CDU 92 Ampère
Biografias
Ampère

André-Marie Ampère

um modelo de filósofo do início do século XIX

Ampère (1775-136)— de la Houille Blanche

Passou no ano de 1973 o 2.º centenário do nascimento do grande físico André-Marie Ampère que nasceu em Lyon (França) em 22 de Janeiro de 1775 e morreu em Marselha no dia 10 de Junho de 1836. Foi aos 45 anos, em 1820, que ele realizou, em física, a obra que o devia tornar mundialmente célebre e assegurar-lhe um renome imortal: a descoberta das forças electrodinâmicas exercendo-se entre correntes eléctricas. Pouco tempo depois inventava também o electro-íman e sugeria a sua utilização na telegrafia. Estas descobertas de Ampère juntamente com as de Michel Faraday em 1831 — descoberta das correntes induzidas, que Ampère aliás tinha entrevisto — deviam assegurar o desenvolvimento da electrotécnica e de toda a indústria moderna. Foi a justo título que à unidade de intensidade da corrente eléctrica, em virtude de uma convenção internacional concluída em 1881, foi dado o nome de «Ampère».

A França celebrou oportunamente o centenário das descobertas de Ampère. Na Sorbonne realizou-se em Novembro de 1921 uma sessão solene presidida pelo Presidente da República. A «Revue Générale de l'Electricité» consagrou nessa altura um número especial, o de Novembro de 1922, a André-Marie Ampère, à sua vida, à sua obra, às suas consequências.

Recordemos o que foi a sua vida: nasceu em 1775 na cidade de Lyon, onde seu pai Jean-Jacques Ampère, que negociava em sedas, e que era pessoa muito culta, e grande adepto das ideias de Jean-Jacques Rousseau tinha reunido uma interessante biblioteca. O jovem André-Marie tinha sete anos quando seu pai decidiu retirar-se dos negócios indo viver para uma propriedade rural em Poleymieux nos Monts d'Or lioneses, a cerca de 15 km a norte de Lyon, consagrando-se aí inteiramente aos seus estudos e à educação dos seus filhos, André-Marie e duas raparigas, uma das quais mais velha que este.

Esta propriedade de Poleymieux é actualmente um «Museu da Electricidade», pertencente à Société Française des Electriciens et Electroniciens e é administrada pela Société des Amis d'André-Marie Ampère, com sede em Lyon.

Foi em Poleymieux que Ampère cresceu, sem seguir os cursos de qualquer escola, tendo seu pai como único instrutor e aproveitando algumas lições particulares de matemática de um abade lionês, mas sobretudo apropriando-se sozinho, graças à sua precoce inteligência e à sua prodigiosa memória, do saber contido na biblioteca de seu pai: a grande Encyclopédie de Diderot e as obras de Euler e de Bernouilli que ele tinha assimilado desde os 16 anos, depois a Mécanique Analytique de Lagrange. Foi para ele um tempo feliz e abençoado que infelizmente a desgraça ia cobrir com a sua sombra. Tinha 17 anos quando perdeu a sua irmã mais velha que ele adorava e 18 anos quando seu pai, em 1793, foi decapitado no regime do Terror. Ele tivera a imprudência de aceitar em Lyon o cargo de juíz de paz do tempo da Convenção; Robespierre e Saint-Just não lhe perdoaram tal atitude. Para o jovem André-Marie foi um golpe terrível. Ficou entorpecido um ano inteiro e depois procurou um derivativo ao seu desgosto lendo os poetas latinos e procurando o campo para herborizar.

A felicidade sorriu-lhe de novo quando aos 21 anos encontrou uma jovem, Julie Caron, de quem se enamorou, sendo correspondido.

A fortuna de seu pai tendo sido confiscada na sua maior parte, Ampère teve que procurar ganhar a vida dando lições particulares e não pôde casar-se com Julie senão ao fim de três anos de namoro, acolhendo-a

num modesto apartamento lionês onde em 1800 nascia um rapaz baptizado com o nome de seu avô Jean-Jacques. Mas, infelizmente a jovem mãe caíu doente, e Ampère, para fazer face às despesas da casa e às ocasionadas pela doença de sua mulher, teve que se separar dos seus e aceitar um lugar para ensinar física na Ecole Centrale de Boug-en-Bresse que acabava de ser criada. Esta solidão foi para ele um motivo de tristeza, mas também uma ocasião de meditação, que lhe permitiu redigir a sua primeira memória científica intitulada «Considérations sur la théorie mathématique du jeu». Enviou esta memória à Académie des Sciences onde foi notada pelo velho académico De Lalande, originário de Bourg, que decidiu encorajar o seu jovem patrício e apresentá-lo ao astrónomo Delambre que então era um homem influente e para ele obteve um lugar de professor do liceu de Lyon. Era o que Ampère tanto desejava após dois anos de dolorosa separação dos seus, mas logo depois do seu regresso à terra natal viu morrer de tuberculose a sua jovem mulher. De novo esmagado pela dor procurou refúgio no trabalho científico, publicando uma segunda memória «Recherches sur l'application des formules génerales du calcul des variations aux problèmes de mécanique» que firmou a sua reputação de matemático. Como a estadia em Lyon, lugar das suas infelicidades, lhe pesasse, foi ainda mais uma vez Delambre que veio em seu auxílio e lhe arranjou em Paris a função de repetidor de análise na Ecole Polytechnique. Assim Ampère foi para Paris em 1805 com 30 anos, aí ficando a habitar até morrer.

Contraíu novo casamento mas não foi feliz. Os pais da sua segunda mulher armaram-lhe uma verdadeira ratoeira com um contrato de casamento que o despojava financeiramente e o obrigava a vender a propriedade familiar de Poleymieux; sua mulher abandonou-o antes mesmo do nascimento duma filha que deixou a cargo do pai.

Deve dizer-se que o pobre Ampère, tão clarividente no campo das matérias científicas, se comportou durante toda a sua existência como uma criança ingénua e impulsiva no que se refere às relações humanas. Quando a sua filha Albine atingiu a idade adulta — aconselhado por um amigo cujas informações ele não verificou — casou-a com um antigo oficial colonial que se revelou ser um bêbedo inveterado tendo que ser internado durante metade da sua vida em asilo psiquiátrico; quando estava em liberdade, batia na mulher que acabou por morrer de medo e de desgosto. Tudo isto explica a razão por que Ampère, mesmo depois de ser célebre, teve sempre dificuldades materiais e preocupações financeiras que o constrangeram, para melhorar os seus proventos, a aceitar as funções de Inspector Geral do Ensino Secundário. Continuando sempre a ser professor em Paris, teve que visitar numerosos estabelecimentos escolares em toda a França. Foi no decurso de uma dessas viagens de inspecção que arranjou a broncopneumonia que viria a matá-lo no liceu de Marselha, em 1836, com 61 anos.

•

Mas regressemos à sua carreira na altura em que a abandonámos. Tendo-se desempenhado muito conscienciosamente da sua missão de repetidor na Ecole Polytechnique foi aí promovido a professor titular em 1809 e encarregado do ensino da análise e da mecânica. Teve assim ocasião de conviver com a maior parte dos sábios franceses do seu tempo: Monge, Laplace, Carnot, Fresnel, Poisson, Gay-Lussac, Fourier e Arago, assim como com os químicos Berthollet e Thénard. A sua reputação de matemático valeu-lhe ser eleito em 1814 para a Académie des Sciences na secção de geometria. Dez anos mais tarde foi nomeado professor de física experimental no Collège de France onde teve mais a satisfação, poucos anos antes da sua morte, de acolher o seu filho Jean-Jacques Ampère tornado seu colega na cadeira de literatura estrangeira. Jean-Jacques Ampère, sem dúvida um dos últimos adoradores de Madame Récamier, nunca se casou, de forma que Ampère não deixou descendentes.

A partir do ano de 1810 o principal interesse de Ampère voltara-se para a química. Gay-Lussac acabára de publicar os resultados das suas experiências referentes às relações de volumes segundo as quais os gases se combinam. Os volumes estão numa relação simples, e quando o próprio composto está no estado gasoso, o seu volume está também numa relação simples com o dos gases componentes.

Ampère para quem as ideias de Bernouilli sobre a teoria molecular dos gases, eram familiares, concluíu que à mesma temperatura e sob a mesma pressão volumes iguais de todos os gases deviam conter o mesmo número de moléculas. Ele mostrou igualmente como consequência desta lei e das relações numéricas observadas que cada uma das moléculas dos gases oxigénio, azoto e hidrogénio deviam ser formadas de dois átomos.

Infelizmente Ampère não se decidiu a publicar os seus resultados senão em 1814, tendo então sabido que tinha sido ultrapassado nesta via pelo físico italiano Avogadro, cuja publicação data de 1811. Em França costuma falar-se da lei de Avogadro-Ampère.

Pela mesma altura Ampère ficou fascinado ao saber da descoberta, pelo físico inglês Humphrey Davy, do potássio e do sódio obtidos pela electrolise dos cloretos fundidos. Ele sustentou contra Thénard — cuja opinião então fazia autoridade em França — que estas novas substâncias eram corpos simples e sustentou ainda, sempre contra Thénard, a mesma opinião no que se referia ao cloro e ao iodo, predizendo a existência de um novo elemento halogénico, o *fluor*.

Ampère foi também um dos primeiros a tentar fazer uma classificação dos elementos químicos agrupando-os em famílias de corpos com propriedades semelhantes. Podemos assim considerá-lo como um percursor de Mendeleiev.

Após a sua nomeação para o Collège de France, em 1824, Ampère elevando o seu pensamento do particular para o geral, entregou-se cada vez mais a especulações de filosofia científica que expôs nos seus cursos. Ele legou-nos as suas reflexões, em dois volumes intitulados: «Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines», esforço de síntese que anuncia Auguste Comte. Assinalemos aqui que, mantendo-se sentimentalmente ligado à fé católica da sua infância, Ampère tomou ardentemente partido por Geoffroy Saint-Hilaire defendendo a teoria do transformismo contra os argumentos de Cuvier em favor da imobilidade das espécies.

Em 1830 as sessões da Académie des Sciences eram o teatro desta querela que apaixonou o grande Goethe.

Abordemos agora a obra de Ampère que o tornou célebre: a descoberta das forças electrodinâmicas e a investigação da lei elementar quantitativa que rege estas interacções.

Este estudo põe em evidência o génio próprio de Ampère: a sua intuição poética que lhe permitiu dar uma interpretação original dos factos do magnetismo muito avançada para o seu tempo, e o rigor do seu espírito de matemático que lhe permitiu, por um admirável encadeamento de deduções lógicas e de verificações experimentais, chegar à fórmula que tem o seu nome.

É interessante apresentar a evolução das ideias por ordem cronológica seguindo a exposição de Paul Janet no seu discurso quando do centenário em que ele cita os termos de algumas actas da Académie des Sciences:

Sessão de 4 de Setembro de 1820: Arago dá conta das experiências feitas por Oersted na Dinamarca, relativamente à influência recíproca do galvanismo (corrente eléctrica) e do magnetismo.

De la Rive repetiu em Genebra as experiências do sábio dinamarquês com um completo êxito. Arago é encarregado pela Académie de repetir as suas experiências perante ela na segunda-feira próxima.

Sessão de 11 de Setembro de 1820: Arago repete perante a Académie as experiências de Oersted.

Recordemos que Oersted tinha descoberto que uma agulha magnetizada suspensa sobre um pivot e cujo eixo se orienta na direcção norte-sul sob a acção do campo magnético terrestre (bússola!), se põe a oscilar e toma uma orientação diferente quando se faz passar uma corrente eléctrica na sua visinhança. Para realizar um caso simples pode-se orientar um circuito rectilíneo passando na proximidade da agulha na direcção norte-sul do seu eixo. Quando ali se faz passar uma corrente eléctrica, a agulha desvia-se e tende a orientar-se perpendicularmente ao circuito sede da corrente. A regra do «bonhomme Ampère» permite prevêr o sentido do deslocamento do pólo norte da agulha.

Eis o comentário de Paul Janet:

Ampère assistiu às duas reuniões. O seu espírito apreendeu imediatamente a importância dos fenómenos de que acabava de ser testemunha. Na segunda-feira seguinte — 18 de Setembro, ele leu na sessão uma «memória relativa aos novos fenómenos galvano-magnéticos»; depois, nas sessões seguintes, semana após semana, as comunicações sucedem-se. Naqueles tempos longínquos, as actas da Académie ainda não existiam; é pois difícil deslindar, nas memórias muitas vezes refundidas pelo próprio Ampère, a marcha das suas ideias. Todavia, nalgumas notas pouco conhecidas Ampère diz textualmente isto:

Sessão de 18 de Setembro de 1820: «Reduzi os fenómenos observados por Oersted a dois factos gerais. Mostrei que a corrente que está na pilha actua sobre a agulha magnetisada como a do fio conjuntivo. Descobri os instrumentos que me propunha construir e entre outros espirais e hélices galvnicas (1). Anunciei que estas últimas produziriam em todos os casos os mesmos efeitos que os ímans. Entrei em seguida nalguns pormenores sobre a forma como eu concebo os ímans, como devendo unicamente as suas propriedades a correntes eléctricas em planos perpendiculares ao seu eixo, e sobre as correntes semelhantes que admito no globo terrestre, de forma que reduzi todos os fenómenos magnéticos a efeitos puramente eléctricos».

Sessão de 25 de Setembro de 1820: «Dei mais desenvolvimento a esta teoria e anunciei o facto novo da atracção e da repulsão de duas correntes eléctricas, sem qualquer íman, como intermediário.»

Após a reprodução da experiência de Oersted feita por Arago perante a Académie, só quinze dias foram necessários a Ampère para apresentar a esta mesma Académie os efeitos das forças electrodinâmicas.

Possuímos com efeito o texto da carta que na própria noite memorável de 25 de Setembro de 1820 Ampère escreveu a seu filho Jean-Jacques, então em viagem na Suíça. Diz isto:

«Sinto e arrependo-me imenso de não ter deitado esta carta no correio há três dias, e nunca me perdoaria se não tivesse esperança de que ao saires amanhã ela te encontrará ainda em Genebra. Ia terminá-la e enviá-la no sábado passado quando recebi a tua carta de Meyringen na tua segunda visita, anunciando-me a partida para o Saint Gothard. Foi para responder à tua que terminei a minha, crendo terminá-la na sexta-feira à noite, porém todos os meus momentos foram absorvidos por um facto muito importante da minha vida. Quando ouvi falar da grande descoberta de Oersted, professor em Copenhague, acerca da acção das correntes galvanicas sobre a agulha magnetisada, não me foi possível pensar noutra coisa; não faço mais nada senão escrever uma grande teoria sobre estes fenómenos e todos aqueles já conhecidos sobre o íman e as experiências exigidas por esta teoria, que deram bons resultados e que me descobriram novos factos. Na segunda-feira passada, faz hoje oito dias, li o princípio de uma memória, e nos dias seguintes fiz umas vezes com Fresnel, outras com Desprez, experiências confirmatórias. Todas as sextas-feiras tenho ida repeti-las a casa de Poisson, onde se reunem os dois Demussys, vários alunos da Escola Naval, o general Campredon e outros. Tudo tem resultado maravilhosamente. mas a experiência definitiva que eu tinha concebido como prova final exigia duas pilhas galvanicas. Feitas algumas experiências na minha casa com pilhas demasiado débeis, com Fresnel, não obtive bons resultados, mas, por fim, ontem consegui de Dulong que permitisse que Dumotier me vendesse a grande pilha que ele estava fabricando para a classe de Física da Universidade, e fez-se a experiência em casa de Dumotier com o mais completo êxito, repetindo-se hoje às quatro horas na sessão do Instituto. Já não encontrei mais objecções e temos já uma nova teoria do íman que identifica todos os seus fenómenos com os do galvanismo (2). Isto não se parece nada com o que até agora se dizia. Voltarei a explicá-lo amanhã ao senhor Humboldt, e depois de amanhã ao senhor de Laplace, no Bureau de Longitudes. Beija-te o teu papá mil e mil vezes.»

A experiência fundamental de Ampère, tal como hoje é reproduzida em todos os cursos elementares de

(1) Foi Ampère que mais tarde deu aos fios enrolados em hélice, o nome de solenoide.

(2) Empregava-se então correntemente a palavra «galvanique» para «électrique» todas as correntes internas tendo naquela época pilhas galvanicas como geradores.

electricidade, é bem conhecida. Ela põe em evidência a força mecânica que se exerce entre dois circuitos percorridos por correntes eléctricas. Graças à sua genial intuição Ampère deduz esta acção da experiência de Oersted que mostrou que uma corrente eléctrica actua sobre uma agulha magnetisada. Com efeito, esta descoberta de Oersted puzera em evidência uma relação entre dois fenómenos físicos conhecidos um e outro desde a Antiguidade, mas que tinham estado separados e sem qualquer ligação; os fenómenos eléctricos e os fenómenos magnéticos. Para Ampère esta relação revela a sua identidade. Visto que a corrente eléctrica actua sobre o íman, visto que solenoides percorridos por correntes se comportam como ímans, é porque na realidade o magnetismo do íman deve ser devido a correntes eléctricas, correntes eléctricas internas que devem circular no interior dos ímans, nas partes constituintes desses ímans, nos átomos de moléculas de que esse íman se compõe. Previsão genial pois que hoje estas correntes são por nós representadas por electrões, cargas eléctricas intra-atómicas que giram em torno do núcleo atómico.

Para Ampère esta ideia de correntes internas, circulando sobre trajectórias fechadas no interior dos átomos num plano perpendicular ao eixo do íman, era uma fecunda hipótese de trabalho. Ela conduziu-o à previsão de que duas correntes eléctricas quaisquer deveriam exercer uma sobre a outra uma acção mecânica.

Para pôr em evidência esta acção mútua entre duas correntes, primeiramente ele enrolava os circuitos sob a forma de hélice cilíndrica e mostrava que dois desses circuitos helicoidais actuavam um sobre o outro como o fazem dois ímans; depois com a preocupação de encontrar a lei elementar das interacções electrodinâmicas ele deu aos circuitos a forma mais simples de segmentos rectilíneos e enunciou a lei qualitativa:

Duas correntes rectilíneas paralelas do mesmo sentido atraem-se, duas correntes rectilíneas paralelas de sentidos contrários repelem-se (fig.2).

Ele dedicou-se em seguida à ideia de estabelecer a lei quantitativa de interacção elementar entre dois elementos de correntes infinitesimais.

Na sua memória fundamental sobre as acções electrodinâmicas, memória muitas vezes retocada e posta sob forma definitiva em 1825, Ampère fala duma lei «unicamente deduzida da experiência». Esta afirmação não é inteiramente correcta, porque para estabelecer esta lei Ampère parte de uma hipótese fundamental que não é mais do que o postulado de Newton da igualdade da acção e da reacção. Segundo este postulado dois corpos materiais exercem um sobre o outro forças que são dirigidas segundo a linha recta que une os seus centros de gravidade. Estas forças são iguais e opostas. Aplicado a dois elementos de corrente infinitesimais de comprimentos ds_1 e ds_2 sedes das intensidades de corrente i_1 e i_2 essas forças d^2F_1 e d^2F_2 devem ser dirigidas segundo o raio vector r que une os meios M_1 e M_2 dos dois elementos de corrente (fig.3).

Partindo desta hipótese e utilizando também no decurso do seu raciocínio o princípio de simetria, Ampère, por um subtil jogo de deduções lógicas e de constatações experimentais estabeleceu a lei quantitativa conhecida sob a denominação de «fórmula de Ampère»:

$$d^2F = \frac{2i_1\, i_2\, d_{s1}\, d_{s2}}{r^2}$$

$$[\text{sen}\ \theta_1\ \text{sen}\ \theta_2\ \cos\ \omega - {}^1/_2\ \cos\ \theta_1\ \cos\ \theta_2]$$

Os ângulos que figuram nesta fórmula são o ângulo θ_1 entre os vectores orientados $\vec{ds_1}$ e $\vec{r}$ e o ângulo θ_2 entre os vectores $\vec{ds_2}$ e $\vec{r}$, e ainda o ângulo diedro ω entre os dois planos passando pelo raio vector $\vec{r}$, e contendo um elemento $\vec{ds_1}$ o outro elemento $\vec{ds_2}$.

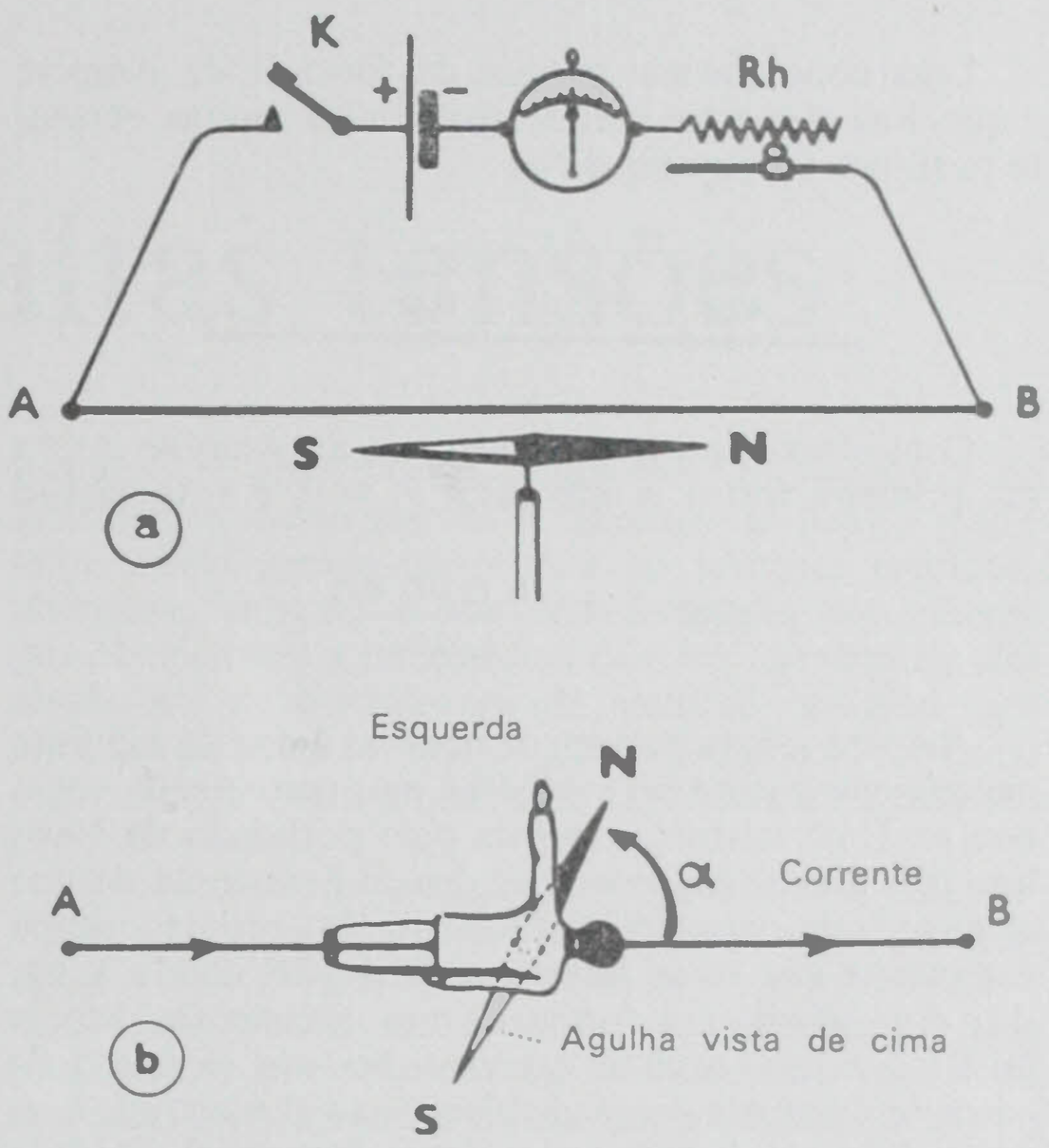


Fig. 1 — Experiência de Oersted
Acção da corrente eléctrica sobre a agulha magnetisada

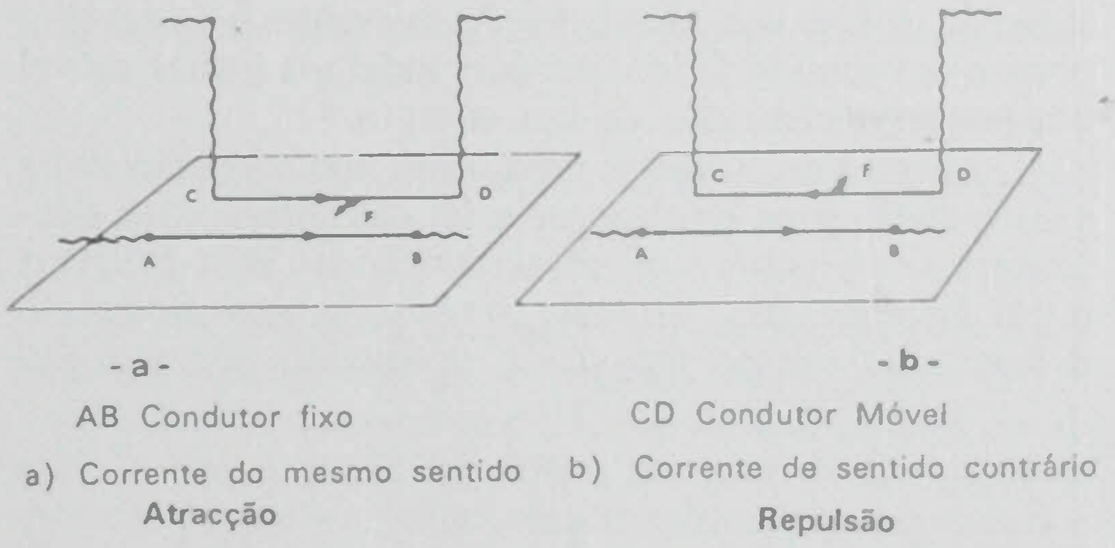


Fig. 2 — Experiência fundamental de Ampère. Duas correntes eléctricas rectilíneas e paralelas atraem-se se as corrente são do mesmo sentido e repelem-se se têm sentido contrário

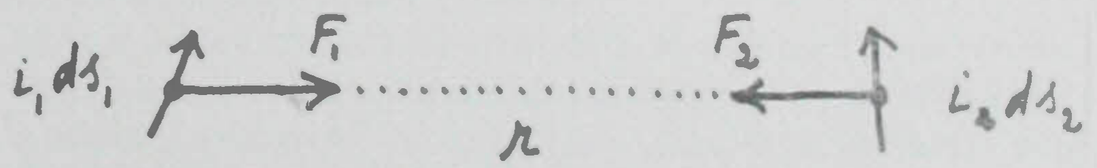


Fig. 3 — As forças que exercem dois elementos de correntes um sobre o outro devem satisfazer ao postulado de Newton; forças iguais e opostas dirigidas segundo o raio vector r unindo os meios dos dois elementos.

Devemos notar que esta fórmula com os parâmetros numéricos indicados, contêm uma convenção que define a unidade de intensidade da corrente eléctrica i.

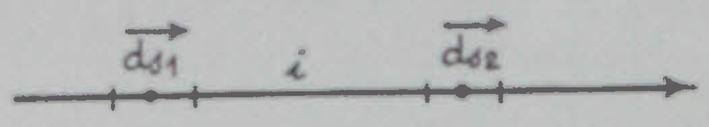
Pode dar-se a esta fórmula uma forma diferente introduzindo o ângulo ξ entre as direcções $\vec{ds}_1$ e $\vec{ds}_2$ dos dois elementos da corrente, ângulo que segundo a fórmula fundamental da trigonmetria esférica se exprime pela relação:

$$\cos \xi = \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \operatorname{sen} \theta_1 \operatorname{sen} \theta_2 \cos \omega$$

Introduzindo esta relação na fórmula de Ampère esta toma a forma:

$$d^2F = \frac{2i_1\, i_2\, d_{s1}\, d_{s2}}{r^2} \left[\cos \xi - {}^3/_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2\right]$$

Uma consequência curiosa da fórmula de Ampère é que dois elementos consecutivos duma mesma corrente rectilínea deviam repelir-se



Com efeito, aplicando a fórmula de Ampère, sob a sua primeira forma a este caso: $\theta_1 = 0$, $\theta = 0$ acha-se

$$d^2F = -\frac{i_1\, i_2\, ds_1\, ds_2}{r^2}$$

Ampère julgou poder pôr uma tal força de repulsão experimentalmente em evidência, mas neste ponto, enganou-se. Uma tal força, exigida pelo postulado de Newton, não existe. Ampère aliás deu-se bem conta de que elementos da corrente isolados não têm realidade física e mostrou que se se integra a força d^2F dando a um dos dois circuitos a forma de um circuito fechado, a acção que este circuito exerce sobre um elemento de corrente é sempre perpendicular a este elemento de corrente. Não se observa nunca força tangencial.

Aliás devemos notar que se a acção exercida por um elemento de corrente não pode ser isolada, a acção exercida sobre um elemento de corrente é isolável e possue um sentido físico, porque podemos tornar móvel um pequeno elemento de um circuito.

Do tempo de Ampère, uma outra aproximação tinha sido tentada para estabelecer a lei das interacções electrodinâmicas, pelos seus contemporâneos Biot e Savart e por Laplace. Eles tinham, como se sabe, introduzido a noção de campo magnético produzido por um elemento de corrente e exercendo-se sobre um elemento de corrente.

Se o conceito de campo magnético pode ser um intermediário de cálculo muito útil, ele não tem — ele também não — realidade física porque ele é definido como a força mecânica exercendo-se sobre um monopolo magnético e um monopolo magnético não existe.

Aplicada a elementos de corrente a lei de Laplace não satisfaz ao princípio da igualdade da acção e da reacção. Aplicada a circuitos fechados, ela conduz ao mesmo resultado que a fórmula de Ampère.

Houve uma longa controvérsia entre Ampère e os seus confrades da Académie des Sciences para se saber quem tinha razão, controvérsia sem saída e ultrapassada na época actual. Porque no tempo de Ampère todos os físicos admitiam implicitamente um postulado que hoje sabemos ser inexacto, o das acções que se exercem instantaneamente a distância. Foi necessária a obra de Faraday, de Maxwell, de Einstein para mostrar que esse postulado era falso e que todas as acções físicas se exercem na proximidade através de um espaço povoado de campos eléctricos e magnéticos, mostrar também que esses campos, como a matéria, são susceptíveis de conter energia, quantidade de movimento e momento cinético. O método mais natural para estabelecer a existência das forças electrodinâmicas e para calcular a sua grandeza, consiste a partir das leis de Coulomb entre cargas eléctricas num referencial em repouso em relação a uma dessas cargas, e mostrar que a passagem a um referencial móvel, regido pelas transformações de Lorentz-Einstein, faz aparecer as forças electrodinâmicas cuja origem é pois essencialmente relativista — o que fazia pressentir o facto de que a relação entre as unidades magnéticas e as unidades electrostáticas faz intervir a velocidade da luz.

Ao terminar esta exposição não podemos apreciar melhor a obra de Ampère transmitida à posteridade do que citando a opinião de Maxwell: «O estudo experimental pelo qual Ampère estabeleceu as leis da acção mecânica entre as correntes eléctricas é um dos mais brilhantes feitos da ciência. O todo, a teoria e a experiência parece terem brotado, em pleno vigor e completamente armado do cérebro do Newton da electricidade.

Este conjunto é perfeito como forma, e de precisão indiscutível, e resume-se numa fórmula donde todos os fenómenos podem ser deduzidos e que ficará sendo sempre a fórmula cardinal da electrodinâmica» ■

Tradução do trabalho de Alfred Kastler publicado a páginas 7 — 11 do n.º 23 (Maio, 1975) da revista francesa «Sciences et Techniques».