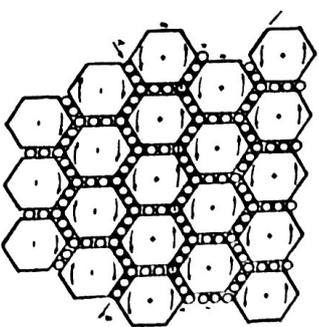


## AS ENGRENAGENS FROUXAS DE JAMES MAXWELL



“Mostre-me como isso funciona” (“*Show me how it doos*”, a ser pronunciado com *me how it escocês*). Esse pequeno James é de uma curiosidade! Seu biógrafo<sup>1</sup> nos conta que ele adorava explorar o riacho que atravessava a propriedade familiar, para “estudar as esculturas abstratas escavadas em seu leito rochoso, ou suas espirais de espuma e seus turbilhões quando há enxurrada...”. Uma carta da sra. Maxwell confirma esse gosto pelas correntes fluidas (“Ele também se interessa pelo curso oculto do rio ... quando a água vindo do lago passa através do muro por um pequeno canal e depois junta-se ao rio Orr, indo então até o mar”) e por aquelas, ainda mais misteriosas, dos fios da rede de campainhas que levam à cozinha: ele pegava seu pai pela mão e o arrastava de parede em parede para lhe mostrar os buracos por onde passavam os fios. Esse pai, encantado com a precocidade e a inventividade de seu garoto, não era cientista ele próprio, mas seu ancestral John Clerk talvez lhe tivesse transmitido o vírus da curiosidade, ele que estudara anatomia em Leyde, com Hermann Boerhaave (1668-1738), dono do mais belo gabinete de curiosidades da Holanda. A Escócia, de James Watt (VER “NA FAMÍLIA DARWIN, O AVÔ”, p. 77) a James Hutton, fundador da geologia, e D’Arcy Thompson (VER “D’ARCY THOMPSON: UM ESPAÇO DAS ESPÉCIES”, p. 165), nunca foi avara em indivíduos engenhosos. Em todo caso, o pequeno James, miudinho correndo pelas salas góticas do solar familiar, é um dos mais belos exemplos dados pela história das ciências da per-

Esse esquema não foi extraído de um tratado de apicultura, mas do artigo fundador de James Maxwell sobre o eletromagnetismo. Entre os grandes turbilhões hexagonais, que simbolizam o campo magnético, rolam pequenas esferas que modelizam a corrente elétrica. Uma corrente gera então um campo magnético (as esferas arrastam os hexágonos), e uma variação de campo magnético engendra uma corrente (os hexágonos criam uma “corrente” de esferas).

manência das obsessões infantis: do rio para a rede, iria explicar, com fios e turbilhões fluidos, a interação das correntes (elétricas) e campos (magnéticos), resumindo em três pequenas equações o que até então era objeto de vários e volumosos tratados. A física, que corre sempre atrás de uma unificação comparável, fez do pequeno James um igual do pequeno Isaac, consumado fazendo-o também (VER "ISAAC NEWTON FAZ-TUDO", p. 40), e do simpático Albert (Einstein), especialista, ao contrário, nos experimentos de pensamento. Uma outra paixão maxwelliana teria encantado Galvani (VER "LUIGI GALVANI OU A FESTA DA RÁ", p. 71): as rãs – que ele agarrava, punha na boca e soltava de repente para grande susto dos pais!

Sua grande obsessão era a luz: James chamou um dia papai e mamãe num aposento escuro e, todo excitado com seu achado, enviou a luz do Sol na direção deles por meio de um espelho. Surpresa deslumbrada do sr. e sra. Maxwell... reunidos pela última vez talvez sob os olhos do menino: sua mãe morreria em 1839, quando ele tinha apenas oito anos. "Hoje fiz um tetraedro, um dodecaedro e dois outros edros que não sei o nome", escreve a seu pai o jovem interno, que reinventara para seu professor de matemática um método para traçar elipses. Um barbante amarrado num prego permitia desenhar um círculo. Amarrado em dois pregos, e esticado com um lápis, desenhava uma elipse; melhor, se o barbante fosse enrolado um certo número de vezes em torno dos pregos, dava uma quantidade de ovais diferentes. Era tão simples quanto o ovo de Cristóvão Colombo, que aliás pode ser desenhado dessa maneira. Em Cambridge, James faturou todos os prêmios de matemática. Nomeado professor no Kings College de Londres aos 29 anos, preferiu no entanto atolar-se nos seus campos escoceses. O pesquisador-gentleman-fazendeiro só saíra dali para dirigir o famoso laboratório Cavendish de Cambridge, futuro berço da física atômica. Nesse interim, teria mostrado que os anéis de Saturno são formados de pedras discinias (se fossem sólidos, explodiriam), inventou a fotografia em cores por meio de um "plão dinâmico", que mostra que todas as cores podem ser obtidas a partir de azul, vermelho e verde (a primeira fotografia em cores representa um tarã escocês), e apresentou uma teoria cinética dos gases com a ferramenta estatística que a acompanhava. Depois de Maxwell, começou-se a conjecturar que a pressão de um gás era resultado dos choques de uma infinidade (da ordem de cem trilhões... por litro de gás: é um infinito modesto) de moléculas microscópicas, e que a velocidade dessas moléculas forneceria uma medida da temperatura do gás.

James Maxwell preferiu no entanto voilar a seus carneiros (escoceses) e às raízes de sua infância. A grande questão, nos anos 1840, era digerir as estranhas descobertas de Oersted e de Faraday. O primeiro mostrara que uma corrente elétrica produz um campo magnético (VER "HANS CHRISTIAN OERSTED OU

O EXPERIMENTO IMPENSÁVEL", p. 110), o segundo, que um campo magnético engendra uma corrente elétrica. Mas a simetria observada entre eletricidade e magnetismo não é total: enquanto uma corrente contínua produz sempre um campo (uma bússola é sempre desviada à proximidade de um fio condutor), um campo magnético só induz uma corrente no circuito se variar (um ímã imóvel não gera nenhuma corrente, como sabem muito bem os motociclistas cujos faróis se apagam quando o ímã do dinamô não é posto em movimento pela roda). Percebia-se muito bem, além disso, que a luz devia, de certa forma, estar ligada ao magnetismo e à eletricidade, de modo que o enigma era total. O excêntrico André-Marie Ampère, na França, decerto estabeleceu os marcos de uma interpretação matemática da eletricidade e do magnetismo, e o próprio Faraday, num artigo de 1852 ("On the Physical Character of the Lines of Magnetic Force"), revelou a existência do campo magnético ao descrever as "linhas de força" ao longo das quais orienta-se a limalha de ferro na vizinhança de um ímã. Em dois artigos que constituem sua seqüência lógica ("On Faraday's Lines of Force", 1856, e "On Physical Lines of force", 1862), Maxwell criara a colagem conceitual mais surrealista possível – uma rede de engrenagens frouxas simulando os turbilhões de um "fluido imaginário" –, que precisamente dá conta de todos os fenômenos elétricos e magnéticos observados. Ampère não teria tido, como Maxwell, a ingenuidade de voilar aos turbilhões cartesianos, e escreveu: "O ilustre cientista [Oersted], que foi o primeiro a ver os pólos de um ímã deslocados pela ação de um fio condutor... concluiu disso que a matéria elétrica girava em torno dele e empurrava esses pólos no sentido de seu movimento, precisamente como Descartes fazia girar a matéria de seus turbilhões... e se estabeleci que o movimento da eletricidade ocorre também em torno das partículas dos ímãs não foi certamente para fazê-las agir por impulso à maneira de um turbilhão."

Com dois séculos de intervalo, Maxwell repetiria o lance de Descartes. Chega-se a se perguntar se o grande René, que nem sempre pensou certo mas que desbravou como ninguém o caminho da investigação racional sobre a natureza, não preparou expressamente o terreno para o pequeno James. Não suportando as idéias de vácuo e de ação a distância, Descartes inventou o "éter", matéria sutil que preenche o espaço e permite à luz propagar-se: para chegar de uma estrela ao nosso olho, com uma velocidade infinita, a luz exerce uma pressão sobre "turbilhões" de éter conectados... A explicação era falsa, mas teve uma vida espantosamente resistente, pois a física seguinte, a de Newton, fez intervir ações a distância ineiramente inexplicáveis, quando não de essência mágica. Em meados do século XIX, entretanto, não restava grande coisa da física de Descartes, a não ser as idéias de éter e de turbilhões. Não suportando não compreender os elos ocultos entre eletricidade e magnetismo, Maxwell en-

cheu por sua vez o espaço de “turbilhões moleculares” entre os quais intercambiau pequenas esferas, com vistas a transmitir o movimento de rotação de um turbilhão para outro. Pois eles giravam, esses turbilhões, e tanto mais rápido quanto mais forte era o campo magnético; e graças às pequenas esferas, que modelizavam a corrente elétrica e tinham liberdade de se deslocar entre os turbilhões, giravam todos no mesmo sentido, como duas engrenagens arrastadas por uma terceira.

Eis a incrível colagem que Maxwell usou para interpretar as linhas de força de Faraday: “tubos magnéticos” em rotação alinhados sobre linhas de força e arrastando, por contato, as pequenas esferas da corrente. E o mais curioso é que isso funcionava! Uma corrente, isto é, uma circulação de pequenas bolas análoga a um fluido, põe em rotação os turbilhões magnéticos (cria um campo magnético), e o amortecimento do movimento dos turbilhões é traduzido por uma diminuição do campo magnético quando nos afastamos do fio. Foi claramente o que observou Oersted. Já Faraday fez variar o campo magnético. Isso quer dizer que certos turbilhões já estavam girando enquanto outros ainda estavam parados, e isso se traduzia por um deslocamento de conjunto das pequenas esferas, isto é, pelo surgimento de uma corrente. Maxwell ousou publicar um desenho com grandes turbilhões, pequenas esferas e flechas por toda a parte, mas insistiu no aspecto “terível” desse modelo provisório, que tinha como único objetivo levar a uma rigorosa formulação matemática das leis do eletromagnetismo. As equações de Maxwell, reputadas pelos físicos por sua beleza formal (vemos ali a simetria entre os campos elétrico e magnético) e pela técnica matemática que requerem, são o exato oposto do modelo dos turbilhões, que, por sua vez, é compreensível sem nenhuma bagagem matemática.

Não apenas os turbilhões de Maxwell explicavam todos os fenômenos elétricos e magnéticos conhecidos, como permitiam fazer previsões, e a explicação da rotação do plano da luz polarizada num campo magnético foi um dos primeiros sucessos do modelo. Acima de tudo, o cálculo da velocidade de uma perturbação nesse meio bizarro forneceu muito precisamente... a velocidade da luz, de modo que Maxwell foi levado a concluir, para pasmo geral, de um lado que a electricidade e o magnetismo são duas facetas de uma mesma força – o eletromagnetismo – e de outro que a luz (bem como as ondas de rádio ou os raios X, ainda não descobertos) é, ela própria, uma perturbação de natureza eletromagnética. Faraday, um dos raros a compreender de cara o alcance do resultado, ficou deslumbrado e satisfeito. Mais estranho ainda, enquanto um jovem físico alemão, Heinrich Herz, acusava recebimento das primeiras ondas de rádio da história em seu laboratório, o jovem Albert Einstein, terceiro reserva mencionado acima, acharia algumas décadas mais tarde que o éter não servia mais para nada! Adeus bezerras, vacas, leitões e turbilhões: a física havia

feito tábua rasa de seus conceitos clássicos e preparava-se para se vestir à moda quântica... antes de reinventar um vazio tão rico de “flutuações quânticas” quanto o velho éter era de propriedades *ad hoc*.

Além disso, os físicos não terão oportunidade de esquecer os turbilhões, que recentemente ensaiaram um retorno vigoroso na famosa teoria do caos e nos fenômenos de turbulência. Tanto melhor: poucos fenômenos físicos são tão apaixonantes. Um colega de escola de Maxwell, Peter Guthrie Tait (1831-1901), deixou mais lembranças no mítico clube de golfe de St. Andrews do que nos manuais escolares; no entanto desempenhou papel-chave no interesse de Maxwell pelos turbilhões. Tait recorreu o fundo de uma caixa de chá (*of course!*) e o recobriu com uma membrana de borracha. Colocando a caixa de lado, injetou fumaça nela, depois deu uns tapinhas delicados na membrana: saíram então aberturas circulares admiráveis rodela de fumaça com propriedades pouco comuns.<sup>1</sup> Duas rodela projetadas uma contra a outra chocaram-se e puseram-se a vibrar freneticamente, e duas rodela juntas (passando uma dentro da outra), formaram um conjunto notavelmente estável. Seguindo os passos de outro escocês, Lord Kelvin, Tait estudou os “*vortex atoms*” (átomos turbilhões), tão efêmeros historicamente quanto duradouras as rodela de fumaça. Pois se os átomos revelaram-se muito pouco turbilhonantes – Kelvin formulara a hipótese, seguido nisso pelo inglês Joseph John Thompson (1856-1940), futuro “inventor” do elétron, de que os cerca de 70 elementos químicos conhecidos na época podiam ser núcleos de éter mais ou menos complicados –<sup>2</sup> a idéia de associar a cada átomo um objeto vibrante fez seu caminho. A teoria das cordas descreve atualmente as partículas conhecidas como estados de vibração de filamentos de extrema pequenez.

“Para alguns espíritos ávidos, a matéria, o movimento e os éteres elásticos, associados às hipóteses deste ou daquele professor de óculos, significam alguma coisa.”<sup>3</sup> Ainda que Maxwell não usasse óculos, esses éteres elásticos são claramente os seus. Mas o que quer que pensasse Robert Louis Stevenson, escocês também (da geração seguinte), a ciência de Maxwell não escrevia sobre o mundo “com mão mais fria que o tentáculo de um polvo”. Sua originalidade está em aliar a abstração mais etérea – cabe chamá-la assim – com a bricolagem intelectual mais elementar e mais comovente. Suas equações são um dos pináculos da física matemática; ele as elaborou num canto de mesa, com os pedaços de barbaque e as molas quebradas de sua infância. A correspondência é tão impressionante que levou um de seus biógrafos a relacionar cada um de

<sup>1</sup> Tait herdara o gosto pelas rodela de fumaça do físico e fisiologista alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894), de quem traduziu várias obras para o inglês.

seus brinquedos de criança com uma teoria ou descoberta. Os “edros” fabricados em sala de aula foram reutilizados em conferências científicas; o pão dindimico está estranhamente próximo do diabolô no qual James era um campeão; utilizou, e aperfeiçoou sob o nome “zoétrope”, seu fenacisistoscópio de criança (VER “BOLHAS DE SABÃO NA NOITE: JOSEPH PLATEAU”, p. 144) para visualizar o movimento de seus turbilhões. Mas é sobretudo por sua fascinação infantil pelas correntes e os turbilhões do rio Orr que a história de Maxwell, morto aos 48 anos de um câncer fulminante, tem o desenlace perfeito num sonho realizado de simetria e unificação.

### AS MOLÉCULAS E ELE

Profundamente crente, Maxwell aproveitou-se da poesia científica vitoriana que cantava o maravilhamento diante das belezas da natureza. Algo exacerbadado pelo “naturalismo científico” e grandiloquente de seu colega John Tyndall (1820-93), escreveu uma *Ode tyndalesca* (e espectroscópica) “à maneira de”:

Venho dos fulgores do empíreo,  
 Dos espaços microscópicos,  
 Onde as moléculas, com desejos ardentes,  
 Estremecem, enlaçadas.  
 Os átomos se chocam, e o espectro desponha  
 Mostrando, projetados na tela  
 A dupla linha D, a linha b do magnésio  
 E o verde difuso do tâlho.

Mas sua prosa era em geral mais moderada. Atesta o fato este trecho do *Discourse on Molecules*, de 1873, que não deixa de evocar a célebre metáfora segundo a qual seríamos todos “poetras de estrelas”:

É sua luz, e somente sua luz, que nos faz perceber estrelas tão distantes uma da outra que qualquer outra forma de comunicação entre elas está para sempre fadada ao fracasso: e essa luz, único testemunho da existência desses mundos longínquos, mostra-nos que eles são feitos de moléculas exatamente idênticas às que encontramos sobre a Terra. Uma molécula de hidrogênio, seja sobre Sírius ou sobre Arciturnus, vibra precisamente com a mesma frequência.

Cada molécula do universo leva a marca de um sistema métrico tão peculiar quando o metro dos Arquivos de Paris ou o duplo “cúbico” real do templo de Carnac.

...A exata similaridade de todas as moléculas de uma mesma espécie confere-lhes todas as características de um artigo manufaturado, o que descarta a hipótese de que sejam eternas ou tenham se criado sozinhas.

Assim, eis que nos encontramos, seguindo um caminho estritamente científico, muito perto desse ponto em que a Ciência deve parar – não que a Ciência não possa estudar os mecanismos internos de uma molécula que ela não consegue reduzir a elementos menores, tampouco que seja incapaz de estudar um mecanismo que não pode criar com todas as peças. Mas se tentarmos remontar à história da matéria, a Ciência se detém quando constata, de um lado, que as moléculas foram criadas e, de outro, que não foram criadas por processos que consideramos naturais...

As causas naturais, como sabemos, tendem a modificar, e até, com o tempo, a destruir todas as estruturas terrestres ou pertencentes ao sistema solar. Mas se, ao longo das eras, produziram-se catástrofes, se outras se produzirão nos céus, e se novas estruturas serão construídas a partir das ruínas das antigas, as moléculas a partir das quais esses sistemas são construídos – os tijolos da matéria universal – permanecerão intactas e idênticas para sempre. Elas são hoje como eram ontem – feitas em número, medida e peso; e segundo as características indelévels cujas marcas carregam, compreendemos que essas virtudes que reconhecemos como especialmente nobres no homem, a exatidão da medida e a correção da ação, pertencem a nós pois são os atributos essenciais da imagem Dele (*Himn*), que no começo criou não somente Céu e Terra, mas também a matéria de que Céu e Terra são feitos.