

PESQUISAS EXPERIMENTAIS EM ELETRICIDADE⁺*

M. Faraday
Tradução de A. K. T. Assis e L. F. Haruna
Instituto de Física – UNICAMP
Campinas –SP

Resumo

Apresentamos uma tradução para o português do trabalho de Faraday de 1831 no qual ele apresenta sua descoberta fundamental da indução de correntes elétricas.

Palavras-chave: *Faraday, indução de correntes elétricas.*

Abstract

We present a translation into Portuguese of Faraday's work from 1831 in which he presented his fundamental discovery of the induction of electric currents.

Keywords: *Faraday, induction of electric currents.*

Introdução

Michael Faraday (1791-1867) descobriu a indução de correntes elétricas em 1831. Em novembro deste ano, apresentou sua descoberta para a *Royal Society* e publicou um trabalho sobre o tema em 1832. Apresentamos a seguir uma tradu-

⁺ Experimental researches in Electricity

^{*} *Recebido: novembro de 2010.
Aceito: dezembro de 2010.*

ção deste trabalho, [1]. As expressões entre colchetes, [], são dos tradutores, para facilitar a compreensão de algumas partes do texto. As notas dos tradutores são indicadas por [N. T.], enquanto que as notas de Faraday são indicadas por [N. F.].

Chamamos atenção, em particular, para os parágrafos 10 e 18. O décimo parágrafo inclui a primeira apresentação da indução de corrente em um circuito secundário, quando se altera a corrente em um circuito primário. Já o décimo oitavo parágrafo inclui a primeira apresentação da indução de corrente em um circuito secundário, quando a corrente no circuito primário é constante, mas havendo, agora, movimento de aproximação ou de afastamento entre os dois circuitos. Outro ponto a se destacar é a discussão feita entre os parágrafos 12 e 17 sobre a magnetização de uma agulha a partir da variação da corrente induzida no momento em que se estabelece ou se rompe o contato entre a bateria e um fio indutor.

Tradução

Pesquisas Experimentais em Eletricidade

M. Faraday

PRIMEIRA SÉRIE

Lido em 24 de novembro de 1831

1. O poder que a eletricidade de tensão possui de causar um estado elétrico oposto em sua vizinhança tem sido expresso pelo termo geral *indução*¹; o qual, como tem sido recebido na linguagem científica, pode também, com adequação, ser usado no mesmo sentido geral para expressar o poder que correntes elétricas podem possuir de induzir qualquer estado particular sobre a matéria em sua vizinhança, que de outra maneira é indiferente. É com esse significado que pretendo utilizá-la no presente artigo.

2. Certos efeitos da indução de correntes elétricas já foram reconhecidos e descritos: como aqueles da magnetização; as experiências de Ampère de trazer um disco de cobre perto de uma espiral plana; sua repetição com eletroímãs das expe-

¹ [N. T.] Faraday está se referindo aqui à indução eletrostática usual. Ou seja, se aproximamos um corpo carregado de um condutor que esteja isolado eletricamente da Terra e que estava inicialmente neutro, observa-se que o condutor fica polarizado eletricamente. A parte do condutor mais próxima do corpo carregado adquire uma carga de sinal oposto à deste corpo, enquanto que a parte mais afastada do condutor adquire uma carga de mesmo sinal que a carga deste corpo, [2].

riências extraordinárias de Arago e talvez alguns outros. Contudo, pareceu-me improvável que estes poderiam ser todos os efeitos que a indução por correntes poderia produzir; especialmente devido a que, ao eliminar o ferro, quase todos eles desaparecem, enquanto que uma infinidade de corpos, exibindo fenômenos definidos de indução com eletricidade de tensão, ainda podem ser influenciados pela indução da eletricidade em movimento.

3. Além disso: Se fosse adotada a bela teoria de Ampère, ou qualquer outra, ou qualquer reserva que fosse feita mentalmente, ainda parecia muito extraordinário, que assim como toda corrente elétrica está acompanhada por uma intensidade correspondente da ação magnética em ângulos retos à corrente, bons condutores de eletricidade, quando colocados dentro da esfera desta ação, não devessem ter qualquer corrente induzida através deles, ou algum efeito perceptível produzido com força equivalente a tal corrente.

4. Essas considerações, com suas conseqüências, [a saber,] a esperança de obter eletricidade a partir do magnetismo comum, estimulou-me várias vezes a investigar experimentalmente o efeito indutivo de correntes elétricas. Cheguei finalmente a resultados positivos; e não apenas tive minhas esperanças realizadas, mas obtive uma chave que me pareceu possibilitar uma explicação completa dos fenômenos magnéticos de Arago, o que também [me levou] a descobrir um novo estado, que pode, provavelmente, ter grande influência em alguns dos mais importantes efeitos das correntes elétricas.

5. Proponho-me a descrever esses resultados, não como foram obtidos, mas de maneira a dar a visão mais concisa do conjunto.

§ 1. Sobre a Indução de Correntes Elétricas

6. Cerca de vinte e seis pés de fio de cobre com um vigésimo de polegada de diâmetro foram enrolados ao redor de um cilindro de madeira como uma hélice, sendo que as diferentes espiras do fio foram impedidas de se tocar, interpondo-se um fino barbante entre elas. Essa hélice foi coberta com morim² e, então, foi enrolado um segundo fio, da mesma maneira. Foram superpostas, assim, doze hélices, cada uma contendo uma média de vinte e sete pés de comprimento de fio, todas na mesma direção. A primeira, terceira, quinta, sétima, nona e a décima primeira destas hélices foram conectadas em suas extremidades, ponta com ponta, formando, assim, uma hélice; as outras foram conectadas da mesma maneira e, assim,

² [N. T.] Pano de algodão.

foram produzidas duas hélices principais, interpostas compactamente, tendo a mesma direção, não se tocando em nenhuma parte e cada uma contendo cento e cinquenta e cinco pés de comprimento de fio.

7. Uma dessas hélices foi conectada com um galvanômetro, a outra com uma bateria voltaica de dez pares de placas de quatro polegadas quadradas, com cobres duplos e bem carregada; contudo, não foi observada a menor deflexão na agulha do galvanômetro.

8. Foi construída uma hélice composta similar, consistindo de seis comprimentos de fio de cobre e seis de ferro doce. A hélice de ferro resultante continha duzentos e quatorze pés de fio, a hélice de cobre resultante continha duzentos e oito pés; mas nenhum efeito sobre a outra hélice podia ser observado no galvanômetro se a corrente do recipiente [isto é, da bateria de tina] atravessasse a hélice de cobre ou a de ferro.

9. Nesta e em muitas experiências similares, não aparecia diferença na ação de qualquer tipo entre o ferro e os outros metais.

10. Duzentos e três pés de fio de cobre foram enrolados em torno de um grande bloco de madeira; outros duzentos e três pés de um fio similar foram interpostos como uma espiral entre as voltas do primeiro enrolamento, e foi utilizado barbante para evitar contato metálico em todo lugar. Uma dessas hélices foi conectada com um galvanômetro e a outra com uma bateria de cem pares de placas de quatro polegadas quadradas, com cobres duplos, e bem carregada. Quando o contato foi feito, houve um efeito repentino e muito pequeno no galvanômetro e houve também um pequeno efeito similar quando o contato com a bateria foi rompido. Mas enquanto a corrente voltaica estava atravessando continuamente uma hélice, não podia ser observada qualquer influência sobre o galvanômetro, nem qualquer efeito como indução sobre a outra hélice, embora a potência ativa da bateria fosse grande, como provado pelo aquecimento total de sua própria hélice, e pelo brilho da descarga, quando feita através do carvão.

11. Não produziu quaisquer outros efeitos a repetição das experiências com uma bateria de cento e vinte pares de placas, mas foi verificado, desta vez e na vez anterior, que a pequena deflexão da agulha que ocorreu no momento de completar a conexão era sempre em uma direção, e que a deflexão igualmente pequena produzida quando o contato era rompido ocorria na outra direção; e também, que esses efeitos ocorreram quando as primeiras hélices foram utilizadas (6, 8)³.

³ [N. T.] Ou seja, ver os parágrafos 6 e 8.

12. Os resultados que havia obtido então com ímãs, levaram-me a acreditar que a corrente da bateria, através de um fio, induzia, de fato, uma corrente similar no outro fio, mas que ela continuava somente por um instante e compartilhava mais da natureza da onda elétrica vinda do choque de uma garrafa de Leiden comum do que [da natureza] da corrente de uma bateria voltaica e, conseqüentemente, poderia magnetizar uma agulha de aço, embora mal afetasse o galvanômetro.

13. Essa expectativa foi confirmada, pois, ao substituir o galvanômetro por uma pequena hélice oca, enrolada em um tubo de vidro, introduzir uma agulha de aço, fazer o contato como antes entre a bateria e o fio indutor (7, 10) e, então, ao remover a agulha antes que o contato da bateria fosse rompido, ela [a agulha] foi encontrada magnetizada.

14. Quando se fazia, inicialmente, o contato da bateria, em seguida sendo introduzida uma agulha não magnetizada na pequena hélice indicadora (13) e, por último, [quando] o contato da bateria era rompido, encontrava-se a agulha magnetizada, aparentemente o mesmo tanto que antes, mas com os polos invertidos.

15. Os mesmos efeitos ocorreram usando as grandes hélices compostas descritas anteriormente (6, 8).

16. Quando a agulha não magnetizada era colocada na hélice indicadora, antes do contato do fio indutor com a bateria, e permanecia lá até que o contato fosse rompido, [a agulha] exibia pouco ou nenhum magnetismo; o primeiro efeito tendo sido aproximadamente neutralizado pelo segundo (13, 14). Encontrou-se que a força da corrente induzida, ao fazer o contato, sempre excedia a força da corrente induzida ao romper o contato e se, conseqüentemente, o contato fosse feito e rompido muitas vezes sucessivamente, enquanto a agulha permanecia na hélice indicadora, ela, ao final, não saía desmagnetizada, mas saía uma agulha magnetizada como se apenas tivesse agido sobre ela a corrente induzida ao fazer o contato. Esse efeito pode ser devido à acumulação (como é chamado) nos polos da pilha desconectada, fazendo com que a corrente, ao ser feito o primeiro contato, seja mais potente do que a corrente seguinte, no momento de romper o contato.

17. Se o circuito entre a hélice ou o fio sob indução e o galvanômetro ou espiral indicadora não fosse completado *antes* da conexão entre a bateria e o fio indutor ser completado ou rompido, então nenhum efeito era percebido no galvanômetro. Assim, se fossem feitas inicialmente as ligações da bateria e, então, o fio sob indução fosse conectado com a hélice indicadora, nenhum poder de magnetização era, então, exibido. Mas ainda retendo as últimas ligações, quando as ligações com a bateria eram rompidas, era formado um ímã na hélice, mas do segundo tipo (14), isto é, com os polos indicando uma corrente no mesmo sentido daquela per-

tendendo à corrente da bateria, ou daquela sempre induzida pela corrente, quando é interrompida.

18. Nas experiências precedentes, os fios foram colocados próximos uns aos outros e o contato do fio indutor com a bateria foi feito quando o efeito indutivo era requerido; mas como podia se supor que a ação particular era exercida somente nos momentos de fazer e romper o contato, a indução foi produzida de outra maneira. Diversos pés de fio de cobre foram esticados em grandes formas em zig-zague, representando a letra W, sobre uma superfície de uma placa larga; um segundo fio foi esticado em formas exatamente similares sobre uma segunda placa, de modo que, quando trazido perto do primeiro [fio], os fios devessem tocar-se em toda parte, exceto que foi interposta uma folha de papelão. Um desses fios foi conectado com o galvanômetro e o outro com uma bateria voltaica. O primeiro fio foi movido, então, em direção ao segundo e, enquanto se aproximava, a agulha era desviada. Quando era afastado, a agulha era desviada na direção oposta. Ao aproximar e afastar os fios, simultaneamente com as vibrações da agulha, essas vibrações logo se tornavam muito grandes, mas quando os fios paravam de aproximar-se ou de afastar-se, a agulha do galvanômetro logo voltava para sua posição usual.

19. Quando os fios se aproximavam, a corrente induzida era na direção *contrária* à corrente indutora. Quando os fios se afastavam, a corrente induzida era na *mesma* direção que a corrente indutora. Quando os fios permaneciam estacionários, não havia corrente induzida (54).

20. Quando um pequeno arranjo voltaico foi introduzido no circuito entre o galvanômetro (10) e sua hélice ou fio, de forma a causar uma deflexão permanente de 30° ou de 40° [no galvanômetro] e, em seguida, a bateria de cem pares de placas foi conectada ao fio indutor, houve uma ação instantânea como antes (11); mas a agulha do galvanômetro imediatamente reassumiu sua posição e manteve seu lugar inalterado, apesar do contínuo contato do fio indutor com o recipiente [isto é, com a bateria de tina], isso aconteceu de todas as maneiras que os contatos foram feitos (33).

21. Portanto, parece que correntes colaterais, tanto nas mesmas direções quanto em direções opostas, não exercem nenhum poder de indução permanente entre si, afetando sua quantidade ou tensão.

22. Não obtive nenhuma evidência pela língua, pela faísca, ou pelo aquecimento de fio fino ou de carvão, da eletricidade passando através do fio sob indução; também não obtive quaisquer efeitos químicos, embora os contatos com soluções metálicas e outras soluções fossem feitos e rompidos alternadamente com os contatos da bateria, de modo que o segundo efeito da indução não devesse se opor ou neutralizar o primeiro efeito (13, 16).

23. Essa ausência de efeito não é porque a corrente induzida de eletricidade não pode atravessar líquidos, mas provavelmente por causa de sua duração breve e de sua fraca intensidade, pois, ao introduzir duas placas grandes de cobre no circuito do lado induzido (20), as placas estando imersas na salmoura, mas impedidas de tocar-se por um pano interposto, o efeito no galvanômetro, ou hélice indicadora, ocorreu como antes. A eletricidade induzida também atravessou um recipiente voltaico [isto é, uma bateria] (20). Contudo, quando a quantidade do líquido interposto foi reduzida a uma gota, o galvanômetro não deu nenhuma indicação.

24. As tentativas de obter efeitos similares pelo uso de fios conduzindo eletricidade comum deram resultados duvidosos. Foi usada uma hélice composta similar àquela já descrita, contendo oito hélices elementares (6). Quatro das hélices tinham suas extremidades similares ligadas por fio e os dois terminais gerais assim produzidos foram conectados com a pequena hélice magnetizadora contendo uma agulha não magnetizada (13). As outras quatro hélices foram arranjadas similarmente, mas seus terminais foram conectados com uma garrafa de Leiden. Ao passar a descarga, encontrou-se que a agulha tinha virado um ímã; mas pareceu provável que uma parte da eletricidade da garrafa tinha ido para a pequena hélice e, assim, magnetizou a agulha. De fato não havia razão de esperar que a eletricidade de uma garrafa possuindo grande tensão como ela possui, não se difundiria através de toda a matéria metálica interposta entre os revestimentos [da hélice].

25. Contudo, não resulta que a descarga da eletricidade comum através de um fio não produz fenômenos análogos àqueles que surgem da eletricidade voltaica; como parece impossível separar os efeitos produzidos, no momento em que a descarga começa a passar, dos efeitos iguais e contrários produzidos quando ela cessa de passar (16), visto que, com eletricidade comum, esses períodos são simultâneos, assim, dificilmente pode haver qualquer esperança que, nesta forma de experiência, os fenômenos possam ser percebidos.

26. Portanto, é evidente que correntes de eletricidade voltaica apresentam fenômenos de indução um tanto análogos àqueles produzidos pela eletricidade de tensão, embora, como será visto daqui por diante, muitas diferenças existam entre eles. O resultado é a produção de outras correntes, (mas que são apenas momentâneas), paralelas, ou tendendo ao paralelismo, com a corrente indutora. Pela referência aos polos da agulha formada na hélice indicadora (13, 14) e às deflexões da agulha do galvanômetro (11), foi encontrado em todos os casos que a corrente induzida, produzida pela primeira ação da corrente indutora, era em direção contrária a essa última [corrente indutora], mas que a corrente produzida pela interrupção da corrente indutora era na mesma direção [da corrente indutora] (19). Com a fina-

lidade de evitar perífrase⁴, proponho chamar essa ação da corrente da bateria voltaica de *indução eletrovoltaica*. As propriedades do segundo fio, depois que a indução desenvolveu a primeira corrente e enquanto a eletricidade da bateria continua a fluir através de seu vizinho indutor (10, 18), constituem uma condição elétrica peculiar, cuja consideração será retomada futuramente (60). Todos esses resultados foram obtidos com um aparelho voltaico que consiste em um único par de placas.

§ 2. Sobre a Evolução da Eletricidade a partir do Magnetismo

27. Um anel soldado foi feito de uma barra circular de ferro doce; o metal possuía sete oitavos de polegada de espessura, e o anel seis polegadas de diâmetro externo. Três hélices foram colocadas ao redor de uma parte desse anel, cada uma contendo cerca de vinte e quatro pés de fio de cobre com uma espessura de um vigésimo de uma polegada; elas foram isoladas do ferro e uma da outra, e superpostas da mesma maneira descrita anteriormente (6), ocupando cerca de nove polegadas de comprimento sobre o anel. Elas podiam ser usadas separadamente ou em conjunto, o grupo [das três hélices] pode ser distinguido pela letra A (Figura 1). Foram colocados da mesma maneira na outra parte do anel cerca de sessenta pés de fio similar de cobre em dois pedaços, formando uma hélice B, que tinha a mesma direção comum com a hélice A, mas sendo separada desta em cada extremidade, por cerca de meia polegada de ferro descoberto.

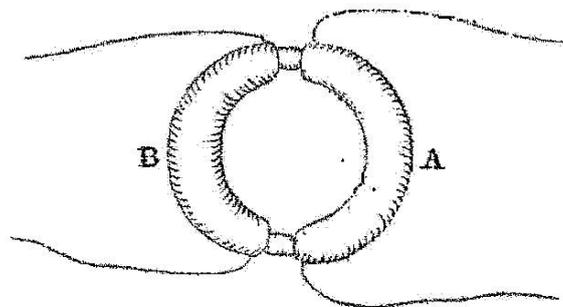


Figura 1.

⁴ [N. T.] Circunlóquio, rodeio de palavras.

28. A hélice B foi conectada por fios de cobre com um galvanômetro, que estava a três pés do anel. As hélices de A foram conectadas de ponta a ponta para formar uma hélice comum, suas extremidades foram conectadas a uma bateria [composta] por dez pares de placas de quatro polegadas quadradas. O galvanômetro foi imediatamente afetado, em grau muito superior ao descrito quando foram usadas hélices *sem ferro* com uma bateria de potência dez vezes maior (10), mas, ao manter o contato, o efeito não foi permanente, pois a agulha voltou rapidamente ao repouso em sua posição natural, como se estivesse completamente indiferente ao arranjo eletromagnético anexado. Ao interromper o contato com a bateria, a agulha foi novamente desviada fortemente, mas em direção contrária à direção induzida no primeiro caso.

29. Foram produzidos efeitos similares, mas muito mais potentes, arranjando o aparato tal que B estivesse fora de uso, o galvanômetro sendo conectado com um dos três fios de A (27), e os outros dois [fios] transformados em uma hélice através da qual passava a corrente do recipiente [isto é, da bateria de tina] (28).

30. Quando o contato da bateria foi feito em uma direção, a agulha do galvanômetro foi desviada para um lado; se feito na outra direção, o desvio foi para o outro lado. Ao romper o contato da bateria, o desvio foi sempre o inverso daquele produzido ao ser feito o contato. A deflexão, ao fazer o contato da bateria, sempre indicava uma corrente induzida na direção oposta à corrente da bateria; mas, ao interromper o contato, a deflexão indicava uma corrente induzida na mesma direção da corrente da bateria. Nenhuma ligação ou interrupção do contato no lado B, ou em qualquer parte do circuito do galvanômetro, produziu qualquer efeito sobre o galvanômetro. Nenhuma deflexão na agulha do galvanômetro foi causada pela corrente contínua da bateria. Os resultados acima são comuns a todas essas experiências, e similares às experiências com ímãs comuns a serem detalhadas futuramente, não precisando ser descritas detalhadamente mais uma vez.

31. Usando a potência de cem pares de placas (10) com esse anel, o impulso no galvanômetro, quando o contato foi completado ou rompido, foi tão grande que fez com que a agulha girasse rapidamente quatro ou cinco vezes, antes que o ar e o magnetismo terrestre reduzisse seu movimento à mera oscilação.

32. Usando carvão nas pontas da hélice B, uma minúscula *faísca* pôde ser observada quando foi completado o contato da bateria com A. Essa faísca não poderia ser devida a qualquer desvio de uma parte da corrente da bateria através do ferro para a hélice B, pois, quando o contato da bateria era mantido, o galvanômetro novamente assumia seu estado perfeitamente indiferente (28). Raramente era

vista a faísca no rompimento do contato. Um pequeno fio de platina⁵ não podia ser inflamado por essa corrente induzida, mas há todas as razões para acreditarmos que o efeito seria obtido usando uma corrente original mais forte ou um arranjo de hélices mais potente.

33. Passou-se uma corrente voltaica fraca através da hélice B e do galvanômetro, para desviar a agulha do galvanômetro em 30° ou 40° e, então, foi conectada a bateria de cem pares de placas com A. Após o primeiro efeito cessar, a agulha do galvanômetro prosseguiu exatamente na posição devida à fraca corrente transmitida pelo seu próprio fio. Isso aconteceu em todas as maneiras como eram feitos os contatos com a bateria, mostrando que, também aqui (20), não existe nenhuma influência permanente das correntes umas sobre as outras, em relação a suas quantidades e tensões.

34. Outro arranjo foi então empregado, conectando as experiências anteriores sobre indução eletrovoltaica (6-26) com as atuais. Foi construída uma combinação de hélices sobre um cilindro oco de papelão igual à combinação já descrita (6): havia oito pedaços de fio de cobre, contendo, todos juntos, 220 pés; quatro dessas hélices foram conectadas de ponta a ponta, e então com o galvanômetro (7); as outras quatro [hélices] interpostas também foram conectadas de ponta a ponta, e a bateria de cem pares foi descarregada através delas. Dessa forma, o efeito sobre o galvanômetro foi pouco perceptível (11), apesar de ímãs poderem ser feitos pela corrente induzida (13). Mas quando um cilindro de ferro doce de sete oitavos de polegada de espessura, e com doze polegadas de comprimento, foi introduzido dentro do tubo de papelão, cercado pelas hélices, a corrente induzida, então, afetou o galvanômetro intensamente e com todos os fenômenos já descritos (30). Aparentemente, também possuía a capacidade para fazer ímãs com mais energia do que quando nenhum cilindro de ferro estava presente.

35. Quando o cilindro de ferro foi substituído por um cilindro igual de cobre, nenhum efeito foi produzido além daquele das hélices sozinhas. O arranjo do cilindro de ferro não era tão potente como o arranjo do anel já descrito (27).

36. Efeitos similares foram então produzidos por *ímãs comuns*: assim, a hélice oca que acabou de ser descrita (34) tinha todas suas hélices elementares conectadas com o galvanômetro por dois fios de cobre, cada um com um comprimento de cinco pés; o cilindro de ferro doce foi introduzido no seu eixo; um par de ímãs em barra, cada um com vinte e quatro polegadas de comprimento, foi arranja-

⁵ [N. T.] Aparece, aqui, uma nota de rodapé de Faraday, escrita quando publicou o conjunto de suas obras, informando que usou, no artigo original e em diversas partes de seu trabalho (em inglês), a palavra “platina”, que é uma forma antiga da palavra “platinum.”

do com as pontas de seus polos opostos em contato, para parecer um ímã de ferradura e, então, foi feito contato entre os outros polos e as pontas do cilindro de ferro, para transformá-lo, por hora, em um ímã (Figura 2): rompendo os contatos magnéticos, ou os invertendo, o magnetismo do cilindro de ferro podia ser destruído ou invertido à vontade.



Figura 2.

37. Fazendo o contato magnético, a agulha era desviada; mantendo o contato, a agulha ficava indiferente, e retornava a sua posição inicial; rompendo o contato, foi novamente desviada, mas em direção oposta ao primeiro efeito e, então, novamente ficava indiferente. Quando os contatos magnéticos eram invertidos as deflexões eram invertidas.

38. Quando era feito o contato magnético, a deflexão era tal que indicava uma corrente induzida de eletricidade na direção oposta àquela preparada para formar um ímã, tendo a mesma polaridade que a polaridade de fato produzida pelo contato com os ímãs em barra. Assim, quando os polos marcados e desmarcados foram colocados como na Figura 3, a corrente na hélice estava na direção representada, supondo ser P a ponta do fio indo para o polo positivo da bateria, ou a ponta voltada para a face das placas de zinco, e N o fio negativo. Uma corrente como essa teria convertido o cilindro em um ímã de tipo oposto àquele formado pelos contatos com os polos A e B e, também, deslocar-se-ia em direção oposta às correntes que, na bela teoria do Sr. Ampère⁶, são consideradas como constituindo um ímã na posição representada⁷.

⁶ [N. T.] André-Marie Ampère (1775-1836), matemático, físico e químico francês. Continuou o estudo de Oersted sobre a influência de correntes elétricas em ímãs. Obteve também uma lei de força descrevendo a interação entre elementos de corrente. As duas primeiras partes de seu primeiro trabalho sobre eletrodinâmica, assim com sua principal obra sobre este tema, já se encontram totalmente traduzidas para o português, [3 a 5].

⁷ [N. F.] A posição relativa de uma corrente elétrica e um ímã é considerada, pela maioria das pessoas, como sendo muito difícil de lembrar, e o Sr. Ampère e alguns outros desenvolveram três ou quatro auxílios para a memória. Sugiro o seguinte [procedimento] como um auxílio muito simples e efetivo nesta e em situações similares. Deixe o experimentador

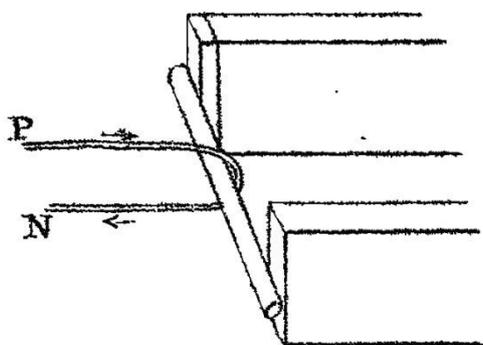


Figura 3.

39. Mas como poderia se supor que em todas as experiências anteriores desta Seção, que a corrente induzida momentânea era excitada por algum efeito peculiar ocorrendo durante a formação do ímã, e não apenas por sua aproximação virtual, foram feitas as seguintes experiências: todas as pontas similares da combinação oca de hélices (34) foram unidas pelo fio de cobre, formando duas terminações gerais, e estas foram conectadas ao galvanômetro. O cilindro de ferro doce (34) foi removido, em seu lugar foi usado um ímã cilíndrico com diâmetro de três quartos de polegada e comprimento de oito polegadas e meia. Uma ponta desse ímã foi introduzida no eixo da hélice (Figura 4) e, então, a agulha do galvanômetro estando em repouso, o ímã foi subitamente empurrado para dentro [da hélice]; imediatamente, a agulha foi desviada na mesma direção, como se o ímã tivesse sido formado por qualquer um dos dois processos anteriores (34, 36). Sendo deixado dentro [da hélice], a agulha voltava a sua posição inicial e, então, o ímã sendo

pensar que ele está olhando para baixo sobre uma bússola de inclinação, ou sobre o polo da Terra e, então, deixe-o pensar sobre a direção do movimento dos ponteiros de um relógio, ou do movimento para a frente de um parafuso; correntes nesta direção ao redor de uma agulha a transformariam em um ímã como a bússola de inclinação, ou elas próprias formariam um eletroímã de características similares; ou se trazidas perto de um ímã tenderiam a fazê-lo tomar esta direção; ou seriam elas próprias deslocadas para aquela posição por um ímã colocado desta maneira; ou na teoria do Sr. Ampère [as correntes] são consideradas como movendo-se nesse sentido no ímã. Qualquer outra relação da corrente e do ímã pode ser deduzida, lembrando estes dois pontos da posição de uma bússola de inclinação e o movimento dos ponteiros do relógio.

retirado, a agulha era desviada na direção oposta. Esses efeitos não eram grandes, mas, introduzindo e retirando o ímã, para que cada vez o impulso fosse adicionado àqueles previamente transmitidos para a agulha, podia-se fazer a agulha vibrar através de um arco de 180° ou ainda maior.

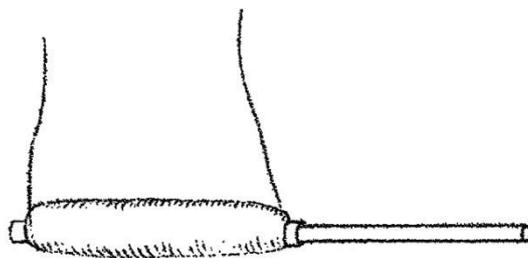


Figura 4.

40. Nesta experiência, o ímã não pode atravessar a hélice inteiramente, pois então ocorre uma segunda ação. Quando o ímã é introduzido, a agulha no galvanômetro é desviada em uma certa direção, mas estando dentro, se for empurrado completamente ou retirado, a agulha é desviada em uma direção oposta à direção que havia sido produzida anteriormente. Quando se atravessa o ímã com um movimento contínuo, a agulha se desvia de um jeito, para de repente e, finalmente, desvia-se para o outro lado.

41. Se uma hélice oca como aquela descrita (34) for colocada de Leste a Oeste (ou em qualquer outra posição constante), e um ímã for mantido de Leste a Oeste, seu polo marcado sempre estando de um lado, então, por qualquer extremidade da hélice que o ímã penetre e, conseqüentemente, qualquer que seja o polo do ímã que entre primeiro, ainda assim a agulha é desviada da mesma maneira. Por outro lado, qualquer que seja a direção seguida na retirada do ímã, a deflexão é constante, mas contrária àquela devida a sua entrada.

42. Esses efeitos são simples conseqüências da *lei* a ser descrita adiante (114).

43. Quando foi feita uma longa hélice a partir das oito hélices elementares, o efeito não foi tão grande quanto no arranjo descrito. Quando foi usada apenas uma das oito hélices, o efeito também foi muito diminuído. Todos os cuidados foram tomados para prevenir contra qualquer ação direta do ímã indutor sobre o

galvanômetro, e encontrou-se que, movendo o ímã na mesma direção e no mesmo grau fora da hélice, não foi produzido nenhum efeito na agulha [do galvanômetro].

44. A *Royal Society* possui um grande ímã composto, anteriormente pertencente ao Dr. Gowin Knight⁸, o qual, pela permissão do Presidente e do Conselho, pude utilizar na execução dessas experiências. [O ímã] está, no momento, sob os cuidados do Sr. Christie, em sua casa em Woolwich, onde, por gentileza do Sr. Christie, eu tinha permissão para trabalhar; e tenho de reconhecer meus agradecimentos a ele pela sua assistência em todas as experiências e observações feitas com o ímã. Esse ímã é composto por cerca de 450 barras magnéticas, cada uma com quinze polegadas de comprimento, uma polegada de largura, e meia polegada de espessura, dispostos em uma caixa de forma a apresentar, em uma de suas extremidades, dois polos externos (Figura 5). Esses polos são projetados horizontalmente seis polegadas para fora da caixa, têm, cada um, doze polegadas de altura e três polegadas de largura. São separados por nove polegadas. E quando um cilindro de ferro doce, com diâmetro de três quartos de uma polegada e com um comprimento de doze polegadas, foi colocado transversalmente de um [polo] para o outro, foi necessária uma força de aproximadamente cem libras⁹ para romper o contato. O polo à esquerda na Figura é o polo marcado¹⁰.

⁸ [N. T.] Gowin Knight (1713-1772), físico inglês. Sua pesquisa o permitiu construir ímãs de maior potência do que aqueles geralmente disponíveis. Em 1750, mostrou como uma bússola magnética poderia ser melhorada mudando o meio de suspensão e a forma da agulha. Essa bússola foi adotada pela Marinha Inglesa da época. Baseado nas questões ao final do livro *Óptica*, de Isaac Newton, [6], tentou explicar a gravidade, o magnetismo, a coesão, os fenômenos ópticos e a química a partir de forças de atração e repulsão entre as partículas microscópicas, [7].

⁹ [N. T.] 1 libra = 453,59 gramas.

¹⁰ [N. F.] Para evitar qualquer confusão a respeito dos polos do ímã, designarei o polo apontando para o Norte [geográfico da Terra] como sendo o polo marcado; ocasionalmente, posso falar das extremidades Norte e Sul da agulha, mas não quero dizer, com isso, os polos Norte e Sul. Muitos consideram o verdadeiro polo Norte de uma agulha como sendo o polo que aponta para o Sul [geográfico da Terra], mas, neste país, este polo é chamado, muitas vezes, de polo Sul.

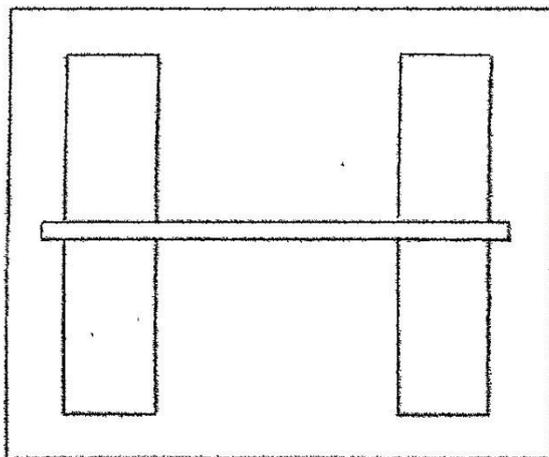


Figura 5.

45. O galvanômetro indicador, em todas as experiências feitas com esse ímã, estava cerca de oito pés afastado do ímã, não diretamente em frente aos polos, mas deslocado cerca de 16° ou 17° de um lado. Descobriu-se que, fazendo ou rompendo a conexão dos polos com ferro doce, o instrumento foi ligeiramente afetado, mas todos os erros de observação resultantes dessa causa foram facilmente e cuidadosamente evitados.

46. Os efeitos elétricos exibidos por esse ímã foram impressionantes. Quando um cilindro de ferro doce com comprimento de trinta polegadas foi colocado através das hélices ocas compostas, com suas extremidades arranjadas como duas terminações gerais (39), essas [extremidades] conectadas com o galvanômetro, e o cilindro de ferro foi colocado em contato com os dois polos do ímã (Figura 5), ocorreu um movimento de eletricidade tão potente que a agulha girou diversas vezes seguidas¹¹.

47. Apesar desse grande poder, se o contato fosse mantido, a agulha retornava à sua posição natural, não sendo influenciada de forma alguma pela posição

¹¹ [N. F.] Uma barra de ferro doce na forma de um tirante em um ímã de ferradura, quando equipado com um enrolamento deste tipo ao redor do meio da barra, transforma-se, por justaposição com um ímã, em uma fonte disponível de uma corrente de eletricidade breve, mas definida.

da hélice (30). Mas ao interromper o contato magnético, a agulha girava na direção oposta com uma força igual à força anterior.

48. Um pedaço de placa de cobre enrolado *uma vez* ao redor do cilindro de ferro como uma luva, mas com um papel interposto para prevenir contato, teve suas bordas conectadas com os fios do galvanômetro. Quando o ferro foi colocado em contato com os polos, o galvanômetro foi fortemente afetado.

49. Pondo de lado as hélices e a luva, atravessou-se o fio do galvanômetro [pelo cilindro], resultando apenas uma meia volta no cilindro de ferro (Figura 6), mas mesmo assim era exibido um grande efeito sobre a agulha, quando o contato magnético era feito ou interrompido.

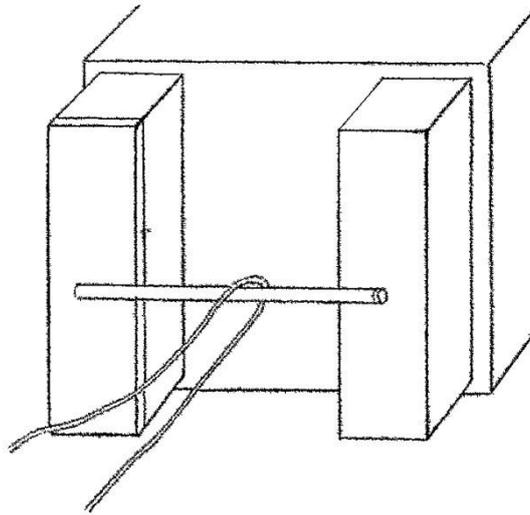


Figura 6.

50. Também foram produzidos efeitos potentes quando a hélice com o cilindro de ferro foi aproximada dos polos do ímã, mas *sem fazer contato*. Quando aproximou-se a hélice, sem o cilindro de ferro e, conseqüentemente, não contendo nenhum metal, exceto cobre, ou quando ela foi colocada entre os polos (44), a agulha foi deslocada 80°, 90°, ou mais, da sua posição natural. A força indutiva era certamente maior, quanto mais próximo aos polos era colocada a hélice, com ou sem seu cilindro de ferro, mas de outra maneira os mesmos efeitos eram produzidos, quer a hélice, etc. fosse ou não fosse colocada em contato com o ímã; isto é,

nenhum efeito permanente foi produzido no galvanômetro, e os efeitos de aproximação foram inversos aos de remoção (30).

51. Quando foi introduzido um pino de cobre correspondente ao cilindro de ferro, não foi produzido nenhum efeito maior pela hélice do que sem ele. Mas quando [o pino de cobre] foi substituído por um fio de ferro grosso, a indução eletromagnética foi sensivelmente maior.

52. A direção da corrente elétrica produzida por todas essas experiências com a hélice foi a mesma já descrita (38) como sendo a direção obtida com as barras magnéticas mais fracas.

53. Uma espiral contendo quatorze pés de fio de cobre, ao ser conectada com o galvanômetro, e aproximada diretamente em direção ao polo marcado na linha do seu eixo, afetou fortemente o instrumento; a corrente induzida no galvanômetro foi na direção oposta à corrente considerada teoricamente pelo Sr. Ampère como existindo no ímã (38), ou como a corrente em um eletroímã de mesma polaridade. À medida que a espiral foi afastada, a corrente induzida foi invertida.

54. Uma corrente de oitenta pares de placas de quatro polegadas foi transmitida através de uma espiral similar para formar um eletroímã e, então, foi aproximada à outra espiral conectada com o galvanômetro (53); a agulha vibrou, indicando uma corrente na espiral do galvanômetro oposta à corrente na espiral da bateria (18, 26). Afastando a última espiral, a agulha foi para a direção oposta.

55. Foram induzidas correntes em fios isolados, [quando] aproximados em certas direções em direção ao polo magnético. Quando [os fios] foram afastados, a corrente foi invertida. Nessas experiências, os fios não devem ser afastados em direções diferentes daquelas em que foram aproximados, pois, então [caso sejam movimentados de forma diferente], são produzidos efeitos complicados e irregulares, cujas causas ficarão bem evidentes na quarta parte deste artigo.

56. Falharam todas as tentativas de obter efeitos químicos pela corrente induzida de eletricidade, apesar de serem tomadas todas as precauções descritas anteriormente (22), e todas as outras que poderiam ser pensadas. Também não foram produzidas quaisquer sensações na língua, ou qualquer efeito convulsivo sobre os membros de um sapo. Também não puderam ser inflamados o carvão ou o fio fino (133), mas, ao repetir as experiências com mais calma na *Royal Institution*, munido com uma magnetita¹² pertencente ao Professor Daniell e capaz de levantar cerca de trinta libras, um sapo sofreu *convulsões violentas* cada vez que o contato magnético foi feito. Inicialmente, as convulsões não podiam ser obtidas rompendo

¹² [N. T.] Magnetita: Óxido de ferro magnético.

o contato magnético, mas percebendo que a falta do efeito foi devida à separação relativamente lenta, a separação foi feita rapidamente em um arranque e, então, o sapo sofreu fortes convulsões. Quanto mais rápida for efetuada a união ou desunião, mais potente é a convulsão. Pensei também que podia observar a *sensação* sobre a língua e a *faísca* perto dos olhos, mas não obtive nenhuma evidência de decomposição química.

57. Acredito que as várias experiências desta Seção provam completamente a produção da eletricidade a partir do magnetismo comum. Pode não ser considerado maravilhoso que sua intensidade seja muito baixa e sua quantidade pequena, quando lembramos que, como a termostaticidade, ela se desenvolve inteiramente dentro da substância dos metais retendo todo seu poder de condução. Mas só pode ser eletricidade um agente que é conduzido ao longo de fios metálicos da maneira descrita; que enquanto flui dessa forma possui as ações magnéticas peculiares e a força de uma corrente de eletricidade; que pode agitar e convulsionar os membros de um sapo; e que, finalmente, pode produzir uma faísca¹³ por sua descarga através do carvão (32). Como todos os efeitos podem ser produzidos por eletroímãs ferruginosos (34), não há dúvida que aparelhos como os ímãs dos professores Moll, Henry, Ten Eyke e outros, nos quais foram levantadas até duas mil libras, podem ser usados para essas experiências, sendo que, neste caso, pode ser obtida não apenas uma faísca mais brilhante, mas também fios podem ser inflamados e, como a corrente pode atravessar líquidos, ações químicas podem ser produzidas. Esses efeitos são ainda mais prováveis de serem obtidos quando os arranjos eletromagnéticos a serem explicados na quarta Seção são excitados pelo poder de tais aparatos.

58. A similaridade da ação, quase equivalente à identidade, entre ímãs comuns e eletroímãs ou correntes eletrovoltaicas, está perfeitamente de acordo com a teoria do Sr. Ampère e a confirma, além de fornecer motivos poderosos para acreditarmos que a ação é a mesma em ambos os casos; mas, como uma distinção na linguagem ainda é necessária, proponho chamar a ação assim exercida pelos ímãs comuns de indução *elétrico-magnética* ou *eletromagnética* (26).

59. A única diferença existente entre a indução eletrovoltaica e a eletromagnética que chama a atenção fortemente, é a rapidez da indução eletrovoltaica, e o tempo perceptível requerido pela indução eletromagnética, mas, mesmo neste

¹³ [N. F.] Veja a *Philosophical Magazine* de junho, 1832, p. 5, para uma maneira que achei efetiva de obter faísca do ímã comum. Na mesma revista de novembro, 1834, vol. V, p. 349, vai se encontrar um método de obter a faísca eletromagnética, de um princípio ainda mais simples, sendo totalmente dispensável o uso do ferro doce. Dezembro de 1838.

estado inicial da investigação, existem circunstâncias que parecem indicar que, em futuras pesquisas, essa diferença irá desaparecer como uma distinção filosófica (68)¹⁴.

§ 3. Novo Estado Elétrico ou Condição da Matéria¹⁵

60. Enquanto o fio está sujeito ou à indução eletrovoltaica ou à eletromagnética, ele parece estar em um estado peculiar, pois resiste à formação de uma corrente elétrica no fio, enquanto que, se estivesse em sua condição normal, uma tal corrente seria produzida. E quando deixado sem ser influenciado, tem a capacidade de originar uma corrente, uma capacidade que o fio não possui em circunstâncias normais. Essa condição elétrica da matéria não havia sido reconhecida até agora, mas provavelmente exerce uma influência de grande importância em muitos, se não na maioria, dos fenômenos produzidos pelas correntes de eletricidade. Por razões que aparecerão imediatamente (71), depois de me aconselhar com diversos amigos instruídos, atrevi-me designá-lo como o estado *eletrotônico*.

61. Essa condição peculiar não mostra fenômenos elétricos conhecidos enquanto continua [a mesma]. Também não fui capaz, até agora, de descobrir quaisquer potências peculiares exercidas, ou propriedades possuídas, pela matéria enquanto mantida neste estado.

62. [A matéria] não mostra reação por forças atrativas ou repulsivas. As várias experiências que têm sido feitas com ímãs potentes [atuando] sobre metais, tais como cobre e prata, e geralmente aquelas substâncias não magnéticas, provam este ponto pois, com as substâncias com as quais se experimentou, se forem condutores elétricos, têm de ter adquirido esse estado. Contudo, nenhuma evidência de forças atrativas ou repulsivas tem sido observada. Coloquei discos de cobre e prata, delicadamente suspensos sobre balanças de torção *no vácuo* perto dos polos de

¹⁴ [N. F.] Veja agora a nona série, [parágrafos] 1048-1118, para importantes fenômenos adicionais e desenvolvimentos da indução de correntes elétricas. – Dezembro de 1838.

¹⁵ [N. F.] Sinto-me obrigado a deixar esta Seção como parte do artigo, por ela ter sido lida e relatada na *Royal Society* e, também, em consequência de uma carta minha para o Sr. Hachette, por ela ter sido anunciada no *French Institute*. Mas investigações posteriores (refiro-me [aos parágrafos] 73, 76 e 77) das leis que governam esses fenômenos, induzem-me a pensar que essas últimas [leis] podem ser totalmente explicadas sem admitir o estado eletrotônico. Meus pontos de vista sobre esse aspecto vão aparecer na segunda série destas pesquisas. M. F.

ímãs muito potentes. Todavia, não fui capaz de observar a menor força atrativa ou repulsiva.

63. Também coloquei uma fina tira de folha de ouro bem perto de uma barra de cobre, os dois estando em contato metálico por mercúrio em suas extremidades. Estes foram colocados *no vácuo*, de tal forma que hastes metálicas conectadas com as extremidades do arranjo pudessem atravessar os lados do vaso no ar. Então desloquei em várias direções potentes polos magnéticos ao redor desse arranjo, o circuito metálico do lado de fora sendo algumas vezes conectado por fios, e algumas vezes estando aberto. Mas jamais pude obter qualquer movimento sensível da folha de ouro, seja direcionado ao ímã ou em direção à barra colateral de cobre, que tem de ter ficado em um estado similar a si própria, no que diz respeito à indução.

64. Em alguns casos foi suposto que, sob tais circunstâncias, foram exibidas forças atrativas e repulsivas, isto é, que tais corpos se tornaram levemente magnéticos. Mas os fenômenos descritos agora, em conjunto com a confiança que podemos razoavelmente depositar na teoria do magnetismo do Sr. Ampère, tendem a lançar dúvidas sobre esses casos, pois, se o magnetismo depende da atração de correntes elétricas, e se as fortes correntes excitadas inicialmente, ambas por indução eletrovoltaica e eletromagnética, cessam instantaneamente e naturalmente (12, 28, 47), causando ao mesmo tempo uma interrupção completa dos efeitos magnéticos na agulha do galvanômetro, então pode haver pouca ou nenhuma expectativa de que quaisquer substâncias que não compartilhem da peculiar relação em que se encontram ferro, níquel e um ou dois outros corpos, devam exibir forças magnéticas atrativas. Parece muito mais provável que os efeitos permanentes observados extremamente fracos foram devidos a restos de ferro, ou talvez a alguma outra causa desconhecida não magnética.

65. Essa condição peculiar não exerce poder de retardar ou de acelerar correntes elétricas atravessando metal nesta circunstância (20, 33). Nem pôde ser detectada qualquer potência desse tipo sobre a própria corrente indutora, pois, quando massas de metal, fios, hélices, etc., eram colocadas de todas as maneiras possíveis ao lado de um fio ou hélice, portando uma corrente medida pelo galvanômetro (20), não pôde ser observada a menor mudança permanente na indicação do instrumento. Portanto, metal no estado peculiar suposto conduz eletricidade em todas as direções com sua facilidade costumeira, ou, em outras palavras, seu poder de condução não é perceptivelmente alterado por esse [estado].

66. Todos os metais assumem o estado peculiar. Isso é provado nas experiências precedentes com cobre e ferro (9) e por experiências a serem descritas na quarta parte (132), permitindo aplicação fácil, com ouro, prata, estanho, chumbo,

zinco, antimônio, bismuto, mercúrio, etc. Com relação ao ferro, as experiências provam a completa e notável independência entre esses fenômenos de indução e as manifestações magnéticas comuns deste metal.

67. Esse estado é inteiramente o efeito da indução exercida, e cessa logo que a força indutiva é removida. É o mesmo estado, quer seja produzido pela passagem colateral de correntes voltaicas (26), ou pela formação de um ímã (34, 36), ou pela simples aproximação de um ímã (39, 50). E ele é uma prova importante, além daquelas desenvolvidas pelo Sr. Ampère, da identidade dos agentes relacionados nessas diversas operações. Ele ocorre provavelmente, por um momento, durante a passagem da descarga elétrica comum (24), e pode, talvez, ser obtido depois em maus condutores por correntes elétricas fracas ou por outros meios (74, 76).

68. O estado parece tomar forma instantaneamente (12), para isso necessitando de uma porção de tempo dificilmente perceptível. A *diferença* de tempo entre a indução eletrovoltaica e a eletromagnética, evidenciada pelo galvanômetro (59), provavelmente pode ser assim explicada. Quando uma corrente voltaica é enviada através de um dos dois fios paralelos, como aqueles da hélice oca (34), uma corrente é produzida no outro fio, tão curta em sua duração quanto o tempo necessário para uma única ação desse tipo, e que, pela experiência, é imperceptivelmente pequeno. A ação parecerá ainda mais instantânea, devido ao fato de que, como há um acúmulo de potência nos polos da bateria antes do contato, o primeiro movimento rápido da eletricidade no fio de comunicação é maior do que o movimento mantido depois que o contato é completado. O fio de indução se torna no momento eletrotônico em um grau equivalente, que diminui para o estado no qual a corrente contínua pode sustentá-lo no momento seguinte, porém, durante a diminuição [da intensidade da corrente], causa uma corrente induzida oposta àquela produzida inicialmente. A consequência é que a primeira onda induzida de eletricidade se assemelha mais àquela da descarga de uma garrafa [do tipo da garrafa de Leiden] do que ela se assemelharia de outra forma.

69. Mas quando o cilindro de ferro é colocado dentro da mesma hélice (34), antes de ser feita a conexão com a bateria, então a corrente vinda dessa última pode ser considerada como ativa ao induzir inumeráveis correntes no ferro de um tipo similar ao seu, tornando-o um ímã. Da experiência, sabe-se que isso leva tempo para ocorrer, pois um ímã assim formado, mesmo de ferro doce, não alcança sua completa intensidade em [apenas] um instante, e pode ser porque as correntes dentro do ferro são sucessivas em sua formação ou seu arranjo. Mas como o ímã pode induzir, assim como a corrente da bateria, a ação combinada dos dois continua a desenvolver eletricidade induzida, até seus efeitos conjuntos atingirem um máximo

e, assim, a existência da força defletora é prolongada suficientemente para superar a inércia da agulha do galvanômetro.

70. Em todos aqueles casos onde as hélices ou os fios são deslocados em direção ao ímã ou se afastam dele (50, 55), a corrente direta ou invertida da eletricidade induzida se mantém pelo tempo gasto no avanço ou na recessão, pois o estado eletrotônico está aumentando para um grau maior ou diminuindo para um grau menor durante esse tempo, e a mudança é acompanhada por sua evolução correspondente da eletricidade correspondente. Mas esses [fatos] não criam objeções à opinião de que o estado eletrotônico é assumido instantaneamente.

71. Esse estado peculiar parece ser um estado de tensão, e pode ser considerado como *equivalente* a uma corrente de eletricidade, ao menos igual àquela produzida ou quando a condição é induzida ou quando é destruída. Entretanto, a primeira ou última corrente desenvolvida não deve ser considerada uma medida do grau de tensão alcançado pelo estado eletrotônico, pois, como o metal retém seus poderes condutores sem serem enfraquecidos (65), e como a eletricidade desenvolvida dura apenas um instante (sendo o estado peculiar formado e perdido instantaneamente (68)), a eletricidade que pode ser levada longe por fios condutores compridos, oferecendo resistência em seus corpos proporcionais às suas pequenas dimensões laterais e grandes dimensões lineares, pode ser apenas uma porção bem pequena daquela realmente desenvolvida dentro do corpo no momento em que ele assume essa condição. O estado foi assumido instantaneamente em hélices isoladas e em porções de metal. E nenhum traço de eletricidade pôde ser descoberto neles depois de serem colocados sob indução tanto pela corrente da bateria ou do ímã, por mais rápido que fosse o contato com o eletrômetro. Uma simples gota de água ou um pequeno pedaço de papel umedecido (23, 56) foi obstáculo suficiente para interromper a corrente através dos condutores, a eletricidade desenvolvida retornando para um estado de equilíbrio através do próprio metal e, por conseguinte, de uma maneira não observada.

72. Consequentemente, a tensão desse estado pode ser comparativamente muito grande. Mas seja grande ou pequena, dificilmente é concebível que ela deva existir sem exercer uma reação sobre a corrente indutora original, e produzindo algum tipo de equilíbrio. Poderia ser antecipado que isso causaria uma retardação da corrente original, mas não fui capaz de verificar se este é o caso. Nem fui capaz até agora, de qualquer outro modo, de distinguir efeitos atribuíveis a uma tal reação.

73. Todos os resultados favorecem a ideia de que o estado eletrotônico está relacionado com as partículas do fio ou da substância sob a indução, e não à massa, sendo, neste aspecto, diferente da indução exercida pela eletricidade da

tensão. Caso seja assim, o estado pode ser assumido em líquidos quando nenhuma corrente elétrica é perceptível, e [pode ser assumido] mesmo em não condutores; a própria corrente, quando ocorre, sendo como se fosse uma contingência devida à existência do poder condutor, e da força propulsora momentânea exercida pelas partículas durante seus arranjos. Mesmo quando o poder condutor é igual, as correntes de eletricidade, que até agora são os únicos indicadores desse estado, podem ser desiguais, devido às diferenças a respeito do número, tamanho, condição elétrica, etc., etc., nas próprias partículas. Somente depois que as leis que governam esse novo estado forem determinadas, seremos capazes de prever qual é a verdadeira condição de, e quais são os resultados elétricos obtidos a partir de, qualquer substância em particular.

74. A corrente de eletricidade que induz o estado eletrotônico em um fio vizinho, provavelmente também induz esse estado em seu próprio fio, pois, quando um fio colateral se torna eletrotônico devido a uma corrente em um fio, esse último estado não apresenta qualquer incompatibilidade ou interferência com uma corrente de eletricidade passando pelo fio [colateral] (62). Portanto, se a corrente atravessasse o segundo fio ao invés do primeiro, não parece provável que sua ação indutora sobre o segundo [fio] seria menor, mas, ao contrário, [seria] maior, pois a distância entre o agente e a matéria sobre a qual se atuou seria grandemente diminuída. Um parafuso de cobre teve suas extremidades conectadas com um galvanômetro, e então os polos de uma bateria de cem pares das placas foram conectados com o parafuso, de forma a enviar a corrente através dele. O circuito voltaico foi, então, repentinamente aberto, e o galvanômetro foi observado para ver se havia quaisquer indicações de uma corrente de retorno através do parafuso de cobre devido à descarga de seu suposto estado eletrotônico. Nenhum efeito do tipo foi obtido. Na verdade, [a corrente de retorno] não era para ser esperada por duas razões. Em primeiro lugar, como a cessação da indução e a descarga da condição eletrotônica são simultâneas, e não sucessivas, a corrente de retorno seria somente equivalente à neutralização da última parcela da corrente indutora e, conseqüentemente, não mostraria qualquer alteração da direção. Ou [em segundo lugar], supondo que o tempo interferiu, e que a última corrente era realmente distinta da anterior, seu caráter curto e repentino (12, 26) impediria que ela fosse assim reconhecida.

75. Acredito que nenhuma dificuldade aparece ao considerar que o fio ficou assim eletrotônico devido mais à sua própria corrente do que por qualquer corrente externa, especialmente quando é considerada a não interferência aparente desse estado com correntes (62, 71). A existência simultânea dos estados condutor e eletrotônico encontra uma analogia na maneira pela qual as correntes elétricas podem atravessar ímãs, onde se encontra que tanto as correntes que atravessam

[pelos ímãs] e as correntes dos ímãs preservam todas as suas propriedades distintas umas das outras, e exercem suas ações mútuas.

76. O argumento dado em relação aos metais também se estende aos fluidos e a todos os outros condutores, e nos leva à conclusão de que, quando correntes elétricas os atravessam, eles também assumem o estado eletrotônico. Se for provado que isso ocorre, dificilmente poderá ser questionada sua influência na decomposição voltaica e na transferência dos elementos aos polos. No estado eletrotônico, as partículas homogêneas da matéria parecem ter assumido um arranjo elétrico regular, mas forçado, ao longo da direção da corrente o qual produz ao serem liberadas, se a matéria for indecomponível, uma corrente de retorno. Mas, na matéria decomponível, esse estado forçado pode ser suficiente para fazer uma partícula elementar deixar sua [partícula] companheira, com quem está em uma condição forçada, e se associar com a partícula vizinha similar, com relação à qual ela está em uma condição mais natural, sendo o arranjo elétrico forçado, ele próprio descarregado ou aliviado, ao mesmo tempo, tão eficazmente como se ele tivesse sido libertado da indução. Mas quando a corrente voltaica original é continuada, o estado eletrotônico pode ser instantaneamente renovado, produzindo o arranjo forçado das partículas compostas, como sendo descarregado tão instantaneamente por uma transferência das partículas elementares do tipo oposto em direções opostas, mas paralelas à corrente. Mesmo as diferenças entre a eletricidade comum e voltaica, quando aplicadas para realizar decomposição química, apontadas pelo Dr. Wollaston¹⁶, parecem ser explicáveis pelas circunstâncias associadas com a indução da eletricidade a partir dessas duas fontes (25). Mas, como reservei esta parte da pesquisa para que pudesse seguir as investigações contidas neste artigo, abstenho-me de oferecer especulações adicionais (embora esteja muito tentado a isto).

77. Marianini descobriu e descreveu uma afeição peculiar das superfícies de discos metálicos, quando, estando em contato com condutores úmidos, uma corrente de eletricidade os atravessa. Eles são, então, capazes de produzir uma corrente reversa de eletricidade, e Marianini aplicou satisfatoriamente o efeito na explicação dos fenômenos das pilhas de Ritter¹⁷. O Sr. A. de la Rive descreveu uma propriedade peculiar adquirida por condutores metálicos quando, estando imersos em um líquido como polos, eles completaram, por algum tempo, o circuito voltaico, em consequência disso, quando separados da bateria e mergulhados no

¹⁶ [N. F.] *Philosophical Transactions*, 1801, p. 247.

¹⁷ [N. F.] *Annales de Chimie*, XXXVIII. 5.

mesmo fluido, eles produzem, por eles mesmos, uma corrente elétrica¹⁸. O Sr. A. Van Beek detalhou casos nos quais a relação elétrica de um metal em contato com um outro [metal] foi preservada após a separação, e acompanhada por seus efeitos químicos correspondentes¹⁹. Esses estados e resultados parecem diferir do estado eletrotônico e de seus fenômenos. Mas a verdadeira relação dos primeiros com os últimos somente poderá ser decidida quando nosso conhecimento de todos esses fenômenos for ampliado.

78. No começo deste artigo (2), tive a oportunidade de me referir a uma experiência de Ampère como sendo uma daquelas [experiências] dependentes da indução elétrica de correntes, [experiência esta] realizada antes da investigação atual, e cheguei a conclusões que parecem implicar dúvidas sobre a exatidão da experiência (62, etc.). Portanto, é devido ao Sr. Ampère que devo me ater a ela mais claramente. Quando um disco do cobre (diz o Sr. Ampère) foi suspenso por um fio de seda e cercado por uma hélice ou por uma espiral, e quando a carga de uma potente bateria voltaica passou pela espiral, sendo que ao mesmo tempo estava apresentado ao disco de cobre um forte ímã, o último [isto é, o disco de cobre] girou instantaneamente de maneira a assumir uma posição de equilíbrio, exatamente como a própria espiral teria girado se ela fosse livre para se mover. Não pude obter esse efeito; de fato, não pude obter qualquer movimento. Mas o motivo da minha falha no *último* ponto pode ser devido à existência momentânea da corrente não ter permitido tempo [suficiente] para que a inércia da placa fosse superada (11, 12). Talvez o Sr. Ampère tenha tido sucesso em obter movimento devido a uma sensibilidade e poder superiores de seu instrumento eletromagnético, ou ele pode ter obtido somente o movimento devido à cessação da ação. Porém, todos os meus resultados tendem a inverter o sentido da proposição afirmada pelo Sr. Ampère, “de que uma corrente de eletricidade tende a colocar em movimento na mesma direção a eletricidade dos condutores próximos dos quais ela passa,” pois eles [os resultados de Faraday] indicam uma direção oposta para a corrente produzida (26, 53). E eles mostram que o efeito é momentâneo, e que também é produzido por indução magnética, e que certos outros efeitos extraordinários seguem deles²⁰.

¹⁸ [N. F.] *Annales de Chimie*, XXVIII. 190.

¹⁹ [N. F.] *Annales de Chimie*, XXXVIII. 49.

²⁰ [N. T.] Parece-nos importante citar, aqui, uma Nota que Faraday acrescentou no final da Terceira Série de suas *Pesquisas Experimentais em Eletricidade*, ver as páginas 318-319 do *Great Books of the Western World*, [1]:

“**Nota:** Estou ansioso e me permito adicionar a este artigo uma correção de um erro que atribuí ao Sr. Ampère em uma série anterior destas *Pesquisas Experimentais*. Ao me referir às suas experiências sobre a indução de correntes elétricas (78), chamei de *disco* aquilo que devia ter designado um círculo ou um anel. O Sr. Ampère usou um anel, ou um cilindro muito curto feito de uma placa estreita de cobre curvada em um círculo, e ele me disse que, com tal arranjo, o movimento era obtido muito prontamente. Não duvidei que o Sr. Ampère tenha obtido o movimento que descreveu, mas apenas me enganei sobre o tipo de condutor móvel utilizado e, em relação a isso, descrevi erroneamente sua *experiência*.”

Afirmo, no mesmo parágrafo, que o Sr. Ampère disse que o disco girava “de maneira a assumir uma posição de equilíbrio, exatamente como a própria espiral teria girado se ela fosse livre para se mover”; e disse, além disso, que meus resultados tendiam a inverter o sentido da proposição “afirmada pelo Sr. Ampère, *de que uma corrente de eletricidade tende a colocar em movimento na mesma direção a eletricidade dos condutores próximos dos quais ela passa.*” O Sr. Ampère me disse, em uma carta que acabei de receber dele, que ele evitou cuidadosamente, ao descrever a experiência, de mencionar qualquer referência sobre a direção da corrente induzida; ao olhar nas passagens que ele me citou, encontro que esse é o caso. Portanto, fiz uma injustiça a ele nas citações acima, e estou ansioso por corrigir meu erro.

Mas para que não seja suposto que escrevi essas passagens levianamente, apresentarei brevemente minhas razões por tê-las entendido assim. Inicialmente, a experiência [de Ampère] fracassou. Quando ela foi refeita, com sucesso, aproximadamente um ano depois, isso ocorreu em Genebra juntamente com o Sr. A. de la Rive. Este último filósofo descreveu os resultados (*Bibliothèque Universelle*, XXI, pág. 48) dizendo que a placa de cobre curvada em um círculo que foi utilizada como o condutor móvel “avançou algumas vezes entre os dois ramos do ímã (em forma de ferradura), e algumas vezes foi repelida, *de acordo com* a direção da corrente nos condutores ao redor dele.”

Tenho tido o costume de citar o *Manuel d'Electricité Dynamique* de Demonferrand, como sendo um livro de autoridade na França, contendo os resultados e as leis gerais deste ramo da ciência, indo até a época de sua publicação, em um formato bem organizado. Na pág. 173, o autor, ao descrever essa experiência, afirma, “O círculo móvel gira para assumir uma posição de equilíbrio assim como faria um condutor no qual a corrente se deslocasse na *mesma direção* que na espiral;” e no mesmo parágrafo ele acrescenta, “Portanto, está provado *que uma corrente de eletricidade tende a colocar em movimento na mesma direção a eletricidade dos condutores próximos dos quais ela passa.*” Essas são as palavras que citei em meu artigo (78).

O número 36 do *Le Lycée*, de primeiro de janeiro de 1832, em um artigo escrito após a recepção da minha infeliz carta ao Sr. Hachette, e antes que meus artigos fossem impressos, debate sobre a direção das correntes induzidas, e afirma que tem de haver “uma corrente elementar produzida na

79. A existência momentânea dos fenômenos de indução descritos há pouco é suficiente para fornecer várias razões para a incerteza ou para a falha das experiências feitas até agora para obter eletricidade a partir de ímãs, ou para efetuar decomposição ou combinação química por meio desses [fenômenos]²¹.

mesma direção que a porção correspondente da corrente produtora.” Um pouco além, afirma-se que, “portanto, temos de obter correntes produzidas sobre um fio metálico, seja por um ímã ou por uma corrente, movendo-se na mesma direção. O Sr. Ampère estava tão completamente persuadido de que tal tinha de ser a direção das correntes [obtidas] por influência, que ele negligenciou de se assegurar sobre isto na sua experiência de Genebra.”

Foram as afirmações precisas do *Manuel* de Demonferrand, concordando como fizeram com a expressão do artigo do Sr. de la Rive (o qual, contudo, entendo agora como significando apenas que, quando a intensidade da corrente foi alterada, também foi modificado o movimento do círculo móvel), e que não estavam em discordância com qualquer coisa expressa pelo próprio Sr. Ampère quando ele fala da experiência, que me fez concluir, quando escrevi o artigo, que aquilo que escrevi tinha sido realmente sua opinião declarada; quando apareceu o Número [Volume] do *Lycée*, o que ocorreu antes do meu artigo ser impresso, ele não levantou qualquer suspeita de que eu estivesse errado.

Vem daí o erro no qual caí desprevenidamente. Estou orgulhoso de corrigir esse erro, e de fazer justiça à precisão e perspicácia que, tanto quanto entendo dos assuntos, o Sr. Ampère empresta para todos os ramos da filosofia que ele investiga.

Finalmente, minha nota ao [parágrafo] (79) afirma que o Número 36 do *Lycée* “engana-se ao considerar os resultados errôneos dos Srs. Fresnel e Ampère como sendo verdadeiros,” etc. etc. Ao chamar de *errôneos* os resultados do Sr. Ampère, falei dos resultados descritos e citados no próprio *Lycée*; mas *agora* que é para ser separada a expressão da direção da corrente induzida, o termo *errôneo* não deve mais ser ligado a eles.

M. F., 29 de abril de 1833.”

²¹ [N. F.] O Número 36 do *The Lycée* de primeiro de janeiro tem um artigo longo e bem prematuro, no qual se tenta mostrar antecipações das minhas pesquisas feitas por filósofos franceses. Entretanto, ele se engana ao considerar os resultados errados dos Srs. Fresnel e Ampère como sendo verdadeiros e, então, supõe que meus resultados verdadeiros são, como estes resultados, errôneos. Porém, observo-o aqui com o propósito de fazer justiça a Fresnel em um grau muito maior do que seria merecido por uma fraca antecipação dessas pesquisas. Esse grande filósofo, ao mesmo tempo em que eu e outras cinquenta pessoas, realizou experiências das quais, neste artigo, há provas de que não poderiam produzir qualquer resultado esperado. Ele foi enganado naquele momento, e publicou seu sucesso imaginário. Mas, ao repetir mais cuidadosamente suas experiências, não conseguiu encontrar prova de sua exatidão e, no elevado e puro desejo filosófico de remover o erro, assim como o de encontrar a verdade, ele se retratou de sua primeira afirmação. O exemplo de Berzelius em relação à

80. [A existência momentânea dos fenômenos de indução descritos há pouco] também parece capaz de explicar totalmente os extraordinários fenômenos observados pelo Sr. Arago entre metais e ímãs quando um dos dois²² está se movendo (120), assim como a maioria dos resultados obtidos por Sir John Herschel, pelos Srs. Babbage, Harris e outros, ao repetir suas experiências. Ela explica perfeitamente, ao mesmo tempo, aquilo que em princípio parecia inexplicável, a saber, a ausência de ação dos mesmos metais e ímãs quando em repouso. Prossigo agora para descrever estes resultados, que também propiciam a melhor maneira de obter eletricidade a partir do magnetismo.

§ 4. Explicação dos Fenômenos Magnéticos de Arago

81. Se uma placa de cobre girar próxima a uma agulha magnética, ou a um ímã, suspensa de tal forma que esta última possa girar em um plano paralelo à primeira, o ímã tende a seguir o movimento da placa; ou, se o ímã for girado, a placa tende a seguir seu movimento. O efeito é tão forte, que ímãs ou placas de muitas libras podem girar dessa forma. Se o ímã e a placa estiverem em repouso mútuo, não pode ser observado o menor efeito entre eles, seja atrativo ou repulsivo, ou de qualquer tipo (62). Esse é o fenômeno descoberto pelo Sr. Arago; e ele afirma que o efeito acontece não apenas com todos os metais, mas com sólidos, líquidos, e até mesmo gases; isto é, com todas as substâncias (130).

82. O Sr. Babbage e Sir John Herschel, ao repetirem conjuntamente as experiências neste país²³, só conseguiram obter os efeitos com os metais e com carbono em um estado peculiar (a partir de retortas de gás), isto é, apenas com excelentes condutores de eletricidade. Eles relacionam o efeito ao magnetismo induzido na placa pelo ímã; o polo deste criando um polo oposto na parte mais próxima da placa e, ao redor desta [parte criando], uma polaridade mais difusa do seu próprio tipo (120). A circunstância essencial para produzir a rotação do ímã suspenso [de acordo com o modelo de Babbage e Herschel] é que a substância girando abaixo

primeira Torina é um outro exemplo desse sentimento refinado. E como esses acontecimentos não são raros, seria digno para a ciência que tais exemplos fossem seguidos mais frequentemente. 10 de fevereiro de 1832.

²² [N. T.] No artigo original, publicado em 1832, aparece aqui a palavra *either* (um dos dois), enquanto que, na coleção *Great Books of the Western World*, aparece a palavra *neither* (nenhum dos dois). Parece-nos que a mais correta é a primeira palavra.

²³ [N. F.] *Philosophical Transactions*, 1825, p. 467.

dele vai adquirir e perder seu magnetismo em um tempo finito, e não instantaneamente (124). Essa teoria relaciona o efeito a uma força atrativa e não é aceita pelo descobridor, Sr. Arago, nem pelo Sr. Ampère, que cita contra ela a ausência de toda atração quando o ímã e o metal estão em repouso (62, 126), embora o magnetismo induzido ainda deva permanecer; e quem, a partir de experiências feitas com uma longa bússola de inclinação, concebe a ação como sendo sempre repulsiva (125).

83. Ao obter eletricidade a partir de ímãs pelos métodos já descritos (36, 46), tinha esperança de tornar a experiência do Sr. Arago como sendo uma nova fonte de eletricidade; e não perdi a esperança, com relação à indução eletromagnética terrestre, de ser capaz de construir uma nova máquina elétrica. Estimulado dessa forma, foram feitas numerosas experiências com o ímã da *Royal Society* na casa do Sr. Christie, sendo que, em todas elas, dispunha de sua assistência. Como muitas dessas [experiências] foram, ao longo da pesquisa, superadas por arranjos mais perfeitos, tomarei a liberdade de rearranjá-las de uma forma que possam transmitir mais diretamente o que me parece ser uma visão correta da natureza do fenômeno.

84. O ímã já foi descrito (44). Para concentrar os polos e aproximá-los, foram colocadas, entre os pólos, duas barras de ferro ou de aço como na Figura 7, com uma polegada de largura e com meia polegada de espessura, e sendo apoiadas por barbante para evitar que escorregassem, elas podiam ser colocadas próximas ou afastadas entre si, de acordo com o que fosse necessário. Ocasionalmente, foram empregadas duas barras de ferro doce, curvadas de tal forma que, quando elas eram aplicadas, uma a cada polo, os dois polos resultantes menores ficavam verticalmente acima um do outro, com qualquer um deles podendo ser colocado à vontade sobre o outro.

85. Foi montado em armações um disco de cobre, com doze polegadas de diâmetro e com uma espessura de aproximadamente um quinto de polegada, fixado sobre um eixo de latão, de tal forma que pudesse girar verticalmente ou horizontalmente, com sua borda podendo, ao mesmo tempo, ser mais ou menos introduzida entre os polos magnéticos (Figura 7). A borda da placa estava bem amalgamada com o objetivo de obter um contato bom, mas móvel; também foi preparada, de maneira similar, uma parte ao redor do eixo.

86. Foram construídos condutores ou coletores de cobre e chumbo de tal forma a ficarem em contato com a borda do disco de cobre (85), ou com outras formas das placas que serão descritas posteriormente (110). Esses condutores tinham, aproximadamente, quatro polegadas de comprimento, um terço de polegada de largura, e um quinto de polegada de espessura; havendo pequenas ranhuras em

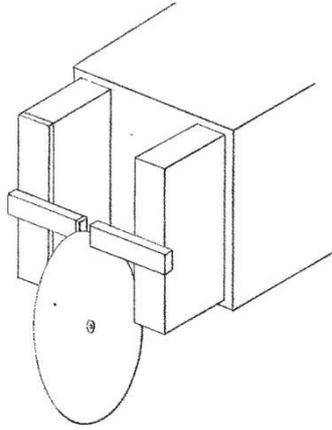


Figura 7.

uma extremidade de cada um deles para, com isso, permitir uma adaptação mais exata à borda um pouco convexa das placas, sendo então amalgamados. Os galvanômetros eram ligados por fios de cobre com uma espessura de um dezesseis avos de polegada que eram ligados às outras extremidades destes condutores, da maneira comum, por enrolamentos.

87. O galvanômetro era feito rudemente, mas sendo, contudo, suficientemente delicado em suas indicações. O fio era de cobre coberto com seda, e fazia dezesseis ou dezoito voltas. Foram magnetizadas duas agulhas de costura, sendo que elas atravessaram uma haste seca de grama de tal forma a ficarem paralelas entre si, mas em direções opostas, e separadas por, aproximadamente, meia polegada. Esse sistema foi suspenso por uma fibra de seda não torcida, de tal forma que a agulha inferior ficasse entre as voltas do multiplicador, e a [agulha] superior ficasse acima delas. Essa última [agulha] era de longe o ímã mais potente, e fornecia a direção [do magnetismo] terrestre para todo o conjunto. A Figura 8 representa a direção do fio e das agulhas, quando o instrumento era colocado no meridiano magnético; sendo as extremidades dos fios designadas por A e B devido a uma referência conveniente que será feita posteriormente. As letras S e N representam as extremidades Sul e Norte da agulha, quando afetada apenas pelo magnetismo terrestre, sendo, portanto, a extremidade N o polo marcado (44). Todo o instrumento era protegido por um recipiente de vidro, e permanecia, no que diz respeito à posição e à distância em relação ao grande ímã, nas mesmas circunstâncias que antes (45).

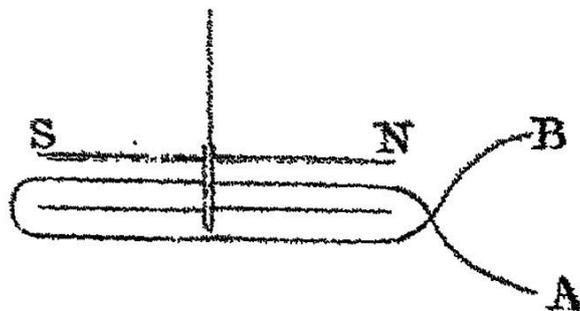


Figura 8.

88. Sendo feitos todos esses preparativos, o disco de cobre era ajustado como na Figura 7, estando os pequenos polos magnéticos separados por, aproximadamente, uma polegada, e sendo a borda da placa inserida aproximadamente a metade de sua largura entre eles. Um dos fios do galvanômetro era enrolado frouxamente duas ou três vezes ao redor do eixo de latão da placa e o outro [fio] era ligado a um condutor (86), o qual era, ele próprio, mantido pela mão em contato com a borda amalgamada do disco na parte entre os polos magnéticos. Sob estas circunstâncias, tudo ficava quieto e o galvanômetro não exhibia qualquer efeito, mas, no instante em que a placa se movia, o galvanômetro era influenciado e, ao girar a placa rapidamente, a agulha podia ser defletida de 90° ou ainda mais.

89. Era difícil, nessas circunstâncias, tornar uniformemente bom e extensivo o contato entre o condutor e a borda do disco girando; também era difícil, nas primeiras experiências, obter uma velocidade regular de rotação. Essas duas causas tendiam a manter a agulha em um contínuo estado de vibração; mas não havia dificuldade em determinar para qual lado ela era defletida ou, geralmente, ao redor de qual linha ela vibrava. Mais tarde, quando as experiências foram feitas mais cuidadosamente, podia ser mantida uma deflexão permanente da agulha de aproximadamente 45° .

90. Portanto, aqui estava demonstrada a produção de uma corrente permanente de eletricidade a partir de ímãs comuns (57).

91. Quando o movimento do disco era invertido, com todas as outras circunstâncias permanecendo as mesmas, a agulha do galvanômetro era defletida com uma potência igual à anterior, mas a deflexão era para o lado oposto, e a corrente de eletricidade desenvolvida era, portanto, a inversa da anterior.

92. Quando o condutor era colocado sobre a borda do disco um pouco para a direita ou para a esquerda, como nas posições pontilhadas da Figura 9, ainda era desenvolvida a corrente de eletricidade, e na mesma direção que inicialmente (88, 91). Isso ocorria até uma distância considerável, isto é, 50° ou 60° em cada lado do lugar dos polos magnéticos. A corrente obtida pelo condutor e levada ao galvanômetro era do mesmo tipo, nos dois, do lugar de maior intensidade, mas diminuía gradualmente de força a partir desse lugar. Ela parecia ser igualmente potente a iguais distâncias do local dos polos magnéticos, não sendo afetada, nesse aspecto, pela direção de rotação. Quando era invertida a rotação do disco, a direção da corrente de eletricidade também era invertida, mas as outras circunstâncias não eram afetadas.

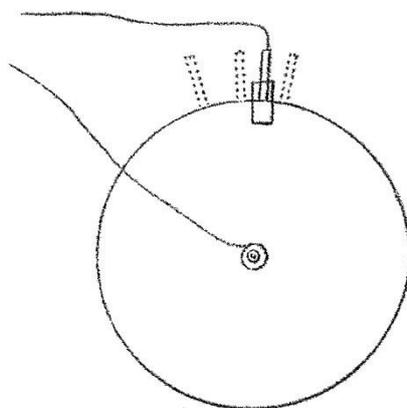


Figura 9.

93. Ao levantar a placa, de tal forma que os polos magnéticos ficassem completamente escondidos um do outro por essa intervenção, ([como na posição da letra] *a* na Figura 10), eram produzidos os mesmos efeitos na mesma ordem e com igual intensidade que antes. Ao levantá-la ainda mais, de tal forma a trazer o lugar dos polos para *c*, os efeitos ainda eram produzidos e, aparentemente, com tanta potência quanto no início.

94. Quando o condutor era mantido contra a borda como se estivesse fixado a ela, e se movia com ela entre os polos, mesmo que por apenas poucos graus, a agulha do galvanômetro se deslocava e indicava uma corrente de eletricidade, a mesma que aquela que seria produzida se a roda tivesse girado na mesma direção, com o condutor permanecendo estacionário.

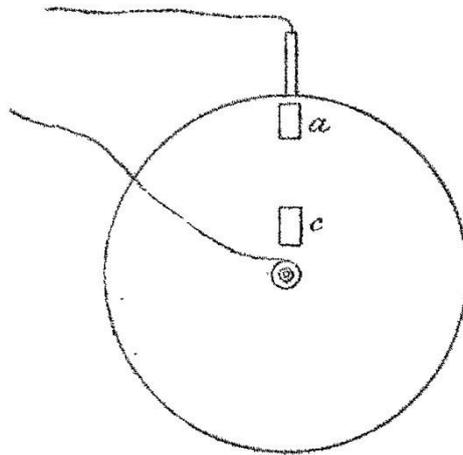


Figura 10.

95. Quando era rompida a conexão do galvanômetro com o eixo, e seus fios eram bem presos a dois condutores, ambos aplicados à borda do disco de cobre, então eram produzidas correntes de eletricidade apresentando aparências mais complicadas, mas em perfeita harmonia com os resultados acima. Assim, caso fossem aplicados como na Figura 11, era produzida uma corrente de eletricidade através do galvanômetro, mas caso suas posições fossem um pouco deslocadas, como na Figura 12, resultava uma corrente na direção contrária. Esse fato se devia a que, no primeiro caso, o galvanômetro indicava a diferença entre uma corrente intensa através de A e uma corrente fraca através de B e, no segundo caso, [o galvanômetro indicava a diferença] de uma corrente fraca através de A e uma corrente intensa através de B (92) e, portanto, produzia deflexões opostas.

96. Assim também quando os dois condutores eram equidistantes dos polos magnéticos, como na Figura 13, não era percebida qualquer corrente no galvanômetro, não importando de que forma o disco fosse girado, além daquela que era produzida momentaneamente por irregularidade de contato, visto que correntes iguais na mesma direção tendiam a fluir para dentro de ambos [os condutores]. Mas quando os dois condutores eram conectados com um fio, e o eixo com o outro fio, (Figura 14), então o galvanômetro indicava uma corrente de acordo com a direção da rotação (91); com os dois condutores atuando agora de forma concordante, e atuando como um único condutor havia atuado anteriormente (88).

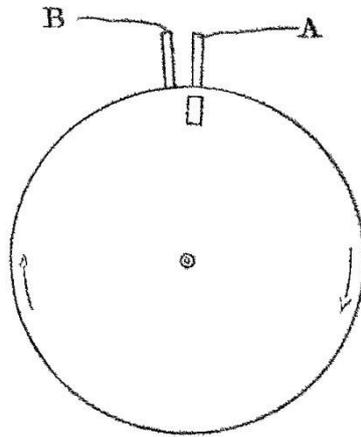


Figura 11.

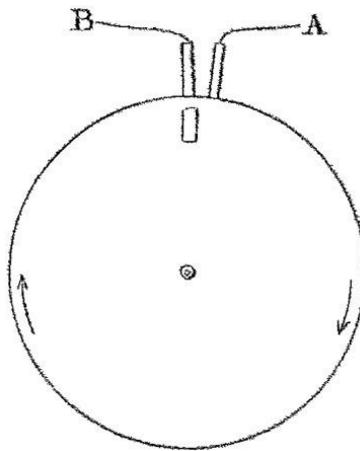


Figura 12.

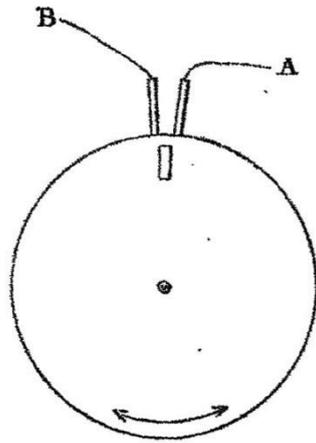


Figura 13.

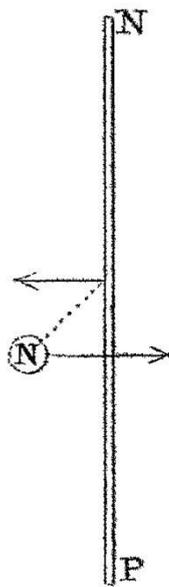


Figura 14.

97. Todos esses efeitos podiam ser obtidos quando apenas um dos polos do ímã era aproximado da placa; eles eram do mesmo tipo no que diz respeito à direção, etc., mas não eram, de forma alguma, tão poderosos.

98. Era tomado todo cuidado para tornar esses resultados independentes do magnetismo terrestre, ou do magnetismo mútuo entre o ímã e as agulhas do galvanômetro. Os contatos eram feitos no equador magnético da placa, e em outras partes; a placa era colocada horizontalmente, e os polos verticalmente; e eram tomadas outras precauções. Mas era mostrada claramente a ausência de qualquer interferência do tipo que está sendo mencionado, pela ausência de qualquer efeito quando o disco era removido dos polos, ou os polos do disco; com todas as outras circunstâncias permanecendo as mesmas.

99. A relação da corrente de eletricidade produzida, em relação ao polo magnético, à direção de rotação da placa, etc., pode ser expressa dizendo que, quando o polo não marcado (44, 84) está abaixo da borda da placa, e esta última gira horizontalmente, no sentido de um parafuso, é positiva a eletricidade que pode ser coletada na borda da placa mais próxima ao polo. Como o polo da Terra pode ser considerado mentalmente como o polo não marcado, não é difícil lembrar esta relação entre a rotação, o polo, e a eletricidade produzida. Ou se, na Figura 15, o círculo representa o disco de cobre girando na direção das setas, e *a* representa o perfil do polo não marcado colocado abaixo da placa, então a eletricidade coletada em *b* e nas partes vizinhas é positiva, enquanto que aquela coletada no centro *c* e nas outras partes é negativa (88). Portanto, as correntes na placa são a partir do centro[, passando] pelos polos magnéticos em direção à circunferência.

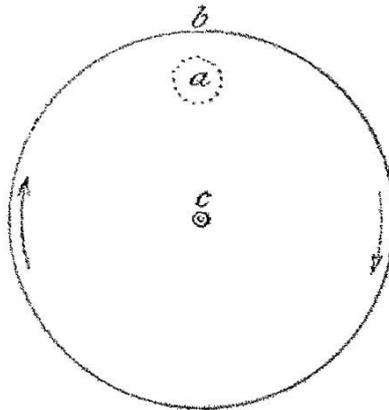


Figura 15.

100. Se o polo não marcado for colocado acima [da placa], com todas as outras coisas permanecendo as mesmas, a eletricidade em *b*, Figura 15, ainda é positiva. Se o polo marcado for colocado abaixo, ou o polo não marcado for colocado acima, a eletricidade é invertida. Se for invertida a direção de revolução em qualquer caso, a eletricidade também é invertida.

101. É agora evidente que a placa girante é meramente uma outra forma da experiência mais simples de passar um pedaço de metal entre os polos magnéticos em uma direção retilínea e que, em tais casos, são produzidas correntes de eletricidade ortogonais à direção do movimento, e atravessando-o no lugar do polo ou dos polos magnéticos. Isso foi mostrado de forma suficiente pela experiência simples, a seguir: Um pedaço de uma placa de cobre com uma espessura de um quinto de polegada, uma largura de uma polegada e meia, e um comprimento de doze polegadas, estando amalgamada nas bordas, foi colocada entre os polos magnéticos, enquanto que os dois condutores do galvanômetro foram mantidos em contato com suas bordas. Ele foi, então, puxado entre os polos dos condutores na direção da seta, Figura 16. Imediatamente, a agulha do galvanômetro foi defletida, com sua extremidade Norte ou marcada indo para Leste, indicando que o fio A recebeu eletricidade negativa e que o fio B recebeu eletricidade positiva. E como o polo marcado está acima [da placa], o resultado está em concordância perfeita com o efeito obtido pela placa girante (99).

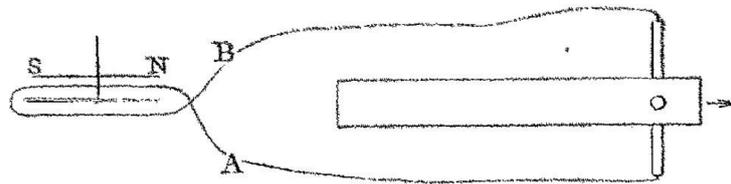


Figura 16.

102. Ao inverter o movimento da placa, a agulha do galvanômetro era defletida na direção oposta, indicando uma corrente oposta.

103. Para tornar evidente o caráter da corrente elétrica existindo nas várias partes da placa de cobre em movimento, diferindo nas suas relações em relação aos polos indutores, apenas um coletor [ou condutor] (86) foi aplicado à parte a ser examinada próxima ao polo, o outro [coletor ou condutor] ficando conectado à extremidade da placa como sendo o local mais neutro. Os resultados são dados pelas Figuras 17 a 20, o polo marcado estando acima da placa. Na Figura 17, B recebeu eletricidade positiva; com a placa movendo-se na mesma direção, ele rece-

beu eletricidade negativa no lado oposto, Figura 18. Ao inverter o movimento da placa, como na Figura 20, B recebeu eletricidade positiva. Invertendo o movimento do primeiro arranjo, aquele da Figura 17 para aquele da Figura 19, B recebeu eletricidade negativa.

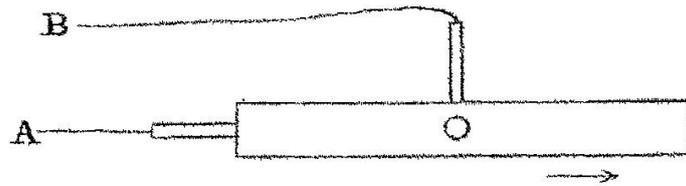


Figura 17.

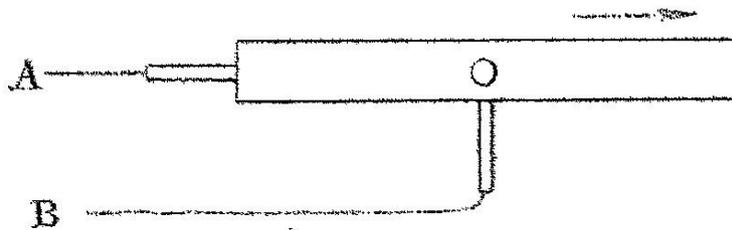


Figura 18.

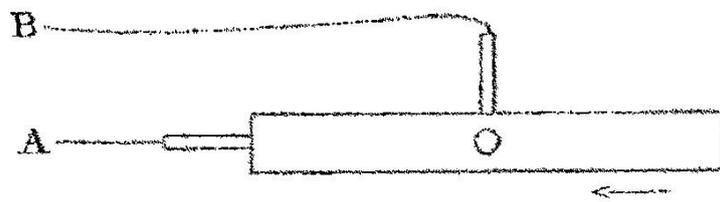


Figura 19.

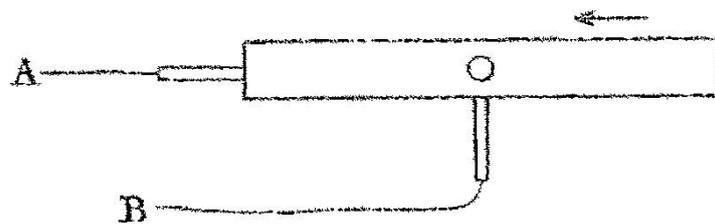


Figura 20.

104. Quando as placas foram previamente removidas lateralmente da posição entre os ímãs, como na Figura 21, de tal forma a ficarem bem fora do eixo polar, ainda foram produzidos os mesmos efeitos, embora não tão fortemente.



Figura 21.

105. Quando os polos magnéticos estavam em contato, e quando a placa de cobre era puxada entre os condutores próxima ao local, era produzido um efeito muito pequeno. Quando os polos eram separados pela largura de uma carta, o efeito aumentava um pouco, mas ainda era muito pequeno.

106. Quando um fio de cobre amalgamado, com a espessura de um oitavo de polegada, era puxado entre os condutores e polos (101), ele produzia um efeito muito considerável, embora não tão forte quanto as placas.

107. Se os condutores fossem mantidos permanentemente contra quaisquer partes particulares das placas de cobre, e levados entre os polos magnéticos junto com elas, eram produzidos efeitos iguais àqueles descritos, de acordo com os resultados obtidos com o disco girante (94).

108. Ao manter os condutores contra as extremidades das placas, e quando, então, as placas atravessavam os polos magnéticos, em uma direção transversa a seus comprimentos, eram produzidos os mesmos efeitos (Figura 22). As partes das placas em direção à extremidade podem ser consideradas ou como meros condutores, ou como porções de metal nas quais é excitada a corrente elétrica, de acordo com suas distâncias e de acordo com a intensidade do ímã. Mas os resultados estavam em perfeita harmonia com aqueles obtidos anteriormente. O efeito era tão intenso como no caso em que os condutores eram mantidos contra os lados da placa (101).

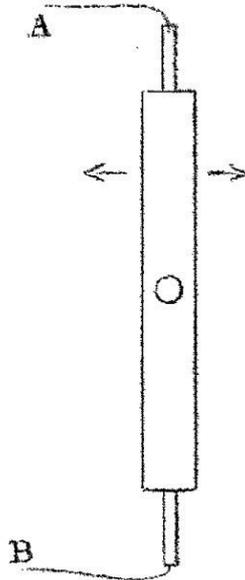


Figura 22.

109. Quando o simples fio do galvanômetro, conectado de maneira a formar um circuito completo, atravessava entre os polos, o galvanômetro era afetado. E ao atravessá-lo para a frente e para trás, de tal maneira a fazer com que os impulsos alternados produzidos correspondessem às vibrações da agulha [do galvanômetro], eles podiam ser aumentados para 20° ou 30° de cada lado do meridiano magnético.

110. Ao conectar as extremidades de uma placa de metal com os fios do galvanômetro e, então, movê-la entre os polos para frente e para trás, (como na Figura 23) em qualquer direção, nenhum efeito de qualquer tipo era produzido no galvanômetro. Entretanto, no momento em que o movimento tornava-se transversal, a agulha era defletida.

111. Esses efeitos também eram obtidos a partir de polos eletromagnéticos, obtidos a partir do uso de hélices ou espirais de cobre, tanto sozinhas ou com núcleos de ferro (34, 54). As direções dos movimentos eram precisamente as mesmas; a ação, porém, era muito maior quando eram utilizados os núcleos de ferro do que sem eles.

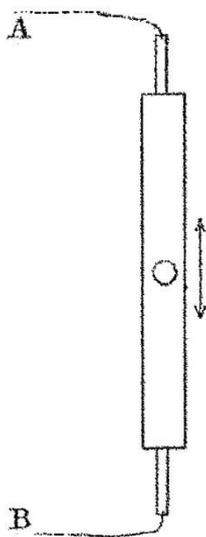


Figura 23.

112. Quando uma espiral plana passava de lado entre os polos, resultava em uma ação curiosa no galvanômetro. Primeiro a agulha ia fortemente para um lado, parava de repente, como se tivesse colidido contra algum obstáculo sólido, e retornava imediatamente. Caso a espiral atravessasse de cima para baixo, ou de baixo para cima, o movimento da agulha ainda era na mesma direção, parava de repente, sendo, então, invertido. Mas ao girar a espiral por meia volta, isto é, de borda para borda, eram, então, invertidas as direções dos movimentos, mas eles ainda eram repentinamente interrompidos e invertidos como antes. Essa ação dupla depende das metades da espiral (dividida por uma linha passando por seu centro perpendicular à direção de seu movimento) agindo em direções opostas. O motivo pelo qual a agulha foi para o mesmo lado, quer a espiral passasse pelos polos em uma direção ou em outra, dependia da circunstância de que ao mudar o movimento, também era modificada a direção dos fios na metade da espiral que se aproximava. Os efeitos curiosos, como parecem ao serem observados, são atribuídos imediatamente à ação dos fios isolados (40, 109).

113. Embora as experiências com a placa, os fios e as placas de metal girantes tenham sido feitas inicialmente com sucesso, utilizando o grande ímã pertencente à *Royal Society*, todos eles foram, ultimamente, repetidos com um par de ímãs de barra com comprimento de dois pés, largura de uma polegada e meia, e

espessura de meia polegada; e, ao tornar o galvanômetro (87) um pouco mais delicado, com os resultados mais notáveis. Eletroímãs de ferro, como aqueles de Moll, Henry, etc. (57), são muito potentes. É essencial, ao fazer experiências com substâncias diferentes, que sejam evitados efeitos termelétricos (produzidos pelo contato dos dedos, etc.), ou que ao menos eles sejam notados e levados em conta. Eles são facilmente distinguíveis por sua permanência e por sua independência dos ímãs.

114. A relação satisfeita entre o polo magnético, o fio ou metal em movimento, e a direção da corrente produzida, isto é, *a lei* que governa a evolução da eletricidade por indução eletromagnética, é muito simples, embora bem difícil de expressar. Se na Figura 24 PN está representado um fio horizontal passando por um polo magnético marcado, de tal forma que a direção de seu movimento coincida com a linha curva indo de baixo para cima ou caso seu movimento paralelo a si próprio ocorra em uma linha tangencial à linha curva, mas na direção geral das setas, ou se ele passa o polo em outras direções, mas de tal forma a cortar as curvas magnéticas²⁴ na mesma direção geral, ou no mesmo lado em que elas seriam cortadas pelo fio caso estivessem se movendo ao longo da linha curva tracejada, então a corrente de eletricidade no fio vai de P para N. Se o fio for levado em direções opostas, a corrente elétrica será de N para P. Ou se o fio estiver na posição vertical, representada por P'N', e se for levado em direções similares, coincidindo com a curva horizontal curva, de tal maneira a cortar as curvas magnéticas no mesmo lado que ela, a corrente será de P' para N'. Se o fio for considerado uma tangente à superfície curva do ímã cilíndrico, e se for levado ao redor dessa superfície em qualquer outra posição, ou se o próprio ímã for girado ao redor de seu eixo, de tal forma a trazer qualquer parte oposta ao fio tangente, ainda, se depois disso o fio for deslocado nas direções indicadas, a corrente de eletricidade será de P para N; se ele for deslocado na direção oposta, de N para P, de tal forma que, no que diz respeito aos movimentos do fio passando pelo polo, eles podem ser reduzidos a dois [movimentos], diretamente opostos entre si: um [movimento] que produz uma corrente de P para N e o outro [movimento que produz uma corrente] de N para P.

²⁴ [N. F.] Entendo por *linhas magnéticas*, as linhas das forças magnéticas, modificadas de qualquer maneira pela justaposição de polos, que seriam representadas por limalha de ferro; ou aquelas linhas em relação às quais seria tangente uma pequena agulha magnética.

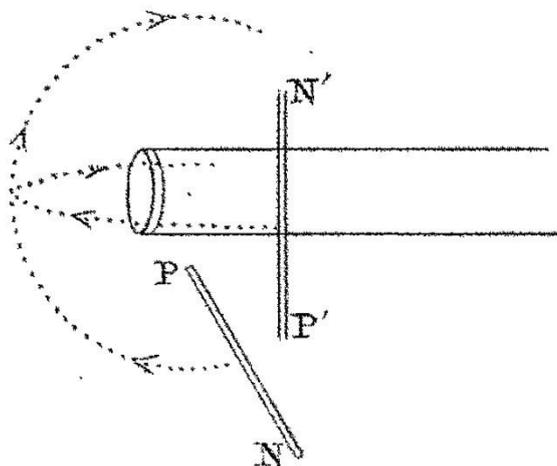


Figura 24.

115. O mesmo acontece com o polo não marcado do ímã, exceto em que, se ele for substituído pelo polo indicado na Figura, então, na medida em que os fios são deslocados na direção das setas, a corrente de eletricidade iria de N para P, e na medida em que eles se deslocassem na direção oposta, [a corrente de eletricidade iria] de P para N.

116. Portanto, a corrente de eletricidade que é excitada no metal, quando se deslocando nas proximidades de um ímã, depende, totalmente, no que diz respeito à sua direção, da relação do metal em relação à resultante da ação magnética, ou em relação às curvas magnéticas, e pode ser expresso de uma maneira popular assim: Seja AB (Figura 25) um ímã cilíndrico, sendo A o polo marcado, e B o polo não marcado; seja PN uma lâmina de faca de prata se apoiando sobre o ímã com seu gume para cima, e com seu lado marcado ou entalhado apontando em direção ao polo A. Então, em qualquer direção ou posição que essa faca seja deslocada com o gume em primeiro lugar, seja ao redor do polo marcado ou do não marcado, a corrente de eletricidade produzida será de P para N, desde que as curvas intersectadas procedendo de A sejam adjacentes em relação à superfície entalhada da faca, e aquelas [curvas intersectadas procedendo] de B [sejam adjacentes em relação] ao lado não entalhado. Ou, se a faca for deslocada com suas costas em primeiro lugar, a corrente será de N para P em toda posição e direção possíveis, desde que as curvas intersectadas sejam adjacentes às mesmas superfícies que antes. Pode-se construir facilmente um pequeno modelo, utilizando um cilindro de maneira como

sendo um ímã, um pedaço plano como sendo a lâmina, e um pedaço de fio conectando uma extremidade do cilindro com a outra, passando através de um buraco na lâmina, como sendo as curvas magnéticas. Isso fornece prontamente o resultado em qualquer direção possível.

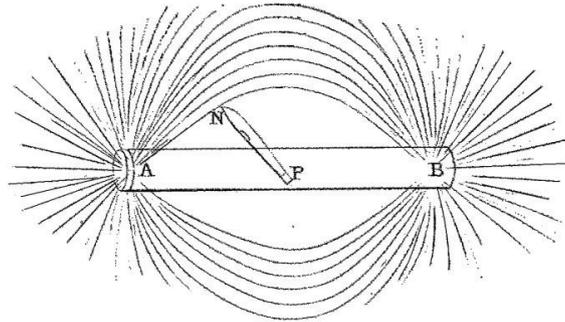


Figura 25.

117. Quando o fio sob indução está passando por um polo eletromagnético como, por exemplo, uma extremidade de uma hélice de cobre atravessada pela corrente elétrica (34), a direção da corrente no fio que se aproxima é a mesma que a direção da corrente nas partes ou nos lados das espirais mais próximas a ele e, no fio que se afasta, [a direção da corrente é] oposta àquela [corrente] nas partes [das espirais] mais próximas a ele.

118. Todos esses resultados mostram que o poder de induzir correntes elétricas é excitado ao longo da circunferência por uma resultante ou por um eixo de potência magnética, da mesma forma que um magnetismo ao longo da circunferência é exibido por uma corrente elétrica e depende dela.

119. As experiências descritas se combinam para provar que, quando um pedaço de metal (e o mesmo pode acontecer com toda matéria condutora) é deslocado, seja diante de um único polo ou entre os polos opostos de um ímã, ou próximo de polos eletromagnéticos, sejam ferruginosos ou não, são produzidas correntes elétricas através do metal em [um sentido] transverso à direção de movimento; e que, portanto, nas experiências de Arago, vão se aproximar no sentido da direção dos raios. Se um único fio for deslocado como o raio de uma roda nas proximidades de um polo magnético, uma corrente de eletricidade é determinada através dele indo de uma extremidade [do fio] para a outra [extremidade do fio]. Se for imaginada uma roda, construída de um grande número desses raios, e esta [roda] for girada nas proximidades do polo, na maneira do disco de cobre (85), cada raio terá

uma corrente produzida nele na medida em que passa pelo polo. Se supormos os raios em contato lateralmente, resulta disso um disco de cobre, no qual as direções das correntes serão, geralmente, as mesmas, sendo modificadas apenas pela coação que ocorre entre as partículas, agora que estão em contato metálico.

120. Agora que é conhecida a existência dessas correntes, os fenômenos de Arago podem ser explicados sem considerá-los como sendo devidos à formação no cobre de um polo de tipo oposto ao polo que é aproximado, cercado por uma polaridade difusa do mesmo tipo (82); também não é essencial que a placa deva adquirir e perder seu estado em um tempo finito, nem, por outro lado, é necessário que seja admitida qualquer força repulsiva como sendo a causa da rotação (82).

121. O efeito é precisamente do mesmo tipo²⁵ que as rotações eletromagnéticas que tive a sorte de descobrir alguns anos atrás²⁵. De acordo com as experiências feitas naquela época, que foram desde então abundantemente confirmadas, se um fio (PN, Figura 26) for conectado com as extremidades positiva e negativa de uma bateria voltaica, de tal forma que a eletricidade positiva passe de P para N, e um polo marcado N for colocado próximo ao fio entre ele e o espectador, o polo se deslocará em uma direção tangencial ao fio, isto é, para a direita, e o fio se deslocará tangencialmente para a esquerda, de acordo com a direção das setas. Isso é exatamente o que ocorre na rotação de uma placa abaixo de um polo magnético; pois seja N (Figura 27) um polo marcado acima de uma placa circular, sendo essa última girada na direção da seta. Correntes de eletricidade positiva partem imediatamente das partes centrais [da placa circular] na direção geral dos raios[, passando] pelo polo em direção às partes da circunferência *a* no outro lado deste polo (99, 119), e, portanto, estão exatamente na mesma relação com ela que a corrente no fio (PN, Figura 26), e, portanto, o polo, da mesma maneira desloca-se para o lado direito.

122. Se a rotação do disco for invertida, as correntes elétricas são invertidas (91), e, portanto, o polo desloca-se para a esquerda. Se for utilizado o polo contrário, os efeitos são os mesmos, isto é, na mesma direção, já que são produzidas correntes de eletricidade opostas a essas descritas e, ao inverter tanto os polos quanto as correntes, os efeitos visíveis permanecem inalterados. Em qualquer posição em que for colocado o eixo magnético, desde que o mesmo polo seja aplicado ao mesmo lado da placa, a corrente elétrica produzida está na mesma direção, consistentemente com a lei já apresentada (114, etc.); e assim podem ser explicadas todas as circunstâncias relacionadas com a direção do movimento.

²⁵ [N. F.] *Quarterly Journal of Science*, Vol. XII, p. 74, 186, 416 e 283.

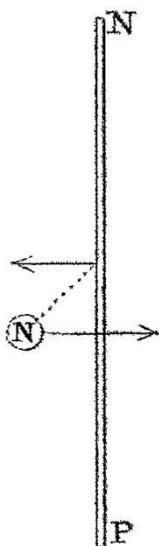


Figura 26.

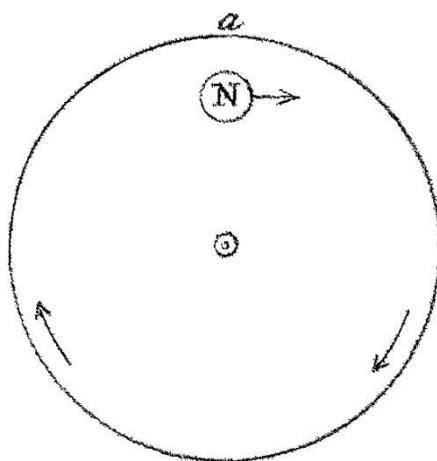


Figura 27.

123. Essas correntes são *descarregadas ou voltam* nas partes da placa sobre cada lado do polo, e mais distante do local dele, onde, é claro, a indução é mais fraca. E quando são aplicados coletores [ou condutores], e uma corrente de eletri-

cidade é levada até o galvanômetro, a deflexão lá é apenas uma repetição, pela mesma corrente ou por parte dela, do efeito de rotação do ímã sobre a própria placa.

124. É sob esse ponto de vista que acabou de ser apresentado que me arisquei a dizer que não é necessário que a placa deva adquirir ou perder seu estado em um tempo finito (120), pois, se fosse possível para a corrente ser totalmente desenvolvida no instante *antes* dela ter chegado a seu estado de menor aproximação ao polo vertical do ímã, em vez de oposto a ele ou um pouco além dele, ainda assim o movimento relativo do polo e da placa seria o mesmo, a força resultante sendo tangencial em vez de direta.

125. Mas é possível (embora não seja necessário para a rotação) que seja preciso tempo para o desenvolvimento da corrente máxima na placa, sendo que, nesse caso, a resultante de todas as forças estaria na frente do ímã quando a placa é girada, ou estaria na parte de trás do ímã quando ele é girado, e muitos dos efeitos com polos puramente eletromagnéticos tenderiam a provar que este é o caso. Então, a força tangencial pode ser decomposta em duas outras [forças], uma paralela ao plano de rotação, e a outra perpendicular a ele. A primeira seria a força excitada ao fazer a placa girar com o ímã, ou o ímã com a placa; a última seria uma força repulsiva, e é provavelmente aquela, cujos efeitos o Sr. Arago descobriu (82).

126. O aspecto extraordinário acompanhando essa ação, que pareceu tão inexplicável, a saber, a cessação de todos os fenômenos quando o ímã e o metal são trazidos ao repouso, recebe, agora, uma explicação completa (82), já que, então, as correntes elétricas que causam o movimento cessam totalmente.

127. Todos os efeitos de solução da continuidade metálica e a consequente diminuição de potência descrita pelos Srs. Babbage e Herschel²⁶ recebem, agora, sua explicação natural, assim como a retomada de potência quando os cortes foram preenchidos por substâncias metálicas, as quais, embora sendo condutores de eletricidade, eram elas próprias deficientes no poder de influenciar ímãs. E podem ser projetadas novas maneiras de cortar a placa, que irão destruir seu poder quase que totalmente. Assim, se uma placa de cobre (81) for cortada aproximadamente a um quinto ou a um sexto de seu diâmetro a partir da borda, de tal forma a separar um anel dela, e esse anel for novamente preso a ela, mas com uma espessura de papel entre eles (Figura 29), e se for feita a experiência de Arago com essa placa composta, ajustada de tal forma que a seção atravessasse continuamente oposta ao polo, é

²⁶ [N. F.] *Philosophical Transactions*, 1825, p. 481.

evidente que as correntes magnéticas sofrerão uma grande interferência e a placa, provavelmente, perderá muito de seu efeito²⁷.

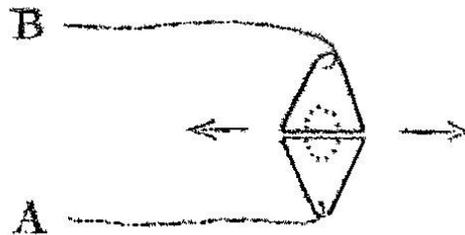


Figura 28.

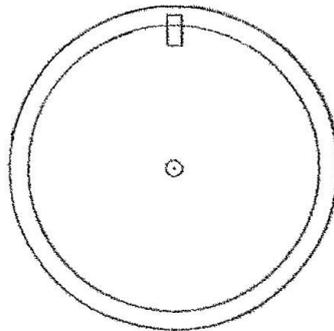


Figura 29.

Um resultado elementar desse tipo foi obtido utilizando dois pedaços espessos de cobre, com o formato da Figura 28. Quando as duas bordas adjacentes foram amalgamadas e juntadas, e o conjunto passou entre os polos do ímã, em uma direção paralela a essas bordas, uma corrente foi incitada através dos fios ligados aos ângulos externos, e o galvanômetro ficou fortemente afetado, mas, quando foi interposto um único filme de papel e a experiência repetida, nenhum efeito perceptível pôde ser produzido.

²⁷ [N. F.] Esta experiência foi feita de fato pelo Sr. Christie, com os resultados descritos aqui, e está publicada na *Philosophical Transactions* de 1827, p. 82.

128. Uma seção desse tipo não podia interferir muito com a indução do magnetismo, supondo que este seja da natureza recebida usualmente pelo ferro.

129. O efeito da rotação ou deflexão da agulha, que o Sr. Arago obteve com ímãs comuns, o Sr. Ampère conseguiu obter com eletroímãs. Isso está perfeitamente em harmonia com os resultados relativos à indução eletrovoltaica e eletromagnética descritos neste artigo. Ao utilizar espirais planas de fio de cobre, através das quais foram enviadas correntes elétricas, em vez de utilizar polos magnéticos usuais (111), algumas vezes aplicando uma única [espiral] a um lado da placa girante, e algumas vezes aplicando duas [espirais] a lados opostos, obtive as correntes induzidas de eletricidade a partir da própria placa, e pude levá-las até, e confirmar suas existências com, o galvanômetro.

130. A causa que foi agora apresentada para a rotação na experiência de Arago, a saber, a produção de correntes elétricas, parece abundantemente suficiente em todos os casos nos quais os metais, ou talvez até mesmo outros condutores, estão envolvidos. Mas no que diz respeito a tais corpos como vidro, resinas e, acima de tudo, gases, parece impossível que sejam gerados neles correntes de eletricidade capazes de produzir esses efeitos. Contudo, Arago obteve que esses efeitos foram produzidos por esses e por todos os corpos experimentados (81). É verdade que os Srs. Babbage e Herschel não os observaram com qualquer substância que não seja metálica, exceto carbono, em um estado altamente condutor (82). O Sr. Harris averiguou sua ocorrência com madeira, mármore, grés e vidro recozido, mas não obteve qualquer efeito com ácido sulfúrico e com solução saturada de sulfato de ferro, embora estas últimas substâncias sejam melhores condutoras de eletricidade do que as primeiras.

131. Sem dúvida, investigações futuras explicarão estas dificuldades e decidirão a questão de saber se a ação retardada ou vagarosa mencionada é sempre simultânea com as correntes elétricas²⁸. A existência da ação em metais, apenas enquanto existem as correntes, isto é, enquanto é dado movimento (82, 88), e a explicação da ação repulsiva observada pelo Sr. Arago (82, 125), são os fortes motivos para referi-la a essa causa, mas ela pode ser combinada com outras [causas] que ocorrem, ocasionalmente, sozinhas.

132. Cobre, ferro, estanho, zinco, chumbo, mercúrio, e todos os metais experimentados, produziram correntes elétricas quando atravessaram os polos

²⁸ [N. F.] Experiências que fiz desde então me convenceram de que essa ação particular é sempre devida às correntes elétricas formadas; e elas fornecem um teste pelo qual ela pode ser distinguida da ação do magnetismo comum, ou de qualquer outra causa, incluindo aquelas que são mecânicas ou irregulares, produzindo efeitos similares.

magnéticos, sendo o mercúrio colocado dentro de um tubo de vidro com esse propósito. O carbono denso, depositado em retortas de gás de carvão, também produziu a corrente, mas carvão comum não [produziu a corrente]. Também não consegui obter qualquer efeito perceptível com salmoura, ácido sulfúrico, soluções salinas, etc., quer giradas em bacias, ou dentro de tubos e passadas entre os polos.

133. Nunca fui capaz de produzir qualquer sensação na língua com os fios conectados com os condutores aplicados às bordas da placa girante (88) ou às tiras de metal (101). Também não fui capaz de aquecer um fio fino de platina, ou de produzir uma faísca, ou de convulsionar os membros de um sapo. Também falhei em produzir quaisquer efeitos químicos através da eletricidade assim desenvolvida (22, 56).

134. Como a corrente elétrica na placa de cobre girante ocupa apenas um espaço pequeno, procedendo pelos polos e sendo descarregada à direita e à esquerda a distâncias comparativamente muito pequenas, e como ela existe em uma espessa massa de metal possuindo quase que o maior poder condutor de qualquer [material] e, conseqüentemente, oferecendo facilidade extraordinária para a sua produção e descarga; e como, apesar disso, podem ser produzidas correntes consideráveis que podem atravessar fios finos com quarenta, cinquenta, sessenta ou até cem pés de comprimento, é evidente que a corrente existindo na própria placa tem de ser uma corrente muito potente, quando a rotação é rápida e o ímã forte. Isso também é provado abundantemente pela obediência e prontidão com que um ímã com dez ou doze libras de peso segue o movimento da placa e torce fortemente a corda pela qual é suspenso.

135. Foram feitas duas tentativas grosseiras com o intuito de construir máquinas eletromagnéticas. Em uma [tentativa], um anel com uma polegada e meia de largura e doze polegadas de diâmetro externo, cortado de uma placa espessa de cobre, foi montado de forma a girar entre os polos do ímã e representar uma placa similar àquelas utilizadas anteriormente (101), mas de comprimento interminável; as bordas interna e externa foram amalgamadas, e os condutores foram aplicados, um a cada borda, no local dos polos magnéticos. A corrente de eletricidade produzida não pareceu ser mais forte pelo galvanômetro, se é que era tão forte quanto aquela [corrente] da placa circular (88).

136. Na outra [tentativa], discos espessos pequenos de cobre ou de outro metal, com um diâmetro de meia polegada, foram girados rapidamente próximos dos polos, mas com o eixo da rotação fora do eixo polar; a eletricidade produzida foi coletada pelos condutores aplicados como antes às bordas (86). Foram produzidas correntes, mas de intensidade muito inferior àquela produzida pela placa circular.

137. Essa última experiência é análoga àquelas feitas pelo Sr. Barlow com uma armação de ferro girando, sujeita à influência da Terra²⁹. Os efeitos então obtidos foram atribuídos pelos Srs. Babbage e Herschel à mesma causa que aquela considerada como sendo influente na experiência de Arago³⁰; mas seria interessante saber até onde a corrente elétrica que poderia ser produzida na experiência explicaria a deflexão da agulha. A simples inversão de um fio de cobre seis ou sete vezes nas proximidades dos polos do ímã, e acompanhando temporalmente as vibrações da agulha do galvanômetro conectada a ele, era suficiente para fazer a agulha vibrar com um arco de 60° ou 70°. Talvez a rotação de uma armação de cobre possa decidir a questão, e poderia até mesmo lançar luz sobre os efeitos mais permanentes, embora, de certa forma, análogos, obtidos pelo Sr. Christie.

138. O comentário que já foi feito no que diz respeito ao ferro (66), e a independência entre os fenômenos magnéticos comuns dessa substância e os fenômenos descritos agora da indução eletromagnética tanto nesse metal quanto em outros metais, foi totalmente confirmado por muitos resultados do tipo detalhados nesta Seção. Quando uma placa de ferro similar à de cobre descrita anteriormente (101) passou entre os polos magnéticos, ela forneceu uma corrente de eletricidade assim como a placa de cobre, mas claramente de menor potência. E nas experiências sobre a indução de correntes elétricas (9), não pôde ser observada diferença no tipo de ação entre o ferro e os outros metais. Portanto, o poder de uma placa de ferro de arrastar um ímã atrás dela, ou de interceptar a ação magnética, deve ser distinguido cuidadosamente do poder similar de tais metais como prata, cobre, etc., visto que, no ferro, a maior parte do efeito é devida, em alto grau, ao que pode ser chamada de *ação magnética comum*. Não pode haver dúvida de que a causa designada pelos Srs. Babbage e Herschel na explicação dos fenômenos de Arago é verdadeira quando o metal utilizado é ferro.

139. Os poderes muito fracos que foram encontrados por esses filósofos como pertencendo ao bismuto e ao antimônio, quando em movimento, de afetar o ímã suspenso, e que foram confirmados pelo Sr. Harris, parecem, inicialmente, fora de proporção em relação aos seus poderes condutores; se isto é assim ou não tem de ser decidido por experiência futura (73)³¹. Esses metais são altamente cristali-

²⁹ [N. F.] *Philosophical Transactions*, 1825, p. 317.

³⁰ [N. F.] *Philosophical Transactions*, 1825, p. 485.

³¹ [N. F.] Desde então fui capaz de explicar essas diferenças e provar, com vários metais, que o efeito está na ordem do poder de condução, pois fui capaz de obter, por indução ele-

nos, e provavelmente conduzem eletricidade com diferentes graus de facilidade em direções diferentes; e não é improvável que, no caso em que uma massa seja composta de vários cristais associados de forma heterogênea, possa ocorrer um efeito que se aproxime daquele de uma divisão real (127); ou que as correntes de eletricidade possam tornar-se mais repentinamente defletidas nos limites de arranjos cristalinos similares e ser, assim, mais prontamente e completamente descarregadas dentro da massa.

Royal Institution, novembro de 1831.

Nota: Em consequência do longo período transcorrido entre a leitura e a impressão deste artigo, foram espalhados relatos das experiências, e através de uma carta minha para o Sr. Hachette, alcançaram a França e a Itália. Esta carta foi traduzida (com alguns erros), e lida perante a Academia de Ciências de Paris, em 26 de dezembro de 1831. Uma cópia dela, que apareceu no *Le Temps* de 28 de dezembro, alcançou rapidamente o Sr. Nobili que, com o Sr. Antinori, realizou imediatamente experiências sobre o tema, e obtiveram muitos dos resultados mencionados na minha carta; outros [resultados] eles não obtiveram ou não entenderam, devido à brevidade do meu relato. Esses resultados, os Srs. Nobili e Antinori incorporaram a um artigo datado de 31 de janeiro de 1832, que foi impresso e publicado no número de novembro de 1831 da *Antologia* (pelo menos de acordo com a cópia do artigo que me foi gentilmente enviada pelo Sr. Nobili). É evidente que o trabalho não poderia ter sido impresso naquela data [isto é, em novembro de 1831] e, apesar do Sr. Nobili, em seu artigo, ter inserido minha carta com o texto de suas experiências, o fato da data anterior fez com que muitos aqui, que apenas ouviram relatos das experiências de Nobili, tenham imaginado que seus resultados foram anteriores aos meus, em vez de serem dependentes deles.

Sob estas circunstâncias, permito-me mencionar que experimentei sobre esse assunto há vários anos e publiquei os resultados (ver *Quarterly Journal of Science* de julho de 1825, p. 338). O que segue também é um resumo de meu caderno de notas, datado de 28 de novembro de 1825. “Experiências sobre indução conectando fio a uma bateria voltaica: Uma bateria de quatro tinas, dez pares de placas, cada [par] colocado lado a lado, os polos conectados por um fio com apro-

tromagnética, correntes de eletricidade que são proporcionais em intensidade ao poder de condução dos corpos com os quais experimentei (211).

ximadamente quatro pés de comprimento, paralelo ao qual havia um outro fio similar separado dele apenas pela espessura de dois papéis, as extremidades do último [fio] foram conectadas a um galvanômetro – não exibiu qualquer ação, etc. etc. Não pude, de forma alguma, tornar evidente qualquer indução a partir do fio de conexão.” O motivo do fracasso, naquela época, é agora evidente (79). M. F. abril de 1832.

Referências Bibliográficas

- [1] FARADAY, M. Experimental Researches in Electricity. In: **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. v. 122, p. 125-162, 1832. Reproduzido em M. Faraday, Experimental Researches in Electricity, em Great Books of the Western World (Encyclopaedia Britannica, Chicago), v. 45 (Lavoisier, Fourier, Faraday), 1952, §§ 1-139, p. 265-285.
- [2] ASSIS, A. K. T. **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. Montreal: Apeiron, 2010. Disponível em: <www.ifi.unicamp.br/~assis/>.
- [3] CHAIB, J. P. M. D. C.; ASSIS, A. K. T. Sobre os efeitos das correntes elétricas – Tradução comentada da primeira obra de Ampère sobre eletrodinâmica. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 5, p. 85-102, 2007.
- [4] CHAIB, J. P. M. D. C.; ASSIS, A. K. T. Sobre os efeitos das correntes elétricas (segunda parte) – Tradução comentada da primeira obra de Ampère sobre eletrodinâmica. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 2, p. 118-145, 2009.
- [5] CHAIB, J. P. M. D. C. **Análise do Significado e da Evolução do Conceito de Força de Ampère, juntamente com a Tradução Comentada de sua Principal Obra sobre Eletrodinâmica**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <webbif.ifi.unicamp.br/teses/> e em <www.ifi.unicamp.br/~assis>.
- [6] NEWTON, I. **Óptica**. Tradução, introdução e notas de A. K. T. Assis. São Paulo: Edusp, 1996.
- [7] YOLTON, J. W.; PRICE, J. V.; STEPHENS, J. **The Dictionary of Eighteenth-Century British Philosophers** Briston: Thoemmes, 1999.