

Anexo 01

Sobre a Ação à Distância - Tradução de um texto de James Clerk Maxwell

Aluno: Alexander Montero Cunha, R.A.: 970155

E-mail: amcunha77@hotmail.com

Orientador: André Koch Torres Assis

E-mail: assis@ifi.unicamp.br

Homepage: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>

Apresentamos abaixo a tradução do texto “*On Action at a Distance*”, de autoria de James Clerk Maxwell, publicado originalmente em 1873, [1]. Essa tradução faz parte das atividades desenvolvidas pelo aluno ao cursar a disciplina de graduação Instrumentação para o Ensino (F809) junto ao Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), ministrada pelo Professor José J. Lunazzi durante o primeiro semestre de 2003.

Após ter sido feita a primeira versão desta tradução, fomos informados pelo aluno Joander Rodrigues (R.A. 970861) que já havia sido feita uma tradução do mesmo texto pelo Professor Alexandre Carlos Tort, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), [2]. Esta tradução encontra-se na homepage:

<http://omnis.ifi.ufrj.br/~barbatti/historia/textos3.html>

Segue abaixo a nossa tradução. Os termos em colchetes, [], são de nossa autoria.

Referências

[1] Maxwell, J. C., “On action at a distance”, in Niven, W. D. (editor), *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell* (Cambridge University Press, Cambridge, 1890), Vol. 2, págs 311-323. Artigo publicado originalmente em 1873.

[2] Maxwell, J. C., Sobre a Ação à Distância, Tradução da referência [1], feita pelo Prof. Alexandre Carlos Tort do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), disponível na homepage: <http://omnis.if.ufrj.br/barbatti/historia/textos3.html> .

Sobre a Ação à Distância

James Clerk Maxwell

Não tenho nenhuma descoberta nova para trazer perante vocês esta noite. Devo convidá-los a reexaminar o passado e voltar sua atenção para uma questão que tem sido sempre levantada e revista, desde que o homem começou a pensar.

A questão é sobre a transmissão da força. Nós vemos que dois corpos distantes entre si exercem uma influência mútua sobre o movimento um do outro. Mas será que esta ação mútua depende da existência de uma terceira coisa, algum agente de comunicação ocupando o espaço entre os corpos, ou os corpos agem um sobre o outro imediatamente, sem a intervenção de nada mais?

O modo com o qual Faraday estava acostumado a observar fenômenos deste tipo difere daquele adotado por muitos outros cientistas modernos, e meu principal objetivo será possibilitar situá-los no ponto de vista de Faraday, e mostrar o valor científico desta concepção de *linhas de força* que, nas mãos dele, se tornou a chave da ciência da eletricidade.

Quando observamos um corpo agindo sobre outro à distância, antes de assumirmos que esta ação é direta e imediata, geralmente questionamos se há alguma conexão material entre ambos os corpos. E, se descobrimos cordas ou varas, ou qualquer tipo de mecanismo, capaz de justificar a já observada ação entre os corpos, preferimos explicar a ação por meios destas conexões intermediárias, em vez de admitir a idéia de ação direta à distância.

Desta maneira, quando tocamos um sino por meio de um fio, as sucessivas partes do fio são primeiramente tensionadas e posteriormente movidas, até que finalmente o sino é tocado à distância por um processo em que todas as partículas intermediárias do fio participam, uma em seguida da outra. Podemos tocar o sino à distância por outros meios também, como forçando o ar para dentro de um tubo longo, tendo esse na sua outra extremidade um cilindro com um pistão que pressiona e bate o sino. Podemos também utilizar um fio; mas em lugar de esticá-lo, podemos conectá-lo em uma das pontas a uma bateria voltaica, e na outra ponta um eletroímã, e desta maneira tocar o sino por eletricidade.

Aqui estão três modos diferentes de tocar o sino. Contudo, todos esses modos concordam no fato que entre o tocador e o sino existe uma linha ininterrupta de comunicação, e que, por todo ponto desta linha, algum processo físico faz com que a ação seja transmitida de uma ponta a outra [do fio]. O processo de transmissão não é instantâneo, mas gradual. Portanto, existe um intervalo de tempo depois do impulso ter sido dado em uma extremidade da linha de comunicação, durante o qual o impulso estará em seu caminho [ao longo do fio], mas não terá alcançado a outra extremidade.

Está claro, portanto, que em muitos casos a ação entre corpos à distância pode ser considerada como uma série de ações entre cada par sucessivo de uma série de corpos que ocupam um espaço intermediário. E é perguntado, pelos defensores de ação mediadora, se, naqueles casos em que não conseguimos perceber o agente intermediário, não é mais filosófico admitir a existência de um meio que não consigamos perceber no presente momento, do que admitir que um corpo possa agir em um lugar onde ele não está.

Para uma pessoa ignorante das propriedades do ar, a transmissão de força por meio deste agente intermediário invisível se mostraria inexplicável como qualquer outro exemplo de ação à distância. Contudo, neste caso, podemos explicar o processo todo, e determinar a razão na qual a ação é transmitida de uma parcela a outra do meio.

Porque então não deveríamos admitir que o modo familiar de transmitir movimento, pressionando e puxando com nossas mãos, é o tipo e exemplo de todas as ações entre corpos, mesmo nos casos em que não conseguimos observar nada entre os corpos que parecem tomar parte na ação?

Aqui, por exemplo está um tipo de atração com que o Professor Guthrie nos tornou familiar. Um disco é posto em vibração, sendo então trazido para perto de um corpo leve suspenso que imediatamente começa a mover-se em direção ao disco, como se atraído em sua direção por um cordão invisível. O que é este cordão? *Sir. W. Thomson* mostrou que em um fluido em movimento a pressão é mínima onde a velocidade é máxima. Quanto mais perto do disco, maior é a velocidade de movimento vibratório do ar. Por isso, como a pressão do ar no corpo suspenso é menor no lado próximo ao disco que no lado oposto, o corpo cede à maior das pressões e move-se em direção ao disco.

O disco, portanto, não age onde não está. Ele põe o ar perto dele em movimento, empurrando-o, e este movimento é transmitido alternadamente para porções cada vez mais distantes do ar, e desta maneira as pressões do lado oposto ao corpo suspenso são distribuídas desigualmente, e este se move em direção ao disco em consequência do excesso de pressão. A força é, portanto uma força da velha escola – um caso de *vis a tergo* – uma força por trás.

Contudo, os defensores da doutrina de ação à distância não são silenciados por tais argumentos. Que prerrogativa, dizem eles, temos para afirmar que um corpo não pode agir onde não está? Não vemos um exemplo de ação à distância no caso do ímã, que atua em outro ímã não somente à distância, mas com a mais completa indiferença para com a natureza do material que ocupa o espaço intermediário? Se a ação depende de alguma coisa ocupando o espaço entre os dois ímãs, não pode ser certamente uma questão de indiferença se esse espaço é preenchido ou não com ar, ou se é madeira, vidro, ou cobre que está presente entre os ímãs.

Além disso, a lei da gravitação de Newton, que toda observação astronômica somente tende a estabelecê-la mais firmemente, não admite somente que os corpos celestes agem sobre um outro através de um intervalo de espaço imenso, mas também que duas porções de matéria, uma enterrada a milhares de milhas nas profundezas do interior da terra, e outra a cem mil milhas nas profundezas do corpo do sol, agem uma sobre a outra com precisamente a mesma força como se a camada abaixo da qual cada uma está enterrada não existisse. Se qualquer meio toma parte na transmissão desta ação, deve certamente fazer alguma diferença se o espaço entre os corpos não contém nada além deste meio, ou se ele está ocupado pela densa matéria da terra ou do sol.

Mas os defensores da ação direta à distância não estão contentes com exemplos deste tipo, em que os fenômenos, já à primeira vista, parecem favorecer sua doutrina. Eles pressionam suas operações dentro do campo inimigo, e mantêm que mesmo quando a ação é aparentemente a pressão de partes vizinhas da matéria, essa vizinhança é somente aparente – um espaço *sempre* intervém entre os corpos que agem um sobre o outro. Eles afirmam, em resumo, que longe da ação à distância ser impossível, ela é o único tipo de

ação que sempre ocorre, e que o velho favorito *vis a tergo* das escolas não existe na natureza, só existe na imaginação dos estudiosos.

O melhor meio de provar que quando um corpo pressiona outro não está tocando nele é medir a distância entre eles. Aqui estão duas lentes de vidro, uma das quais é pressionada contra a outra por meio de um peso. Por meio de luz elétrica podemos obter, sobre uma tela, uma imagem do lugar onde uma lente pressiona a outra. Uma série de anéis coloridos é formada sobre a tela. Esses anéis foram primeiramente observados e explicados por Newton. A coloração particular de qualquer anel depende da distância entre as superfícies das lentes. Newton formou uma tabela de cores correspondendo a diferentes distâncias, de modo que, comparando a cor de qualquer anel com a tabela de Newton, podemos determinar a distância entre as superfícies para este anel. As cores estão arranjadas em anéis porque as superfícies são esféricas, e por esse motivo o intervalo entre as superfícies depende da distância da linha que une o centro das esferas. O ponto central dos anéis indica o lugar onde as lentes estão mais próximas, e cada anel sucessivo corresponde a um aumento de aproximadamente a 4000-ésima parte de 1 milímetro na distância entre as superfícies.

As lentes são agora pressionadas com uma força igual ao peso de uma onça [28,35 gramas]. Entretanto, continua a existir um intervalo mensurável entre elas, mesmo no lugar onde estão mais próximas entre si. Elas não estão em contato óptico. Para provar isto, aplico um peso maior. Uma nova cor aparece no ponto central, e aumentam os diâmetros de todos os anéis. Isto demonstra que as superfícies estão agora mais próximas do que antes, mas ainda não estão em contato óptico, pois, se estivessem, o ponto central seria preto. Portanto, aumento os pesos a fim de pressionar as lentes até atingirem o contato óptico.

Mas o que chamamos de contato óptico não é um contato real. Contato óptico indica somente que a distância entre as superfícies é muito menor do que um comprimento de onda da luz. Para demonstrar que as superfícies não estão em contato real, removo os pesos. Os anéis se contraem, e vários deles desaparecem no centro. Contudo, é possível aproximar tanto os dois pedaços de vidro, que não irão tender a se separar de modo algum, mas vão aderir-se um ao outro tão firmemente que, quando separados, o vidro irá se quebrar, não na

superfície de contato, mas em algum outro lugar. Os vidros devem então estar muito mais próximos do que quando estavam em mero contato óptico.

Desta maneira, demonstramos que os corpos começam a pressionar-se um contra o outro apesar de ainda estarem a uma distância mensurável, e que até quando pressionados com grande força, eles não estarão em contato absoluto, mas podem ainda ser trazidos mais próximos, isto por muitas gradações.

Porque, então, dizem os defensores da ação direta, deveríamos continuar a manter a doutrina, baseada somente na experiência rudimentar de uma era pré-científica, que a matéria não pode agir onde não está, em vez de admitir que todos os fatos a partir dos quais nossos ancestrais concluíram que o contato é essencial para a ação, eram na realidade casos da ação à distância, sendo a distância demasiadamente pequena para ser medida pelos seus meios imperfeitos de observação?

Se vamos algum dia descobrir as leis da natureza, devemos fazer isto obtendo o conhecimento mais preciso dos fatos da natureza, e não descrevendo em linguagem filosófica as opiniões vagas de homens que não possuíam conhecimento dos fatos que mais esclarecem estas leis. E quanto àqueles que introduzem o éter, ou outros meios quaisquer, para explicar essas ações, sem qualquer evidência direta da existência de tais meios, ou qualquer entendimento claro de como os meios realizam seu trabalho, e que preenchem todo o espaço três a quatro vezes com éteres de diferentes tipos, quanto menos estas pessoas falarem sobre seus escrúpulos filosóficos em admitir a ação à distância, melhor será.

Se o progresso da ciência fosse regulado pela primeira lei de Newton do movimento, seria fácil ter opiniões antes da época. Teríamos somente que comparar a ciência de hoje com aquela de cinquenta anos atrás e, projetando num sentido geométrico a linha do progresso, obteríamos a ciência de daqui a cinquenta anos.

O progresso da ciência no tempo de Newton consistia em livrar-se da máquina celestial com que gerações de astrônomos tinham preenchido os céus, e desta maneira “jogar fora as teias de aranha do céu”.

Embora os planetas já tivessem se livrado de suas esferas de cristal, eles ainda nadavam nos vórtices de Descartes. Ímãs eram cercados por eflúvios, e corpos elétricos por

atmosferas, cujas propriedades não se pareciam em nada com as propriedades dos eflúvios e das atmosferas normais.

Quando Newton demonstrou que a força que age sobre cada um dos corpos celestiais dependia da sua posição relativa com respeito a outros corpos, a nova teoria encontrou-se com a violenta oposição dos avançados filósofos da época, que descreviam a doutrina da gravitação como um retorno ao método ultrapassado de explicar tudo por causas ocultas, por virtudes atrativas, e por coisas similares.

O próprio Newton, com essa moderação sábia que é característica em todas as suas especulações, revelou que não tinha pretensão de explicar o mecanismo pela qual os corpos celestes agiam um sobre o outro. Foi um grande passo para a ciência determinar o modo em que as ações mútuas desses corpos dependiam de suas posições relativas, e este passo Newton admitiu ter feito. Explicar o processo pelo qual essa ação ocorre era um passo muito distinto, e esse passo Newton, em seu *Principia*, não tentou dar.

Mas Newton estava tão longe de admitir que corpos realmente agem um sobre o outro à distância, independentemente de qualquer coisa entre eles que, em uma carta para Bentley, que foi citada aqui por Faraday, disse:

“É inconcebível que a matéria bruta inanimada possa, sem a mediação de alguma outra coisa que não seja material, atuar sobre outra matéria e influenciá-la sem contato mútuo, como tem de fazer se a gravitação, no senso de Epicuro, for essencial e inerente a ela. (...). Que a gravidade deva ser inata, inerente, e essencial à matéria, de tal forma que um corpo consiga atuar sobre outro à distância, por meio de um vácuo, sem a mediação de mais nada, pela e através da qual suas ações e forças possam ser transmitidas de um corpo para outro, é para mim um absurdo tão grande, que acredito que nenhum homem que tenha em assuntos filosóficos uma faculdade competente de pensamento possa alguma vez aceitar esta idéia.”

Conseqüentemente, encontramos em sua *Optical Queries* [questões ao final do seu livro *Óptica*], e em suas cartas para Boyle, nas quais Newton tinha desde bem cedo tentado explicar a gravitação por meio da pressão de um meio, e que a razão dele não publicar estas investigações “procedeu apenas disto, que ele descobriu que não era capaz, a partir da

experiência e da observação, de dar uma explicação satisfatória para este meio, e da maneira dele operar ao produzir os principais fenômenos da natureza *.”

A doutrina de ação direta à distância não pode declarar como seu autor o descobridor da gravitação universal. Ela foi defendida pela primeira vez por Roger Cotes, em seu prefácio para o *Principia*, que ele editou durante a vida de Newton. De acordo com Cotes, é por meio da experiência que aprendemos que todos os corpos gravitam. Não aprendemos por nenhum outro meio que eles têm extensão, que são móveis ou sólidos. Portanto, a gravitação tem o mesmo direito de ser considerada uma propriedade essencial da matéria como a extensão, a mobilidade, ou a impenetrabilidade.

E quando a filosofia Newtoniana ganhou terreno na Europa, foi a opinião de Cotes em vez da de Newton que acabou prevalecendo, até que finalmente Bosovich propôs sua teoria de que a matéria é um conjunto de pontos matemáticos, cada um dotado de uma força de atração ou repulsão a outros pontos de acordo com leis imutáveis. Em seu mundo a matéria não tem extensão, e o contato é impossível. Contudo, ele não se esqueceu de dotar seus pontos matemáticos de inércia. Nesse aspecto alguns dos representantes modernos de sua escola, pensam que ele “não tinha verdadeiramente ido tão longe tal como a rigorosa visão moderna da ‘matéria’ como sendo somente uma expressão dos modos ou manifestações de ‘força’**.”

Mas, se deixamos de lado por hora o desenvolvimento das idéias da ciência, e limitamos nossa atenção para a extensão dos seus limites, veremos que foi essencial que o método de Newton fosse estendido para todos os ramos da ciência para os quais fosse aplicável – que deveríamos investigar as forças com que corpos agem uns sobre os outros em primeiro lugar, antes de tentar explicar *como* esta força é transmitida. Nenhum homem estaria mais bem preparado para dedicar-se exclusivamente à primeira parte do problema do que aquele que considerava a segunda parte inteiramente desnecessária.

Conseqüentemente, Cavendish, Coulomb, e Poisson, os fundadores das ciências exatas da eletricidade e do magnetismo, não prestaram atenção naquelas velhas noções de “eflúvios magnéticos” e de “atmosféricas elétricas”, que foram propostas durante o século

* *Account of Newton's Discoveries*, de Maclaurin.

** Revisão da Sra. Somerville, *Saturday Review*, 13/02/1869.

passado, mas concentraram totalmente suas atenções na determinação da lei de força, segundo a qual corpos eletrificados e magnetizados atraem ou repelem uns aos outros. Desta maneira, foram descobertas as leis corretas destas ações, e isto foi feito por homens que nunca duvidaram que a ação acontecia à distância, sem a intervenção de qualquer meio, e que considerariam a descoberta de tal meio como um complicador em vez de explicador do fenômeno indubitável da atração.

Chegamos agora na grande descoberta de Oersted sobre a conexão entre a eletricidade e o magnetismo. Oersted descobriu que uma corrente elétrica atua sobre um pólo magnético, mas que ela não o atrai nem o repele, mas faz com que ele se mova em torno da corrente. Expressou isto dizendo que “o conflito elétrico atua de maneira circular”.

A dedução mais óbvia deste novo fato era que a ação da corrente sobre o ímã não é uma força de atração e repulsão, mas sim uma força rotatória, e, conseqüentemente, muitas mentes começaram a especular sobre vórtices e correntes de éter girando em torno da corrente elétrica.

Mas Ampère, com uma combinação de habilidade matemática e de engenhosidade experimental, provou primeiramente que duas correntes elétricas agem uma sobre a outra, e posteriormente decompôs essa ação como a resultante de um sistema de forças de atração e repulsão entre as partes elementares destas correntes.

Contudo, a fórmula de Ampère é de grande complexidade, em comparação com a lei da gravitação de Newton, e muitas tentativas foram feitas para decompô-la em algo de maior simplicidade aparente.

Não tenho o desejo de conduzi-los a uma discussão de qualquer uma dessas tentativas de melhorar uma fórmula matemática. Vamos voltar para o método independente de investigação empregado por Faraday nas pesquisas em eletricidade e magnetismo que tornaram essa Instituição um dos santuários mais veneráveis da ciência.

Ninguém trabalhou mais conscientemente e sistematicamente para melhorar todas suas habilidades de pensamento do que Faraday desde o início de sua carreira científica. Mas, enquanto o curso geral do método científico consistia então na aplicação das idéias de matemática e astronomia para cada nova investigação em andamento, Faraday parece não

ter tido a oportunidade de adquirir um conhecimento técnico da matemática, e seu conhecimento de astronomia era tirado principalmente de livros.

Por isso, embora tivesse um profundo respeito pela grande descoberta de Newton, considerava a atração da gravidade como uma espécie de mistério sagrado, que, como não era um astrônomo, não tinha o direito de negar ou de duvidar, sendo sua obrigação acreditar nela na mesma forma com que ela havia chegado até ele. Não era provável que uma fé tão cega pudesse conduzi-lo a explicar novos fenômenos por meio de atrações diretas.

Além disto, os tratados de Poisson e de Ampère são de uma forma tão técnica que, para derivar qualquer ajuda deles, o estudante deve ter sido treinado de forma completa em matemática, e é muito duvidoso se tal treinamento pode ser começado com proveito na idade madura.

Desta maneira, Faraday, com seu intelecto sagaz, sua devoção para com a ciência e suas oportunidades experimentais, estava impedido de seguir a linha de pensamento que havia conduzido às realizações dos filósofos franceses, e estava obrigado a explicar a si mesmo os fenômenos por meio de um simbolismo que pudesse entender, em vez de adotar o que tinha sido até então a única língua dos sábios.

Este novo simbolismo consistia em linhas de força estendendo-se em todas as direções provenientes dos corpos elétricos e magnéticos, as quais Faraday via em sua imaginação tão distintamente quanto os corpos sólidos de que elas provinham.

Não era nova a idéia de linhas de força e sua exibição por meio de limalhas de ferro. Essas linhas haviam sido observadas repetidamente, e investigadas matematicamente como uma curiosidade interessante da ciência. Mas vamos ouvir o próprio Faraday, quando ele introduz a seus leitores o método que em suas mãos tornou-se tão poderoso*.

“Seria um abandono voluntário e desnecessário da mais valiosa ajuda se um experimentalista, que escolhe considerar a potência magnética como representada por linhas de força magnética, negasse a si mesmo o uso das limalhas de ferro. Com seu emprego, ele pode tornar imediatamente visíveis muitas condições da potência, pode, mesmo em casos complicados, traçar a direção variável das linhas de força e determinar a polaridade relativa, pode observar em qual direção a potência está crescendo ou

* Exp. Res. 3284.

diminuindo, e pode-se determinar os pontos neutros em sistemas complexos, ou os lugares onde não há polaridades nem potências, mesmo quando eles ocorrem no centro de ímãs poderosos. Pelo seu uso, resultados prováveis podem ser observados imediatamente, e pode-se obter muitas sugestões valiosas para conduzir futuros experimentos.”

Experimento sobre Linhas de Força

Neste experimento cada limalha torna-se um pequeno ímã. Os pólos de nomes opostos pertencentes a limalhas diferentes se atraem um ao outro e mantêm-se unidos, e mais limalhas unem-se aos pólos expostos, isto é, às extremidades da fileira de limalhas. Desta maneira, as limalhas, em vez de formar um sistema embaralhado de pontos sobre o papel, atraem-se, limalha por limalha, até que são formados longos filamentos de limalhas, que indicam através de suas direções as linhas de força em cada uma das partes do campo.

Os matemáticos não viam nada neste experimento, a não ser um método de exhibir visivelmente a direção em diferentes posições da resultante de duas forças, cada uma direcionada para cada pólo do ímã; um resultado um tanto complicado da simples lei de força.

Mas Faraday, por uma série de etapas tão notáveis por sua precisão geométrica quanto por sua engenhosidade especulativa, deu à sua concepção sobre estas linhas de força uma clareza e precisão muito além daquela com que os matemáticos poderiam então obter de suas próprias fórmulas.

Em primeiro lugar, as linhas de força de Faraday não devem ser consideradas isoladamente, mas sim como formando um sistema, traçado no espaço numa maneira definida de modo que o número de linhas que atravessa uma área, digamos que de uma polegada quadrada, indica a intensidade da força que age nesta área. Assim torna-se definido o número das linhas de força. A intensidade de um pólo magnético é medida pelo número de linhas que saem dele; o estado eletrotônico de um circuito é medido pelo número de linhas que passa através dele.

Em segundo lugar, cada linha individual possui uma existência contínua no espaço e no tempo. Quando um pedaço de aço torna-se um ímã, ou quando uma corrente elétrica

começa a fluir, as linhas de força não começam a existir cada uma em seu próprio lugar, mas com o aumento da intensidade, novas linhas são desenvolvidas no interior do ímã ou da corrente, e crescem gradualmente para fora, de modo que o sistema inteiro expande-se a partir do interior, como os anéis de Newton em nossa experiência anterior. Deste modo, cada linha de força preserva sua identidade durante todo o curso de sua existência, apesar de seu formato e tamanho poderem ser alterados para qualquer valor.

Não tenho tempo para descrever os métodos pelos quais cada questão relacionada às forças que agem em ímãs ou em correntes, ou com a indução de correntes nos circuitos condutores, podem ser esclarecidas considerando-se as linhas de força de Faraday. Neste lugar elas nunca poderão ser esquecidas. Por meio deste novo simbolismo, Faraday definiu com precisão matemática toda a teoria do eletromagnetismo, em linguagem livre de detalhes técnicos matemáticos, e aplicáveis tanto para os casos mais complicados quanto para os mais simples. Mas Faraday não parou aí. Ele foi da concepção de linhas geométricas de força para a concepção de linhas físicas de força. Ele observou que o movimento que as forças magnéticas ou elétricas tendem a produzir é invariavelmente tal como para diminuir as linhas de força e permitir que elas se afastem lateralmente umas das outras. Ele percebeu desta maneira no meio um estado de estresse, que consistia de uma tensão, como em uma corda, na direção das linhas de força, combinada com uma pressão em todas as direções em um ângulo reto às linhas de força.

Esta é uma concepção bem nova de ação à distância, reduzindo-a para um fenômeno de mesmo tipo tal que a ação à distância que é exercida por meio da tensão de cordas e da pressão de barras. Quando os músculos de nossos corpos são excitados por esse estímulo que somos capazes, de alguma forma desconhecida, de lhes fornecer, as fibras tendem a se encurtar e ao mesmo tempo a expandir-se lateralmente. É produzido um estado de estresse no músculo, movendo o membro. Esta explicação da ação muscular não é de forma alguma completa. Ela não fornece nenhuma explicação da causa do excitação do estado de estresse, nem mesmo investiga as forças de coesão que permitem os músculos suportar esse estresse. Apesar disto, o simples fato de que ela substitui um tipo de ação que se estende continuamente ao longo de uma substância material por um tipo de ação do qual só

conhecemos uma causa e um efeito a uma distância um do outro, nos induz a aceitá-la como um acréscimo real para o nosso conhecimento da mecânica animal.

Por razões similares, podemos considerar a concepção de Faraday do estado de estresse no campo eletromagnético como um método de explicar a ação à distância por meio de uma transmissão contínua de força, apesar de ainda não conhecermos como o estado de estresse é produzido.

Mas uma das descobertas mais férteis de Faraday, aquela da rotação magnética da luz polarizada, nos permite progredir uma etapa a mais. O fenômeno, quando analisado em seus elementos mais simples, pode ser descrito assim: - De dois raios de luz circularmente polarizados, exatamente similares em configuração, mas girando em sentidos opostos, é propagado com maior velocidade o raio que gira no mesmo sentido que a eletricidade da corrente magnetizante.

Segue disto, como mostrou *Sir W. Thomson* por raciocínio estritamente dinâmico, que o meio, quando sob a ação da força magnética, tem de estar em um estado de rotação – quer dizer, que pequenas porções do meio, que podemos chamar de vórtices moleculares, estão rodando, cada um ao redor de seu próprio eixo, sendo a direção deste eixo aquela da força magnética.

Portanto, temos aqui uma explicação da tendência das linhas de força magnética de dilatar-se lateralmente e de se encurtarem. Isto surge da força centrífuga dos vórtices moleculares.

O modo pelo qual age a força eletromotriz ao começar e ao parar os vórtices é mais complicado, apesar de ser consistente com os princípios dinâmicos.

Vimos assim que existem vários tipos diferentes de trabalho a serem feitos pelo meio eletromagnético se ele existe. Vimos também que o magnetismo tem uma relação íntima com a luz, e sabemos que existe uma teoria da luz que supõe que ela consiste das vibrações de um meio. Como é que este meio luminífero relaciona-se com nosso meio eletromagnético?

Felizmente sucede que medidas eletromagnéticas têm sido feitas das quais podemos calcular por princípios dinâmicos a velocidade de propagação de pequenas perturbações magnéticas no suposto meio eletromagnético.

Essa velocidade é muito grande, de 288 a 314 milhões de metros por segundo, de acordo com diferentes experimentos. Ora, a velocidade da luz, de acordo com os experimentos de Foucault, é de 298 milhões de metros por segundo. De fato, as diferentes determinações de uma ou de outra velocidade diferem uma da outra mais do que a velocidade estimada da luz difere da velocidade estimada de propagação de pequenas perturbações eletromagnéticas. Mas se os meios luminífero e eletromagnético ocupam o mesmo lugar, e transmitem perturbações com a mesma velocidade, qual razão temos para distinguir um do outro? Considerando-os como sendo o mesmo meio, evitamos pelo menos a acusação de encher duas vezes o espaço com diferentes tipos de éteres.

Além disto, o único tipo de perturbação eletromagnética que pode ser propagado através de um meio não condutor é a perturbação transversal à direção de propagação, concordando neste aspecto com o que sabemos da perturbação que chamamos de luz. Portanto, por tudo que sabemos, a luz também pode ser uma perturbação eletromagnética num meio não condutor. Se admitimos isto, a teoria eletromagnética da luz irá concordar em todo aspecto com a teoria ondulatória, e os trabalhos de Thomas Young e Fresnel ficarão estabelecidos sobre uma base mais firme do que nunca, quando combinados com aquele de Cavendish e Coulomb pela pedra fundamental das ciências combinadas da luz e eletricidade – a grande descoberta de Faraday da rotação eletromagnética da luz.

As vastas regiões interplanetárias e interestelares não serão mais consideradas como lugares vazios no universo, os quais o Criador não considerou apropriado preencher com os símbolos da ordem múltipla de Seu reino. Encontraremos estes lugares já cheios deste meio maravilhoso; tão cheio, que nenhum poder humano consegue removê-lo da menor porção possível de espaço, nem produzir a menor falha em sua continuidade infinita. Ele estende-se continuamente de estrela para estrela; e quando uma molécula de hidrogênio vibra na constelação do cão, o meio recebe os impulsos destas vibrações; e depois de carregá-los em seu âmago imenso por três anos, entrega-os no tempo devido, em ordem normal, e completos dentro do espectroscópio do Sr. Huggins, no Monte Tulse.

Mas o meio tem outras funções e atividades além de transportar a luz de homem para homem, de mundo para mundo, e de dar evidência da unidade absoluta do sistema métrico do universo. Suas partes minúsculas podem ter movimentos rotatórios assim como

vibratórios, e os eixos de rotação formam aquelas linhas de força magnéticas que se estendem continuamente para o interior de regiões nunca vistas, e que, pela sua ação sobre nossos ímãs, estão nos contando em linguagem ainda não interpretada, o que está acontecendo no submundo secreto de minuto a minuto e de século a século.

E estas linhas não devem ser consideradas como meras abstrações matemáticas. Elas são as direções nas quais o meio está exercendo uma tensão como aquela de uma corda, ou melhor, como a de nossos próprios músculos. A tensão do meio na direção da força magnética da terra é neste país do peso de um grão por oito pés quadrados. Em alguns experimentos do Dr. Joule, o meio exerceu uma tensão de 200 libras de peso por polegada quadrada.

Mas o meio, em virtude da mesma elasticidade pela qual ele é capaz de transmitir as ondulações da luz, é também capaz de agir como uma mola. Quando enrolado apropriadamente, ele exerce uma tensão, diferente da tensão magnética, pela qual atrai corpos eletrificados com cargas opostas, produz efeitos ao longo dos fios telegráficos, e quando de intensidade suficiente, conduz à ruptura e explosão chamada de relâmpago.

Estas são algumas das propriedades já descobertas daquilo que já foi chamado muitas vezes de vácuo, ou de nada. Elas nos permitem decompor vários tipos de ação à distância em ações entre partes vizinhas de uma substância contínua. Tenho de deixar para os metafísicos saber se esta resolução tem a característica de uma explicação ou de uma complicação.