

"Entre os corpos naturaes, que nós até agora conhecemos, quanto podem alcançar as nossas indagações, não ha algum, que sendo dotado de todos os attributos universaes da materia, mostre maior numero d'outras propriedades, todas interessantes, mas que não se manifestão senão misteriosamente, como a pedra iman."

Giovanni Antonio dalla Bella

Esta é uma edição revista e encurtada do primeiro trabalho premiado com o Prémio "Mário Silva" atribuído pelo Público e Gradiva, com a colaboração da Sociedade Portuguesa de Física. O autor é actualmente aluno do primeiro ano no Instituto Superior Técnico, mas era aluno do Colégio Militar quando fez o trabalho.

RICARDO MONTEIRO
Rua Passos Manuel 6,
2815-217 Charneca da Caparica
ricardo58monteiro@hotmail.com

DALLA BELLA E A LEI MAGNÉTICAS

Em pequeno, achava imensa piada aos ímanes. Sim, os ímanes, aquelas coisas que se agarram à porta do frigorífico. E que são capazes de fixar lá os recados da minha mãe sem deixar marcas. Havia neles algo de misterioso.

Aproximava-os lentamente da porta, sempre imaginando que, daquela vez, não os deixaria colar e tentando descobrir o ponto crítico para a atracção do frigorífico. Mas, a certa altura, por uma achega milimétrica, essa força tornava-se irresistível. E, assim, fui sendo sucessivamente derrotado pela porta do meu frigorífico.

Só anos mais tarde, nas aulas de Técnicas Laboratoriais de Física do Colégio Militar, aprendi a natureza física deste fenómeno. Que resposta poderia ter dado Giovanni dalla Bella, numa das suas lições de Física Experimental? Mas, visto que o leitor poderá desconhecer este académico setecentista, debruçemo-nos sobre a sua vida e obra.



Giovanni dalla Bella nasceu em Pádua, Itália, em 1730, onde viria a doutorar-se em Filosofia e Medicina. Veio para Portugal em 1770, para leccionar Física Experimental no Colégio dos Nobres. Dois anos depois, ficou responsável pela mesma disciplina na Universidade de Coimbra. Aqui, viria a montar o novo Gabinete Experimental, que ombreava com os maiores da Europa. Foi

DAS ACÇÕES



Magnete esférico,
Museu de Física da Universidade de Coimbra

um dos primeiros sócios efectivos da Academia das Ciências de Lisboa. Entre as obras que publicou, encontra-se um modesto tratado de Física em latim e alguns ensaios sobre temas dispersos, tais como a cultura das oliveiras ou a protecção dos edificios dos danos causados pelos raios. Jubilou-se em 1790, tendo morrido doze anos depois, em Pádua.

O que mais atrai a atenção e envolve em controvérsia o lente italiano são as suas experiências de 1781, em Coimbra, sobre a lei das interacções (ou acções) magnéticas, cujos resultados foram comunicados à Academia de Lisboa. Esta lei, cuja descoberta em 1785 é geralmente atribuída ao francês Charles Augustin de Coulomb, pode ser enunciada da seguinte forma: *o módulo da força com que duas massas magnéticas se actuam mutuamente varia na razão inversa dos quadrados das distâncias*. Tais interacções são atractivas entre pólos opostos e repulsivas entre pólos semelhantes.

Atendendo à proximidade das duas datas, não é difícil encontrar o pomo da controvérsia. Dois físicos italianos, Mario Gliozzi e Giovanni Costanzo, em 1937 e 1938, respectivamente, e um português, Mário Silva¹, em 1939, defenderam a prioridade de dalla Bella. Mário Silva culpou *"a inércia do nosso meio social, o isolamento do país, a incompreensão de certos dirigentes"* pelo *"esquecimento desastroso a que foi votado o trabalho coimbrão"*, chegando mesmo a utilizar a expressão *"lei de dalla Bella"* nas suas lições universitárias.

Como é então possível que dalla Bella seja hoje ignorado? Que fantasma paira sobre o seu nome? A resposta encontra-se num extenso artigo de Rómulo de Carvalho², publicado em 1954, na Revista Filosófica da Universidade de Coimbra, sob o título *A pretensa descoberta da lei das acções magnéticas por dalla Bella, em 1781, na Universidade de Coimbra*, em que refuta as aspirações de dalla Bella e dos seus apoiantes.

Passemos então a uma breve análise dos trabalhos de dalla Bella (separada nas duas memórias enviadas pelo lente à Academia de Lisboa). Essa análise será dirigida para a interpretação dos fenómenos envolvidos, em detrimento da atenção aos pormenores experimentais.

PRIMEIRA MEMÓRIA

O professor italiano começa por reconhecer ao íman quatro propriedades únicas, assumindo que desconhece as suas causas:

- atrai a distância considerável todos os corpos que contêm ferro;
- "dirige-se" por si só para os pólos terrestres, numa linha que coincide aproximadamente com o meridiano;
- inclina-se abaixo do horizonte, na direcção do Pólo Norte;
- comunica as suas propriedades ao ferro e ao aço, sem perder o vigor delas.

Estes fenómenos descrevem-se hoje com base no conceito de campo magnético. Este campo é habitualmente representado por linhas que têm em cada ponto a direcção do vector campo magnético.

Um exemplo vulgar é o do campo gerado por um íman em barra (Fig.1).

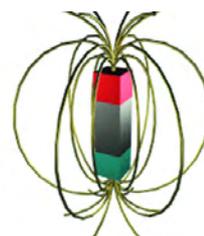


Fig.1.

É possível visualizar esse campo verificando a posição de uma agulha magnética na sua proximidade (a direcção da agulha será a da tangente à linha de campo, nesse ponto) ou espalhando limalha de ferro sobre um papel que cobre o íman. Na designação antiga os pólos magnéticos da agulha, Norte e Sul, são os pólos atraídos pelos pólos terrestres com o mesmo nome (e não pelos opostos: a contradição é hoje óbvia). O facto de a Terra se comportar como um íman gigante (Fig. 2) foi apontado pela primeira vez pelo mé-dico e físico inglês William Gilbert, em 1600, mas só em 1832 o matemático alemão Karl Gauss revelou a forma do campo magnético terrestre. Este é caracterizado, em cada ponto da proximidade da superfície da Terra, pela declinação (ângulo entre as direcções Norte-Sul geográfica e magnética) e pela inclinação (ângulo entre o plano horizontal e a direcção do campo), que variam com o local e com o tempo, sabendo os cientistas que o campo terrestre se inverte de vez em quando.

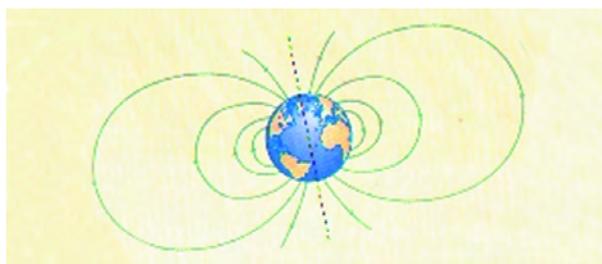


Fig.2.

Regressemos às experiências de dalla Bella. O lente propôs-se determinar uma lei que relacionasse as diferentes distâncias dos corpos atraídos e o valor da força magnética. Montou o seguinte dispositivo experimental: fixou ao tampo de uma mesa um grande íman de magnetite, de forma a que o seu eixo magnético fosse vertical; sobre esse íman, suspendeu alternadamente ímanes menores no braço de uma balança, de forma a que os eixos magnéticos coincidissem. O sistema de roldanas da balança fazia deslocar verticalmente esses ímanes e os pesos colocados no braço oposto revelavam a força de atracção. Sendo o deslocamento vertical já difícil para as atracções, o processo era muito impreciso para estudar repulsões.

É de realçar o cuidado colocado na descrição das experiências, a que não foram alheios mais de trinta anos de docência. Dalla Bella queria *"que outros pudessem tirar outras conclusões delas"*. Após 27 ensaios experimentais, concluiu que o módulo das forças atractivas é inversamente proporcional ao quadrado das distâncias entre os pólos em questão. De facto, a força entre dois pólos magnéticos, com as "intensida-

des" p e p' , no vácuo, tem o valor:

$$F_m = k' \frac{p p'}{r^2}$$

onde r é a distância entre os pólos e k' é a constante de proporcionalidade³.

Embora a existência de pólos magnéticos isolados contradiga a Lei de Gauss para o magnetismo (quando um íman se quebra, obtemos dois pólos em cada fragmento, por mais pequeno que seja o íman), o conceito de pólos é útil para simplificar alguns cálculos com ímanes. O campo magnético criado por um pólo de intensidade p noutro pólo de intensidade p' tem o valor:

$$B = \frac{F_m}{p'} = k' \frac{p}{r^2}$$

SEGUNDA MEMÓRIA

Na sua segunda Memória, dalla Bella descreve quase cem ensaios, nos quais usou, como corpos móveis, várias peças de ferro e uma de aço. Confirmou o resultado anterior, apesar de ter tido grande dificuldade em encontrar o centro magnético dos pólos. Retomaremos esta questão adiante, visto que ela trouxe dúvidas à validade dos seus trabalhos. Apresentou ainda experiências em que estudou a magnetização do ferro provocada por um íman ao longo de diferentes períodos de tempo. Na época, muitos cientistas julgavam que o magnetismo se propagava como um fluido (também dalla Bella se inclinava para esta ideia). Mas, para entendermos estes fenómenos, devemos considerar a estrutura atómica da matéria.

ESTRUTURA ATÓMICA DA MATÉRIA

Um átomo consiste num núcleo central formado por prótons e neutrões (partículas positivas e neutras, respectivamente), em volta do qual circulam electrões (partículas de massa muito menor, com carga negativa). Estudos espectroscópicos indicaram que estas partículas têm um momento magnético intrínseco, denominado *spin*, que faz delas minúsculos ímanes permanentes. O momento magnético do electrão é milhares de vezes superior ao do próton e do neutrão, não sendo estes relevantes para o comportamento magnético dos elementos.

Os electrões distribuem-se em camadas, sendo cada camada constituída por orbitais atómicas, cuja distribuição espacial é dada pela equação de Schrödinger. Segundo o princípio de exclusão de Pauli, numa orbital não podem existir dois electrões com o mesmo *spin*. Visto só existirem dois valores de *spin*, esse é o número máximo de electrões por orbital. Nesse caso, o seu *spin* é oposto, sendo zero o *spin* total. Quando mais do que uma orbital têm apenas um electrão, estes orientam-se de modo a terem *spins* com o mesmo sentido (paralelos). Assim, quando o átomo tem orbitais semi-preenchidas, tem um certo momento magnético total. Da mesma forma, quando os átomos se ligam para formarem moléculas, as propriedades magnéticas destas dependem da distribuição dos electrões pelas orbitais moleculares.

Isto não explica ainda o que é um íman permanente ou como é que este influencia magneticamente o ferro. Para isso, torna-se necessário referir os cinco tipos principais de magnetismo.

TIPOS DE MAGNETISMO

DIAMAGNETISMO

A maioria das substâncias não magnéticas só tem átomos com orbitais preenchidas com dois electrões. Como vimos, os *spins* antiparalelos dos electrões numa só orbital anulam-se e o átomo não apresenta nenhum momento magnético. Estes materiais dizem-se diamagnéticos.

Sujeitos a um campo exterior, apenas criam correntes eléctricas induzidas nos átomos ou nas moléculas que, de acordo com a lei de Lenz, geram no material um campo magnético oposto ao campo indutor. O momento criado é muito reduzido, o que explica a repulsão quase imperceptível entre estes materiais e um íman.

PARAMAGNETISMO

O comportamento paramagnético resulta da existência de um ou mais electrões não emparelhados nos átomos do material. Quando este está sujeito a um campo magnético, os momentos atómicos ou moleculares alinham-se paralelamente com o campo. O momento magnético total toma a direcção e o sentido do campo exterior, sendo estas substâncias atraídas por ímanes. Normalmente, esta atracção é fraca.

O paramagnetismo, tal como o diamagnetismo, depende da presença de um campo magnético exterior. Nos paramagnetos, se esse campo for retirado, os momentos magnéticos electrónicos voltam à sua distribuição aleatória de átomo para átomo, anulando-se globalmente.

FERROMAGNETISMO

Os compostos ferromagnéticos contêm átomos com vários electrões não emparelhados. Visto que os *spins* desses electrões são paralelos em cada átomo, gera-se um momento magnético suficientemente forte para influenciar os átomos vizinhos. Com o alinhamento de momentos magnéticos forma-se um campo magnético mais forte.

No entanto, isto sucede apenas dentro de certas regiões do material, designadas por domínios. Quando o material está desmagnetizado, os momentos magnéticos de cada domínio estão direccionados aleatoriamente, anulando-se globalmente. Se estas substâncias forem sujeitas a um campo exterior, os momentos dos domínios tendem a alinhar-se com o campo. Quando todos os átomos do material estiverem alinhados, formando um único domínio, diz-se que o material está magneticamente saturado (Fig. 3).

Alguns domínios mantêm-se alinhados mesmo depois do

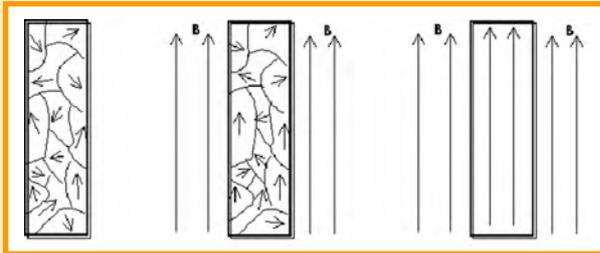


Fig .3.

campo exterior ter desaparecido. Se invertermos o campo a que o material está sujeito e o aumentarmos gradualmente, reparamos que esses domínios resistem ao novo alinhamento (um fenómeno denominado histerese (Fig. 4)).

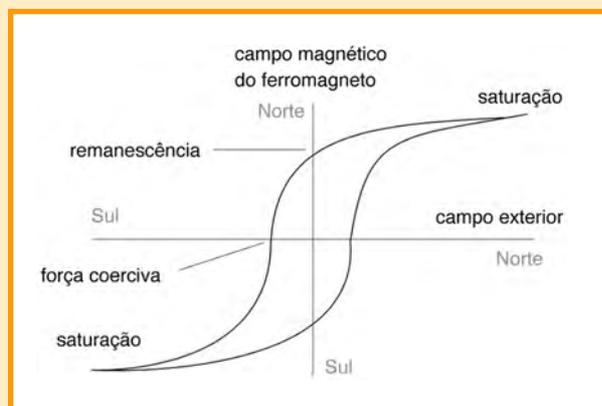


Fig .4.

A partir de um certo valor de campo magnético exterior, os domínios invertem finalmente os seus momentos individuais e o material pode voltar a saturar-se. Chamamos remanescência ao campo que se conserva no material e força coerciva ao campo necessário para o desmagnetizar. Ambos devem ter valores elevados nas ligas metálicas que servem para formar ímanes permanentes, como os vulgares ímanes em barra ou em ferradura.

ANTIFERROMAGNETISMO

Outros materiais que não reagem exteriormente ao aparecimento de um campo exterior têm propriedades antiferromagnéticas. Nestas substâncias, os átomos arranjam-se de forma a que os seus momentos magnéticos sejam antiparalelos (Fig. 5).

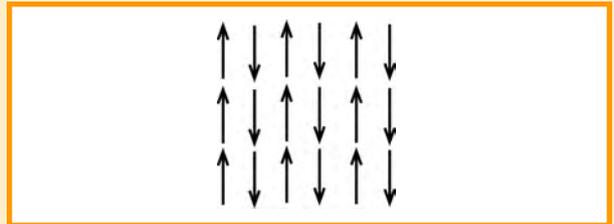


Fig .5.

FERRIMAGNETISMO

O ferrimagnetismo é semelhante ao antiferromagnetismo, mas envolve dois elementos, cujos momentos magnéticos têm valor diferente (Fig. 6). Assim, tal como os ferromagnetos, os materiais ferrimagnéticos são atraídos pelos ímanes. A magnetite (Fe_3O_4) é um ferrimagneto, visto que o momento criado pelos átomos de ferro é oposto e superior em valor ao criado pelos átomos de oxigénio.

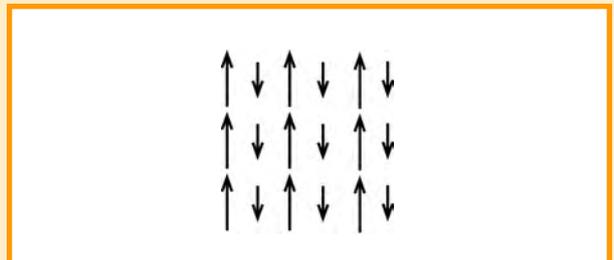


Fig .6.

Os materiais usados por dalla Bella eram ferromagnéticos. Depois de cada experiência, ele procedeu à desmagnetização das peças de ferro e aço, colocando-as no fogo por algum tempo. Para estudarmos a influência da temperatura nos vários tipos de magnetismo abordados, convém introduzir duas novas grandezas físicas, a permeabilidade e a susceptibilidade

PERMEABILIDADE E LEI DE CURIE-WEISS

A permeabilidade de um material pode ser entendida como a facilidade com que ele se magnetiza. Sendo μ_0 a permeabilidade no vácuo⁴, a permeabilidade de um material é dada por $\mu = \mu_0 (1 + m)$, onde m é a grandeza designada por susceptibilidade magnética.

Só nos materiais diamagnéticos a susceptibilidade é negativa e independente da temperatura.

Nos paramagnetos, a permeabilidade varia de acordo com a lei de Curie-Weiss (Fig. 7)

$$m = \frac{C}{T - T_C}$$

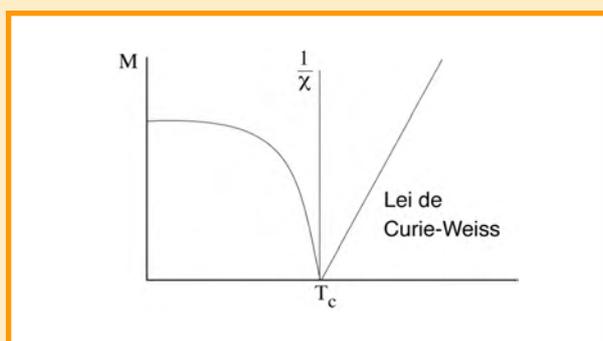


Fig. 7.

sendo C a constante de Curie, T a temperatura absoluta e T_C a temperatura de Curie, própria de cada material. Abaixo deste valor, a substância apresenta propriedades ferromagnéticas: a magnetização espontânea é praticamente constante perto do zero absoluto, mas vai decrescendo, anulando-se a $T = T_C$. O ponto de Curie do ferro é cerca de 770°C , pelo que esta substância é ferromagnética à temperatura ambiente.

É óbvio agora que a desmagnetização dos corpos metálicos de Dalla Bella era tanto mais efectiva quanto mais a temperatura se aproximava do ponto de Curie.

*

* *

Os motivos que levaram Rómulo de Carvalho a menosprezar os trabalhos do professor paduano estão descritos no seu artigo. Destacarei os dois que considero fulcrais.

Em primeiro lugar, Dalla Bella explica, nas duas memórias, a dificuldade em determinar o centro magnético dos pólos para medir distâncias (recordemos que não dispunha dos ímanes modernos). Mas os processos usados na sua localização levantam dúvidas acerca da validade científica das suas experiências.

Para determinar o centro do pólo no íman fixo, diz ter verificado em que ponto se uniriam as linhas de direcção da agulha magnética, colocada a distâncias iguais do pólo. Ora, tal é inviável, visto que as linhas de campo de um íman não convergem, nem por grosseira aproximação, num único ponto.

Mais polémico é o método usado para as peças móveis: supondo a validade da lei (que já conhecia, como veremos), Dalla Bella considerou a localização dos centros polares como aquela que a tornava mais exacta nos vários ensaios. É muito discutível que esse método preencha os requisitos da descoberta experimental de uma lei.

O segundo motivo está relacionado com o facto de a lei das acções magnéticas ser anterior a Dalla Bella... Na realidade, o britânico John Michell já a tinha enunciado em 1750, num livro sobre processos de magnetização. Refere-se a essa lei no prefácio, nos mesmos termos em que foi enunciada mais tarde, dizendo que a obteve experimentalmente, e não se ocupou mais do assunto, por não ser essa a finalidade da sua obra. A par disto, a teoria da questão já tinha sido esboçada por cientistas como o

alemão Johann Lambert, que, em 1766, previu matematicamente a variação da força magnética dada pela referida lei. E é inquestionável, estando exaustivamente provado no artigo de Rómulo de Carvalho, que dalla Bella conhecia estas obras (a sua cultura científica era, de facto, notável), apesar da inocência com que apresenta as "suas" descobertas.

A Academia das Ciências atrasou de vários anos a leitura aos académicos das duas memórias. Mário Silva fala em "inércia", "isolamento" e "incompreensão". Mas Rómulo de Carvalho sugere a indignação dos cientistas portugueses perante a "nova ideia" de dalla Bella e a frustração das expectativas criadas em torno do físico estrangeiro como explicação para essa demora. Seria interessante saber se os mesmos académicos aplaudiram os trabalhos de Coulomb.

A realidade é que, depois do trabalho de Rómulo de Carvalho (convém não esquecer a sua autoridade na história da ciência portuguesa, especialmente da época pombalina), as experiências do professor italiano foram remetidas ao esquecimento. Na própria Academia de Ciências de Lisboa, o seu nome é hoje associado às suas outras publicações, e não ao magnetismo, pelas pessoas que se ocupam da biblioteca e dos arquivos históricos.

Nos nossos dias, e como é sabido, a lei das acções magnéticas é atribuída a Coulomb, e não a dalla Bella nem a Michell...

NOTAS

1. Professor de Física na Universidade de Coimbra, onde organizou o Museu Pombalino de Física, recuperando o Gabinete Experimental que dalla Bella dirigiu.
2. Professor no Liceu Normal de Pedro Nunes, em Lisboa, e membro da Academia de Ciências de Lisboa; grande divulgador científico e autor literário sob o pseudónimo de António Gedeão.
3. É inevitável a analogia com as expressões clássicas da força gravítica e da força eléctrica, propostas pelo inglês Isaac Newton, em 1687, e pelo francês Charles Coulomb, em 1785, respectivamente.
4. A constante k' (na equação da força magnética no vácuo, apresentada anteriormente) é dada, no Sistema Internacional, por $\mu_0 / 4$.

BIBLIOGRAFIA

- Giovanni dalla Bella, in *Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, Tomo I, 1ª Série, Typografia da Academia, Lisboa, 1797.
- Mário Silva, in *Publications du Laboratoire de Physique de l'Université de Coimbra*, Nos 3 e 4, Volume I, Typografia da Atlântida, Coimbra, 1941.
- Rómulo de Carvalho, in *Revista Filosófica*, Nº 11, Ano IV, Coimbra, 1954.
- Carvalho, Rómulo de – *História do Gabinete de Física da Universidade de Coimbra, desde a sua fundação (1772) até ao jubileu do professor italiano Giovanni Antonio dalla Bella (1790)*, Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1978.
- Schaum, Daniel; Van Der Merwe, E. Carel – *Física Geral*, Tradução de Alvaro Ferreira Gomes, Colecção Schaum, Editora McGraw-Hill do Brasil, Rio de Janeiro, 1961.
- Marques de Sá, Maria Teresa – *Física 12º Ano*, 1ª Edição, Texto Editora, Lisboa, 1998.