

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (10): 89-114, 1986.

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-30.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

---

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (10): 89-114, 1986.

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-30.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

## ARQUIVO

### ØRSTED E A DESCOBERTA DO ELETROMAGNETISMO

ROBERTO DE A. MARTINS

*Universidade Estadual de Campinas*

#### 1 INTRODUÇÃO

Atribui-se normalmente a Ørsted a descoberta da interação entre eletricidade e magnetismo, no início do século XIX. Apesar da enorme importância desse fenômeno, a contribuição de Ørsted ao eletromagnetismo costuma ser minimizada, por dois motivos principais: (1) seu trabalho é geralmente descrito como uma descoberta casual (algum outro que tivesse a sorte de colocar primeiro uma bússola perto de um condutor teria ganho a fama de descobridor do eletromagnetismo); (2) os aspectos quantitativos do fenômeno não foram desenvolvidos por Ørsted, e sim por Ampère, Biot, Savart e outros. A análise cuidadosa desse episódio histórico mostra no entanto ser necessário muito mais do que sorte para a descoberta do eletromagnetismo, e que mesmo o estudo qualitativo do fenômeno, desenvolvido por Ørsted, foi dificultado por uma série de idéias pré-concebidas existentes: as próprias propriedades de simetria do fenômeno eram extremamente revolucionárias, no contexto da época, como se tentará mostrar adiante.

No estudo da história da ciência, nada pode substituir o contato com as fontes; assim, a leitura do presente artigo deve ser complementada pelo estudo da memória de Ørsted, de 1820, cuja tradução é publicada logo após este trabalho.

#### 2 FORMAÇÃO E CARREIRA DE ØRSTED

Hans Christian Ørsted nasceu em Rudkøbing, na Dinamarca, em 14 de agosto de 1777<sup>1</sup>. Contendo cerca de 1.000 habitantes, Rudkøbing, na ilha de Langeland, podia ser considerado um vilarejo isolado da civilização. No entanto, nesse meio totalmente adverso ao desenvolvimento cultural, Hans Christian e um de seus irmãos (Anders Sandøe) adquiriram uma notável formação básica. Os vizinhos que deles tomavam conta, enquanto seus pais trabalhavam, ensinaram-lhes a ler e escrever em dinamarquês e

---

<sup>1</sup> A principal fonte de informações sobre a vida de Ørsted é sua biografia encontrada em: Meyer, K. (ed.). *H. C. Ørsted-Naturvidenskabelige Skrifter*, 3 vols. København, A. F. Høst & Son, 1920 - obra que não tive a oportunidade de consultar. Além de curtas indicações biográficas em enciclopédias e em livros sobre história da ciência, minha principal fonte de dados biográficos foi: FRANKSEN, *Ørsted* - livro que recebi por especial gentileza de Lucia S. Pedersen, Departamento de Relações Públicas da firma dinamarquesa Bang & Olufsen a/s.

alemão. Um gravador local, antigo estudante de teologia, ensinou-lhes grego e latim; o delegado da província completou sua base lingüística, com francês e inglês. Lendo todos os livros que conseguiram encontrar, adquiriram uma boa formação humanística; na farmácia do pai e através de seus livros, aprenderam química e física.

Após esses estudos bastante caóticos, Ørsted paratiu para Copenhagen, aos 17 anos, sendo aceito na Universidade. Seu brilhantismo e a diversidade de seus interesses podem ser avaliados por alguns episódios desse período. Em 1795, obteve da Universidade um prêmio de Estética, pelo trabalho intitulado "Sobre como a linguagem prosaica pode ser corrompida por sua proximidade à poética, e quais são as fronteiras entre as expressões poética e prosaica". Dois anos depois, graduou-se como farmacêutico, e em seus exames finais superou todos os resultados até então registrados nos anais da Universidade (feito que seria repetido por seu irmão, no ano seguinte, ao tornar-se advogado). Em 1799 doutorou-se em Filosofia com uma tese intitulada "Dissertatio critica de formis metaphysicis elementaris naturae externae", em que fazia uma descrição crítica das idéias de Kant sobre a filosofia natural. Literatura, ciência e filosofia permearam toda sua vida. Desde essa época, Hans Christian e seu irmão Anders Sandøe (que, posteriormente, chegaria a ser famoso jurista e primeiro ministro da Dinamarca) ligaram-se aos mais importantes círculos de Copenhagen nas áreas científica, artística e política.

Em 1800 Ørsted começou a trabalhar na tradicional "Farmácia do Leão", de Copenhagen. No mesmo ano, um de seus ex-professores, Manthey, o convidou para tornar-se farmacêutico adjunto da Faculdade de Medicina (sem salário algum), o que Ørsted aceitou prontamente. Ma mesma época, após a ampla divulgação dos trabalhos de Volta, Ørsted começou a fazer experiências sobre a pilha e sobre eletricidade.

Logo em seguida, Ørsted obteve uma espécie de bolsa de estudos no exterior (o "stipendium cappelianum") que lhe permitiu, de 1801 a 1803, visitar Alemanha, Holanda e França. Em todos os lugares, estabeleceu importantes contatos pessoais com cientistas e intelectuais de renome. Particularmente, tornou-se amigo de expoentes da "Naturphilosophie" germânica, como Schelling e Ritter, cuja influência perdurou por toda sua vida e permeou seu trabalho científico. Durante esse período, publicou em Berlim o livro: "Ideen zu einer neuen Architektonik der Naturmetaphysik" (1802).

Em Paris, Ørsted ficou fortemente impressionado ao visitar a École Polytechnique, onde, para seu espanto, viu os primeiros laboratórios físicos públicos do mundo – até então, a norma era que cada cientista fizesse suas experiências, por conta própria, em sua própria casa. Desde essa época, Ørsted audaciosamente prometeu-se ajudar a criar uma instituição semelhante, na Dinamarca, quando fosse possível – o que ocorreu em 1829, tornando-se Ørsted o primeiro diretor da Escola Politécnica de Copenhagen.

Retornando à Dinamarca, em 1804, Ørsted começou a lecionar Física na Universidade, da qual se tornou professor extraordinário em 1806, e professor ordinário em 1817. Realizou pesquisas experimentais sobre figuras acústicas (linhas nodais em corpos vibrantes), que tiveram ótima recepção, valendo-lhe a eleição para a Academia de Ciências de Copenhagen. Em 1809, isolou o alcalóide ativo da pimenta, ao qual daria (em 1820) o nome de "piperidina". Já nesse período, graças a seus antigos contatos, Ørsted conseguiu publicar alguns trabalhos no exterior, inclusive um livro ("An-

sicht der chemischen Naturgesetze, durch die neueren Entdeckungen gewonnen", Berlin, 1812) do qual uma versão modificada foi publicada na França no ano seguinte ("Recherches sur l'identité des force chimiques et életriques", Paris, 1913). Dedicou-se ao estudo de classificação de elementos químicos e escreveu sobre o assunto um livro que teve boa acolhida também no exterior: "Tentamen nomenclatura chemicæ", Copenhagen, 1814. Nenhum desses trabalhos era particularmente importante, mas sua intensa atividade acabou valendo a Ørsted, em 1815, a nomeação como Secretário Vitalício da Academia de Ciências de Copenhagen — o que lhe deu a oportunidade de acesso ao Rei, e de manter correspondência com sociedades e cientistas do exterior. Pouco depois, o Rei nomeou-o como cavaleiro da Ordem de Danneborg.

Embora sem ser um cientista de primeiro nível, internacionalmente, tudo isso mostra que Ørsted não era um pesquisador totalmente obscuro ou incompetente. Após a descoberta do eletromagnetismo, em 1820, ele ainda realizará trabalhos científicos variados, como estudos quantitativos de compressibilidade da água, a partir de 1823<sup>2</sup>; a partir da argila, ele foi o primeiro a obter o cloreto de alumínio, e, depois, a alumina, daí extraíndo, finalmente, o alumínio metálico, em 1825<sup>3</sup>. Mas, provavelmente, nada disso teria sido suficiente para imortalizar seu nome, se não se incluísse entre suas pesquisas a descoberta do efeito magnético da corrente elétrica.

### 3 PRECEDENTES DA DESCOBERTA

Em certo sentido, a relação entre a eletricidade e o magnetismo era conhecida desde o século XVIII. Pelo menos três séculos antes de Ørsted, já se observara que as bússolas eram perturbadas, durante tempestades, e que por ação de raios sua polaridade podia até ser invertida. No início do século XVIII, documentou-se nos *Philosophical Transactions of the Royal Society* de Londres que raios eram capazes de imantar ferro, mesmo sem atingir os objetos em questão. Com a descoberta que os raios eram fenômenos de descarga elétrica, esses fatos foram interpretados como uma relação entre a eletricidade e o magnetismo. Guiando-se por essa idéia, Franklin, em 1850, foi capaz

<sup>2</sup>Os primeiros trabalhos de Ørsted sobre a compressibilidade da água datam de 1823. Para seus estudos, ele inventou um dispositivo até hoje utilizado, denominado *piezômetro* (ØRSTED, 1823 b). Nessas experiências, Ørsted notou que ocorria um aquecimento da água, ao ser comprimida - um efeito que precisava ser levado em conta para evitar erros sistemáticos. Em uma série posterior de estudos, com o apoio econômico da Academia de Ciências de Copenhagen (1839-40), estudou esse fenômeno com o auxílio de um estudante, Ludvig Colding. Foram essas experiências, e o contato com Ørsted, que inspiraram os trabalhos posteriores de Colding sobre a conservação da energia (MARTINS, 1984).

<sup>3</sup>Geralmente atribui-se ao químico Wöhler a descoberta do alumínio, em 1827. O próprio Wöhler, em seu artigo, descreve os trabalhos anteriores de Ørsted, que foram seu ponto de partida, mas, não tendo conseguido reproduzir parte do processo descrito por Ørsted, desenvolveu uma nova técnica para obtenção do alumínio metálico. Isso colocou em dúvida a viabilidade do método do dinamarquês. As atas das reuniões da Academia de Ciências de Copenhagen indicam, no entanto, que Ørsted chegou a exibir à Academia uma amostra de alumínio metálico, por ocasião de suas experiências pioneiras - o que estabelece sua prioridade.

de magnetizar agulhas de costura por meio de descargas elétricas de garrafas de Leyden. O mesmo tipo de efeito foi obtido por Wilke, Dalibard, Beccaria, Van-Swinden e Van-Marun (WHITTAKER, *History*, v. 1, p. 81; ARAGO [1820a], p. 100). Para nós, isso poderia parecer uma boa indicação experimental da relação entre eletricidade e magnetismo. Porém a situação não era muito clara, como se pode ver por uma análise detalhada dos estudos de Franklin.

Em uma carta a Peter Collinson, datada de 27 de julho de 1750, e enviada de Philadelphia (SPARKS, *Works of Franklin*, v. 5, pp. 223-6), Franklin comenta que, durante uma tempestade, as bússolas do navio de certo capitão Waddel tiveram suas polaridades invertidas — a ponta norte da agulha passando a indicar o sul, e vice-versa. Em seguida, Franklin fala sobre suas experiências:

“Pela eletricidade, freqüentemente demos polaridade a agulhas, e a invertemos, à vontade (aqui, em Philadelphia). O Sr. Wilson, de Londres, tentou fazê-lo com massas demasiado grandes, e com uma força [elétrica] muito pequena [e por isso não obteve sucesso].

“Uma descarga elétrica de quatro grandes jarras de vidro [garrafas de Leyden] enviada através de uma agulha de costura fina, dá-lhe polaridade, e ela gira quando colocada sobre a água. Se a agulha, ao ser atingida, estiver em uma direção leste-oeste, a extremidade penetrada pela descarga elétrica apontará para o norte<sup>4</sup>. Se ela estiver em uma direção norte-sul, a extremidade que apontava para o norte continuará a indicar o norte quando colocada na água, tenha o fogo penetrado por esse extremo, ou pela extremidade contrária.

“A polaridade é mais forte quando a agulha é atingida estando na direção norte-sul; e mais fraca, na direção leste-oeste. Talvez, se a força fosse ainda maior, a extremidade sul, penetrada pelo fogo (quando a agulha estivesse norte-sul) poderia tornar-se o norte; de outra forma, seria problemático explicar a inversão das bússolas pelos raios” (SPARKS, *Works of Franklin*, v. 5, pp. 224-5).

A última frase sugere que Franklin deveria tentar repetir a experiência com descargas mais fortes. Ele não o fez, provavelmente, porque, como ele mesmo descreve nessa carta, a descarga de quatro garrafas de Leyden freqüentemente derreteria as agulhas — detalhe que será significativo, depois.

Em dezembro de 1851, um amigo de Franklin, Kinnersley, ao tentar reproduzir essas experiências em Boston, só foi capaz de obter a imantação das agulhas quando elas estavam na direção norte-sul. No caso leste-oeste, o efeito não ocorria (SPARKS, *Works of Franklin*, v. 5, p. 264). Pouco depois, em uma carta enviada a James Bowdoin, datada de 02 de março de 1752, Franklin corrigiu seu erro, admitindo que a polaridade adquirida pela agulha sempre concordava com a sua posição inicial. Ele sugere então que o efeito dos raios parece ser diferente do produzido pela eletricidade, nesse sentido (SPARKS, *Works of Franklin*, v. 5, pp. 276-8).

Por fim, percebeu-se que a descarga elétrica não era a causa direta da imantação das agulhas, nesse caso. O que produzia a magnetização era o próprio campo magné-

<sup>4</sup>É difícil entender o que Franklin quer dizer por “extremidade penetrada pela descarga elétrica”. Talvez ele colocasse uma das extremidades em contato com a armadura da garrafa de Leyden, e depois, ao aproximar à outra ponta um fio ligado a outro pólo da garrafa, saltasse uma pequena faísca entre o fio e a agulha — o que identificaria a extremidade em questão.

tico terrestre. A descarga elétrica apenas auxiliava o processo, como também ocorria ao se aquecer agulhas em uma chama, ou ao martelá-las fortemente, mantendo-as na direção norte-sul. Em todos os casos, a agulha adquiria a mesma imantação. Franklin acabou por aceitar a explicação de Aepinus (de São Petersburgo), que atribuiu o efeito ao *aquocimento* produzido pela descarga (como vimos, as agulhas muitas vezes se derretiam, pelo menos superficialmente). Em uma carta datada de 10 de março de 1773, dirigida a Dibourg, e em que discute a analogia entre magnetismo e eletricidade, Franklin escreve:

“Em relação ao magnetismo, que parece ser produzido pela eletricidade, minha opinião real é que esses dois poderes da natureza não possuem afinidade mútua, e que a aparente produção do magnetismo [pelas descargas elétricas] é puramente acidental” (SPARKS, *Works of Franklin*, pp. 450-1)

Não se podia, portanto, concluir dessas observações qualquer conexão mais íntima entre eletricidade e magnetismo. Retrospectivamente, poderíamos pensar que o estudo dos casos de magnetização por raios, em que os objetos não eram tocados pela descarga, e que não obedeciam às regras do fenômeno de Franklin, poderiam ter conduzido à descoberta do eletromagnetismo. Mas tal não ocorreu.

Mesmo sem resultados claros, no início do século XIX a posição dos físicos esclarecidos era algo assim: é claro que há uma relação entre eletricidade e magnetismo, mas não se sabe exatamente qual é essa relação. O problema estimulava, por isso, a realização de experiências mais ou menos ao acaso, procurando-se novas interações entre eletricidade e magnetismo. Mas a procura não era totalmente cega: guiava-a uma suposição sobre as semelhanças entre as simetrias dos fenômenos elétricos e magnéticos.

Na época, era natural estabelecer-se uma analogia entre os pólos norte e sul de um ímã e cargas elétricas positivas e negativas: pólos (e cargas) de mesmo tipo se repelem, e de tipos opostos se atraem, com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância, como havia sido mostrado (nos dois casos) por Coulomb, em 1795 (COULOMB, *Mémoire*). Isso levava a assimilar um ímã a um dipolo elétrico, e a procurar-se não só interações entre os mesmos, mas também gerar com um deles os efeitos produzidos pelo outro.

Guiados por esse tipo de analogia, Hatchett e Desormes procuraram verificar, em 1805, se uma pilha voltaica, com o circuito aberto, capaz de girar livremente, seria orientada pelo magnetismo terrestre, como uma bússola. Não obtendo resultado positivo com pilhas pequenas, acabaram por construir uma seqüência com 1480 placas de cobre e zinco, e colocando o conjunto em um pequeno bote, mais uma vez não observaram efeito algum (HATCHETT, 1821). Outras tentativas de se produzir atração entre pólos magnéticos e cargas elétricas em circunstâncias variadas também fracassaram. A confusão tornou-se ainda maior com resultados *positivos* obtidos por Ritter, na mesma época, de efeitos “magneto-químicos” análogos à eletrólise. O episódio é tão curioso, que vale à pena descrevê-lo em detalhes. Utilizaremos a descrição que o próprio Ørsted faz desses trabalhos, uma vez que, para nossos fins, é importante documentar aquilo que pode haver influenciado as suas pesquisas.

“As primeiras experiências de Ritter sobre a ação do ímã foram feitas com rãs. Ele descobriu que um fio de ferro imantado, combinado com outro não imantado, produziam uma palpação galvânica nesses animais. Notou que o pólo sul produzia palpitações mais fortes do que o ferro não imantado . . .

“Ritter colocou um fio de ferro imantado sobre pedaços de vidro, em um prato de porcelana; derramou aí ácido nítrico muito diluído: o pólo sul foi muito mais fortemente atacado do que o norte, e ficou assim mais rapidamente envolto por um depósito de óxido.

“Mostra-se igualmente a diferente oxidação dos dois pólos magnéticos tomando três pequenos frascos cheios de água pura ou ligeiramente acidulada; coloca-se em um dos frascos a extremidade sul de um fio de ferro imantado, em outro o pólo norte de um fio semelhante, e no terceiro um fio de ferro não imantado: o óxido começa a se formar primeiro sobre o pólo sul; um pouco depois ele é percebido sobre o ferro não imantado; a oxidação do pólo norte ocorre sensivelmente mais tarde. Essa experiência exige muito cuidado. É preciso cobrir a superfície da água com óleo bem fresco de amêndoas, para impedir a entrada de ar. Deve-se também tomar cuidado de não expor um dos frascos mais à luz solar do que os outros, pois a luz acelera a oxidação. . .

“Se, na experiência precedente, substituir-se a água por tintura de tornassol, nos três frascos, as oxidações relativas embora pareçam as mesmas, são acompanhadas por uma mudança de cor que mostra que há uma produção de ácido, proporcional a cada oxidação. . .” (ØRSTED, 1828).

Os resultados dessas experiências eram irregulares e delicados, e não dependiam da intensidade de magnetização do fio de ferro. Após certa repercussão inicial, as experiências de Ritter foram transformadas em um mero episódio anômalo inexplicável. É interessante observar que, após a descoberta do eletromagnetismo, houve tentativas de refazer as experiências de Ritter, em alguns casos com sucesso (LEHOT, 1820). A 6 de novembro de 1820, Fresnel comunicou à Academia de Ciências de Paris que, envolvendo um ímã com uma hélice de fio de ferro isolado por seda, e repetindo com suas extremidades as experiências de Ritter, obtivera um efeito positivo (FRESNEL, 1820). Pouco depois, o resultado foi desmentido. Também Muschman e Hansteen aparentemente observaram efeitos químicos do campo magnético terrestre, notando que a precipitação de prata, em solução de ácido nítrico, na presença de mercúrio metálico, era muito mais rápida e intensa no ramo *norte* de um tubo em forma de V. Os autores indicam que realizaram essas experiências pela primeira vez em 1817 e 1818, respectivamente, havendo comunicado seus resultados a Ørsted, por carta, pouco tempo depois (MUSCHMAN, 1828; HANSTEEN, 1828).

Isso mostra claramente que, antes da descoberta do eletromagnetismo, procurava-se — e aparentemente, obtinham-se evidências favoráveis — uma relação entre o magnetismo e a eletricidade; e, sendo os fenômenos químicos afetados pela eletricidade, era também natural procurar através deles essa conexão. Ørsted não só estava a par dessas experiências, mas era ainda considerado, antes de 1820, uma figura chave para o estudo desses fenômenos, graças a suas concepções teóricas que serão indicadas mais abaixo. Por isso, era mantido informado de tudo o que se fazia na área.

#### 4 AS IDÉIAS DIRETORAS DE ØRSTED

Além dos motivos científicos da época, Ørsted tinha motivos filosóficos para acreditar na unidade das forças naturais (STAUFFER 1957). Inserindo-se na corrente da

“Naturphilosophie”, Ørsted acreditava que o universo era um todo orgânico, como um ser vivo, e dotado de uma alma ativa, geradora das forças naturais (idéia que o acompanhará sempre, até o final de sua vida, quando publicará o livro *Aanden i Naturen – A alma na natureza*, como epílogo de toda sua obra intelectual). Essa concepção metafísica levou Ørsted à idéia de uma unidade íntima entre eletricidade, calor, magnetismo e luz, muito antes de qualquer descoberta experimental nova, e algumas décadas antes da formulação da primeira lei da termodinâmica (MARTINS, 1984). O próprio Ørsted, em um artigo escrito para a Enciclopédia de Edinburg, descreve essa concepção que o dirigiu:

“O eletromagnetismo foi descoberto no ano de 1820 pelo professor Hans Christian Ørsted, da Universidade de Copenhague. Durante toda sua carreira como escritor, ele aderiu à opinião de que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os elétricos. Ele não foi levado a isso pelas razões comumente alegadas a favor dessa opinião, mas por um princípio filosófico, o de que todos os fenômenos são produzidos pelo mesmo poder original. Em um tratado sobre as leis químicas da natureza, publicado na Alemanha em 1812, com o título *Ansichten der chemischen Naturgesetze*, e traduzido para o francês com o título *Recherches sur l'identité des forces électriques et chimiques* em 1813, ele procurou estabelecer uma teoria química geral, em harmonia com este princípio. Nesse trabalho, ele provou que não apenas as afinidades químicas, mas também o calor e a luz, são produzidos pelos mesmos dois poderes, que provavelmente seriam apenas duas formas diferentes de um poder primordial. Ele também afirmou que os efeitos magnéticos eram originados dos mesmos poderes; mas ele estava bem consciente de que a razão alegada a favor disso era a parte menos satisfatória de toda a obra. Suas pesquisas sobre esse assunto foram infrutíferas, até o ano de 1820.” (ØRSTED, 1827)

Ørsted não estava sozinho nessa visão da unidade de todos os fenômenos. Em 1810, por exemplo, seu amigo Prechtl escreve:

“Todos os efeitos da natureza se dividem em *efeitos atrativos* ou *efeitos químicos* da eletricidade. A primeira categoria pertencem os fenômenos de coesão, cristalização, fenômenos elétricos costumeiros, os fenômenos gerais de atração, da gravidade e do magnetismo; a segunda categoria pertencem todas as transformações estudadas pela química; e assim, o estudo do magnetismo e da química são os dois ramos principais da ciência geral da eletricidade.” (PRECHTL, 1810, p. 43; PRECHTL, 1821, p. 82).

Como Ørsted, Prechtl também não possuía boas evidências empíricas para justificar sua ampla visão. De que modo se podia mostrar que o magnetismo era um efeito derivado da eletricidade? Era preciso descobrir novos fenômenos que ilustrassem essa conexão.

Ørsted, ao contrário de vários de seus coetâneos empenhados na mesma pesquisa, concentrava sua atenção na corrente elétrica, e não na eletrostática. Por um lado, era nas descargas ou correntes elétricas que se observavam efeitos químicos, caloríficos e luminosos da eletricidade – um dado experimental importante, para ele. Por outro lado, a própria concepção que fazia sobre a corrente elétrica tornava-a algo muito especial.

No início do século XIX, os físicos se dividiam entre adeptos da concepção do fluido elétrico único e da concepção dos dois fluidos elétricos. Ørsted acreditava na existência de dois fluidos elétricos, e isso o levava a supor que a corrente galvânica

transportaria, em sentidos opostos, no mesmo fio, cargas elétricas positivas e negativas. Como isso poderia ocorrer? Nessa época, muito antes do surgimento da idéia de descontinuidade da eletricidade, era difícil imaginar como isso se processaria. Os movimentos opostos de dois fluidos elétricos pelo mesmo fio deveriam gerar algum tipo de luta ou conflito entre as eletricidades, e ao invés de um fluxo contínuo de eletricidade deveria surgir um movimento entrecortado ou oscilatório. Em cada porção do fio condutor, haveria sucessivas separações e reuniões de cargas elétricas opostas, ou seja, uma contínua ruptura e reestabelecimento do equilíbrio elétrico. Segundo as palavras de Ørsted, em seu livro de 1812, a eletricidade se propaga “por um tipo de contínua decomposição e recomposição, ou melhor, por uma ação que perturba o equilíbrio em cada momento, e o reestabelece no instante seguinte. Pode-se exprimir essa sucessão de forças opostas que existe na transmissão da eletricidade, dizendo que *a eletricidade sempre se propaga de modo ondulatório*”.

Na época, voltava-se a favorecer modelos ondulatórios para a luz e o calor. Ørsted aceitava essa concepção, e utilizava sua idéia do “conflito elétrico” associando-a a esses modelos: quando a corrente elétrica percorresse um fio fino, onde o “conflito” seria mais intenso, suas oscilações poderiam produzir luz e calor – o que é observado.

Por mais estranha que possa parecer essa concepção, ela era partilhada por muitos outros físicos da época. Prechtl (1810) a descreve, associando-a ao nome de Ørsted, e a aceita integralmente. Mais tarde, Ampère, talvez influenciado por Ørsted (CANEVA, 1980), exporá uma idéia semelhante: ele afirmará que o galvanismo consiste

“... em uma dupla corrente de eletricidade positiva e negativa ao longo de um circuito contínuo de corpos condutores. Concebe-se, portanto, na teoria ordinária da eletricidade, que os dois fluidos que a compõem se separam incessantemente um do outro em uma parte do circuito, e são levados rapidamente em sentidos contrários a uma outra parte do mesmo circuito, onde eles se reúnem continuamente (AMPÈRE, 1820a, p. 69).

“... os dois fluidos elétricos atravessam o condutor em direções opostas por meio de uma série de decomposições e recombinações quase instantâneas: um movimento admitido desde Volta por todos os físicos que adotam a teoria dada por este ilustre sábio...” (AMPÈRE 1822).

Embora ainda não se houvesse produzido a imantação de agulhas de aço pela corrente de uma pilha voltaica – o que só foi obtido após o trabalho de Ørsted (BOISGIRAUD, 1820) – admitia-se comumente que havia apenas uma diferença quantitativa entre descargas elétricas de uma garrafa de Leyden e a corrente galvânica. Assim sendo, também o magnetismo poderia estar relacionado ao “conflito elétrico”. Essa idéia orientou, desde o início, a pesquisa de Ørsted.

Qualitativamente, o que ele poderia esperar encontrar? As idéias mais plausíveis eram duas: ou que o fio, percorrido por uma corrente, se tornasse algo semelhante a uma agulha magnetizada (com os pólos magnéticos correspondendo às extremidades do fio); ou que o fio se tornasse um pólo magnético (uma hipótese não totalmente absurda, na época). Suposições desse tipo devem ter norteado os trabalhos de Ørsted desde o início (veja-se, mais adiante, a versão do próprio Ørsted sobre a descoberta). Ora, se ele de fato fosse dirigido por idéias como essas, que tipos de experiência deveria fazer? É fácil adivinhar. Ele tentaria:

- (1) Colocar um fio condutor acima de uma agulha magnetizada móvel (bússola), perpendicular a ela, em um plano horizontal, examinando se a agulha seria deslocada de sua posição ao passar-se uma corrente pelo fio; esperar-se-ia neste caso que a agulha girasse para um lado ou para o outro, conforme o sentido da corrente, tendendo a tornar-se paralela ao fio (Fig. 1a);
- (2) colocar um fio condutor vertical, próximo a uma das extremidades de uma agulha magnética, e observar se o pólo magnético seria atraído ou repellido pelo fio, quando passasse uma corrente por ele (Fig. 1b).

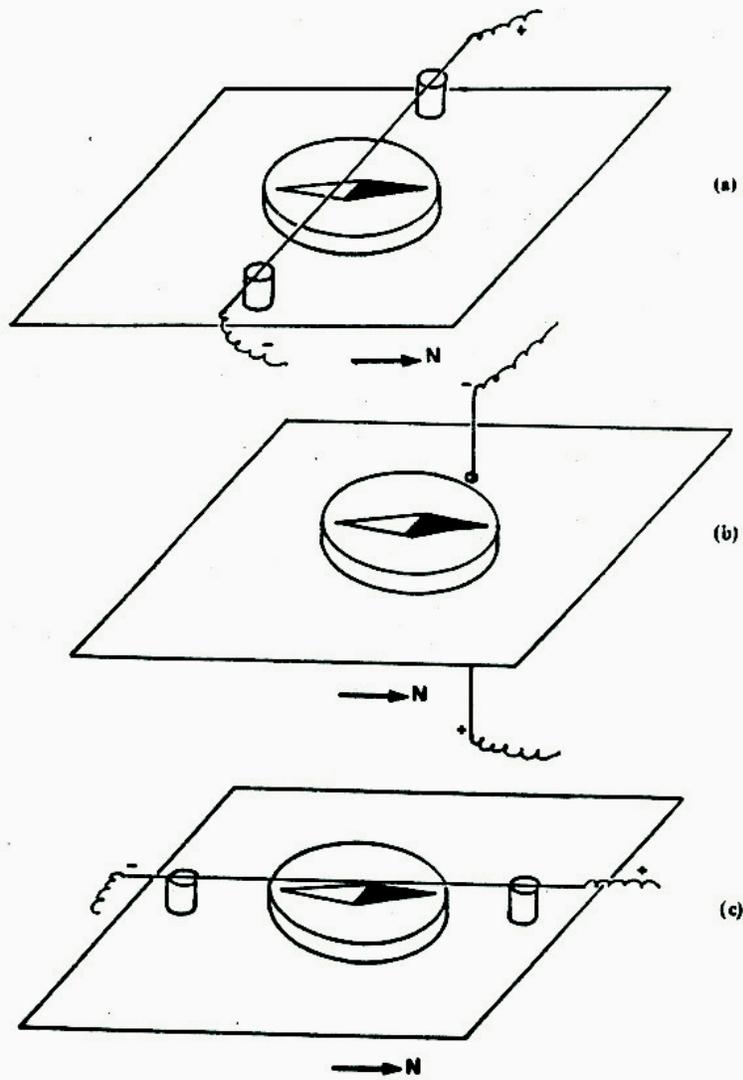
Ora, nos dois casos, como sabemos atualmente, não ocorreria aquilo que se poderia esperar que ocorresse. No primeiro caso, os pólos da agulha sofrerão forças verticais, e a agulha sofrerá uma pequena declinação vertical, sem girar no plano horizontal. No segundo caso, dependendo da posição exata do fio, poderá surgir uma pequena componente de força tendendo a girar a agulha, para um lado ou para o outro - o que daria a impressão de um erro experimental incontrolável - mas o efeito principal será o de uma força sobre a agulha em direção paralela a seu comprimento - o que não será observável, em uma bússola.

## 5 A DESCOBERTA

A versão mais conhecida pelos historiadores, sobre a descoberta do eletromagnetismo por Ørsted, é a que se difundiu a partir de uma carta de Hansteen a Faraday, escrita muito após a experiência crucial (30/12/1857). Hansteen assistiu ao curso sobre eletricidade e magnetismo que Ørsted ministrou na Universidade de Copenhague no inverno de 1819-1820. Nesse, como em outros cursos anteriores, ele falava de suas idéias sobre a unidade de todas as forças da natureza, e em particular de uma presumível relação entre a eletricidade e o magnetismo; mas, como não havia evidências experimentais a respeito, ilustrava sua exposição com uma demonstração experimental da não observabilidade dessa relação. No entanto, ao final de uma aula noturna, no início de Abril 1820, ao tratar sobre o problema, durante a conferência, fez sua descoberta:

“Ørsted sempre colocou o fio condutor de sua pilha em ângulo reto sobre a agulha magnética, sem notar movimentos perceptíveis. Uma vez, após sua aula, em que empregara uma forte pilha para outras experiências, disse-nos: “Experimentemos colocar o fio paralelamente à agulha”. Fazendo isto, ficou perplexo ao ver a agulha oscilar com força (quase em ângulo reto com o meridiano magnético). “Invertamos - disse depois - a direção da corrente”. E então a agulha se desviou na direção contrária. Deste modo foi feita a grande descoberta. Há razão em dizer-se que tropeçou com sua descoberta por acaso. Assim como os outros, não teve idéia alguma de que a força poderia ser transversal” (Hansteen, carta a Faraday, *apud* CREW, *Rise of Modern Physics*).

Há bons motivos para duvidar da fidelidade de quase tudo o que Hansteen descreve - e que se tornou a versão quase oficial da descoberta. Felizmente, no artigo já citado de Ørsted sobre termo-eletricidade, publicado na *Enciclopédia de Edinburgh* apenas 7 anos após a descoberta, ele próprio descreve sua versão, bem mais plausível:



*Figura 1.* De acordo com as conjeturas mais naturais da época de Ørsted, poder-se-ia esperar que a agulha de uma bússola girasse, por efeito de uma corrente elétrica, quando o fio estivesse perpendicular à bússola (a) ou quando fosse aproximado de um dos pólos da bússola, lateralmente, perpendicular a seu plano de rotação (b). O efeito só foi observado, no entanto, colocando-se o fio paralelo à agulha (c).

“No inverno de 1819-1820, ele (Ørsted) apresentou um curso de conferências sobre eletricidade, galvanismo e magnetismo, diante de uma audiência previamente familiarizada com os princípios da filosofia natural. Ao preparar a conferência na qual versaria sobre a analogia entre magnetismo e eletricidade, conjecturou que, se fosse possível produzir algum efeito magnético pela eletricidade, isso não poderia ocorrer na direção da corrente, pois tal havia sido freqüentemente tentado em vão; mas que deveria ser produzido por uma ação lateral. . .

“Assim como os efeitos luminosos e caloríficos da corrente elétrica saem de um condutor em todas as direções, quando este transmite uma grande quantidade de eletricidade; assim, imaginou ser possível que o efeito magnético se irradiasse de forma semelhante. As observações registradas acima, de efeitos magnéticos produzidos por raios em agulhas que não foram diretamente atingidas, confirmaram-no em sua opinião. Ele estava longe de esperar um grande efeito magnético da pilha galvânica; supôs que poderia ser exigido um poder suficiente para tornar incandescente o fio condutor.

“O plano da primeira experiência consistia em fazer a corrente de um pequeno aparelho galvânico de frascos, comumente usado em suas conferências, passar através de um fio de platina muito fino, colocado sobre uma bússola coberta com vidro. A experiência foi preparada, mas como acidentalmente ele foi impedido de ensaiá-la antes da aula, planejou adiá-la para outra oportunidade; no entanto, durante a conferência, pareceu-lhe mais forte a probabilidade de seu sucesso, e assim realizou a primeira experiência na presença da audiência. A agulha magnética, embora fechada em uma caixa, foi perturbada; mas, como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito irregular, antes da descoberta de sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público. Pode parecer estranho que o descobridor não tenha realizado mais experiências sobre o assunto durante três meses; ele próprio acha difícil concebê-lo; mas pode ter sido levado a postergar suas pesquisas até uma época mais conveniente, pela extrema fraqueza e aparente confusão dos fenômenos na primeira experiência, pela lembrança de numerosos erros cometidos nesse assunto por filósofos anteriores (particularmente seu amigo Ritter) e porque tal assunto tem o direito de ser tratado com atenção e cuidado.

“No mês de julho de 1820, ele novamente retomou a experiência, utilizando um aparelho galvânico muito mais poderoso. O sucesso foi agora evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu que condutores de um diâmetro maior proporcionam um maior efeito; e então descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, a lei fundamental do eletromagnetismo, a saber, *que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela*”.

Percebe-se claramente por essa descrição que os seguintes aspectos da descrição de Hansteen estão errados: (a) Ørsted não usou uma pilha forte em suas experiências preliminares, durante a aula, (b) a agulha magnética não oscilou com força (“quase em ângulo reto com o meridiano”): moveu-se fracamente; (c) durante essas primeiras experiências, Ørsted não encontrou a regularidade descrita por Hansteen (a corrente elétrica desvia a agulha para um lado ou para o outro conforme o sentido da corrente) — isso só foi notado nas experiências posteriores; (d) não se percebe, na descrição de Ørsted, qualquer indicação sobre a direção do fio condutor, e talvez ele não tenha sido colocado inicialmente paralelo à agulha magnética; (e) seja qual for a direção utilizada, ela não foi o resultado do acaso, mas de uma mudança de atitude Ørsted, que se convenceu de que o efeito magnético não poderia ser paralelo ao fio.

Note-se que Ørsted, ao preparar sua aula, imaginou que o efeito magnético poderia *irradiar-se* do fio, como a luz e o calor. Ou seja, aparentemente ele imaginou o fio como um tipo de pólo magnético extenso. Se ele partiu dessa idéia, é evidente que

colocar o fio condutor acima da agulha, e paralelamente à mesma, não teria sido o melhor arranjo experimental possível. Se confiarmos na inteligência de Ørsted, poderemos imaginar que ele planejaria a experiência da seguinte forma: como utilizava uma bússola comum, dentro de uma caixa (para evitar movimentos devidos a correntes de ar, etc.), o melhor modo de aproximar o fio condutor da agulha seria colocando-o sobre o vidro da bússola, mas se ele fosse colocado imediatamente *acima* da agulha, o efeito esperado seria que um dos pólos fosse atraído (e subisse) e o outro fosse repellido (e descesse), produzindo uma pequena declinação vertical, difícil de observar. Seria portanto muito mais conveniente colocar o fio paralelamente à agulha, mas deslocado a leste ou oeste, pois então ele esperaria que, com a atração de um pólo e a repulsão do outro, surgisse uma pequena rotação horizontal da agulha. Ele esperaria, também, que, ao passar o fio para o outro lado da agulha, a deflexão se invertesse. Ora, ao fazer a experiência, ele deve ter confirmado a primeira antecipação, e não a segunda, o que seria para ele inexplicável, e exigiria um grande número de novas experiências antes da descoberta definitiva das propriedades do fenômeno. E essa descoberta final exigirá de Ørsted um enorme esforço para livrar-se de idéias pré-concebidas, e aceitar as propriedades completamente novas de assimetria do fenômeno eletromagnético. Para nós, que estamos acostumados a aceitar sem espanto a existência de um campo magnético circular em torno de um fio conduzindo uma corrente elétrica, é extremamente difícil entender quão absurdo isso pareceria aos olhos de um Ørsted. Mas tentemos reconstituir sua reação.

Tomemos a hipótese de que o fio condutor se transformou em um pólo magnético. Como tal, ele deverá sempre atrair um dos pólos da agulha magnética, e sempre repelir o outro. Se, colocado à direita da agulha, fizer com que ela gire no sentido horário, deverá fazer com que ela gire no sentido anti-horário colocado à esquerda, e produzirá apenas uma declinação vertical colocado exatamente acima da agulha. Mas não é isso que ocorre: em qualquer das posições (até mesmo com o fio acima da agulha) ela gira para o mesmo lado. Portanto, a hipótese está errada. Qual a alternativa? Supor que o fio se transformou em um dipolo magnético longitudinal. Nesse caso, se os pólos do fio estivessem em sentido oposto aos da agulha, esta seria atraída para o fio, em qualquer posição, e poderia tender a sair de seu suporte – o que não era observado. Se, pelo contrário, os pólos do fio e da agulha estivessem no mesmo sentido, surgiria uma repulsão agindo sobre os dois extremos da agulha magnética. Se o fio fosse agora colocado exatamente sobre a agulha, ela seria defletida com igual probabilidade para um lado e para o outro; se o fio fosse ligeiramente deslocado para a direita, a rotação seria anti-horária, e vice-versa. Mas isso também não era observado! Com o fio exatamente acima, ou ligeiramente à direita ou à esquerda da agulha, a deflexão era sempre no mesmo sentido. O fenômeno observado era incompatível com essas duas alternativas teóricas.

Através de uma análise mais geral, sem a limitação das duas possibilidades anteriores, também se pode notar quão estranho era o fenômeno descoberto por Ørsted. De fato, na situação em que o efeito se manifestou, com o fio paralelo à agulha, pareceria que o plano vertical que contivesse o fio e a agulha deveria ser o plano de simetria do sistema. Ora, nessas condições, dever-se-ia esperar que a agulha poderia sofrer alguma ação em direção pertencente ao próprio plano vertical em que se encon-

trava, mas jamais poderia ser esperado um efeito regular, sistemático, sempre para o mesmo lado do plano, pois não haveria motivo algum para que a agulha girasse em um sentido de preferência ao outro (por simetria). Assim sendo, concepções gerais sobre simetria (que eram efetivamente empregadas desde Aristóteles, embora só tenham encontrado sua formulação mais clara com Pierre Curie, ao final do século XIX) poderiam assegurar, *a priori*, que a agulha não poderia girar para lado algum. E, no entanto, ela girava!

A mera descoberta de que, de alguma forma, a corrente elétrica atuava sobre o ímã, não era suficiente para sua divulgação. Como cientista cuidadoso que era, Ørsted precisava determinar as propriedades do fenômeno, antes de publicar algo sobre ele; e, dentre as propriedades a serem determinadas, a principal seria o tipo de simetria do efeito. Durante as férias de verão, com a ajuda de alguns amigos, Ørsted fez um grande número de variações da experiência, utilizando baterias voltaicas mais potentes. Em julho de 1820 sentiu-se suficientemente seguro para divulgar sua descoberta. Agora ele sabia como uma corrente elétrica atuava sobre uma agulha magnética, em todas as posições e direções imagináveis, e também formulara uma explicação dos efeitos observados.

Compreendendo a importância do seu trabalho, ele não optou por publicá-lo, por exemplo, nos Anais da Academia de Ciências de Copenhague — procedimento que seria mais fácil para ele, por ser Secretário da instituição. Pelo contrário, como era preciso atingir rapidamente todo o mundo científico, garantindo sua prioridade, redigiu seu trabalho em latim (não em dinamarquês), fazendo com que fosse impresso rapidamente sob forma de folheto (apenas quatro páginas em tamanho *quarto*), enviando-o diretamente a grande número de cientistas famosos de vários países, editores de revistas científicas, sociedades científicas e culturais — um método de divulgação que seria também utilizado em 1895, por Röntgen, para noticiar a descoberta dos raios X, com idêntico sucesso. Nesse opúsculo (ØRSTED, 1820 a), em que descreve resumidamente cerca de 60 séries de experiências, de vários tipos, Ørsted estabelece que a influência da corrente elétrica sobre a bússola não depende da natureza do fio condutor, e que o efeito não é reduzido quando se interpõem materiais condutores ou isolantes entre o fio e a agulha magnética; que o efeito só atua sobre agulhas imantadas, e não sobre outras agulhas metálicas; estuda o efeito para várias posições relativas do fio e da agulha, procurando sempre exprimir seus resultados da forma mais geral possível (de modo a incluir em cada enunciado a reunião de várias generalizações experimentais); e, por fim, procura explicar o fenômeno observado, supondo que em torno do fio que conduz a corrente o “conflito elétrico” se manifesta sob a forma de dois turbilhões que circulam em torno do fio, em sentidos opostos — um deles atuando sobre o pólo norte, e o outro atuando sobre o pólo sul da agulha imantada. *Esse* era o aspecto mais importante e revolucionário do trabalho de Ørsted: o efeito magnético de uma corrente elétrica não é paralelo à corrente. Embora a corrente elétrica seja pensada como um fenômeno longitudinal no fio condutor, seu efeito apresenta um aspecto de rotação ou circulação em torno do fio. Essa conclusão era inevitável, dado o cuidadoso estudo que Ørsted fizera do fenômeno; ela acabou por ser aceita por todos; mas, como veremos, sua aceitação foi envolta em muita discussão e incompreensão.

## 6 A REPERCUSSÃO DA DESCOBERTA

Pode-se verificar o caráter revolucionário da descoberta de Ørsted estudando-se sua recepção imediata na França, uma vez que lá surgiram as primeiras reações significativas à descoberta:

O primeiro físico francês a tomar conhecimento da memória de Ørsted foi Arago, Secretário Perpétuo da Academia de Ciências de Paris, e que estava na ocasião em Genebra. Lá, Marc-Augustin Pictet recebera uma cópia do trabalho, e a discutiu e divulgou entre outros físicos. Ao ser informado sobre a descrição do efeito observado por Ørsted, Arago declarou que aquilo era impossível; e só se convenceu da realidade do fenômeno após assistir à repetição das experiências, realizada a 19 de agosto por Auguste de la Rive, auxiliado por Pictet, na presença de Prévost, De Saussure, Marcet, de Candolle e outros. Ocorrendo a sugestão de que podia tratar-se de um fenômeno espúrio, produzido pelo aquecimento do fio e por correntes de ar, de la Rive repetiu as experiências dentro de um recipiente evacuado, verificando que ele não se alterava (PICTET, DE LA RIVE, 1820; ver também a nota de Arago, em ØRSTED, 1820 – edição em francês).

Retornando a Paris, Arago publicou nos *Annales de Chimie et Physique* (do qual era editor, juntamente com Gay-Lussac) uma tradução do trabalho de Ørsted (feita por Pictet). No dia 4 de setembro, comunicou à Academia de Ciências de Paris a nova descoberta, declarando haver testemunhado em Genebra a repetição bem sucedida de todas as experiências. A reação foi de ceticismo. De acordo com Dulong, em uma carta a Berzelius, no mês seguinte, “As notícias (do trabalho de Ørsted) foram recebidas inicialmente de modo muito frio, aqui (Paris). As pessoas pensaram tratar-se de um novo delírio germânico”. De acordo com Ampère, quando Arago descreveu os novos fenômenos à Academia, “as pessoas os rejeitaram da mesma forma como haviam rejeitado as pedras caídas do céu (meteoritos) na época em que Pictet leu uma memória sobre essas pedras no Instituto. Todos decidiram que aquilo era impossível” (CANEVA, 1980).

Qual o motivo dessa incredulidade? Certamente não foi porque se julgasse impossível descobrir alguma conexão entre eletricidade e magnetismo – como já foi dito, todos aguardavam a descoberta dessa conexão. A grande dificuldade era aceitar a novidade sob o ponto de vista da simetria do fenômeno.

Pode-se notar bem claramente essa dificuldade em vários artigos publicados até vários meses após o anúncio da descoberta de Ørsted. Ao invés de aceitar a hipótese explicativa de Ørsted, vários físicos procuraram alternativas para dar conta do aspecto mais estranho do fenômeno: uma agulha imantada, colocada *sobre* o fio condutor, gira para um lado, e colocada *abaixo* dele gira no sentido oposto. Em uma carta de Berzelius a Bertholet, de dezembro de 1820, encontramos a manifestação de espanto com esse aspecto do eletromagnetismo:

“Há alguma coisa de misterioso nas exposições que foram feitas dos fenômenos magnéticos de um fio condutor . . . Sabe-se que os corpos que possuem a virtude magnética encontram-se em um estado de polaridade que geralmente segue o comprimento do corpo; mas como conceber isso em um fio fino, magnético no sentido de sua largura, e que parece mudar de polaridade conforme a agulha imantada se encontra acima ou abaixo dele?” (BERZELIUS, 1821).

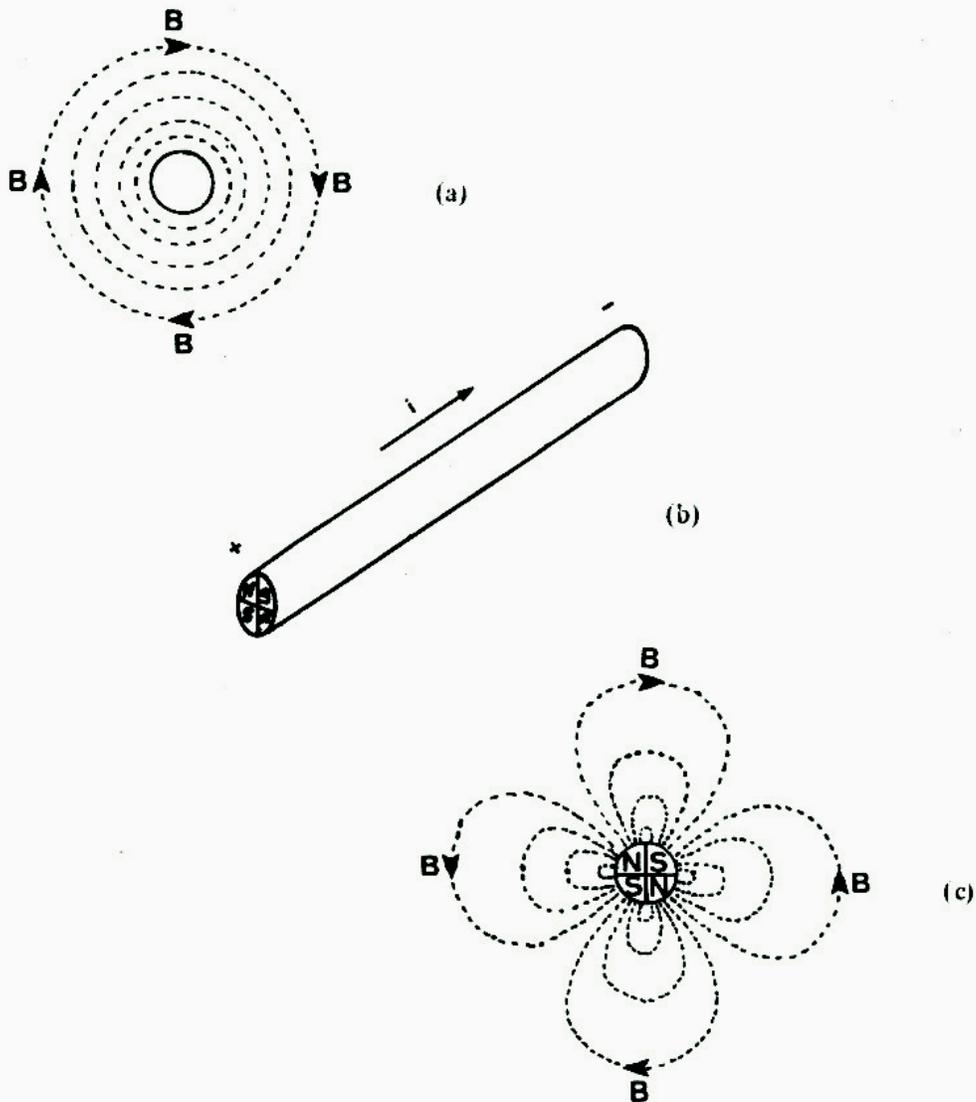
Não conseguindo aceitar a explicação de Ørsted (de que o campo magnético em torno do fio é circular), Berzelius estudou os efeitos magnéticos de fitas metálicas condutoras, e acabou por formular a hipótese de que cada seção reta da fita corresponderia a dois finos ímãs com seus pólos em oposição (Fig. 2). A hipótese de Berzelius seria de fato suficiente para explicar-se qualitativamente os efeitos acima e abaixo da fita, mas falharia ao ser aplicada a posições laterais, pois o sentido do campo magnético previsto por seu modelo, nessas posições, é o oposto do observado. De qualquer forma, é importante notar que a idéia do campo magnético circulando em torno do fio era tão inverossímil, que tentativas como as de Berzelius eram aceitas e escapavam à crítica mesmo de um Ampère (AMPÈRE, 1821a).

É importante assinalar que a proposta de Berzelius não constituiu um caso isolado, mas ocorreu independentemente a vários outros físicos, ao mesmo tempo, o que mostra quão pouco natural era a idéia do campo magnético circular. Humphry Davy descreve que, ao estudar os fenômenos eletromagnéticos, primeiramente imaginou que, em cada seção reta do fio, haveria um certo número de dipolos magnéticos formando um polígono na superfície do fio; depois, acabou por concluir que podia explicar os fenômenos considerando apenas quatro pólos magnéticos em cada seção reta do fio (ou seja, um modelo idêntico ao de Berzelius). Ele não percebeu inicialmente que esse tipo de modelo era incompatível com a experiência (DAVY, 1821).

Há uma interessante série de artigos anônimos sobre a história do eletromagnetismo, publicados em 1821 e 1822, e de autoria de um certo "M", que provavelmente era Michael Faraday. Nesses artigos, Faraday descreve a teoria de Berzelius, e mostra claramente sua invalidade, confrontando-a com suas conseqüências experimentais (FARADAY, 1822). Ele também indica que Schweigger - o inventor do galvanômetro de bobina fixa - também propôs a mesma idéia. Por fim, podemos indicar que o próprio Prechtl, que partilhava de tantas idéias de Ørsted, foi incapaz de aceitar sua hipótese sobre o campo magnético circular, e também propôs a existência de quatro pólos em cada seção reta do fio condutor (PRECHTL, 1821b).

Mesmo depois que todos esses físicos convenceram-se da impossibilidade da hipótese dos quatro pólos, outros novamente aventaram a mesma suposição, e por isso, conforme nos conta o próprio Ørsted, ele foi levado a desenvolver uma experiência cujo único propósito era mostrar que, em torno de um condutor, o campo magnético é realmente circular (ØRSTED, 1823a). A experiência é muito simples. Ørsted colocou um condutor vertical, conectado ao resto do circuito através de cubas de mercúrio colocadas em suas extremidades, de tal forma que podia girar em torno de seu próprio eixo, sem interromper ou modificar a corrente elétrica. Colocando em sua proximidade uma agulha imantada, e girando o fio, Ørsted mostrou que todos os pontos da circunferência do condutor exercem uma ação igual sobre a agulha - o que é incompatível com a suposição de uma distribuição descontínua de pólos sobre a superfície do fio.

Além do aspecto de quebra de simetria, um outro motivo dificultava a aceitação da hipótese do campo magnético circular em torno do fio. Essa oposição foi expressa pela primeira vez por Schweigger: se existisse esse campo magnético circular em torno do condutor, um pólo magnético seria empurrado continuamente e seria levado a dar voltas em torno de um fio, sem parar; como, na época, não se imaginava que hou-



*Figura 2.* De acordo com a interpretação de Ørsted (e que aceitamos atualmente), o fio percorrido por uma corrente elétrica é circundado por um campo magnético que circula em torno do mesmo (a). Berzelius e outros autores supuseram que a corrente elétrica produzia, no fio, dois ou mais pares de pólos magnéticos (b). Isso produziria, acima e abaixo do fio, campos que pareceriam circular em torno do mesmo (c); mas, em outros pontos, o sentido do campo seria o oposto ao do modelo de Ørsted, o que permitiu distinguir os dois modelos pela experiência.

vesse consumo de energia na bateria galvânica, pensava-se que, em princípio, uma pilha eletroquímica poderia funcionar por um tempo indefinido; assim, a corrente elétrica poderia produzir um moto contínuo de primeira espécie — o que parecia absurdo. Em seu artigo da *Enciclopédia de Edinburgh*, Ørsted se refere a essa objeção, mas não discute seus aspectos teóricos:

“A idéia de rotações magnéticas em torno do fio de conexão gerou muita oposição ao ser publicada pela primeira vez. O professor Schweigger objetou a ela que, se tais rotações existissem, seria possível fazer um ímã girar em torno do fio de conexão. O Dr. Wollaston tirou a mesma conclusão, mas com atitude oposta: considerando provável esse resultado, ele inventou um instrumento para demonstrá-lo. A experiência foi interrompida por acidente, e o Sr. Faraday a retomou, realizando um extensa série de experiências sobre o assunto, conduzidas com a mesma destreza que exibiu em tantas outras investigações. Ele descobriu que não só o ímã pode girar em torno do condutor, mas que da mesma forma um condutor móvel pode girar em torno do ímã” (ØRSTED, 1827).

Mais adiante voltaremos a discutir essa conseqüência da descoberta de Ørsted.

Apesar dos aspectos estranhos do efeito descrito por Ørsted, os pesquisadores felizmente não se fecharam em sua incredulidade. Não houve a repetição do episódio dos astrônomos que se recusaram a olhar pelo telescópio de Galileo por estarem seguros da impossibilidade de existência das luas de Júpiter. Em Paris, ao descrever o trabalho de Ørsted, Arago foi imediatamente desafiado a repetir as experiências diante da Academia, e assim o fez, na semana seguinte (11/9/1820). A reação foi de espanto e consternação. O efeito descrito por Ørsted existia, e era tal e qual havia sido descrito.

Algo semelhante ocorreu por toda parte. Os cientistas que dispunham de bússolas e baterias voltaicas puseram-se a repetir e confirmar todos os detalhes das experiências de Ørsted. Nas semanas seguintes, as sociedades científicas mais importantes da Europa discutiram o fenômeno. Em pouco tempo, Ørsted se tornara famoso. Ainda em 1820, foram publicadas traduções de seu primeiro trabalho sobre eletromagnetismo em inglês, alemão, italiano e dinamarquês (ØRSTED, 1820a).

A rápida difusão e reconhecimento da importância do trabalho de Ørsted foi uma faca de dois gumes. Por um lado, o físico dinamarquês, até então pouco conhecido no exterior, obteve fama mundial, e estabeleceu sua prioridade (depois questionada, como será descrito na Seção 8) sobre a descoberta do eletromagnetismo. Por outro lado, muitos outros pesquisadores, alguns com melhores laboratórios e recursos de todos os tipos, puseram-se imediatamente a pesquisar o assunto. O resultado foi a rápida superação do trabalho de Ørsted. Seu nome cedo tornou-se apenas o do descobridor “casual” de um efeito qualitativo, cabendo o mérito do desenvolvimento das leis matemáticas do eletromagnetismo a Ampère e outros.

Antes, porém, de discutir os trabalhos de outros autores, é importante citar que Ørsted publicou ainda em 1820, dois meses após o primeiro trabalho, um segundo artigo (ØRSTED, 1820b) em que descreve novas experiências. Nesse artigo, ainda de forma puramente qualitativa, ele mostra que a lei de ação e reação é válida para a interação entre o fio condutor e o ímã: da mesma forma que a corrente elétrica faz girar a agulha magnética, um ímã em posição adequada produz sobre o condutor um torque oposto, que tende também a girá-lo. Essa verificação era indispensável, dados os aspectos estranhos do fenômeno estudado.

## 7 DESENVOLVIMENTOS POSTERIORES

Descrever a seqüência de trabalhos detonada pela descoberta de Ørsted seria esboçar toda a história do eletromagnetismo – o que não é o objetivo deste estudo. Mas é importante citar os primeiros desses trabalhos.

Fora da Dinamarca, e especialmente em Paris, as descobertas seguiam-se com enorme rapidez. Uma semana após a demonstração experimental de Arago diante da Academia, Ampère apresentou uma “Memória relativa aos novos fenômenos galvano-elétricos (18/9/1820) em que descreveu um aparelho que utilizaria o efeito eletromagnético para a medida de corrente elétrica, atribuindo-lhe o nome de “galvanômetro”. Nas semana seguinte, Ampère apresenta uma outra “Memória sobre os efeitos da pila” (25/9/1820) em que mostra a existência de uma interação entre duas correntes elétricas, que se atraem quando são paralelas e de mesmo sentido, e se repelem quando de sentidos opostos. Nessa memória, Ampère sugere que o magnetismo é um fenômeno secundário, e que na superfície dos ímãs existiriam correntes elétricas fechadas, invisíveis, responsáveis por seus efeitos (AMPÈRE, 1820a, 1820b).

Em todo seu trabalho posterior, Ampère será guiado por essa mesma idéia central: o fenômeno básico, fundamental, do eletromagnetismo, é a ação entre correntes elétricas; os fenômenos magnéticos são secundários, e precisam ser explicados por modelos adequados, não sendo por isso necessário dar muita importância à interação entre correntes e ímãs. Utilizando esse tipo de abordagem, era possível fugir ao principal problema da descoberta de Ørsted: o campo magnético circular. De fato, sem a reinterpretação de Ampère, a descoberta de Ørsted contrariava os cânones da física newtoniana, que supunha todas as ações à distância serem exercidas em linha reta, na direção que une os corpos interagentes. Mas a força entre o condutor e o pólo magnético era *perpendicular* à reta que os unia. Pelo contrário, no caso das forças entre correntes elétricas, nada de estranho ocorre: as forças são dirigidas paralelamente à reta que as une, e satisfaz-se assim o padrão newtoniano de explicação. Ampère estava bem consciente desse aspecto de sua abordagem:

“Guiado pelos princípios da filosofia newtoniana, reduzi o fenômeno observado por Ørsted a forças que agem sempre ao longo da reta que une as duas partículas entre as quais são exercidas essas forças” (AMPÈRE, 1825).

Em seu modelo, Ampère basicamente transporta a rotação, do campo magnético do fio condutor, para as correntes invisíveis dentro do ímã.

Na mesma sessão da Academia de 25 de setembro, Arago descreveu suas próprias experiências originais, em que constatou que o fio percorrido pela corrente elétrica atua, como um ímã, sobre limalha de ferro e sobre agulhas de ferro não imantadas. Além disso, notou que a corrente galvânica podia produzir imantação de uma agulha de aço, embora não tenha conseguido inicialmente esclarecer as condições para que isso ocorresse (ARAGO, 1820a). Primeiramente, ele apenas colocava as agulhas de aço próximas ao fio condutor, sem resultados definidos; depois, passou a prender as agulhas ao fio, e para isso enrolou casualmente o condutor à sua volta; agora, as agulhas se imantavam, mas Arago não conseguiu prever sua polaridade (mais tarde, compreen-

deu-se que ela dependia não só do sentido da corrente, mas também do modo como o fio era enrolado à volta da agulha). Seguindo uma sugestão de Ampère, Arago construiu solenóides dextrógiros e sinistrógiros, e mostrou que com eles era possível imanantar fortemente as agulhas de aço (16/10/1820). As posições dos pólos podiam ser previstas com o auxílio da teoria de Ampère (AMPÈRE, 1820b).

Duas semanas depois (30/10/1820), Biot e Savart comunicam à Academia a medida da força magnética produzida pelas correntes elétricas sobre uma agulha imanantada (ARAGO, 1820b). Eles mostram que essa força é inversamente proporcional à distância do fio. É interessante notar que, na versão posteriormente publicada pelos autores (BIOT & SAVART, 1823), eles defendem a posição de Ørsted, e atacam a de Ampère: “Essa hipótese [de Ampère], que atribuiria a correntes fluidas uma propriedade de atração depende de suas direções serem diferentes ou semelhantes, é, em primeiro lugar, completamente estranha às analogias apresentadas por todas as outras leis de atração”.

Biot e Savart consideram a interação entre correntes elétricas e ímãs como um fenômeno complexo, do seguinte tipo: a corrente elétrica atuaria sobre o material do fio condutor, nele criando uma disposição complexa de pólos magnéticos com caráter rotacional; esses ímãs, por sua vez, atuariam sobre a agulha magnética. Para tornar plausível essa idéia, apresentam uma comparação com o fenômeno de polarização rotatória, profundamente estudado pelo mesmo Biot nos anos anteriores. Neste fenômeno, observa-se que, em um meio aparentemente isotrópico (uma solução de substâncias orgânicas, por exemplo), o plano da luz polarizada sofre uma rotação, em sentido determinado. Ora, a aparente quebra de simetria desse fenômeno é semelhante à que ocorre no caso do campo magnético da corrente elétrica, e por isso parecia a Biot que não havia nada de fundamentalmente estranho na proposta de Ørsted.

Como já foi citado acima, outros físicos, como Wollaston, aceitaram a idéia do campo magnético giratório em torno do fio condutor. Faraday também a aceitou, considerando que a ação entre correntes (que Ampère defendia como ações simples) era na verdade um efeito composto e complexo. Em defesa dessa sua opinião, Faraday apresentou não apenas as belas experiências em que exibia a rotação de um ímã em torno de uma corrente elétrica (FARADAY, 1821), mas também argumentos de outros tipos: em todos os fenômenos elétricos e magnéticos até então conhecidos, os iguais se repeliam e os opostos se atraíam; mas, nos fenômenos estudados por Ampère, ocorria o oposto: correntes de igual sentido se atraíam, e de sentidos opostos se repeliam. Para Faraday, isso seria uma forte indicação de que se tratava de um fenômeno complexo. Faraday também indicou que a posição dos pólos em um ímã cilíndrico não é equivalente à posição dos pólos de um solenoide percorrido pela corrente elétrica, o que mostrava que o modelo de Ampère não era perfeito. O artigo de Faraday foi traduzido e publicado nos *Annales de Chimie et Physique*, acompanhado por uma extensa série de notas anônimas que sabe-se serem de autoria de Ampère. Nessas notas, Ampère procura mostrar que todos os fenômenos descritos por Faraday podem ser explicados por sua teoria, e tenta responder a seus argumentos teóricos (AMPÈRE, 1821b). Durante alguns anos, houve uma luta entre os dois tipos de interpretação dos fenôme-

nos eletromagnéticos; depois de certo tempo, no entanto, acabou-se por perceber que os dois tipos de abordagem eram igualmente possíveis, e davam conta de todos os fenômenos<sup>5</sup>.

## 8 PRIORIDADES: ØRSTED OU ROMAGNOSI?

A descoberta de Ørsted foi seguida não apenas por discussões científicas, mas também por um outro incômodo tipo de controvérsia que costuma acompanhar as grandes novidades: a discussão de prioridades. Logo após a publicação do trabalho de Ørsted, deu-se grande divulgação às citações publicadas, em 1804, em dois livros sobre eletricidade, a respeito das experiências pioneiras realizadas na Itália. Segundo Aldini (“Essai théorique et expérimentale sur le galvanisme”, Paris, 1804, p. 191): “. . . (uma) nova propriedade do Galvanismo foi constatada pelo Sr. Romanesi, físico de Trento, que reconheceu que o galvanismo produzia uma declinação na agulha imantada”. Da mesma forma, segundo Izarn (“Manuel du galvanisme”, Paris, 1804): “De acordo com as observações de Romanési, físico de Trento, a agulha já imantada, e que é submetida à corrente galvânica, sofre uma declinação” (DAVY, 1821; NÜRNBERGER, 1821; HAMEL, 1860; ROSENBERGER, *Geschichte der Physik*, v. 3, pp. 196-8).

Ao contrário de muitas outras discussões de prioridade na história da física, esta parecia desde o início pender para o lado do “Físico de Trento”, uma vez que suas experiências haviam de fato sido divulgadas em livros bem conhecidos, muito tempo antes das experiências de Ørsted. Após uma discussão preliminar, muitos aceitaram que o predecessor de Ørsted (na verdade, um *advogado* chamado Romagnosi) era o verdadeiro descobridor do eletromagnetismo. Em um artigo histórico de meados do século passado (HAMEL, 1860), o autor informa que Romagnosi divulgou sua experiência em 1802; que, durante 1802 e 1803, Ørsted esteve em Paris, onde conheceu pessoalmente Aldini (um dos divulgadores da descoberta de Romagnosi), com quem manteve correspondência desde então; e que em 1813 Ørsted estivera novamente em Paris, por ocasião da publicação de seu livro sobre relações entre as forças química, elétrica e magnética, e que seria implausível que não tivesse recebido (através de Aldini ou de algum outro físico) informações acerca de Romagnosi. Hamel conclui que Ørsted limitou-se a repetir a experiência de Romagnosi, da qual tinha conhecimento. Pelo contrário, Rosenberger (*Geschichte der Physik*, v. 3, p. 197) indica que não há qualquer evidência concreta de que Ørsted realmente conhecesse o trabalho de Romagnosi; e que seria improvável que o conhecesse, pois em seu livro de 1812 não cita qualquer evidência experimental a respeito da relação entre eletricidade e magnetismo — e, se conhecesse o trabalho de Romagnosi, teria tido interesse em citá-lo em defesa de suas concepções teóricas.

---

<sup>5</sup> Poisson, por exemplo, opunha-se fortemente às idéias de Ampère, mantendo a antiga idéia dos fluidos magnéticos. Em artigos sobre o magnetismo posteriores aos trabalhos fundamentais de Ampère, ele nem sequer chega a citar seu modelo eletrodinâmico (POISSON, 1824).

Desde o final do século passado, Romagnosi foi esquecido até mesmo pelos historiadores da ciência; mas, recentemente, sua prioridade foi recordada. A última edição da *Encyclopaedia Britannica* (ao contrário das edições anteriores) cita seu nome como predecessor de Ørsted na descoberta do eletromagnetismo, afirmando: "Este fenômeno havia sido descoberto primeiramente pelo jurista italiano Gian Domenico Romagnosi em 1802, mas sua comunicação fora ignorada" (MICROPAEDIA, v. 7, p. 596)<sup>6</sup>.

Na verdade, como já foi indicado, a comunicação de Romagnosi não havia sido ignorada. Além disso, como se verá mais adiante, Romagnosi parece não haver descoberto o mesmo fenômeno descrito por Ørsted. A história é interessante, e merece ser contada.

Gian Domenico Romagnosi nasceu em Salso-Maggiore a 13 de dezembro de 1761, falecendo em Corfu a 8 de junho de 1835<sup>7</sup>. Advogado, escreveu enorme número de obras. O primeiro de seus livros a alcançar grande projeção foi "Genesi del diritto penale" (1791), traduzido e utilizado em vários países europeus. Suas obras completas, publicadas em Florença de 1832 a 1835, abrangem 19 volumes, e foram reeditadas outras duas vezes, o que mostra o interesse de sua obra, na época.

De 1791 a 1793, Romagnosi foi pretor (chefe da justiça) em Trento, e mesmo após desligar-se do cargo continuou uma figura de destaque na política local. Em 1796 o Tirol foi dominado pelos franceses; em 1799 retornou à dominação austríaca, e então Romagnosi foi acusado de delito de Estado, durante a ocupação francesa. Preso em Innsbruck durante 15 meses, iniciou na prisão, como passatempo, o estudo da física, realizando experiências com a recém-descoberta pilha de Volta. Sua inocência foi por fim reconhecida, e seu nome reabilitado. Pouco depois, em 1801, com o retorno dos franceses, foi eleito Secretário do Governo Provisório, em Trento. A 3 de agosto de 1802, Romagnosi publicou em um jornal local, a *Gazzetta di Trento*, uma curta descrição sobre suas experiências a respeito da relação entre a corrente elétrica e o magnetismo. É a esse trabalho que se referem Izarn e Aldini. Mais adiante será fornecida uma tradução dessa comunicação.

A partir de dezembro de 1802, Romagnosi obteve uma colocação como professor de Direito em Parma, lecionando posteriormente em Pavia e Milano. Por várias vezes foi conselheiro de Estado e colaborou na elaboração da legislação italiana. Em 1833 foi eleito como membro estrangeiro da Academia de Ciências de Paris, o que atesta sua projeção internacional como jurista. Embora não tenha publicado qualquer obra sobre física, nota-se que interessava-se bastante pelas ciências exatas, havendo publicado obras como "Dell'insegnamento primitivo delle matematiche" (2 vols., Milano, 1821-2), "Vedute fondamentali sull'arte logica" (Milano, 1832) e artigos sobre estatística nos *Annali di Statistica*. Tudo isso mostra que o presumido antecessor de Ørsted não era

<sup>6</sup> Além desta menção no verbete anônimo "Ørsted", encontram-se também referências semelhantes nos verbetes "Electromagnetic radiation" (*Macropaedia*, v. 6, p. 647) e "Magnetism" (idem, v. 11, p. 311). Seus respectivos autores não são historiadores, e sim físicos: M. Phillips e B. Bleaney.

<sup>7</sup> Muitas enciclopédias trazem verbetes sobre Romagnosi. Utilizamos principalmente as informações biográficas de: HOEFER, *Nouvelle Biographie; Enciclopedia Italiana*; e DI GIORGI, *Cenni*. Há um livro de Cesare Cantù, *Vita di Romagnosi* (Milano, 1835) que parece ser a sua melhor biografia, e que infelizmente não pudemos consultar.

um “João-ninguém”, em sua época, mas um intelectual de amplos interesses e bastante respeitado internacionalmente.

Vejamos agora a descrição da experiência de Romagnosi, publicada na *Gazzetta di Trento*.

“O senhor Conselheiro Giandoménico Romagnosi, habitante desta cidade, conhecido no mundo literário por outras profundas produções suas, apressa-se a comunicar aos físicos da Europa uma experiência relativa ao fluido galvânico aplicado ao magnetismo.

“Após preparar a pilha do senhor Volta, composta de pequenas placas redondas de cobre e zinco, alternadas, interpondo no intervalo flanela umedecida com água impregnada por uma solução de sal amoníaco, prendeu à própria pilha um fio de prata dividido e interligado a diversos intervalos, como uma corrente. A última articulação dessa corrente passava por um tubo de vidro, em cuja extremidade exterior se encontrava um botão de prata unido à citada corrente.

“Feito isso, tomou uma agulha imantada ordinária, do tipo de uma bússola náutica, que estava montada dentro de uma caixa de madeira quadrada, e, levantando o vidro que a cobria, colocou-a sobre um isolador de vidro, próxima à pilha acima citada.

“Tomou então a corrente de prata, segurando-a pelo tubo de vidro descrito acima, e aplicou sua extremidade ou botão à agulha magnética; mantendo-a em contacto pelo espaço de poucos segundos, fez a agulha divergir da direção polar por alguns graus. Retirando a corrente de prata, a agulha permaneceu fixa na direção divergente que lhe fora dada. Aplicou novamente a mesma corrente [de prata], fazendo a dita agulha divergir ainda mais da direção polar, obtendo sempre que a agulha permanecesse no lugar em que a havia deixado; de tal modo que a polaridade [tendência a adotar a direção polar] ficava completamente amortecida. Para verificar depois ainda melhor esse resultado, aproximou à agulha imantada, à maior proximidade possível (mas sem tocá-la), ora um pedaço de mola de relógio, ora outros instrumentos de ferro, os quais inicialmente [antes da aplicação da corrente de prata à agulha imantada] atraíam fortemente a própria agulha a uma distância quatro vezes maior; mas, sob a ação galvânica, eles não tiveram o poder de movê-la sequer um fio de cabelo. “Para recuperar depois a polaridade, eis como o senhor Romagnosi operou. Com ambas as mãos, ele prendeu entre o polegar e o indicador a extremidade da caixinha de madeira isolada, sem sacudi-la, e a manteve assim por alguns segundos. Então viu-se a agulha imantada mover-se lentamente, e recobrar a polaridade, não de uma só vez, mas por pulsações sucessivas, de modo semelhante ao ponteiro de um relógio que indica os segundos.

“Esta experiência foi feita no mês de Maio, e foi repetida na presença de alguns espectadores. Em tais condições, obtém-se também facilmente a atração elétrica a uma distância muito sensível. Ele utilizou um fino fio de seda banhado em água impregnada por sal amoníaco, e o prendeu a uma caneta de vidro; aproximou então a acima citada corrente de prata ao fio, a uma distância de cerca de uma linha [cerca de 2mm] e viu o fio voar e tocar o botão da corrente e depois recuar, como nas experiências elétricas.

“O Senhor Romagnosi acredita ser seu dever publicar essa experiência, que deve ser reunida a outras em uma Memória que está compondo sobre o galvanismo e sobre a eletricidade, na qual indicará sua relação com um fenômeno atmosférico que ocorre todos os anos em um lugar do Tirol vizinho ao Prenner, e que afeta fortemente toda uma população, fazendo-a sentir todos os efeitos do galvanismo”<sup>8</sup> (Romagnosi, *apud* DI GIORGI, *Cenni*).

<sup>8</sup>De acordo com Cesare Cantù (*apud* DI GIORGI, *Cenni*), encontrou-se entre os manuscritos de Romagnosi uma dissertação “Sul vento caldo d’Innsbruck”, que seria a memória citada neste último parágrafo. Essa dissertação não foi reproduzida nas *Obras* de Romagnosi, e permanece inédita. Se ainda existir, será um documento precioso para elucidar melhor a interpretação do próprio autor sobre suas experiências.

Analisemos em primeiro lugar a descrição de Romagnosi sobre a corrente de prata. Em nenhum ponto ele indica que a corrente está ligada a ambos os pólos da pilha galvânica; e há várias indicações no sentido contrário. Ele descreve que “a *última* articulação dessa corrente passava por um tubo de vidro, em cuja extremidade exterior se encontrava um botão de prata unido à citada corrente”. Esse botão de prata será depois aplicado à agulha da bússola, que está dentro de uma caixa. Não consigo imaginar como ele poderia fazê-lo, a menos que essa extremidade estivesse livre. Parece-me portanto que se pode dizer com razoável segurança que a corrente de prata estava ligada por uma de suas extremidades à pilha, e que a outra se encontrava livre, e continha o botão de prata. Ora, se isso é verdade, toda a experiência de Romagnosi nada tem que ver com corrente elétrica e eletromagnetismo, e poderia ser explicada simplesmente com referência a efeitos eletrostáticos. Essa interpretação será reforçada analisando-se o penúltimo parágrafo da notícia acima transcrita, onde se descreve um efeito claramente eletrostático: aproximando-se o botão de prata de um fio de seda, observou-se que o fio foi atraído, adquiriu uma carga de mesmo sinal que o botão, e foi então repellido. *Este* efeito, certamente, nada tem que ver com eletromagnetismo; e seria muito difícil que ele ocorresse se a corrente de prata estivesse ligada a ambos os pólos da pilha, pois, sendo a prata boa condutora elétrica, a diferença de potencial entre seus extremos seria muito menor do que a força eletromotriz da pilha, dificilmente produzindo efeitos eletrostáticos perceptíveis no caso do fio de seda.

Analisemos agora a experiência central de Romagnosi. Sua descrição deixa claro que o efeito *esperado* é eletrostático, uma vez que a bússola é colocada sobre um isolador de vidro. Além disso, quando, ao final da experiência, o isolamento é anulado (segurando-se, com a mão, a caixa da bússola), o efeito produzido desaparece. Note-se também que a deflexão observada ocorre quando se *toca* a agulha magnética com o botão de prata, e não por sua mera aproximação. Por fim, é importante notar que, após tocar a agulha magnética com o botão de prata, ela permanecia em uma posição anômala, ao se afastar o botão; e que, nessas condições, ela não respondia também à atração produzida por corpos ferromagnéticos. É claro que a bússola não perdeu sua imantação, pois caso contrário não poderia recobrá-la enquanto Romagnosi segurava a caixa de madeira; havia então algum efeito, além da força magnética agindo sobre a agulha, que a impedia de mover-se. A interpretação mais simples e razoável é a de que, uma vez estando eletrizada, a interação eletrostática entre a agulha e a caixa de madeira dificultava seu movimento<sup>9</sup>.

Creio que a leitura da descrição de Romagnosi, e da análise acima, é suficiente para mostrar que ele não descobriu o eletromagnetismo, e que não é de forma alguma predecessor de Ørsted. Isso não exclui, entretanto, a possibilidade de que a descrição de Aldini ou de Izarn tenha sido lida por Ørsted, norteando seu trabalho.

---

<sup>9</sup>Em uma nota de rodapé da versão francesa de DAVY, 1821, o editor (Joubert) também interpreta o efeito observado por Romagnosi como puramente eletrostático.

Ørsted jamais comentou as acusações de plágio e as sugestões relativas a Romagnosi. As discussões de prioridade foram realizadas à sua volta, aparentemente sem perturbá-lo, e certamente sem prejudicar sua reputação. Foi eleito membro de várias sociedades e academias científicas européias, e em 1822 realizou uma viagem triunfal por Berlim, Munique, Paris, Londres e Edimburgo. Ao retornar, fundou na Dinamarca uma Sociedade para o Desenvolvimento do Estudo da Ciência, provavelmente inspirada na British Association for the Advancement of Science. Em 1828 foi nomeado conselheiro de Estado (tornando-se depois conselheiro pessoal do Rei). No ano seguinte conseguiu obter a fundação da Escola Politécnica de Copenhague — um de seus velhos sonhos — que passou a dirigir. Em 1850 recebeu, como última honraria, pouco antes de sua morte, a posse do Castelo de Fasanhof. Ørsted faleceu em Copenhague, a 9 de março de 1851.

**AGRADECIMENTO** — Este trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), cuja permanente ajuda a meu trabalho desejo agradecer. Sou também reconhecido à firma dinamarquesa Bang & Olufsen a.s., que gentilmente forneceu para a realização do presente trabalho uma cópia do livro de FRANKSEN (*Ørsted*), que foi extremamente útil — principalmente nos aspectos biográficos.

#### LISTA BIBLIOGRÁFICA

- 1 AMPÈRE, A.M. Mémoire présenté à l'Académie Royale des Sciences, le 2 octobre 1820, où se trouve comprise le résumé de ce qui avait été lu à la même Académie le 18 et 25 septembre 1820, sur les effets des courans électriques. *Annales de Chimie et Physique* [2] 15: 59-76, 1820(a).
- 2 — . Suite du mémoire sur l'action mutuelle entre deux courans électriques, entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre, et entre deux aimans. *Annales de Chimie et Physique* [2] 15: 170-218, 1820(b).
- 3 — . Lettre de M. Ampère à M. Arago. *Annales de Chimie et Physique* [2] 16: 119-29, 1821 (a).
- 4 — . Notes relatives au mémoire de M. Faraday. *Annales de Chimie et Physique* [2] 18: 370-9, 1821(b); reproduzido em Joubert, *Collection de mémoires*, pp. 184-91.
- 5 — . Notice sur les nouvelles expériences électro-magnétiques faites par différens physiciens, depuis le mois de mars 1821. *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire naturelle et des Arts* 94: 61-6, 1822.
- 6 — . Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques uniquement déduite de l'expérience. *Mémoires de l'Académie royale des Sciences de l'Institut de France* 6: 175-387, 1825.
- 7 ARAGO, F. Expériences relatives à l'aimantation du fer et de l'acier par l'action du courant voltaïque. *Annales de Chimie et Physique* [2] 15: 93-102, 1820(a).
- 8 — . Note sur le magnetisme de la pile de Volta. *Annales de Chimie et Physique* [2] 15: 222-3, 1820(b).
- 9 BERZELIUS, J. Lettre à M. Berthollet sur l'état magnétique des corps qui transmettent un courant d'électricité. *Annales de Chimie et Physique* [2] 16: 113-9, 1821.
- 10 BIOT, J. B. & Savart, F. Sur l'aimantation imprimée aux métaux par l'électricité en mouvement, *Précis élémentaire de Physique*, 3. ed., Paris, 1823, v. 2, p. 704; reproduzido em: JOUBERT, *Collection de mémoires*, pp. 80-127.

- 11 BOISGIRAUD, A. De l'action de la pile sur l'aiguille aimantée. *Annales de Chimie et Physique* [2] 15: 279-89, 1820. Traduzido em: On the action of the voltaic pile upon the magnetic needle. *Philosophical Magazine* 57: 203-6, 257-8, 1821.
- 12 CANEVA, K. L. Ampère, the etherians, and the Ørsted connexion. *British Journal for the History of Science* 13: 121-38, 1980.
- 13 COULOMB, C. A. Mémoire ou l'on détermine suivant quelles lois le fluide magnétique ainsi que le fluide électrique agissent soit par répulsion, soit par attraction. *Collection de mémoires relatifs à la physique*, v. 1. Paris, Gauthier Villars, 1884, pp. 116-46.
- 14 CREW, H. *Rise of modern physics*. Baltimore, Williams & Wilkins, 1928.
- 15 DAVY, H. On the magnetic phaenomena produced by electricity; in a letter from Sir H. Davy, Bart. F. R. S. to W. H. Wollaston, M. D. P. R. S. *Philosophical Magazine* 58: 43-50, 1821. Tradução: JOUBERT, *Collection de mémoires*, pp. 64-73.
- 16 ENCICLOPEDIA Italiana di Scienze, Lettere ed Arti. Roma, Enciclopedia Italiana, 1936. V. 29, pp. 938-9 (verbete: "Romagnosi").
- 17 FARADAY, M. On some new electromagnetical motions and on the theory of magnetism. *Quarterly Journal of Science* 12: 74-98, 1821. Reproduzido em: FARADAY, *Experimental researches*, pp. 795-807. Tradução: Sur les mouvements électro-magnétiques et la théorie du magnétisme. *Annales de Chimie et Physique* [2] 18: 337-70, 1821. Tradução reimpressa em: JOUBERT, *Collection de mémoires*, pp. 158-83.
- 18 — . Historical sketch of electro-magnetism III. *Annals of Philosophy* [2] 3: 107-21, 1822.
- 19 — . *Experimental researches in electricity*. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952 (Great books of the western world, v. 45).
- 20 FRANKSEN, O. I. *H. C. Ørsted - a man of the two cultures*. Birkerød, Strandberg, 1981.
- 21 FRESNEL, A. Note sur les essais ayant pour but de décomposer l'eau avec un aimant. *Annales de Chimie et Physique* [2] 15: 219-22, 1820.
- 22 DI GIORGI, Alessandro, Cenni sulla vita di Giandomenico Romagnosi. Em: DI GIORGI, A. (ed.). *Opere filosofiche edite ed inedite di G. D. Romagnosi*. Milano, Perelli e Mariani, 1842, pp. v-xv. Reproduzido também em: DI GIORGI, A. (ed.). *Opere di Giovanni Domenico Romagnosi*. Palermo, Frascogna-Bamberra, Clamis e Roberti, 1844, v. 1, pp. v-xiii.
- 23 HAMEL, J. Die Entstehung der galvanischen und electro-magnetischen Telegraphie. *Bulletin de l'Académie impériale des Sciences de St. Pétersbourg* 2: 97-136, 1860.
- 24 HANSTEEN, C. Répétition et confirmation des mêmes expériences [de Muschman]. *Annales de Chimie et Physique* [2] 38: 206-8, 1828.
- 25 HATCHETT, M. On the electro-magnetic experiments of MM. Ørsted and Ampère. *Philosophical Magazine* 57: 40-9, 1821.
- 26 HOFFER, D. (ed.). Nouvelle biographie générale. Paris, F. Didot, 1866. Verbete "Romagnosi": v. 42, col. 574-6.
- 27 JOUBERT, J. (ed.). *Collection de mémoires relatifs à la Physique*, vol. 2. Paris, Gauthier Villars, 1885.
- 28 LARSEN, A. *The discovery of electromagnetism made in the year 1820 by H. C. Ørsted*. Copenhagen, s. e., 1920.
- 29 LEHOT, J. G. [Lettre relative à l'expérience de M. Fresnel]. *Annales de Chimie et Physique* [2] 15: 406-8, 1820.
- 30 MARTINS, R. de A. Mayer e a conservação de energia. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (6): 63-84, 1984.
- 31 MICROPAEDIA, *Encyclopaedia Britannica*, 15. ed. Chicago, 1980.
- 32 MUSCHMAN. Effects du magnétisme terrestre sur la précipitation de l'argent. *Annales de Chimie et Physique* [2] 38: 201-5, 1828.
- 33 NÜRNBERGER, P. [Brief am P. Gilbert] *Annalen der Physik* 68: 208, 1821.
- 34 ØRSTED, H. C. *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*. København, Schultz, 1820. Reproduzido em: *Journal für Chemie und Physik* 29: 275-81, 1820; também reproduzido em FRANKSEN, *Ørsted*. Tradução: Expériences sur l'effet du conflit électrique sur l'aiguille aimantée. *Annales de Chimie et de Physique* [2] 14: 417-25, 1820; idem, JOUBERT, *Collection de mémoires*; Experiments on the effect of a current of

- electricity on the magnetic needle. *Annals of Philosophy* 16: 273-7, 1820. Esperienze intorno all'effetto del conflitto elettrico sull'ago calamitato. *Giornale di Fisica, Chimica e Storia Naturali* [2] 3: 335-9, 1820.
- Versuche über die Wirkung des electrischen Conflicts auf die Magnetnadel. *Annalen der Physik und der physikalischen Chemie* 6: 295-304, 1820 – reproduzido na coleção *Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften* nº 63; reprodução *fac-simile* da memória original de Ørsted e das traduções publicadas em 1820, em: LARSEN, *Discovery of electromagnetism*.
- 35 — . New electromagnetic experiments. *Annals of Philosophy* 16: 375-7, 1820(b).
- 36 — . Expérience électro-magnétique. *Annales de Chimie et Physique* [2] 22: 201-3, 1823(a).
- 37 — . Sur la compressibilité de l'eau. *Annales de Chimie et Physique* [2] 22: 192-8, 1823(b).
- 38 — . Expériences de Ritter, analysées par M. Ørsted. *Annales de Chimie et Physique* [2] 38: 197-200, 1828.
- 39 PICTET, M. A. & de la Rive, A. [Erste öffentlich bekannt gewordene Wiederholung dieser Versuche]. *Annalen der Physik* 66: 305-9, 1820.
- 40 POISSON, A. Extrait d'une mémoire sur la théorie du magnétisme. *Annales de Chimie et Physique* [2] 25: 113-37, 1824.
- 41 PRECHTL, J. J. Untersuchungen über die Modificationen des electrischen Ladungszustandes. . . *Annalen der Physik* 35: 28-73, 1810.
- 42 — . Ansichten über den Magnetismus und dessen Ableitung aus der Eletricität. *Annalen der Physik* 67: 81-90, 1821(a).
- 43 — . Ueber die wahre Beschaffenheit des magnetischen Zustandes des Schliessungs-Drahtes in der Voltaischen Säule. *Annalen der Physik* 67: 259-75, 1821 (b).
- 44 ROSENBERGER, Ferdinand. *Die Geschichte der Physik*, 3v. Braunschweig, Vieweg, 1887-90. Reprodução: Hildesheim, G. Olms, 1965.
- 45 SPARKS, J. (ed.). *The works of Benjamin Franklin*, 10 v. Philadelphia, Childs and Peterson, 1840. Vol. 5.
- 46 STAUFFER, C. Speculation and experiment in the background of Oersted's discovery of e electromagnetism. *Isis* 48: 33-50, 1957.
- 47 WHITTAKER, Sir. E. *A history of the theories of aether and electricity*. New York, Humanities, 1973.