

CAMBRIDGE, O DINAMICISMO E OS MODELOS DE THOMSON E MAXWELL

CARLOS BENEVENUTO GUISARD KOEHLER

RESUMO: William Thomson (Lord Kelvin) e James Clerk Maxwell estiveram no centro da atividade criadora que levou à consolidação de algumas das principais teorias da física clássica. Além de inovações teóricas e conceituais, deixaram um importante legado epistemológico, desenvolvendo e aplicando uma metodologia onde se destacavam a utilização de modelos e analogias. Neste trabalho, mostra-se como tais métodos responderam às necessidades específicas do estágio em que se encontrava a física na época, enfatizando-se a ligação entre esta metodologia e a tradição "dinamiscista" estão desenvolvida em Cambridge, em substituição à visão "mecanicista" anteriormente prevalecente. Evidenciam-se em particular as conexões entre os novos métodos de Cambridge e as correntes filosóficas e científicas externas ao desenvolvimento da física propriamente dita.

ABSTRACT: William Thomson (Lord Kelvin) and James Clerk Maxwell were in the center stage of the creative activity leading to the consolidation of some of the main theories of classical physics. Besides theoretical and conceptual innovations, they have left an important epistemological legacy, developing and applying a methodology where the use of models and analogies was prominent. In the present work it is shown how such methods answered to the specific needs of the physics of that time. Special emphasis is given to the links between this methodology and the "dynamicist" tradition then in development in Cambridge, in substitution to the previous prevalent "mechanistic" vision. Particularly evidenced are the connections between the new Cambridge methods and philosophical and scientific currents external to the development of physics itself.

1 - Introdução

Em meados do século dezenove tomaram forma as teorias que permitiriam que a física assim estabelecida recebesse a denominação de "clássica" (com a pioneira exceção da paradigmática mecânica de Newton). Com o nascimento da eletrodinâmica, da termodinâmica e da física estatística abre-se uma era que, como veremos, inova radicalmente não apenas nas ciências físicas, mas nas próprias concepções do que é ciência natural, interferindo em seus limites, objetivos e métodos. Centrais nesse processo encontram-se o movimento científico ocorrido principalmente em Cambridge¹, o método dinamicista lá desenvolvido, e o papel de dois de seus ilustres membros: William Thomson (Lord Kelvin) e James Clerk Maxwell.

Este trabalho propõe-se a discutir um possível padrão de unidade metodológica que seria comum às amplas, diversificadas e complementares obras científicas de William Thomson e James Clark Maxwell. Tal padrão se manifestaria na maneira peculiar pela qual os dois cientistas fizeram uso de analogias e modelos dinâmicos, dentro de um panorama mais amplo de pesquisas, o panorama da Escola de Cambridge na segunda metade do século dezenove. Evidencia-se assim a maneira pela qual seus métodos e modelos constituíam-se numa resposta adequada e bem adaptada, dispendo de grande potencial heurístico, aos desafios e possibilidades impostos pelo contexto científico que os cercava.

¹ Uma excelente exposição da escola de pensamento cambridgeana e do dinamicismo a ela associado, encontra-se em Harman (ed.), 1985; Ver também Harman, 1982; Hendry, 1986; e Buchwald, 1985.

A importância dos efeitos de síntese e da proliferação de teorias com que Thomson e Maxwell se envolveram torna-se evidente quando acompanhamos o processo de desenvolvimento das mesmas. Uma especulação instigante são os fortes indícios levantados no sentido de uma conexão entre essa multiplicidade/ complexidade e algumas das radicais inovações conceituais e epistemológicas surgidas na física deste período.

As transformações conceituais aqui enfocadas coincidem com o período de formalização ou de fundamentação de três das grandes teorias da física clássica - termodinâmica, eletrodinâmica clássica e física estatística. Constitui-se também num ponto de inflexão na postura epistemológica da maioria dos cientistas físicos. Para uma melhor apreciação do significado dessas transformações, julguei conveniente a divisão da história da física clássica em seis períodos, que mais que uma série cronológica, constituem a meu ver uma boa caracterização das variações teóricas, conceituais e epistemológicas que marcam essa ciência². Neste trabalho estamos tratando essencialmente da “revolução” trazida pelo quinto período, com alusões a suas raízes no quarto período e seus reflexos no sexto e derradeiro período.

Em nossa periodização, a época de “fundação”, com Newton, é considerada como o segundo período, sendo o primeiro reservado a todos os precursores, como Galileu, Kepler, Descartes, etc. Após o período de Newton temos o século dezoito, do racionalismo, do iluminismo, o período dos grandes matemáticos responsáveis pela formalização da mecânica - Euler, os Bernouilli, D’Alembert, Lagrange, Laplace. É o período de uma mecânica altamente matematizada ao estilo da mecânica celeste, seguindo os alicerces lançados pelo Newton dos Principia. Mas é também um período de fragmentação, onde as pesquisas experimentais dos campos não-mecânicos - ótica, eletricidade, magnetismo, calor - partilhados pelos experimentalistas inspirados pelo Optycks ficam relegadas a um segundo plano. Nas primeiras décadas do século dezanove, ocorrem várias tentativas frustradas de incorporar de forma coerente as expansões de horizontes trazida pelo progresso nestes campos, por um lado, com o formalismo da mecânica racional, de outro lado, assim se caracterizando o quarto período. Expõem-se assim numerosas contradições e lacunas; é a época de Oersted, Fresnel, Young, Faraday, Ampère, Carnot, Fourier. Essas contradições e lacunas serão enfrentadas pelos grandes esforços de síntese encetados pelos cientistas do quinto período, dos quais nos ocupamos em parte no presente trabalho. Finalmente, após esses novos sucessos de incorporação e formalização, as teorias estão maduras para uma nova fase de crítica e reavaliação dos fundamentos, situação essa que terminará por levar a uma revisão total nos fundamentos essenciais da ciência e da epistemologia, preparando o terreno para a crise que se resolverá com a eclosão das revoluções quântica e relativística, a partir de inícios do século vinte.

2 - Do Mecanismo Clássico aos Modelos Dinâmicos

A teoria “maxwelliana” do eletromagnetismo que é hoje ensinada encontra-se purgada (como é natural que aconteça) dos tateios e interpretações temporariamente tentadas por Maxwell, estando muito próxima da síntese desenvolvida por Lorentz nos últimos anos do século passado³. Quando a exposição envereda por uma vertente mais histórica, é comum que a teoria seja interpretada como uma teoria “mecânica”, parte do esforço hegemônico na época em se atingir a unificação das teorias das ciências físicas (e, eventualmente, não físicas também) através de sua redução às “explicações mecânicas”. Tal interpretação não se restringe a manuais técnicos historicamente pouco informados. Ao contrário, recebe o aval de uma autoridade em história da ciência com estatura de um Pierre Duhem⁴, que ridiculariza os métodos de Thomson e Maxwell, equivocadamente julgando que estes se reduzem a um mecanicismo primário, fazendo com que o leitor se sinta “numa usina”, e não diante dos fenômenos da natureza.

Não resta dúvida de que as interpretações mecânicas eram um dado forte e presente na ciência dos físicos britânicos do período, inclusive em Thomson e Maxwell. Mas aceitar essa afirmação acriticamente se mostra insustentável por duas razões: por colocar um problema paradoxal na própria lógica da evolução das idéias da física e por contradizer as evidências fornecidas pelas próprias idéias dos cientistas

2 A caracterização da física clássica em seis períodos histórico-conceituais encontra-se desenvolvida em mais detalhes na tese de doutoramento deste autor, atualmente em elaboração junto à COPPE/UFRJ.

3 Ver a esse respeito Darrigol, 1993.

4 Duhem, 1906.

envolvidos. Para que melhor se compreenda a especificidade do pensamento “dinamicista” de Thomson e Maxwell, é importante compreendermos o significado da visão à qual eles de certa forma se opuseram a tradição mecânica “pura”. O melhor exemplo desta última, em seu tempo, é o paradigma laplaciano⁵.

No continente europeu a tradição dos físicos “mecanistas” atingiu seu ponto mais marcante com o programa laplaciano, quase hegemônico na França do período napoleônico⁶. Um maquinismo desse tipo consiste na interação física entre as partículas mínimas e irredutíveis constituintes da matéria - “moléculas” ou “átomos” hipotéticos. Essa interação deve se dar por choques elásticos, uma vez que tais partículas hipotéticas são eternas, indeformáveis e infinitamente duras, ou por forças centrais, atrativas ou repulsivas, agindo entre as partículas. Quando julgado necessário, apelava-se também para “fluidos” contínuos especiais - os “fluidos sutis” - dotados de propriedades únicas, como massas nulas ou negativas, penetrabilidade com a matéria “comum”, etc. O método consistia em assumir a existência dessas moléculas inobserváveis e das forças intermoleculares, elaborar matematicamente as consequências desse mecanismo hipotético e comparar com a experiência. Caso o comportamento se mostrasse corretamente predito, então as hipóteses estariam confirmadas⁷. Tal metodologia trazia implícita uma forte limitação epistemológica à qual retornaremos adiante.

O objetivo da explicação era portanto remontar de causa em causa até a origem fundamental dos fenômenos físicos, os átomos eternos e imutáveis e as forças radiais (ou, eventualmente, as “atmosfera de fluidos sutis”) a eles associadas, que constituiriam assim a substância essencial e última do universo.

Osse sistema é naturalmente inspirado no sucesso da mecânica celeste newtoniana (desenvolvida em sua maior extensão pelos “geômetras” - i.e, físico-matemáticos - do século dezoito⁸), com a diferença de que são permitidas hipóteses sobre leis de força diferentes do quadrado da distância. Osse tipo de física é por vezes chamado de modelo “astronômico” de natureza⁹.

O modelo astronômico é o mais característico do terceiro período de nossa classificação. Entrou em declínio com a crise de expansão de fronteiras e conflitos conceituais que caracteriza o quinto período. Nessa transformação tiveram papel importante a multiplicação de dados experimentais não-mecânicos (ótica, calor, eletricidade...) e a proliferação de teorias inconsistentes entre si, muitas delas de cunho realista-essencialista.

A superação da hegemonia da visão mecanístico-astronômica, ou laplaciana, de mundo, deu-se então por uma conjugação de três ordens de fatores: (i) o esgotamento interno do programa, por contradições internas, falta de coerência, dificuldade de adaptação a novos fatos experimentais e limitados recursos analítico-formais; (ii) a ascensão de uma nova proposta teórico-conceitual-epistemológica, surgida da síntese de várias tendências e centrada numa visão dinamicista da natureza, como veremos a seguir; e (iii), uma mudança geral no ambiente filosófico e epistemológico predominante, com fortes questionamentos, e novas alternativas, tanto ao empirismo-realista de estilo lockeano, quanto ao racionalismo formalista, que haviam dominado a cena durante o século dezoito.

Após as críticas de Berkeley e Hume o empirismo ficou destituído de sua vertente mais racional, qual seja, a pretensão de atingir, por via observacional-indutiva, as realidades universais e definitivas que constituiriam a essência da natureza. Desta forma, o empirismo realista de Locke torna-se insustentável.

As reações a tal situação são bem conhecidas. A filosofia crítica de Kant, a reação romântica da “Naturphilosophie” germânica e as várias vertentes do positivismo são possíveis reações a este estado de coisas. Um dos centros de reflexão sobre este panorama foi precisamente a Escócia dos jovens Thomson e Maxwell. A desistência em atingir uma descrição exata, definitiva e verdadeira da natureza, substituindo-a por representações e analogias, na melhor das hipóteses tendentes a uma representação ver-

5 A discussão em torno da polaridade mecanismo-dinamismo é um tema recorrente na literatura crítica referente a esse período, embora dentro de um universo bastante variado e controverso. Uma das apresentações mais abrangentes e profundas da questão pode ser encontrada em Hendry, 1986. Ver também Harman (ed.), 1985, e Harman, 1982. Sobre o paradigma laplaciano, ver Fox, 19xx.

6 Ver Fox, 1974.

7 Cf. Laplace, 1809, apud Hendry, 1986, p.33.

8 Dentre os quais podem-se citar Euler, os Bernouilli, Clairaut, D’Alembert, Lagrange, Laplace...

9 Cf. Merz, 1904.

dadeira e definitiva. Aqui se situa um importante elo na formação dos cientistas escoceses, certamente significativo em sua produção posterior, mas frequentemente olvidada.

3 - Os "dois métodos das ciências da natureza"

Com a crescente crise dos modelos mecânicos reducionistas, assistimos à ascensão de uma perspectiva dinamicista da física. Essa ascensão do dinamicismo se dá no âmbito da física feita em Cambridge, nas décadas de 1830 a 1880. Seus pontos centrais eram a formulação abstrativista lagrangeana da dinâmica, como método teórico formal, e as leis da energia, como conceito unificador. Deste movimento participaram muitos dos grandes mestres do período: John Hershell, William Whewell e Babbage, como fundadores do movimento, seguidos por nomes como Green, Stokes, Tait, Thomson, Maxwell.

Como remanescente do ponto de vista mecânico, mas contendo as sementes de uma radical transformação, estava o novo método estatístico.

Os pontos de vista dinâmico e estatístico estarão sempre presentes no espírito de Maxwell que os apresenta como as duas alternativas possíveis para a compreensão dos fenômenos naturais. Mais que um par de opostos antagônicos - mutuamente excludentes - a familiaridade do cientista com ambos os métodos pode ser melhor apreciada como um par complementar, onde as questões respondidas ou levantadas por um método servem para iluminar ou recolocar as questões do outro. Esta complementaridade não está explicitada nos escritos de Maxwell, mas é uma hipótese cujo aprofundamento vai ser útil para o esclarecimento de importantes questões concernentes à metodologia, à heurística e à produção teórico-conceitual dele próprio e de seus contemporâneos.

Para Faraday, por exemplo, a unidade das forças da natureza era um princípio básico da ciência, derivado de seu comprometimento com as tradições dinamicistas de Leibniz e Boscovich. Ampère foi o primeiro cientista a utilizar a filosofia kantiana, e seu dinamicismo implícito, na metodologia concreta do cientista¹⁰.

Essa dualidade entre os dois métodos, dinâmico e estatístico, iriam permanecer como uma característica marcante e, a meu ver, determinante, durante toda a carreira científica de Maxwell.

Da dinâmica, Maxwell iria desenvolver o respeito pela exatidão lógica e a previsão exata permitida pelas leis científicas da época. Na estatística, iria encontrar a inspiração para questionar outros dogmas há muito estabelecidos na física, como o reducionismo mecanicista tendente ao mais estrito determinismo. Na realidade Maxwell chegou a questionar o determinismo também na esfera da dinâmica, considerando o comportamento de sistemas instáveis, muito sensíveis às condições iniciais, colocando-se assim como um dos pioneiros da moderna concepção de "caos determinístico"¹¹. Essa mescla de conceitos numa mútua influência mostra a importância da imbricação de teorias e conceitos aparentemente conflitivos na obra de Maxwell.

A introdução definitiva de idéias estatísticas na teoria física (i.e., sua utilização para além das médias de erros, correção de observações, etc.) se dá, como é bem sabido, no âmbito da teoria cinética dos gases. Mas antes que esta se estabelecesse na forma que hoje a conhecemos, ela emergiu em um clima de cooperação-competição com duas outras teorias que inicialmente ocuparam o espaço deixado vago após o declínio da teoria do calórico (que havia sido desenvolvida principalmente por Lavoisier e adotada por Laplace e seus seguidores). Trata-se da teoria dinâmica¹² dos gases e da teoria vibratória do calor.

10 Ver Williams, L. Pearce, 1989, pp.74-79.

11 O assunto é originalmente discutido em Maxwell, 1873, e é o tema central da tese de doutoramento do autor deste trabalho.

12 Percebe-se aqui mais uma vez a precariedade das classificações e nomenclaturas. Essa teoria de gases é dinâmica por partir do pressuposto da existência de partículas ou moléculas dotadas de cargas repulsivas agindo à distância. Mas é uma teoria do tipo hipotético-dedutivo, ao estilo dos mecanistas do período anterior (Como aliás também o será, ao menos inicialmente, a teoria cinética que a virá a substituí-la). Dinâmica por se basear em forças e não em movimentos e choques (como, por oposição, se define uma teoria cinética), mas não dinâmica no sentido do dinamicismo praticado pelos cambridgeanos, por Thomson, por Maxwell.

As primeiras teorias modernas baseadas nos movimentos e vibrações dos átomos e moléculas - Herapath, em 1821, Joule, em 1847-48, Krönig, em 1856¹³ ... - falavam em geral de vibrações regulares dos átomos, semelhantes àquelas de um oscilador harmônico ("a regular back and forth motion"¹⁴). Segundo Brush, a substituição da teoria do calórico pela teoria ondulatória do calor, reforçou a tendência em se associar o calor com as vibrações do éter. Assim, antes da publicação das teorias cinéticas de Krönig (1856) e de Clausius (1857), o movimento vibratório térmico das moléculas não era considerado irregular ou "randômico" e a questão da vibração molecular podia ser facilmente conjugada com a idéia de vibrações regulares do éter. Assim formava-se uma ponte, embora precária e temporária, entre as teorias de contínuo e de partículas.

Essa ponte, alterada e em diferente contexto, foi efetivamente utilizada pelas teorias do "átomo de vórtices" de éter de Thomson, e pela posterior teoria dinâmica do éter de Maxwell. Quanto às teorias do calor e dos gases, entretanto, Thomson e Maxwell iriam adotar o ponto de vista estatístico, do "caos molecular".

O que este exemplo nos ensina é que, apesar da distinção apresentada por Maxwell entre os métodos estatístico e dinâmico como dois métodos opostos e inconciliáveis, a emergência dos mesmos sempre esteve envolta em uma considerável unidade, mesmo que ainda confusa.

Quando Maxwell produz seu trabalho sobre a representação cinético-estatística dos gases, em 1860¹⁵, ele o apresenta como um "exercício em mecânica". Se tal expressão é apenas um recurso de retórica, destinado a impressionar uma audiência crítica, ou se ele realmente esteve inicialmente comprometido com uma teoria dinâmico-vibratória dos gases, como afirma Brush, é difícil dizer. Mas sua atitude diante das teorias mecânico-moleculares aplicáveis aos gases apresenta um nítido contraste com a que passou a dedicar às teorias dos fenômenos eletro-magnéticos. Neste contraste reside outra chave para compreender sua evolução em termos de enfoques metodológicos.

A primeira parte do referido artigo de Maxwell (1860) se intitula "On the motions and collisions of perfectly elastic spheres". Se as partículas constituintes do gás são esferas rígidas perfeitamente elásticas (modelo "bolas de bilhar")¹⁶ ou centros de forças dotados de forte repulsão a curta distância (modelo de átomos dinâmicos de Boscovich), é irrelevante em primeira aproximação, como o reconhece o autor.

A base teórica fica assim inicialmente estabelecida como "estritamente mecânica":

"In order to lay the foundation of such investigations on strict mechanical principles, I shall demonstrate the laws of motion of an indefinite number of small, hard, and perfectly elastic spheres acting on one another only during impact"¹⁷.

Mais uma vez temos aqui a interação entre os "dois métodos" básicos da ciência. Maxwell inicia um estudo como um exercício em mecânica, mas logo introduz noções estatísticas que, como afirma Brush¹⁸, derivam mais da tradição da estatística social de Quételet (conforme interpretada por John Herschel) que das análises de modelos mecanísticos característicos da era anterior. A aleatoriedade dos movimentos moleculares é introduzida a partir da análise geométrica das colisões entre partículas esféricas, supondo-se aleatórios as direções e os parâmetros de impacto das partículas incidentes; da independência dessas direções Maxwell deduz sua famosa distribuição exponencial de velocidades. Aí reside, de certa maneira, o marco mais fundamental do nascimento da física estatística, uma vez que, pela primeira vez se introduzem curvas de variação como indicativas de uma realidade física

13 Ver Brush, 1976, p.585; a teoria cinética de Waterston, de 1845, já falava de algo como o moderno caos molecular: partículas "movendo-se em todas as direções" e "encontrando-se entre si de todas as maneiras possíveis"; mas seu trabalho permaneceu praticamente desconhecido até 1892 (cf. Brush, op.cit., p.585).

14 Cf. Brush, op.cit., p. 585.

15 Maxwell...

16 Maxwell não ignora a contradição existente entre esferas rígidas e sem estrutura interna, como deveriam ser os átomos do modelo clássico (as partículas elementares, indissolúveis, da época) e o requerimento de perfeita elasticidade. O problema causou consideráveis polêmicas em sua época, o que reforçava a hipótese de Boscovich, mas não era essencial para a presente discussão.

17 Maxwell, 1860, p.377.

18 Brush, 1983, p.87.

subjacente, e não como meras aproximações para a extração de médias, como o fizeram os autores anteriores (Krönig, Clausius...) ^{19 20}.

No mesmo artigo de 1860, temos um importante indício da preocupação que mais tarde Maxwell dedicará ao estabelecimento de analogias. No caso da teoria cinética, as evidências o convencem de que a utilização da hipótese de partículas atômicas microscópicas “voando em alta velocidade e em todas as direções” é muito forte. Por isso, éle parece aceitar sem maiores conflitos a utilização do método hipotético-dedutivo, para chegar a “analogias físicas”, i.e., a um modelo razoável e crível da realidade física. Quando passar a se ocupar da teoria eletromagnética, sua atitude diante da metodologia passará por importantes transformações, como veremos adiante. Sobre as hipóteses e modelos das teorias dos gases e do calor, éle assim se manifesta, no citado artigo de 1860:

“If the properties of such a system of bodies are found to correspond to those of gases an important physical analogy will be established, which may lead to more accurate knowledge of the properties of matter. If experiments on gases are inconsistent with the hypothesis of these propositions, then our theory, though consistent with itself, is proved to be incapable of explaining the phenomena of gases. In either case it is necessary to follow out the consequences of the hypothesis” ²¹.

Ao explicitar as consequências do acerto da hipótese, se positivamente corroborada pela experiência, Maxwell nos indica que se terá estabelecido uma “importante analogia física” e que isto pode nos levar a um “mais acurado conhecimento da propriedades da matéria”. Estabelece-se aqui a importante conexão entre “analogia física” e “conhecimento acurado”; além disso, fica claro que a natureza do problema permite que o emprego do método hipotético dedutivo leve a estes desejáveis reais progressos no conhecimento.

Para completar esse panorama, devemos acrescentar os desenvolvimentos da física matemática surgidos com a adoção em Cambridge do estudo da análise matemática continental. A junção e elaboração de todas essas tendências levaria, após uma longa gestação, à publicação, em 1867, do “*Treatise on Natural Philosophy*”, onde Thomson e Tait estabelecem explicitamente o programa de uma “nova física”, de concepção dinamicista. O programa sedimentou um estilo de física característico, que foi continuado em várias obras britânicas posteriores ²²: de Maxwell, o “*Treatise on Electricity and Magnetism*” (1873); de Rayleigh, “*Theory of Sound*”; de Larmor, “*A Dynamical Theory of the Electric and Luminiferous Medium*”, entre outros ²³.

19 A introdução dos conceitos estatísticos em física, sua relação com o suposto substrato mecânico da teoria cinética dos gases e os problemas decorrentes da necessidade de se conciliarem o determinismo e a reversibilidade das leis da mecânica com a aleatoriedade da estatística e a irreversibilidade trazida pela segunda lei da termodinâmica é um problema fascinante e não inteiramente esclarecido. Boas indicações sobre o mesmo encontram-se nas obras de Brush aqui referidas (1966, 1976, 1983) e em Dias (1994).

20 A propósito do tema variação estatística enquanto realidade fenomenal, e não mero reflexo de erros observacionais, é interessante observar que a primeira evidência que se tem sobre tal conceito não se encontra na física, mas na biologia, com a publicação de “*A Origem das Espécies*”, de Darwin, em 1859. Com efeito, na teoria da evolução darwiniana, a especiação e seleção natural somente se tornam possíveis mediante uma progressiva variação real nos caracteres entre os indivíduos de uma espécie, variação essa que será responsável pela posterior competição e seleção dos caracteres mais adequados à sobrevivência do indivíduo e sua prole. A coincidência de datas (Darwin, 1859; Maxwell, 1860) parece ser muito mais que mero acaso, havendo fortes indícios da correlação de idéias e crenças entre ambos os cientistas. Ver, a respeito, Porter, 1986.

21 Maxwell, op.cit., 1860, p.378.

22 O tema já estava presente em artigos anteriores, como “*On the Dynamical Theory of Heat*”, de Thomson, “*On the Dynamical Theory of Diffraction*”, de Stokes, ambos de cerca de 1850 (apud Smith, 1978, p.234), ou o mais famoso “*A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*”, de Maxwell (1864).

23 Cf. Buchwald, Jed Z.; in Harman, P.M., 1985, pp.225-241.

4 - Hipóteses, analogias formais, analogias FÍSICAS

Existe um certo consenso de que teria sido Thomson o mestre de Maxwell na utilização de modelos físicos. Embora participando da mesma geração de estudantes na Escócia e em Cambridge, Thomson era poucos anos mais velho que seu colega, e ambos iniciaram sua produção científica ainda muito jovens.

A partir de 1851, Thomson se dedicou à compreensão do éter dinâmico eletromagnético, estabelecendo importantes analogias do tipo hidrodinâmico e cinético-mecânicas. Green, Stokes e outros do grupo de Cambridge estavam desenvolvendo a teoria do potencial e os teoremas integrais, além de outras analogias do tipo matemático. Stokes, particularmente, seguido por Thomson, deu início ao programa do éter como sólido elástico em vibração.

Uma das consequências dessa proliferação de teorias, muitas delas de tipo analógico, foi a convicção de que era possível desenvolver teorias matematicamente consistentes, válidas em diferentes campos, mas de natureza fisicamente distinta. Este fato, possivelmente alimentado pelas novas perspectivas epistemológicas então em discussão, como o kantismo e o positivismo, trazem a convicção de que um modelo ou analogia matemática não seria necessariamente um retrato especular da realidade, mas uma representação, talvez uma entre várias outras possíveis. Como Maxwell irá então realizar, haveriam analogias formais, ou matemáticas, e analogias físicas. As primeiras seriam importantes instrumentos heurísticos. As segundas poderiam, ou não, representar o verdadeiro funcionamento da natureza.

Como é bem sabido, os grandes triunfos iniciais de Maxwell, no campo da teoria eletrodinâmica, deram-se pela metódica elaboração matemático-conceitual da teoria de “linhas de força” apresentada por Faraday. Nas palavras de Maxwell, aquela era uma teoria “hidrodinâmica”, mas não se deveria levar a analogia longe demais. Seu intento era distinguir os aspectos puramente formais daqueles que constituiriam uma “verdadeira analogia física” dos fenômenos.

Embora a analogia seja um método heurístico desde muito tempo empregado e os modelos, mecânicos e outros, não constituíssem novidade na física, com a criação da física dinamicista de Cambridge surgiu um novo enfoque para ambos, capaz de caracterizar uma metodologia e um estilo específicos de se fazer e interpretar a ciência.

Quando defrontado com fenômenos que lhe pareciam adequadamente redutíveis a um modelo cinético de colisões, Maxwell julga natural voltar-se para o velho método hipotético-dedutivo. Isto se deve ao fato de que, para ele, este modelo possuía uma simplicidade fundamental, apenas um esvoaçar aleatório de uma miríade de esferas (ou esferóides elípticos, etc.) em constante colisão elástica mútua. Isto não significa, entretanto, que ele acreditasse nessa simplicidade absoluta como um dado essencial da matéria, como os átomos dos antigos democritianos. Problemas básicos da estrutura atômica já estavam por essa época colocados, embora em nível distinto daqueles de nosso tempo. Como poderiam esferas perfeitamente rígidas possuir comportamento elástico, e ainda serem substituídas de estrutura interna? Como se daria a interação com o éter, principalmente levando em conta as interações magnéticas (não-radiais) e as então fortemente prováveis (depois postuladas e deduzidas por Maxwell como ondas eletromagnéticas) “vibrações ondulatórias do éter”? Como explicar, ou decidir, pelo modemo alternativo, os átomos como centros de força, ao estilo de Boscovich? E o que dizer do modelo dinâmico de Thomson, de átomos como “vórtices do éter”?

Sobre todos estes problemas, Maxwell passa por alto, pelo menos numa primeira formulação. Óle não ignora estar se dedicando a um modelo, e não à essência da realidade. Não obstante, o modelo cinético-molecular lhe parece tão verossímil, e tão adequado às explicações e efeitos experimentais, que um método de hipóteses lhe parece capaz de levar a uma verdadeira analogia física, neste caso. Aparentemente, queria com isso dizer que se tratava de um modelo com boa aproximação, ou com maior tendência à realidade.

Quando, entretanto, surge a ocasião de se voltar para a “ciência elétrica” o panorama sofre uma extensa transformação:

“When we pass from astronomical to electrical science, we can still observe the configuration and motion of electrical bodies, and thence, following the strict Newtonian path, deduce the forces with which they act on each other; but these forces are found to depend on... what we call electricity. To form what Gauss called a ‘construierbar Vorstellung’ of the invisible process of electric action is a great desiseratum in this part of science”.²⁴

A referência fundamental parece ser sempre o velho método de Newton de “dedução a partir da experiência”, mas a referência a Gauss mostra o caminho a ser efetivamente seguido daí em diante: a “representação consistente” de Gauss é um passo no sentido daquilo a que posteriormente se chamará o problema dos “conceitos teóricos”, utilizados para se descreverem entidades e propriedades inobserváveis²⁵.

A participação que ambos (mas principalmente Maxwell) os cientistas escoceses tiveram na criação das teorias mais fundamentais da época - termodinâmica, física estatística, eletrodinâmica - os levou a se defrontarem com uma diversidade incapaz de ser tratada por um modelo único de ciência ou de realidade. Assim, foram forçados a se escorar em alguma retaguarda conceitual e epistemológica até então inexistente, amparados (principalmente Maxwell) numa visão da realidade e sua interpretação científica que já tinha sido alimentada pela crítica kantiana, afastando-se assim do realismo empirista de Locke e do empirismo cético de Hume.

Essa conjugação de fatores pode ajudar-nos a compreender como e porque da aparente confusa, múltipla e tantas vezes mal compreendida metodologia dos mestres de Cambridge. A visão dinamicista permitia o desenvolvimento de múltiplos modelos e analogias, superando a estreiteza da visão mecanicista e abrindo caminho para a heurística das analogias e dos modelos formais. A dualidade entre o continuum do éter eletromagnético e a visão corpuscular exigida pela mecânica estatística permitiram a Maxwell afirmar a existência dos “dois métodos” da ciência, e a precariedade em se afirmar que um ou outro seria o único “verdadeiro”.

Uma ciência de montada sobre um processo de criação de representações, modelos, analogias formais e físicas, permitindo a multiplicidade explicativa e a proliferação de teorias, já anunciava com Maxwell aspectos dos panoramas epistemológico, científico e estético que se afirmariam no século XX.

5 - Conclusões

William Thomson e James Clerk Maxwell viveram numa época em que a maioria das teorias “clássicas” da física tomaram a forma “definitiva” (!) com que as conhecemos hoje. Atuaram especialmente num período de formalização/estruturação de teorias (5operiodo), recebendo influência direta, durante seus anos de formação, de um período de expansão de fronteiras e multiplicação de modelos (4operiodo); em seus anos de maturidade, tiveram a oportunidade de tocar de perto em alguns dos problemas de fundamento que caracterizariam o período de maturidade crítica (6operiodo) que se seguiu à era central de suas criações, período que levaria por fim à derrocada da perspectiva clássica da física.

A variedade de problemas e teorias com que se defrontaram, aliada à riqueza da formação eclética que receberam na Escócia e em Cambridge, os levou a uma visão múltipla e crítica do conhecimento e do fazer científico. Thomson iniciou a utilização sistemática de modelos analógicos e Maxwell os desenvolveu, passando a aceitar a explicação, mesmo que provisória (uma vez que ele nunca renunciou à busca pelas “verdadeiras analogias físicas”), por meio de modelos abstratos matemáticos. Com isso, deu um passo considerável em direção à aceitação do valor heurístico dos modelos matemáticos abstratos, tendência que seria amplamente encampada em nosso século tanto por Einstein como pelos criadores da mecânica quântica.

24 Maxwell, in “Action at a Distance”, Sci. P., II, p.311; citado por Hesse, 1974, p. 263.

25 Essas observações devem-se em grande parte ao trabalho desenvolvido por Hesse, em seu (1974).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUSH**, Stephen G. Foundations of Statistical Mechanics 1845-1915. *Arch. Hist. Exact Sci.*, 1966.
- BRUSH**, Stephen G. *Statistical Physics and the Atomic Theory of Matter, from Boyle and Newton to Landau and Onsager*. Princeton University Press, 1983.
- BRUSH**, Stephen G. *The Kind of Motion We Call Heat* ("A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century"); North Holland Publishing Co.; Amsterdam; NY; Oxford, 1976. (2 v.). 533.7
- BUCHWALD**, Jed Z. in Harman, P.M., 1985, p.225-241.
- CAMPBELL**, L. & **GARNETT**, W. *The Life of James Clerk Maxwell with a Selection from his Correspondence and Occasional Writing and a Sketch of his Contributions to Science* (orig.: London, 1882).
- DARRIGOL**, Olivier. The Electrodynamical Revolution in Germany as Documented by Early German Expositions of 'Maxwell's Theory'. *Archive for the History of Exact Sciences*, v. 45, n. 3, p. 189-280, 1993.
- DIAS**, Penha Maria Cardoso. Will Someone Say Exactly what the H-Theorem Proves?' - A Study of Burbury's Condition A and Maxwell's Proposition II. *Archive for the History of Exact Sciences*, v. 46, n. 4, p. 341-366, 1994.
- DIAS**, Penha Maria Cardoso. Clausius and Maxwell: The Statistics of Molecular Collisions (1857-1862). *Annals of Science*, v. 51, p. 249-261, 1994.
- DUHEM**, Pierre. *La Théorie Physique*. Paris: 1906.
- FOX**, Robert. The Rise and Fall of Laplacian Physics. *Historical Studies in the Physical Sciences*, Princeton University Press. v. 4. p. 89-136. 1974.
- HANKINS**, Thomas L. *Science and the Enlightenment*. Cambridge: Cambridge University Press; London, New York, 1985.
- HARMAN**, P.M. ed. *Wranglers and Physicists: studies on Cambridge Physics in the Nineteenth Century*" Manchester University Press, Manchester, UK (ou Dover, New Hampshire, USA), 1985.
- HARMAN**, P.M. *Energy, Force and Matter*, Cambridge University Press; Cambridge; New York, 1990.
- HESSE**, Mary. *The Structure of Scientific Inference*. London: *The Macmillan Press LTD*, 1974
- MAXWELL**, James Clerk. Does the Progress of Physical Science tend to give any advantage to the opinion of Necessity (or Determinism) over that of the Contingency of Events and the Freedom of the Will ? (11th February 1873): In: Campbell, L., Garnett, W. *The Life of James Clerk Maxwell*.
- MAXWELL**, James Clerk. "Illustrations of the Dynamical Theory of Gases" *Philosophical Magazine*, Jan.-Jul., 1860"; *Sci. P.*, V.II, p.377-409.
- PORTER**, Theodore M. *The Rise of Statistical Thinking 1820-1900*. Princeton University Press, 1986.
- WILLIAMS**, L.Pearce. André-Marie Ampère. *Scientific American*, jan. 1989.

CARLOS BENEVENUTO GUISSARD KOEHLER é Doutorando em Engenharia de Produção pela COPPE - UFRJ

Endereço: Rua Lauro Müller, 56 apto 1308 - Cep: 22.290-160 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Revista da SBHC, n. 13, p. 23-32, 1995