

ALGUMAS OBSERVAÇÕES HISTÓRICAS E EPISTEMOLÓGICAS SOBRE O CONCEITO DE ÁTOMO CLÁSSICO¹

ANTONIO AUGUSTO PASSOS VIDEIRA

Resumo - O presente artigo examina alguns conceitos e hipóteses, apresentados pela comunidade científica do século passado, sobre o conceito de átomo. Por essa época, esse mesmo conceito possuía uma significativa, tanto sob o ponto de vista qualitativo quanto sob o ponto de vista quantitativo, quantidade de sentidos, os quais contribuíram para dar origem a um importante debate sobre a necessidade de sua existência nas ciências naturais e que ocorreu durante o último quartel do século XIX. Nós também discutimos as conexões existentes entre esse conceito e certas teses metodológicas e epistemológicas desenvolvidas por alguns dos cientistas ativos do período aqui considerado.

Abstract - This article examines some concepts and hypotheses presented by the scientific community of the last century concerning the concept of atom. We show that this concept possessed many scientific and epistemological meanings which were important to give rise to a debate about its necessity in the natural sciences. We also discuss the connections between this concept and some methodological and epistemological ideas developed by some scientist of the period we consider here.

I - Introdução

Durante todo o século XIX, o átomo foi compreendido de diversas maneiras. Essa multiplicidade de definições nos faz crer que esse conceito possuía um sentido físico muito fluido, pouco preciso, o mesmo ocorrendo com o seu significado epistemológico. Em outras palavras, o átomo era definido a partir das características existentes nos fenômenos naturais em questão. Ou ainda: o átomo era primeiramente uma entidade fenomenológica. Pode-se imaginar que o conteúdo físico do átomo fosse definido a partir do conjunto de fatos naturais que se queria descrever ou explicar. Isso para o caso da física. No que se refere à química, ele já havia sido introduzido de maneira mais rigorosa por Dalton logo nos primeiros anos do século passado. Entretanto, em grande parte devido à escassez, ou à pouca confiança nos dados experimentais existentes, o átomo "químico" foi

muito criticado durante todo o século passado, o mesmo ocorrendo com o aquele "determinado" pela física. A existência de críticas, "oriundas" de vários lugares distintos (ciência, filosofia, meteorologia, etc) e o elevado número de definições que lhe foram dadas, contribuíram para que o átomo sofresse, ao longo do século XIX, de uma equivocidade conceitual muito grande, o que tornou polêmica a sua permanência no domínio de uma ciência que se pretendia positiva e bem fundamentada, pretensão esta almejada seja pela física, seja pela química.

Essa mesma diversidade, acima apontada, relacionada com o conceito de átomo - ou seja, a existência de vários "tipos" diferentes de átomos - obrigou cientistas e (alguns) filósofos dos últimos 20 anos (aproximadamente) do século passado a uma análise rigorosa das razões e dos critérios que norteiam a sua utilização nas ciências naturais. Até a eclosão desse debate, pode-se

¹ Artigo baseado no segundo capítulo da tese de doutorado que defendi em março de 1992 junto à Universidade de Paris VII sob a orientação do professor doutor Michel Paty. Essa pesquisa, na época, recebeu o apoio financeiro da CAPES. Gostaria de exprimir os meus agradecimentos ao árbitro, encarregado de analisar este artigo, pelas suas observações e sugestões visando a uma melhoria do meu trabalho.

afirmar que o conceito de átomo fôra empregado de uma maneira pouco sólida, sem que, portanto, o seu emprego pudesse ser convincentemente justificado.

A mecânica clássica ainda era, por essa mesma época, o quadro conceitual mais importante das teorias físicas, mesmo das científicas, servindo como estrutura interpretativa para guiar os cientistas em suas pesquisas. Essas teorias tomavam forma e ganhavam sentido a partir do emprego de leis e princípios mecânicos. Desde a sua origem com os trabalhos de Galileu, de Descarte e de Newton (ainda que cada um desses cientistas tenham definido diferentemente o átomo), entre outros, que, na mecânica clássica, o objeto em movimento é uma partícula material, ou seja, uma entidade física possuidora de massa mas não de extensão.

Não obstante o fato do conceito de átomo ter sido preferencialmente empregado para explicar cientificamente certos fenômenos naturais, esse mesmo emprego não esgota a sua importância para a ciência. Ele desempenhava um outro papel nas teorias da física. Para nós, esse papel era tão importante que ele vem a ser o responsável, apesar do forte criticismo, em grande parte de caráter epistemológico, dirigido às noções e idéias atômicas, pela permanência desse mesmo conceito na física do nosso século, como nos provam os exemplos da mecânica quântica e da física de partículas elementares. Esse outro papel pode ser caracterizado como epistemológico, já que a utilização do átomo possuía implicações para a estrutura da teoria física. Em outras palavras, aceitar teses e noções atomísticas pressupunha uma certa idéia de teoria científica.

Mesmo havendo uma parcela considerável da comunidade científica de então favorável ao atomismo, a importância deste era estipulada distintamente, ficando em dependência das preferências científico-epistemológicas de cada um, o que só fazia aumentar o estado de confusão reinante já que, ao final do século passado, várias e diferentes eram as opiniões acerca de qual seria a melhor e mais correta interpretação

epistemológica da física. As dúvidas eram tantas que elas chegaram a alcançar o então officioso domínio da filosofia da ciência. Um dos primeiros filósofos a escrever sobre esse tópico, J. B. Stallo, procurou alertar para uma utilização não crítica do conceito de átomo. Segundo Stallo, a hipótese atomística nada mais era do que um procedimento. Em suas palavras:

“As considerações feitas anteriormente naturalmente não querem restringir os serviços da hipótese atomística enquanto um procedimento gráfico ou explicativo, ou seja, enquanto uma ajuda na arte de representação das fases químicas ou das transformações físicas.” (1901, p.94)²

Ou como afirmava H. Poincaré, o importante não era saber se os átomos realmente existiam ou não. Se tratava, sobretudo, de se saber se a hipótese atomística seria indispensável à construção de uma teoria física como, por exemplo, no estabelecimento da termodinâmica, ou se poder-se-ia obter uma teoria sobre os efeitos termodinâmicos sem que fosse preciso fazer referências aos átomos, situação esta que correspondia às preferências do matemático francês.³

A pouca clareza que existia acerca do conceito de átomo impediu que os cientistas e filósofos de então pudessem perceber clara e nitidamente as questões que realmente estavam em jogo quando se debatia a existência ou inexistência do átomo, tal como é exprimido por Nye:

“O que muitas vezes tem sido omitido nas análises sobre os ásperos debates (sobre o atomismo) é que a crise na comunidade científica do final do século passado não concerniu apenas a evidência e a interpretação, mas também a metodologia científica e a epistemologia. Em tema não estavam apenas a teoria atômica mas o objetivo e a estrutura da teoria física.(1976, p.246)⁴.”

2 A tradução é do autor.

3 Ver, por exemplo, *Poincaré e as Hipóteses Indiferentes*, Antonio Augusto Passos Videira, preprint NEHCT-UFRJ, também submetido à publicação em *Que nos faz pensar*, revista do Depto. de Filosofia da PUC/RJ.

4 A tradução é do autor.

A citação acima merece ser comentada pois ela permite explicitar o porquê de Mach, Duhem, Stallo, entre outros, terem não apenas duvidado da existência do átomo mas também de sua viabilidade epistemológica. Esses autores duvidavam da existência do átomo porque não existiam dados experimentais suficientes, capazes de comprová-la empiricamente. No entanto, havia ainda um outro motivo para essa reação negativa, motivo responsável pela caracterização de epistemológico dado ao debate que ocorreu em fins do século passado. Esses mesmos cientistas e filósofos possuíam preferência por uma certa concepção de teoria científica, decorrente da escolha dos objetivos visados por esta última. Uma boa teoria científica não poderia pretender explicar a natureza, já que isso implicaria no emprego de modelos atômicos e mecânicos, mas sim em descrever o que é sensorialmente observado.

Essa mesma posição adversa ao atomismo foi importante para assegurar a continuidade das idéias atômicas na ciência, pois foi justamente superando-a que o atomismo conseguiu mostrar toda a sua riqueza científica e epistemológica. Através da confrontação de opiniões diferentes, empregando uma linguagem própria a vários cientistas da época em consideração e em parte originada da recepção da teoria darwiniana da evolução, a competição entre idéias e teorias científicas permitiria o progresso da ciência. Da mesma forma que na evolução biológica, também no desenvolvimento científico, não se poderia prever o resultado desses debates. Mesmo sendo certo que caberia a experiência decidir que teoria melhor explicava os fatos da experiência, não se pode esquecer que vários físicos, nesse momento, estavam certos que mais de uma teoria poderia vir a explicar um mesmo conjunto de fatos. Como na natureza, um mesmo espaço (no nosso caso, um mesmo domínio de fatos) pode se situar no centro de uma competição de diferentes espécies animais, todas igualmente capazes de aí habitar.

Estamos convencidos de que relembrar algumas das várias opiniões ao longo do século XIX sobre o átomo pode contribuir para o

esclarecimento do surgimento de teorias revolucionárias como a relatividade restrita e a mecânica quântica. Apesar de ser difícil estabelecer uma relação, ao nível da evolução científica dos conceitos e idéias também científicas, entre o atomismo e a relatividade restrita, as críticas dirigidas ao primeiro serviram, cremos nós, para obrigar cientistas e filósofos a reavaliarem muitas das teses tidas, até então, como inabaláveis; essas críticas, em alguns casos, tornaram possíveis que muitas idéias estabelecidas fossem transformadas ou mesmo abandonadas. Na opinião de Nye, sem esses mesmos debates, essas teorias nem mesmo teriam sido criadas⁵. Assim neste artigo, é nosso propósito apresentar algumas das idéias sobre o átomo emitidas durante o período que vai de Laplace a Maxwell. Com essas opiniões díspares sobre o atomismo, pretendemos discutir algumas das concepções epistemológicas de cientistas de então sobre a ciência.

II - Física e Epistemologia em meados do século passado:

Para que se possa compreender a dimensão epistemológica dos debates do final do século sobre o atomismo⁶, é preciso que se retome a França dos primeiros anos do século passado. Por essa época, a física francesa constituía-se como modelo de investigação científica a ser copiado pelo restante dos países europeus. Foi lá que se iniciou o desenvolvimento de dois tipos de metodologias que procuravam definir o escopo e o objetivo da pesquisa em ciência natural.

O grande divisor de águas entre essas duas propostas metodológicas, que mais tarde se espalharam por toda a Europa, concernia precisamente as “pequeníssimas partículas de matéria”, ou seja, átomos. Uma proposta, ou escola defendia a idéia de que deveriam ser incorporadas às teorias hipóteses sobre a constituição dessas partículas. A outra afirmativa o oposto: era proibido afirmar o que quer que fosse sobre esses pretensos constituintes da matéria ordinária. Para essa segunda escola, toda especulação, já que situada fora do domínio

5 Nye, 1976, p.269.

6 Nós não discutiremos, no presente artigo, essas teses. Sobre elas, consultar o capítulo III de *Atomisme Epistémologique et Pluralisme Théorique dans la Pensée de Boltzmann*, Antonio Augusto Passos Videira, Tese de doutorado, Equipe Rehseis-Université Paris VII, Paris, 1992.

experimental existente à época, sobre características físicas e químicas dos átomos não seria capaz de apresentar algo de positivo à ciência.

Entre os representantes da primeira escola metodológica, encontramos pessoas como Laplace e Poisson. Essa mesma escola foi denominada de visão astronômica da natureza porque ela procurava aplicar aos fenômenos microscópicos a teoria da gravitação de Newton. Esse último havia formulado um modelo para o universo utilizando-se de grandes pedaços de matéria e de forças que atuavam entre eles. Se esse tipo de explicação foi tão bem sucedida à escala astronômica, porque não poderia ela igualmente dar conta dos fenômenos microscópicos, cujo estudo estava apenas começando?

Se a ciência era unificada, a visão astronômica da natureza deveria poder ser aplicada aos fenômenos situados na escala atômica, fornecendo, por analogia, sugestões para o estudo desses últimos. Entretanto, uma diferença importante deveria ser introduzida para que essa aplicação fosse cientificamente viável. Enquanto que a escala astronômica, todas as forças são atrativas, à escala atômica é preciso que existam forças repulsivas. A lei de Coulomb dos fenômenos eletrostáticos, expressa através de uma fórmula matematicamente semelhante à lei newtoniana da gravitação, não somente explicou como é que se dá a troca de forças repulsivas, mas também foi encarada como sendo um trunfo da aplicação da visão astronômica da natureza.

A segunda escola, cujo representante mais importante foi o matemático J. B. Fourier, considerava que esses átomos e as forças existentes entre eles não possuíam qualquer significado científico ou epistemológico. Eles não possuíam qualquer valor cognitivo porque não eram observáveis. A altitude com relação a essas diminutas partículas proposta e defendida por essa escola atingiu mesmo os limites do desprezo porque toda e qualquer consideração (física ou epistemológica) acerca desta deveria ser excluída de toda teoria científica digna de ser considerada como tal.

De maneira geral, pode-se afirmar que os debates epistemológicos sobre o átomo deixaram-se moldar por esses dois caminhos propostos pela física francesa, existiram físicos e filósofos que não se sentiram obrigados a admitir uma dessas duas concepções epistemológicas. Por exemplo, Maxwell procurou desenvolver uma via

média entre essas duas escolas. No caso desse físico escocês, pode-se dizer que o seu sucesso enquanto cientista é, em grande parte, resultado de sua capacidade de formular uma concepção epistemológica própria que lhe norteou em suas pesquisas científicas. Foi partindo daquilo que fôra afirmado por aquelas escolas que Maxwell formulou a sua própria concepção acerca daquilo que cabe à física fazer. Dessa forma, pode-se afirmar que essas duas escolas metodológicas francesas foram empregadas por praticamente toda a comunidade científica daquela época como referências para a elaboração das suas próprias análises epistemológicas.

Procuremos, agora, analisar mais pormenorizadamente quais eram as duas escolas físicas francesas do início do século passado. Como nós já o dissemos, os partidários da visão astronômica, ou molecular, da natureza criam que os métodos e as teorias de inspiração newtoniana constituíam a base da física e que essa mesma visão tornava a natureza inteligível, donde a explicava. A estratégia empregada pela escola molecular era simples pois a sua preocupação epistemológica fundamental era a de salvaguardar a física matemática dos "Approches" analíticos propostos por pessoas como Euler, Lagrange, entre outros. Para isso, os partidários da escola molecular recorriam a raciocínios marcadamente físicos, ou seja, eles não possuíam escrúpulos em elaborar modelos atômicos. Para Laplace e Poisson, por exemplo, esses raciocínios físicos deveriam ser capazes de frear a propensão excessivamente analítica, abstrata e não-física das idéias dos construtores da mecânica analítica.

O método molecular tinha como princípio básico a crença na existência de moléculas, constituídas por átomos, capazes de transmitir forças de um ponto a outro do espaço. Esse conjunto de moléculas hipotéticas e de suas forças poderia, quando tomadas conjuntamente, constituir um sistema físico a partir do qual poder-se-ia deduzir proposições físicas suscetíveis de serem confrontadas com a experiência.

A partir dessa visão molecular, Laplace conseguiu obter uma explicação para o fenômeno da capilaridade; Poisson deduziu uma hipótese geral sobre a transferência de calor. No entanto, os sucessos mais significativos dessa escola se deram no domínio da elasticidade. Entre outros cientistas que trabalharam nesse domínio, nós encontramos nomes como os de Navier, Barré de St. Venant e

Cauchy. O primeiro deles a estabelecer um fundamento coerente para os fenômenos elásticos foi Navier já que ele formulou um conjunto de equações gerais para as vibrações dos sólidos elásticos. Numa comunicação apresentada à Academia de Ciências em 1821, Navier, apoiando-se sobre a tese da constituição atômica dos corpos defendida pela escola mecânico-molecular, procurou mostrar que a elasticidade era o resultado de pequenas mudanças na configuração intramolecular daqueles sólidos. Para ele, o material elástico era composto de pontos materiais mantidos em equilíbrio por forças repulsivas e atrativas. Essas moléculas eram ligeiramente deslocadas sob a ação de uma força externa. Assim, a força entre duas moléculas submetidas à essa restrição era proporcional ao aumento da distância original. As equações do movimento foram, portanto, elaboradas em termos de deslocamentos moleculares.

Os trabalhos de Navier permitiram que a ciência da elasticidade progredisse enormemente. Ao final de 1822, Cauchy já havia praticamente estabelecido toda a teoria dos corpos elásticos. No entanto, mesmo considerando-se o sucesso científico de Cauchy, o cientista mais consistente do ponto de vista metodológico foi Poisson. Este, tomando como base o trabalho iniciado por Navier e Cauchy, analisou e resumiu as idéias mais importante desse grupo. Os resultados dessa sua atividade foram apresentados por Poisson numa comunicação lida perante à Academia de Ciências em 1828. Nessa ocasião, ele procurou valorizar a escola mecânico-molecular em contraposição à escola analítica de Lagrange e seus sucessores, na medida em que, ao lado da mecânica analítica, os geômetras deveriam elevar a mecânica física, cujo princípio único seria o de relacionar tudo às ações moleculares, à posição de um ramo bem fundamentado da física.

A segunda escola metodológica francesa, a de inspiração analítica, recebeu um forte impulso, tornando-a disseminada entre os centros de pesquisa e ensino de física da época, com a publicação, em 1822, da obra de Fourier intitulada *Teoria Analítica de Calor*. Para Fourier, o qual pode ser considerado como o representante mais importante dessa linha metodológica, o verdadeiro objetivo de uma teoria física consistia em procurar reduzir os problemas físicos a questões de análise matemática. Assim, nada mais estranho ao método hipotético-dedutivo da escola mecânico-

molecular do que essa proposta, o que explica as reações de Poisson. Enquanto esta última propunha que se determinassem as causas físicas dos fenômenos, o “*approche*” de Fourier afirmava o contrário. O interesse do autor da *Teoria Analítica do Calor* era formular as leis físicas em termos matemáticos, mas sem o emprego de hipóteses acerca da constituição dos corpos físicos. Contrariamente à escola mecânico-molecular, a física de Fourier explicava a intenção, compartilhada por outros físicos de sua época, principalmente aqueles localizados no continente, de deslocar o mecanicismo de sua posição de fundamento *a priori* de toda a ciência natural, em particular, da física.

Segundo Fourier, uma vez que a causa última do movimento não pode ser nunca conhecida, o objetivo de uma teoria física não pode ser o de determinar, mesmo que empregando a linguagem matemática, essa mesma causa, os físicos deveriam se satisfazer em descrever os efeitos observados nos fenômenos naturais. Esses mesmos efeitos podem ser “descobertos” por meio de observação daqueles fenômenos que se manifestam como resultante de leis constantes. Esse estudo constituía, pois, a finalidade de toda a filosofia natural, como apregoava Fourier.

Já que no método escolhido pela escola mecânico-molecular eram introduzidas hipóteses acerca da estrutura molecular da matéria antes do controle imposto pela experiência, nunca se poderia formular uma ciência que fosse, ao mesmo tempo, rigorosa e autêntica. Uma ciência com essas características só poderia ser obtida caso os dados experimentais fossem rigorosamente respeitados. A utilização dessas hipóteses obscurecia, em muito, aquilo que realmente pode ser determinado pela física, não mais havendo segurança e clareza nos objetivos e meios desta última. Da mesma forma que Lagrange, a bem da verdade inspirado por este último, Fourier procurou reduzir a física à análise matemática. Para fundamentar essa teoria, de início era necessário distinguir e definir precisamente as propriedades elementares que determinavam a ação do calor. Em seguida, reconhecia-se que todos os fenômenos dependentes dessa ação se resolvem num número muito pequeno de fatos gerais e simples, donde toda questão em física desse tipo pode ser relacionada a uma pesquisa de análise matemática.

Por isso, o propósito básico de Fourier era formular um ramo da análise matemática capaz de ser facilmente empregado pela física. A aplicação da análise daria à física as mesmas características possuídas por essa última. A clareza da análise matemática, quando empregada conjuntamente com a experiência, seria capaz de conferir certeza aos resultados obtidos. Uma outra característica importante existente na análise era a sua aplicabilidade ilimitada. Finalmente, ela também era capaz de dar conta, clara e distintamente, de tudo aquilo que se encontrava em seu escopo.

Como já o dissemos, o modelo que inspirou Fourier era o da mecânica analítica, ou racional. Esta última foi o primeiro ramo da física no qual a análise mostrou toda a sua potência como linguagem adequada para o estudo dos fenômenos físicos. No entanto, essa opção não significa que Fourier encarasse a mecânica racional como o modelo *a priori* para a ciência. As equações diferenciais que descrevem a transferência de calor não são menos rigorosas que as equações gerais do movimento. O criador da equação da transferência de calor sabia que, tomando-se a mecânica como uma ciência *a priori*, todo o seu trabalho para mostrar que a análise matemática poderia contribuir com melhorias substanciais para a física, ficaria irremediavelmente comprometido. A descrição da transferência de calor não se reduzia a uma descrição mecânica porque os princípios desse tipo não são aplicáveis aos fenômenos térmicos. Como é afirmado por Harman⁷, a teoria analítica do calor elaborada por Fourier possuiu importantes implicações para a física matemática, desenvolvida a partir de sua obra. Fourier, ainda segundo Harman, alargou o esquema da mecânica racional de modo a incluir o problema da propagação de calor, o que resultou num paradigma para a física matemática que não era confinado, científica e epistemologicamente, aos problemas mecânicos. Finalmente, Harman considera que o método de Fourier enfatizou a preponderância das leis matemáticas com relação a hipóteses físicas, o que resultou na ênfase da distinção entre a componente matemática e a sua

interpretação física, a qual poderia sofrer de injunções oriundas de considerações, por exemplo, metafísicas.

Segundo Fourier, procurando ressaltar a independência da teoria do calor com relação à mecânica, a análise matemática possuía uma outra característica muito importante, a saber: a sua capacidade de unificar em um mesmo quadro matemático-conceitual, os fenômenos físicos diversos. Essa capacidade de unificação conferia à análise uma dimensão epistemológica não negociável, em parte porque assim ela ocupava o lugar da mecânica como elemento unificador da ciência.

Essa unificação era feita a partir do emprego de analogias elaboradas em paralelo com o esforço de matematização dos fenômenos físicos. Diferentemente da interpretação que será conferida a essas analogias pelos físicos britânicos, a partir da década de 1830, Fourier considerava-as apenas como similaridades formais, já que elas eram originadas do emprego da análise matemática. No caso dessas analogias serem capazes de estabelecer conexões internas entre os fenômenos, isso significaria que elas possuíam um elevado valor heurístico formal. Foi justamente o poder heurístico das analogias matemáticas que seduziu os físicos de Cambridge; eles também responsáveis por um *coup de force* na epistemologia da física a partir, aproximadamente, dos anos 30 do século passado.

O primeiro a acolher favoravelmente o método proposto por Fourier foi George Green. Em 1828, ele publicou um trabalho intitulado *Ensaio sobre a aplicação da análise matemática às teorias da eletricidade e do magnetismo*. No seu prefácio, Green sublinhou a importância do seu colega francês para o desenvolvimento da física⁸. Contudo a obra do matemático francês não foi recebida da mesma maneira por todos os físicos de Cambridge. Se todos estavam de acordo no que concerne à sua relevância científica, os seus pressupostos epistemológicos foram aceitos apenas parcialmente. Maxwell e W. Thomson, por exemplo, os quais também desejavam eliminar da física as hipóteses não confirmadas pela experiência, não admitiam a tese de que as teorias

7 Conferir bibliografia.

8 Conferir Kargon, p.429.

físicas não deveriam procurar determinar as constituições dos corpos materiais. Eles, assim, recusavam a tese que propunha reduzir a física à análise matemática. Segundo eles, dever-se-ia proceder a uma utilização mais sofisticada e prudente das hipóteses moleculares, tendo-se que encontrar um conteúdo físico, oriundo da experiência, para elas. Segundo Kargon, essa necessidade pode ser parcialmente explicada pelo fato desses mesmos físicos britânicos terem crescido e educados num meio onde a industrialização desempenhou um papel preponderante na sociedade da época.

Um exemplo interessante desse papel e da influência da revolução industrial é encontrado na obra científica do engenheiro escocês William J. MacQuorne Rankine. Mesmo se o seu método era em muitos pontos similar àqueles dos físicos moleculares franceses. Rankine encarava os fenômenos naturais com os olhos de um engenheiro. Ou seja, as suas hipóteses moleculares podiam transmitir tensões e forças da mesma maneira que o concreto era capaz de fazer.

A partir do que foi afirmado no parágrafo anterior, pode-se pensar que físicos como Stokes, W. Thomson, Tait e Maxwell foram realistas quando rejeitaram o "positivismo" associado aos trabalhos de Fourier e de Comte. Mesmo assim, eles não podem ser considerados como pertencendo ao movimento inaugurado por Laplace e Poisson pois foram mais prudentes que estes últimos. Os físicos britânicos evitavam incorporar as suas teorias entidades sem estofamento empírico. Quando essa incorporação parecia ser inevitável, eles procuravam encontrar razões (físicas e/ou epistemológicas) complementares que pudessem garantir a necessidade e a importância delas.

Entre as várias tentativas britânicas feitas no intuito de se elaborar uma metodologia capaz de fornecer significação física para os átomos, aquela de autoria de Maxwell tornou-se a mais conhecida. Maxwell desenvolveu, ao final de sua vida, a sua epistemologia para a física a partir do uso que fez das analogias dinâmicas, as quais lhe permitiram discutir sofisticadamente, como o afirma Hamman, problemas relacionados às representações mecânicas e à realidade natural e à interpretação física de estruturas matemáticas como cálculo vetorial. Tudo isso porque ele era consciente de

que existia uma lacuna, completamente impossível de ser preenchida, entre as teorias científicas e a realidade natural. Entre outras razões, essa lacuna era impossível de ser preenchida porque as teorias físicas não são reproduções exatas daquilo que se passa na natureza; sendo representações dos fenômenos naturais, o que significa que o cientista não é capaz de apreender a natureza em si a partir daquilo que ele observa e/ou mede.

III - Conclusões

Num primeiro momento, comparando-se essas duas escolas metodológicas francesas da primeira metade do século XIX, pode-se afirmar que ambas foram elaboradas, em parte, tendo-se em consideração princípios epistemológicos reconhecidos como importantes, tais como: i) evitar a especulação desenfreada ou, o que é o mesmo, evitar uma mistura da metafísica com a ciência, ii) procurar encontrar uma base sólida para a pesquisa científica. Esses dois princípios que enumeramos acima, eram comuns às duas escolas. Como tivemos ocasião de discutir, muitos outros princípios distinguem uma escola da outra. No entanto, nos parece que elas podem ser diferenciadas claramente quando contrapostas à compreensão que cada uma delas tinha da matemática e do seu papel na física.

Já por aquela época, ninguém mais duvidava de que a matemática era a linguagem natural da física. Contudo, nem todos eram unânimes no que dizia respeito ao grau de sua importância. Alguns, como Laplace e Poisson, pensavam que, uma vez que a física tem como objeto a natureza, ela deve procurar determinar as razões, ou causas, físicas daquilo que é constatado experimentalmente. A natureza, conseqüentemente a física, e a matemática são qualitativamente distintas, donde a necessidade, inevitável para a física, de procurar determinar quais são os referentes naturais dos símbolos matemáticos por ela utilizados em suas teorias. Procurar determinar esses mesmos referentes, é o mesmo que formular hipóteses e elaborar modelos acerca do comportamento da natureza.

Para a escola organizada em torno da figura de Fourier, mesmo reconhecendo o fosso existente

entre a teoria e a natureza, não havia maneira de superá-lo, aproximando uma da outra. A única possibilidade que haveria para aproximar a teoria da natureza seria através do uso de hipóteses, o que era explicitamente recusado por constituir uma intromissão da metafísica na ciência natural. Além disso, não existiriam conceitos físicos (massa, força, aceleração, etc.) mais importante do que outros em função do quadro teórico a que pertencessem. Os conceitos da física são igualmente equivalentes desde que sejam capazes de ordenar, possibilitando a sua quantificação pela matemática, os fenômenos naturais.

A matemática não constituía apenas a linguagem mais apropriada para exprimir os

resultados da física, ela podia fazer mais por essa última na medida em que poderia ajudar a determinar quais os princípios epistemológicos mais adequados para aquela, na medida em que ela tornava possível que os cientistas naturais percebessem que as teorias físicas não eram tão atreladas a princípios considerados metafísicos, muitas vezes compreendidos – desempenhando o papel de fundamento, –, como capazes de fornecer significação, talvez por tornarem claro as suas origens, a muitas das idéias e das teses que compunham as teorias físicas de então. Em outras palavras, a matemática serviria como um anteparo protetor a uma invasão da ciência positiva, porque atrelada aos fatos, pela metafísica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COHEN, Isaac B. *Revolution in science*. London: The Belknap of Harvard University Press, 1985.
- FOURIER, Jean-Baptist. *La Théorie de la chaleur*. In: *Ouvrages complètes*. Organizado por G. Darboux. Paris: Gauthier-Villars, 1888.
- HARMAN, P.M. *Energy, force and matter: the conceptual development of nineteenth-century physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- KARGON, Robert. Model and analogy in victorian science: Maxwell's critique of the french physicists. *Journal of History of Ideas*, v.30, p.423-436, 1969.
- NYE, Mary Jo. The Nineteenth-century atomic debates and the dilemma of an indiferent hypothesis. *Studies in History and Philosophy of Science*, v.7, n.3, p.245-269, 1976.
- POISSON, Denis. *Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques*. *Annales de Chimie et de Physique*, v.37, p.337-355, 1828.
- STALLO, J.B. *Die Begriffe und theorien der modernen physiks*. Leipzig : J.A. Barth, 1901. 332 p.
- VIDEIRA, Antonio A.P. *Atomisme épistémologique et pluralisme théorique dans la pensée de Boltzmann*. Paris : Équipe Rehseis-Université Paris VII, 1992. 192 p. (tese de doutorado).

ANTONIO AUGUSTO PASSOS VIDEIRA é Pesquisador do Departamento de Astrofísica do Observatório Nacional (CNPq),
Rua General José Cristino, nº 77, São Cristóvão, CEP: 22921-400 – Rio de Janeiro, RJ, Brasil