



Schola quantorum: progresso, racionalidade e inconsistência na antiga teoria atômica

Parte II: crítica à leitura lakatosiana

Valter ALNIS BEZERRA



RESUMO

Neste artigo, baseando-me no panorama histórico já traçado no primeiro artigo desta série (Bezerra, 2003), procuro analisar criticamente a reconstrução da antiga teoria atômica feita por Imre Lakatos (1978) [1970], mostrando que ela se revela inadequada sob diversos aspectos. O presente texto principia por uma exposição do modelo de Lakatos, a chamada metodologia dos programas de pesquisa científica. Em seguida, são discutidos os principais problemas enfrentados pela reconstrução lakatosiana, que dizem respeito a aspectos como: o estatuto do princípio de correspondência; a omissão da condição de quantização de Sommerfeld; a omissão de vários desenvolvimentos importantes ocorridos no período 1921-1924; e o tratamento insatisfatório dado ao conceito de spin. A principal dificuldade enfrentada por uma reconstrução de tipo lakatosiano, porém, diz respeito à teoria de Bohr-Kramers-Slater da radiação (bks) e à teoria de Kramers da dispersão – as quais são praticamente ignoradas por Lakatos, mas analisadas em detalhe aqui. Em consequência de tais problemas, a própria descrição lakatosiana da “fase degenerativa” da antiga teoria atômica fica seriamente comprometida. Na conclusão do artigo, constata-se que algumas das dificuldades apontadas são de caráter historiográfico, resultando essencialmente de uma má aplicação do modelo; outras apontam para uma inadequação mais profunda do própria metodologia dos programas de pesquisa. Ao final, são discutidas as possíveis causas dessa inadequação – em particular, a concepção lakatosiana de núcleo de um programa de pesquisa, e a análise insatisfatória dos aspectos conceituais da ciência – e sugerem-se possíveis caminhos para a sua superação.

PALAVRAS-CHAVE • Antiga teoria atômica. Teoria quântica. Princípio de correspondência. Condição de quantização. Efeito Zeeman. Efeito Stark. Séries espectrais. Teoria bks. Spin. Princípio de exclusão. Inconsistência. Metodologia dos programas de pesquisa científica. Progresso científico. Racionalidade científica. Bohr. Sommerfeld. Kramers. Slater. Pauli. Lakatos.

INTRODUÇÃO

Em seu já clássico artigo “O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica” (Lakatos, 1978 [1970]), Imre Lakatos desenvolve, na seção 3, subseção (c2) do texto, um breve estudo de caso centrado na antiga teoria atômica (abreviadamente

ATA). Esta é analisada sob a perspectiva do modelo de racionalidade defendido ao longo do artigo, a chamada “metodologia dos programas de pesquisa”.¹ De acordo com Lakatos, o caso da ATA permite exemplificar diversos conceitos de seu modelo, como a “fase progressiva” e a “fase degenerativa” de um programa de pesquisa, a capacidade dos programas de pesquisa de progredirem apesar de estarem baseados em fundamentos inconsistentes, o papel desempenhado pela heurística positiva, e também a autonomia da ciência teórica em relação ao experimento. Esse estudo de caso feito por Lakatos mostrou-se bastante influente, foi frequentemente citado na literatura sobre filosofia da ciência, e ao longo dos anos estimulou o surgimento de alguns outros estudos, entre os quais podemos destacar os de Hans Radder (1982; 1991) e de Hinne Hettema (1995).

No presente texto, baseando-me no panorama histórico já traçado anteriormente no primeiro artigo desta série (Bezerra, 2003), procuro analisar criticamente a leitura lakatosiana da ATA, mostrando que ela se revela inadequada sob diversos aspectos. Os principais problemas que cercam o modelo de Lakatos, neste caso específico, dizem respeito a: (i) a ambigüidade quanto ao estatuto do princípio de correspondência; (ii) a omissão da condição de quantização de Sommerfeld; (iii) a omissão de vários desenvolvimentos importantes, especialmente aqueles ocorridos no período 1921-1924; (iv) o tratamento insatisfatório dado ao conceito de spin; e, finalmente, (v) a ausência de uma discussão substancial, por parte de Lakatos, da teoria de Bohr-Kramers-Slater da radiação e da teoria de Kramers da dispersão – justamente os episódios que trazem mais problemas para uma reconstrução de tipo lakatosiano. Tais equívocos e omissões resultam numa descrição insatisfatória da “fase degenerativa” do programa da ATA. Essas e outras questões serão discutidas nas próximas seções, sendo que, ao final, apresentaremos algumas conclusões gerais sobre a inadequação do modelo de Lakatos e algumas hipóteses sobre as causas mais profundas dessa inadequação. Antes de passar à parte crítica, porém, iremos recapitular, na próxima seção, as principais características da metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos.

1. O MODELO DE LAKATOS

Dedicaremos alguns parágrafos a uma apresentação resumida do modelo metacientífico de Lakatos. Ele elabora seu modelo em uma seqüência de etapas, começando seu trajeto como um falseacionista popperiano; porém logo fica patente em seu pensamento a separação entre o aspecto lógico e o aspecto metodológico do falseamento (Tal tese já

¹ A metodologia dos programas de pesquisa também é apresentada de forma resumida em outro texto famoso de Lakatos, “História da ciência e suas reconstruções racionais” (Lakatos, 1978 [1971], seção 1, subseção (d)).

existia em Popper, sem que este a tivesse levado, porém, às últimas conseqüências, como fez Lakatos). Lakatos inicialmente denomina seu modelo “falseacionismo metodológico sofisticado”, justamente com o propósito de salientar essas características – a sua filiação ao programa popperiano e, ao mesmo tempo, seu afastamento dele. O falseacionismo metodológico sofisticado encontra sua versão mais acabada naquilo que Lakatos denominou “metodologia dos programas de pesquisa”.²

Um programa de pesquisa é uma série de teorias: elas compartilham um “núcleo” comum – que é considerado irrefutável por uma decisão metodológica – e podem diferir com respeito à constituição do “cinturão protetor” de hipóteses auxiliares. A irrefutabilidade do núcleo é denominada por Lakatos “heurística negativa”, e as possibilidades de modificação do cinturão de hipóteses auxiliares são sugeridas pela chamada “heurística positiva” do programa. Na metodologia dos programas de pesquisa, a heurística tem um caráter fortemente *content-specific*. Isto é, cada programa possui a sua própria heurística, adequada ao seu domínio de aplicação a às suas particularidades metodológicas.³

A noção de progresso científico se torna bastante matizada em Lakatos. Segundo ele, os programas de pesquisa podem passar por fases progressivas e também por fases “degenerativas”. Basicamente, um programa de pesquisa se torna degenerativo quando perde a capacidade de antecipar fatos novos, e só consegue explicá-los *a posteriori* (e principalmente por meio de modificações *ad hoc*). Mais precisamente, Lakatos define dois tipos de progressividade: um programa de pesquisa é *teoricamente progressivo* se cada teoria nova pertencente ao programa tem um conteúdo empírico excedente em relação à sua predecessora, isto é, se ela permite predizer algum fato novo. E é *empiricamente progressivo* se parte desse conteúdo empírico é corroborado, ou seja, se cada teoria nova leva à descoberta efetiva de algum fato novo (Lakatos, 1978 [1970], p. 33-4). Num primeiro momento Lakatos define um programa de pesquisa *progressivo* como sendo aquele que é teoricamente e empiricamente progressivo, e *degenerativo* caso contrário. Porém depois ele propõe uma definição mais fraca: um programa de pesquisa é progressivo quando apresenta progressividade teórica contínua – isto é, *cada* nova teoria aumenta o conteúdo empírico – mas a progressividade empírica pode se dar de maneira intermitente – ou seja, *de vez em quando* se constata, retrospectivamente, que o conteúdo empírico foi corroborado: não se exige que *cada* passo teórico novo produza imediata-

² Pode-se imaginar que a elaboração da metodologia dos programas de pesquisa em sucessivas etapas tenha sido pensada por Lakatos como constituindo, ela própria, uma ilustração do conceito de programa de pesquisa entendido como uma série de teorias.

³ Isto contrasta com o pensamento usual sobre a heurística, que visa a elaboração de sistemas ou estratégias gerais de busca, aprendizagem ou solução de problemas.

mente um novo fato corroborado (1978 [1970], p. 49). Em resumo, diz Lakatos, um programa de pesquisa está progredindo quando seu crescimento teórico antecipa seu crescimento empírico, e está degenerando ou estagnando quando o crescimento teórico fica a reboque do crescimento empírico (1978 [1971], p. 112).

Essa definição de progressividade tem duas conseqüências importantes, percebidas por Lakatos. Em primeiro lugar, o falseamento não é necessário nem suficiente para impulsionar a dinâmica da ciência. Não é suficiente porque um programa de pesquisa não é considerado refutado (isto é, não é descartado), a despeito da existência de n anomalias, enquanto não se dispuser de um programa melhor. E não é necessário porque um programa pode ser progressivo (segundo a definição lakatosiana de progresso) sem que sua evolução tenha que ser entremeada por refutações (Lakatos, 1978 [1970], p. 36). Em segundo lugar, um programa de pesquisa pode progredir mesmo quando confrontado com “anomalias”. A heurística negativa protege o núcleo contra a ação falseadora das anomalias e permite que a heurística positiva atue reconstruindo o cinturão de hipóteses auxiliares de modo a tornar o programa consistentemente progressivo a nível teórico, e acenando com a possibilidade de um posterior progresso a nível empírico. Ou seja, se a heurística do programa for capaz de sustentar um progresso teórico contínuo, o programa pode temporariamente fazer vista grossa a certos fatos anômalos, com base na esperança de que o progresso empírico venha a ser retomado mais adiante.

Essa possibilidade de um desenvolvimento parcialmente independente dos êxitos ou fracassos empíricos permite a Lakatos defender a tese de uma “relativa autonomia da ciência teórica”, uma vez que a escolha de problemas para investigação, por parte dos cientistas ligados a um programa de pesquisa, é determinada mais pela heurística positiva do programa do que pelas anomalias existentes (1978 [1970], p. 52; 1978 [1971], p. 111). Em certa medida, o foco da progressividade se desloca do teste experimental para o trabalho teórico. O progresso fica associado mais com a *antecipação teórica* do que com a *adequação empírica*.

Cabe fazer aqui uma referência aos vários sentidos de *ad hoc* empregados pelos lakatosianos, visto tratar-se de um conceito importante para caracterizar a degenerescência dos programas de pesquisa. Uma teoria é *ad hoc*₁ se não possui excesso de conteúdo sobre suas predecessoras ou competidoras, isto é, se não prediz fatos novos; e é *ad hoc*₂ se prediz fatos novos mas as predições são refutadas, ou seja, se nada do seu excesso de conteúdo é corroborado (Lakatos, 1978 [1970], p. 88, n. 1; 1978 [1971], p. 112, n. 2).⁴

⁴ Na edição brasileira de Lakatos (1978) [1970], a passagem referida aparece com duas linhas omitidas, chamando assim de *ad hoc*₁ aquilo que é na realidade *ad hoc*₂.

Finalmente, temos a situação que Lakatos denomina *ad hoc*₃. Lakatos aplica inicialmente esse rótulo à teoria que não é *ad hoc*₁, nem *ad hoc*₂, mas que representa um “falso progresso”, resultado da sucessiva agregação arbitrária de hipóteses, resultando numa série de teorias desconectadas entre si (Lakatos 1978 [1970], p. 88, n. 2). Posteriormente, Lakatos define como *ad hoc*₃ a teoria que é obtida de sua predecessora por uma modificação nas hipóteses auxiliares que não está de acordo com a heurística do programa (Lakatos, 1978 [1971], p. 112, n. 2). A cada tipo de *ad hoc* está associada uma correspondente proibição de que as hipóteses formuladas sejam *ad hoc* naquele sentido.

Raramente se dá o caso de um programa de pesquisa deter o monopólio de uma determinada área de pesquisa. Em vez disso, segundo Lakatos, a pluralidade é a regra. Além disso, somente se pode abandonar um programa de pesquisa quando ele possuir pelo menos um rival. A idéia de uma multiplicidade de programas de pesquisa em constante competição leva à pergunta: quais são os critérios objetivos para a eliminação racional de programas de pesquisa? A resposta é que existe fundamento racional ou objetivo para o abandono de um programa de pesquisa quando um programa rival explica o êxito anterior deste e demonstra possuir maior *força heurística* (“força heurística” seria a capacidade de um programa de pesquisa de antecipar teoricamente fatos novos no seu desenvolvimento) (Lakatos, 1978 [1970], p. 69; cf. também Lakatos, 1978 [1971], p. 112).

Os julgamentos dos cientistas quanto ao poder heurístico ou à progressividade de um programa de pesquisa podem, porém, ser incorretos. Um programa pode atravessar seus maus momentos ainda que, a longo prazo, olhado retrospectivamente, ele possa vir a ser caracterizado como progressivo. E, segundo Lakatos, é racional manter a adesão a um programa mesmo quando ele parece estar estagnando em meio a anomalias na esperança de uma mudança para melhor no futuro (1978 [1970], p. 70-2). Também, a derrubada e substituição de programas de pesquisa não se dá devido a “experimentos cruciais” (se com essa expressão se entendem experimentos capazes de derrubar instantânea e incontestavelmente um programa). Um experimento só poderá vir a ser considerado “crucial” numa visão retrospectiva, se se constatar que ele propiciou uma corroboração poderosa ao programa tido como vitorioso e *nunca* foi explicado “progressivamente” pelo programa derrotado. Inversamente, a longo prazo, uma aparente derrota do programa pode se converter numa vitória, e um experimento aparentemente “crucial” pode deixar de merecer esse título, se o programa inicialmente derrotado se revelar posteriormente capaz de explicar o resultado daquele experimento (Lakatos, 1978 [1970], p. 72, 86). Dessas teses, Lakatos extrai como conclusão a tese do “fim da racionalidade instantânea”, isto é, a tese de que a racionalidade das escolhas científicas só pode ser apreciada retrospectivamente, ao se considerar a evolução e o desempenho (a progressividade) dos programas de pesquisa durante um intervalo dilatado de tempo (1978 [1970], p. 68, 87).

É fácil ver que, com teses tais como o progresso empírico intermitente, o caráter não refutador das anomalias, a autonomia da ciência teórica e o fim da racionalidade instantânea, a imagem de progresso e racionalidade científica que resulta do modelo de Lakatos é bem mais complexa do que aquelas que o precederam. E também podemos apreciar como, a despeito de suas raízes popperianas, Lakatos acaba por se afastar profundamente das idéias de seu mestre.⁵

2. O NÚCLEO DO PROGRAMA DE PESQUISA DA ATA

Para Lakatos, é o conjunto de postulados do núcleo que caracteriza ou individua um programa de pesquisa. Recapitulando o que já foi exposto previamente no artigo anterior desta série (cf. Bezerra, 2003, seção 1), segundo Lakatos o núcleo do programa de Bohr (1913)⁶ consiste em cinco postulados que, para maior conveniência, repetimos aqui:

B1. A energia irradiada não é emitida (ou absorvida) da maneira contínua admitida pela eletrodinâmica clássica, mas apenas durante a passagem dos sistemas de um estado “estacionário” para outro diferente.

B2. O equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, não se verificando estas leis nas transições dos sistemas entre diferentes estados estacionários.

B3. É homogênea a radiação emitida durante a transição do sistema de um estado estacionário para outro, e a relação entre a frequência ν e a quantidade total de energia emitida é dada por $E = h\nu$, sendo h a constante de Planck.

B4. Os diferentes estados estacionários de um sistema simples constituído por um elétron que gira ao redor de um núcleo positivo são determinados pela condição de ser igual a um múltiplo inteiro de $h/2\pi$ a razão entre a energia total emitida durante a formação da configuração e a frequência de revolução do elétron. Admitindo que a órbita do elétron seja circular,

⁵ Alguns comentários críticos ao modelo lakatosiano serão apresentados na conclusão deste artigo.

⁶ Existem várias edições da trilogia de Bohr. Ela foi publicada originalmente na *Philosophical Magazine* (Bohr, 1913), estando reproduzida em fac-símile no volume 2 dos *Collected works* (Bohr, 1981, p. 159-233). Porém a versão de mais fácil acesso para a maioria dos leitores há de ser, certamente, a tradução portuguesa publicada pela Fundação C. Gulbenkian em um volume, com uma introdução de L. Rosenfeld (Bohr, 1979 [1913]). Cabe lembrar que a parte I da trilogia de Bohr também foi incluída na antologia organizada por Ter Haar (ed., 1967, p. 132-59), edição que será aqui referida como (Bohr, 1967 [1913]).

essa hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo seja igual a um múltiplo inteiro de $h/2\pi$.

B₅. O estado “permanente” de um sistema atômico – isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima – é determinado pela condição de ser igual a $h/2\pi$ o momento angular de cada elétron em torno do centro da sua órbita.

Lembremos que, pela heurística negativa dos programas de pesquisa, o abandono de um ou mais desses postulados implica o abandono automático do programa como um todo. Hans Radder (1982, p. 102) considera não apenas o programa inicial de Bohr, mas o programa da ATA como um todo, e dá uma formulação significativamente diferente para o núcleo, principalmente pelo fato de incluir a condição de quantização de Sommerfeld, como se vê a seguir:

R₁. A emissão e a absorção de radiação ocorrem somente no caso de transições entre estados (ou órbitas) estacionários discretos, em marcado contraste com a situação clássica, que requer uma emissão e uma absorção contínuas.

R₂. A regra das frequências de Bohr, que relaciona a diferença de energia entre dois estados estacionários quaisquer com a frequência da luz emitida ou absorvida num processo de transição de um desses estados para o outro.

R₃. A forma e a energia de todos os estados estacionários potenciais podem ser calculadas por meio da mecânica clássica.

R₄. As condições de quantização de Sommerfeld permitem selecionar os estados quânticos ‘permitidos’ dentre os estados classicamente possíveis.

R₅. Existe um estado fundamental (o estado ‘permanente’) que possui a menor energia possível.

Será que um núcleo lakatosiano pode ser considerado como equivalente a uma *axiomatização* de um programa de pesquisa, no sentido forte do termo? Na forma pela qual os lakatosianos apresentam em geral os núcleos, a resposta é não. Em particular, mesmo se não considerarmos o inevitável “cinturão protetor” de hipóteses auxiliares, é evidente que {R₁-R₅} não constituem um conjunto *completo* de postulados teóricos para a pesquisa, e {B₁-B₅} menos ainda. Creio, porém, que isso pode ser creditado a uma pressa circunstancial da parte de Lakatos, não a alguma limitação intrínseca da sua metodologia. Nada parece excluir, em princípio, da metodologia dos programas de pesquisa a possibilidade de impor uma condição de completude axiomática dos núcleos dos programas, caso isso se mostre conveniente para um estudo analítico mais refinado.

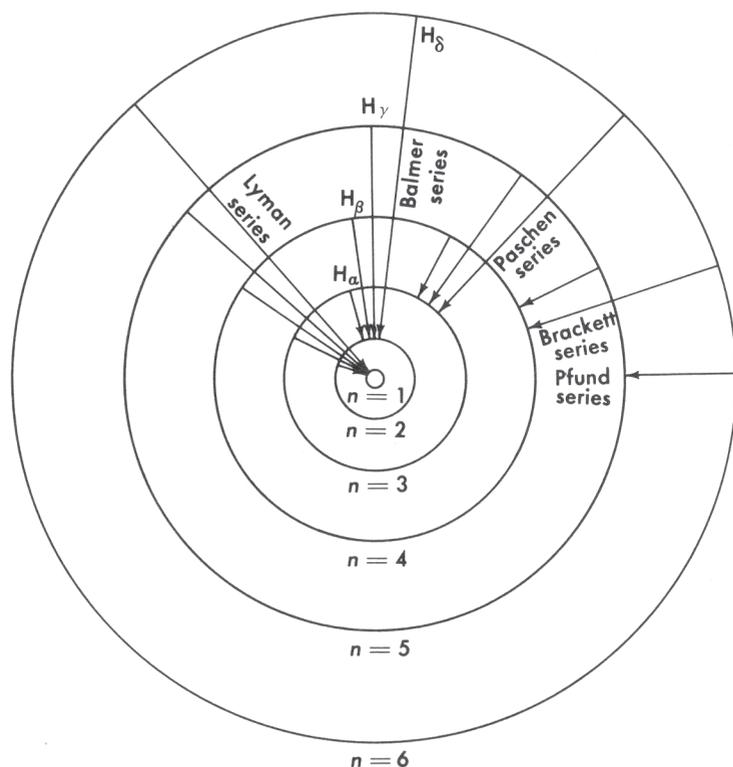


Figura 1. Esquema das órbitas correspondentes aos estados permitidos no modelo planetário de Bohr, mostrando algumas das transições que originam as séries espectrais do hidrogênio.

Como sabemos, existem inconsistências entre a eletrodinâmica clássica e (B₁) ou (R₁) e também entre a eletrodinâmica e (B₃) ou (R₂), além de inconsistências entre a mecânica clássica e (B₄) ou (R₄) (para uma discussão, ver Bezerra, 2003, seção 2). Ao que parece, tanto a mecânica quanto a eletrodinâmica são teorias externas ao programa da ATA (senão por outra razão, no mínimo devido ao fato de que elas são historicamente muito anteriores). Por que dar-se ao trabalho de identificar uma inconsistência assim “externa”, atribuindo a tal inconsistência uma importância não-trivial? Porque a teoria externa, neste caso, desempenha um papel central e indispensável no desenvolvimento teórico e na derivação de predições. Por isso a inconsistência fica imediatamente em destaque. Logo, ou a *eletrodinâmica clássica também faz parte do núcleo do programa* ou, o que não parece muito lakatosiano, o programa está inserido em alguma superestrutura mais geral, alguma “tradição de pesquisa” que contém as teorias auxiliares pressupostas pela pesquisa (e que não deveriam ser confundidas com as hipóteses auxiliares que formam o “cinturão protetor” do programa). Por um raciocínio análogo, somos obrigados a admitir que, de alguma maneira, a *mecânica clássica deve fazer parte do programa da ATA*. Do contrário, nem sequer haveria inconsistência, ou a inconsistência seria pouco relevante. Radder adverte para este mesmo ponto (1982, p. 102, n. 7): seria mais correto dizer que o programa da ATA é, *ele mesmo*, inconsistente, do que dizer que ele é inconsistente *com* a eletrodinâmica.⁷

3. O ESTATUTO DA CONDIÇÃO DE QUANTIZAÇÃO E OUTRAS OMISSÕES LAKATOSIANAS

A condição de quantização de Sommerfeld-Wilson-Ishiwara,⁸ pelo seu caráter extremamente geral e pelo papel imensamente importante que desempenhou no desenvolvimento da ATA, não poderia deixar de ser incluída no núcleo do programa. Porém Lakatos nem sequer a menciona em sua reconstrução do programa da ATA (embora faça referência, entre os desenvolvimentos do programa, ao modelo elíptico-relativístico de Sommerfeld [Lakatos, 1978 [1970], p. 63-4]). O argumento de que essa omissão aconteceu porque Lakatos desejava considerar apenas o programa *de Bohr* não se sustenta, uma vez que o que ele acaba por fazer é considerar também os desenvolvimentos devidos a outros autores. Efetivamente, ele se propõe a olhar para o programa da ATA *como um todo*, e não apenas para o programa de Bohr. A injustiça é reparada por Radder, que inclui a condição de quantização no núcleo do programa (item R₄ na seção anterior).

Sabemos que, na medida em que é o conjunto de postulados do núcleo que determina a identidade de um programa de pesquisa, segue-se que a *rejeição* de algum dos postulados do núcleo implica *a fortiori* o abandono do programa como um todo. E quanto à *adição* de postulados? Evidentemente, no período 1913-1915, a condição de quantização ainda não fazia parte do núcleo do programa da ATA. Se admitimos que os núcleos {B₁-B₅} (de Bohr) e {R₁-R₅} (da ATA segundo Radder) pertencem, ambos, de algum modo, ao *mesmo* programa, como parece razoável, somos então obrigados a admitir que a condição de quantização *passou a fazer parte* do núcleo do programa por volta de 1915. Conseqüentemente, para que o modelo de Lakatos não tenha problemas com a individuação do programa, ele não pode proibir a *generalização* de postulados constituintes do próprio núcleo do programa.

A ausência de qualquer menção a um elemento de importância tão fundamental como a condição de quantização constitui uma das omissões mais sérias da reconstrução lakatosiana. Porém há outras omissões importantes que devem ser notadas. Primeiro, o experimento de Franck-Hertz, que forneceu apoio à tese da quantização da energia,⁹ é ignorado. Em segundo lugar, o importante episódio do elemento 72 (o Háfnio)¹⁰ não é mencionado, bem como as tentativas iniciais de explicar o sistema

7 Uma possibilidade interessante a considerar é que o tipo de relação existente entre o “núcleo” do programa de pesquisa da ATA, por um lado, e a eletrodinâmica e a mecânica clássicas, por outro, possa ser descrito por um conceito como o de “*link* interteórico” da concepção estrutural de teorias. (Agradeço ao Prof. Pablo Lorenzano por me chamar a atenção para este ponto.) Maiores comentários sobre a concepção estrutural serão feitos na conclusão deste artigo.

8 Ver Bezerra (2003), seção 4.

9 Bezerra (2003), seção 1.

10 Bezerra (2003), seção 6.

periódico. Além disso, o sofisticado modelo vetorial e de “caroço” (*core*) do átomo, de Landé,¹¹ que permitiu fazer predições importantes e ainda forneceu o pano de fundo para a introdução do spin, é mencionado apenas de passagem, laconicamente, como sendo *ad hoc*. Quanto à teoria de Bohr-Kramers-Slater,¹² se ela recebe alguma referência, isso é feito completamente fora do contexto da discussão da ATA (cf. Lakatos, 1978 [1970], p. 40, 81-4) e, finalmente, a teoria de Kramers da dispersão¹³ é solenemente ignorada.

Será que tais omissões podem ser simplesmente creditadas ao fato de que Lakatos alega “não desejar dar uma descrição elaborada do desenvolvimento do programa de Bohr”? (Lakatos, 1978 [1970], p. 67). Creio que essa justificativa não é suficiente. Os diversos desenvolvimentos listados acima são sumamente importantes, e não poderiam ser ignorados nem mesmo em uma apresentação sumária. Mais do que isso, é interessante notar que vários desses desenvolvimentos pertencem ao período 1922-1924 e, portanto, em termos cronológicos, haveriam de ser incluídos precisamente naquela fase que Lakatos originalmente rotulou como a “fase degenerativa” da ATA. Isso faz pensar que *a consideração de tais avanços muito provavelmente poderia levar a alterar drasticamente os julgamentos de progressividade e degenerescência de um lakatosiano com respeito ao programa da ATA.*

4. A PROGRESSIVIDADE E A AUTONOMIA DAS TEORIAS

Acerca do modelo relativístico de Sommerfeld, o parecer de Lakatos é o seguinte:

A passagem para este novo modelo relativístico requereu habilidade e talento matemáticos muito maiores do que o desenvolvimento dos primeiros modelos. A realização de Sommerfeld foi essencialmente matemática (Lakatos, 1978 [1970], p. 64).

Um diagnóstico semelhante é expresso por H. Hettema:

Exceto pela formulação da condição de quantização, as adaptações [*amendments*] de Sommerfeld utilizavam técnicas matemáticas já existentes para descrever o

¹¹ Bezerra (2003), seção 6.

¹² Bezerra (2003), seção 7.

¹³ Bezerra (2003), seção 8.

sistema mecânico do núcleo atômico rodeado por elétrons, como as formulações lagrangiana e hamiltoniana da mecânica. Num olhar retrospectivo, pode-se argumentar que, uma vez que o mecanismo para quantizar as órbitas ganhou aceitação (com a teoria de Bohr), o caminho para um desenvolvimento mais elaborado estava mais ou menos desimpedido: muitos problemas podiam ser abordados valendo-se da maquinaria analítica mais avançada desenvolvida na mecânica. Isto, com todo o respeito pelas realizações de Sommerfeld, foi o que ele fez (Hettinger, 1995, p. 316).

Ambas as análises vão ao encontro das teses lakatosianas no sentido de que: (a) a dinâmica dos programas de pesquisa é, em grande medida, independente tanto de “refutações” como de “corroborações” experimentais (Lakatos, 1978 [1970], p. 36); (b) as dificuldades teóricas mais importantes nascem principalmente das *dificuldades matemáticas* do programa, mais do que das anomalias (1978 [1970], p. 52). Porém esse veredito sobre Sommerfeld não me parece inteiramente justo. Ao contrário, as múltiplas realizações de Sommerfeld – compiladas em seu clássico *Atombau und Spektrallinien* (*Atomic structure and spectral lines*) (Sommerfeld, 1928; 1931) – parecem indicar que *é precisamente com ele que o programa da ATA atinge a sua maturidade*.¹⁴

Ainda com relação ao tema da “autonomia” da ATA em relação ao experimento, é interessante lembrar que Lakatos afirma, com respeito ao primeiro modelo de Bohr:

Na verdade, o problema de Bohr não era explicar as séries de Balmer e Paschen, mas sim explicar a paradoxal estabilidade do átomo de Rutherford. Além do mais, Bohr sequer havia ouvido falar dessas fórmulas antes de escrever a primeira versão de seu artigo (Lakatos, 1978 [1970], p. 62),

tendo feito, pouco antes, uma conjectura radical, a saber, que:

¹⁴ Como observamos no artigo anterior (Bezerra, 2003), esta obra de Sommerfeld recebeu diversas edições, cada uma incorporando substanciais revisões e modificações, num esforço para acompanhar os rápidos desenvolvimentos que ocorriam na física atômica nos anos 20. A sucessão de reedições e traduções atesta a popularidade deste texto meticuloso e abrangente, e é bem possível que muitos físicos do período tenham se familiarizado com a nova física em suas páginas. As edições em inglês que consultamos, Sommerfeld (1928) e Sommerfeld (1931), foram traduzidas respectivamente da terceira edição alemã, de 1922, e da quinta edição alemã, de 1931. É interessante notar que a edição inglesa de 1928 possui apenas um volume, limitado à Antiga Teoria Quântica, ao passo que a edição de 1931 já se compõe de dois volumes, o primeiro dedicado à Antiga Teoria Quântica e o segundo dedicado à nova mecânica ondulatória.

[...] a vertente especulativa da ciência, levada adiante pelas especulações arrojadas de Planck, Rutherford, Einstein e Bohr, teria produzido os resultados de Balmer dedutivamente, como enunciados testáveis de suas teorias, sem o chamado ‘pioneirismo’ de Balmer (1978 [1970], p. 61).

A primeira destas afirmações carece de fundamento, uma vez que no modelo de Bohr *a estabilidade continua sem ser explicada*, já que é introduzida como um postulado – que inclusive está, como vimos, na raiz da inconsistência com a eletrodinâmica clássica (cf. Hetteima, 1995, p. 312). A segunda afirmação é difícil de avaliar, uma vez que o modelo de Lakatos não nos oferece nenhum modo de avaliar objetivamente a probabilidade de concretização de uma “história possível” contrafactual.¹⁵ De qualquer modo, uma das primeiras questões efetivamente atacadas por Bohr em sua trilogia (Bohr, 1913) é precisamente a derivação de fórmulas para as séries espectrais (cf. Hetteima, 1995, p. 313-4). Teremos mais a dizer sobre o poder da heurística positiva e a autonomia da teoria, no contexto da teoria de Bohr-Kramers-Slater e da teoria de Kramers da dispersão.

5. O ESTATUTO DO PRINCÍPIO DE CORRESPONDÊNCIA

O princípio de correspondência assume, segundo a reconstrução lakatosiana, um estatuto ambíguo, aspecto que foi notado também por Radder (1982, p. 104-5). Com efeito, Lakatos afirma, por um lado, que o princípio de correspondência era um estratégia *ad hoc* que visava esconder o “enxerto” de dois programas a rigor inconsistentes entre si (1978 [1970], p. 56), um “mecanismo de defesa” que visava adiar a formulação unificada e consistente (1978 [1970], p. 58). Por outro lado, Lakatos também afirma que o princípio “era uma idéia básica na heurística positiva de Bohr” (1978 [1970], p. 61, n. 2) e que:

funcionava como um importante princípio heurístico que sugeria muitas hipóteses científicas novas, as quais, por sua vez, levavam a novos fatos, especialmente na área da intensidade das linhas espectrais (Lakatos, 1978 [1970], p. 58).

¹⁵ Sobre uma proposta para tratar objetivamente as histórias contrafactuais, no contexto dos chamados “modelos causais” de história da ciência, ver Pessoa Júnior (2000; 2001).

Ora, o princípio não poderia, por definição, possuir esse duplo estatuto – ser *ad hoc* e ao mesmo tempo pertencer à heurística positiva, ou, colocando de outra forma, ser *ad hoc* e ao mesmo tempo levar à predição de fatos novos! Além disso, um exame dos trabalhos originais da época simplesmente não autoriza a suposição de que o princípio tenha sido usado alguma vez como estratégia de defesa *ad hoc*. Como se mostra na seção 3 do primeiro artigo desta série (Bezerra, 2003), o princípio de correspondência já fora empregado com destaque logo na primeira parte da trilogia pioneira de Bohr (1913). E, nas etapas seguintes do programa (especialmente a partir de Bohr, 1918),¹⁶ a sua importância só viria a aumentar. Visto que o princípio de correspondência desempenhou efetivamente, e de maneira intensa, o papel de guia na prospecção de novas equações quânticas a partir da mecânica clássica, o que acontece ainda mais dramaticamente no caso da mecânica matricial, não parece haver bases para entendê-lo como um estratégia *ad hoc*. É conceitualmente mais correto sustentar que *o princípio de correspondência pertencia somente, e desde o início, à heurística positiva do programa.*

Radder comenta que

Lakatos aqui ignora completamente a contínua e *crescente* importância do princípio de correspondência (para a teoria BKS, a teoria da dispersão de Kramers e a mecânica matricial), e os fatos novos que vieram à luz por meio da sua aplicação (1982, p. 104),

observando também que, a partir da teoria de Bohr-Kramers-Slater, o princípio de correspondência

tomou mais e mais o lugar das condições quânticas [...] em vez de ocultar a inconsistência da teoria de Bohr, o princípio de correspondência levou a uma revisão drástica no uso da teoria clássica dentro do programa de Bohr, a saber, uma restrição ao seu próprio domínio de aplicação (1982, p. 105).

Esta sentença está de acordo com nossa tese de que o princípio de correspondência pertence à heurística positiva do programa – até mesmo na fase da teoria BKS.

¹⁶ Existem algumas edições desse artigo de Bohr. Publicado originalmente numa revista científica dinamarquesa (Bohr, 1918), ele está reproduzido em fac-símile no volume 3 dos *Collected works* (Bohr, 1976, p. 65-184). A introdução e a parte I foram reeditadas na coletânea organizada por Van der Waerden (ed., 1967, p. 95-137), edição que provavelmente será de obtenção mais fácil para a maioria dos leitores, e que indicaremos por (Bohr, 1967 [1918]).

6. A VERSÃO DE LAKATOS PARA A FASE “DEGENERATIVA” DA ATA

A descrição de Lakatos da fase final da ATA (que ele qualifica como “degenerativa”) é breve – talvez breve demais. Segundo ele, hipóteses e explicações *ad hoc* se multiplicaram e não eram substituíveis por explicações que trouxessem genuíno aumento de conteúdo. Lakatos inclui entre estas a teoria de Bohr dos espectros de banda moleculares e as explicações dos espectros complexos dos átomos alcalinos, dadas por Landé em 1923, e, através do conceito de spin, por Uhlenbeck e Goudsmit em 1925. Na realidade, para Lakatos,

[o] programa ficou atrás da descoberta de ‘fatos’. Anomalias não-digeridas alagavam o campo. Com cada vez mais inconsistências e cada vez mais hipóteses *ad hoc*, a fase degenerativa do programa se estabeleceu: ele começou para usar uma das frases favoritas de Popper a ‘perder o seu caráter empírico’. Também não se podia sequer esperar que muitos problemas, como a teoria das perturbações, pudessem ser solucionados dentro dele (1978 [1970], p. 68).

Além disso, segundo Lakatos, com o trabalho de De Broglie em 1924 e Schrödinger em 1925, a ATA passou a ter um rival com grande poder heurístico: a mecânica ondulatória. Então “a mecânica ondulatória logo alcançou, superou a substituiu o programa de Bohr” (Lakatos, 1978 [1970], p. 68). É não pouco surpreendente, para qualquer um que esteja moderadamente informado sobre a história da mecânica quântica (doravante abreviada como MQ), que Lakatos não faça qualquer referência à mecânica matricial de Born, Heisenberg e Jordan. (A omissão da mecânica matricial também foi salientada repetidamente por Radder, 1982, p. 99, 102, 105.) Note-se também que Lakatos se refere à mecânica ondulatória (de De Broglie e Schrödinger) como constituindo uma *concorrente direta* da ATA, uma vez que teria podido *sobrepujá-la*.

Também, como já observamos na seção 3, as referências a uma teoria importante como BKS são feitas apenas em passagens já completamente fora do contexto da discussão sobre a ATA. Naquela mesma seção, listamos várias outras omissões importantes cometidas por Lakatos, e sugerimos que tais omissões, tomadas em conjunto, podem ter o efeito de distorcer as avaliações de progressividade e degenerescência feitas pela metodologia de Lakatos acerca do programa da ATA. A partir daí, podemos mesmo ser levados a questionar se *existiu*, de fato, uma fase degenerativa na antiga teoria atômica – ou se, ao contrário, a substituição da ATA pela moderna MQ não se deveu fundamentalmente a uma insatisfação e uma controvérsia no nível *conceitual*, mais do que empírico.

7. A TEORIA BKS E SUA SUPOSTA INCLUSÃO NA “FASE DEGENERATIVA”

Dentro de uma visão lakatosiana, devido ao momento em que surgiram a teoria de Bohr-Kramers-Slater da radiação e a teoria de Kramers da dispersão (i.e. ambas em 1924),¹⁷ elas já não poderiam pertencer mais à fase progressiva do programa da ATA. Quando muito elas pertenceriam à “fase degenerativa” do programa (isto é, se não estiverem totalmente excluídas dela – possibilidade que será considerada na próxima seção deste texto – e supondo que se possa falar em uma “fase degenerativa”). Lakatos, em uma passagem de seu texto (1978 [1970], seção 2, subseção (c) – isolada, portanto, da discussão principal sobre a ATA), considera a teoria BKS como *ad hoc*, e assim implicitamente tende a incluí-la dentro da “fase degenerativa”. Lakatos escreve:

Um belo exemplo de teoria que satisfazia somente a primeira parte do critério de Popper de progresso (conteúdo excedente), mas não a segunda parte (conteúdo excedente corroborado), foi dada pelo próprio Popper: a teoria de Bohr-Kramers-Slater de 1924. Essa teoria foi refutada em *todas* as suas novas previsões (1978 [1970], p. 40).

E, em nota na mesma página, Lakatos conclui: “Na terminologia de meu [texto “Changes in the problem of inductive logic”], essa teoria não era ‘*ad hoc*₁’, mas era ‘*ad hoc*₂’” (1978 [1970], p. 40, n. 2).

A outra menção de Lakatos (1978) [1970] à teoria BKS está na subseção (d3) da seção 3, durante a discussão do episódio do decaimento *b*, com a hipótese de Pauli do neutrino e a teoria de Fermi das interações fracas. Porém essa referência está completamente desconectada da discussão principal da ATA feita na subseção (c2). Além do mais, trata-se, aqui, meramente de uma evocação *post mortem* de uma teoria já “descartada” ou “refutada” (1978 [1970], p. 84), sob a perspectiva de um momento na história posicionado há uma década de distância. Lakatos se dá ao trabalho de referir a teoria BKS apenas na medida em que ela antecipava o conceito de uma conservação não exata da energia e do momento, que faria parte do debate teórico nos anos 30.¹⁸ Embora Lakatos

¹⁷ Sobre a teoria de Bohr-Kramers-Slater, ver Bezerra (2003), seção 7. A teoria foi exposta originalmente em Bohr; Kramers & Slater, 1967 [1924]. Sobre a teoria de Kramers, ver Bezerra (2003), seção 8. A teoria foi exposta originalmente em Kramers, 1967a [1924a] e 1967b [1924b].

¹⁸ Nos anos 30, o problema do decaimento *b* aparentemente colocava os físicos diante da perspectiva de ter que abandonar a lei de conservação da energia. Pauli adotou a posição de se apegar às leis de conservação, propondo a existência de uma partícula até então não observada (e que só seria observada mais tarde), o neutrino. O neutrino permitiria reestabelecer o balanço energético nos processos nucleares.

chame a teoria BKS de “fascinante”, a sua avaliação geral é que “essa teoria (ou melhor, ‘programa’) foi imediatamente ‘refutada’ e nenhuma das suas conseqüências foi corroborada” (1978 [1970], p. 82).

Pode-se, porém, levantar objeções contra uma caracterização nesses termos. Consideremos em primeiro lugar a questão da base empírica da teoria BKS. Com relação a essa teoria, Mehra e Rechenberg observam que:

[os] autores [de BKS] estavam plenamente cientes do fato de que *até então não existiam testes empíricos dos dois pressupostos*, a saber, a conservação estatística de energia e momento e a independência estatística dos processos de radiação em átomos distantes. Entretanto, eles afirmavam que a sua nova teoria da radiação *não contradizia nenhuma informação disponível* (1982b, p. 549; grifos meus).¹⁹

Com efeito, Bohr, Kramers e Slater afirmavam, na verdade, que “sem qualquer abandono da teoria eletromagnética da luz, no que respeita às leis de propagação da radiação no espaço vazio”, parece

realmente possível [...] estabelecer uma descrição consistente e bastante completa dos fenômenos ópticos gerais que acompanham a propagação da luz através de um meio material, [descrição essa] que dá conta, ao mesmo tempo, da conexão íntima desses fenômenos com os espectros dos átomos do meio (Bohr; Kramers & Slater, 1967 [1924], p. 167, 168).

Já com respeito à teoria de Kramers da dispersão, lembram Mehra e Rechenberg que:

a equação de dispersão de Kramers, *embora carecesse de confirmação experimental até então* [i.e. 1924], foi considerada pela maioria dos físicos quânticos como um avanço importante (1982b, p. 642; grifo meu).

Essas constatações contribuem para colocar em dúvida a caracterização lakatosiana. A pergunta que se pode colocar é: será que, em vista da ausência de testes empíricos independentes para a teoria BKS e para a teoria de Kramers em 1924, é justo atribuir a elas um caráter *ad hoc* e, portanto, degenerativo? Não parece correto caracterizá-las assim. Na realidade, pode-se perguntar se não se trata, ao contrário, de uma genuína *progressividade* a nível teórico. Também Radder reluta em qualificar essa fase

¹⁹ Ou seja, em termos lakatosianos, BKS seria em princípio *ad hoc*, em relação à ATA.

como “degenerativa”, e invoca a própria noção de “progressividade intermitente” de Lakatos (i.e. um programa de pesquisa, para ser progressivo, precisa ser constantemente progressivo a nível teórico, mas pode ser apenas intermitentemente progressivo a nível empírico).²⁰ Conforme escreve Radder:

o programa de Bohr estava certamente progredindo no período em questão [i.e. 1923-1925] porque previu fatos novos que foram ‘intermitentemente’ verificados experimentalmente. Pois a teoria BKS já previra um fato novo, a saber, o caráter estatístico das leis de conservação de energia e momento. Embora a previsão nova desta teoria não tenha sido corroborada pelo experimento, sua sucessora, a teoria de Kramers da dispersão, previu fatos novos *com sucesso* [...]: a ocorrência da dispersão negativa (indiretamente verificada pela mecânica matricial de Heisenberg) e a dispersão incoerente da luz por átomos (verificada experimentalmente por Raman, em 1928). Que esses fatos novos não foram de maneira alguma subprodutos ‘acidentais’ da pesquisa científica, fica aparente pela coerência do desenvolvimento histórico e em particular pela maneira sistemática pela qual o princípio de correspondência estava sendo aplicado (1982, p. 106).

E em uma nota de rodapé Radder resume a situação de modo sucinto: “Assim, as hipóteses em questão não eram *ad hoc*” (1982, p. 106, n. 25).

Mehra e Rechenberg também julgam que:

O progresso obtido desde o início de 1924 na teoria da dispersão abriu um novo período frutífero da teoria atômica. Um grande número de problemas envolvendo a interação da matéria com a radiação agora se tornava acessível a uma descrição quântica. O âmbito de tais problemas se estendia desde a intensidade das linhas espectrais de átomos e moléculas com ou sem campos elétricos e magnéticos até as perdas de energia de partículas carregadas em sua passagem através da matéria. Repentinamente os físicos quânticos viam por toda parte fenômenos atômicos, que pareciam estar relacionados com fenômenos de dispersão, aos quais poderiam ser aplicados os mesmos métodos teóricos que ao espalhamento de luz pelos átomos (1982b, p. 643-644).

Isso parece efetivamente a descrição de um alto grau de “poder heurístico”, por parte da própria teoria de Kramers, na solução de problemas. Em particular,

²⁰ Cf. a seção 1 acima.

em 1924, depois que Kramers estabelecera a fórmula quântica aperfeiçoada da dispersão, o problema de calcular as intensidades das linhas espectrais poderia ser atacado com novas esperanças (1982b, p. 646).

A conclusão a que se chega – pressupondo que tanto BKS como Kramers pertençam ao programa da ATA – é que, no que tange à progressividade, a maneira mais correta de entender as teorias BKS e de Kramers é que ambas constituem um momento *progressivo* do programa – e não degenerativo, como decorreria da caracterização de Lakatos – constituindo ainda, de quebra, um exemplo da própria tese lakatosiana da “autonomia da ciência teórica”.

De qualquer modo, ainda que o veredito lakatosiano original citado no início desta seção (i.e. BKS = degenerativa e *ad hoc*) seja revisto nos moldes descritos acima, uma caracterização lakatosiana do episódio ainda nos parece ser irremediavelmente incompleta. Isso porque o modelo de Lakatos não consegue dar conta do fato de que, independentemente do grau de êxito empírico que tenha sido alcançado pela teoria BKS e pela teoria de Kramers, a teoria BKS, apesar de ter sido rapidamente refutada, representou um significativo *progresso genuinamente conceitual*. Em última análise – e apesar do discurso lakatosiano sobre a “autonomia da ciência teórica” – o progresso científico tem em Lakatos um caráter essencialmente *empírico*. As suas avaliações de progressividade têm a ver com o conteúdo empírico. O progresso teórico somente se torna um progresso efetivo quando acompanhado pela corroboração empírica. O modelo lakatosiano não prevê a possibilidade de processos mais sutis e menos óbvios dentro da dinâmica do conhecimento científico. Por exemplo, não se prevê a possibilidade de uma teoria ser *refutada* e ainda assim ser *conceitualmente fecunda* e influenciar outras teorias; não se leva em conta a possibilidade que uma teoria possa *inspirar* poderosamente os teóricos mesmo depois de ter sido refutada. E, como vimos, foi exatamente algo desse tipo que se deu com a teoria BKS: a sua influência se fez sentir em mais de um aspecto da MQ moderna. É principalmente por essa razão que parece difícil, senão impossível, interpretar o caso da teoria BKS dentro de uma perspectiva lakatosiana.²¹

O quadro lakatosiano parece insuficiente para nos permitir chegar a um veredito tal como aquele expresso por Max Jammer, com o qual tendemos a concordar:

É difícil encontrar, na história da física, uma teoria que tenha sido refutada tão cedo após ser proposta, e contudo seja tão importante para o desenvolvimento

²¹ Sobre o caráter excessivamente empírico e insuficientemente conceitual do modelo de Lakatos falaremos mais na conclusão deste trabalho.

subseqüente do pensamento físico, como a teoria de Bohr, Kramers e Slater. Deve-se entender que ela não era importante pelo seu conteúdo físico específico, mas sim devido à sua abordagem radicalmente nova. Ao interpretar a emissão espontânea de Einstein²² como um processo “induzido pelo campo virtual de radiação” e as transições induzidas de Einstein como ocorrendo “em decorrência da radiação virtual, devida aos outros átomos, no espaço circundante”,²³ ela pavimentou o caminho para a subseqüente concepção quântica de probabilidade como sendo algo dotado de realidade física, e não meramente como uma categoria matemática de raciocínio.²⁴ Também importante do ponto de vista epistemológico era a própria noção de osciladores harmônicos “virtuais”. Pois ela constituía um dos primeiros exemplos de “alguma espécie intermediária de realidade”, uma concepção que, durante algum tempo, parece ter desempenhado um papel não desprezível em algumas partes. Pois, como Heisenberg colocou mais tarde,²⁵ quando gradualmente foi ficando claro que “soluções baratas” não poderiam conduzir a uma compreensão abrangente da teoria quântica, mas que era preciso pagar um alto preço, a “idéia de ter tais espécies intermediárias de realidade era precisamente o preço que era preciso pagar”. Relacionada com isso está também a tese de Heisenberg de que a idéia de um átomo como conjunto de osciladores ou, como Landé certa vez o chamou, “uma orquestra virtual”, “preparou o caminho para a idéia posterior de que o coletivo de osciladores nada mais é do que uma matriz”.

De qualquer modo, o artigo de Bohr-Kramers-Slater foi, indiscutivelmente, instrumental no desenvolvimento da mecânica quântica, em vista do fato de que ele tornou possível estabelecer uma teoria da dispersão que oferecia uma nova abordagem ao problema fundamental da interação entre matéria e radiação (Jammer, 1966, p. 187).

Assim, conclui-se que o modelo de Lakatos é insuficiente para nos ajudar a compreender a espécie mais sutil e mais profunda de progressividade teórica que está envolvida no caso de uma teoria (a teoria *vk*s) que, apesar de ter sido logo falseada pelos

²² Jammer refere-se aqui a Einstein, 1967 [1917].

²³ Citação de Bohr; Kramers & Slater, 1967 [1924], p. 165.

²⁴ Em nota, Jammer cita uma entrevista com Heisenberg no *Archive for the History of Quantum Physics* e comenta que, “de acordo com Heisenberg, a interpretação estatística de Born da função de onda de Schrödinger tem suas raízes, em última análise, no artigo de Bohr-Kramers-Slater” (Jammer, 1966, p. 187, n. 137).

²⁵ Em nota, Jammer comenta: “Por sinal, seria interessante investigar até que ponto essa idéia de um ‘mecanismo espaço-temporal’ de osciladores ‘virtuais’ – uma idéia que pode ser rastreada até os ‘elétrons de substituição’ (‘Ersatzelektronen’) de Ladenburg – pode ser considerada uma precursora da concepção, recentemente [i.e. em 1966] tão controversa, de ‘parâmetros ocultos’” (Jammer, 1966, p. 187, n. 138).

experimentos, e cedo substituída por um novo “programa de pesquisa”, ainda assim teve uma importância crucial na elaboração dos esquemas conceituais e interpretativos da nova MQ.

8. O ESTATUTO DA TEORIA BKS EM RELAÇÃO À ATA

Os problemas com uma leitura lakatosiana da teoria BKS, porém, não param por aí. Uma questão importante que pode ser colocada é: qual o estatuto da teoria BKS? Ela pertence ainda ao programa da ATA? Em termos lakatosianos, uma resposta a essa pergunta depende da resposta que se dê à seguinte pergunta: *a teoria BKS ainda compartilha do núcleo do programa da ATA?* Vejamos qual seria o estatuto do núcleo na fase dita “degenerativa” do programa da ATA, i.e. de 1923 em diante. Radder se faz também essa pergunta (1982, p. 105), e a sua resposta é que *o programa de pesquisa de Bohr não poderia estar degenerando de, digamos, 1923 em diante, precisamente porque em 1923 ele já havia sido rejeitado, pelos padrões de Lakatos, pois a convenção de irrefutabilidade do núcleo havia sido quebrada*. Como observa Radder, haviam sido abandonados os postulados (R3) e (R4) do núcleo: (R3) teria sido substituído pelo modelo atômico do “campo virtual”, enquanto o princípio de correspondência teria tomado mais e mais o lugar de (R4) (Radder, 1982, p. 105).²⁶ Cabe notar que a teoria BKS parece excluir também (R1). Como o abandono de postulados do núcleo significa, para Lakatos, o abandono do próprio programa, dentro de uma leitura lakatosiana somos levados a concluir que *o par de teorias BKS + Kramers já não constitui uma etapa do programa da ATA (nem mesmo uma etapa “degenerativa”), mas sim um programa de pesquisa autônomo, sucessor da ATA (e antecessor da moderna MQ)*.

Note-se, a propósito, que tais modificações no núcleo do programa da ATA estariam ocorrendo num momento em que a mecânica ondulatória ainda não existia enquanto programa rival estabelecido (visto que ela surgiria posteriormente). Assim, teríamos aqui uma situação em que *um programa de pesquisa foi abandonado sem a presença de um programa rival naquele momento*. Como observa Radder, “a efetiva rejeição de importantes postulados do núcleo do programa, *sem* a presença de um programa rival, contradiz o pluralismo da metodologia de Lakatos” (1982, p. 107).

Porém devemos notar que, por outro lado, a ATA, a teoria BKS e a mecânica matricial parecem constituir um exemplo de *continuidade* entre etapas sucessivas da pesquisa. Radder imagina que Lakatos deveria admitir que: (i) parte da heurística positiva do

²⁶ Alguém poderia entender que é mais correto dizer que (R4) foi tendo sua utilização diminuída do que dizer que foi abandonado.

programa quântico antigo (o princípio de correspondência) foi mantida,²⁷ mas (ii) a heurística negativa (núcleo) foi derogada, primeiro parcialmente no modelo de Bohr-Kramers-Slater e, depois, completamente, na nova MQ (a qual não admite interpretação em termos de modelos pictórico-mecânicos de qualquer espécie, pelo menos segundo as interpretações anti-realistas predominantes). Segundo Radder, (ii) já bastaria para que Lakatos fosse forçado, pelas exigências do seu próprio modelo, a excluir BKS do programa da ATA. Mas Radder prossegue: em vista de (i), percebe-se que deve estar em jogo também algum tipo de continuidade entre programas de pesquisa. Assim, dizer que o programa de Bohr foi *eliminado* em favor de um rival “parece ser uma caracterização bastante inadequada, se não enganosa, da transição da antiga para a nova mecânica” (1982, p. 107). Logo, podemos completar: se existe uma continuidade entre a ATA e a mecânica matricial, muito mais continuidade deve haver entre a ATA e BKS!

Além disso, se atentarmos para os pronunciamentos de Slater citados por Mehra e Rechenberg, reproduzidos anteriormente, notaremos que os osciladores virtuais estão sujeitos a uma condição *que pressupõe a teoria de Bohr*: com efeito, os osciladores virtuais devem estar constantemente emitindo radiação *nas frequências correspondentes a transições permitidas pelo modelo de Bohr*. Dessa forma, embora Radder sustente que o postulado (R3) – ou (B2) – do núcleo tenha sido *abandonado*, o mecanismo de Slater não poderia sequer ser definido se isso acontecesse. De resto, a continuidade entre Bohr-Sommerfeld e BKS é enfatizada pelos próprios autores: segundo eles, o trabalho BKS:

pode, sob vários aspectos, ser considerado como um suplemento à primeira parte de um tratado recente de Bohr,²⁸ lidando com os princípios da teoria quântica, no qual vários problemas abordados aqui são tratados de maneira mais completa (Bohr; Kramers & Slater, 1967 [1924], p. 160).

Assim, em resumo, é preciso dar conta de uma certa continuidade importante que existe na seqüência ATA–BKS–MQ, onde BKS pressupõe a ATA e antecipa elementos da MQ.

Então, podemos perguntar: *onde* se inclui a teoria BKS (bem como a teoria de Kramers)? Recapitulando alguns pontos que já vimos (Bezerra, 2003, seções 7 e 8; e no presente texto, a presente seção e a anterior):

²⁷ Notemos que, desse modo, não haveria uma “incomensurabilidade” no sentido forte, uma vez que há importantes elementos comuns que permanecem.

²⁸ Em nota de rodapé no original, eles esclarecem que estão se referindo a Bohr (1924).

1. À primeira vista, como nota Radder, “parece [...] bastante plausível supor que, do ponto de vista de Lakatos, [BKS] pertence ao programa degenerativo de Bohr (onde mais?)” (1982, p. 106). A teoria BKS se situa, ao menos *cronologicamente*, dentro da fase do programa da ATA que Lakatos considera degenerativa: as explicações *ad hoc* (sempre de acordo com a conceituação de Lakatos) já existiam em 1924.
2. Porém essa caracterização de BKS como sendo degenerativa é difícil de sustentar. Embora BKS tenha sido, ela mesma, rapidamente refutada, ela deu origem a uma teoria bem-sucedida (a teoria de Kramers da dispersão); além disso, do seu arcabouço conceitual emergiram conceitos (o campo de probabilidade elicitando transições, o *ensemble* de osciladores virtuais) que desempenhariam um papel importante no desenvolvimento conceitual da nova MQ.
3. Estaria então a teoria BKS incluída na fase progressiva do programa da ATA? Essa posição também é difícil de sustentar, devido à noção bastante estrita de individuação de programas de pesquisa que existe em Lakatos. A rigor, segundo os critérios lakatosianos, BKS já não mais se inclui no programa da ATA, uma vez que abandonou o núcleo original do programa. A teoria BKS teria que constituir, então, um programa de pesquisa independente.
4. Excluir BKS do programa da ATA parece ser, porém, uma solução que joga fora o bebê junto com a água do banho. Mesmo reconhecendo que o modelo de campo virtual apresenta diferenças essenciais em relação ao modelo planetário de Rutherford-Bohr-Sommerfeld, é preciso levar em conta o fato de que persiste um grau considerável de *continuidade* entre ATA e BKS que não pode ser ignorado. Tanto uma como outra incorporam o princípio de correspondência, e além disso o modelo de campo virtual *pressupõe* o modelo de órbitas planetárias num sentido preciso.

Após considerar essas várias possibilidades e as dificuldades que acompanham cada uma delas, a conclusão a que somos levados é que, *numa leitura lakatosiana*, não há como incorporar, de maneira natural, as teorias de Bohr-Kramers-Slater e de Kramers dentro do programa da ATA.²⁹

²⁹ Analogamente ao que ocorria na seção 2, também aqui vale a pena considerar a possibilidade de que as relações da teoria BKS com a teoria de Bohr-Sommerfeld, por um lado, e com a moderna mecânica quântica, por outro, possam ser capturadas por meio da noção de “*link* interteórico” da concepção estrutural de teorias. Sobre a concepção estrutural, ver a conclusão deste artigo.

9. A HIPÓTESE DO SPIN

O estatuto da hipótese do spin é mais complexo do que pode parecer. Lakatos faz comentários extremamente sucintos acerca do surgimento da idéia do spin, escrevendo:

[...] Então veio o problema de alguns dubletos inexplicados nos espectros dos álcalis. [...] Goudsmit e Uhlenbeck [os explicaram] em 1925 através do spin do elétron. [...] Se a explicação de Landé era *ad hoc*, a de Goudsmit e Uhlenbeck era também inconsistente com a teoria da relatividade restrita: os pontos da superfície do elétron extenso teriam que se mover mais rápido que a luz, e o elétron teria que ser até mesmo maior que o átomo todo. Era preciso coragem considerável para propô-lo. (Kronig teve a idéia antes mas se absteve de publicá-la porque pensou que era inadmissível.) (Lakatos, 1978 [1970], p. 67-68).

Mesmo se nos restringirmos à origem do spin e seu papel na ATA, parece que o relato sumário de Lakatos não faz justiça aos acontecimentos.

A proposta inicial de Pauli do quarto número quântico era efetivamente *ad hoc*₃, isto é, não fora originada pela heurística positiva do programa da ATA. Porém não era *ad hoc*₁, pois apresentava um conteúdo empírico superior às alternativas existentes. E, para complicar o quadro, *tratava-se de uma hipótese que não era heurísticamente estável: pelo contrário, ela própria tinha “poder heurístico”*, e sua aceitação por parte dos físicos incentivou uma considerável quantidade de pesquisa. Já as interpretações de Kronig e de Uhlenbeck e Goudsmit que, embora criticáveis, marcam o momento em que *um conceito* de spin foi efetivamente proposto não seriam, evidentemente, *ad hoc em relação à própria proposta de Pauli*, pois constituíam um legítimo desenvolvimento teórico daquela. Além disso, o conceito de spin foi, como se sabe, *incorporado no quadro conceitual da nova MQ*. Na verdade, *foi um dos poucos itens da ATA que receberam essa distinção* (outro seria o princípio de correspondência). Finalmente, a dificuldade que cercava a questão de que interpretação se deveria dar ao spin, um conceito reconhecido como indispensável, foi um dos indicadores efetivos do tipo de “beco sem saída” fundamental em que a ATA havia sido apanhada. Mais correto, portanto, do que dizer que o episódio do spin foi um momento degenerativo da ATA seria dizer que, a partir desse momento, a ATA teve o seu potencial enquanto programa de pesquisa colocado em questão precisamente por não conseguir dar conta daquilo que poderíamos qualificar como um “*fato teórico*” relevante gerado por ela mesma.

10. CONCLUSÃO: SOBRE A INADEQUAÇÃO DO MODELO DE LAKATOS

O que parece claro após um exame da leitura lakatosiana da ATA é que *o modelo de Lakatos, ainda que epistemologicamente sugestivo, encontra sérias dificuldades quando se trata de implementá-lo na prática, num estudo de caso histórico*. Vamos agora procurar recapitular e integrar os principais aspectos dessa crítica. As questões levantadas podem ser divididas em dois grupos. Em primeiro lugar, temos um conjunto de questões que dizem respeito a equívocos pontuais cometidos por Lakatos em sua reconstrução histórica. Trata-se de problemas na aplicação do seu modelo de racionalidade a este caso histórico particular. Eles poderiam ser descritos como erros *historiográficos*:

1. Lakatos não inclui no núcleo do programa da ATA a condição de quantização de Sommerfeld-Wilson-Ishiwara, em termos de integrais de fase, o que constitui uma omissão bastante séria (seção 3 do presente texto). Lakatos também minimiza, injustamente, a importância das contribuições de Sommerfeld (seção 4 deste texto).
2. O estatuto do princípio de correspondência permanece ambíguo: trata-se de núcleo do programa, de heurística positiva, ou de hipótese *ad hoc*? Em particular, a sua função heurística não é discutida em termos precisos, nem se faz uma comparação do seu *modus operandi* em diferentes épocas (seção 5).
3. Lakatos não inclui na seqüência de modelos gerados pela heurística positiva diversos desenvolvimentos importantes da ATA, como o modelo vetorial e de “caroço” magnético de Landé-Sommerfeld, as explicações para os efeitos Zeeman, Stark e Zeeman anômalo, os modelos explicativos para o sistema periódico, e a predição do Háfnio, entre outros (seção 3).
4. Lakatos não faz uma análise justa do conceito de spin e do lugar que ele ocupou, quer na fase final do programa da ATA, quer na nova MQ (seção 9).
5. Em consequência de (1) e (2), a descrição lakatosiana da “fase progressiva” da ATA resulta incompleta. Em decorrência de (3) e (4), a descrição da “fase degenerativa” da ATA resulta bastante discutível.

Esses equívocos lakatosianos, embora possam *sugerir* uma inadequação da metodologia dos programas de pesquisa, não bastam para estabelecer de forma definitiva tal inadequação. Porém também encontramos um segundo conjunto de questões que apontam para um problema mais grave – uma limitação ou inadequação *da própria metodologia dos programas de pesquisa*:

6. Lakatos não discute o estatuto da teoria de Bohr-Kramers-Slater e da teoria de Kramers. Na realidade, o modelo lakatosiano não oferece condições para se fazer uma análise coerente e encontrar um lugar apropriado para essas teorias *dentro* do programa da ATA (seções 7 e 8).
7. Por outro lado, caso as duas teorias sejam entendidas como estando *fora* do programa da ATA, o modelo tampouco permite entender a relação desta, seja com a teoria de Bohr-Sommerfeld, seja com a nova mecânica quântica (seções 7 e 8).
8. Cabe lembrar que os pontos (6) e (7) também contribuem para tornar a descrição lakatosiana da “fase degenerativa” da ATA ainda mais problemática.

Finalmente, há que se destacar dois problemas que estão na origem de (6) e (7) e que se colocam como *problemas intrínsecos de fundamentação* da teoria lakatosiana.

9. A metodologia dos programas de pesquisa possui um caráter essencialmente *empírico*, e não dá conta dos aspectos de *fecundidade conceitual* (seção 7) nem da importância (às vezes decisiva) das *controvérsias conceituais* (seção 6).
10. A definição de núcleo de um programa de pesquisa é excessivamente rígida, impedindo capturar certos tipos importantes de articulação teórica que ultrapassam a convenção de imutabilidade do núcleo, porém, ao mesmo tempo, ainda não deveriam ser caracterizadas como um abandono do programa (seção 8).

Por todas essas razões, poderíamos acompanhar Radder que, em suas considerações finais, descreve a situação do modelo lakatosiano da seguinte maneira:

[...] é impossível dar uma reconstrução racional lakatosiana da fase final do programa de pesquisa de Bohr e, conseqüentemente, da transição para a nova teoria quântica. De acordo com as definições de Lakatos [...] estamos lidando com um caso em que os cientistas agiram de maneira irracional. Assim, o caso constitui uma ‘anomalia’ no contexto da metodologia dos programas de pesquisa científica (1982, p. 107).

Estamos fundamentalmente de acordo com essa caracterização. Esperamos ter apresentado, ao longo deste trabalho, evidências suficientemente cogentes em apoio à tese de que o caso da antiga teoria atômica representa uma séria *anomalia historiográfica* para o modelo de ciência de Lakatos.

Quais seriam as raízes mais profundas dessa inadequação do modelo de Lakatos? Creio que se pode começar a buscar uma resposta olhando nas direções apontadas pelos itens (9) e (10) acima. Em primeiro lugar, como já mencionamos, Lakatos não consegue dar conta da existência de *problemas conceituais* genuínos (i.e. problemas referentes à articulação interna da teoria ou programa de pesquisa), diferentemente do que logra fazer, por exemplo, Larry Laudan em seu modelo de estrutura e dinâmica da ciência em termos de solução de problemas (1977). Pode-se objetar que os “problemas teóricos” de Lakatos são, na realidade, *problemas empíricos disfarçados*. Um programa de pesquisa, recordemos, é “teoricamente progressivo” se exhibe um aumento de conteúdo empírico, isto é, se prediz fatos novos. Na verdade, as duas únicas passagens em que Lakatos parece falar sobre problemas especificamente conceituais são as seguintes: (i) “as verdadeiras dificuldades surgem, para o cientista teórico, mais das *dificuldades matemáticas* do programa do que de anomalias” (1978 [1970], p. 52); (ii) “a consistência – no sentido forte do termo – deve permanecer um *importante princípio regulador* (acima e além dos requisitos para transferência progressiva de problemas); e as inconsistências (incluindo anomalias) *devem ser vistas como problemas*” (1978 [1970], p. 58).³⁰ Ora, nesse caso, as dificuldades conceituais acabariam sendo reduzidas, no fundo, a dificuldades de ordem apenas *matemática e lógica*. Isso parece muito pouco em comparação com o amplo espectro de problemas conceituais que se sabe surgir efetivamente na ciência. O “conceitual” é significativamente mais rico do que o “matemático”, não podendo ser reduzido a este. Não parece haver, no progresso teórico lakatosiano, espaço para se considerar como sendo genuinamente progressivos passos tais como: uma reformulação da estrutura da teoria de modo a torná-la mais compacta ou “elegante”; ou uma unificação de duas ou mais teorias em uma única estrutura conceitual; ou ainda uma redução no número dos parâmetros da teoria que precisam ser fixados *a priori* – isto é, resolução de dificuldades *puramente conceituais*, mas nem por isso menos importantes, e cuja resolução não afeta de nenhuma maneira óbvia, direta, o conteúdo empírico. Finalmente, o conceito lakatosiano de progresso – vinculado que está a questões de retenção do conteúdo empírico – não consegue capturar a idéia de um desenvolvimento teórico que venha a se revelar conceitualmente inspirador para as teorias posteriores, ainda que as suas próprias conseqüências empíricas não tenham sido corroboradas.³¹ Podemos concluir, portanto, que a chamada “autonomia da ciência teórica” de Lakatos é insuficientemente “autônoma” para descrever a ciência.

³⁰ A tradução brasileira traz “compatibilidade” em vez de “consistência”.

³¹ Também para Laudan (1977, p. 76-7) a noção lakatosiana de “progresso” tem, no fundo, caráter essencialmente empírico e não conceitual. O progresso lakatosiano, segundo Laudan, é exclusivamente uma função do crescimento empírico. As únicas modificações progressivas de uma teoria (aperfeiçoamentos conceituais) seriam aquelas que ampliam a validade de suas afirmações empíricas.

Outra causa da inadequação do modelo lakatosiano tem a ver com a *individualização* e a *especificação* das unidades epistêmicas, em particular os programas de pesquisa. O modelo lakatosiano possui uma rigidez de estrutura que acaba constituindo uma fonte de dificuldades para ele mesmo. Em primeiro lugar, essa rigidez se manifesta na caracterização do núcleo de um programa de pesquisa. A ocorrência de qualquer modificação nos postulados do núcleo obriga necessariamente a passar a falar em termos de um programa de pesquisa *diferente* do inicial. Assim, qualquer revisão da heurística negativa nos coloca o problema de ter que explicar uma *transição* entre dois programas de pesquisa. Além disso, qualquer omissão cometida no momento de caracterizar a classe de postulados do núcleo acabará causando problemas de análise mais adiante. Em segundo lugar, pressupõe-se a existência de uma *demarcação* demasiado rígida entre os postulados do núcleo e as hipóteses que constituem a heurística positiva. Desse modo, qualquer ambigüidade encontrada ao se descrever essas duas classes de elementos (por exemplo, a existência de uma hipótese cuja função não pode ser facilmente enquadrada em uma classe à exclusão da outra) acarreta um problema de aplicabilidade do modelo. Finalmente, o modelo de Lakatos pressupõe uma distinção demasiado nítida entre a fase progressiva e a fase degenerativa da evolução de um programa de pesquisa. (Embora Lakatos fale sobre o fim da “racionalidade instantânea” e sobre a possibilidade de um programa progredir mesmo quando confrontado com anomalias, o seu modelo está construído de tal modo que depende da existência de uma distinção entre progressivo e degenerativo. Se tal distinção for realmente dissolvida, o modelo perde sua funcionalidade.) E, como vimos, a questão da progressividade por oposição à degenerescência é mais ambígua do que Lakatos parece supor – principalmente se levarmos em conta a dimensão *conceitual* do desenvolvimento científico. Em suma, é como se o historiador que procura utilizar o modelo de Lakatos tivesse que desperdiçar energia preenchendo certas condições estruturais restritivas, sem poder avançar na análise da dinâmica científica enquanto tais minúcias não fossem esclarecidas.³²

32 É importante evitar um mal-entendido que poderia surgir neste ponto. Não estou, aqui, menosprezando a importância da análise estrutural, em absoluto. Pelo contrário, em geral sou um entusiasta dela. Creio que o estudo axiomático e a análise de caráter estrutural podem trazer para a filosofia da ciência uma precisão que é muito necessária, e assim contribuir sobremaneira para o esclarecimento de questões metodológicas, epistemológicas e de fundamentos teóricos. Há, porém, estruturas e estruturas, por assim dizer. Há as filigranas estruturais que são férteis, estimulando a análise filosófica, aumentando o seu alcance, e permitindo uma análise mais fina; e há também aquelas que atuam como restrições ou obstáculos, dificultando o andamento da análise. A história da filosofia da ciência no século XX nos apresenta exemplos dos dois tipos. É importante perceber quando os aspectos estruturais recaem no segundo tipo e, nesse caso, não lhes atribuir excessiva importância. Como indiquei acima, creio que há elementos do modelo de Lakatos que pertencem ao segundo tipo.

Talvez uma caracterização mais adequada das relações entre o “núcleo” e o restante do sistema possa ser conseguida empregando, em vez da convenção de invariância do núcleo, uma noção de “semelhança de família” entre as sucessivas etapas do programa de pesquisa. Tal noção talvez permitisse capturar a idéia que, no fundo, se deseja expressar, i.e. em que sentido as teorias pertencentes a um mesmo programa de pesquisa são “parecidas”, e em que sentido são “diferentes”.³³ Cabe lembrar que algo desse tipo parece ter sido conseguido, num sentido preciso, por um programa metacientífico totalmente desvinculado do projeto lakatosiano, a chamada *concepção estrutural* (ou “estruturalista”) de teorias científicas, desenvolvida por J. D. Sneed, C. U. Moulines, W. Balzer e W. Stegmüller. Esta linha de análise se vale de conceitos como os de *elemento teórico*, *relação de especialização* e *link interteórico* para descrever estruturas complexas e ricas como *redes teóricas*, *evoluções teóricas* e *marcos teóricos* na linguagem da teoria de conjuntos e teoria de modelos.³⁴ Uma apresentação da concepção estrutural não seria possível aqui; o que posso fazer é indicar, para um primeiro contato com essa abordagem, algumas referências pinçadas dentre a vasta bibliografia existente: o recente (e excelente) artigo de revisão de Díez & Lorenzano (2002), que possui uma boa bibliografia; o mais antigo, porém magistral, livro de Moulines (1982); e a principal obra de referência do enfoque estruturalista, o texto de Balzer; Moulines & Sneed (1987).³⁵

Cabe conjecturar, enfim, se um modelo de racionalidade menos restritivo que o de Lakatos no plano estrutural e mais rico sob o ponto de vista da taxonomia das unidades epistêmicas poderia se libertar dessas limitações e contribuir para esclarecer as questões que me parecem realmente centrais, a saber: o processo de transformação dos *conceitos e estruturas* da ciência, a questão da racionalidade das *escolhas* científicas (i.e. determinar quando uma dada escolha está *racionalmente justificada*), e os mecanismos de resolução racional das *controvérsias* científicas.³⁶ ☞

³³ Agradeço ao Prof. Osvaldo Pessoa Jr. por me chamar a atenção para esse ponto.

³⁴ Agradeço ao Prof. Pablo Lorenzano por me lembrar do conceito de *link* interteórico e da estrutura mais flexível que é o marco teórico.

³⁵ A propósito, a concepção estrutural parece-me justamente representar o primeiro dos tipos de pesquisa estrutural mencionados anteriormente na nota 32 – i.e. a análise estrutural que é fértil e produtiva.

³⁶ Acredito que vale a pena investigar se uma leitura desse tipo poderia ser feita com a utilização do modelo reticulado de racionalidade científica de Larry Laudan (1984). Um estudo nesse sentido deve ficar para uma futura terceira parte deste trabalho.

AGRADECIMENTOS • Sou grato aos colegas do Projeto Temático “Estudos de Filosofia e História da Ciência” do Departamento de Filosofia da FFLCH-USP, em cujo seminário versões preliminares das partes I e II deste trabalho foram discutidas. Agradeço especialmente aos Professores Michel Paty (REHSEIS) e Osvaldo Pessoa Jr. (FFLCH-USP) pelos comentários detalhados, e ao Prof. Pablo Lorenzano (Quilmes) por comentários relativos à concepção estrutural. Isso certamente não implica que eles necessariamente concordem com tudo o que afirmei aqui. Sou grato também ao Prof. Walter Pontuschka (IFUSP) pela assistência com a bibliografia. Uma versão resumida do material exposto nas partes I e II foi apresentada no III Simpósio Internacional *Principia*, em Florianópolis, SC, 8-11 de setembro de 2003. Finalmente, cabe registrar que a pesquisa aqui descrita foi financiada por uma bolsa de pós-doutoramento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Valter ALNIS BEZERRA

Pesquisador do Projeto Temático

“Estudos de filosofia e história da ciência” da FAPESP,

pós-doutorando do Departamento de Filosofia

da Universidade de São Paulo.

bezerra@usp.br

ABSTRACT

In this paper, taking as a starting point the historical panorama sketched in the first article of this series (Bezerra, 2003), I undertake a critical analysis of the reconstruction of the early atomic theory performed by Imre Lakatos (1970), and show it to be inadequate in several respects. The present text begins by an exposition of Lakatos’ model, the so-called methodology of scientific research programmes. The main problems confronting the Lakatosian reconstruction are then discussed, referring to aspects such as: the status of the correspondence principle; the omission of Sommerfeld’s quantization condition; the omission of various important developments occurred in the period 1921-1924; and the unsatisfactory treatment given to the concept of spin. The main difficulty confronting a reconstruction of Lakatosian type, however, refers to the Bohr-Kramers-Slater theory of radiation (bks) and to Kramers’ theory of dispersion – which are mostly ignored by Lakatos, but are discussed here in detail. As a result of such problems, the Lakatosian account of the “degenerating phase” of the early atomic theory is itself seriously called into question. In the closing section of the paper, one is led to conclude that some of the difficulties are of a historiographical nature, resulting basically from a bad application of the model; others, however, point to a deeper inadequacy of the methodology of research programmes itself. Towards the end, the possible causes of such inadequacy are discussed – including, in particular, the Lakatosian concept of the hard core of a research program, and the unsatisfactory analysis of the conceptual aspects of science – and possible paths for their overcoming are suggested.

KEYWORDS • Old atomic theory. Quantum theory. Correspondence principle. Quantization condition. Zeeman effect. Stark effect. Spectral series. bks theory. Spin. Exclusion principle. Inconsistency. Methodology of scientific research programmes. Scientific progress. Scientific rationality. Bohr. Sommerfeld. Kramers. Slater. Pauli. Lakatos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALZER, W.; MOULINES, C. U. & SNEED, J. D. *An architectonic for science: the structuralist program*. Dordrecht, D. Reidel, 1987.
- BEZERRA, V. A. *Schola quantorum: progresso, racionalidade e inconsistência na antiga teoria atômica*. Parte I: desenvolvimento histórico, 1913-1925. *Scientiae Studia*, 1, 4, p. 463-517, 2003.
- BOHR, N. On the constitution of atoms and molecules. *Philosophical Magazine*, 26, p. 1-25, 476-502, 857-75, 1913. Fac-símile in: _____. *Collected works*. Amsterdam, North-Holland, 1981 [1913]. p. 159-233. v. 2: Work on atomic physics (1912-1917).
- _____. On the constitution of atoms and molecules. Part I. In: TER HAAR, D. (Ed.). *The old quantum theory*. Oxford, Pergamon, 1967 [1913]. p. 132-59.
- _____. *Sobre a constituição de átomos e moléculas*. Introd. de L. Rosenfeld. Trad. de E. Namorado. Lisboa, Gulbenkian, 1979 [1913].
- _____. On the quantum theory of line-spectra. *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Skrifter. Naturvidenskabelig og Matematisk Afdeling (København)*, 8. Række, 4, 1, p. 1-118, 1918. Fac-símile in: _____. *Collected works*. Amsterdam, North-Holland, 1976 [1918]. p. 65-184. v. 3: The correspondence principle (1918-1923).
- _____. On the quantum theory of line-spectra. Introduction and part I. In: VAN DER WAERDEN, B. L. (Ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam, North-Holland, 1967 [1918]. p. 95-137.
- _____. On the application of the quantum theory to atomic structure. Part I: the fundamental postulates of the quantum theory. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Supplement*, 1924. Fac-símile in: _____. *Collected works*. Amsterdam, North-Holland, 1976 [1924]. p. 457-500. v. 3: The correspondence principle (1918-1923).
- _____. *Collected works*. Ed. de U. Hoyer. Amsterdam, North-Holland, 1981. v. 2: Work on atomic physics (1912-1917).
- _____. Ed. de J. R. Nielsen. Amsterdam, North-Holland, 1976. v. 3: The correspondence principle (1918-1923).
- BOHR, N.; KRAMERS, H. A. & SLATER, J. C. The quantum theory of radiation. In: VAN DER WAERDEN, B. L. (ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam, North-Holland, 1967 [1924]. p. 159-76.
- BORN, M. Quantum mechanics. In: VAN DER WAERDEN, B. L. (Ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam, North-Holland, 1967 [1924]. p. 181-98.
- DÍEZ, J. A. & LORENZANO, P. La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo xx. In: _____. (Ed.). *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*. Bernal, Universidad Nacional de Quilmes/Universitat Rovira i Virgili/Universidad Autónoma de Zacatecas, 2002. p. 13-78.
- _____. (Ed.). *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*. Bernal, Universidad Nacional de Quilmes/Universitat Rovira i Virgili/Universidad Autónoma de Zacatecas, 2002.
- EINSTEIN, A. On the quantum theory of radiation. In: VAN DER WAERDEN, B. L. (Ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam, North-Holland, 1967 [1917]. p. 63-77.
- HETTEMA, H. Bohr's theory of the atom 1913-1923: a case study in the progress of scientific research programmes. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 26, 3, p. 307-23, 1995.
- JAMMER, M. *The conceptual development of quantum mechanics*. Nova Iorque, McGraw-Hill, 1966.
- KRAMERS, H. A. The law of dispersion and Bohr's theory of spectra. In: VAN DER WAERDEN, B. L. (Ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam, North-Holland, 1967a [1924a]. p. 177-80.
- _____. The quantum theory of dispersion. In: VAN DER WAERDEN, B. L. (Ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam, North-Holland, 1967b [1924b]. p. 199-201.

- LAKATOS, I. Falsification and the methodology of scientific research programmes. In: _____. *Philosophical papers*. Cambridge, Cambridge University Press, 1978 [1970]. p. 8-101. v. 1: The methodology of scientific research programmes.
- _____. History of science and its rational reconstructions. In: _____. *Philosophical papers*. Cambridge, Cambridge University Press, 1978 [1971]. p. 102-38. v. 1: The methodology of scientific research programmes.
- _____. *Philosophical papers*. Ed. de J. Worrall & G. Currie. Cambridge, Cambridge University Press, 1978. v. 1: The methodology of scientific research programmes.
- LAUDAN, L. *Progress and its problems: towards a theory of scientific growth*. Londres, Routledge & Kegan Paul, 1977.
- _____. *Science and values: the aims of science and their role in scientific debate*. Berkeley, University of California Press, 1984.
- MEHRA, J. & RECHENBERG, H. *The historical development of quantum theory*. Nova Iorque, Springer, 1982a. v. 1: The quantum theory of Planck, Einstein, Bohr and Sommerfeld: its foundation and the rise of its difficulties, 1900-1925 (Parte 1).
- _____. *The historical development of quantum theory*. Nova Iorque, Springer, 1982b. v. 2: The quantum theory of Planck, Einstein, Bohr and Sommerfeld: its foundation and the rise of its difficulties, 1900-1925 (Parte 2).
- MOULINES, C. U. *Exploraciones metacientíficas*. Madri, Alianza Editorial, 1982.
- PAULI, W. On the connexion between the completion of electron groups in an atom with the complex structure of spectra. In: TER HAAR, D. (ed.). *The old quantum theory*. Oxford, Pergamon, 1967 [1925]. p. 184-203.
- PESSOA JÚNIOR, O. Histórias contrafactuais: o surgimento da física quântica. *Estudos Avançados*, 14, 39, p. 175-203, 2000.
- _____. Counterfactual histories: the beginning of quantum physics. *Philosophy of Science*, 68 (Proceedings), p. S519-S530, 2001.
- RADDER, H. An immanent criticism of Lakatos' account of the 'degenerating phase' of Bohr's atomic theory. *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, 13, 1, p. 99-109, 1982.
- _____. Heuristics and the generalized correspondence principle. *British Journal for the Philosophy of Science*, 42, p. 195-226, 1991.
- SLATER, J. C. Radiation and atoms. *Nature*, 113, p. 307-8, 1924.
- SOMMERFELD, A. *Atomic structure and spectral lines*. 3a. ed. Trad. de H. L. Brose. Londres, Methuen, 1928.
- _____. *Atomic structure and spectral lines*. 5a. ed. Trad. de H. L. Brose. Nova Iorque, E. P. Dutton, 1931. v.1.
- TER HAAR, D. Part I. In: _____. (Ed.). *The old quantum theory*. Oxford, Pergamon, 1967. p. 3-75.
- _____. (Ed.). *The old quantum theory*. Oxford, Pergamon, 1967.
- VAN DER WAERDEN, B. L. Introduction. In: _____. (Ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam, North-Holland, 1967. p. 1-59.
- _____. (Ed.). *Sources of quantum mechanics*. Amsterdam, North-Holland, 1967.