



PERSPECTIVAS
REVISTA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS

VOL. 8, Nº 1, 2023, P. 141-183
ISSN: 2448-2390

Aspectos das convergências e divergências entre os pensamentos de Kant e Bohr

**Aspects of Convergences and Divergences
between the Thoughts of Kant and Bohr**

DOI: 10.20873/rpv8n1-63

Eduardo Simões

Orcid: 000-0001-7375-8574
Email: eduardosimoes@uft.edu.br

Erickson Cristiano dos Santos

Orcid: 0000-0002-8454-0033
Email: erickson.santos@gmail.com

Helen Cristina Pereira Lima

Orcid: 0000-0003-4370-7068
Email: helenlima618.hl@gmail.com

Maxwell Diógenes Bandeira de Melo

Orcid: 0000-0001-5519-8614
Email: maxwellmelo@mail.uft.edu.br

Walter Ribeiro dos Santos

Orcid: 0000-0003-4957-9001
Email: amigowalter@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar a filosofia de Kant e o pensamento de Bohr como formas de conhecimento que se encontram, segundo alguns comentadores, a partir de conceitos da física clássica. Ademais, a epistemologia de Kant apresentou grande aproximação com a filosofia natural de Newton e, conceitualmente, alguns limites de fronteira com a filosofia da física quântica, se consideramos a fase inicial da mecânica

clássica. Tais conceitos limítrofes adquiriram forma na física de Bohr e, por sua vez, se modificaram no pensamento do físico dinamarquês. Assim, aborda-se aqui a posição de Bohr sobre conceitos aproximados da filosofia kantiana, pelo viés clássico da preservação de conceitos como espaço, tempo, realismo e causalidade da física. Por outro lado, serão apresentados argumentos que indicam como não se sustentam todas as interpretações que construíram um “Bohr kantiano”.

Palavras-chave

Física; filosofia; mecânica quântica; Kant; Bohr; conhecimento.

Abstract

The purpose of this paper is to present Kant's philosophy and Bohr's thought as forms of knowledge that are, according to some commentators, based on concepts from classical physics. Moreover, Kant's epistemology presented great approximation with Newton's natural philosophy and, conceptually, some border limits with the philosophy of quantum physics, if we consider the initial phase of classical mechanics. Such border limits concepts took shape in Bohr's physics and, in turn, changed in the Danish physicist's thinking. Thus, Bohr's position on concepts approaching Kantian philosophy is approached here, from the classical physics bias of preserving concepts such as space, time, realism, and causality. On the other hand, arguments will be presented that indicate how all the interpretations that built a “Kantian Bohr” are not supported.

Keywords

Physics; philosophy; quantum mechanics; Kant; Bohr; knowledge.

1. Introdução

A física desenvolvida no começo do século XX apresentou questões filosóficas pertinentes em vários aspectos que foram peculiares e relevantes para a reflexão sobre os fundamentos do conhecimento científico. A mecânica quântica, em particular, fomentou uma discussão ímpar desde o início de sua apresentação à comunidade acadêmica, em 1900, por Max Planck. Deve-se reconhecer que a física recebeu com tais questões o benefício de ser renovada com conceitos inéditos dentro do quadro clássico praticado até aquele período. Tal renovação aconteceu tanto na forma quanto no conteúdo, pois indicou um modo novo de se apresentar objetos, fenômenos ou entidades teóricas conhecidas pelos conceitos clássicos. Evidenciou também, características marcantes do universo microfísico, que trouxe à superfície o mundo não clássico e seus problemas de interpretação. Notadamente trouxe também críticas sobre o caráter desse

conhecimento inovador à pesquisa física, o que impeliu os cientistas a trabalharem na conciliação de ambas as teorias físicas: a clássica e a moderna.

Não é exagero afirmar que houve uma reforma metodológica, muitos rearranjos de caráter conceituais e novos procedimentos experimentais em busca de uma visão distinta da ontologia das entidades teóricas apresentadas pela mecânica quântica em relação aos conceitos clássicos. Houve também uma mudança de visão epistemológica, ou seja, o tipo de conhecimento do conteúdo e o acesso ao mundo microfísico levava a uma quantidade maior de entidades para serem observadas. Assim, partículas introduzidas no ambiente quântico ampliaram a paisagem de objetos presentes na natureza, mas, é claro, trouxeram também consigo a dificuldade de conciliá-las com a teoria clássica. Então, não é exagero afirmar que os cientistas estavam “vendo” de forma mais ampla a natureza, com problemas consideravelmente maiores também.

O ponto central de todas essas mudanças não foi de fácil compreensão dentro das epistemologias no cenário intelectual europeu do século XX. As diferentes filosofias e as ciências encontraram-se na mecânica quântica com urgência de revisão do caráter complexo que se instaurou como conhecimento do universo microfísico. Anteriormente, no ambiente clássico, havia um limitado alcance das explicações físicas, pois elas não eram suficientes para detalhar a estrutura da matéria em termos do funcionamento. Isso indicava que a física clássica representada pela mecânica, termodinâmica e eletromagnetismo, precisava ser complementada para descrever melhor os fenômenos do mundo atômico, e a filosofia poderia apoiar tal projeto desde que se juntassem argumentos profícuos de acordo com as filosofias do fim do século XIX.

A diferença entre a física clássica e a quântica sobressaiu-se em acalorados discursos de físicos como Bohr, Einstein, Heisenberg e outros, que indicaram interpretações sobre os fenômenos atômicos alinhadas com procedimentos experimentais e desenvolvimentos matemáticos mais sofisticados. Essa matematização da física alcançou níveis de grande interesse, pois iniciaram as questões sobre o poder da matemática representar ou não aquilo que os físicos querem dizer sobre o mundo com suas teorias. Não foi muito diferente a mudança instrumental que também chegou aos laboratórios de física para apoiar o debate. Sklar (2021, p. 221) afirma

que “para compreender a teoria dos quanta, temos de rever a própria compreensão de questões como a natureza objetiva da realidade e a sua independência em relação à percepção que temos dela [...], a natureza do tipo causal e outras existentes no mundo”. Esse parece ser, em geral, o espírito principal do debate em torno das questões da mecânica quântica: o realismo e a causalidade.

De fato, como será apresentado ao longo desse texto, a noção de física clássica foi duradoura e fértil para os físicos até essa virada científica que a mecânica quântica apresentou. Mas o ponto de mudança da física exigiu profunda reflexão sobre tópicos criticados por princípios clássicos da compreensão dos fenômenos. Por aspectos mais relacionados à formação dos físicos do período do fim do século XIX, a tendência seria que eles buscassem entendimento pelos caminhos da física clássica, pois essa havia oferecido, supostamente, caminhos bastante seguros ao longo dos anos. Todavia essa visão de mundo da física clássica não resistiu aos limites explicitados pelos fenômenos microfísicos. A partir de conceitos como a quantização da energia, modelos atômicos e uma imensa complexidade matemática, a física voltou-se para o debate de temas de especulação de alto nível e seguiu-se disso um desenvolvimento teórico pujante. Assim, a história da física estava sendo construída sobre novos alicerces, palco de enorme discussão intelectual entre os criadores da teoria quântica.

Se, por um lado, a física clássica tinha legitimidade epistemológica sustentada pela filosofia natural de Newton; por outro lado, a mesma física clássica representada pela filosofia de Kant sofreu ataques com o advento da mecânica quântica. Esse é o ponto crucial a ser tratado aqui. A questão debatida terá uma restrição em torno da posição de Bohr e suas matizes kantianas, principalmente. Segundo Patrícia Kauark Leite (2010) e Michel Bitbol (2013), há comparações possíveis entre a filosofia de Kant e o pensamento de Niels Bohr, as quais iremos averiguar sobre as possibilidades de as raízes do pensamento de Bohr estarem relacionadas ao pensamento kantiano.

2. A epistemologia de Kant

Um problema gnosiológico central na filosofia da Idade Moderna diz respeito às condições de possibilidade do conhecimento, ou melhor dizendo, concerne à questão sobre se a nossa mente é capaz de conhecer e refletir de maneira adequada o mundo que nos rodeia, se é possível ao sujeito captar o objeto e se a razão é capaz de penetrar os mistérios da natureza e trazer à luz as leis do seu desenvolvimento. Filósofos como Descartes, Bacon, Locke, Hume, Leibniz, Espinosa trataram de questões atinentes ao problema do conhecimento na modernidade, estabelecendo uma querela entre racionalismo e empirismo. Do lado do racionalismo, elevava-se a razão com sua inquestionável confiança no poder da ciência e da lógica para resolver os problemas humanos. Do lado do empirismo, além da crítica histórica ao racionalismo, que elegia a razão como fonte de conhecimento sem levar em consideração seu embasamento na experiência, negava-se também a noção de verdades sintéticas *a priori*, cujo projeto de resgate nas ciências coube a Immanuel Kant, conforme veremos. Foi Kant aquele capaz de resolver a disputa estabelecida, lidando tanto com o dogmatismo do racionalismo, quanto com o ceticismo do empirismo, ao promover uma espécie de “revolução copernicana” no interior da filosofia, tal como enunciado no Prefácio da segunda edição da *Crítica da Razão Pura* (CRP¹): “Até agora admitia-se que o nosso conhecimento se devia regular pelos objetos; [...] Tentemos, pois, uma vez, experimentar se não se resolverão melhor as tarefas da metafísica, admitindo que os objetos se deveriam regular pelo nosso conhecimento [...]” (*KrV*, B XVI)².

A revolução copernicana em Kant pauta-se em justificar o conhecimento não com o sujeito “girando em torno do objeto”, e sim com o objeto girando em torno do sujeito, isto é, não é o sujeito que, ao conhecer, descobre as leis do objeto, mas sim, é o objeto que, quando é conhecido, se adapta às leis do sujeito que o recebe cognoscitivamente. Para Kant, isso “concorda melhor com o que desejamos, a saber, a possibilidade de um conhecimento *a priori* desses

¹ Será pela sigla CRP que abreviaremos o título *Crítica da Razão Pura* no corpo deste artigo.

² A *Crítica da Razão Pura* será referenciada no corpo do presente artigo com a abreviatura do original *Kritik der reinen Vernunft* (*KrV*) seguido da paginação A/B, conforme a tradução portuguesa da obra publicada pela Fundação Calouste Gulbenkian traduzida por Manuela Pinto dos Santos e Alexandre Fradique Morujão.

objetos, que estabeleça algo sobre eles antes de nos serem dados” (*KrV*, B XVI). Mas, qual é a justificativa de um conhecimento *a priori* dos objetos? Por que a necessidade de se estabelecer algo sobre eles antes de nos serem dados? E como isso resolverá melhor as tarefas da metafísica?

Segundo Morujão (2008, p. VIII), “[...] é o modelo da ciência da natureza que se encontra na base da filosofia de Kant”. O próprio Kant assume que a necessidade de uma síntese *a priori* deriva de uma inspiração que ele vai buscar nas ciências: “a *matemática* e a *física* são os dois conhecimentos teóricos da razão que devem determinar *a priori* o seu objeto [...]” (*KrV*, B X). É aqui que surge o problema-chave kantiano: “uma vez que a natureza do *conhecimento científico* (ou seja, a natureza do *verdadeiro conhecimento*) consiste em ser uma ‘*síntese a priori*’, qual é a natureza da síntese *a priori* e qual é o *fundamento* que a torna possível?” (REALE; ANTISERI, 2004, p. 355). É no conhecer desse fundamento que será possível resolver o problema de como as ciências matemático-geométricas e a ciência física são possíveis, e se poderá, por fim, resolver o problema sobre se é ou não possível uma “*metafísica como ciência*”.

Kant é da opinião que os mesmos princípios de raciocínio empregados nos juízos empíricos sobre objetos físicos também são usados de forma purificada em juízos metafísicos sobre Deus, a alma e outras entidades não-empíricas. Contudo, não se trata aqui de uma metafísica dogmática que não faz distinção crítica entre fenômeno e coisa em si. Trata-se de uma metafísica que não é arbitrária e que é colocada a partir dos princípios da razão – uma pretensa ciência do suprassensível. A posição de Kant parece repousar em uma lógica sólida. Se uma e a mesma faculdade de raciocínio é empregada em investigações ou juízos empíricos e metafísicos e o emprego empírico da razão é considerado legítimo, o mesmo deveria acontecer em seu emprego metafísico. Se, no entanto, a metafísica resulta em contradições, então a razão como um todo contradiz-se a si mesma. A metafísica, dessa forma, é um problema da razão, uma pressuposição da razão. E, na medida em que o problema da metafísica é, em última instância, uma questão de relação da razão consigo mesma, o caminho para sua solução também deve ser reflexivo (a razão deve examinar-se a si mesma). Para isso, implica que devemos fazer da própria razão um objeto de investigação filosófica ao invés de buscar o conhecimento da realidade

transcendente. Diante disso, Kant convida “à razão para de novo empreender a mais difícil das suas tarefas, a do conhecimento de si mesma e da constituição de um tribunal que lhe assegure as pretensões legítimas e, em contrapartida, possa condenar-lhe todas as presunções infundadas” (*KrV*, A XI). E que tribunal seria esse? “Esse tribunal outra coisa não é que a própria *Crítica da Razão Pura*” (*KrV*, A XII), isto é, uma análise crítica ou uma investigação sobre a capacidade da mente de conhecer qualquer coisa empregando nossa razão de forma independente ou isolada dos sentidos. Ela é a “necessária preparação para o estabelecimento de uma metafísica sólida fundada rigorosamente como ciência, que há de desenvolver-se de maneira necessariamente dogmática e estritamente sistemática, por conseguinte escolástica (e não popular)” (*KrV*, B XXXVI).

E como é construído o edifício epistemológico da CRP? A revolução copernicana em filosofia está frequentemente associada a uma “virada epistemológica”, que é um aspecto da “virada transcendental”³ de longo alcance. Isso significa que ela considera todas as questões metafísicas a partir de um ângulo epistemológico. Aqui a transformação no conceito de objeto, que acompanha esta revolução, revê a relação entre metafísica e epistemologia. Quando Kant fala que “os objetos se deveriam regular pelo nosso conhecimento” (*KrV*, B XVI), ele não quer dizer que os objetos são criados por nossa cognição, mas que a forma dos objetos é predeterminada por um conjunto de condições cognitivas que nos permitem superar a variedade de aparências subjetivas fugazes e circunscrever alguns fenômenos invariantes que podem ser reconhecidos e designados intersubjetivamente. O termo “objeto” é entendido como se referindo a tais invariantes experienciais, ao invés de algo além da experiência. Kant se comprometeu, então, em encontrar o que na estrutura de nossa cognição torna possível a identificação de padrões unificados de fenômenos invariantes. Encontrou duas classes de tais estruturas. A primeira é o contínuo de nossa percepção sensorial, ou seja, “duas formas puras da intuição sensível, como princípios do conhecimento *a priori*, a saber, o espaço e o tempo” (*KrV*, A 22) e a segunda é a tábua

³ No contexto kantiano, o termo transcendental se refere às condições *a priori* que a mente impõe às coisas para sua ocorrência dentro da experiência.

dos conceitos gerais de nosso entendimento (ou categorias), que são usados para trazer o múltiplo de aparências sensoriais sob uma organização comum.

Quanto ao espaço e tempo, enquanto formas puras da intuição sensível, estes estão em nós, *a priori*, e não devemos sair de nós para os conhecer. O espaço é a forma do sentido externo (abarca todas as coisas que podem aparecer exteriormente) e o tempo é a forma do sentido interno (abarca todas as coisas que podem aparecer interiormente). Eles têm “realidade empírica” (porque nenhum objeto pode ser dado a nossos sentidos sem se submeter a eles) e têm “idealidade transcendental” (porque *não* são inerentes às coisas como suas condições, mas são apenas “formas de nossa intuição sensível”, isto é, não são formas do objeto, mas sim formas do sujeito). O espaço e o tempo são fundamentos da geometria e da aritmética. Tanto um como o outro não se funda no “conteúdo” do conhecimento, mas sim na “forma”, ou seja, na intuição pura do espaço e do tempo e, por isso, têm universalidade e necessidade absolutas e “é matéria para a síntese *a priori* do entendimento, unificadora de representações sob a forma de objeto” (MORUJÃO, 2008, p. XIII).

Conhecer a coisa (objeto) pressupõe, portanto, o concurso da sensibilidade e do entendimento. Envolve a captação do objeto da intuição sensível enquanto fenômeno, como ele “aparece” para nós e não enquanto coisa em si. A coisa em si, por outro lado, não é objeto dos sentidos, não pode ser conhecida, mas pode ser pensada pelo intelecto. Ela é inteligível, um númeno (de *noumenon*), que para Kant tem apenas o sentido negativo de não ser fenomênico (*KrV*, B 311).

Ao lado da sensibilidade, que nos fornece a intuição, temos também o entendimento que nos dá o conceito. Daí a primeira parte da lógica, a Analítica Transcendental, tratar da segunda estrutura de padrões unificados de fenômenos invariantes, isto é, dos conceitos e princípios que possuímos de um modo *a priori* no entendimento. Trata-se da dedução da origem *a priori* das categorias a partir das formas dos juízos, que é chamada por Kant de dedução metafísica, distinguindo-a da subsequente dedução transcendental⁴.

⁴ “Na *dedução metafísica* foi posta em evidência em geral a origem *a priori* das categorias, pela sua completa concordância com as funções lógicas universais do pensamento: e na *dedução transcendental*, foi exposta a possibilidade dessas categorias como conhecimento *a priori* dos objetos de uma intuição em geral (§§ 20-21)” (*KrV*, B 160).

Na dedução metafísica Kant elabora uma tábua de juízos classificados segundo qualidade, quantidade, relação e modalidade e em cada caso propõe três formas de juízos, resultando esse procedimento em doze juízos, cada qual exprimindo uma categoria (unidade, pluralidade e totalidade; realidade, negação e imitação; inerência e substância, causalidade e dependência, reciprocidade; possibilidade e impossibilidade, existência e inexistência, necessidade e contingência) que têm origem *a priori* no próprio exercício do entendimento (*KrV*, B 106). “As categorias são assim para Kant os diferentes pontos de vista, segundo os quais o entendimento executa a síntese dos dados múltiplos da intuição, formando o objeto” (MORUJÃO, 2008, p. XIV). Mas, como aplicar as categorias aos fenômenos se eles são de naturezas diferentes, o primeiro de ordem intelectual e o segundo de ordem sensível? As intuições são somente sensíveis e o intelecto não intui. Como se dá, portanto, a mediação entre a intuição e os conceitos? Kant chama esse intermediário entre os planos sensível e do entendimento de “esquema transcendental”, e de “esquematismo transcendental” o modo como o intelecto se comporta com esses esquemas. O esquema transcendental é um método de construção de uma imagem em conformidade com o conceito. Ele é uma determinação *a priori* do tempo, e há um esquema para cada categoria. “O esquema da causalidade consistirá na sucessão irreversível dos fenômenos no tempo; o da substância, pelo contrário, a permanência de um fenômeno num certo intervalo de tempo” (MORUJÃO, 2008, p. XV). Com a categoria de causalidade podemos diferenciar entre sucessões subjetivas desordenadas e sequências de fenômenos semelhantes à lei que qualquer sujeito pode identificar; e a categoria de substância é aquela que unifica permanentemente um conjunto de atributos.

Certo é que o resultado da Analítica Transcendental é o de mostrar que são essas categorias que fundam dos juízos sintéticos *a priori* da física. E por que era importante para o edifício da CRP a possibilidade de juízos sintéticos *a priori*? Desde a *Introdução* da obra, Kant havia feito uma distinção entre juízos analíticos e sintéticos. As ciências se valem de juízos analíticos e sintéticos, pois consta de proposições ou de juízos universais e necessários que aumentam continuamente o conhecimento. No caso dos analíticos, estes se configuram por ter o predicado contido no sujeito e que pode ser extraído por pura análise (por exemplo: “Todo corpo é

extenso”. Nesse caso, extensão é sinônimo de corporeidade). Um juízo analítico, portanto, apenas exhibe um constituinte do conceito do sujeito e é verdadeiro em virtude do princípio da contradição. Já no caso dos juízos sintéticos, estes têm um predicado que acrescenta ao sujeito algo que não é extraível por pura análise (por exemplo: “Todo corpo é pesado”. Aqui pesado não é extraído do conceito de corpo por mera análise. Existem corpos que não são pesados: ar, fogo). Um julgamento é sintético se o predicado que ele conecta com o conceito do sujeito não estiver contido ou “pensado” nele.

O juízo analítico é *a priori*, universal e necessário, mas não é amplificador do conhecimento. O juízo típico da ciência, portanto, *não* pode ser juízo analítico *a priori*. Já o juízo sintético amplia o conhecimento e é formulado baseado na experiência (são juízos experimentais). A ciência, contudo, *não* pode se basear neles também porque, precisamente por dependerem da experiência, são todos *a posteriori* e, como tais, não podem ser universais e necessários. A ciência se baseia, portanto, num terceiro tipo de juízo: os sintéticos *a priori*. Estes juízos, “a um só tempo, unem a aprioridade, ou seja, a universalidade e a necessidade, com a fecundidade e, portanto, a sinteticidade” (REALE; ANTISERI, 2004, p. 357). Os juízos matemáticos são todos sintéticos e a ciência da natureza contém em si, como princípios, juízos sintéticos *a priori*. Os juízos sintéticos *a priori* da geometria dependem da intuição *a priori* do espaço e os juízos sintéticos da matemática dependem da intuição *a priori* do tempo.

Kant mostrou também que os princípios da física newtoniana, como as leis de conservação de massa, são *a priori* sintéticos. “Pois no conceito de matéria não penso a permanência, penso apenas a sua presença no espaço que preenche. Ultrapasso, assim, o conceito de matéria para lhe acrescentar algo *a priori* que não pensei nela” (KrV, B 18). Segundo Kant, “o mesmo se verifica nas restantes proposições da parte pura da física” (KrV, B 18). E quem funda os juízos sintéticos *a priori* na física são justamente as categorias. “As categorias permitem pôr *a priori* as leis gerais da natureza. Mas, sem os dados da intuição sensível, não passariam de formas vazias e nada permitiriam conhecer (MORUJÃO, 2008, p. XV). Isso significa que a inteligibilidade do fenômeno é devida às categorias que são formas *a priori* do entendimento, mas a intuição enquadra as impressões graças às formas *a priori* do espaço e do tempo, criando o fenômeno.

Agora, nós temos os pontos necessários à solução do problema geral da filosofia transcendental: como são possíveis os juízos sintéticos *a priori*? Um desses pontos consiste, precisamente, no fato que nós temos as formas puras da intuição do espaço e do tempo *a priori*. E o segundo deles justifica-se no fato de que o nosso pensamento é atitude unificadora e sintetizadora, que se explica através das categorias, culminando na apercepção originária, que é o princípio da unidade sintética originária, a própria forma do intelecto (REALE; ANTISERI, 2004). Essas categorias “[...] não representam nenhum objeto particular, apenas dado ao entendimento, mas unicamente servem para determinar o objeto transcendental (o conceito de algo em geral), por meio do que é dado na sensibilidade, para assim conhecer empiricamente fenômenos sob conceitos de objetos” (*KrV*, A 251). São as categorias que tornam o objeto possível, que concedem objetividade ao fenômeno, que o tornam objeto. O fundamento dos juízos sintéticos *a priori* é o próprio sujeito que sente e pensa, ou melhor, é o sujeito com as leis de sua sensibilidade e de seu intelecto, em sentido transcendental. O *sujeito transcendental*, portanto, é a condição da cognoscibilidade dos objetos (sua condição de intuitibilidade e pensabilidade); é a garantia da unidade do conhecimento dos objetos. O resultado conclusivo a que leva a revolução copernicana realizada por Kant é que o fundamento do objeto está no sujeito. O objeto supõe estruturalmente o sujeito. Por essa razão, os juízos *não* podem ir além dos objetos dos sentidos (dado que a intuição é somente sensível), valem apenas para objetos de uma experiência possível, mas não podem valer para os objetos-em-si. A ordem e a regularidade dos objetos da natureza é a ordem que o sujeito introduz na natureza.

Se na Analítica Transcendental ouvimos Kant falar de sensibilidade e entendimento, na Dialética Transcendental Kant introduz o tema da razão. A razão é aquela que confere aos conhecimentos do entendimento a unidade desejada. “Todo o nosso conhecimento começa pelos sentidos, daí passa ao entendimento e termina na razão, acima da qual nada se encontra em nós mais elevado que elabore a matéria da intuição e a traga à mais alta unidade do pensamento” (*KrV*, A 299). A Dialética Transcendental, portanto, estuda a razão e suas estruturas e trata dos erros da razão quando vai para além da experiência real. Se a razão tem como ato próprio o raciocínio e a função deste é a ligação de juízos, então a razão não tem a ver com a experiência,

mas com os juízos. A razão é uma unidade perfeita, a busca do incondicionado. Sem cessar, impele o homem para além do finito, buscando os fundamentos supremos últimos. “[...] A razão pura é uma unidade tão perfeita que, se seu princípio não fosse suficiente para resolver uma única questão de todas aquelas que lhe são propostas pela sua natureza, haveria que rejeitá-lo, pois não se poderia aplicar a qualquer outra com perfeita segurança” (*KrV*, A XIII).

Tal como a sensibilidade que possui os seus conceitos que são as formas puras *a priori* (espaço e tempo), e o entendimento que possui suas doze categorias, a razão também possui os seus conceitos próprios que são as ideias, neste caso, a ideia psicológica (alma), a ideia cosmológica (mundo como unidade metafísica) e a ideia teológica (Deus). Como na Dialética Transcendental Kant procede a uma crítica detalhada da metafísica dogmática, a conclusão a que ele chega é a de que dessas ideias não podemos ter conhecimento algum. Caímos na ilusão transcendental todas as vezes que tentamos ontologizá-las, isto é, atribuir a elas uma existência real ou *em si*, pois não podemos provar serem verdadeiras. “[...] Trata-se de uma *ilusão natural e inevitável*, assente, aliás, em princípios subjetivos, que apresenta como objetivos” (*KrV*, A 298). E as três formas que a ilusão transcendental assume são: (i) a ilusão sobre o eu (os paralogismos da razão pura), (ii) a ilusão sobre o mundo (a antinomia da razão pura), e (iii) as doutrinas da teologia. A consideração destas ideias deu origem à psicologia racional, à cosmologia racional e à teologia racional. Kant irá criticar estas três disciplinas, mas como não se trata de objeto de interesse do presente artigo, não trataremos dessa matéria aqui.

As conclusões a que Kant chega quanto ao uso regulativo das ideias da razão pura são, portanto, as seguintes (REALE; ANTISERI, 2004):

- a) É impossível uma metafísica como ciência, uma vez que uma síntese *a priori* suporia um intelecto intuitivo, isto é, diferente do intelecto humano;
- b) As ideias quando usadas em sentido constitutivo (como objetos reais do conhecimento) produzem aparências enganosas;
- c) As ideias têm uso regulativo quando valem como esquemas para ordenar e dar unidade à experiência e valem como regras para ordenar os fenômenos de maneira orgânica;

- d) Elas valem como princípios heurísticos, pois não ampliam o conhecimento dos fenômenos, apenas funcionando na unificação do conhecimento;

A CRP conclui que os limites da experiência possível estão no conhecimento científico que é fenomênico, embora não negue a possibilidade da pensabilidade e cognoscibilidade do númeno. Mas, se só se conhece o fenômeno, haverá outro caminho de acesso ao númeno que não seja o da ciência? Para Kant o caminho será o da ética. Contudo, este também não será objeto desse trabalho.

3. A filosofia da física de Bohr

No início do século XX, o surgimento da teoria quântica estava ainda comprometido com antigos pressupostos relacionados à física clássica, tais como realismo, causalidade e determinismo. Ao surgir a física quântica apareceu um movimento de inclusão do observador na descrição da realidade, antes independente, conforme a perspectiva das teorias realistas. Experimentalmente, a mecânica quântica é considerada competente, mas traz dificuldades conceituais, uma vez que não há simplicidade em suas interpretações e na forma como elas apresentam como as “coisas” são no mundo, pois não são concebidas como algo “palpável” (NOVAES; STUART, 2016).

Uma das primeiras rupturas filosóficas com os pensamentos existentes até então, aconteceu em 1913 com Bohr. Seu modelo atômico, que se assemelha a um sistema planetário, foi formulado com aplicações da teoria quântica de Planck e Einstein ao átomo nuclear de Rutherford, considerando que os elétrons “ocupassem” estados “estacionários” de energia fixa a distâncias distintas do núcleo, e que os elétrons pudessem realizar os chamados “saltos quânticos” de um estado de energia para outro (HEWITT, 2015, p. 607). Ele considerou que a luz fosse emitida quando ocorresse um desses saltos quânticos e que a energia emitida ou absorvida pelo átomo dependesse do nível inicial e final da mesma, sem ter como saber de antemão qual será o valor da energia para depois determinar o valor final. Ainda, segundo Hewitt (2015, p. 607), “Bohr corajosamente rompeu com a física clássica ao estabelecer que um elétron, de fato, não irradia luz enquanto está acelerado em torno do núcleo numa órbita simples, mas que a

irradiação acontece apenas quando o elétron salta de um nível de energia mais alto para um mais baixo”.

A proposta de modelo atômico de Bohr trouxe não apenas quatro postulados sobre o comportamento dos elétrons, sua forma de se mover e níveis de energia, mas em seu discurso do Nobel em 1922, ele apresentou um desafio para a noção de causalidade. A causalidade perdia, então, sua vantagem na descrição do mundo quântico, uma vez que “eventos isolados não possuem uma causa bem definida, além de não ser possível determinar com precisão quando um certo fenômeno irá acontecer; pode-se saber, apenas, a probabilidade para que tal fenômeno ocorra” (HEISENBERG, 1996, *apud* SIQUEIRA-BATISTA *et al*, 2003, p. 11). Sendo assim, Bohr, em 1937, fez uma crítica à causalidade, então substituída por sua noção de complementaridade⁵, uma vez que a considerava insuficiente para explicar aspectos encontrados e explicados em experiências no contexto da teoria quântica. Segundo Bohr, o princípio da causalidade “revelou-se um referencial estreito demais para abarcar as regularidades singulares que regem os processos atômicos individuais” (BOHR, 1995, p. 31).

Outro aspecto da filosofia da física de Bohr é o conhecido princípio da correspondência que Hewitt (2015) afirma ser uma regra geral para “toda boa teoria” e coloca que uma nova teoria deve entrar em concordância no domínio onde a teoria antiga tem sido comprovada. De acordo com ele, Bohr elabora o princípio da correspondência em conexão com sua teoria do átomo de hidrogênio de 1913, argumentando que, quando um elétron se encontra em um estado altamente excitado, seu comportamento deveria corresponder ao comportamento clássico. É a partir deste princípio que a mecânica quântica é mostrada como uma descrição racional dos fenômenos físicos. No livro *Física atômica e conhecimento humano* (BOHR, 1995, p. 9), Bohr diz que houve um avanço na física atômica segundo as linhas do princípio da correspondência que “nos proporcionou métodos adequados para calcular a energia dos estados estacionários dos átomos e as probabilidades dos processos de transição, tornando nossa descrição

⁵ “De fato, esta circunstância apresenta-nos uma situação relativa à análise e síntese da experiência que é inteiramente nova em física e obriga-nos a substituir o ideal da causalidade por um ponto de vista mais geral geralmente denominado ‘complementaridade’” (BOHR, 1937, p. 291).

das propriedades atômicas tão compreensível quanto a descrição ordenada da experiência astronômica pela mecânica newtoniana”.

Constituindo outro capítulo importante da filosofia da física de Bohr, temos o princípio de complementaridade. Concebido por Bohr durante as férias de esqui na Noruega em 1927 quando recebeu uma carta de Heisenberg sobre o seu recém-descoberto princípio da incerteza (HOLTON, 1984), o princípio de complementaridade surgiu ao dinamarquês após as estranhas descobertas das partículas subatômicas revelarem um mundo que era fundamentalmente probabilístico. As posições das partículas subatômicas não podiam ser atribuídas com certeza definitiva, mas apenas com probabilidades estatísticas. Tal posição constituiu uma ruptura completa com a física clássica newtoniana, onde as partículas tinham uma trajetória definida, que poderia ser prevista com total certeza se alguém tivesse as medições e matemática corretas à disposição. Segundo Bohr (1928, p. 137), “na descrição de fenômenos atômicos, o postulado quântico⁶ nos apresenta a tarefa de desenvolver uma teoria da ‘complementaridade’, cuja consistência pode ser avaliada apenas pesando-se as possibilidades de definição⁷ e observação”. A teoria da complementaridade acaba, portanto, por ser enunciada, como veremos, de três modos: entre a coordenação espaço-temporal e a asserção da causalidade; nos aspectos ondulatórios e corpusculares da luz; e entre observáveis incompatíveis, como é o caso da posição e momento. Por meio dela, Bohr nos apresenta instigantes problemas filosóficos a ponto de a colocar numa posição “adequada para caracterizar a situação, que traz uma analogia profunda com a dificuldade geral na formação de ideias humanas, inerente na distinção entre sujeito e objeto” (BOHR, 1928, p. 159). São os desdobramentos dessa filosofia da física por ele formulada que veremos nos itens que se seguem.

⁶ “[...] que atribui a qualquer processo atômico uma descontinuidade essencial, ou melhor, uma individualidade, completamente estranha às teorias clássicas e simbolizada pelo quantum de ação de Planck” (BOHR, 1928, p. 136).

⁷ “[...] a ‘definição’ se refere a entidades não-observáveis (abstrações)” (PESSOA JR., 2000, p. 137).

3.1. O Princípio da Correspondência

O modelo atômico de J. J. Thomson apresentava certas dificuldades que foram superadas pelo experimento de espalhamento no átomo de ouro realizado por Rutherford que, por sua vez, apresentou também um modelo atômico. A vantagem experimental do modelo do professor neozelandês, ainda assim, apresentava uma incompatibilidade com a estabilidade e o tamanho do átomo de Thomson (TOMONAGA, 1962, p. 97). A compreensão do funcionamento dos átomos por modelos dinâmicos apresentava dificuldades que apenas com o uso da física clássica não era possível superar. O teorema de Samuel Earnshaw (de 1842) dizia que *uma partícula carregada não poderia ser mantida em equilíbrio estável somente pelas forças eletrostáticas* e, então, esse era um limite. Isso previa a instabilidade da interação entre partículas eletrostáticas. No caso do modelo atômico, tal teorema implicava que os elétrons, por exemplo, não teriam uma posição de estabilidade nas eletrosferas: eles deveriam se repelir e entrar em queda livre em direção ao centro do átomo, o que faria o colapso acontecer rapidamente. Mas, por que havia elétrons em determinadas órbitas de modo a não soltarem? A questão permanecia uma dificuldade a ser superada por vários especialistas.

Rutherford também não tinha evidência adequada da interação das partículas negativas (os elétrons) nas órbitas externas. O motivo para os elétrons permanecerem nas órbitas específicas, como era de conhecimento à época, não havia sido apresentado de forma convincente. Faltava um modelo que explicasse mais além daqueles apresentados por Thomson e Rutherford, e outros, que tentaram fundamentar a noção de modelo atômico.

No artigo *Sobre a constituição de átomos e moléculas* (1913), Niels Bohr desenvolveu as principais considerações sobre seu modelo atômico e procurou “explicar de maneira simples” (BOHR, 1913, p. 97) as raiais espectrais do átomo de hidrogênio. A concepção de uma mecânica quântica ligada à mecânica clássica tinha uma característica marcante nessa fase do pensamento de Bohr, pois ele tinha como desafio a estabilidade do átomo, não explicada por Rutherford, seu predecessor, e também lhe faltava, principalmente, o motivo para os elétrons permanecerem em cada camada e, ao mesmo tempo, conjugar esses comportamentos clássicos do eletromagnetismo com o conceito da quantização de Planck.

A solução de Bohr para o dilema da permanência do movimento eletrônico nas órbitas e estabilidade de energia, ao contrário do que era indicada pelo eletromagnetismo, foi apresentar os postulados que constituíram uma saída alternativa para seu modelo atômico em 1913. Eisberg e Resnick (1979, p. 138) sugerem que os postulados são “bastante confusos”, pois conseguem misturar a física clássica e a não clássica. Desses postulados pode-se extrair dois principais à formulação do princípio da correspondência, a saber:

I) O átomo possui órbitas estacionárias – ou seja, os elétrons que se movem nelas não irradiam – e correspondem a valores discretos de energia. Ocorrem apenas mudanças na energia do sistema devido às transições entre duas órbitas.

II) A radiação absorvida ou emitida pelo átomo durante uma transição entre dois estados estacionários de energia E' e E'' é monocromática e sua frequência ω é apresentada na equação (Para $E' > E''$), ou seja, $(E' - E'') = \hbar\omega$. (DE LA PEÑA, 1996, p. 14)

Tais resultados de Bohr foram, portanto, postulados e não fizeram parte inicialmente de um grupo experimental de consequências observadas, mesmo que indiretamente, da interação elétron-núcleo. Bohr retirou de forma intuitiva o que posteriormente foi obtido como resultado. Talvez, por isso, o espanto de Eisberg e Resnick (1979) ao se referirem aos postulados como confusos. Porém, o fato é que a noção de experimento e abstração estão presentes. Bohr esperava que sua hipótese sobre o deslocamento em órbitas fixas correspondesse à realidade. Isso deveria ser conferido experimentalmente, de acordo com a física quântica desenvolvida à época.

O principal fundamento conceitual do princípio da correspondência se estabelece na ideia central de que “a teoria quântica ou pelo menos seu formalismo contém a mecânica clássica como um caso limite” (JAMMER, 1989, p. 110). O primeiro passo para se entender esse limite, fora apresentado por Planck em 1906, quando apresentou que o limite de $\hbar \rightarrow 0$ deve levar os resultados à mecânica clássica. Como Planck enfatizou “a teoria clássica pode ser simplesmente caracterizada pelo fato de que o quantum de ação se torna infinitesimalmente pequeno” (PLANCK 1988, *apud* JAMMER, 1989), o que leva ao caso da equação de Rayleigh-Jeans. Bohr também fez essa suposição de $\hbar \rightarrow 0$ para o átomo de hidrogênio e conseguiu o resultado

expressivo: a órbita teria de estar fixa para uma partícula percorrê-la e não emitir sua energia na forma de ondas eletromagnéticas e não colapsar numa espiral e cair no núcleo. Certamente esse resultado inicial de Bohr, aquele do artigo de 1913 (*Sobre a Constituição dos Átomos e Moléculas*), fez todo o sentido para ele. Mas, foi de forma intuitiva que ele apontou para essa conclusão, a partir de outro resultado: sabia-se que os átomos existem e não estão com as eletrosferas colapsadas numa espiral. Assim, era de se concluir que uma comparação entre a experiência e a teoria poderia levar a garantir que a eletrosfera funcionaria como ele supôs: seriam órbitas ao redor do núcleo e, quando houvesse uma transição de um elétron de uma órbita para outra, haveria uma frequência de radiação emitida por um número fixo, segundo cada camada da eletrosfera.

Bohr foi capaz de explicar como uma molécula de hidrogênio apresenta dois elétrons “harmonicamente ligados” numa nuvem de gás de hidrogênio. Em julho de 1912 ele apresentou a Rutherford modelos para o átomo de hidrogênio, molécula de hidrogênio, o átomo de hélio e uma hipotética molécula de hélio. Todos esses modelos consistiam de um anel (uma órbita) de raio a , rotacionando-se com frequência ν , e continham um, dois, ou quatro elétrons.

Há de se acrescentar que o princípio da correspondência carrega em si a noção de explicação parcial que a palavra “princípio” tem por origem. Deve-se considerar que a explicação de Bohr precisou de aperfeiçoamento para o fortalecimento do modelo atômico proposto por ele, ou seja, o princípio de complementaridade que se seguiu nos anos posteriores.

Ademais, a interpretação física de tal princípio sugeriu, de modo teórico, uma conexão com o resultado experimental, uma forma aproximativa da realidade, o que não deve ser entendida como uma realidade da física clássica para objetos observados diretamente. Bohr precisou evoluir conceitualmente para apresentar um valor epistemológico mais sofisticado, a complementaridade.

3.2. O Princípio de Complementaridade

Na descrição quântica o estado do sistema não pode ser observado sem uma influência significativa do observador sobre esse estado. Infere-se que nossa presença poderia influenciar

um experimento, seja ele qual for, em escalas macroscópicas, pois há muita energia perturbando a escala microscópica do universo. A causalidade é outro fator que nos atormenta nas diversas interpretações quânticas na atualidade. Um sistema será causal se sua resposta não depender de sinais de entradas no futuro (BALMER, 1991, p. 56). Ao que parece, estamos em um universo regido pela causalidade, pois a mente humana compreende os fenômenos físicos de maneira causal.

A natureza da teoria quântica nos força a considerar a coordenação espaço-temporal e a asserção da causalidade, cuja união caracteriza as teorias clássicas, como aspectos complementares e mutuamente exclusivos da descrição, simbolizando a idealização da observação e da definição. (BOHR, 1928, p. 137)

Este é o primeiro enunciado feito por Bohr no princípio de complementaridade, entre a coordenação espaço-temporal e a asserção da causalidade, ou entre a observação e a definição. Em sistemas onde as escalas são grandes, onde a mecânica clássica resolve quase todos os problemas, existem as correntes de causalidade tradicional e uma conhecida coordenação do espaço-tempo. Contudo, em sistemas quânticos não há correntes de causalidade convencional. No caso da interpretação de Bohr, só pode haver causalidade se não houver medições (coordenação espaço-temporal).

O princípio da complementaridade é, sem dúvida, uma das contribuições mais originais da interpretação contextual da teoria quântica feita por Bohr. Além da complementaridade entre a coordenação espaço-temporal e a asserção causal, Bohr também enuncia como complementares, mas mutuamente exclusivos das descrições dos fenômenos atômicos, aspectos ondulatórios e corpusculares da luz e da matéria. “A conservação de energia e do momento durante a interação entre radiação e matéria, evidenciada pelos efeitos fotoelétrico e Compton, encontra sua expressão adequada apenas na ideia de *quantum* de luz apresentada por Einstein” (BOHR, 1928, p. 138). Conhece-se essa ideia como o segundo tipo de complementaridade. Este princípio teoriza que a natureza é constituída por um caráter dual, é onda e é partícula, e essas visões são complementares, e mais, são o resultado de dois aspectos de um mesmo objeto. A luz é um fenômeno ondulatório, pois origina ranhuras de interferência, porém, em outros

experimentos, é partícula em movimento, visto que produz efeito fotoelétrico e a dispersão de Compton.

Note-se, porém, que Bohr associa o aspecto ondulatório à função de onda, ao não observado. “Posteriormente, Bohr passaria a definir o ‘fenômeno ondulatório’ no âmbito da observação (quando ocorre interferência) – abandonando o 1º tipo de complementaridade –, assim como o ‘fenômeno corpuscular’ (quando é possível inferir trajetórias)” (PESSOA JR, 2000, p. 138).

À luz das relações de incerteza, Bohr também apresentou seu princípio de complementaridade como expressão do uso complementar de conceitos clássicos, como a posição e o impulso (KAUARK-LEITE, 2010, p. 248).

As dificuldades da descrição espaço-temporal causal na teoria quântica foram colocadas em primeiro plano pelo desenvolvimento de métodos simbólicos. Uma contribuição importante para o problema destes métodos foi feita por Heisenberg. Particularmente, ele salientou a incerteza recíproca que afeta as medições de quantidades atômicas. A natureza complementar da descrição que aparece nesta incerteza é inevitável em uma análise dos conceitos mais elementares usados na interpretação da experiência. Trata-se do terceiro tipo de complementaridade, entre observáveis incompatíveis. Se, por um lado, os conceitos de onda e partícula são mutuamente excludentes na física clássica, por outro lado, os observáveis como posição e momento, são perfeitamente consistentes na mecânica clássica de partículas. Se a incerteza for reduzida ao máximo às dimensões de um átomo, ou seja, se \mathbf{dx} for próximo de zero, terá como consequência que a velocidade não será definida exatamente, mas terá uma indeterminação, \mathbf{dv}_x , de tal sorte que o produto $dx \cdot dv_x$ será sempre maior do que uma constante, de valor $\mathbf{h}/4\pi\mathbf{m}$, onde \mathbf{m} é a massa do corpo e \mathbf{h} é a constante de Planck (MENEZES, 2008, p.75). Isso costuma ser expresso da seguinte maneira: $dx \cdot dv_x \geq \frac{h}{4\pi m}$.

Ou seja, se diminuirmos uma probabilidade, a outra terá que aumentar para manter a verdade da inequação. Bohr observou que: para fins de descrição e compreensão harmoniosa, é necessário em quase todos os campos do conhecimento prestar atenção às circunstâncias sob as quais a evidência é obtida (HOLTON, 1984, p. 61).

Bohr dedicou-se também ao trabalho de explorar as possibilidades da aplicação da complementaridade em outros domínios do conhecimento. Segundo ele, em uma investigação da complexa biologia conhecida, por exemplo, veremos a complementaridade em vários aspectos naturais. Com o estudo da natureza em nível atômico, originaram-se teses que confrontavam diretamente a perspectiva clássica, e a partir disso criou-se uma nova epistemologia em uma escala de fenômenos atômicos (HOLTON, 1984, p. 67). Nessa nova perspectiva, na análise de fenômenos, devem ser levados em consideração o caráter e o comprometimento da medida entre o equipamento e o objeto de observação, visto que há uma superposição de diferentes descrições que incorporaram essas duas realidades visivelmente contraditórias.

Bohr defendeu que a complementaridade das representações dos eventos era a única forma de seguir em frente. Este princípio fundamental da mecânica quântica pretende explicar a observação dos aspectos dos microfenômenos, desde o corpuscular ao ondulatório. O físico dinamarquês enfatizou várias vezes o detalhe de que os limites operacionais impostos pelas relações asseguram o princípio da dualidade onda-partícula, centrado no ponto em que aspectos distintos do problema nunca se manifestam simultaneamente. Hoje sabemos que se uma entidade se comportar às vezes como onda ou às vezes como partícula, a física quântica é capaz de descrever o objeto perfeitamente.

A interpretação da complementaridade tornou-se hegemônica a partir da década de 1930. Enquanto antirrealista, Bohr versava sobre aquilo que está no limite de nossas possibilidades de observação. Sendo assim, o quadro corpuscular ou ondulatório dependeria do experimento, do observador. Caso um fenômeno fosse representado em um quadro ondulatório, não poderíamos representá-lo satisfatoriamente em uma imagem corpuscular, o contrário disso também é uma verdade. Logo, o elétron se comporta como partícula em alguns eventos, e em outros, será visto como uma onda.

Embora não precise haver separação entre os sistemas observados e observadores, questões em um nível físico exigem que eliminemos elementos subjetivos na descrição da experiência, considerando todo o fenômeno como aquilo que é dado à experiência. Assim, o observador, neste caso, o sujeito, está desvinculado do fenômeno. No entanto, dentro da descrição

desse fenômeno como um sistema de observação, deve ser representado como interagindo com o objeto observado de uma forma que dá ao todo a individualidade exigida. Nesse sentido, o sistema de observação, como parte do fenômeno, de fato, cria as propriedades atribuídas ao objeto observado (FOLSE, 1985, p. 216).

O propósito do princípio da complementaridade foi uma tentativa de criar a pedra fundamental de uma nova epistemologia para explicar a natureza. Vemos isso na explicação do fenômeno da dualidade onda-partícula que foi descrito com maestria por Bohr. Ele acabou por deixar um campo aberto na física quântica para que sua interpretação seja um caminho promissor para novas descobertas sobre a natureza quântica, bem como sobre a natureza do ser humano em sua jornada de desvelamento dos mistérios do universo.

4 Sobre as convergências entre a física de Bohr e a epistemologia de Kant

Muito se encontra na literatura sobre uma possível influência da epistemologia de Immanuel Kant sobre a filosofia da física de Niels Bohr. Apesar de reiteradas afirmações como as de que “temos poucas ou nenhuma evidência de que Bohr tenha lido Kant” (KAISER, 1992, p. 231), ainda assim, a proliferação de trabalhos que tentam essa aproximação é cada vez maior. Constitui, portanto, um trabalho de esforço tentar buscar as linhas mestras daquilo que na literatura é apontado como justificativa para tal influência. Isso é o que faremos aqui!

Conforme Abraham Pais (1991, p. 24), “Bohr nunca se preocupou muito, nem sabia muito do que os filósofos profissionais tinham a dizer”. Então, de onde comentadores do pensamento do físico dinamarquês têm buscado essa inspiração para atrelar pontos do seu pensamento àqueles da epistemologia de Kant? A primeira justificativa que encontramos na literatura é de ordem histórica. Segundo a maioria daqueles que aproximam Bohr mais de uma posição kantiana do que de uma posição positivista⁸, a justificativa para essa aproximação é o contato prévio que este teria tido com a filosofia a partir dos encontros que teve com Harald Høffding, professor de filosofia, na casa do seu pai Christian Bohr (HOLTON, 1984; FOLSE, 1985;

⁸ Popper (1982) e Bunge (1955 a, b).

BITBOL, OSNAGHI, 2013). Certo é que não se sabe com certeza qual o grau de influência que tais encontros teriam tido na física de Bohr, uma vez que, ao que parece, esse contato se deu ainda em tempos de estudos universitários, portanto, muito antes dele prover princípios como o da correspondência e da complementaridade (FOLSE, 1985; HOLTON, 1984). Onde fica Kant nessa história? Qual teria sido a influência do filósofo prussiano no pensamento de Bohr? Como sustentar essa proximidade? No caso do princípio da correspondência, Angeloni (2017, p. 8) defende a tese da “consistência da razão conceitual, segundo a qual, o princípio da correspondência está para os clássicos ‘conceitos’ de espaço e tempo”, algo que será tratado adiante.

Como foi visto em item precedente, o princípio da correspondência⁹ prima pela ideia de que “a teoria quântica ou pelo menos seu formalismo contém a mecânica clássica como um caso limite” (JAMMER, 1989, p. 110). Ele é consequência do fato de que Bohr queria restabelecer a continuidade entre a radiação associada à transição entre estados estacionários e a radiação observada de acordo com a eletrodinâmica clássica, embora nenhuma representação causal e espaço-temporal dos processos quânticos, conectando radiação emitida e movimento eletrônico, pudesse ser dada no nível quântico. Ainda assim, a representação espaço-tempo foi a base necessária para a aplicação do princípio de correspondência, e sua estrutura conceitual estava, portanto, intimamente relacionada ao uso de conceitos clássicos, especificamente os conceitos clássicos de espaço, tempo e causalidade (ANGELONI, 2017). Mas, onde entraria a causalidade na mecânica quântica uma vez que seu formalismo não permite indicar, em uma ocorrência de medição experimental específica, as causas que precederam o acontecimento?

Bohr mantinha a perspectiva complementar, mutuamente excludente, da descrição espaço-temporal dos eventos observáveis e da lei de causalidade. E parece que tal perspectiva perdurou por algumas décadas:

Ao longo de quatro décadas, como podemos acompanhar em seus artigos publicados, Bohr (cf. 1983 [1928], 1938, 1948, 1958) não cessará de enfatizar que a descrição pictórica e determinista das teorias da física clássica é uma idealização válida apenas para as situações em que há uma completa

⁹ A maioria dos escritos de Bohr a respeito do princípio da correspondência estão presentes no volume 3 do *Niels Bohr collected works*, intitulado “The Correspondence Principle” (1918–1923).

independência entre os fenômenos observados e os instrumentos de medida. (KAUARK-LEITE, 2012, p. 171)

Independência esta que, conforme Bohr, não existe no âmbito da física quântica, visto da descoberta do *quantum* de ação por Planck. Contudo, Angeloni (2017) sustenta que, apesar da falta de um nexos causal entre radiação emitida e movimento eletrônico, os dados empíricos relacionados aos fenômenos quânticos, de acordo com Bohr, tiveram que ser incluídos na categoria de causalidade e que Bohr nunca se afastou dessa postura conceitual.

Não se deve esquecer que o conceito de causalidade está subjacente à própria interpretação de cada resultado da experiência, e que mesmo na coordenação da experiência nunca se pode, na natureza das coisas, lidar com rupturas bem definidas na cadeia causal. (BOHR, 1937, p. 293)

Mas a relação de correspondência constitui somente um elemento formal, pois como se viu, não se pode estabelecer uma relação causal entre a frequência do elétron em órbita e a frequência da radiação emitida. É o que afirma o próprio Angeloni (2017, p. 18): “Ela conseguiu, de fato, descrever os processos ocorridos durante a formação e reorganização do átomo, sem fornecer, no entanto, as descrições causais e espaço-temporais dos processos quânticos”.

Num artigo de 1920 (*On the Series Spectra of the Elements*), Bohr usa pela primeira vez a expressão “princípio da correspondência” e ratifica a analogia formal entre a eletrodinâmica clássica e a teoria quântica da radiação. E em 1923 ele ainda mantém o caráter formal do princípio.

Se o princípio da correspondência não pode nos instruir de maneira direta sobre a natureza do processo de radiação e a causa da estabilidade dos estados estacionários, ele elucidava a aplicação da teoria quântica de tal forma que se pode antecipar uma consistência interna para esta teoria de um tipo semelhante à consistência formal da teoria clássica. (BOHR, 1923a, p. 25)

Mas, onde está a interpretação kantiana do princípio de correspondência? De acordo com Angeloni (2017, p. 19), “na *Crítica da Razão Pura* de 1781, Kant havia estabelecido o procedimento do ‘Esquema Transcendental’, segundo o qual o entendimento aplica suas categorias ao que quer que seja apresentado em formas *a priori* de intuição, ou seja, espaço e tempo”. Trata-se de uma regra processual que pode ser aplicada, como vimos, tanto em relação à

intuição pura (à matemática, por exemplo) ou em relação à intuição empírica (como para a física): “quando nenhuma sensação puder ser apresentada diretamente na intuição, as hipóteses, ou seja, ‘apresentações’, têm que ser consideradas simbólicas” (ANGELONI, 2017, p. 19-20). Os “esquemas” (que contêm apresentações de conceitos na intuição) realizam o procedimento de apresentação de forma demonstrativa, enquanto os “símbolos” (que contêm apresentações indiretas de conceitos na intuição) o fazem por meio de uma analogia. A proposta de Angeloni (2017, p. 20), portanto, é a de “comparar a linha de raciocínio de Kant com relação à ‘analogia’ e ‘símbolo’ com a estrutura conceitual do princípio da correspondência de Bohr”.

Da pressuposta “demonstração”, que ocupa os cinco últimos parágrafos do artigo em epígrafe, Angeloni (2017, p. 20-21) apresenta a seguinte estrutura argumentativa:

- a) A teoria quântica é baseada no postulado quântico como uma suposição empírica¹⁰;
- b) O postulado quântico mina a possibilidade de aplicar as categorias de entendimento a um objeto quântico como um objeto de possível experiência, isso porque, ele não permite uma apresentação direta dos conceitos quânticos na intuição, uma vez que viola uma condição necessária para a interpretação dos resultados empíricos: a conexão causal entre movimento eletrônico e radiação;
- c) Sendo assim, os conceitos quânticos só podem ser representados por analogia e não diretamente na intuição, pois carecem de conteúdo empírico;
- d) Dessa forma, a apresentação do movimento de um elétron em um estado estacionário é somente simbólica, ou seja, formal;
- e) A apresentação simbólica de eventos quânticos utiliza o princípio da correspondência, o qual, de fato, exige que algumas das relações satisfeitas pelos harmônicos de movimento clássicos sejam preservadas para intensidades quânticas;
- f) É evidente que o princípio da correspondência torna possível a reapresentação de eventos quânticos (em intuição análoga) por uma transferência de regra ou estrutura

¹⁰ “Apesar das dificuldades que, portanto, estão envolvidas na formulação da teoria quântica, parece, como veremos, que sua essência pode ser expressa no chamado postulado quântico, que atribui a qualquer processo atômico uma descontinuidade essencial, ou melhor, uma individualidade, completamente estranha às teorias clássicas e simbolizada pelo quantum de ação de Planck” (BOHR, 1928, p. 136).

entre duas coisas bastante diferentes: dos harmônicos de movimento clássicos (que são objetos de intuição) aos fenômenos quânticos (aos quais a “reflexão” aplica a estrutura do objeto da intuição sensorial). A relação de correspondência fornece assim a um fenômeno quântico a “estrutura formal” do “conceito” do componente harmônico clássico correspondente do movimento, que é usado como símbolo desse fenômeno quântico.

E a conclusão a que se chega o autor, portanto, é:

Seguindo uma comparação anterior entre a analogia de Kant e o princípio da correspondência de Bohr, parece-me que o princípio da correspondência está para os clássicos “conceitos” de espaço e tempo, pois estas formas *a priori* da intuição sensível, em Kant, estão relacionadas com a faculdade separada da intuição pura. (ANGELONI, 2017, p. 21)

Uma coisa que parece não ter ficado clara na exposição de Angeloni (2017) é: como manter essa relação entre o princípio da correspondência e os clássicos ‘conceitos’ de espaço e tempo? Conforme se viu, o espaço e tempo na filosofia de Kant são formas puras da intuição sensível que estão em nós. Eles têm “realidade empírica” e “idealidade transcendental”, não se fundam no “conteúdo” do conhecimento, mas sim na “forma”, e têm universalidade e necessidade absolutas. São matéria para a síntese *a priori* do entendimento e unificadores de representações sob a forma de objeto. E o que isso tem a ver com o princípio da correspondência de Bohr? Ao que entendemos é exatamente o *status* de símbolo (forma, analogia), visto que não pode ser apresentado diretamente na intuição pura, que faz com que o princípio da correspondência ganhe feições kantianas por *se parecer* com as formas da intuição sensível (espaço e tempo) que também estariam separadas da intuição pura. Meio que confusamente, parece ser essa a tônica do que Angeloni (2017) pretendia demonstrar.

Se, por um lado, encontramos pouco na literatura especializada a respeito da influência do Kant sobre o pensamento de Bohr no que diz respeito ao princípio da correspondência (1918-1923), muito se encontra a respeito de sua possível influência sobre o princípio de complementaridade (1927).

Como se viu, o princípio da complementaridade foi enunciado pela primeira em 1927 no Congresso Internacional de Física realizado em Como, Itália. Uma versão um pouco modificada

foi publicada na Nature em 1928 com o título de “O Postulado Quântico e o Recente Desenvolvimento da Teoria Atômica”. Ali Bohr apresenta descrições de manifestações do sistema quântico que são mutuamente exclusivas, mas que devem ser consideradas relevantes, apesar de não poderem ser exibidas de uma só vez e ao mesmo tempo. São pares de características consideradas consistentes na física clássica¹¹, mas cuja concomitância é impedida na física quântica. Os enunciados dos três tipos de complementaridade feitos por Bohr foram vistos em item precedente. Resta-nos buscar a influência kantiana enunciada em parte da literatura especializada.

Parece-nos que o ponto de partida da literatura é a noção kantiana de revolução copernicana. Conforme vimos, na revolução copernicana não é o sujeito que gira em torno do objeto, e sim o objeto que gira em torno do sujeito. E, em que sentido, tal noção era importante no edifício epistemológico de Kant? Segundo ele, isso “concorda melhor com o que desejamos, a saber, a possibilidade de um conhecimento a priori desses objetos, que estabeleça algo sobre eles antes de nos serem dados” (KrV, B XVI).

Segundo Bitbol e Osnaghi (2013), a “revolução copernicana” de Bohr, por outro lado, deve ser entendida no contexto da revolução quântica das primeiras décadas do século XX. O paradigma clássico estabelecido ruiu, o status ontológico dos objetos foi colocado em xeque, os procedimentos padrão para extração de fenômenos invariantes também foi colocado em questão e até os resultados da investigação experimental se veem relacionados à experiência comum. E se para Bohr “a tarefa da ciência é tanto ampliar o alcance de nossa experiência como reduzi-la à ordem” (BOHR, 1934, p. 1), cabe ao físico uma análise cuidadosa das condições de possibilidade da própria experiência. Por preocupar com as “condições de possibilidade da experiência”, Bohr estaria “preocupado com um tipo de conhecimento reflexivo que Kant chamou de transcendental, considerado como o assunto fundamental da metafísica ‘pós-copernicana’” (BITBOL; OSNAGHI, 2013, p. 198). O conhecimento transcendental aqui é entendido como

¹¹ Excetuando o segundo tipo de complementaridade, pois as noções de onda e partícula são inconsistentes na física clássica.

aquele que excede a experiência e, portanto, lida com questões que se ocupam com as condições de possibilidade do conhecimento.

Se considerarmos que o significado de “transcendental” deve se estender e abranger toda a investigação sobre as condições que limitam nossa experiência, então a filosofia de Bohr deve, sem dúvida, ser vista de um ângulo transcendental e não do ângulo de um kantismo estrito. (KAUARK-LEITE, 2010, p. 250)

Se na revolução copernicana kantiana o objeto gira em torno do sujeito, então, a determinação do objeto se dá pelas condições de subjetividade. Uma teoria física em Kant, por exemplo, revela não muito mais o objeto, mas as condições de subjetivação (a interação subjetiva com o mundo). Na introdução da diferença entre intuição (apreensão espaço-temporal do mundo) e conceito, para Kant, as condições formais, *a priori*, do entendimento, enquanto faculdade discursiva, intelectual, dependem de outras formas que são as categorias, responsáveis pelo processo de objetivação do conhecimento. Daí é que construímos conceitos a partir da relação com o mundo. Já na “revolução copernicana” de Bohr, não apenas o processo de objetivação depende das condições de sensibilidade (espaço e tempo) e das condições de entendimento (categorias)¹². Além disso, o nosso conhecimento do mundo depende dos meios pelos quais o observamos. “Qualquer tentativa de analisar (...) a ‘individualidade’ dos processos atômicos, condicionada pelo *quantum* de ação, será frustrada pela interação inevitável entre os objetos atômicos em questão e os instrumentos de medição” (BOHR, 1958, p. 19). A inevitável interação, contudo, não se dá somente entre os objetos atômicos e os instrumentos de medição. A complementaridade amplia as fronteiras do conhecimento, tornando o sujeito (incluindo o aparato experimental) parte integrante do conhecimento do mundo (HOLTON, 1984). A tarefa da ciência, nesse sentido, é ampliar a nossa experiência com o mundo (BOHR, 1934). A fronteira dos conceitos vai coincidir com as possibilidades de observação. Dessa forma, não podemos dispensar as formas de percepção.

¹² Apesar de Kaiser (1992) achar importante a consideração das faculdades do conhecimento kantianas, a saber, sensibilidade e compreensão no entendimento da filosofia da física de Bohr, Bitbol e Osnaghi (2013, p. 147) afirmam peremptoriamente que “Bohr não abordou, como fez Kant, faculdades mentais como a sensibilidade e a compreensão”, posição esta que parece não ser endossada pela maioria da literatura que trata da questão (vide, por exemplo, KAISER (1992), ANGELONI (2017), MURDOCH (1991)).

Se, por um lado, Kant pressupunha uma espécie de junção entre intuição espaço-temporal e causal, Bohr, na complementaridade, trata de uma *disjunção* entre essas duas categorias. Seria isso um golpe no kantismo? Parece que sim, pois Bohr apresenta um princípio mais geral de causalidade, que é a própria complementaridade. Para ele, devemos pensar no “ponto de vista de formas complementares” como “uma generalização consistente do ideal de causalidade” (BOHR, 1958, p. 27). Dessa forma, não há mais a síntese kantiana da descrição espaço-temporal e causal. Não se vê em Bohr a relação da categoria com a intuição espaço-temporal e isso é um golpe na dedução transcendental que fica comprometida no âmbito da mecânica quântica. Mas, com tudo isso, é possível manter a perspectiva transcendental sem ser um kantiano restrito?

Segundo Kant, “tudo o que conhecemos da matéria reduz-se a simples relações (o que denominamos determinações internas das mesmas são só comparativamente internas)” (KrV, B 341). Não existe, portanto, o conhecimento da coisa em si, ou seja, da coisa independente de qualquer relação com nossas faculdades de conhecimento. Nosso conhecimento é sempre relacional, pois as coisas em si mesmas devem ser contrastadas com os objetos da experiência. Bohr também admite a impossibilidade de atribuirmos propriedades intrínsecas aos objetos quânticos, pois toda propriedade é sempre relacional. “Uma realidade independente no sentido físico ordinário não pode ser atribuída nem aos fenômenos, nem aos agentes da observação” (BOHR, 1928, p. 136). Isto é, se o objeto é um fenômeno observável, então, ele é inseparável do sujeito – não existe a “coisa em si”, todo fenômeno só é fenômeno porque é observável. Dessa forma, Bohr aprofunda a limitação do conhecimento dos objetos quânticos, enquanto coisa em si, a favor de uma atitude vista por alguns historiadores da ciência (JAMMER, 1989, por exemplo) como relacionista, ou seja, aquela que enfatiza a totalidade do fenômeno¹³. Bohr mostra a limitação da mecânica quântica aos conceitos clássicos sem querer ontologizá-los¹⁴. A “ilusão

¹³ Segundo Jammer (1989) até 1935 Bohr mantinha uma posição interacionista, isto é, mantinha-se na defesa da tese de que os objetos quânticos “são criados por observações repetidas” (BOHR, 1928, p. 146). Depois da disputa com Einstein, Podolsky e Rosen, ele passaria a defender o relacionismo que enfatiza a totalidade do fenômeno.

¹⁴ Bohr não nega o realismo dos objetos do mundo. O que ele nega é o realismo metafísico, ontológico, de atribuir realidade a esses conceitos que criamos. O seu antirrealismo não é em relação ao mundo e sim aos conceitos.

transcendental” bohriana está justamente quando tentamos dar conteúdo ontológico aos objetos quânticos, visto da “impossibilidade de uma rigorosa separação dos fenômenos e meios de observação” (BOHR, 1934, p. 95).

Segundo Kaiser (1992), a limitação do conhecimento de Kant a objetos da experiência possível em detrimento da coisa em si, fornece uma indicação de um aspecto kantiano da complementaridade de Bohr, naquilo que diz respeito às “formas de percepção”. “O caráter kantiano desta visão é inconfundível: as formas de percepção são as pré-condições da possibilidade de nossa experiência sensorial e dos significados das palavras que usamos para descrevê-la (...)” (MURDOCH, 1991, p. 73-74). O caráter formal da percepção está evidenciado nas duas faculdades da epistemologia de Kant, a saber, na sua estrutura formal e nas suas condições de possibilidade de compreender a partir da experiência – “Não resta dúvida de que todo o nosso conhecimento começa pela experiência (...). Se, porém, todo o conhecimento se inicia com a experiência, isso não prova que todo ele derive da experiência” (KrV, B 1). Tais faculdades da epistemologia kantiana refletem-se na filosofia da física de Bohr quando ele afirma que “nenhum conteúdo pode ser apreendido sem uma estrutura formal e que qualquer forma, por mais útil que tenha se mostrado até agora, pode ser considerada estreita demais para compreender uma nova experiência” (BOHR, 1949, p. 230-240). “Há uma interação essencial, escreveu Bohr, entre a faculdade de ensinar, fornecendo o ‘conteúdo’, e a faculdade de entender, fornecendo o ‘quadro formal’ com o qual se pode ‘captar’ a experiência” (KAISER, 1992, p. 222). Contudo, segundo o próprio Kaiser (1992), há um sentimento que não é nada kantiano expresso na citação de Bohr: o de que o quadro formal poderá ser alterado. Isso não coaduna com o apriorismo kantiano que preconiza que o quadro formal – das formas de intuição e categorias – seja a priori, portanto, inalterado.

Outro aspecto dito kantiano na complementaridade de Bohr diz respeito à distinção feita pelo primeiro entre fenômeno e númeno. Apesar de Kaiser (1992, p. 226) assumir que “é diferente afirmar que Bohr usa a palavra ‘fenômeno’ intencionalmente para estabelecer uma conexão kantiana, especialmente porque Bohr não usa a outra terminologia kantiana, como númeno”, ainda assim, ele é um dos poucos que na literatura insiste em tal aproximação. Em

termos resumidos, Kaiser (1992) defende que a palavra “fenômeno” utilizada por Bohr para descrever ocorrências no mundo quântico lembra “fenômeno” em Kant, enquanto objeto do sentido ou da experiência possível. E para manter uma espécie de “paridade” entre os pensamentos de Bohr e Kant, ele tomará como exemplo a distinção entre “sistemas fechados de objetos” e “fenômenos”, no primeiro, e entre “númeno” e “fenômeno”, no segundo. O ponto de partida de Kaiser (1992), portanto, é o rascunho da palestra de Bohr em Como em 1927, em cuja fala manteve uma distinção entre sistemas fechados de objetos e fenômenos. Os sistemas fechados são para serem entendidos como totalmente independentes da nossa observação, pois estão além da nossa experiência possível. Já os fenômenos são aqueles que temos a possibilidade de observar, desde que permitamos que “certas interações” ocorram (BOHR, 1985). “Estas interações são entre o observador e os objetos (através de ‘meios de medição não pertencentes ao sistema’). Observando os fenômenos, perdemos necessariamente toda a capacidade de adquirir conhecimento sobre o ‘sistema de objetos’” (KAISER, 1992, p. 227). Se a noção de fenômeno para Kant e Bohr é praticamente a mesma, o que os sistemas fechados têm a ver com a noção de númeno? “Um sistema atômico fechado não é acessível à observação e constitui, portanto, em certo sentido, uma abstração, assim como a ideia de uma partícula isolada” (BOHR, 1985, p. 97). Ele escapa a toda possibilidade de observação. Se tomarmos isso em sentido kantiano, de acordo com Kaiser (1992), veremos que essa afirmação é “quase idêntica” à de Kant de que chamamos “por númeno uma coisa, na medida em que não é objeto da nossa intuição sensível, abstraindo do nosso modo de a intuir (...)” (KrV, B 307). Em resumo, “precisamente porque o sistema fechado de objetos de Bohr não admite a possibilidade de se referir a um objeto dos sentidos, ele transgride os limites de uma possível experiência, assim como o númeno de Kant” (KAISER, 1992, p. 227-228). Sistemas fechados e númeno admitem ser pensados, mas nada pode ser conhecido a respeito deles.

No que diz respeito ao fenômeno, se para Bohr “a ideia de meios de observação independentes dos fenômenos ou de fenômenos independentes dos meios de observação não pode ser mantida” (BOHR, 1985, p. 91), para Kant, “os objetos da experiência não são nunca dados em si, mas apenas na experiência, e fora dela não existem” (KrV, B 521). Os fenômenos para Bohr são

estritamente considerados como objetos de possíveis experiências ou objetos dos sentidos e não devem ser tratados como objetos independentes do observador. Os fenômenos são condicionados pelos meios de observação e é impossível subtrair a contribuição daquilo que é conhecido.

Por fim, a relação entre fenômeno e contexto preconizada por Bohr é condição de possibilidade, inclusive, de uma comunicação inequívoca. “Com Bohr, temos que admitir o fato de que as condições necessárias para a compreensão de um fenômeno físico são, ao mesmo tempo, as condições da própria possibilidade de comunicação” (KAUARK-LEITE, 2010, p. 260) e que “[...] a exigência de comunicabilidade das circunstâncias e resultados das experiências implica que podemos falar de experiências bem definidas apenas no âmbito de conceitos comuns” (BOHR, 1937, p. 293). Nesse sentido, a própria necessidade de uma dimensão comunicativa inequívoca que expresse a imprevisibilidade da mecânica quântica, segundo o ponto de vista de Kauark-Leite (2010), seria parte de uma perspectiva pragmática-transcendental, de fundo kantiano, entalhada de uma dimensão apriorística de princípios performativos da atividade comunicativa e experimental. Assim sendo, a “dimensão a priori da comunicação, assume que a linguagem comum desempenha um papel especial” (KAUARK-LEITE, 2010, p. 262).

5. Sobre as divergências entre a física de Bohr e a epistemologia de Kant

A posição filosófica de Niels Bohr teve, como aqui foi apresentada, aspectos que delimitaram seu pensamento, ou aquilo que se pode nomear como uma posição a respeito da filosofia da física, a saber, o princípio da correspondência e o de complementaridade motivaram a compreensão de uma física não causal e também do antirrealismo para fenômenos no escopo da microfísica. Esses dois conceitos, de uma física que não tem a validade da inferência causal, e a ausência do realismo na interpretação das teorias, formaram fundamentos bastante presentes, principalmente após a noção de complementaridade apresentada por ele no início do século XX. Deve-se tal compreensão, em grande parte, a uma física “diferente”, àquela de estatuto clássico a qual Bohr encontrou no cenário do seu artigo de 1913 (*Sobre a constituição de átomos e moléculas*), como tratado anteriormente. Também deve-se ressaltar esses conceitos na

“epistemologia de Bohr” como fundamentos para a compreensão da nova física que nasceu no início do século XX, a mecânica quântica. Sabe-se que a mudança conceitual que ele propôs exigia uma explicação clássica, se respeitado o quadro conceitual da física contemporânea às suas pesquisas. Porém, havia indicativo de que os problemas de interpretação estavam presentes.

Mas, Bohr teria feito concessões excessivas à física quântica? À “velha física quântica”, como é conhecida? Quais seriam os itens epistemológicos além da ausência de causalidade e do não realismo que poderiam apoiar sua posição? Para responder a questões desse tipo, pode-se recorrer a seus adversários intelectuais como um ponto de contraposição, visto que Bohr encontrou-se na situação de respondê-los. Seus oponentes intelectuais aceitaram que tais conceitos eram, de fato, os conceitos-chave à compreensão da sua concepção de física e, portanto, tentaram atacar a posição dele. As concessões de Bohr foram poucas, mas sua “epistemologia” fez-se conhecer por “Escola de Copenhague”, também conhecida por interpretação padrão da mecânica quântica, ou interpretação ortodoxa, fortemente divulgada por Heisenberg.

Por outro lado, esses dois pontos, a recusa causal e o antirrealismo, ofereceram material para seus oponentes atacarem a posição de Bohr. Tal caso aqui não será tratado, mas, merece menção o fato de ter existido uma adesão à complementaridade por parte de outros físicos e essa importância merece destaque na visão de Bohr de que a natureza se apresenta de um modo que sua estrutura tem aspectos apreendidos pela matemática mais sofisticada da mecânica quântica e pelo procedimento experimental da mesma. Isso leva a uma elaboração maior dentro do esquema ou estrutura da física clássica, ou seja, Bohr apresentou sua física com aspectos intuitivos a despeito da questão das órbitas dos elétrons, mas ele não se absteve de ressaltar a importância da física clássica do eletromagnetismo, por exemplo.

Os itens não causais e não reais podem ser motivo de controvérsia também da influência de outros pensadores sobre o físico dinamarquês. A questão das influências é um ponto de divergência se houver um exame mais apurado. Max Jammer (1989) apresentou alguns nomes como Charles Renouvier, Émile Boutroux, Søren Kierkegaard, e Harald Høffding, como pensadores de influência no período do advento da mecânica quântica e de provável influência no

pensamento de Bohr. Eles são pouco conhecidos nos dias atuais, mas formaram o pensamento de grande influência no final do século XIX e início do XX.

Renouvier foi um dos primeiros pensadores modernos que questionou a validade estrita do princípio da causalidade como um determinante regulador dos processos físicos. O ponto central de Renouvier foi sua rejeição do infinito real, que era para ele “uma autocontradição lógica e uma falsidade empírica”. (JAMMER, 1989, p. 174)

É possível acrescentar mais uma posição que diz respeito ao pensamento de Bohr:

O realismo, sustenta Renouvier, é errôneo na medida em que assume que o objeto pode ser divorciado de sua representação, e o idealismo é errôneo na medida em que assume que existem representações sem nada para representar. Para evitar esses erros, a experiência, duplamente qualificada, deve ser tomada como autossuficiente e como constituindo a própria realidade última. (JAMMER, 1989, p. 174)

De fato, essas citações se coadunam na desavença de Bohr com princípios clássicos da causalidade e do realismo da física clássica. Na fase posterior ao princípio da correspondência, seguida pela noção de complementaridade, a posição de Bohr se aproxima mais daquela que será nomeada como interpretação de Copenhague. Uma postura que retira a importância da causalidade e do realismo para se compreender a mecânica quântica, principalmente se a observação se aplica à “velha teoria quântica”, à qual Bohr participou mais ativamente da criação.

Émile Boutroux também influenciou bastante o ambiente intelectual da virada do século XIX para o XX. Max Jammer (1989) citou uma pequena passagem da tese de Boutroux (*De la Contingence des Lois de la Nature*, de 1874) para ilustrar o pensamento desse filósofo francês:

Ao analisar a noção de lei natural, vista nas próprias ciências, descobri que essa lei não é um primeiro princípio, mas sim um resultado; que a vida, o sentimento e a liberdade são realidades verdadeiras e profundas, enquanto as formas relativamente invariáveis e gerais apreendidas pela ciência são apenas as manifestações inadequadas dessas realidades. (JAMMER, 1989, p. 175)

Pode-se pensar em indícios de que o ambiente intelectual à época tinha algum conteúdo não realista, como a citação de Boutroux. Não era uma posição tão singular conceber algo na direção de um pensamento que descrevesse a realidade como distante do alcance do

conhecimento humano. Ademais, uma grande quantidade de posições filosóficas pode ser aceita como leituras que passaram por Bohr, possivelmente.

Franco Selleri (1990), bem como Max Jammer (1989) indicaram também William James como um filósofo que fora apresentado ao físico dinamarquês por Harald Høffding. Jammer (1989) cita na nota 88, capítulo IV, que: “Quando a atenção de Bohr foi atraída, no início dos anos 30, para a concepção de verdade de William James, ele achou surpreendentemente compatível com suas próprias maneiras de pensar” (JAMMER, 1989, p. 202). Isso indica que outras filosofias também fizeram parte do cenário intelectual de Bohr, além de Kant, como indicam outros comentadores.

Mas, ainda é preciso esclarecer um pouco mais sobre as divergências entre Bohr e Kant. Kant disse que as formas de sensibilidade e compreensão eram condições de possibilidade do conhecimento objetivo em geral. Isso sugere que elas eram fixadas pela necessidade, e que nenhuma característica da pesquisa científica poderia alterá-las. Para ele, a lei da continuidade expressa a forma de toda mudança em geral. Tal lei resulta da aplicação *a priori* de uma categoria de causalidade e, assim, adquire o caráter de uma condição de distinção entre a série subjetiva de nossas percepções e a série objetiva da experiência (PRINGE, 2012).

Segundo Faye e Folse (2017), em 1934, Bohr aceitou a ideia tipicamente kantiana de formas anteriores aos limites do conhecimento. Destacou que “apesar das suas limitações, não podemos de forma alguma prescindir daquelas formas de percepção que coloreem toda a nossa linguagem e em termos das quais toda experiência deve, em última análise, ser expressa” (FAYE; FOLSE, 2017, p. 53)¹⁵. Mas, segundo esses mesmos autores, Bohr também considerou que, diante dessas limitações, “devemos estar sempre preparados para pontos de vista mais adequados para a ordenação de nossos experimentos” (FAYE; FOLSE, 2017, p. 53)¹⁶. A ideia de modificar as chamadas formas *a priori* do conhecimento humano de acordo com os avanços da pesquisa era talvez a característica mais avessa a Kant e isso justificava a rejeição por muitos filósofos de ciência de qualquer semelhança entre a teoria do conhecimento de Bohr e a de Kant

¹⁵ Bohr, 1934, p. 1.

¹⁶ Bohr, 1934, p. 1.

(KAISER, 1992, p.213). A epistemologia de Kant e a filosofia da física de Bohr dispõem de recursos suficientes para se unirem a longo prazo. A epistemologia kantiana não deve se restringir à posição de Kant em seus textos e, na verdade, vai muito além, penetrando inclusive em campos experimentais antes não notados. Além disso, por parte de Bohr, não houve negação do valor pragmático duradouro das formas de conhecimento de Kant na escala macroscópica. A insistência de Bohr na necessidade de conceitos clássicos pode facilmente lidar dessa maneira, uma vez que as formas *a priori* originais de Kant foram explicitamente adaptadas ao caso da mecânica clássica. Bohr considerava os conceitos clássicos como condição para a possibilidade de conhecimento compartilhado no estilo de Kant. A única ressalva adicionada por Bohr é que a esfera de validade desta última condição de possibilidade é severamente prejudicada. Ele nota que não se estende a todo o domínio da microfísica, mas apenas ao ambiente direto, em escala macroscópica.

De acordo com Kant, as coisas são dadas na intuição com determinações que expressam meras relações, pois tais coisas não são em si mesmas, são meras aparências. Quaisquer características que conhecemos em matéria nada mais são do que relações e o que chamamos de suas determinações intrínsecas são apenas determinações comparativas. Entre essas relações existem as independentes e permanentes através das quais um determinado objeto nos é dado. O que chamamos de “propriedades dos objetos materiais” é apenas a expressão das relações que estabelecemos com o nosso ambiente; elas não são “próprias” para algum objeto, mas surgem como um subproduto não analisável de nossa interação com o meio. Na abordagem de Kant, não existem objetos preexistentes esperando por experiências sensoriais ou experimentais. O que existe além dessas relações cognitivas e independentemente é, em princípio, inalcançável, uma vez que fazê-las significaria justamente estabelecer uma relação cognitiva com as mesmas. Tanto é que a “coisa em si” parece ser apenas o lema de Kant para a impossibilidade de nos libertarmos completamente do conteúdo de nosso conhecimento. Isso provavelmente representa o ponto em que Bohr estava mais próximo de Kant porque redescobriu a posição de Kant sobre as propriedades dos objetos. O fato de não haver outra maneira de divulgar propriedades atômicas do que provocando uma interação quantizada e incontrolável com algum

objeto em colisão implica uma “limitação nas possibilidades de medição”. Bohr preferiu insistir na impossibilidade de uma separação estrita de fenômenos e meios de observação de acordo com a impraticabilidade de definir atributos que são próprios da estrutura atômica. Uma vez que a interação forma uma parte inseparável dos fenômenos, qualquer que venha a ser o discurso sobre fenômenos que estão aparecendo na natureza, independentemente de qualquer interação de medição, não tem sentido, de acordo com Bohr; e o próprio conceito de propriedades independentes de objetos sucumbe. Isso mais tarde deu origem à concepção de interacionalidade da microfísica (JAMMER, 1974, p. 160; FAYE; FOLSE, 2017, p. 54). As consequências da tese da inseparabilidade são exatamente as mesmas do relacionismo completo de Kant. As duas opções disponíveis são: aceitar que existe algo como um “micro-objeto em si” que podemos conhecer apenas obliquamente por meio de sucessivas abordagens interativas; ou, declarando que qualquer referência a algum desses “micro-objetos em si” obliquamente cognoscíveis é falsa se apresentar a impossibilidade de desvendar a totalidade dos fenômenos.

Em sua *Crítica da Razão Pura*, Kant, que aborda nosso interesse pela natureza, explicou como, sem nos abstrairmos verdadeiramente do que seja, podemos, no entanto, elaborar uma forma de conhecimento que funciona como se fôssemos separados da natureza. Esta abordagem, que nos atribui um papel que imita o de um espectador externo da natureza, é chamado de “conhecimento objetivo”. Segundo Faye e Folse (2017, p. 55), em sua *Crítica da Razão Prática*, Kant trata das questões de liberdade, ação e moral e qualquer separação dessas é impedida. Nos é atribuído ali o papel de verdadeiros atores de nossas próprias escrituras. Essa dialética de ator e espectador foi mais tarde assumida por Schopenhauer, em seu famoso livro *O Mundo como Vontade e Representação* (FAYE; FOLSE, 2017). A vontade é experimentada do ponto de vista de um ator, enquanto a representação do mundo é obtida de um ponto de vista que se assemelha superficialmente ao de um espectador. Mas, a lição latente tanto do kantismo quanto do pós-kantismo é que não há o ponto de vista do espectador, exceto no sentido minimalista do “como se”. Em vista de nosso profundo entrelaçamento insuperável com o que existe, o ponto de vista de um espectador da natureza é extrapolado do único ponto de vista disponível, que é o do ator (FAYE; FOLSE, 2017). Isso é, segundo os autores, exatamente o que Bohr concluiu de

suas reflexões sobre a mecânica quântica, com um espírito um pouco mais radical. Descobriu que nossa aparente separação da natureza no conhecimento clássico é apenas um caso-limite e que estamos, na verdade, imersos nela como qualquer ator está. E, por fim, que no domínio quântico, geralmente, nem sequer podemos encontrar circunstâncias nas quais possamos nos comportar como se fôssemos espectadores. Contudo, também insistiu que devemos desempenhar o papel de um espectador clássico na escala macroscópica do laboratório, pois o novo horizonte na física nos lembra que somos espectadores e atores na odisseia da existência.

Assim, as teorias de Kant e Bohr tendem a se precipitar em uma só linha sem um impedimento com a causalidade. Os esforços de ir mais além não têm limites. Atribui-se a todo processo atômico uma descontinuidade essencial, uma singularidade, alheia às teorias clássicas e simbolizada pelo quantum de ação de Planck. Foi o início, mas não o fim da história das várias incertezas que temos constatado entre os limiares realísticos e não-realísticos na natureza quântica dos fenômenos físicos.

Enfim, a dificuldade de se recuperar o pensamento de Bohr com matizes kantianas se observa com as dicotomias apresentadas aqui: realismo versus antirrealismo, causalidade versus não causalidade, por exemplo. O problema da leitura que aproxima o físico dinamarquês do filósofo prussiano se apresenta quando deslocamos demais a interpretação do pensamento de um em direção ao outro e, possivelmente, não se preserva as devidas idiossincrasias de cada um. O que se quer dizer com isso é que a característica ímpar de cada um deles indica a sutileza do impedimento que surge para reduzir o pensamento, no caso de Bohr, à filosofia transcendental kantiana a respeito das questões físicas, mesmo que de cunho clássico. Certamente as influências culturais aconteceram no ambiente intelectual de Bohr, um meio de propagação da cultura kantiana em toda a Europa, conforme sabemos. Isso ajuda a interpretação do “Bohr kantiano”, ao mesmo tempo que obscurece o real propósito do princípio da complementaridade de Bohr, como tema central de sua filosofia.

Todavia, o que se identifica como dificuldade para se aproximar ambos, reside nos itens apresentados anteriormente e, por conseguinte, a divergência pode estar no fato de que conceitos da ciência física não devem ter constituído parte dos fundamentos da epistemologia

kantiana, mas sim formaram uma base para analogias conceituais que Kant usou para apoiar sua estrutura de idealismo transcendental ou idealismo crítico. Isso tem sua relevância, mas se trata de teor diferente do uso científico que Bohr o fez. Apesar do discurso de Bohr ter sido mais complexo e filosófico nos debates, segundo Heisenberg (2008), também não atingiu a profundidade filosófica do pensamento kantiano. Guardadas as devidas proporções, a margem de interpretação de Bohr em direção ao pensamento transcendental se reduz, e propicia ainda uma longa investigação que merece ser documentada para a história da ciência física.

Considerações finais

A filosofia e a física, em geral, são áreas que compartilham pretensões diferentes ao conhecimento. Mas há situações que filósofos e físicos precisam restabelecer os ânimos das respectivas áreas e promover o diálogo sobre o que há em comum entre ambas formas de conhecimento. Há situações que devem responder ao alcance do poder explicativo das suas respectivas áreas. Esse foi o caso da filosofia de Kant ao estabelecer o fio condutor da metafísica como ciência. Isso tornou a sua filosofia um marco a ser visitado intelectualmente por todos à frente. Devido a essa interação entre a filosofia de Kant e a física clássica, a qual ele presenciou sob os auspícios posteriores ao aparecimento da filosofia natural de Newton, pode-se aceitar que a presença do filósofo prussiano foi duradoura. “[...] Depois de Kant todo o filosofar inclui, em maior ou menor medida e pelo menos nalguma das suas fases, um diálogo com Kant” (MARKET, 1992, p. XV). Assim, a física foi uma área que, interessada em valores teóricos e empíricos, se fez avançar fundamentada em algumas reflexões kantianas.

As noções de espaço e tempo, causalidade, realidade dos objetos são conceitos que tiveram no filósofo de Königsberg uma satisfatória apresentação e, a se considerar o conhecimento dele a respeito da física newtoniana, foi bastante ímpar, como sugeriu Casini (1995, p. 123): “Kant não interpretou a síntese newtoniana como a interpretavam os físicos do século XVIII, nem a declinou numa perspectiva histórica como no século seguinte ou no nosso”. O que a síntese kantiana teceu de relevante à física foi sua tentativa de preservar os conceitos clássicos nos moldes kantianos, como se seguiu ao aparecimento da *Crítica da Razão Pura*. Essa

importância da obra kantiana pode-se observar na consequência do pensamento de cientistas, e, em particular no caso de Bohr, vimos aqui uma aproximação em certa quantidade por comentadores diversos. O que se destaca é a tentativa de conciliar dois pensadores que, em tempos distintos, apresentaram algumas preocupações em comum. Para não sermos anacrônicos é preciso lembrar que as comparações devem guardar suas respectivas interpretações. Kant, de fato, acreditou que a física newtoniana era a área de conhecimento de grande sucesso, e isso o fez trabalhar no modelo clássico.

É importante lembrar aqui que a física quântica se estabeleceu mais de um século depois da obra kantiana. Os conceitos perenes que fundamentaram a obra de Kant sofreram também interpretações, e a transição de conceitos clássicos para quânticos só foi possível devido a um avanço na interpretação que se direcionou à quântica como uma nova física que, de algum modo, deveria incorporar a “velha física clássica”. Essa transformação não foi suave.

Ao fim e ao cabo, o impasse sobre influências entre o filósofo Kant e o físico Bohr pode posicionar uma futura investigação, duradoura, sobre conceitos entre ambos. Isso remonta à perspectiva de Laudan (2000) que mostrou que a rota da história da ciência e a filosofia da ciência precisam de um esclarecimento acerca da história do método científico. Isso posto, cria-se uma margem de discussão historiográfica mais apurada para o confronto de conceitos “ao modo e estilo” de Bohr, se assim é possível enunciar.

Referências

- ANGELONI, Roberto. A Kantian Interpretation of Niels Bohr's Early Correspondence Principle: 1917-1924. *Studia Philosophica Estonica*, 10.1, 2017, p. 8-24.
- BALMER, Leslie. *Signals and Systems: An Introduction*. Prentice/United Kingdom: Hall International, 1991.
- BITBOL, M.; OSNAGHI, S. Bohr's Complementarity and Kant's Epistemology. *Poincaré Seminar*. Switzerland: Springer International Publishing, 2013.
- BOHR, N. (1928). O Postulado Quântico e o Recente Desenvolvimento da Teoria Atômica. Trad. Osvaldo Pessoa Jr. In: *Fundamentos de Física I – Simpósio David Bohm*. Org. O. Pessoa Jr. São Paulo: Livraria da Física, 2000. p. 135-159.
- BOHR, N. *Atomic Physics and Human Knowledge*. New York: Wiley, 1958.
- BOHR, N. *Atomic Theory and the Description of Nature*. Cambridge University Press, 1934.
- BOHR, N. Causality and complementarity. *Philosophy of Science*, v. 4, p. 289-298, 1937.

- BOHR, N. Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics. In: SCHILPP, Paul A (ed.). *Einstein Albert: Philosopher-Scientist*. Evanston, III: Library of Living Philosophers, 1949. p. 201-241.
- BOHR, N. On the series spectra of the elements. *Lecture before the German Physical Society in Berlin (27 April 1920)*, p. 22-60, 1920.
- BOHR, N. The Quantum Postulate. In: KALCKAR, J. (ed). *Niels Bohr Collected Works: Volume 6: Foundations of Quantum Physics I (1926-1932)*. New York: North-Holland Physics Publishing, 1985.
- BOHR, N. Über die Anwendung der Quantentheorie auf den Atombau. I. Die Grundpostulate der Quantentheorie, *Zeitschrift für Physik*, 13, p. 117-165, 1923a.
- BOHR, Niels. *Física Atômica e Conhecimento Humano*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.
- BOHR, Niels. *Sobre a Constituição de Átomos e Moléculas*. 4ª. ed. Trad. Egídio Namorado. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.
- BUNGE, M., 1955a. Strife about complementarity (I). *The British Journal for the Philosophy of Science* 6, 1–12.
- BUNGE, M., 1955b. Strife about complementarity (II). *The British Journal for the Philosophy of Science* 6, 141–154.
- CASINI, Paolo. *Newton e a Consciência Européia*. Trad. Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Unesp, 1995.
- DE LA PENÁ, Luis. *Introducción a la Mecánica Cuántica*. 3. ed. México: Fondo de Cultura Económica, 2006.
- EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. *Física Quântica*. Trad. Paulo Costa Ribeiro; Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. Rio de Janeiro: Campus, 1979, 15ª tiragem.
- FAYE, Jan; FOLSE, Henry. *Niels Bohr and the Philosophy of Physics: Twenty-First-Century Perspectives*. London: Bloomsbury, 2017.
- FOLSE, Henry. *The Philosophy of Niels Bohr: The Framework of Complementarity*. New York: North-Holland Physics Publishing, 1985.
- HEISENBERG, Werner. *A Parte e o Todo: Encontros e Conversas sobre Física, Filosofia, Religião e Política*. 4. reimpr. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.
- HEWITT, Paul. *Física Conceitual*. Trad. Trieste Freire Ricci. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- HOLTON, Gerald. *As raízes da complementaridade*. Trad. Dinorah de Oliveira Mendes. In: *Humanidades*, vol. 2, nº 9, out./dez., 1984. p. 49-71.
- JAMMER, Max. *The Philosophy of Quantum Mechanics: the Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York: Wiley-Interscience Publication, 1974.
- JAMMER, Max. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. United States of America: Tomash Publishers, 1989.
- KAISER, D. More Roots of Complementarity: Kantian Aspects And Influences. *Studies in History and Philosophy of Science - Part A, Volume 23, Issue 2, June 1992*. p. 213-239.
- KANT, Immanuel. *Crítica da Razão Pura*. 6ª ed. Trad. Manuela Pinto dos Santos e Alexandre Fradique Morujão. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2008.
- KAUARK-LEITE, P. Causalidade e teoria quântica. *Scientiæ studia*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 165-177, 2012
- KAUARK-LEITE, P. *Théorie quantique et philosophie transcendantale: dialogues possibles*. Hermann, 2012.
- KAUARK-LEITE, P. Transcendental philosophy and quantum physics. *Manuscrito – Rev. Int. Fil.*, Campinas, v. 33, n. 1, p. 243-267, jan.-jun. 2010.

- LAUDAN, Larry. *Teorias do Método Científico de Platão a Mach*. Trad. Balthazar Barbosa Filho. Campinas: CLE-Unicamp, série 3, v. 10, n.2 jul-dez, 2000.
- MARKET, Oswaldo. Prefácio à Edição Portuguesa. In (org.) GIL, Fernando. *Recepção da Crítica da Razão Pura – Antologia de Escritos sobre Kant (1786- 1844)*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.
- MENESES, Ramiro. D. B. de. A Complementaridade em N. Bohr: da mecânica quântica à filosofia. *Eikasia*, ano III, 17 de março de 2008.
- MORUJÃO, A. F. Prefácio da Tradução Portuguesa. In: KANT, Immanuel. *Crítica da Razão Pura*. 6. ed. Trad. Manuela Pinto dos Santos e Alexandre Fradique Morujão. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2008.
- MURDOCH, D. *Niels Bohr's Philosophy of Physics*. New York: Cambridge University Press, 1991.
- NOVAES, Marcel; STUDART, Nelson. *Mecânica Quântica Básica*. São Paulo: Livraria da Física, 2016.
- PAIS, A. *Niels Bohr's Times in Physics, Philosophy, and Polity*. New York: Oxford University Press, 1991.
- PESSOA Jr., Osvaldo (org.). O Postulado Quântico e o Recente Desenvolvimento da Teoria Atômica. NIELS BOHR (1928) in *Fundamentos da Física 1 – Simpósio David Bohm*, Livraria da Física, São Paulo, 2000, p. 135-159.
- PLANCK, Max. *The Theory of Heat Radiation*. Trad. Morton Masius. United States of America: Tomash Publishers, 1988.
- POPPER, K. R., 1982. *Quantum Theory and the Schism in Physics*. Rowman and Littlefield: Totowa, NJ, 1982.
- PRINGE, Hernán. La filosofía trascendental y la interpretación de Bohr de la teoría cuántica. *Scientiæ Studia*, v. 10, n. 1, 2012, p. 179-194.
- REALE, Giovanni; ANTISERI, Dario. *História da Filosofia: de Spinoza a Kant*. São Paulo: Paulus, 2004. Vol. 4.
- SELLERI, Franco. *Paradoxos e Realidade: Ensaio sobre os Fundamentos da Microfísica*. Trad. Annetta Vox e Leonardo Pankovic. Lisboa: Editorial Fragmentos, 1990.
- SIQUEIRA-BATISTA, Rodrigo; SIQUEIRA-BATISTA, Romulo; HELAYÉL-NETO, José A. A realidade quântica: notas históricas e apontamentos epistemológicos. *Physicæ*, n. 4, 2003.
- SKLAR, Lawrence. *A Filosofia da Física*. Trad. Pedro Galvão, Paula Mateus e Desidério Murcho. Rio de Janeiro: Contraponto, 2021.
- TOMONAGA, Sin-Itiro. *Quantum Mechanics- Vol. I- Old Quantum Theory*. Trad. Koshiba. New York: North-Holland, 1962.

Recebido em: 05/07/2022

Aprovado em: 06/03/2022

Eduardo Simões

Professor do Colegiado de Filosofia na Universidade Federal do Tocantins, campus de Palmas.

Erickson Cristiano dos Santos

Professor adjunto de filosofia da UNESPAR/FAFIUV (2012-2013) e, a partir de fevereiro de 2014, da UFMS/CCHS - Campo Grande.

Helen Cristina Pereira Lima

Licenciada em física pelo Instituto Federal do Tocantins (IFTO).

Maxwell Diógenes Bandeira de Melo

Professor do Magistério Superior, no Curso de Engenharia Elétrica da UFT, em Palmas, Tocantins, Brasil.

Walter Ribeiro dos Santos

Integra o grupo de Pesquisa e extensão de filosofia da física quântica na Universidade Federal do Tocantins, sob a coordenação do Dr. Eduardo Simões.