

Explorando a Natureza da Ciência na entrevista cedida por Niels Bohr em 1962: implicações ao ensino de ciências

Exploring NOS in the interview given by Niels Bohr in 1962: Implications for science teaching

 Anabel Cardoso **Raicik**¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil. Contato: anabelraicik@gmail.com

Resumo: Este artigo visa explorar aspectos relativos à Natureza da Ciência em partes de uma entrevista concedida por Niels Bohr a Thomas Kuhn, Léon Rosenfeld, Aage Petersen e Erik Rudinger, entre outubro e novembro de 1962. Procura-se contribuir para que discussões e reflexões sobre a ciência sejam promovidas no âmbito do ensino de ciências. Nessa perspectiva, estabelecem-se interlocuções entre trechos da entrevista e outros materiais históricos, como publicações do próprio Bohr e fontes secundárias de reconhecida relevância.

Palavras-chave: História da ciência; Natureza da ciência; Educação científica.

Abstract: Parts of an interview that Niels Bohr gave between October and November 1962 with Thomas Kuhn, Léon Rosenfeld, Aage Petersen, and Erik Rudinger are the subject of this article, which attempts to investigate questions about the nature of science. The intention is to support the growth of scientific conversations and introspection within the framework of science education. In such a manner, the article correlates excerpts from this interview, other historical materials, and publications by and about Bohr.

Keywords: History of science; Nature of science; Science education.

Recebido: 13/09/2023

Aprovado: 21/03/2024



Introdução

Na década de 1960, físicos e historiadores foram mobilizados para desenvolverem um acervo oral e escrito acerca da história da física quântica. Nomes como os de Edward Purcell, Gerald Holton, Charles Kittel, John Wheeler, Thomas S. Kuhn, Hunter Dupree, Harry Wolff, John L. Heilbron e Paul Forman juntaram-se a tantos outros para um trabalho de inestimável relevância, de coletar cartas, manuscritos, cadernos de laboratório, comentários pessoais e, sobretudo, promover entrevistas (gravadas e transcritas) com os propulsores da mecânica quântica. Como Wheeler (1967) enfatiza no prefácio ao livro *Sources for the history of quantum physics: an inventory and report*, que fornece um relato detalhado do projeto, “[...] nunca na história da ciência foi feito um esforço tão eficaz para registrar momentos decisivos na evolução de novas ideias enquanto os principais participantes ainda estavam [e estão] vivos” (Wheeler, 1967, tradução nossa).

Sob a liderança de Kuhn, o projeto *Archives for the History of Quantum Physics* durou três anos e, para se ter uma ideia da dimensão do empreendimento, entre fevereiro de 1962 e maio de 1964 foram realizadas cerca de 175 entrevistas com 95 pessoas envolvidas, direta ou indiretamente, com o desenvolvimento da física quântica nas primeiras três décadas do século passado (Kuhn *et al.*, 1967). Em síntese, foram reunidos arquivos de 279 físicos, e as entrevistas deram início à coleção conhecida como *Oral Histories* do American Institute of Physics, que conta, atualmente, com mais de 1.000 entrevistas (Hartz; Freire Junior, 2015). Dentre elas, encontram-se conversas com Max Born, Peter Debye, James Franck, Gustav Hertz, Werner Heisenberg, Louis de Broglie, Paul Dirac, Ernst Pascual Jordan, Eugene Paul Wigner, além de Niels Bohr.

O foco do projeto foi o de fornecer, construir e resgatar um relato abrangente da história da física, sobretudo relativo aos anos compreendidos entre 1898 e 1933. Simbolizando a relevância dessas décadas, Kuhn *et al.* (1967) sintetizam os principais desenvolvimentos do período: (a) na primeira década, citam o quantum de ação de Max Planck, a relatividade especial e o conceito de *quantum* de luz, posteriormente fóton¹ (Peduzzi, 2023), de Albert Einstein, o átomo nuclear de Ernest Rutherford; (b) na segunda década, a teoria quântica do átomo de Bohr e a relatividade geral einsteiniana; (c) já o terceiro período é sumarizado com o espalhamento de raios X por elétrons, a partir dos estudos de Arthur Compton, com a teoria ondulatória de Louis V. P. Raymond de Broglie, a mecânica matricial de Werner Heisenberg, a mecânica ondulatória de Erwin Schrödinger, a complementaridade de Bohr, a teoria do elétron livre de Paul Dirac e a sua proposição do elétron positivo, a identificação experimental desta primeira antipartícula na física, com Carl Anderson. Longe de enfatizar uma história linear e individualista, essas menções auxiliam, tão somente, a localização temporal da física teórica e experimental e seus principais motivadores.

Bohr ensejou uma colaboração especial ao projeto, fornecendo alojamento aos envolvidos, revisando registros históricos, participando ativamente do empreendimento, além de proporcionar uma bela sequência de conversas entre outubro e novembro de 1962. A entrevista que Thomas Kuhn, Léon Rosenfeld, Aage Petersen e Erik Rudinger fizeram com ele, em cinco encontros, destaca não apenas o lado de um físico digno de toda admiração, mas oportuniza explorar distintos aspectos relativos à Natureza da Ciência que perpassam seu relato; tanto no que se refere à sua teoria quântica do átomo e seu princípio da

¹Fóton foi um termo cunhado por Gilbert Newton Lewis (1875-1946) em 1926 para o quantum de luz.

complementaridade, quanto de um cientista humano. A propósito, a última parte de sua entrevista, “[...] com a mente tão clara e o diálogo tão enfático, como sempre, foi na tarde de sábado, 17 de novembro de 1962, um dia antes de sua morte” (Wheeler, 1967, tradução nossa). Certamente, “[...] suas cartas e escritos permanecerão para sempre a maior de todas as contribuições para os registros da física quântica” (Kuhn *et al.*, 1967, tradução nossa).

Em 1913, Bohr publica seu épico trabalho intitulado *Sobre a constituição de átomos e moléculas*, dividido em três seções, nos meses de julho, setembro e novembro na *Philosophical Magazine*. Na primeira parte, apresenta os fundamentos de seu modelo para o átomo à luz do *quantum* de ação de Planck e impõe condições ao átomo de Rutherford. Muitas são as questões presentes em análises históricas deste estudo bohriano, dentre elas: Que pressupostos Bohr tinha quando se deparou com a fórmula de Johann Jakob Balmer? Qual a influência, se é que houve, de John W. Nicholson no desenvolvimento de seu modelo quântico para o átomo? Como se deu a aceitação de sua trilogia? Por que ele então escolheu desenvolver o novo e pouco conhecido átomo de Rutherford, ao invés do modelo mais antigo e mais bem-sucedido proposto por J. J. Thomson? Por que ele abordou o problema da quantização da maneira particular que o fez, que deu frutos impressionantes de uma só vez e que, um ano depois, começou a revolucionar a física? (Heilbron; Kuhn, 1969; Peduzzi, 2019; Raicik, 2023a, 2023b). Juntamente a estas questões ainda existem estereótipos, tanto em materiais históricos quanto voltados especificamente ao ensino de ciências, que precisam ser problematizados; como a neutralidade de Bohr, e uma perspectiva empírico-indutivista, ao se valer da fórmula de Balmer, o mito da sua quantização do momento angular, entre outras. Partes da entrevista, em associação a um conhecimento histórico de estudos bohrianos, sobejamente relativo à primeira parte de sua trilogia, permite que se contextualize e se discuta algumas questões como essas e se busque promover um melhor entendimento deste episódio com um lembrar do próprio Bohr sobre ele quase 50 anos depois de seu desenvolvimento.

Nesse sentido, esse artigo visa explorar trechos da entrevista cedida por Bohr, especificamente aqueles pontos que permitem contextualizar os caminhos e pressupostos que o levaram à primeira parte de sua trilogia, a partir da exemplificação de aspectos relativos à Natureza da Ciência (NdC), isto é, busca-se enfatizar o contexto e lembrança de Bohr dos anos de 1911 e início de 1913. Objetiva-se, com isso, contribuir para discussões e reflexões sobre a ciência no ensino. Para tanto, interlocuções entre trechos da entrevista e outros materiais históricos, tanto publicações do próprio Bohr, quanto fontes secundárias, são estabelecidas.

A NdC que, em termos gerais e sem visar limitá-la conceitualmente, envolve “[...] um arcabouço de saberes sobre as bases epistemológicas, filosóficas, históricas e culturais da ciência” (Moura, 2014, p. 33), tem se apresentado extremamente relevante para promover discussões sobre a ciência no ensino. No âmbito de um cenário político-social anticientífico, em geral, em que a ciência, sua prática, eficiência e dinâmica são desacreditados, possibilitar reflexões que, além de discutir conceitualmente o conhecimento científico, vise contribuir para o desenvolvimento de sujeitos mais críticos, torna-se um desafio necessário. A integração de aspectos relativos à NdC e ao trabalho científico, juntamente à História e Filosofia da Ciência (HFC), enseja uma abordagem capaz de contribuir significativamente para que a ciência seja vista em sua maior amplitude; “não apenas como um corpo de conhecimento bem estruturado, mas como uma maneira de ver, pensar e entender o mundo e seus fenômenos” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 21), sobretudo, mas não apenas, no ensino de ciências.

Explorando aspectos relativos à NdC em partes da entrevista com Bohr

As entrevistas promovidas no âmbito do projeto supracitado, *Archives for the History of Quantum Physics*, de modo geral, visavam trazer à tona, principalmente, discussões de investigações acerca da física atômica, nuclear e quântica entre as primeiras décadas do século passado. Não obstante, também se incentivou que os cientistas discutissem e comentassem, por exemplo, sobre suas origens familiares, o que os levou a se interessar por física, suas formações, suas carreiras, influências sociais nas condições de suas pesquisas, pessoas que os motivaram dentre outras memórias. A entrevista realizada com Bohr, dividida em cinco seções, ocorreu em seu escritório particular em Copenhague, na Dinamarca, respectivamente nos dias 31 de outubro e 1, 7, 14 e 17 de novembro de 1962.

Em reminiscências que revelam um cintilar não apenas de palavras recordadas, mas de uma história – uma trajetória na busca de uma melhor compreensão da natureza – Bohr percorre e contempla distintos períodos de suas pesquisas. Assim, a entrevista não segue uma ordem cronológica; por vezes priorizando uma conversa mais informal, ora com perguntas mais direcionadas, ela permite que Bohr transite por entre as décadas, indo e vindo, singularmente e em especial, entre os anos de 1909 e 1914, mas não restringindo-se a eles.

Neste artigo, trechos da entrevista, em particular, e outras fontes primárias e secundárias, que envolvem o desenvolvimento da primeira parte da trilogia bohriana – sobejamente entre 1911 e 1913 – e sua receptividade inicial, serão resgatados à luz de determinados aspectos relativos à NdC, sobretudo explorados em *Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência* (Peduzzi; Raicik, 2020). Neste trabalho, os autores apresentam um conjunto de 18 asserções com comentários e ponderações específicas acerca da natureza da ciência e do trabalho científico, em contrapartida a princípios descontextualizados e declarativos. As asserções comentadas se mostram como uma alternativa potencialmente útil para a abordagem de NdC no ensino, sobretudo quando vinculadas à história da ciência.

A educação científica, na atualidade, visa propiciar uma compreensão de NdC compatível com reflexões filosóficas contemporâneas. Uma estratégia para isso é tornar explícitas, em materiais e estratégias de ensino, discussões sobre a ciência. Isso pode ser feito, dentre outras perspectivas, a partir da análise de episódios e/ou materiais históricos (Boaro; Massoni, 2018; Forato; Pietrocola; Martins, 2011; Jorge, 2018; Moura, 2014; Peduzzi, 2005; Raicik, 2023a; Pires; Peduzzi, 2022; Batista; Peduzzi, 2023). Nesse sentido, aqui, faz-se um exercício de exemplificar determinadas asserções – relativas, por exemplo, a algumas influências de natureza idiossincrática, cultural, social, entre outras, que perpassam pelos estudiosos e a ciência, a não neutralidade científica, a relevância do acaso para uma mente preparada (Lejeune, 1998; Stauffer, 1953), a insuficiência de uma visão empírico-indutivista, os valores e seus juízos para aceitação de conhecimentos etc. Em 1854, por exemplo, por ocasião de seu discurso de posse como reitor da Faculdade de Ciências da Universidade de Lille, o químico francês Louis Pasteur (Pasteur, 1939, p. 130) proferiu a famosa frase “[...] dans les champs de l’observation le hasard ne favorise que les esprits préparés” (no campo das observações o acaso só favorece o espírito preparado).

A tese de Bohr e seus primeiros contatos com J. J. Thomson

Bohr inicia sua conversa comentando sobre o que o levou a se envolver com a teoria eletrônica dos metais. Cabe lembrar que em maio de 1911 ele defendeu sua tese intitulada *Studier over metallerners elektrontheori*², pela Universidade de Copenhague, sob orientação do físico Christian Christiansen, fruto de desdobramento de sua dissertação concluída em 1909 (Bohr, 1972b). Como ele explicita na entrevista, a sugestão do tema veio de Christiansen e ele não esperava que se pudesse explorar tanto o assunto como acabou acontecendo. “*Fiz alguns esforços com base na teoria clássica*” [...] “*para dar um tratamento lógico e o mais completo possível*” [acerca da teoria eletrônica dos metais] (Bohr, 1962, tradução nossa). [Christiansen achava] “*que havia muitas coisas interessantes na teoria eletrônica dos metais, então ele me deu isso*” (Bohr, 1962, tradução nossa). Ele ainda comenta: “*Comecei com a teoria de [H. A.] Lorentz e tentei fazer suposições mais gerais* [...]” (Bohr, 1962, tradução nossa) [do que aquelas apresentadas por outras pesquisas, como as de E. Riecke, P. Drude, Langevin e, inclusive, Thomson].

O interesse do estudioso pelas obras de seus predecessores é *sine qua non* (condição indispensável) para o desenvolvimento do seu trabalho, pois é conhecendo o que já existe e o que (a seu ver) precisa ser reformulado, ou ainda ser feito, que ele contextualiza, justifica e fundamenta as suas preocupações de pesquisa (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 38, grifo dos autores).

Em uma nota preparada por Bohr para a defesa pública de sua tese, além de agradecimentos conferidos ao seu orientador e à universidade, ele contextualiza o objetivo geral de seu trabalho, à luz desses (e outros) estudos que já existiam acerca da teoria eletrônica dos metais:

A teoria desenvolvida por esses cientistas concorda, em muitos pontos fundamentais, notavelmente bem com a experiência [...]. No entanto, em muitos pontos essenciais não há concordância entre a experiência e os resultados teóricos. No presente trabalho é feita uma tentativa de tratar a teoria eletrônica dos metais com base em hipóteses mais gerais do que as dos autores mencionados, com o objetivo principal de investigar quais resultados da teoria dependem essencialmente das hipóteses especiais feitas, e quais os resultados permanecerão válidos quando forem feitas suposições mais gerais (Bohr, 1972a, p. 97, tradução nossa).

Aqui, vê-se uma preocupação de Bohr com a precisão das teorias existentes, um dos valores elencados por Kuhn (2011) de uma *boa teoria* científica, que diz respeito à concordância não apenas quantitativa, mas também qualitativa, entre seu arcabouço teórico e os dados experimentais e observacionais. Sobejamente, há uma diligência quanto à sua abrangência, outro dos valores kuhnianos, que se refere ao amplo escopo de sua validade e suas consequências em extrapolar as observações, leis, subteorias, hipóteses das quais está ancorada. Na ciência, “[...] explicações teóricas e verificações empíricas complementam-se e estimulam-se umas às outras” (Bohm, 2015, p. 60).

Na entrevista, Bohr (1962, tradução nossa) relembra: “[...] eu descobri que havia muitos erros nos estudos anteriores. Eles não são tão importantes, mas, para dar um exemplo, alguns tentaram calcular o número de elétrons a partir do diamagnetismo dos metais. No entanto”, continua ele, “[...] resultou de meu trabalho que, de acordo com a teoria clássica, os elétrons não darão origem a nenhum diamagnetismo”. Com efeito, em

²Tradução nossa: *Estudos sobre a teoria eletrônica dos metais*.

uma ciência dinâmica e pluralmente metodológica, é preciso reconhecer, assim como na perspectiva bohriana, “[...] que o erro é parte inerente e indissociável de seus processos” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 29). Em uma carta a seu irmão, o matemático Harald Bohr, datada de julho de 1909, Bohr (1972, p. 507, tradução nossa) escreve: “[...] você sabe que tenho o mau hábito de acreditar que posso encontrar erros cometidos por outras pessoas”. Identificar erros nos cálculos e escritos de físicos era uma prática comum bohriana. Aliás, na graduação, ele corrigiu seu professor, ninguém menos que o filósofo H. Hoffding, que à época ficou impressionado (Aaserud; Heilbron, 2013). Por mais que a ciência provoque “um sentimento de reverência e admiração” (Sagan, 1996, p. 42), é preciso reconhecer que ela é construída por homens e mulheres e que, portanto, não é imune a falhas. Essa ideia que, por assim dizer, “[...] açoita a soberba submetendo-a as amarras da humildade, está longe de promover um ceticismo capaz de fazer ruir o entusiasmo e a confiança na ciência” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 29), mas constitui seu próprio processo de desenvolvimento, retificação e humanização.

Enfim, e como síntese, esse percurso de doutoramento fez Bohr começar a ver, por distintas frentes, a insuficiência da mecânica clássica para lidar com a teoria eletrônica dos metais. Não bastaria alguns ajustes ou alterações nos cálculos para que a relação entre teoria e experimento estivesse em concordância, mas algum nível de modificação, embora não se soubesse qual, no próprio núcleo duro da teoria (Rosenfeld; Rudinger, 1967; Raicik, 2023a).

O agradecimento que Bohr demonstra a Christiansen no dia de sua defesa, e a continuidade que dá ao tema nos anos seguintes, evidenciam respectivamente a gratidão com seu orientador e o seu entusiasmo nesse campo da física. “Gostaria também de expressar meus agradecimentos ao professor Christiansen pelo interesse constante que demonstrou durante meus anos de estudo e pelo incentivo que sempre me deu ao trabalho científico”, afirma Bohr (1972a, p. 97-98, tradução nossa). A influência de seu professor em sua vida acadêmica é marcante. A motivação do estudioso está fortemente atrelada ao desafio apresentado por determinados *quebra-cabeças*, em termos kuhnianos e, em alguma medida, também com as interações pessoais que estabelece. Inclusive, foi a partir dessa temática que ele vê em Cambridge uma possibilidade de um pós-doutorado, afinal J. J. Thomson havia sido um pioneiro na teoria eletrônica dos metais.

Assim, Bohr recebe uma bolsa da Fundação Carlsberg. Em uma ciência que se desenvolve e integra a sociedade, há influências e forças históricas, culturais e sociais sobre ela (McComas, 2004), que podem ser decisivas para o andamento de determinadas pesquisas. Como ele coloca na entrevista, pode ser que seu pai, o renomado professor de fisiologia da Universidade de Copenhague, Christian Bohr, antes de falecer precocemente naquele mesmo ano, tenha feito algum *combinado* para que ele recebesse a bolsa de estudos na Inglaterra.

Ao ser questionado, por Kuhn, do porquê de sua escolha por Cambridge, para além do financiamento recebido, obviamente, Bohr responde que via lá o centro da física e Thomson como um homem maravilhoso. Não obstante, a relação entre eles não foi das melhores e a experiência acabou sendo, com diz Bohr (1962, tradução nossa), “*uma decepção*”; “*Thomson não estava interessado na acusação de que os seus cálculos [acerca da teoria eletrônica dos metais] não estavam corretos*”. Enquanto para muitos o erro é visto como uma falha injustificável, inclusive no imaginário popular sobre a ciência, Bohr o via como um processo que permite o avanço do conhecimento. Isso fica claro

quando busca justificar que, *"Thomson foi um gênio que realmente mostrou o caminho para todos. Então algum jovem poderia fazer algumas coisas um pouco melhor"* (Bohr, 1962, tradução nossa). Esta última parte da frase evidencia que mesmo os erros podem abrir portas, isto é, *"[...] as teorias científicas não são definitivas e irrevogáveis, mas sim objeto de constante revisão"* (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 29).

O progresso da ciência comporta, em seu âmago, a tentativa e o erro. O historiador da ciência Abraham Pais (Pais, 1991, p. 83, tradução nossa), ao ilustrar o caminho que Planck percorreu para encontrar uma função espectral da radiação do corpo negro, corrobora isso, *"[...] já foi dito de Planck que ele cometeu tantos erros que acabou tendo que encontrar uma resposta certa"*. Por certo, a ciência como uma atividade humana, envolve elementos subjetivos; existem, por exemplo, valores individuais e coletivos que norteiam e influenciam o desenvolvimento científico (Kuhn, 2011), e a constatação de erros nos cálculos de Thomson não foi o único elemento que interferiu na relação pessoal entre ele e Bohr (Raicik, 2023a).

Embora eles tivessem tido uma relação respeitosa, e um primeiro contato promissor, Thomson não pareceu uma pessoa fácil de lidar (Heilbron, 2013). Ele não se interessou, a ponto de, ao que tudo indica, não ter lido a tese de Bohr, que relembra que, à época, *"[...] não tinha grandes conhecimentos de inglês e, portanto, não sabia como se expressar adequadamente"* (Bohr, 1962, tradução nossa). Além disso, Thomson não estava mais interessado na teoria eletrônica dos metais, mas tão somente, nas palavras bohrianas, *"[...] em seu próprio modelo atômico"* (Bohr, 1962, tradução nossa). Ademais, ele deu a Bohr uma atividade no laboratório pouco instigante; um tópico experimental envolvendo raios positivos – feixes de íons criados em tubos de descarga de gás. Bohr (1962, tradução nossa) sumariza: *"[...] eu trabalhei nisso, mas não havia realmente nada para tirar disso"*. Com efeito, *"[...] existem pressões externas que ostensivamente orientam e limitam o espectro de opções do pesquisador, impondo determinadas escolhas e tolhendo a sua liberdade científica"* (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 35). A ciência não está imune às relações, das mais diversas naturezas (sociais, pessoais, culturais etc.), a ela inerentes.

Na entrevista, o próprio Bohr (1962, tradução nossa) coloca *"qual era a diferença entre Cambridge e Copenhague?"*; ele mesmo responde que *"havia, é claro, muita diferença"*, para além de sua atividade no laboratório, ele levanta uma questão relativa ao próprio perfil dos ingleses, em geral:

Na Inglaterra as pessoas não são tão simples. Em geral, os ingleses são muito bons, mas isso leva tempo. E eles pensaram: 'Agora vem esse estrangeiro' [...] E na verdade eu não tinha amigos entre os alunos mais novos. Eu tinha um amigo [...] que era do País de Gales, mas [...] [a nossa amizade se constituiu] apenas por um interesse geral pela vida, ou algo assim [...] Então, na verdade, me senti bastante infeliz em Cambridge. Eu tinha alguns amigos, mas eram amigos do meu pai (Bohr, 1962, tradução nossa).

O que Bohr está sinalizando é justamente as dificuldades, de ordem subjetiva e pessoal, que um estrangeiro, como ele, com pouca fluência na língua inglesa, recém doutor, pode enfrentar ao chegar em um local novo. A ciência é desenvolvida por pessoas, portanto envolve, inevitavelmente, relações humanas; nesse processo pode levar tempo para ganhar confiança, credibilidade, conquistar amizades. As relações entre colegas, no caso pesquisadores, envolve valores culturais, por exemplo, de países distintos.

A afetividade que se estabelece (ou não) na convivência com outros seres, pode ser um componente limitador ou propulsor de novos conhecimentos. "Concretamente, o pesquisador é um sujeito tão condicionado por crenças e emoções quanto qualquer

ser humano, frequentemente forçado a seguir seus próprios instintos e correr o risco de amargar demasiadas decepções” (Custódio; Rezende Junior, 2003, p. 1). Ignorar por completo isso, é subestimar traços humanos em uma atividade inerentemente humana; a ciência.

De qualquer forma, Bohr visou aproveitar da melhor maneira possível seu tempo em Cambridge; aperfeiçoando seu inglês, assistindo palestras sobre eletricidade, lendo sobre as pesquisas mais recentes, envolvendo-se com atividades esportivas e passeios ao ar livre (Raicik, 2023a; Rosenfeld; Rudinger, 1967). O respeito de Bohr por Thomson sempre foi mantido naquela época, e em toda sua vida.

No decorrer da entrevista, Bohr (1962, tradução nossa) ainda frisa: “*Não aprendi muito em Cambridge. Mas, então, eu estava preparado em Manchester e pronto para me jogar no trabalho, você vê. Podemos ir para Manchester agora, talvez*”. O percurso que o levou a mudar os rumos de seu pós-doutorado está ancorado na imprevisibilidade. Como mencionado, ele não tinha muitos amigos na Inglaterra, com exceção de alguns conhecidos de seu pai. Ao passar uns dias hospedado na casa de um deles, o professor de fisiologia Lorain Smith, em Manchester, Bohr interagiu positivamente com Rutherford.

A conversa com Rutherford, juntamente à insatisfação com seu envolvimento com Thomson, parecem ter sido providenciais para que Bohr tomasse outro rumo em seu pós-doutorado e, conseqüentemente, escrevesse mais um (e novo) capítulo na história da ciência. Não obstante, Bohr não deu margem ou permitiu que se atribuísse a Thomson sua desistência de Cambridge (Raicik, 2023a). Com todo o respeito que sempre manteve por Thomson, para ele não se tratava de “Cambridge ou Manchester, mas Cambridge e Manchester” (Heilbron; Kuhn, 1969, p. 233, tradução nossa). Embora seja inegável admitir que aspectos subjetivos, inclusive relacionados à biografia e à personalidade individual de cada pessoa, permeia a ciência em seus mais diversos e plurais percursos (Kuhn, 2011; Peduzzi; Raicik, 2020). Ao conversar com Thomson sobre seu interesse em trabalhar com radioatividade, junto ao grupo rutherfordiano, isso aparece mais uma vez. Bohr (1962, tradução nossa) recorda:

Disse a Thomson que tinha apenas um ano agora na Inglaterra e ficaria feliz também em saber algo sobre radioatividade. Ele me respondeu como se não tivesse ouvido nada. Ele disse que sabia que nada poderia resultar daquilo que havia me dado [no laboratório] e que ele me daria outra coisa, então. Mas eu não estava interessado. Passei a me interessar profundamente por outras coisas. Então eu disse que tinha sido uma época muito boa, mas que também queria saber algo sobre radioatividade. Então, isso é realmente tudo o que há a ser dito sobre os dias de Cambridge.

O interesse pelo cientista, enquanto humano, praticante de uma ciência, pertencente a uma sociedade, com suas idiossincrasias, valores culturais e históricos, no âmbito de uma historiografia atual, que se contrapõe àquela positivista, como coloca Steven Shapin (Shapin, 2013), vem contra a insistência de impessoalidade científica. Conhecer e admitir influências e relações estabelecidas entre estudiosos, não apenas no âmbito conceitual, mas associado às suas posições sociais e aos seus modos de vida, admitindo-os como, literalmente, “[...] pessoas de carne e osso”, permite que se tenha um olhar mais amplo da ciência como “[...] um conjunto de práticas [...], heterogêneo, situado historicamente, corporificado e profundamente humano” (Shapin, 2013, p. 14).

Bohr e [o átomo de] Rutherford: um encontro feliz na [e para a] ciência

Em Manchester, no início de 1912, Bohr (1962, tradução nossa) sentiu-se mais acolhido; “*Rutherford foi muito simpático*” e já havia providenciado sua participação em seu grupo de pesquisa com um curso experimental de técnica radioativa. Embora todos os colegas tenham sido, como ele coloca, “*muito gentis em mostrar as coisas*”, ele disse a Rutherford que “*gostaria de se concentrar em coisas mais teóricas*”, e foi o que aconteceu. Um dos elementos fundamentais para o envolvimento de Bohr com o átomo rutherfordiano se deu ao ler um artigo de C. G. Darwin. Curiosamente, ele se deparou com este trabalho quando não pôde ir ao laboratório por alguns dias, devido à falta de um elemento químico para a continuidade de sua atividade por lá. O acaso, como um importante elemento do trilhar científico, muitas vezes é parte de um processo “pouco ou nada linear e [mesmo] ‘racional’, embora com frequência se apresente dessa maneira em livros textos, em reconstruções históricas e nos relatos dos cientistas” (Piccolino; Bresadola, 2013, p. 5).

Ao ser questionado por Kuhn, quando começou a se envolver com o papel das partículas alfa, Bohr responde que ao ler artigo de Darwin acerca da absorção de raios alfa pela matéria, à luz do modelo rutherfordiano, identificou falhas cruciais nos cálculos; dentre elas a negligência das forças coulumbianas que ligam os elétrons ao átomo (Heilbron; Kuhn, 1969; Raicik, 2023b). “*Thomson usara o mesmo cálculo que Darwin, mas Darwin usara o átomo de Rutherford. Mas eu senti que deveria ser diferente. Isso estava claro, e Darwin, aparentemente, estava de acordo [com isso]*” (Bohr, 1962, tradução nossa). Em relação à reação darwiniana à constatação de erros em seu trabalho – típico da personalidade bohriana identificá-los, como já mencionado – Bohr salienta que, de fato, Darwin “*achava que seu próprio trabalho não continha nada*” e que o ‘novo colega’ havia sido “*muito gentil sobre isso. Ele apenas disse que eu estava certo*” (Bohr, 1962, tradução nossa).

Bohr passou a se fascinar pelo modelo atômico de Rutherford e a deixar cada vez mais de lado a teoria eletrônica dos metais. Com efeito, “[...] a fonte de inspiração na ciência, o *modus operandi* dos cientistas, é plural, diversificado, dinâmico [...]” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 31, grifo dos autores). Embora o artigo darwiniano tenha sido fundamental para que novos caminhos se abrissem a Bohr, importa destacar que ele estava em um novo ambiente de pesquisa, envolvendo-se com novas pessoas e, consideravelmente, tendo uma relação muito profícua com Rutherford. Ao ser questionado por Rosenfeld se havia algum tipo de vida social, sobretudo à noite, naquela época, Bohr (1962, tradução nossa) recorda: “[...] às vezes eu ia à casa de Rutherford [...] Ele era um homem muito interessante. Quando alguém entrava em contato com ele, tinha uma experiência inesquecível [...] Rutherford foi exatamente como descrevi, extraordinário”.

Em pouco tempo, Bohr havia desenvolvido o conhecido *Memorando de Rutherford* (Bohr, 1981a; Heilbron; Kuhn, 1969; Raicik, 2023b; Rosenfeld, 1989), um documento com seis páginas numeradas (que indicam a falta de uma delas), preservado até hoje, e que contém um primeiro esboço de algumas das ideias contidas em sua trilogia. No *Memorando*, Bohr cria uma hipótese *ad hoc* de que para qualquer anel estável nos átomos tem de haver uma razão definida entre a energia cinética de um elétron no anel e a sua frequência de revolução; assim o átomo não irradia nem sucumbe às oscilações instáveis (Heilbron, 2013). Isto é, $E=K\cdot\omega$, no qual a razão entre a energia cinética E de um elétron do anel e sua frequência de rotação ω , é dada por K . Aqui, Bohr ainda não faz menção

explícita ao *quantum* de ação de Planck. Não há uma descrição entre a relação de K e a constante planckiana h (Heilbron; Kuhn, 1969; Raicik, 2023b; Rosenfeld, 1989).

Para contextualizar, minimamente, as concepções ali contidas, cabe ressaltar que Bohr aborda a questão da instabilidade atômica do modelo de Rutherford com base na física clássica e traz, por exemplo, um princípio não mecânico que fixa os estados estacionários dos sistemas atômicos (Raicik, 2023b). No entanto, será com a interpretação dos espectros do hidrogênio que Bohr vai definitivamente se basear em um conceito de transição quântica completamente distinto de qualquer consideração clássica, que estará presente na primeira parte de sua trilogia, logo em seguida (Heilbron; Kuhn, 1969; Raicik, 2023b; Rosenfeld, 1989). Não obstante, essa história está longe de propagar uma visão empírica-indutivista de Bohr com os espectros, como muitos materiais históricos e didáticos costumam propagar.

Na entrevista, Kuhn enfatiza que no *Memorando* há uma série de pistas sobre o desenvolvimento inicial das ideias de Bohr que irão surgir novamente nos artigos posteriores, isto é, na trilogia. De fato, isso é uma realidade, como o próprio Bohr (1962, tradução nossa) reconhece: “o *paper* [Memorando] realmente dá uma ideia – se alguém o ler com interesse – da maneira como eu olhava para o átomo de Rutherford quando estava em Manchester”.

Ao ser questionado sobre a introdução do *quantum* de ação de Planck para regular o átomo de Rutherford, tanto por Rosenfeld quanto por Kuhn, na primeira parte da entrevista, ele enfatiza nos dois momentos que em Manchester isso ainda “não tinha surgido”; foi ao voltar para Copenhague que “tentei todo o tipo de coisa” (Bohr, 1962, tradução nossa). Por certo, Bohr ficou poucos meses em Manchester, de março a julho, ainda que tenha desenvolvido muita coisa por lá. Depois disso, com o final de seu pós-doutorado, ele assumiu o cargo de assistente do professor Martin Knudsen, na Universidade de Copenhague. Mas isso estava tomando muito o seu tempo, e ele não havia consigo encaminhar a Rutherford um trabalho mais completo sobre sua investigação, para além do *Memorando*.

Sem embargo, ele logo solicita a Knudsen que o liberasse de suas funções e passou uma temporada no campo, em Gottingen. Em pouco tempo, ele revisou seus estudos anteriores, a saber, o *Memorando de Rutherford*, e apresentou a Rutherford, em março de 1913, uma versão completa da parte I da trilogia, no qual assuntos novos e cruciais estavam presentes, como a quantização do momento angular e, primordialmente, os espectros atômicos.

Mas, se como enfatiza Bohr (1962, tradução nossa), e o seu trabalho evidencia isso, de fato no *Memorando* “não há absolutamente nenhuma menção sobre a origem dos espectros”, o que o levou a mudar a sua perspectiva em tão pouco tempo? Que pressupostos ele tinha, entre o final de 1912 e início de 1913, que permitem rejeitar uma visão empírico-indutivista de seu uso da fórmula de Balmer? (Raicik, 2023b).

Um encontro nada proposital com a fórmula de Balmer: opondo-se a uma visão empírico-indutivista

Não é incomum, como bem evidenciam Silveira e Peduzzi (2006, p. 42), que se perpetue equivocadamente uma história empírica e indutivista, no ensino e até em materiais históricos, de que Bohr “[...] em Manchester, investiu um grande esforço intelectual para explicar teoricamente porque o átomo de hidrogênio emitia radiação eletromagnética

de acordo com a fórmula empírica de Balmer". Mas "[...] a dinâmica da produção de conhecimentos na ciência mostra um processo vivo, criativo, polêmico, questionador, argumentativo" (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 42) e o resgate de sua história, ainda que sucinto, pode contrastar com uma visão meramente empírico-indutivista de seu desenvolvimento.

Na terceira parte da entrevista, Bohr relembra que foi até Knudsen e pediu um tempo de suas funções: "*Saí para o campo junto com minha esposa e escrevemos um longo artigo sobre várias coisas. E então [...] acho que discuti isso com alguém, e talvez me disseram que havia algo conhecido sobre os espectros; então pesquisei*" (Bohr, 1962, tradução nossa). Margrethe, recém esposa de Bohr, foi uma mulher muito importante em sua vida, como amiga, companheira e o ajudava em suas pesquisas escrevendo o que ele ditava (Raicik, 2023a). Margrethe não tinha formação científica, portanto nesse trecho, quando Bohr afirma que escreveram juntos um longo artigo (a saber a primeira parte da trilogia, em associação às outras duas que, em essência, já estavam desenvolvidas), ele, certamente, deve estar se referindo a esse processo de ele ditar e ela escrever.

Bohr frisa, importa destacar, que somente nesse momento foi pesquisar sobre os espectros. Kuhn (Bohr, 1962, tradução nossa) questiona se ele lembra com quem teve essa conversa. E ele afirma: "*Oh, sim, era o professor [H. M.] Hansen. Hansen estivera em Göttingen e era o único que tinha algum interesse nessas coisas. Eu apenas disse a ele o que eu tinha, e ele disse: 'Mas como isso funciona com as fórmulas espectrais?' E eu disse que [iria procurar]*", diz Bohr (1962, tradução nossa), "*[...] e assim por diante. Provavelmente foi assim que aconteceu. Eu não sabia nada das fórmulas espectrais. Então eu procurei neste livro de Stark. E então eu vi imediatamente que é assim que o espectro vem*".

Com efeito, e à luz de Ludwik Fleck (Fleck, 2010, p. 141), pode-se dizer que "[...] somente após muitas vivências, talvez após uma formação prévia, adquire-se a capacidade de perceber, de maneira imediata, um sentido, uma forma e uma unidade fechada". Isto quer dizer, que "[...] há muito mais coisas no ato de ver do que as imagens que se formam na retina do observador" (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 22). Bohr estava, desde o início, preocupado com a instabilidade do modelo rutherfordiano.

A visão de Bohr (1962, tradução nossa) em relação aos espectros até aquele momento fica evidente ao responder à questão "*Como você chegou a examinar os espectros?*", colocada por Rosenfeld na primeira parte da entrevista. Para ele, os espectroscopistas eram uma 'escola' à parte, e acreditava que "*não era possível progredir por lá*" (Bohr, 1962, tradução nossa). Além disso, enfatiza que "*os espectros eram um problema muito difícil...*" (Bohr, 1962, tradução nossa). Com efeito, "[...] embora nem sempre perceptível e estimada, a veia idiossincrática existe, naturalmente" (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 30), e ela se manifesta, implícita ou explicitamente, nas escolhas e preferências dos estudiosos, inclusive teórica e metodologicamente falando. A crença bohriana, presente no período de seu pós-doutorado, de que a espectroscopia era uma linha de pesquisa com pouca ou nenhuma perspectiva de fecundidade, atesta isso. Não obstante, "[...] as ideias estão sempre envoltas em um conjunto de outras ideias" (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 38), e os fatos, os dados na ciência, são fruto dessa dinâmica e envolvem, inevitavelmente, organização e interpretação. Assim, continua Bohr (1962, tradução nossa), "*descobri então que havia uma coisa muito simples sobre o espectro do hidrogênio. Eu estava lendo o livro de Stark, e naquele momento senti que agora íamos ver como surge o espectro*".

A luz que se acende na escuridão, em um céu anuviado, ou mesmo aquela que ofusca o olhar (e não apenas ele) ainda que em meio a um dia límpido e ensolarado, não surge do nada, à mercê da sorte, na casualidade despropositada, mas encontra quem a possa enxergar, quem a ela consiga se entregar. Entre o final de 1912 e início de 1913 Bohr está imerso em outros pressupostos, inclusive com o *quantum* de ação. Ele já havia desenvolvido seu *Memorando* e, entre novembro e dezembro, depara-se com trabalhos relativos à teoria atômica nicholsoniana. Aliás, os estudos de Nicholson podem ter, em certa medida, aproximado Bohr da espectroscopia e ter-lhe feito dar mais atenção a este campo de conhecimento (Raicik, 2023b).

Ao ser questionado por Kuhn (Bohr, 1962, tradução nossa) se: “[...] *é realmente nesse ponto que você tem a ideia de estados estacionários, em contraste com a noção de estado permanente [natural] – o estado de ligação mais próxima do elétron com o qual você está lidando?*”, Bohr (1962, tradução nossa) responde que sim, mas com a ressalva: “*é difícil [afirmar categoricamente] porque antes de tudo o trabalho de Nicholson³ ... Lá eu pensei que talvez ele lidasse com outros estados*”. Por certo, em uma sequência de artigos de Nicholson, Bohr viu uma série, mas que era distinta da de Balmer, Rydberg, Heinrich Kayser (1853-1940) e Carl Runge (1856-1927) (Raicik, 2023b).

A importância e influência de Nicholson sobre Bohr pode ser atestada quando ele tece considerações aos espectros coronal e nebuloso dos estudos nicholsonianos (Aaserud; Heilbron, 2013). Isso, aliás, ocorreu depois de ele já ter encaminhado um rascunho inicial da parte I da trilogia para Rutherford. Em carta a Rutherford, de 21 de março, Bohr explicita que trabalhou um pouco mais no assunto e fez alterações e acréscimos. “Em primeiro lugar, eles se referem à teoria de Nicholson. Na cópia enviada a você eu não tinha uma opinião distinta quanto ao significado dessa teoria, e eu mesmo estava bastante inclinado ao ceticismo [...]” (Bohr, 1981, p. 584, tradução nossa).

Aqui, observa-se, “[...] uma sobrevivência muito interessante, uma mistura de mecanismos clássicos e quânticos de radiação, que atesta a importância da intervenção de Nicholson no desenvolvimento do pensamento de Bohr” (Aaserud; Heilbron, 2013, p. 177, tradução nossa). Entretanto, essas relações com os estudos de Nicholson não se mostraram produtivas no âmbito da aceitação da trilogia, e o lembrar de Bohr sobre o episódio, na entrevista, evidencia uma profunda lamentação pelos acréscimos feitos à parte I, como se verá a seguir.

De qualquer forma, a exagerada ênfase sobre o uso da fórmula de Balmer negligencia, em muitos resgates históricos acerca dos estudos de Bohr desse período, as influências nicholsonianas (Heilbron; Kuhn, 1969; Raicik, 2023b). Em uma ciência “[...] que mostra apenas os seus produtos, cobrindo com um véu denso e intransponível os processos de sua construção”, acaba banalizando grandes transformações (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 42). Isso fica ainda mais evidente quando se pondera que é muito provável que Bohr já tivesse visto a fórmula de Balmer antes da conversa com Hansen, mas não a tivesse registrado ou conferido a ela alguma relevância por falta de interesse (Heilbron; Kuhn, 1969). Christiansen havia feito um estudo completo do trabalho de Rydberg. Bohr era um estudioso atento aos trabalhos de sua época, além de a fórmula já ter sido publicada à época há quase trinta anos (Aaserud; Heilbron, 2013). Em todo o caso, “[...] é possível olhar sem nada ver, por exemplo, quando se está absorto em pensamentos que distanciam o indivíduo do seu entorno” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 25). Por isso, também, a importância

³O áudio da entrevista, neste momento, não pôde ser transcrito.

da imersão do estudioso, seus pressupostos teóricos, ao se deparar com algo, como o encontro de Bohr com os espectros quando da leitura do livro de Stark, naquele momento em particular, em que sua mente já está tomada de concepções e seu 'olhar' com a temática já não é o mesmo. "Via de regra, o acaso beneficia os pesquisadores que estão imersos em determinada investigação" (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 40).

Menções de Bohr às concepções nicholsonianas na trilogia

Conforme Aaserud e Heilbron (2013, p. 177, tradução nossa), e fazendo menção à influência nicholsoniana sobre Bohr e sua trilogia, "[...] as maneiras pelas quais os muitos tipos de 'verdade' são descobertos podem ser tão notáveis quanto as próprias 'verdades'". Isso, pois, quando se analisa historicamente a construção da trilogia bohriana, não dicotomizando contexto da descoberta e da justificativa, vê-se que o caminho percorrido é tão rico quanto a repercussão de suas publicações.

Em 6 de março de 1913, Bohr encaminha a Rutherford um rascunho inicial da parte I da trilogia. Em resposta, Rutherford (1981, p. 583, tradução nossa) sugere que ele diminua consideravelmente o texto, a fim de publicá-lo; "[...] ficarei muito satisfeito em ver seus documentos posteriores, mas, por favor, leve a sério meu conselho e tente torná-los o mais curto possível, consistente com a clareza". Não obstante, antes mesmo de receber esse retorno, Bohr já havia encaminhado uma nova versão com acréscimos que, inclusive, evidenciam a sua preocupação em clarear as ideias ali contidas; apresentando, por exemplo, mais alternativas de entendimento à luz de considerações acerca da teoria de Nicholson.

Para defender a necessária extensão de seu trabalho, Bohr viaja para Manchester, disposto a conversar pessoalmente com Rutherford. Na parte IV da entrevista, ele comenta: "[...] ficou claro que eu realmente me comportei muito mal [...] pensei que deveria ir vê-lo e brigar com ele, ou tentar lutar com ele [no sentido argumentativo, é claro] [...] Eu sei que mais tarde ele disse que nunca pensou que eu pudesse ser tão persistente – ou teimoso" (Bohr, 1962, tradução nossa). Ao ser questionado por Kuhn, se depois dessa conversa algo mudou na versão da parte I da trilogia, ele enfatiza: "Não, nenhuma revisão no significado, exceto por algumas frases, e assim por diante. Ele [Rutherford] apenas sentiu que era uma visão definitiva (que eu queria publicá-la)" (Bohr, 1962, tradução nossa).

"Quanto menos alternativas, menor a ambiguidade, maior a clareza e, como Bohr gostava de dizer, menor a verdade" (Aaserud; Heilbron, 2013, p. 178, tradução nossa). Mas será mesmo? O que Bohr tentou fazer na trilogia foi, justamente, apresentar mais alternativas, clarear as suas ideias. Entretanto, o lembrar de Bohr sobre o episódio, na entrevista, evidencia uma profunda lamentação pelos acréscimos feitos:

Eu pensei que poderia haver algo nele [Nicholson], embora eu não saiba o que eu pensei. E isso não tem, portanto, nada a ver com o trabalho propriamente dito. O trabalho teria sido mais simples se eu tivesse apenas escrito sobre as coisas que eu mesmo tinha. Mas eu não fiz, você vê (Bohr, 1962, tradução nossa).

Em síntese, a parte I da trilogia apresenta duas perspectivas incompatíveis para a emissão espectral; uma em que Bohr envolve um modelo para reconciliar seus resultados com os de Nicholson; outra, que é uma de suas contribuições mais fundamentais para a teoria quântica (Raicik, 2023b). Conforme ele relembra, "quando meu primeiro artigo foi publicado, ele foi contestado em Göttingen [...] houve até um consenso geral de que

era uma coisa muito triste que a literatura sobre os espectros fosse contaminada por um artigo desse tipo" (Bohr, 1962, tradução nossa). Isso pode ter ocorrido, sobretudo, pelo fato de os estudiosos em Gottingen não terem lido o trabalho até o final. Quando eles chegaram na parte em que Bohr apresenta uma suposição de que durante a ligação do elétron é emitida uma radiação homogênea de frequência igual à metade da frequência de revolução do elétron em sua órbita final, "as pessoas provavelmente pararam de ler" o trabalho (Bohr, 1962, tradução nossa). Acontece que depois Bohr abandona essa suposição, admitindo sistemas em que a frequência é função da energia; emite-se um quantum e a frequência fica alterada (Bohr, 1981b).

Eles não leram mais do que a primeira página onde eu digo, 'vamos mais tarde ver como realmente é'. Essa [a outra perspectiva] é a forma que pode ser conectada diretamente com o argumento da correspondência (Bohr, 1962, tradução nossa).

Conforme Bohr salienta, portanto, houve um mal-entendido. Tudo ocorreu muito rapidamente, desde sua aproximação com os estudos de Nicholson, à publicação da trilogia e à aceitação de suas ideias pós-trilogia. Com efeito, "[...] a geração de um novo conhecimento, a solução de um problema, é o resultado de um processo de investigação cercado de muitas variáveis, que nada tem de linear e trivial. A sua publicidade e avaliação pela comunidade é o que, via de regra, confere legitimidade e impulsiona o desenvolvimento da ciência" (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 33).

Não obstante a isso, respostas positivas à trilogia, como um todo, foram expressivas, para além da receptividade de Rutherford. George Hevesy, em carta a Bohr, em agosto de 1913, a título de exemplo, enfatiza que

Embora muito interessado em seus artigos, não tive oportunidade [...] de estudá-los minuciosamente [anteriormente]. Infelizmente, sou uma pessoa nervosa e não tenho paciência e energia suficientes para ler um artigo teórico enquanto faço experimentos. A única chance para mim, de fazer isso, é ir embora, para algum lugar tranquilo e depois de descansar sentar na praia ou em um belo jardim e começar a ler e pensar. É o que eu estava fazendo agora e devo dizer que seus escritos foram uma grande fonte de prazer para mim (Hevesy, 1981, p. 531, tradução nossa).

Henry Moseley (Moseley, 1981, p. 545, tradução nossa) chega a dizer, em novembro daquele ano, também dirigindo uma carta a Bohr, que sua teoria "está tendo um efeito esplêndido na Física, e acredito que quando realmente soubermos o que é um átomo, como devemos dentro de alguns anos, sua teoria, mesmo que errada em detalhes, merecerá muito o crédito". Ao ir para Gottingen para proferir uma palestra sobre espectros, em 1914, ele relembra que a recepção já foi completamente diferente, "fui recebido com muita graça" (Bohr, 1962, tradução nossa). Conforme destaca o físico e historiador da ciência Abraham Pais, Thomson teve uma reação incomum ao, simplesmente, não mencionar a teoria quântica em palestras sobre a estrutura da matéria, tanto em 1914 quanto em 1923. "Somente em 1936, aos oitenta anos, ele escreveu sobre os artigos de Bohr de 1913: 'Eles em alguns departamentos de espectroscopia transformaram o caos em ordem e... foram, penso eu, as contribuições mais valiosas que a teoria quântica já fez à ciência física'" (Pais, 1991, p. 153, tradução nossa).

Os caminhos de aceitação de conhecimentos na ciência são complexos e diversificados. Há pressupostos e valores na receptividade e acolhimento na publicação de trabalhos. Não obstante, a influência nicholsoniana sobre Bohr é notória e quando devidamente contextualizada auxilia na compreensão dos caminhos percorridos por ele no desenvolvimento de sua trilogia. Apesar de menções aos estudos nicholsonianos terem, no relembrar de Bohr, dificultado a receptividade da parte I da trilogia, no âmbito de uma ciência dinâmica, em que não apenas produtos, mas processos são relevantes ao entendimento da construção de conhecimentos, essa influência precisa ser devidamente valorizada.

Considerações finais

O resgate de trechos da entrevista realizada com Bohr em 1962, ainda que, para o âmbito do presente artigo, tenha se restringido às lembranças dele relativas à parte I de sua trilogia, em particular, vislumbra que “[...] a história oral prospera quando ultrapassa o modelo de simples coleção de histórias pessoais e se transforma em diálogo sobre o passado, estimulando novas interpretações históricas” (Smith, 2010, p. 27). As reminiscências de Bohr, junto a um conhecimento histórico daquele momento, a partir de interlocuções com outras fontes (primárias e secundárias), evidencia que “cada entrevista pode ser um convite a uma cadeia de diálogos” (Smith, 2010, p. 27). Neste caso, em especial, ela permitiu, além de menções a quadros conceituais do modelo atômico bohriano, que se explorasse distintos aspectos relativos à Natureza da Ciência que perpassaram o seu relato.

“A história oral pode democratizar o entendimento do passado”, pois permite imaginar uma experiência pessoal “como algo que existe para ser compartilhado, como algo que poderia ser útil para uma comunidade de investigação mais ampla” (Smith, 2010, p. 27) e, no âmbito do ensino de ciências, isso pode ser extremamente rico para trazer à tona discussões relativas à HFC e aspectos sobre a ciência.

As asserções que subsidiaram o vínculo entre trechos da entrevista e determinados aspectos relativos à NdC, e a maneira como elas são enunciadas e comentadas permite, como os próprios autores colocam “[...] o seu vínculo e contraste com uma ampla gama de produções históricas no horizonte da ciência em geral” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 46). Como já ponderava Moura (2014, p. 44) ao apresentar uma revisão do tema,

É preciso um esforço de tornar a incorporação da natureza da Ciência como um projeto amplo e articulado tanto na formação de professores – que precisam ter uma visão mais adequada de Ciência – quanto de alunos, cujas concepções distorcidas e simplistas precisam ser trabalhadas, problematizadas e superadas.

A bela e instigante entrevista com Bohr, sobre o desenvolvimento de parte de seu modelo atômico, sua imersão na ciência, nuances de aspectos afetivos que estabeleceu com Thomson e Rutherford, felizes momentos casuais que perpassaram sua trajetória, motivações e paixões que teve pelo conhecimento, a relevância de outros estudos para o desenvolvimento e estabelecimento de novas construções teóricas no seu modelo, o processo dinâmico da ciência vivenciado, a relação que se estabelece entre teoria e experimentação, que se opõe a visões empírico-indutivistas etc, certamente permitiram (ao longo do artigo) a construção de um arcabouço reflexivo com grande potencial de contribuição para o ensino de ciências.

Não obstante, a importância de Bohr para a história e desenvolvimento da mecânica quântica e da ciência em geral, torna-se singular não apenas por suas contribuições conceituais e epistemológicas, que transcendem o seu modelo, como o princípio da complementaridade – pedra angular da interpretação de Copenhague, mas também pelo Instituto de Física Teórica da Universidade de Copenhague que fundou em 1921. O instituto, quatro décadas depois, foi oficialmente renomeado como era conhecido popularmente, o *Niels Bohr Institute* (**figura 1**).

Sob a liderança de Bohr, o Instituto forneceu o principal centro para o surgimento da mecânica quântica e uma nova compreensão da natureza em nível atômico. Mais de sessenta físicos de 17 países vieram colaborar com os físicos dinamarqueses do Instituto durante sua primeira década. O Instituto Bohr foi o primeiro centro verdadeiramente internacional em física e, de fato, um dos primeiros em qualquer área da ciência. Ele forneceu uma demonstração impressionante do valor da cooperação internacional em ciência e inspirou os posteriores desenvolvimentos de centros semelhantes em outras partes da Europa e nos Estados Unidos (Robertson, 2015, p. 481, tradução nossa).

Figura 1 – Bohr iniciando a expansão do Instituto em uma foto simbólica datada de 1935-1936



Fonte: <https://arkiv.dk/en/vis/5932026>.

Devido ao centenário do Instituto, completado em 2021, e do centenário do Prêmio Nobel de Física concedido a Bohr em 1922 – por sua investigação acerca da estrutura dos átomos e sua radiação –, diversas foram as celebrações que ocorreram em 2022, no âmbito acadêmico e científico, no sentido de comemorar esses dois acontecimentos. As celebrações visaram “[...] prestar homenagem à vida, obra e legado de Niels Bohr, [...] aumentar a conscientização pública sobre as contribuições da física para a nossa sociedade, seu papel para enfrentar os desafios do futuro” (Bergé, 2022, tradução nossa).

Este artigo, com a análise e a retomada da entrevista cedida por Bohr, caminha também no sentido de, mais uma vez, trazer à tona e valorizar um dos estudiosos mais importantes dos últimos tempos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Brasil; CNPq/MCTI Nº 10/2023 – Universal.

Referências

- AASERUD, F.; HEILBRON, J. L. (org.). *Love, literature, and the quantum atom: Niels Bohr's 1913 trilogy revisited*. Oxford: Oxford University Press, 2013.
- BATISTA, C. A.; PEDUZZI, L. O. Q. Vínculos epistemológicos entre saberes da NdC e o contexto investigativo antecedente à tradição de pesquisa da ciência moderna. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 23, e41682, p. 1-30, 2023. DOI: <https://doi.org/mvdb>.
- BERGÉ, L. *Niels Bohr celebrations in 2022*. Mulhouse, France: European Physical Society, 2022. Disponível em: <https://tinyurl.com/yp43xbsu>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- BOARO, D. A.; MASSONI, N. T. O uso de elementos da história e filosofia da ciência (HFC) em aulas de física em uma disciplina de estágio supervisionado: alguns resultados de pesquisa. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 110-144, 2018. DOI: <https://doi.org/mvdc>.
- BOHM, D. *Causalidade e acaso na física moderna*. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto, 2015.
- BOHR, N. *Interview of Niels Bohr by Thomas S. Kuhn, Leon Rosenfeld, Erik Rudinger, and Aage Petersen: session 1*. College Park, US: Niels Bohr Library & Archives: American Institute of Physics, 1962. Disponível em: <https://tinyurl.com/2ke2yvhz>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- BOHR, N. Note: "the public defense". In: ROSENFELD, L. (ed.). *Niels Bohr collected works: volume 1: early work (1905-1911)*. Amsterdam: North-Holland, 1972a. p. 97-98.
- BOHR, N. The Rutherford memorandum (1912). In: ROSENFELD, L. *Niels Bohr collected works: volume 2: work on atomic physics (1912-1917)*. Amsterdam: North-Holland, 1981a. p. 136-158.
- BOHR, N. Selected correspondence 1909-1916. In: ROSENFELD, L. (ed.). *Niels Bohr collected works: volume 1: early work (1905-1911)*. Amsterdam: North-Holland, 1972. p. 496-586.
- BOHR, N. Selected correspondence 1912-1917. In: ROSENFELD, L. *Niels Bohr collected works: volume 2: work on atomic physics (1912-1917)*. Amsterdam: North-Holland, 1981. p. 493-611.
- BOHR, N. Studies on the electron theory of metals. In: ROSENFELD, L. (ed.). *Niels Bohr collected works: volume 1: early work (1905-1911)*. Amsterdam: North-Holland, 1972b. p. 291-395.
- BOHR, N. The trilogy: on the constitution of atoms and molecules. In: ROSENFELD, L. *Niels Bohr collected works: volume 2: work on atomic physics (1912-1917)*. Amsterdam: North-Holland, 1981b. p. 159-233.
- CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JUNIOR, M. F. As dimensões da imaginação científica e suas implicações educacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 4., 2003, Bauru. *Anais [...]*. Bauru: Abrapec, 2003. p. 1-4.
- FLECK, L. *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte, MG: Fabrefactum, 2010.
- FORATO, T. C.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência da sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

HARTZ, T.; FREIRE JUNIOR, O. A série de conferências history of quantum physics: um breve panorama da consolidação da pesquisa em história da física quântica nos últimos dez anos. *Boletim Eletrônico da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, n. 6, 2015. Disponível em: <https://tinyurl.com/2s48u95y>. Acesso em: 22 abr. 2024.

HEILBRON, J. L. The path to the quantum atom. *Nature*, London, 498, p. 27-30, 2013.

HEILBRON, J. L.; KUHN, T. S. The genesis of the Bohr atom. *Historical Studies in the Physical Sciences*, Oakland, v. 1, p. vi-290, 1969. DOI: <https://doi.org/10.2307/27757291>.

HEVESY, G. Selected correspondence 1912-1917. In: ROSENFELD, L. *Niels Bohr collected works: volume 2: work on atomic physics (1912-1917)*. Amsterdam: North-Holland, 1981. p. 527-533.

JORGE, L. *Na formação de professores e cientistas, uma HQ sobre aspectos da NdC e imagens: encantar-se com os entre-(en)laces*. 2018. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

KUHN, T. S. *A tensão essencial*. São Paulo: Unesp, 2011.

KUHN, T. S.; HEILBRON, J. L.; FORMAN, P.; ALLEN, L. *Sources for history of quantum physics: an inventory and report*. Philadelphia: American Philosophical Society, 1967. Disponível em: <https://www.amphilsoc.org/guides/ahqp/>. Acesso em: 22 abr. 2024.

LEJEUNE, A. *The concise dictionary of foreign quotations*. London: Stacey London, 1998.

McCOMAS, W. F. Keys to teaching the nature of science. *Science Teacher*, Arlington, v. 71, n. 9, p. 24-27, 2004.

MOSELEY, H. G. J. Selected correspondence 1912-1917. In: ROSENFELD, L. *Niels Bohr collected works: volume 2: work on atomic physics (1912-1917)*. Amsterdam: North-Holland, 1981. p. 543-547.

MOURA, B. A. O que é a natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014. DOI: <https://doi.org/10.53727/rbhc.v7i1.237>.

PAIS, A. *Niels Bohr's times: in physics, philosophy and polity*. Oxford: Clarendon Press, 1991.

PASTEUR, L. *Oeuvres de Pasteur: réunies par Pasteur Vallery-Radot: tome VII: mélanges scientifiques et littéraires*. Paris: Masson, 1939.

PEDUZZI, L. O. Q. *Do átomo grego ao átomo de Bohr*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019. (Texto não publicado). Disponível em: <https://evolucaodosconceitos.wixsite.com/historia-da-ciencia/textos>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PEDUZZI, L. O. Q. *Problemas conceituais e filosóficos de uma nova mecânica: Bohr, Heisenberg e Einstein*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2023. (Texto não publicado). Disponível em: <https://evolucaodosconceitos.wixsite.com/historia-da-ciencia/textos>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (org.). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005. p. 151-170.

PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020. DOI: <https://doi.org/mvdd>.

PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. *Shocking frogs*. New York: Oxford U. Press, 2013.

- PIRES, L.N.; PEDUZZI, L. O. Q. Pulsating stars: o contexto histórico de pós-deteccção dos pulsares no campo da física e da astronomia. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 22, e37498, p. 1-27, 2022.
- RAIČIK, A. C. Algumas interações pessoais de Niels Bohr com J. J. Thomson e Ernest Rutherford no período de seu pós-doutorado: para uma visão mais humana da ciência. *A Física na Escola*, São Paulo, v. 21, p. 1-14, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.59727/fne.v21i1.54>.
- RAIČIK, A. C. Um resgate histórico-epistemológico do átomo de Bohr: uma gênese nem sempre contada e suas implicações ao ensino de ciências. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 45, e20230039, p. 1-17, 2023b. DOI: <https://doi.org/mvdf>.
- ROBERTSON, P. Birthplace of a new physics: the early history of the Niels Bohr Institute. In: AASERUD, F.; KRAGH, H. (ed.). *One hundred years of the Bohr atom: proceedings from a conference*. København: Royal Danish Academy of Sciences and Letters, 2015. p. 481-494. Disponível em: <https://tinyurl.com/y3k9peh8>. Acesso em: 25 abr. 2024.
- ROSENFELD, L. *Textos fundamentais da física moderna: II volume: sobre a constituição de átomos e moléculas de Niels Bohr*. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1989.
- ROSENFELD, L.; RUDINGER, E. The decisive years 1911-1918. In: ROZENTAL, S. (ed.). *Niels Bohr: his life and work as seen by his friends and colleagues*. New York: Interscience, 1967. p. 38-73.
- RUTHERFORD, E. Selected correspondence 1912-1917. In: ROSENFELD, L. *Niels Bohr collected works: volume 2: work on atomic physics (1912-1917)*. Amsterdam: North-Holland, 1981. p. 575-598.
- SAGAN, C. *O mundo assombrado pelos demônios*. São Paulo, SP: Companhia das Letras, 1996.
- SHAPIN, S. *Nunca pura*. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.
- SILVEIRA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 23, n. 1, p. 26-52, 2006.
- SMITH, R. C. História oral na historiografia: autoria na história. *História Oral*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1. p. 23- 32, 2010. DOI: <https://doi.org/10.51880/ho.v13i1.128>.
- STAUFFER, R. C. Persistent errors regarding Oersted's discovery of electromagnetism. *Isis*, Chicago, v. 44, n. 4, p. 307-310, 1953.
- WHEELER, J. A. Preface. In: KUHN, T.; HEILBRON, J. L.; FORMAN, P.; ALLEN, L. *Sources for history of quantum physics: an inventory and report*. Philadelphia: American Philosophical Society, 1967. Disponível em: <https://www.amphilsoc.org/guides/ahqp/preface.htm>. Acesso em: 23 abr. 2024.