dois volumes de hidrogênio (H) combinam-se com um volume de oxigênio (O), a densidade relativa do vapor d’água formado seria de 17. No entanto, a experiência indicava que essa densidade valia 8,5. Ora, segundo a lei de Gay-Lussac (1809), os três volumes considerados se condensavam em dois volumes de vapor d’água e não apenas em um volume. Portanto, concluiu Avogadro, a lei de Gay-Lussac deveria ser relacionada com moléculas ao invés de volumes. Assim, para Avogadro, na reação indicada acima, deveríamos ter: 2 moléculas de H combinam-se com 1 molécula de O para formar 2 moléculas de vapor d’água (na atual notação): $2\text{H}_2 + 1\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$. Assim, estendendo esse raciocínio a outras combinações químicas que satisfazem à lei de Gay-Lussac, Avogadro foi levado a formular sua hipótese, a hoje famosa **hipótese de Avogadro**: - “Sob as mesmas condições de pressão e de temperatura, volumes iguais de todos os átomos contém o mesmo número de moléculas”.

Em 1813, nos *Commentationes societatis scientiarum Gottingensis recentiores 2*, o matemático e físico alemão Johann Friedrich Karl Gauss (1777-1855) publicou um trabalho no qual demonstrou um teorema envolvendo integrais de superfície e de volume, segundo o qual, na linguagem atual, o fluxo de um vetor através de uma superfície que envolve um determinado volume pode ser calculado através da integral de volume da divergência daquele vetor, isto é: $\oint_S \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_V \nabla \cdot \vec{F} dV$. Gauss chegou a esse teorema estudando a atração gravitacional entre corpos.

Em 1813, no *Nouveau Bulletin de la Société Philomatique de Paris 3*, o matemático francês Siméon Denis Poisson (1781-1842) publicou um trabalho no qual estendeu a equação formulada pelo físico e matemático francês Pierre Simon, Marquês de Laplace (1749-1827), em 1787 - $\Delta V = 0$ -, com o objetivo de estudar os potenciais gravitacionais no interior dos próprios corpos geradores desses potenciais. Na notação atual, essa extensão é a seguinte: $\Delta V = -4\pi\rho$, onde ρ é a densidade daqueles corpos.

Em 1814, o químico sueco Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) introduziu a nomenclatura moderna dos elementos químicos, usando as primeiras letras de seus nomes grego ou latino, como, por exemplo: cobre - Cu (**Cuprum**, latino); ouro - Au (**Aurum**, latino); magnésio - Mg (**Magnese**, grego); fósforo - P (**Phosphorus**, grego); etc.

Em 1814, o físico francês André Marie Ampère (1775-1836) foi o primeiro a propor que o átomo era constituído de partículas subatômicas na tentativa de explicar o elemento químico, proposto pelo físico e químico inglês Robert Boyle (1627-1691), em 1661.

Em 1817, o abade e mineralogista francês René Just Haüy (1743-1822) descobriu que o espato calcário se eletrizava quando comprimido. Foi, portanto, a primeira observação do fenômeno mais tarde conhecido como **piezo-eletricidade**.

No inverno europeu de 1819-1820, Oersted ministrou na Universidade de Copenhague um curso sobre *Eletricidade, Galvanismo e Magnetismo*. Durante esse curso, Oersted realizou experiências nas quais procurou encontrar uma relação entre eletricidade e magnetismo, examinando o que acontecia com uma agulha magnética ao ser colocada perpendicularmente ao fio condutor do circuito galvânico utilizado. No entanto, não registrou nenhum movimento perceptível da agulha. Porém, ao término de uma aula noturna daquele curso, no começo de Abril de 1820, ocorreu-lhe a idéia de colocar o fio condutor paralelamente à direção da agulha; aí, então,

percebeu uma razoável deflexão dessa agulha, e a procurada relação entre o magnetismo e o galvanismo estava então descoberta. Esse fato foi relatado ao físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867), em carta escrita pelo físico holandês Christopher Hansteen (1784-1873), então assistente de Oersted. (É interessante notar que no início do Século XIX, era hábito distinguir o estudo da **eletricidade estática** do estudo das correntes elétricas. Os primeiros estudos do movimento de cargas elétricas foram feitos pelo fisiologista italiano Luigi Galvani (1737-1798), em 1786. Em vista disso, Volta denominou de **galvanismo** ao estudo da eletricidade dinâmica.)

Em 1820, os físicos alemães Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857) e Johann Christian Poggendorff (1796-1877) inventaram, independentemente, o **Multiplicador** ou **Galvanômetro de bobina fixa**.

Em 1820, Faraday tentou, sem sucesso, observar a ação do magnetismo sobre a luz.

Em Julho de 1820, Oersted comunicou à Academia Francesa de Ciências o resultado de suas experiências nas quais descobriu o efeito magnético da corrente elétrica. Nessas experiências, Oersted observou que a corrente elétrica produzida por uma pilha voltaica, fazia com que a agulha magnética de uma bússola sofresse um desvio, orientando-se normalmente ao circuito por onde circulava esse tipo de corrente. Nesse mesmo ano de 1820, Oersted reuniu suas experiências sobre o efeito magnético da corrente elétrica no livro intitulado *Experimenta circa effectum Conflictus Electrici in Acum Magnetica*, Hafniae, Schultz, e nos *Annales de Chimie et de Physique 14(2)*. Observe-se que nos *Annals of Philosophy 16 (1820)*, Oersted registrou o resultado de novas experiências sobre o efeito magnético da corrente elétrica. Nelas, analisou, de modo apenas qualitativo, que a lei de ação e reação newtoniana permanecia válida para explicar a força entre o fio condutor e o ímã.

Em 4, 11 e 25 de Setembro de 1820, o físico francês Dominique François Jean Arago (1786-1853) comunicou à Academia Francesa de Ciências os resultados de suas experiências sobre os efeitos magnéticos da corrente elétrica que haviam sido observados por Oersted. (Aliás, observe-se que Arago teve conhecimento dessas experiências quando se encontrava em Genebra, e lá, presenciou experiências análogas realizadas pelos físicos suíços Marc Auguste Pictet (1752-1825) e Auguste de la Rive (1801-1873).) Nas experiências realizadas por Arago, em França, constatou que um fio de cobre, no qual circulava uma corrente galvânica (voltaica), atuava com um ímã, já que era capaz de atrair limalhas de

ferro não imantadas. Além disso, notou que esse mesmo tipo de corrente podia imantar uma agulha de aço, bem como amortecer as oscilações de uma agulha imantada quando esta se situava sob um fio de cobre no qual circulava uma corrente galvânica. O resultado dessas experiências foi publicado nos *Annales de Chimie et de Physique 15(2) (1820)*.

Em 18 e 25 de Setembro de 1820, Ampère comunicou à Academia Francesa de Ciências os resultados de suas experiências sobre os efeitos magnéticos da corrente elétrica que haviam sido observados por Oersted. Nessas experiências, Ampère percebeu a distinção clara entre **tensão elétrica**, responsável por efeitos eletrostáticos, e **corrente elétrica**, a que provocava os efeitos magnéticos observados por Oersted. Além disso, dessas experiências, Ampère obteve importantes resultados, tais como: a existência da força entre fios condutores paralelos, que é atrativa se os mesmos conduziam correntes no mesmo sentido, e repulsiva, se forem de sentidos contrários; o comportamento de uma bobina circular de fio metálico como se fosse um ímã comum, sempre que por ela circulasse uma corrente elétrica; o comportamento de um fio enrolado na forma de espiral como se fosse uma barra imantada, ao qual deu o nome de **solenóide**. O resultado dessas experiências foi publicado nos *Annales de Chimie et de Physique 15(2) (1820)*. (É oportuno assinalar que Ampère denominou de **eletrostática** e **eletrodinâmica** ao estudo das cargas elétricas em repouso e em movimento, respectivamente.)

Em 30 de Outubro de 1820, os físicos franceses Jean Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841) comunicaram à Academia Francesa de Ciências a descoberta experimental que fizeram sobre a lei que permite calcular a intensidade do campo magnético criado por uma corrente elétrica que circula em um fio condutor. Segundo Biot e Savart, “a ação experimentada por um pólo magnético (austral ou boreal) quando colocado a uma certa distância de um fio no qual circula uma corrente voltaica, pode ser expressa da seguinte maneira: - Desenhe a partir do pólo considerado uma perpendicular ao fio; a força sobre esse pólo é perpendicular a esta linha e ao fio, e sua intensidade é proporcional ao inverso da distância”. (Essa proporcionalidade está errada, conforme foi visto mais tarde, já que depende do inverso do quadrado da distância.) Esse resultado (publicado nos *Annales de Chimie et de Physique 15 (1820)*) foi logo analisado, sendo então verificado que a força sobre o pólo magnético podia ser considerada como dividida em constituintes, cada um dos quais foi

considerado ser devido a um particular elemento de corrente no qual circula a corrente I . Na atual linguagem, essa força elementar (ou o campo magnético \vec{H}) é calculada pela expressão: $d\vec{F} = CI \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$, onde a constante C depende do sistema de unidades escolhido, e \mathbf{r} é a distância do elemento de corrente $d\vec{s}$ ao ponto onde é calculada a força.

Em 1821, o químico sueco Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) realizou experiências com fitas magnéticas condutoras para poder entender porque uma agulha imantada colocada sobre um fio condutor gira para um lado, e colocada sob esse fio gira no outro sentido. Desse modo, concluiu que cada secção reta da fita correspondia a dois finos ímãs com seus pólos em oposição. Nesse mesmo ano de 1821, Davy chegou a esse mesmo modelo de Berzelius em seus estudos sobre fenômenos eletromagnéticos, depois de, primeiramente, propor, sem sucesso, a idéia de que em cada secção reta do fio condutor, haveria um certo número de dipolos magnéticos formando um polígono. É interessante observar que essa idéia de Davy-Berzelius foi também, independentemente, proposta por Schweigger e Julius J. Precht, por volta de 1821. Schweigger, por exemplo, não concordava com a idéia do campo magnético circular proposto por Oersted-Ampère-Biot-Savart (1820), pois, se isso fosse verdade, aduziu Schweigger, um pólo magnético seria empurrado continuamente a seria levado a dar voltas em torno do fio condutor, sem parar. Como à época não se sabia que havia consumo de energia elétrica na bateria voltaica, pensou-se, desse modo, que a corrente galvânica percorrendo um circuito poderia produzir um “moto contínuo de primeira espécie”, o que não era aceitável pelo bom senso. Recorde-se que o **princípio da conservação da energia** só foi formulado pelo fisiologista e físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), em 1847.

Em 1821, Ampère fez uma observação (sem, contudo, considerá-la) de um fenômeno mais tarde reconhecido como **indução eletromagnética**.

Em 1821, o físico russo-alemão Thomas Johann Seebeck (1770-1831) observou que uma agulha magnética sofria uma deflexão quando colocada nas proximidades da junção de dois condutores, um de cobre e um de bismuto, desde que houvesse entre eles uma diferença de temperatura. Essa observação ficou conhecida como **efeito termoelétrico** ou **efeito Seebeck**.

Em 21 de Outubro de 1821, no *Quarterly Journal of Science*, Faraday publicou um artigo no qual registrou suas primeiras idéias sobre **linhas de força**. Ainda nesse artigo, registrou experiências nas quais havia conversão de energia elétrica em energia mecânica.

Entre 1821 e 1822, Faraday demonstrou que o modelo de Davy-Berzelius era incorreto, e passou a aceitar a hipótese oerstediana do campo magnético circular produzido por uma corrente elétrica e , como defesa dessa hipótese, apresentou o resultado de suas próprias experiências, dentre as quais destacava aquela em que um ímã exibia rotação em torno de um fio condutor.

Em 1822, Ampère apresentou a idéia de que o magnetismo natural era consequência de ser a substância magnética, no seu interior, composta de uma infinidade de correntes elétricas circulares diminutas (espiras). Afirmou ainda Ampère que as substâncias não-magnéticas tinham essas espiras orientadas ao acaso, de modo que seu efeito líquido era nulo. Tais correntes ficaram mais tarde conhecidas como **correntes amperianas**. (Observe-se que, por essa ocasião, o físico francês Augustin Jean Fresnel (1788-1827), em carta escrita a Ampère, sugeriu que essas “correntes” deveriam ser de dimensões moleculares e não macroscópicas.)

Em 1823, o físico inglês William Sturgeon (1783-1850) inventou o eletroímã.

Em 1823, nos *Annales de Chimie et de Physique* 22(2), Oersted descreveu uma experiência na qual confirmou a circularidade do campo magnético que havia observado em suas pesquisas de 1820. Nessa experiência, Oersted colocou um condutor vertical, conectado ao resto do circuito através de cubas de mercúrio colocadas em suas extremidades, de maneira que podia girar em torno de seu próprio eixo, se alterasse a corrente elétrica que percorria o circuito utilizado. Desse modo, colocando em sua proximidade uma agulha imantada, e girando o fio, Oersted demonstrou que todos os pontos da circunferência do condutor exercem uma ação igual sobre a agulha. Tal fato, concluiu Oersted, era compatível com a suposição de uma distribuição descontínua de pólos sobre a superfície do fio.

Em 1824, nas *Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France* 5, Poisson usou o modelo de dois fluidos magnéticos para calcular a intensidade do campo magnético em um ponto do exterior de um corpo magnético, caracterizado por um ente (I), chamado de **magnetização**, e que, mais tarde, foi visto tratar-se de um vetor. Para Poisson, o corpo magnético se comportava como constituído de distribuições superficial e volumétrica de magnetismo. Para explicar o magnetismo temporariamente induzido no ferro doce, e em outros metais magnetizáveis, Poisson considerou que em tais corpos há um grande número de pequenas esferas, que são perfeitamente condutoras para os fluidos magnéticos, de modo que a intensidade

magnética resultante no interior de cada uma delas é nula. Quando um desses corpos é colocado sob a ação de um campo externo magnetizante, este deve induzir um magnetismo no interior do mesmo. Essa explicação ficou conhecida como **lei do magnetismo induzido de Poisson**.

Em 1824, o físico escocês David Brewster (1781-1868) observou que corpos se eletrizam quando submetidos a uma variação de temperatura, como, por exemplo, a turmalina que passa a atrair cinzas quando aquecida. Foi, portanto, a primeira observação do fenômeno mais tarde conhecido como **piro-elétrico**.

Em 1824, Poisson estudou a **indução magnética** \vec{B} (na atual notação) por intermédio da teoria dos fluidos magnéticos.

De Janeiro a Julho de 1825, o físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) realizou uma série de experiências com circuitos elétricos cuja fonte era uma bateria de pilhas voltaicas. Inicialmente, entre os pólos da bateria, ligou sucessivamente condutores metálicos de mesmo diâmetro, porém de comprimentos diferentes. Para medir a quantidade de eletricidade que passava na secção reta dos condutores e na unidade de tempo - denominado por ele de **intensidade da corrente elétrica I** -, Ohm utilizou uma balança de torção montada em um **galvanômetro** (aparelho que havia sido inventado por Ampère, ainda em 1825), uma vez que o ângulo de torção registrado pela balança, era proporcional à I. Nessa série de experiências, Ohm observou que o comprimento do condutor era responsável por uma “perda de força” em relação a uma situação em que a bateria era ligada a um condutor curto e grosso. Em seguida, Ohm tomou condutores de vários comprimentos e demonstrou que, em certas condições (por exemplo, dimensões não muito grande dos condutores), existia uma relação linear entre a “perda de força” e o comprimento dos condutores. Observou mais ainda, que essa relação linear dependia de parâmetros que se relacionavam com a geometria e o tipo de material dos condutores, denominados por Ohm de **resistência elétrica R**. (É oportuno registrar que Ohm definia a “perda de força” como sendo a relação $\frac{L-I_0}{I_0}$, onde I representa a intensidade da corrente que circula no condutor de um certo comprimento e I_0 , a intensidade que circula num condutor curto e grosso, escolhido como padrão.) Esses primeiros trabalhos de Ohm foram publicados, em 1825, no *Journal für Chemie und Physik* 44 e nos *Annalen der Physik* 4.

Em 1825, Ampère preparou a *Mémoire sur la Théorie Mathématique des Phénomènes Electrodynamiques Uniquement Déduite de l'Expérience*

(*Memória sobre a Teoria matemática dos Fenômenos Eletrodinâmicos Unicamente Deduzida da Experiência*), na qual registrou novas experiências realizadas sobre o efeito magnético da corrente elétrica, obtendo resultados importantes. Por exemplo, estabeleceu a ação do campo magnético terrestre sobre as correntes elétricas. Para medir tal efeito, construiu um aparelho baseado na deflexão da agulha magnética, denominando-o **galvanômetro**. Por outro lado, para indicar a direção que tomaria uma agulha imantada colocada nas proximidades de um fio condutor, Ampère idealizou uma regra - hoje conhecida como **regra da mão direita de Ampère** - segundo a qual a deflexão da agulha tomaria a direção dos dedos dobrados da mão direita, quando esta segurasse o fio condutor, desde que mantivesse o polegar na direção da corrente elétrica.

Em Dezembro de 1825, Ohm realizou novas experiências com circuitos elétricos, obdecendo sugestões que foram feitas por Poggendorff, editor dos *Annalen der Physik*. Este, ao ler o trabalho de Ohm no qual se referia a uma diminuição da “perda de força” devida a uma possível variação na solução salina da pilha “hidroelétrica” usada por Ohm, sugeriu, em nota editorial, que o mesmo refizesse suas experiências com uma pilha mais estável, indicando, então, o **termopar** que havia sido inventado por Seebeck, em 1821. Desse modo, Ohm refez suas experiências realizadas entre Janeiro e Julho de 1825, usando um termopar de cobrebismuto ao invés de uma pilha voltaica. Em consequência das mesmas, chegou ao seguinte resultado: - “A **força eletromotriz** atuando entre as extremidades de qualquer parte de um circuito é o produto da **intensidade da corrente** e da **resistência** daquela parte do circuito”. Ainda com relação a esse resultado, Ohm afirmou que o mesmo só era válido quando a temperatura do condutor fosse mantida constante. Esclareça-se que Ohm introduziu o conceito de força eletromotriz para substituir e aclarar a idéia de **tensão** que o cientista e estadista norte-americano Benjamin Franklin (1706-1790) havia introduzido em seus trabalhos sobre a garrafa de Leiden, realizados entre 1747 e 1748. O conceito correto, qual seja, o de **diferença de potencial V** só foi introduzido em 1828, pelo matemático inglês George Green (1793-1841).

Em 1826, Ohm publicou no *Journal für Chemie und Physik* 46 e nos *Annalen der Physik* 6, o resultado de suas experiências com “circuitos galvânicos” alimentados por um termopar, realizadas em Dezembro de 1825.

Em 1826, nos *Annales de Chimie et de Physique* 32, o físico francês Dominique François Jean Arago (1786-

1853) registrou a experiência que realizou na qual um disco de cobre em rotação era capaz de afetar uma agulha magnética colocada em suas proximidades. Este fenômeno foi explicado por Arago por intermédio de sua teoria do “magnetismo de rotação”, ou seja, por uma magnetização induzida pelo disco em rotação.

Em 1827, na *Enciclopédia de Edinburg*, Oersted discutiu as críticas apresentadas à sua idéia de rotações magnéticas em torno de um fio condutor, apresentada em 1823.

Em 1827, o físico francês Antoine César Becquerel (1788-1827) observou que o antimônio, flutuando em um pequeno recipiente contendo água ou mercúrio, era repellido pelos pólos de um ímã.

Em 1827, Ohm publicou o livro intitulado *Die Galvanische Kette Mathematisch Bearbeitet (O Circuito Galvânico Matematicamente Analisado)*, no qual descreveu suas experiências realizadas com “circuitos galvânicos”, desde Janeiro de 1825. Nesse livro, além dos resultados obtidos em 1825, Ohm descreveu novas experiências nas quais estudou a condutividade dos condutores, assim como as relações entre correntes e resistências associadas em série e em paralelo. Também nesse livro, Ohm apresentou sua célebre lei: - “A força eletromotriz(tiva) (E) atuando entre as extremidades de qualquer parte de um circuito é igual ao produto da intensidade da corrente elétrica (I) e da resistência (R) daquela parte do circuito - $E = IR$.” (Hoje, E é representada por V , e significa **diferença de potencial**.)

Em 1827, Ampère transformou a *Mémoire* escrita em 1825, no famoso livro intitulado *Théorie Mathématique des Phénomènes Electrodynamiques Uniquement Dédit de l'Expérience (Teoria Matemática dos Fenômenos Eletrodinâmicos Unicamente Deduzida da Experiência)*.

Em 1828, o matemático russo Michel Ostrogradsky (1801-1861) comunicou à Academia de Ciências de São Petersburgo, um trabalho no qual demonstrou um teorema matemático envolvendo integrais de superfície e de volume, segundo o qual, na linguagem atual, o fluxo de um vetor através de uma superfície que envolve um determinado volume pode ser calculado através da integral de volume da divergência daquele vetor: $\oint_S \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_V \nabla \cdot \vec{F} dV$. Observe-se que esse resultado é hoje conhecido como o **Teorema de Gauss-Ostrogradsky** ou **Teorema da Divergência**, pois Gauss, em 1813, já havia obtido um resultado análogo ao mesmo.

Em 1828, o físico e filósofo alemão Gustav Theodor Fechner (1801-1887) propôs o modelo de que o átomo consistia de uma parte central massiva que atraía gravi-

tacionalmente uma nuvem de partículas quase imponderáveis.

Em 1828, o matemático inglês George Green (1793-1841) publicou o livro intitulado *Essay on the application of mathematical analysis to the theory of electricity and magnetism (Ensaio sobre a aplicação da análise matemática à teoria da eletricidade e do magnetismo)*. Nesse livro, que teve uma circulação apenas privada, Green demonstrou o importante teorema relacionando integrais de volume e de superfície através, respectivamente, dos operadores laplaciano e gradiente. Na notação atual, esse **Teorema de Green**, tem a seguinte representação: $\oint_S (\alpha \nabla \phi - \phi \nabla \alpha) \cdot d\vec{S} = \int_V (\alpha \Delta \phi - \phi \Delta \alpha) dV$. Ainda nesse livro, Green usou a expressão **função potencial** para representar a função por Laplace, no primeiro volume de sua *Mécanique Céleste (Mecânica Celeste)*, publicado em 1799. Essa função V , segundo Laplace, obedecia à equação (na notação atual): $\Delta V = 0$.

Em 1829, o físico norte-americano Joseph Henry (1797-1878) aperfeiçoou o eletroímã que Sturgeon havia construído em 1823, ao observar que o enrolamento excessivo de fios provocava contatos e, conseqüentemente, curto-circuitos. Assim, isolando os fios em tiras de seda conseguiu construir eletroímãs potentes.

Em 1830, Sturgeon conseguiu inventar uma pilha de vida mais longa através de amalgamento, isto é, misturando mercúrio à placa de zinco das pilhas voltaicas.

Em 1830, Gauss desenvolveu sua teoria do campo magnético terrestre, na qual considerou o pólo magnético norte (boreal) da Terra como situado no arquipélago chamado Passo do Noroeste.

Em Agosto de 1830, Henry fez uma experiência incompleta sobre o fenômeno da indução eletromagnética. No entanto, como ele só trabalhava nas férias de verão, ele deixou para completar essa experiência no outro ano, em 1831. Nesse intervalo, Faraday divulgou a descoberta desse fenômeno.

Em 1^o de Junho de 1831, o oficial naval inglês Sir James Clark Ross (1800-1862) descobriu o pólo magnético norte (boreal) terrestre, nas proximidades da costa ocidental da Boothia.

Em 1831, nas *Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de Saint-Petersbourg 1 (16)*, foi publicado o trabalho de Ostrogradsky apresentado à Academia de Ciências de São Petersburgo, em 1828.

Em 1831, Henry construiu um eletroímã na Universidade de Yale, com o qual levantou uma carga de uma tonelada de ferro, superando, desse modo, os eletroímãs construídos por Sturgeon, em 1823, que só levantavam

cargas de cinco quilos de ferro. Nesse mesmo ano, Henry descobriu o princípio do **motor elétrico** ao converter energia elétrica em energia mecânica.

Em 1831, Fechner publicou o trabalho intitulado *Determinação da Massa da Cadeia Galvânica* no qual confirmou os resultados obtidos por Ohm, em 1825.

Em 1831, Hypolite Pixii observou pela primeira vez a **corrente alternada**, ao fazer girar um ímã permanente, em forma de ferradura, entre duas bobinas fixas.

Em 1831, o físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867) realizou uma experiência na qual mostrou que para produzir uma corrente elétrica, devido à presença de um ímã, era necessário que o mesmo se deslocasse na região onde se encontrava o fio condutor. Observou mais ainda que uma corrente variável, passando por uma bobina, provocava o aparecimento de uma corrente transitória em uma bobina colocada nas imediações da primeira. A esse fenômeno Faraday deu o nome de **indução eletromagnética**. Também nesse ano de 1831, Faraday inventou o **dinamo**, uma pequena máquina que poderia converter força mecânica em força elétrica.

Em 1832, Gauss demonstrou que algumas unidades físicas, por exemplo, o comprimento (milímetro - **mm**), a massa (milígrama - **mg**) e o tempo (segundo - **s**) poderiam ser escolhidas como fundamentais, já que essas unidades físicas deveriam ser preservadas e facilmente reproduzidas. Ainda nesse mesmo ano de 1832, Gauss foi o primeiro a formular um sistema de unidades magnéticas, a partir de unidades mecânicas.

Em 1832, Henry descobriu o fenômeno de **auto-indução**, isto é, uma corrente elétrica variável em uma bobina pode criar uma corrente em si mesma.

Em 1832, Faraday publicou uma parte do livro intitulado *Experimental Researches in Electricity (Pesquisas Experimentais em Eletricidade)* no qual registrou os resultados das experiências que havia realizado até então. Um desses resultados, foi a explicação da magnetização induzida em um disco em rotação, observada por Arago, em 1826, como decorrente de correntes elétricas surgidas no disco. Registre-se que Faraday levou 23 anos até considerar concluído esse livro.

Em 1833, Faraday realizou experiências nas quais estudou a ação química da eletricidade. Nelas, observou que na passagem de uma corrente elétrica através de soluções de nitrato de prata, sulfeto de cobre e cloreto de alumínio, os metais de tais soluções se depositavam nas barras metálicas introduzidas nessas soluções. A esse efeito, Faraday deu o nome de **eletrólise**, e enunciou suas leis: - “A massa da quantidade de metal depositada nas barras metálicas e a quantidade de

eletricidade que passa por cada solução, são proporcionais”; “A massa de uma substância liberada por uma certa quantidade de eletricidade é proporcional ao peso atômico do elemento liberado e inversamente proporcional à sua valência”. (Observe-se que as barras metálicas utilizadas por Faraday, foram mais tarde denominadas de **eletrodos: anodo (+) e catodo (-)** pelo filósofo inglês William Whewell (1794-1866).) Ainda nesse mesmo ano de 1833, Faraday foi um dos primeiros cientistas (nome cunhado por Whewell, em 1834) a fazer experiências sobre descarga elétrica nos gases rarefeitos. Nelas, observou que “a rarefação do ar favorece extremamente fenômenos de incandescência”.

Em 1833, nas *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, o físico inglês Samuel Hunter Christie (1784-1865) descreveu um dispositivo prático para determinar a resistência elétrica de um condutor, ao qual denominou de **arranjo diferencial**.

Em 1833, o matemático inglês Robert Murphy (? -1843) publicou o livro intitulado *Elementary Principles of the Theories of Electricity, Heat and Molecular Actions (Princípios Elementares das Teorias da Eletricidade, Calor e Ações Moleculares)*. Nesse livro, ele demonstrou que qualquer função poderia ser expandida em termos dos polinômios de Legendre (na atual notação: $f(x) \sim \sum_{n=1} a_n P_n(x)$), bem como apresentou a notação Δ para representar o operador laplaciano: $\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$.

Em Novembro de 1833, o físico germano-russo Heinrich Friedrich Emil (Emil Khristianovich) Lenz (1804-1865) comunicou à Academia de Ciências de São Petersburgo um trabalho no qual relatou suas experiências sobre fenômenos eletromagnéticos e eletrotérmicos, trabalho esse que foi publicado nas *Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de Saint-Petersbourg 2 (1833)*. Nessas experiências, Lenz observou que a corrente de auto-indução (observada por Henry, em 1832) tem sentido contrário àquela que a criou, ou seja, que os efeitos de uma corrente induzida por forças eletromagnéticas sempre se opõem a essas mesmas forças. Esse resultado é hoje conhecido como a **lei de Lenz**. Observe-se que para chegar a esse resultado, Lenz utilizou as ações mecânicas entre os circuitos, e analisou-as por intermédio das leis da Mecânica, apresentadas no livro intitulado *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural)*, escrito pelo físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727), em 1687. Ainda como resultado dessas experiências, Lenz descobriu que a resistência de um fio metálico variava com a temperatura.

Em 1834, Whewell publicou o livro intitulado *History of the inductive sciences*, no qual ele cunhou o termo **cientista**.

Em 1834, Faraday confirmou o fenômeno da auto-indução que havia sido observada por Henry, em 1832.

Em 1834, o físico francês Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845) observou que uma junção de dois metais (bismuto e cobre) se tornava mais quente quando era percorrida por uma corrente elétrica em um certo sentido, e se esfriava, quando esse sentido era invertido, constituindo-se em um **efeito eletrotérmico** (mais tarde conhecido como **efeito Peltier**).

Em 1836, o inventor norte-americano Samuel Finley Breese Morse (1791-1872) fez a primeira tentativa (com certo êxito) de emitir sinais por meio da eletricidade, partindo da idéia básica de que um circuito elétrico estabelecido ou interrompido em um determinado ponto, é igualmente estabelecido ou interrompido nos demais pontos do circuito.

Em 1836, o químico inglês John Frederic Daniell (1790-1845) aumentou a vida média das pilhas voltaicas, separando com uma membrana, os seus elementos de cobre e zinco.

Em 1837, o físico francês Claude Servais Mathias Pouillet (1790-1868) realizou experiências com circuitos elétricos e geradores obtendo, basicamente, os mesmos resultados de Ohm, porém, com uma contribuição adicional, já que incluiu a resistência interna r dos geradores. Hoje, a **lei de Ohm-Pouillet** é expressa da seguinte maneira: $I = \frac{E}{R + r}$.

Em 1837, Faraday incluiu novas informações em seu *Experimental Researches*, escrito em 1832, como, por exemplo, a de que a capacidade de armazenamento da carga elétrica de um capacitor não depende somente da geometria de suas placas (armaduras), mas, também, da natureza do material isolante, ou **dielétrico**, nas próprias palavras de Faraday, que é colocado entre elas. Nessa ocasião, introduziu o conceito de **polarização elétrica**.

Em 1837-1838, Gauss inventou o **magnetômetro unifilar** e o **magnetômetro bifilar**.

Em 1838, Faraday observou a figura formada por limalhas de ferro numa folha de papel ou lâmina de vidro, sob a qual colocava um ímã (figura que havia sido observada pelo erudito francês Petrus Peregrinus de Maricourt (c.1240- ?), em 1269). Para explicar essa figura, Faraday passou a visualizar as forças magnéticas e elétricas como uma espécie de “tubos de borracha” que se estendem a partir dos fios condutores, ou de ímãs, ou de corpos eletrizados, tubos esses que receberam dele a denominação de **linhas de força**, cujas

primeiras idéias sobre as mesmas ele as havia tido em 1821. No caso das forças magnéticas, a visualização dessas linhas poderia ser feita através das limalhas de ferro, porém, no caso das forças elétricas, a visualização era mais difícil de ser realizada experimentalmente. Para Faraday, essa visualização seria através da “polarização elétrica” do meio. Como essas linhas deveriam encher completamente o espaço, este, segundo Faraday, passava a constituir-se um **campo de forças**. Assim, segundo essa idéia de linhas e de campos, Faraday explicou o aparecimento de uma corrente elétrica induzida toda a vez que um tubo de força magnética cortava um fio condutor e, inversamente, que o movimento de tubos de força elétrica fazia aparecer **campos magnéticos**. (Esse termo só recebeu essa denominação, por parte de Faraday, em 1845.) Desse modo, Faraday completou a grande síntese matemática newtoniana, substituindo a “ação à distância”, pela “ação de campo”. Observe-se que, ainda em 1838, Faraday observou uma região escura próxima ao anodo de um tubo rarefeito, região essa posteriormente conhecida como **região escura de Faraday**.

Em 1838, Morse estabeleceu um código - o famoso **código Morse** - constituído de pontos (.) e traços (-) para emitir sinais através do **telégrafo com fio**.

Em 1839, o físico inglês William Robert Grove (1811-1896) inventou uma pilha elétrica envolvendo o hidrogênio e o oxigênio.

Em 1839, Gauss preparou o trabalho intitulado *Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossung-kräfte* (*Teoremas Gerais sobre as Forças Atrativas e Repulsivas as Quais Atuam de Acordo com o Inverso do Quadrado da Distância*), no qual incluiu a lei de Michell(1750)-Coulomb(1785), referente às forças elétricas e magnéticas, junto com a gravitação, num tratamento matemático geral da lei do inverso do quadrado da distância.

Em 1841, na *Philosophical Magazine 19*, o físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) publicou um trabalho intitulado *Sobre a Produção do Calor por Eletricidade*, no qual demonstrou que o calor dissipado por um fio condutor em um dado intervalo de tempo, era proporcional ao produto de sua resistência, pelo quadrado da intensidade de corrente que circula no mesmo.

Em 1841, o químico alemão Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) inventou uma pilha elétrica de carbono e zinco.

Em 1841, Ross chegou perto do pólo magnético

sul (austral) terrestre. (É importante frisar que esse pólo só foi oficialmente descoberto em 16 de Janeiro de 1909, pelo geólogo inglês Sir Tannatt William Edgeworth David (1858-1934).)

Em 1843, nas *Philosophical Transactions of the Royal Society of London 133*, o físico inglês Sir Charles Wheatstone (1802-1875) publicou um trabalho no qual descreveu um dispositivo prático para medir a resistência elétrica de um condutor, e que ficou conhecido como **ponte de Wheatstone**.

Em 1844, Faraday preparou o trabalho intitulado *Speculation Touching Electrical Conduction and the Nature of Matter (Especulação sobre Condução Elétrica e a Natureza da Matéria)*, no qual utilizou a teoria atômica proposta pelo físico, matemático e astrônomo italiano Roger Joseph Boscovich (1711-1787), em 1758, para explicar a condução e a não-condução da eletricidade através de corpos materiais. (Para Boscovich, o átomo se comportava como o centro de forças que variavam com a distância ao seu centro, sendo repulsivas ou atrativas, conforme essa distância fosse pequena ou grande, respectivamente.)

Em 6 de Agosto de 1845, o matemático e físico escocês William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907) escreveu uma longa carta a Faraday na qual descrevia seu tratamento matemático das “linhas de força faradayanas”. No final da carta, havia uma série de sugestões sobre experiências que deveriam ser realizadas com o propósito de testar a teoria de Faraday. Numa dessas sugestões, ele indicou a possibilidade de Faraday observar a ação do magnetismo sobre a luz plano-polarizada.

Em 13 de Setembro de 1845, Faraday observou pela primeira vez a ação do magnetismo sobre a luz plano-polarizada. Com efeito, colocando um vidro rombóide de alto índice de refração entre os pólos de um forte eletroímã, constatou que o vidro procurava se orientar perpendicularmente ao campo magnético. Por outro lado, fazendo passar por esse mesmo vidro um raio de luz plano-polarizada, paralelamente às linhas de força do campo magnético, Faraday descobriu que o plano de polarização da luz era rodado; descobriu, também, que o ângulo de rotação era diretamente proporcional à intensidade do campo magnético. Esse fenômeno - que ficou conhecido como **efeito Faraday** - sugeriu-lhe a idéia de que o campo magnético não poderia estar apenas confinado no ferro, níquel e cobalto (como já era conhecido) e sim, em toda a matéria. Na continuação de suas experiências, ainda em 1845, no sentido de confirmar essa tese, verificou que nem todos os corpos reagem da mesma maneira na presença de um campo magnético. Alguns deles, como por exemplo o ferro,

conduzem bem o campo magnético, fazendo convergir as linhas de força desse campo através de si próprio. A esse grupo de substâncias denominou de **paramagnéticas**. Por outro lado, outros corpos, dentre os quais se encontram o bismuto e o antimônio, são pobres condutores de campo magnético, divergindo suas linhas de força através de si mesmos: tais corpos receberam de Faraday a denominação de **diamagnéticos**. É oportuno dizer que foi por essa ocasião que Faraday cunhou o termo **campo magnético**.

Entre 1845 e 1847, o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) realizou uma série de experiências com redes (conjunto de malhas) elétricas, quer planas, quer espaciais. Nessas experiências, ao aplicar as leis de conservação da carga e da energia elétricas, chegou, respectivamente, às hoje conhecidas **leis de Kirchhoff**: LEI DOS NÓS - “Em um nó (intersecção de dois ou mais condutores), a soma das correntes elétricas que chegam até ele, é igual a soma das correntes que dele saem”; LEI DAS MALHAS - “Em uma malha (conjunto de baterias e resistências) a soma das forças eletromotrizes das baterias é igual a soma das quedas de potencial ou voltagem nas resistências”.

Entre 1845 e 1847, o físico alemão Franz Ernst Neumann (1798-1895) trabalhou na formulação matemática da lei da indução eletromagnética. Nesse trabalho, Neumann demonstrou que a **força eletromotriz induzida** em um dado circuito, é igual à variação temporal do fluxo magnético que o atravessa. Ainda por essa ocasião, Neumann mostrou que a magnetização \vec{I} e o campo elétrico \vec{H} são relacionados pela expressão: $\vec{I} = k\vec{H}$, onde **k** é o chamado **coeficiente de magnetização por indução de Neumann**.

Em 1846, o físico alemão Johann Christian Poggenдорff (1796-1877) apresentou a solução matemática para o circuito elétrico, inventado por Wheatstone, em 1843.

Em 1846, o físico alemão Wilhelm Eduard Weber (1804-1891) publicou o livro intitulado *Electrodynamic Measurements (Medidas Eletrodinâmicas)*, no qual propôs o sistema de unidades elétricas.

Em 1847, nas *Leipzig Berichte 1*, Weber tentou explicar as propriedades **dia** e **paramagnéticas** de alguns corpos usando as correntes amperianas. Assim, para explicar o diamagnetismo (no qual a polarização magnética induzida nos corpos por um campo magnético externo, é contrária à direção deste), Weber postulou a existência de circuitos moleculares amperianos nos quais a resistência ohmica é nula (porém não o é sua auto-indução), de modo que um campo

magnético externo causa correntes induzidas nesses circuitos. No entanto, embora o fluxo magnético através dos circuitos moleculares permaneça nulo, as correntes induzidas, cujas direções são dadas pela **lei de Lenz** (1834), explicam o diamagnetismo. Essa explicação, contudo, apresentava dificuldades, uma vez que, segundo a mesma, *todos* os corpos seriam diamagnéticos. Weber admitiu que no ferro e nas outras substâncias magnéticas existiam correntes moleculares permanentes cujos planos eram orientados pelo campo magnetizante externo. Tais correntes assim orientadas, tinham sentido contrário às correntes induzidas pelo fenômeno do diamagnetismo. Portanto, o efeito resultante seria o paramagnetismo. Assim, para Weber, as substâncias paramagnéticas seriam aquelas para as quais o paramagnetismo seria forte o bastante para mascarar o diamagnetismo.

Em 1847, o fisiologista e físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) publicou o ensaio intitulado *Essay on the Conservation of Force* (*Ensaio sobre a Conservação da Força*) no qual demonstrou que as correntes elétricas induzidas poderiam ser matematicamente deduzidas das descobertas de Oersted e de Ampère, feitas em 1820, pela aplicação do Princípio da Conservação da Energia.

Em 1848, o físico francês Auguste Bravais (1811-1863) demonstrou que existem 14 configurações tridimensionais de pontos no espaço capazes de descrever o arranjo ordenado de átomos em um cristal. Cada ponto representa um ou mais átomos em um cristal real; além do mais, Bravais considerou que esses pontos são ligados por linhas formando uma rede do cristal. Essa rede é constituída de um número de idênticos blocos ou **células unitárias**, característica do que mais tarde ficou conhecida como **redes de Bravais**. Essas redes são divididas em 7 tipos de sistemas cristalinos simétricos: isométrico, ortorômbico, monoclinico, tetragonal, triclínico, hexagonal e romboédrico ou trigonal. Além do mais, Bravais demonstrou que os pontos da rede são raízes da equação: $\text{sen}^2(\frac{\pi\epsilon}{a}) + \text{sen}^2(\frac{\pi\eta}{b}) +$

$\text{sen}^2(\frac{\pi\zeta}{c}) = 0$, onde ϵ , η e ζ são coordenadas espaciais referidas a um sistema oblíquo de três eixos, cujos vetores fundamentais são: \vec{a} , \vec{b} e \vec{c} .

Entre Junho de 1849 e Julho de 1850, William Thomson (Kelvin) completou seus estudos matemáticos do magnetismo, iniciados em 1847, principalmente os relacionados com o cálculo da força magnética sobre “pólos magnéticos” situados no centro de várias formas de cavidades feitas ficticiamente no interior de materiais magnéticos. Foi ainda por essa ocasião que Thomson apresentou a famosa relação entre os vetores (na linguagem de hoje) **indução magnética** \vec{B} , **campo magnético** \vec{H} e **magnetização** \vec{I} : $\vec{B} = \vec{H} + 4\pi\vec{I}$. Aliás, é oportuno destacar que Thomson distinguiu os dois vetores \vec{B} e \vec{H} , para os quais chamou de **força magnética de acordo com a definição eletromagnética** e **força magnética de acordo com a definição polar**, respectivamente. Ainda nessas pesquisas, Thomson introduziu a **suscetibilidade magnética** χ para representar a relação entre \vec{H} e \vec{I} ($\vec{I} = \chi\vec{H}$) e a **permeabilidade magnética** μ para representar a relação entre \vec{B} e \vec{H} ($\vec{B} = \mu\vec{H}$). (Registre-se que foi o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) quem denominou de **indução magnética** \vec{B} e de **força magnética** \vec{H} .)

Em 1850, no *Journal für Mathematik* 39, foram publicadas as idéias matemáticas sobre a função potencial apresentadas por Green, em seu livro *Essay on the application of mathematical analysis to the theory of electricity and magnetism*, escrito em 1828. Essa publicação foi uma iniciativa de William Thomson (Kelvin), depois de tomar conhecimento do mesmo, em 1846.

Em 1850, nas *Mémoires de la Société des Sciences de Modena* 14, o físico italiano Ottaviano Frabrizio Mossotti (1791-1863) publicou um trabalho no qual tratou matematicamente as experiências realizadas por Faraday, em 1837, sobre polarização dos dielétricos. Ainda nesse trabalho, Mossotti deu uma interpretação elétrica às grandezas magnéticas trabalhadas por Poisson.