

BOHR, EINSTEIN E A FILOSOFIA: ELEMENTOS PARA O ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA EM UMA PERSPECTIVA NÃO-TECNICISTA

BOHR, EINSTEIN AND PHILOSOPHY: ELEMENTS FOR TEACHING QUANTUM PHYSICS FROM A NON-TECHNICAL PERSPECTIVE

Eduardo Gois¹, Gabriela Rosa², Nathan Willig Lima³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Departamento de Ensino de Física
/goisfisica@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Departamento de Ensino de Física,
gabriela.gomes@ufrgs.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Departamento de Ensino de Física,
nathan.lima@ufrgs.br

Resumo

Apesar da importância da Mecânica Quântica na estrutura da Física contemporânea, essa teoria não costuma ser abordada na Educação Básica. Dessa forma, a literatura tem apontado para a necessidade de repensar seu ensino nos cursos de formação inicial de professores de Física a partir de tópicos que possam ser explorados sem o uso de formulações matemáticas complexas. O presente trabalho tem por objetivo caracterizar o pensamento de Bohr e Einstein sobre a completude da Mecânica Quântica, a partir de uma investigação de fontes primárias, adotando uma perspectiva internalista da história da ciência. A partir dos elementos caracterizados nessa investigação, discutem-se possibilidades de propostas didáticas alternativas ao ensino tecnicista, hegemônico no campo do ensino de Física.

Palavras-chave: Ensino de Ciências, Teoria Quântica, Realismo, Antirrealismo.

Abstract

Despite the importance of Quantum Mechanics in the structure of contemporary Physics, this theory is not usually addressed in Basic Education. Thus, the literature has pointed to the need to rethink teaching in initial training courses for Physics teachers based on topics that can be explored without the use of complex mathematical formulations. The present work aims to characterize Bohr and Einstein's thoughts on the completeness of Quantum Mechanics, based on an investigation of primary sources, adopting an internalist perspective on the history of science. Based on the elements characterized in this investigation, the possibility of alternative didactic proposals to technical teaching, hegemonic in the field of Physics teaching, is discussed.

Keywords: Science Teaching, Quantum Theory, Realism, Anti-realism.

Introdução

A literatura da área de Pesquisa em Ensino de Física indica que o ensino atual é focado em resoluções de problemas matemáticos e baseado no discurso oral do

professor – ensino hegemônico e tecnicista. Apesar de apresentar certas vantagens, esse está longe de dar conta das demandas atuais. Assim, fazem-se necessárias metodologias que considerem a participação ativa dos alunos, para um ensino contemporâneo (Pasqualetto & Veit & Araujo, 2017).

Se o ensino de Física em suas áreas mais tradicionais como Mecânica e Teoria Eletromagnética já enfrenta certas barreiras, a área que corresponde a Teoria Quântica é ainda mais complexa. Embora seja uma área fascinante da Física ainda é um assunto pouco abordado no contexto da Educação Básica. As pesquisas da área de Ensino de Física apontam, há décadas, para a necessidade de ensinar a Física Moderna na escola (Ostermann & Moreira, 2000). Não basta que esse tópico esteja inserido no contexto das políticas que regulamentam a educação brasileira se os professores, que são os principais responsáveis por levar os conteúdos para a sala de aula, não contarem com uma formação que os subsidie nessa ação.

Johansson et al. (2018), apontam que o ensino da Teoria Quântica nos cursos de graduação em Física é essencialmente instrumentalista, com abordagens voltadas para o ensino e aprendizagem do formalismo da teoria e para a resolução problemas matemáticos em detrimento de seus outros aspectos. Contudo, dificilmente um ensino da Teoria Quântica com foco na resolução e nas aplicações da Equação de Schrödinger será útil para aqueles e aquelas que precisarão fazer a transposição didática desse conteúdo para a Educação Básica. Ainda que a linguagem matemática seja de extrema importância para a descrição dos problemas físicos uma teoria física não se restringe a seu formalismo, possuindo, também, fenomenologia e interpretações filosóficas associadas. Tais aspectos, se explorados em profundidade, podem ser melhor aproveitados pelos futuros professores de Física no âmbito de sua profissão como destacam (Rosa et al., 2022).

Olhar para os outros aspectos da teoria é uma alternativa que segue as tendências da área de Ensino de Ciências que há décadas apontam para o favorecimento de abordagens voltadas para a História e Filosofia da Ciência (Boaro & Massoni, 2018; Matthews, 1995). A partir desse cenário, o objetivo do presente trabalho é interpretar alguns registros históricos sobre o debate entre Bohr e Einstein, que explicitam os fundamentos conceituais e filosóficos da Teoria Quântica, buscando subsídios para formação de professores que superem o paradigma “*shut up and*

calculate". Considerando-se o exposto, pretende-se responder as seguintes perguntas: a) Quais elementos desse episódio podem contribuir como subsídios para formação de professores que superem esse paradigma? b) Quais as principais controvérsias conceituais e filosóficas? c) Quais as limitações e abordagens desse episódio?

Referencial Teórico metodológico

Conforme Videira (2007) aponta, a disciplina de História da Ciência (HC) pode ser considerada tão antiga quanto a própria Ciência e participou na legitimação do conhecimento científico.

Embora, todas as perspectivas historiográficas contenham benefícios e limitações, entendemos que a (HC) pode contribuir com o ensino de disciplinas científicas desde que seja adotada de forma consciente e não seja tratada de forma ingênua. Desta forma, ao longo deste trabalho a perspectiva adotada está centrada na proposta internalista (Videira, 2007), em que se analisou e interpretou registros históricos primários do debate entre Bohr e Einstein, a partir de acontecimentos internos a própria Ciência – sem considerar estruturas externas ou buscar desconstruí-las. Partindo dessa perspectiva internalista foram destacadas as interpretações filosóficas da Teoria Quântica desses reconhecidos cientistas.

Segundo Bagdonas & Silva (2013), é importante que o professor tenha contato em sua formação com esse aspecto filosófico das teorias para que obtenha subsídios para tornar a suas aulas abertas, ou seja, mais do que a reprodução de conteúdos prontos. Nesse sentido, a tensão filosófica entre Realismo e Antirrealismo serve como maneira de discutir a Natureza da Ciência. Ademais, e de forma que não esgota o assunto, pode-se considerar que o Realismo é um movimento que surge no século XIX, como uma oposição ao Positivismo, com ênfase na valorização da quantificação e do método hipotético-dedutivo. O pensamento realista pode assumir diferentes vertentes, mas a sua principal premissa está associada a existência de uma realidade objetiva e exterior ao sujeito cognoscente (Pessoa Jr., 2003).

Enquanto o Realismo se define em contextos muito específicos e restritos, o Antirrealismo se estende por tudo aquilo que não pode ser considerado realista e suas teses contemplam um espectro de posições mais ou menos radicais. Como exemplo,

uma possível vertente antirrealista é o Idealismo que embora não se resuma a uma negação do Realismo ontológico inclui vertentes filosóficas compatíveis com tal negação. Quando negamos a existência de uma realidade externa e independente estamos assumindo uma posição compatível com o Idealismo ontológico ou Idealismo subjetivista – neste contexto, existem ramificações mais radicais, tais como o Solipsismo, que assume a realidade como produto da consciência.

A construção da Teoria Quântica e o enfrentamento entre Bohr e Einstein

Segundo Bunge (1979), seria ingênuo pensar que a resistência de Einstein a alguns aspectos da Teoria Quântica era apenas uma espécie de conservadorismo científico, frente à uma teoria que parecia estar revolucionando a Física. Einstein levantou questões genuínas que foram ignoradas por alguns físicos, mas que resultaram em avanços importantes na teoria. Para entender o quanto esse posicionamento de Einstein foi importante para a construção da teoria e como isso partia do seu posicionamento filosófico, se faz pertinente uma breve retomada histórica.

Conforme Jammer (1966), até o ano de 1925, não existia uma “Teoria Quântica”, e cada problema relacionado à estrutura da matéria ou da radiação precisava ser resolvido em termos da Física Clássica. Somente em 1925 Werner Heisenberg inaugura a teoria que ficou conhecida como Mecânica Matricial, cuja sua essência está na concepção corpuscular da matéria e na descontinuidade dos processos atômicos. Tomando o Princípio da Correspondência e os saltos quânticos¹ como verdadeiros, Heisenberg (1925) desconsidera as noções clássicas de posição e velocidade para elétrons em átomos e passa a trabalhar apenas com grandezas observáveis, o que consiste com uma filosofia antirrealista e profundamente positivista.

Por outro lado, em 1926, Schrödinger desenvolveu a teoria que ficou conhecida como Mecânica Ondulatória que possuía uma interpretação filosófica realista – partindo do teorema de Broglie sobre a equivalência entre o Princípio de Maupertuis e o Princípio de Fermat – que defendia a representação ondulatória dos

¹ Que já possuem características indeterministas (não causais) em sua formulação, uma vez que o elétron sai de um nível e pode ir para outro qualquer sem que possamos descrever sua trajetória.

objetos quânticos e utilizava um formalismo matemático consistente com a resolução de equações diferenciais (Schrödinger, 1928). Embora a visão metafísica de Schrödinger sobre a realidade não tenha sido aceita na comunidade científica, seu formalismo matemático foi amplamente difundido. Ademais, tentativas foram feitas com o objetivo de conciliar a Mecânica Matricial e a Mecânica Ondulatória. Entretanto, o comportamento dual da matéria ainda não era explicado.

Outras contribuições fundamentais foram as executadas por Born (1954), sugerindo que essa teoria teria caráter probabilístico. Por Heisenberg (1983, 2000), que apresenta o Princípio da Incerteza que foi inerente a construção da própria teoria. Além disso, o Princípio da Incerteza compôs a Complementariedade de Bohr que foi formalmente apresentada em 1928 sendo parte da interpretação de Copenhague que é considerada a hegemônica até hoje. Desta forma, o grande “confronto” entre Niels Bohr e Albert Einstein ocorreu durante a Conferência de Solvay em 1927, quando Einstein tenta rejeitar o Princípio da Incerteza e Bohr, em vias de formular a Complementariedade, defende-o como essencial a descrição de fenômenos quânticos (Heisenberg, 2000; Landsman, 2006).

Não parecem existir registros oficiais sobre o que, de fato, foi discutido diretamente entre os dois durante este evento, apenas existem relatos sobre a pretensa vitória de Bohr. Ademais, nos anos posteriores suas discordâncias mudam de foco e passam a ser direcionadas para a completude (ou não) da Teoria Quântica (Landsman, 2006).

Foi um prazer para mim estar presente durante as conversas entre Bohr e Einstein. Como um jogo de xadrez. Einstein o tempo todo com novos exemplos. Em certo sentido, um movimento perpétuo de segundo tipo para quebrar a relação de incerteza. Bohr das nuvens de fumaça filosóficas constantemente procurando as ferramentas para esmagar um exemplo após o outro. (Ehrenfest to Goudsmit et al., 1927 apud Landsman, 2006, tradução livre).

Para Niels Bohr (1995), o quantum de ação introduziu uma situação totalmente nova na Física e a individualidade dos processos atômicos não se tratava somente de um elemento novo as teorias da física clássica, mas totalmente irreconciliável com a própria noção de causalidade. A individualidade dos efeitos quânticos estaria associada ao fato de que qualquer tentativa de subdividir os fenômenos exigiria

mudanças no arranjo experimental, o que introduziria novas fontes de perturbação entre objetos e instrumentos de medição (Bohr, 1995).

Então, apesar das descrições físicas clássicas não darem conta de explicar os fenômenos atômicos e os efeitos quânticos ultrapassarem seus limites de análise, a linguagem da física clássica seria a única forma que os humanos possuem para relatar arranjos experimentais e as observações, de modo que todo relato empírico deve ser expresso por meio desta – apesar de suas limitações – e, portanto, um fenômeno poderia ser ondulatório ou corpuscular, e jamais os dois ao mesmo tempo. Quanto a natureza estatística da Teoria Quântica, Bohr percebia como uma situação essencialmente diferente dos métodos estatísticos da mecânica clássica e inerente a limitação da descrição microscópica da matéria.

Para Einstein (1970), por outro lado, o caráter estatístico da Teoria Quântica estaria associado à sua descrição incompleta para os sistemas físicos. Segundo ele, a descrição quântica deveria ser considerada apenas como uma forma de explicar o comportamento médio de um grande número de sistemas e a função de onda se referiria apenas a um conjunto de sistemas, tal como na mecânica estatística. Embora Einstein admita a possibilidade de considerar que a Teoria Quântica fosse capaz de oferecer uma descrição exhaustiva dos fenômenos individuais, o físico considera que essa afirmação era contrária a seu instinto científico, pois não era capaz de fornecer uma descrição completa da situação real (Einstein, 1970) – ou seja, vai contra seu posicionamento filosófico. E, ainda que admita que nenhuma outra teoria tenha sido capaz de abranger uma quantidade diversa de fenômenos, assume que a Teoria Quântica é uma representação incompleta de coisas reais e que a ideia de Bohr – associada a complementaridade – de que a descrição teórica dos fenômenos pode depender das condições empíricas não lhe parece certa (Einstein, 1970).

Considerações Finais

Longe de esgotar as discussões sobre as diferenças entre os pensamentos de Bohr e Einstein, o presente trabalho forneceu aspectos conceituais e filosóficos que possam auxiliar no ensino da Teoria Quântica. Assim, respondendo as perguntas propostas na introdução, consideramos que esse enfrentamento histórico apresenta uma discordância filosófica mais profunda que pode servir como elemento para discutir sobre a Natureza da Ciência, logo, se transformando em alternativa para a

formação dos futuros professores. As principais controvérsias ocorrem pelo inconformismo de Einstein com as características antirrealistas que levaram a interpretação ortodoxa da Teoria Quântica às últimas consequências. As limitações dessa abordagem ocorrem pela necessidade de escolha de documentos e fontes históricas para fazer a reconstrução desse confronto. Logo, há necessidade de haver um esforço por parte do docente em se aprofundar no episódio histórico. Entendemos que o investimento nesse tipo de proposta, apesar de dispendioso, é profícuo na medida que permite um maior entendimento da teoria sem dispender de domínio do formalismo matemático.

Referências

- Bagdonas, A., & Silva, C. C. (2013). Controvérsias sobre a natureza da ciência na educação científica. *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. São Carlos: Tipographia, 213-223.
- Boaro, D. A., & Massoni, N. T. (2018). 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*, 23(3), 110.
- Bohr, N. (1995). *Física Atômica e Conhecimento Humano: ensaios 1932-1957*. Contraponto.
- Born, M. (1954). *Max Born – Nobel Lecture: The statistical interpretation of quantum mechanics*. NobelPrize.Org.
- Bunge, M. (1979). The Einstein-Bohr debate over quantum mechanics: Who was right about what?. In *Einstein Symposium Berlin: aus Anlaß der 100. Wiederkehr seines Geburtstages 25. bis 30. März 1979* (pp. 204-219). Springer Berlin Heidelberg.
- Einstein, A. (1970). Remarks concerning the essays brought together in this cooperative volume. In P. A. Schilpp (Ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (4th ed., p. 665). MJF BOOKS.
- Heisenberg, W. (1925). Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen. *Zeitschrift Für Physik*, 33(1), 879–893.

- Heisenberg, W. (1983). The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics. In J. A. Wheeler & W. H. Zurek (Eds.), *Quantum Theory and Measurement* (pp. 62–83). Princeton University Press.
- Heisenberg, W. (2000). *Physics and Philosophy*. Penguin Books.
- Jammer, M. (1966). *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. McGraw-Hill Book Company.
- Johansson, A., Andersson, S., Salminen-Karlsson, M., & Elmgren, M. (2018). “Shut up and calculate”: the available discursive positions in quantum physics courses. *Cultural Studies of Science Education*, 13(1), 205–226.
- Landsman, N. P. (2006). When champions meet: Rethinking the Bohr-Einstein debate. *Studies in History and Philosophy of Science Part B - Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 37(1 SPEC. ISS.), 212–242
- Matthews, M. R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 12(3), 164–214.
- Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa em Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 5(1), 23–48.
- Pasqualetto, T. I., Veit, E. A., & Araujo, I. S. (2017). Aprendizagem baseada em projetos no Ensino de Física: uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 551-577.
- Pessoa Jr., O. (2003). *Conceitos de Física Quântica*. Livraria da Física.
- Rosa, G. G., Lima, N. W., & Cavalcanti, C. J. de H. (2022). Diferentes proposições do princípio da incerteza para posição e momentum: integrando formalismo matemático, fenomenologia e interpretações no ensino da teoria quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44.
- Schrodinger, E. (1928). *Collected Papers on Wave Mechanics*. Backie & Son Limited.
- Videira, A. A. P. (2007). Historiografia e história da ciência. *Escritos. Revista Do Centro de Pesquisa Da Casa de Rui Barbosa*, 1(1), 111–158.